

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE COBERTURA VEGETAL EM IMAGENS
AÉREAS E ORBITAIS PARA USO EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

NEUMA TEIXEIRA DOS SANTOS

DM 01/2011

UFPA / ITEC / PPGEE
Cidade Universitária
Profº José da Silveira Netto
Belém-Pará-Brasil
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NEUMA TEIXEIRA DOS SANTOS

CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE COBERTURA VEGETAL EM IMAGENS
AÉREAS E ORBITAIS PARA USO EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Dissertação submetida à Banca
Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da UFPA para a
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Elétrica

UFPA / ITEC / PPGEE
Cidade Universitária
Profº José da Silveira Netto
Belém-Pará-Brasil
2011

S237c Santos, Neuma Teixeira dos

Classificação automática de cobertura vegetal em imagens aéreas e orbitais para uso em planejamento energético / Neuma Teixeira dos Santos; orientadora, Brígida Ramati Pereira da Rocha.-2010.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2010.

1. Sensoriamento remoto. 2. Energia elétrica – planejamento. 3. Processamento de imagens – técnicas digitais. I. orientador. II. título.

CDD 22. ed. 621.3678

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE COBERTURA VEGETAL EM IMAGENS
AÉREAS E ORBITAIS PARA USO EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

AUTOR: NEUMA TEIXEIRA DOS SANTOS

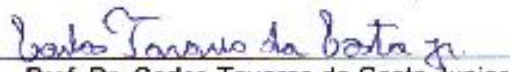
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA.

APROVADA EM 20/01/2011

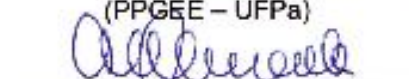
BANCA EXAMINADORA:



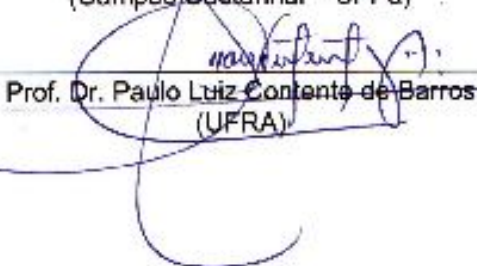
Prof. Dra. Brígida Ramati Pereira da Rocha
(ORIENTADORA – UFPa)



Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior
(PPGEE – UFPa)

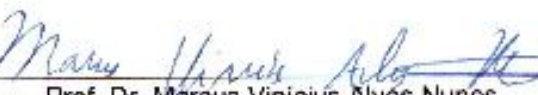


Prof. Dr. Arthur da Costa Almeida
(Campus Castanhal – UFPa)



Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros
(UFPA)

VISTO:



Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

DEDICATÓRIA

A Deus.
A meus pais.
Ao meu esposo e ao nosso filho.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades que me proporciona.

Aos meus pais, Antonio e Neusa pelo esforço, dedicação e compreensão em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao meu esposo grande companheiro durante a graduação e a pós-graduação me apoiando incondicionalmente em todos os momentos. Por sua paciência em me esperar quando tive disciplinas a noite e trabalhos intermináveis nos fim de semana.

A minha orientadora, Prof^a. Dra. Brígida Rocha que me aceitou como orientanda e me deu oportunidade de ampliar meus horizontes e viver novas experiências que com certeza mudaram minha vida. Obrigada por partilhar seu conhecimento e por suas significativas contribuições em vários momentos durante esses dois anos.

Ao Prof^o Dr. Arthur Almeida que foi meu orientador na graduação e sempre compartilha de seu conhecimento nos momentos de incertezas. Agradeço por sua amizade e orientação continua.

Ao Prof^o Dr. Carlos Tavares da Costa Junior por compartilhar seu conhecimento na disciplina Sistemas Fuzzy.

Ao Prof^o Dr. Paulo Luiz Contente de Barros por aceitar fazer parte dessa banca de dissertação.

Aos meus colegas de mestrado: Sabina, Júlio, Nelson, Félix, Wellington, Alan, Oscarina e Bosco.

Ao Denílson por sua ajuda na disciplina “Sistemas de Potência” e ao Fábio parceiro em várias disciplinas e de um artigo publicado no SBSE.

Aos meus colegas de trabalho Luís e Simões pelas contribuições em vários momentos deste e de outros trabalhos.

A Universidade Federal do Pará – UFPA – pelo curso de mestrado e ao Conselho Nacional de Pesquisas – CNPQ – pelo suporte financeiro.

Um dos aspectos mais interessantes do mundo é que se pode considerar que ele é feito de padrões. Um padrão é essencialmente um arranjo. Ele é caracterizado pela ordem dos elementos que o compõem, no lugar da natureza intrínseca desses elementos.

(Norbert Wiener)

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um modelo de redes neurais que será utilizado como ferramenta para uso no planejamento energético e na construção de cenários energéticos através da identificação e agrupamento de pixels representativos de classes de água, vegetação e antropização no entorno do reservatório de Tucuruí, Estado do Pará (bacia do rio Tocantins). Para o estudo, foram utilizadas fotografias aéreas ortorretificadas e um recorte da imagem do satélite Landsat, ambos obtidos em agosto de 2001 e classificados utilizando a métrica da mínima distância no software Matlab 7.3.0 (Matrix Laboratory - software de matemática aplicada) e no Arcview 3.2a (programa de Sistemas de Informações Geográficas). Para classificação da área no Matlab, foram utilizadas redes neurais competitivas, mais especificamente as redes de Kohonen que são caracterizadas por realizar um mapeamento de um espaço de dimensão n (número de entradas) para um espaço de dimensão m (número de saídas). Os resultados obtidos no classificador utilizando rede neural e no classificador do Arcview foram semelhantes, mas houve uma divergência no que diz respeito à imagem de alta e média resolução que pode ser justificada pelo fato de que a imagem de alta resolução espacial ocasiona muita variação espectral em algumas feições, gerando dificuldades nas classificações. Esse classificador automático é uma ferramenta importante para identificar oportunidades e potenciais a serem desenvolvidos na construção de cenários energéticos programados. Os resultados deste trabalho confirmam que a imagem de média resolução ainda é a mais indicada para resolver a maioria dos problemas que envolvem identificação de cobertura do solo para utilização em planejamento energético.

PALAVRAS-CHAVES: Fotografia Aérea, Imagem Orbital, Rede de Kohonen.

ABSTRACT

In this work, a model of neural network for energy planning and construction of energy scenarios is presented. This model permitted the identification and clustering of representative pixels of water, vegetation, and anthropic impact around Tucuruí reservoir, located in the Tocantins River basin, (State of Pará, Brazil). The database consisted in orthorectified aerial photographs and clipping of Landsat satellite's images. Both were obtained in August 2001 and the two set of images were classified using the method of metric of the minimum distance with Matlab 7.3.0 (Matrix Laboratory – Applied mathematics software) and Arcview 3.2a (Geographic Information Systems Program). Then a competitive neural networks of Kohonen was used to classify the different areas in Matlab. This specific network allowed to map the area in n-dimension (number of entries) for a m-dimensional space (number of outputs). The results obtained with Matlab were compared with the output of Arcview classifier software. The results obtained using the neural network in Matlab and the Arcview classifier were similar, but some differences between the images in high and medium resolution were observed; these differences can be justified by the fact that the images in high spatial resolution cause many spectral variations in some features, creating ratings problems. This automatic classifier appears to be a good tool for the identification of the biomass potential for the construction of energy scenarios. The results of this work could confirm that the images in medium-resolution are the most suitable to solve the most of problems which involve the identification of land cover for energy planning.

PALAVRAS-CHAVES: Aerial Photography, Image Orbital, Kohonen Network.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Planejamento Energético.....	17
1.2. Ferramentas Computacionais de Informação e Classificação.....	18
1.3. Objetivo Geral.....	20
1.4. Objetivo Específico.....	20
1.5. Estrutura do Trabalho.....	20
Capítulo 2 – PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E MEIO AMBIENTE.....	23
2.1. Recursos Energéticos.....	24
2.2. Histórico do Setor Energético Brasileiro.....	25
2.3. Cenário Energético Brasileiro.....	32
2.4. Planejamento Integrado de Recursos.....	34
Capítulo 3 - SENSORIAMENTO REMOTO: FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS ORBITAIS.....	37
3.1. Histórico.....	37
3.2. Princípios Físicos e Resolução dos Sensores Remotos.....	39
3.3. Fotografias Aéreas.....	42
3.3.1. Cobertura Aerofotogramétrica.....	45
3.3.2. Fotointerpretação.....	49
3.4. Sensores Remotos Orbitais.....	50
3.4.1. Programa Landsat.....	51
3.4.2. Comportamento Espectral dos Alvos.....	54
3.5. Processamento Digital de Imagens Aéreas e Orbitais.....	55
Capítulo 4 – REDES NEURAS ARTIFICIAS.....	63
4.1. Métodos de Treinamento.....	66
4.1.1. Aprendizado Supervisionado.....	67
4.1.2. Aprendizado Não-Supervisionado.....	68
4.1.3. Aprendizado por Competição.....	69
4.1.4. Aprendizado Híbrido.....	70
4.2. Arquitetura de Redes Neurais.....	70

4.2.1. Feedforward (Redes Diretas) de uma Única Camada, ou Acíclica	71
4.2.2. Feedforward (Redes Diretas) de Múltiplas Camadas, ou Acíclica.....	72
4.2.3. Redes Recorrentes, ou Cíclicas	73
4.3. Rede de Kohonen	75
4.4. Redes Neurais Aplicadas no Sensoriamento Remoto.....	79
Capítulo 5 – MATERIAL E MÉTODOS	81
5.1. Material	81
5.1.1. Softwares Utilizados.....	84
5.2. Metodologia.....	85
Capítulo 6 – RESULTADO E DISCUSSÃO	90
6.1. Classificação no Matlab	90
6.2. Classificação no Arcview	95
Capítulo 7 – CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE A	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte	33
Figura 2 – Fluxo do Processo PIR	35
Figura 3 - Esquema de um Sensor Remoto	39
Figura 4 - Espectro Eletromagnético.....	41
Figura 5 - Geometria de aquisição de fotografias aéreas.....	43
Figura 6 - Filmes utilizados em Fotogrametria Aérea	45
Figura 7 - Recobrimento Lateral e Longitudinal às linhas de vôo	46
Figura 8 - comportamento espectral de uma folha.....	55
Figura 9 - Representação de uma imagem digital arranjada na forma de uma matriz N x M	57
Figura 10 - Imagem RGB com 100 pixels	58
Figura 11 - Componentes RGB em cada pixel da figura 8.....	59
Figura 12 – Representação da Vizinhança de um pixel	60
Figura 13 - Características dos histogramas para diferentes tipos de imagens.....	62
Figura 14 - Componentes do neurônio biológico.....	63
Figura 15 - Neurônio biológico e Neurônio artificial	64
Figura 16 – Diagrama esquemático de um neurônio artificial.....	65
Figura 17 - Modelo matemático de um neurônio.....	66
Figura 18 – Diagrama de Aprendizado Supervisionado.....	68
Figura 19 - Diagrama de Aprendizado Não-Supervisionado	69
Figura 20 – Diagrama esquemático de uma rede Feedforward de uma única camada.....	71
Figura 21 - Representação matricial da rede Feedforward de uma única camada	72
Figura 22 – Representação esquemática de uma rede feedforward de múltiplas camadas.....	73
Figura 23 - Redes recorrentes sem laços de auto-alimentação e sem neurônios ocultos.....	74
Figura 24 – Desenho esquemático de redes recorrentes com neurônios ocultos	74
Figura 25 - Exemplo de modelo hexagonal.....	75

Figura 26 - Mapa de Kohonen com neurônios de saída usados de forma bidimensional	76
Figura 27 - Conexões sinápticas de um neurônio de saída ligado a 4 entradas	77
Figura 28 - Mosaico do recobrimento aéreo do entorno do Reservatório de Tucuuruí	82
Figura 29 – Imagem referente as bandas 3, 4, 5 do Landsat 5	83
Figura 30 - Mosaico de duas imagens aéreas.....	85
Figura 31 – A figura destacada representa a área utilizada da imagem original do Landsat	88
Figura 32 - a) Ortofoto com Compressão e b) Resultado da Classificação da Ortofoto no Matlab	92
Figura 33 - Resultado da Classificação da Ortofoto no Matlab em Porcentagem	93
Figura 34 - a) Recorte do Landsat e b) Classificação do Landsat no Matlab.....	94
Figura 35 - Resultado da Classificação do Landsat no Matlab em Porcentagem	95
Figura 36 - Classificação Ortofoto em Alta Resolução no Arcview	96
Figura 37 - Resultado da Classificação da Ortofoto no Arcview em Porcentagem.....	97
Figura 38 - Classificação do Landsat no Arcview	97
Figura 39 - Resultado da Classificação do Landsat no Arcview em Porcentagem.....	98
Figura 40 - Divergências entre (a) Ortofoto no Matlab e (b) Landsat no Matlab	99
Figura 41 – Freqüência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas das fotografias aéreas.....	111
Figura 42 – Freqüência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas da imagem do Landsat.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos Sensores Remotos	40
Quadro 2 – Especificações sobre o tipo de cobertura (Vôo Fotogramétrico) ...	47
Quadro 3 –Tipos de Satélites na Órbita da Terra	51
Quadro 4 – Dados Técnicos dos Satélites Landsat 5 e 7.....	52
Quadro 5 – Quadro comparativo entre computadores e neurocomputadores ..	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recobrimentos e áreas de aerofotos 23 cm X 23 cm.....	44
---	-----------

LISTA DE SIGLAS

- ANDI-** Agência de Notícias dos Direitos da Infância
- ANEEL-** Agência Nacional de Energia Elétrica
- BEN-** Balanço Energético Nacional
- CBBE-** Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial
- CCEE-** Comercialização de Energia Elétrica
- CEM-** Companhia de Eletricidade de Manaus
- CEPEL-** Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
- CGISE-** Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico
- CHESF-** Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
- CIEN-** Companhia de Interconexão Energética
- CMSE-** Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
- CNAE-** Conselho Nacional de Águas e Energia
- ELETROBRÁS-** Centrais Elétricas Brasileiras S. A
- ELETRONORTE-** Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A
- ENERAM-** Comitê Coordenador de Estudos Energéticos da Amazônia
- EPE-** Empresa de Pesquisa Energética
- ESRI-** Environmental Systems Research Institute
- ETM-** Enhanced Thematic Mapper
- FIP-** Fundo de Investimentos e Participações Amazônia Energia
- GCE-** Crise de Energia Elétrica
- INPE-** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- ISODATA-** Auto-Organização Iterativa de Análise de Dados
- KEPCO-** Korea Electric Power Corporation
- LANDSAT-** Land Remote Sensing Satellite
- MAPA-** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- MATLAB-** MATrix LABoratory
- MCP-** Modelo McCulloch Pitts
- MEAPA-** Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará
- MME-** Ministério das Minas e Energia

MSS- Multispectral Scanner Subsystem
NASA- National Space and Space Administration
PDI- Processamento Digital de Imagens
PIR- Planejamento Integrado de Recurso
PND- Programa Nacional de Desestatização
PROINFA- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
RBV- Return Beam Vidicon
REM- Radiação Eletromagnética
RNAs- Redes Neurais Artificiais
SIG- Sistemas de Informação Geográfica
SIN- Sistem Interligado Nacional
SINTREL- Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica
SLC- Espelho Corretor de Linha
SOM- Self-Organizing Map
TIFF- Tagged Image File Format
TM- Thematic Mapper
USGS- United States Geological Survey

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Planejamento Energético

O planejamento energético a médio e longo prazo necessita de informações confiáveis sobre estoque de recursos energéticos disponíveis, em especial quando se trata da utilização de recursos de biomassa. A falta de informações sobre a variabilidade, tendências e fatores que influenciam a disponibilidade de recursos renováveis é uma das principais barreiras para a adoção e o investimento no desenvolvimento de projetos de produção de energia utilizando fontes renováveis de energia (MARTINS et. al, 2005).

A procura por fontes alternativas de energia em áreas até há pouco tempo inexploradas representa atualmente um conjunto de atividades de importância econômica crescente, pois há uma necessidade de independência energética externa e redução de impactos ambientais.

Para promover uma utilização racional e otimizar o suprimento das diversas formas energéticas é necessário realizar um planejamento energético. Segundo Bajay (1989) o processo de planejamento energético é abrangente e de caráter iterativo, portanto é uma atividade bastante complexa, por isso requer a utilização de modelos computacionais como ferramentas metodológicas.

O projeto Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará – MEAPA surgiu da necessidade de criação de uma estrutura de informação, ferramentas, métodos, instituições e pessoas com capacidade para estudar a integração de energias renováveis no estado do Pará (ROCHA, 1999; MONTEIRO et al,1999).

Segundo Rocha (1999), com este projeto, pretendia-se construir uma base de informações geográficas para apoiar o planejamento energético da região e desenvolver metodologias integradas para dimensionamento e avaliação de soluções de eletrificação rural em áreas isoladas; implementar a metodologia em aplicações SIG - Sistemas de Informações Geográficas, mapear os recursos energéticos renováveis no Arquipélago do Marajó e realizar testes da metodologia na região de estudo.

A necessidade de desenvolver ferramentas computacionais que facilitem esse processo de produção de energia elétrica é fortemente identificada na apresentação de Rocha (2011) onde são descritos três cenários de utilização de biocombustíveis no estado do Amazonas para produzir energia elétrica. No primeiro cenário têm-se a proposta de substituição de combustíveis fósseis (uso moderado de áreas degradadas); no segundo a questão é o atendimento a consumidores em áreas remotas (sistemas agroflorestais) e no terceiro cenário propõem-se a ampliação do uso de sistemas agroflorestais para um desenvolvimento sustentável.

Para todos esses cenários apresentados há necessidade de um planejamento energético e o desenvolvimento de ferramentas computacionais que facilitem o processamento das informações adquiridas.

1.2 Ferramentas Computacionais de Informação e Classificação

Os Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas com as quais se podem agrupar dados sobre recursos e demandas energéticas dos locais a serem estudados, associados a uma plataforma de conhecimento geográfico, permitindo a visualização dos resultados em forma de imagens. Desta forma possibilita maior segurança e agilidade nas tomadas de decisão, ou mesmo, melhorar o acompanhamento dos resultados de programas que estejam em execução (JUCÁ; CARVALHO; AGUIAR JUNIOR, 2006).

Os SIG são responsáveis por armazenar as informações para posterior visualização e processamento, enquanto que o Sensoriamento Remoto segundo Gonçalves (2009) deduz informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre a partir de medições efetuadas de uma localização remota. O processo de inferência não é perfeito e, conseqüentemente, as fontes de erros e incerteza que afetam a informação temática obtida por classificação automática de imagens de satélite ou aérea são várias e distribuem-se pelas diversas fases, desde a captura das imagens ao seu processamento, extração da informação e sua representação.

A obtenção de imagens da superfície terrestre depende da energia eletromagnética que interage com a matéria, se propaga no espaço e incide sobre a superfície em diversos comprimentos de onda gerando um valor relacionado com a radiância. Este valor numérico que representa a intensidade da radiância é conhecido como pixel.

Na quantificação de recursos de biomassa, a fase da classificação é apenas uma etapa do processo de inferência, pois a adequação do classificador varia em função de uma série de variáveis, tais como a resposta espectral das classes, as características do terreno e das áreas de treino, assim como da natureza do classificador. Desta perspectiva a incerteza constitui um problema central no âmbito da detecção remota e um dos principais desafios consiste em conseguir caracterizar e quantificar adequadamente os erros existentes nos mapas produzidos (GONÇALVES, 2009).

O mapeamento da cobertura do solo através do sensoriamento remoto utilizando imagens de satélites ou fotografias aéreas é um procedimento de grande importância para o diagnóstico e planejamento das atividades antrópicas.

O uso do solo refere-se ao que homem constrói/maneja sobre ele, tais como agricultura, indústrias ou cidades, enquanto que a cobertura do solo descreve o tipo de material que o reveste, tais como florestas, rochas ou desertos (ALMEIDA, 2008).

Segundo Bernardes, Alves e Vieira (2007) as imagens orbitais são uma boa opção na coleta de dados por sua grande abrangência em termos de área, periodicidade de imageamento em intervalos curtos, possibilidade de análise visual e espectral e baixo custo de aquisição. O sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens fornecem dados que podem ser manipulados e integrados a outros tipos de dados em sistemas de informações geográficas, possibilitando a obtenção de informações importantes sobre a superfície terrestre. A idéia básica em classificação de dados multiespectrais é identificar grupos de atributos espaciais e isolá-los usando alguns limites de decisão.

Ribeiro, Soares e Vieira (2005) avaliaram métodos de classificação de imagens IKONOS, onde eles afirmam que a alta resolução espacial ocasiona muita variação espectral em algumas feições, gerando dificuldades nas classificações e concluíram que o algoritmo de classificação da Mínima Distância, que é utilizado com êxito para classificar imagens de média resolução espacial, apresentou desempenho inferior ao dos algoritmos da Máxima Verossimilhança e de Redes Neurais Artificiais (backpropagation) na classificação de imagens de alta resolução.

Almeida (2008) propôs uma metodologia integrada que utiliza tecnologia de redes neurais artificiais para extrair informações sobre potencial energético de biomassa a partir de imagens de satélite de média resolução, validados a partir de

dados de inventário de campo e inseridas em uma aplicação desenvolvida em sistemas de informações geográficas.

Com base na metodologia proposta por Almeida (2008) este trabalho apresenta classificações de imagem de satélite (Landsat) e ortofotos da área do entorno do reservatório de Tucuruí para testar a acurácia de uma imagem de média resolução tendo como base visual uma imagem de alta resolução, de forma a permitir o uso dessa técnica em aplicações de planejamento de energias renováveis.

1.3 Objetivo Geral

A utilização de técnicas de Inteligência Computacional para aquisição de dados de biomassa de maior precisão para uso em planejamento energético.

1.4 Objetivo Específico

O objetivo deste trabalho é comparar resultados de classificações de uma imagem do satélite Landsat (média resolução) e fotografias aéreas (alta resolução) da área do entorno do reservatório de Tucuruí usando técnicas de Inteligência Computacional para identificar áreas de vegetação, antropização e água.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: nesse primeiro capítulo foi justificada a necessidade de desenvolver e aperfeiçoar novas ferramentas para o planejamento energético; foi especificado o objetivo do trabalho esclarecendo sua base de sustentação em uma metodologia já descrita na tese de Almeida (2008).

O segundo capítulo aborda o planejamento energético no contexto de desenvolvimento sustentável; para isso faz uma conceituação breve à respeito de energia e recursos energéticos. Apresenta uma cronologia dos principais fatos ocorridos no setor energético brasileiro desde D. Pedro II e com base no Balanço Energético Nacional publicado em 2010 analisa a oferta interna de energia elétrica classificada por fonte afim de estabelecer um caminho para o planejamento integrado de recursos (PIR).

No terceiro capítulo é feito um breve histórico sobre o processo de invenção e desenvolvimento da fotografia, sua aplicação para mapeamento através da ciência da fotogrametria, assim como, os conceitos sobre princípios físicos e resolução dos sensores remotos. São apresentadas as propriedades geométricas das fotografias aéreas, as especificações sobre um vôo fotogramétrico e os produtos gerados que são utilizados na fotointerpretação. No que diz respeito ao sensoriamento remoto orbital tratou-se especificamente do programa Landsat e do comportamento espectral que é a maneira pela qual um determinado alvo reflete radiação proveniente de uma fonte natural ou artificial.

O terceiro capítulo aborda conceito, representação e característica da imagem; o pixel é usado como unidade de medida para descrever a dimensão geométrica de uma imagem e o histograma segundo Gilat (2006) são gráficos destinados à apresentação de uma distribuição de dados. Toda a faixa de um determinado conjunto de dados é dividida em intervalos menores e o histograma mostra quantos pontos do conjunto de dados estão em cada intervalo. Tecnicamente o histograma é uma representação gráfica de uma distribuição de freqüência em que as freqüências das classes são representadas pelas áreas dos retângulos verticais adjacentes, com bases colineares e proporcionais aos intervalos das classes.

Após a explanação dos conceitos básicos o assunto abordado é a classificação de padrões nas imagens através da interpretação automatizada por meio de redes neurais, mais especificamente os mapas auto-organizados de Kohonen (Self-Organizing Map - SOM).

No quarto capítulo são apresentados os materiais e os métodos utilizados. Inicialmente, é feita uma descrição da área de estudo e do processo de aquisição do material. Em seguida são descritos os métodos utilizados para georreferenciar e classificar as imagens no Matlab e no Arcview.

A apresentação e análise dos resultados estão apresentados no quinto capítulo. Nele constam os resultados da classificação obtidos utilizando as imagens referidas no capítulo 3.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho diante do objetivo proposto.

O apêndice 1 apresenta gráficos com os índices de reflectância, em três diferentes bandas, em porcentagem, de uma área do entorno do Lago de Tucuruí. Essas curvas foram construídas a partir do processamento de 3 bandas da imagem

do Landsat e da Ortofoto. Nela, a curva em azul corresponde aos níveis de intensidade obtidos na banda 1 a curva em verde corresponde aos níveis de intensidade obtidos na banda 2 e a curva em vermelho corresponde aos níveis de intensidade obtidos na banda 3 da imagem.

CAPÍTULO 2 - PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E MEIO AMBIENTE

O grande desafio do século XXI é equilibrar a equação que envolve energia e meio ambiente; para isso é necessário compreender que não há crescimento sem um custo ambiental, no entanto, os empreendedores da área de energia caminham na direção da geração de energia respeitando as pessoas e a natureza para um desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade é um critério muito utilizado na tomada de decisão em um planejamento energético. De acordo com Silva e Bermann (2002),

o planejamento energético apresenta um elevado grau de utilidade. Pelo lado da oferta de energia, ele permite identificar as fontes energéticas mais adequadas em termos tecnológico, econômico, social e ambiental para atender as demandas da sociedade. Pelo lado da demanda, ele permite identificar as tecnologias de uso final capazes de tornar mais eficiente e racional o uso das fontes de energia. Através da construção de cenários futuros sobre o comportamento das demandas, o planejamento energético é de fundamental importância na resolução de conflitos envolvendo oferta e demanda de energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico. A importância do planejamento energético foi reforçada com o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que a utilização dessa ferramenta pode evitar a degradação prematura dos recursos energéticos não-renováveis e/ou apontar alternativas de substituição de fontes de energia, garantindo a oferta necessária à manutenção do desenvolvimento da sociedade.

Os estudos ligados à demanda e à oferta de energia necessitam cada vez mais de instrumentos metodológicos que permitam analisar e planejar o sistema energético sob uma ótica integrada e transparente. Tais instrumentos possibilitam estabelecer os vínculos entre os comportamentos da economia e do setor energético, e colocar os diversos estudos e previsões sobre a área no mesmo conjunto metodológico, que leva em conta, além de crescimento econômico e demanda energética, os impactos ambientais causados pela produção e pelo consumo de energia, assim como os dividendos sociais obtidos com o crescimento, ou seja, a sustentabilidade social e ambiental do modelo de desenvolvimento adotado (BURANI et al, 2007).

2.1 Energia e Recursos Energéticos

No século IV a.C., Aristóteles, em sua obra METAFÍSICA, identificava energia (energeia) como uma realidade em movimento, mas definir energia não é tarefa simples e a definição mais abrangente encontrada foi dada por Maxwell em 1872 que afirma: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a essa mudança”. No entanto, defini-la rigorosamente é menos importante do que perceber seus efeitos e a sua relevância no nosso dia-a-dia (GRIMONI; GALVAO; UDAETA, 2004).

De acordo com Hindrich e Kleinbach (2004) para entender a energia, é preciso entender os recursos energéticos, suas limitações e seus usos. Deve-se ter alguma noção do tamanho que cada recurso energético tem e quanto ele irá durar. Ambas as questões são difíceis de responder por que terão que ser feitas pressuposições a respeito das tecnologias futuras de extração destes recursos, dos preços dos combustíveis e da taxa de crescimento do consumo. O uso adequado da energia requer que se leve em consideração tanto as questões sociais como as tecnológicas, pois o crescimento econômico sustentável neste século, juntamente com o incremento da qualidade de vida de todos os habitantes desse planeta, apenas pode ser possível com o uso bem planejado e eficiente dos limitados recursos energéticos e o desenvolvimento de novas tecnologias de energia.

Habitualmente os recursos energéticos que podem ser utilizados pelo homem são de dois tipos: não renováveis (petróleo, carvão, urânio, gás natural) e renováveis (hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, ondas e marés). De acordo com Bermann (2002) os combustíveis fósseis levam milhões de anos para se formarem e sua disponibilidade é limitada em função do esgotamento das reservas, enquanto que a hidroeletricidade e a biomassa obtida através do plantio e reflorestamento se bem manejadas, podem assumir o desejável caráter sustentável.

O físico José Goldemberg (um dos principais cientistas brasileiros especializado em produção de energia) em entrevista ao site Mudanças Climáticas (Informações e reflexões para um jornalismo contextualizado), que é produzido pela Agência de Notícias dos Direitos da Infância (ANDI) em parceria com a Embaixada Britânica e o Conselho Britânico no Brasil, afirma que o continente tem vastos recursos energéticos, mas eles não estão distribuídos de maneira uniforme. Para seu melhor aproveitamento e segurança, seria importante a aplicação de políticas

que impulsionem os projetos de integração regional. “É preciso que cada região diversifique sua matriz e desenvolva estratégias que promovam políticas sustentáveis e que garantam a segurança energética” (MUDANÇAS CLIMÁTICAS, acesso em 30 jun. 2011).

2.2 Histórico do Setor Energético Brasileiro

O Brasil apresenta um rico histórico no que se refere à geração de energia elétrica. Desde D. Pedro II até hoje o país percorreu por diversas fases e o amadurecimento e a solidificação do setor dá-se devido a necessidade cada vez maior de produção de energia agora com o conceito de sustentabilidade.

A seguir, com base em informações encontradas no Centro da Memória da Eletricidade no Brasil da Eletrobrás são apresentados os principais fatos da cronologia da energia elétrica no Brasil.

- 1879 - D. Pedro II concedeu a Thomas Alva Edison o privilégio de introduzir no país aparelhos e processos de sua invenção, destinados à utilização da luz elétrica na iluminação pública.
- Inauguração, na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II da cidade do Rio de Janeiro, da primeira instalação de iluminação elétrica permanente do país, que funcionou por um período de sete anos.
- 1881 - Instalada no Rio de Janeiro a primeira iluminação externa pública no país (com 16 lâmpadas de arco voltaico, alimentadas por dois dínamos acionados por um locomóvel).
- Primeira demonstração de iluminação de edificações no Brasil, no prédio do Ministério da Viação e Obras Públicas. As 60 lâmpadas do sistema Edison utilizavam energia elétrica produzida por um dínamo de 10 HP.
- 1883 - Entrou em operação a primeira usina hidrelétrica no país, localizada no Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, na cidade de Diamantina. A usina utilizava queda de cinco metros de altura, com dois dínamos acionados por roda d'água de madeira, e movimentava duas bombas de desmonte hidráulico. A energia produzida era usada a dois quilômetros de distância, através de uma linha de transmissão considerada bastante extensa para a época.

- Realização da primeira experiência em transportes com tração elétrica do país, na cidade de Niterói (RJ).
- 1887 - Entrou em operação a primeira usina termelétrica do estado do Rio Grande do Sul; utilizava lenha como combustível e possuía, inicialmente, um dínamo de 160 kW. Com as ampliações até o final da década de 1930, a usina chegou a totalizar 18.630 kW de capacidade instalada, sendo desativada em 1949.
- 1889 - Entrou em operação a primeira hidrelétrica de maior porte do Brasil, Marmelos-Zero da Companhia Mineira de Eletricidade, pertencente ao industrial Bernardo Mascarenhas. A usina gerava energia elétrica por meio de dois grupos geradores de 125 kW cada. Ampliada em 1892, com mais um grupo gerador de 125 kW, a usina deixou de funcionar em 1896, quando foi inaugurada a hidrelétrica Marmelos I.
- 1896 - Início da operação da primeira usina do estado do Amazonas, a termelétrica Plano Inclinado, localizada no município de Manaus. A usina utilizava lenha como combustível e possuía uma unidade geradora com 68 kW de potência, capacidade duplicada dois anos depois. Foi desativada em 1910.
 - Inauguração da primeira usina do estado do Pará, a termelétrica Belém I, localizada no município de Belém. Contava com oito máquinas a vapor, totalizando 3.200 HP.
- 1903 - Aprovado pelo Congresso Nacional, o primeiro texto de lei disciplinando o uso de energia elétrica no país.
- 1908 - Entrou em operação a Usina Hidrelétrica Fontes Velha, na época a maior usina do Brasil e uma das maiores do mundo.
- 1910 - Criação da Manaus Tramways & Light Company Ltd., de capital inglês, que passou a explorar os serviços de eletricidade e bondes na cidade de Manaus (AM), a partir de contrato firmado em 1918. Foi incorporada pela Companhia de Eletricidade de Manaus (CEM) em 1952.
- 1926 - Entrada em operação da primeira unidade geradora da usina hidrelétrica Cubatão, atual usina hidrelétrica Henry Borden Externa, localizada no município de Cubatão (SP). Sua capacidade inicial era

- de 28.000 kW, e sua implantação permitiu superar a crise no abastecimento de energia elétrica vivenciada no período.
- 1934 - Promulgado pelo Presidente Getúlio Vargas o Código de Águas, assegurando ao poder público a possibilidade de controlar rigorosamente as concessionárias de energia elétrica.
- 1937 - O presidente Getúlio Vargas inaugurou no Rio de Janeiro o primeiro trecho eletrificado da Estrada de Ferro Central do Brasil.
- 1939 - O presidente Getúlio Vargas criou o Conselho Nacional de Águas e Energia- CNAE para sanear os problemas de suprimento, regulamentação e tarifa referentes à indústria de energia elétrica do país.
- 1941 - O presidente Getúlio Vargas criou o Conselho Nacional de Águas e Energia- CNAE para sanear os problemas de suprimento, regulamentação e tarifa referentes à indústria de energia elétrica do país.
- 1945 - Criada, no Rio de Janeiro, a primeira empresa de eletricidade de âmbito federal, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF.
- 1954 - Entrou em operação a primeira grande hidrelétrica construída no rio São Francisco, a Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I, pertencente à Chesf.
- 1960 - Como desdobramento da política desenvolvimentista do Presidente Juscelino Kubitschek, conhecida como Plano de Metas, foi criado o Ministério das Minas e Energia - MME.
- 1961 - Durante a presidência de Jânio Quadros foi criada a Eletrobrás, constituída em 1962 pelo Presidente João Goulart para coordenar o setor de energia elétrica brasileiro.
- 1963 - Entrou em operação a Usina Hidrelétrica de Furnas, maior usina do Brasil na época de sua construção
- 1965 - Criado o Departamento Nacional de Águas e Energia, encarregado da regulamentação dos serviços de energia elétrica no país.
- 1968 - Para supervisionar os estudos hidroenergéticos relacionados à Região Amazônica, foi criado o Comitê Coordenador de Estudos

Energéticos da Amazônia - ENERAM.

- 1973 - Como consequência do tratado firmado entre Brasil e Paraguai, regulando a construção e operação de hidrelétricas no rio Paraná, foi criada a Itaipu Binacional - ITAIPU.
- Como resultado dos estudos do ENERAM, foi criada a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - ELETRONORTE.
 - Criado o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL para desenvolver tecnologia em equipamentos e em sistemas elétricos .
- 1979 - Entrou em operação a Usina Hidrelétrica Tucuruí, da Eletronorte, primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia.
- 1984 - Concluída a primeira parte do sistema de transmissão Norte-Nordeste, permitindo a transferência de energia da bacia amazônica para a região Nordeste. Entrou em operação a Usina Hidrelétrica Itaipu, maior hidrelétrica do mundo com 12.600 MW de capacidade instalada.
- 1990 - Criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica – SINTREL para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia.
- 1995 - As empresas controladas pela Eletrobrás foram incluídas no Programa Nacional de Desestatização que orientava a privatização dos segmentos de geração e distribuição.
- 1997 - Constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL.
- 1999 - A primeira etapa da Interligação Norte-Sul entrou em operação, representando um passo fundamental para a integração elétrica do país.
- 2000 - A importação de 1.000 MW de energia da Argentina, iniciada no mês de julho pela Companhia de Interconexão Energética (Cien), utilizou novas linhas de 500 kV e uniu as subestações de Rincón e Garabi (Argentina), Santo Ângelo e Itá (Brasil), constituindo a maior e mais importante compra de energia pelo Brasil da Argentina.
- 2001 - Nesse ano, o Brasil vivenciou sua maior crise de energia elétrica, acentuada pelas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis

verificadas nas regiões Sudeste e Nordeste. Com a gravidade da situação, o governo federal criou, em maio, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), com o objetivo de "propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica". Em junho, foi implantado o programa de racionamento nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e, em agosto, em parte da região Norte.

- Ainda no âmbito da crise de energia elétrica, no mês de agosto, o governo criou a empresa Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE) para realizar a contratação das térmicas emergenciais.

2002 - Instituição, pela lei nº 10.438, de 26 de abril, do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro do ano seguinte. O Proinfa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e gerenciado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). O programa estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

2003 - O Governo Federal lançou em novembro o programa LUZ PARA TODOS, objetivando levar, até 2008, energia elétrica aos 12 milhões de brasileiros que não têm acesso ao serviço. Deste total, 10 milhões estão na área rural. A gestão do programa será compartilhada entre estados, municípios, agentes do setor elétrico e comunidades.

- Entrou em operação comercial em novembro a 15ª unidade geradora hidráulica da Usina Hidrelétrica Tucuruí. É a terceira máquina da segunda etapa, que irá acrescentar mais 375 MW de potência à usina. As obras irão ampliar a capacidade de geração, de 4.245 MW para 8.370 MW, possibilitando o atendimento a mais de 40 milhões de pessoas. Tucuruí passará a ser a maior hidrelétrica nacional.

2004 - O novo modelo do setor elétrico foi aprovado com a promulgação, em

março, das Leis nº 10.847 e nº 10.848, que definiram as regras de comercialização de energia elétrica e criaram a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a função de subsidiar o planejamento técnico, econômico e sócio ambiental dos empreendimentos de energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e fontes energéticas renováveis. O novo modelo definiu a oferta de menor tarifa como critério para participação nas licitações de empreendimentos, estabeleceu contratos de venda de energia de longo prazo e condicionou a licitação dos projetos de geração às licenças ambientais prévias.

- No âmbito desta nova legislação, foram criados a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e o Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico (CGISE), a Eletrobrás e suas controladas foram retiradas do Programa Nacional de Desestatização (PND) e a Eletrosul foi autorizada a retomar a atividade de geração. A empresa mudou sua denominação para Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

2005 - Em janeiro, foi inaugurada em Veranópolis (RS) a Usina Hidrelétrica Monte Claro, com capacidade para gerar 130 MW. A usina integra, junto com as usinas 14 de Julho e Castro Alves, o Complexo Energético do Rio das Antas, na região Nordeste do estado. A obra é um dos empreendimentos de geração com entrada em operação prevista para este ano, sendo 11 hidrelétricas e uma térmica. Com 2.995 MW de capacidade instalada, esse conjunto de usinas vai aumentar em 4,4% a capacidade instalada de geração no país.

- A Eletrobrás e a Korea Electric Power Corporation (Kepco), da Coréia do Sul, assinaram Protocolo de Intenção para cooperação e formação de parcerias para investimentos conjuntos em projetos nos segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil e na América Latina. A Kepco é uma empresa estatal sul-coreana com atividades similares às da Eletrobrás. O protocolo prevê a avaliação do uso de todas as opções disponíveis de combustível, incluindo carvão,

outros combustíveis fósseis, energia renovável e, eventualmente, energia nuclear.

- 2006 - A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) concluiu, em março de 2006, os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006-2015, propondo diretrizes, metas e recomendações para a expansão dos sistemas de geração e transmissão do país até 2015.
- 2007 - O consórcio, formado pelas empresas Odebrecht Investimentos em Infraestrutura Ltda., Construtora Norberto Odebrecht S.A., Andrade Gutierrez Participações S.A., Cemig Geração e Transmissão S.A., Furnas Centrais Elétricas S.A. e pelo Fundo de Investimentos e Participações Amazônia Energia (FIP), construirá a primeira das duas usinas do complexo do Rio Madeira, em Rondônia, que vai fornecer mais de 6.000 megawatts para o Sistema Interligado Nacional, energia suficiente para atender 25 milhões de pessoas.
- 2008 - A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovou, em 8 de janeiro de 2008, modelo de contrato de permissão para as cooperativas de eletrificação rural atuarem como distribuidoras de energia.
- 2009 - Brasil realiza o primeiro leilão de energia eólica após a negociação para a construção e operação de 71 empreendimentos com uma capacidade somada de 1.805,7 megawatts (MW). Os 71 projetos abrigarão um total de 773 aerogeradores que poderão entrar em operação em 1º de julho de 2012 e terão um prazo de concessão de 20 anos. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), organismo encarregado de realizar o leilão, calculou que, nos primeiros 20 anos, a soma destes parques de geração de energia eólica vão produzir 132.015 gigawatts por hora (GWh), 1,4% a mais do que é gerado em um ano pela usina hidroelétrica de Itaipu. No total, serão investidos R\$ 9,4 bilhões na construção das usinas de geração de energia eólica, segundo cálculos do Ministério de Minas e Energia.
- Condições meteorológicas adversas causaram a falha de três linhas de transmissão provenientes da Usina Hidrelétrica de Itaipu. A queda brusca na demanda de energia ocasionou o desligamento automático

das 20 turbinas da usina deixando quase 90 milhões de pessoas sem energia elétrica. Quatro Estados do Brasil ficaram completamente sem fornecimento elétrico com outros 14 sendo parcialmente afetados. O Paraguai teve 90% de seu território afetado pela falha. O ministro de Minas e Energia do Brasil, Edison Lobão, afirmou que o incidente, que afetou 18 estados brasileiros, aconteceu por causa de raios, ventos e chuvas que ocorreram na cidade de Itaberá, São Paulo, que teria provocado um curto circuito nas linhas de transmissão.

- 2010 - Leilões de fontes alternativas, dois certames A-5 e Belo Monte fizeram de 2010 o ano da energia renovável.
- 2011 - O Governo aprova a estratégia de desenvolvimento de energias novas e renováveis. A medida visa garantir a eletrificação das comunidades rurais, bem como reduzir os custos de expansão da energia da rede nacional através de fontes alternativas de energia. A estratégia será implementada num período de 15 anos (2011-2025) e sofrerá uma revisão regular a cada cinco anos.

2.3 Cenário Energético Brasileiro

A construção de cenários programados parte da seleção e da combinação de um conjunto de variáveis considerados determinantes essenciais para a evolução da conjuntura econômica e energética. O método de construção de cenários identifica oportunidades e ameaças, fragilidades a serem superadas e potenciais a serem desenvolvidos, sendo importante ferramenta para a tomada de decisão em ambiente de incerteza (BURANI et al, 2007).

A figura 1 sintetiza a oferta interna de energia elétrica por fonte, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2010, referente ao ano de 2009.

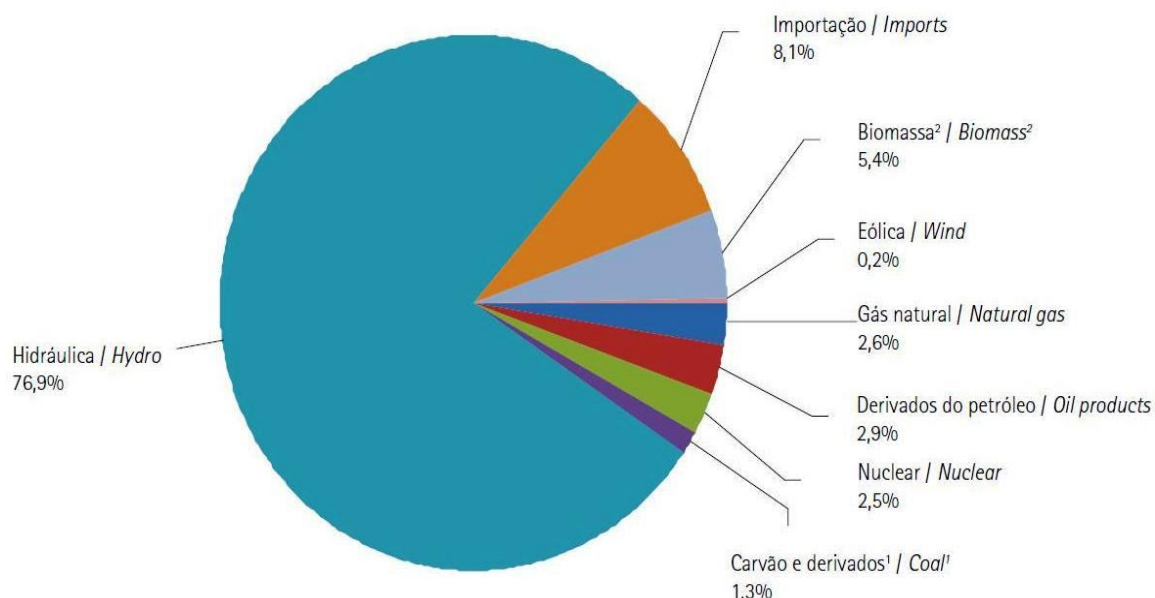


Figura 1- Oferta interna de energia elétrica por fonte (BEN, 2010).

É evidente que o Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por montante superior a 76% da oferta. Somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 85% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis – sem considerar que parte da geração térmica é originada de biomassa.

De acordo com dados do BEN (2010) a produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 1.238,4 GWh em 2009. Isto representa um aumento em relação do ano anterior (4,7%), quando se alcançou 1.183,1 GWh. Em 2009 o montante de B100 produzido no país atingiu 1.608.053 m³ contra 1.167.128 m³ do ano anterior. Com isto, verificou-se aumento de 37,8% no biodiesel disponibilizado no mercado interno. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de cana-de-açúcar no ano civil 2009 alcançou 622,6 milhões de toneladas. Este montante foi 12,6% superior ao registrado no ano civil anterior, quando a safra foi de 552,8 milhões de toneladas.

A média diária de produção de gás natural no ano foi de 57,9 milhões de m³/dia e o volume de gás natural importado foi o menor desde 2004, com média de 23,4 milhões de m³/dia. Com isto, houve decréscimo na participação do gás natural

¹ inclui gás de coqueria e ² biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações (BEN, 2010).

na matriz energética nacional, para o patamar de 8,7%. A produção de petróleo e óleo de xisto subiu 7,5% em 2009, em relação a 2008. O uso do carvão para geração de eletricidade em 2009 diminuiu 16,8% em relação ao ano anterior. A demanda industrial manteve-se estável (+0,4%). Com isto, a variação na produção nacional foi expressiva: -14,3%.

2.4 Planejamento Integrado de Recursos

Apesar da hidroeletricidade figurar ainda como principal fonte de geração de energia no Brasil, no tópico anterior pôde-se perceber que a geração eólica, o biodiesel e a produção de cana-de-açúcar apresentaram aumento significativo em relação ao ano anterior.

O Planejamento Integrado de Recurso (PIR) segundo Udaeta (1997) consiste na seleção da expansão da oferta de energia elétrica. Ou no mesmo sentido (mas de outra maneira), consiste na busca da satisfação das necessidades de energia elétrica no entorno (temporal e geográfico) em que este (o PIR) se desenvolve. Através de processos que avaliem todo um conjunto de alternativas que incluem não somente o aumento da capacidade instalada, como também a conservação e a eficiência energética, auto-produção e fontes renováveis, de modo a garantir que os usuários do sistema recebam uma energia contínua e de boa qualidade da melhor forma possível, considerados os aspectos técnicos, econômicos-financeiros e sócio-ambientais. Em uma formulação mais ampla, considerando todo o espectro energético, o resultado indicaria a aplicação da energia para um desenvolvimento sustentado.

O Planejamento Integrado de Recursos é disseminado como uma forma de gerenciar de maneira integral um recurso pelos lados da oferta e demanda e pode ser considerado uma opção viável ao planejamento convencional.

O processo de planejamento segundo o PIR (ver figura 2) compreende várias etapas, que são (RIBEIRO; PELEGRINI; UDAETA, 1997):

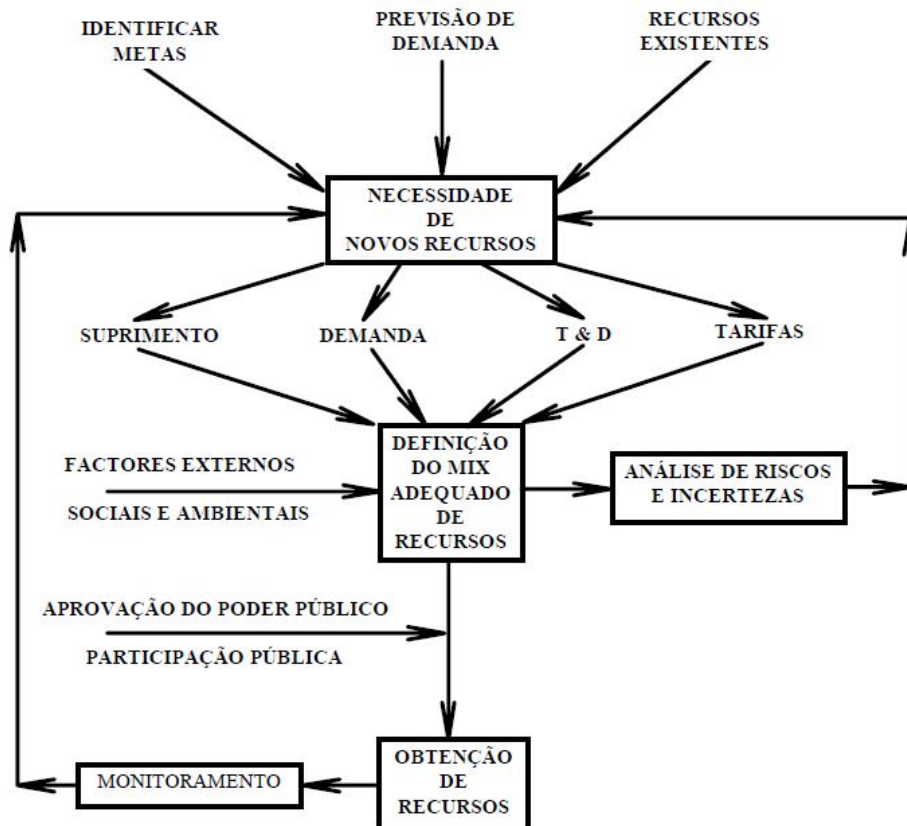


Figura 2- Fluxo do Processo PIR (UDAETA, 1997)

- identificação dos objetivos: onde fica claro o que se pretende com o processo de planejamento;
- estabelecimento da previsão da demanda: onde se identifica, ou se prevê, a demanda existente (por energia, eletricidade, ensino-aprendizado, atendimento de saúde, moradia);
- identificação dos recursos de oferta e demanda: onde se levanta quais os recursos, externos e internos, de oferta e de demanda, estão disponíveis para o atendimento da demanda segundo a meta estabelecida;
- valoração dos recursos de oferta e demanda: nesta etapa se atribui, qualitativa e quantitativamente, atributos aos recursos de tal forma que se permita uma comparação entre eles. Nem sempre é necessário, possível ou desejável que esta valoração se dê apenas em termos de custo. Os objetivos podem levar a atribuição de outros critérios, até mesmo subjetivos;
- desenvolvimento de carteiras de recursos integrados: onde, de acordo com as metas, se agrupam os recursos, de oferta e demanda, em carteiras, de modo que haja diversas opções integradas, segundo o mesmo período de previsão;

- avaliação e seleção de carteiras de recursos integrados: onde se escolhe, dentre as opções de carteiras, os recursos que atendem, segundo os critérios objetivos definidos (menor custo, maior satisfação, etc.), à demanda prevista, de acordo com as metas estabelecidas;
- plano de ação: é onde se define, a partir dos recursos já escolhidos, quais os passos que devem ser dados no curto prazo para que a meta definida no PIR seja atingida.
- o plano integrado de recursos preferencial deve prever instâncias avaliativas, que permitam o monitoramento do plano de ação ao longo do tempo e o seu ajuste à realidade constantemente mutável.

Com um Planejamento Integrado de Recursos bem desenvolvido e devidamente avaliado, é possível analisar a real necessidade de implantação de um projeto, mitigar os impactos ambientais provenientes da obtenção de energia elétrica, e promover o desenvolvimento sustentável (INATOMI; UDAETA, 2005).

CAPÍTULO 3 - SENSORIAMENTO REMOTO: FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS ORBITAIS

3.1 Histórico

A primeira referência que se teve sobre imagem foi em 350 a.C. quando Aristóteles descreveu a produção de imagens através da passagem da luz por um pequeno orifício, mas foi Lucius Annaeus Seneca, em 50 dc, que permitiu o processo da invenção da fotografia quando publicou em seus setes livros conhecidos por *Naturales Quaestiones* vários temas de física e ótica (MARCHETTI; GARCIA, 1986).

Em 1460, Leonardo da Vinci criou a câmara escura que foi melhorada por Daniello Barbaro em 1560 que acrescentou uma lente ao orifício da câmara escura, a fim de melhorar a qualidade da imagem. A fotografia como é conhecida hoje só foi possível em 1839 quando Louis Daguerre encontrou a solução para o problema secular de fixar a imagem de maneira permanente usando o composto químico conhecido como tiosulfato de sódio (hipossulfito) e pouco tempo depois Maxwell (em 1845) descreveu os processos de produzir fotografias coloridas.

Segundo Marchetti e Garcia (1986) o primeiro trabalho prático de fotografia aérea, isto é, o uso de uma máquina fotográfica para problemas de observação começou com Aimé Laussedat no ano de 1850, enquanto trabalhava como oficial engenheiro do exercito francês. Laussedat é considerado o “pai da fotogrametria”, pois trabalhou prodigiosamente e deixou um grande número de trabalhos nesse campo. Sua maior contribuição foi seu método de usar um teodolito em combinação com uma máquina fotográfica (fototeodolito). Esse método de mapeamento é chamado atualmente de fotogrametria terrestre.

A fotogrametria é derivada de três palavras gregas: *Photós* (luz), *Gramma* (escrever) e *Metria* (medidas). Ela pode ser definida como a ciência e a arte de se obterem medidas dignas de confiança por meio de fotografias (MARCHETTI; GARCIA, 1986) com ampla aplicação em diversas áreas, por exemplo, o comprimento de uma rua, a posição de uma auto-estrada, o traçado de curvas de nível, a determinação da elevação de uma queda d’água, a posição relativa de dois automóveis depois de uma colisão, entre outras aplicações.

De acordo com Rocha et al (2003) no começo de 1899 surgiram os primeiros artigos sobre Fotogrametria Analítica. Estes foram feitos pelo alemão Sebastian Finster-walder (1862-1951), que publicou, no mesmo ano, o livro Fundamentos Geométricos da Fotogrametria (Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie). Neste livro, ele descreve toda a teoria sobre a orientação exterior (orientação relativa e absoluta) de um modelo fotogramétrico. Além disso, propôs a obtenção de observações redundantes a serem usadas para recriarem a geometria da tomada dos fotogramas e foi um dos primeiros a estudar o uso do Método dos Mínimos Quadrados na Fotogrametria.

Segundo Brito e Coelho Filho (2007) em 1911, o austríaco Theodore Scheimpflug criou um método bem sucedido de retificação de fotografias aéreas, iniciando um processo de utilização de tais fotografias para mapeamento de extensas superfícies. Os retificadores analógicos passaram a ser utilizados largamente, sendo posteriormente substituídos pelos famosos restituidores analógicos, que permitiam visão estereoscópica através do uso de um par estereoscópico – ou seja, um par de fotografias com área de superposição.

O grande avanço da fotografia aérea aconteceu na primeira e segunda guerra mundial quando foi utilizada como ferramenta para reconhecimento de terreno, detecção de posições inimigas e estratégia militar facilitando o trabalho de observação e mapeamento da terra que antes era realizado por meio de perspectivas desenhadas a mão livre. Com o uso das fotografias aéreas foi possível otimizar custos e tempo no mapeamento de grandes áreas.

O rápido desenvolvimento tecnológico da fotogrametria deu-se a partir da invenção do computador que facilitou o trabalho dos usuários ao processar grande quantidade de dados e abriu espaço para grandes inovações como a utilização de imagens digitais que possibilitou a elaboração de produtos como cartas, ortoimagens (imagens ortorretificadas em perspectiva ortogonal) e os mosaicos digitais que podem ser não-controlados, caso não haja tratamento sobre as imagens e controlado se as imagens forem ortorretificadas. As múltiplas aplicações da fotogrametria criaram a necessidade de dividi-la em duas categorias:

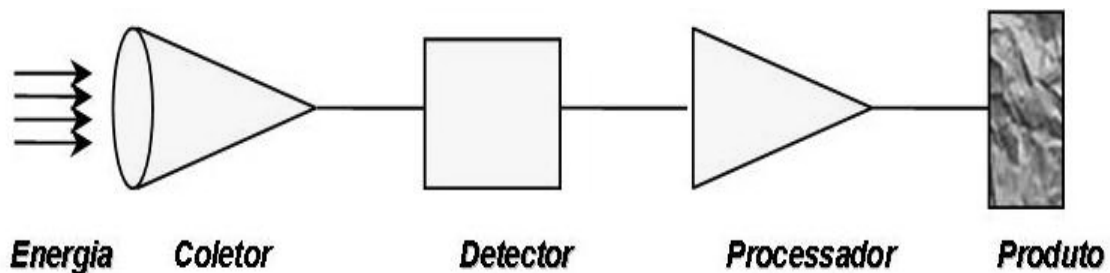
- Fotogrametria Terrestre: são fotografias tomadas a partir de câmeras localizadas na superfície da terra, com o eixo ótico da câmera na horizontal.

- Fotogrametria Aérea ou Aerofotogrametria: as fotografias são tomadas a partir de câmeras localizadas numa estação no espaço (por exemplo: balão, avião, satélite etc). É a categoria mais utilizada para geração de bases cartográficas.

Com o desenvolvimento da tecnologia surgiram termos novos e novas necessidades, principalmente a capacitação de profissionais. Segundo Novo (2008), o início do sensoriamento remoto está cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro método de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto é assim, que a fotogrametria e a fointerpretação são termos muitos anteriores ao termo sensoriamento remoto.

3.2 Princípios Físicos e Resolução dos Sensores Remotos

Sensores remotos são equipamentos capazes de registrar a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície da terra e transformar em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente, podendo ser transportados em aeronaves e espaçonaves. Esses equipamentos incluem as câmaras fotográficas, os scanners eletro-ópticos e os sistemas de radares (FRANCISCO, 2007).



- Coletor** - recebe energia através de uma lente, espelho, antenas etc.
Detector - capta a energia coletada de uma determinada faixa do espectro
Processador - sinal registrado é submetido a um processamento - revelador, amplificação - através do qual se obtém o produto

Figura 3 - Esquema de um Sensor Remoto (Francisco, 2007).

Os sensores remotos são classificados quanto à fonte de energia e o tipo de produto, como detalhado no quadro 1.

Fontes de Energia	Ativos: produzem energia própria		Ex. imagens de radar
	Passivos: dependem de fonte externa		Ex. fotografias aéreas e imagens de satélites.
Tipos de Produtos	Imageadores	Fotográficos	Ex. fotografias aéreas
		Não Fotográficos	Ex. imagens de satélites
	Não Imageadores		Ex. radiômetros de banda e os espectralradiômetros.

Quadro 1 - Classificação dos Sensores Remotos

Sensoriamento remoto é um termo que surgiu na literatura científica na década de 60 com o simples significado de aquisição de informações sem contato físico com os objetos. A melhor definição encontrada acerca de sensoriamento remoto que expressa o seu avanço tecnológico é descrita por Novo (2008).

Podemos definir sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Qualquer atividade requer o uso de energia, portanto os sensores remotos operam através de energia proveniente de fonte natural (luz do sol e o calor emitido pela superfície da terra) e fonte artificial (flash de uma máquina fotográfica e sinal produzido por radar).

A radiação eletromagnética (REM) é a energia utilizada para transmitir informação do objeto ao sensor através de propagação em forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (3×10^8 m/s) com frequência (em hertz- Hz) e comprimento (em metro). As diferentes variedades de ondas eletromagnéticas são distribuídas por regiões que possuem características peculiares, segundo o comprimento de onda e a frequência no espectro eletromagnético.

Observe na figura 4 que as faixas do espectro abrangem desde os raios gama até as ondas de rádio.

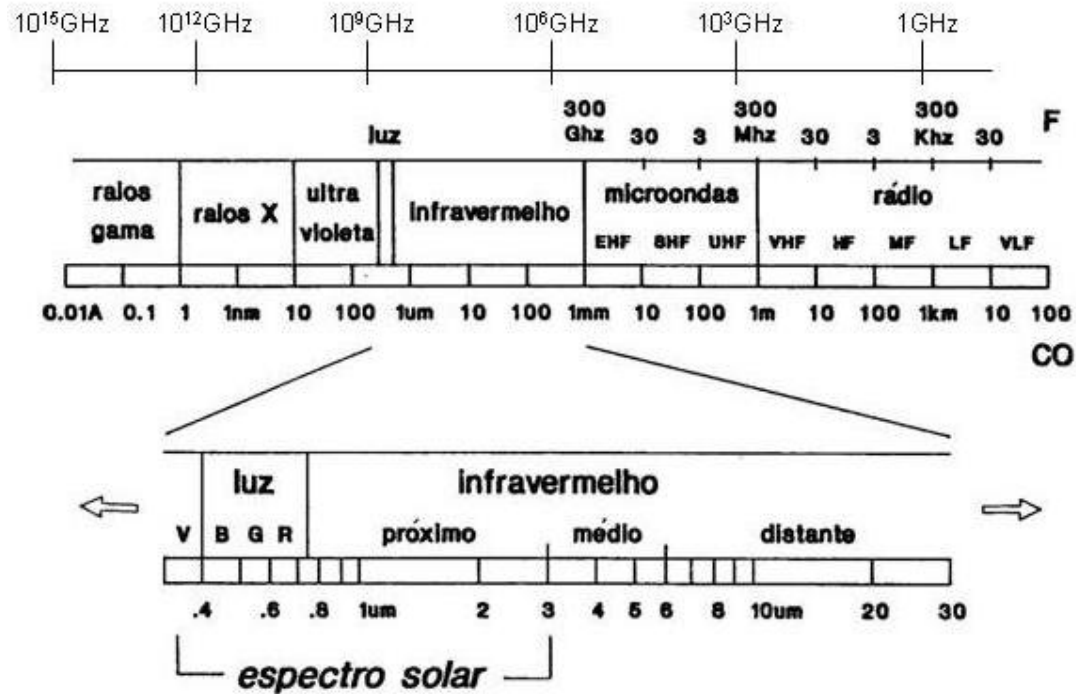


Figura 4 - Espectro Eletromagnético (adaptado de Novo e Ponzoni, 2001).

Segundo Silva (2006) da esquerda para a direita em ordem crescente de comprimento de onda, tem-se:

- Raios gama (<0,01 nm): produzidos pelo decaimento de substâncias radiativas;
- Raios X (0,01 – 10 nm): originados pela desaceleração repentina de elétrons de altas energias ao colidirem com os núcleos dos átomos;
- Ultravioleta (10 – 400 nm): criada por descargas elétricas como relâmpagos;
- Visível (380 – 750 nm): única faixa capaz de ser percebida pelo olho humano é gerada por objetos quentes como o sol ou filamentos de lâmpadas incandescentes quando a temperatura é alta o suficiente para excitar os elétrons de um átomo;
- Infravermelho (0,75 μm – 1 mm): também conhecido como a radiação do calor é produzido pela vibração de moléculas nos materiais;
- Microondas (1 mm – 30 cm): geradas pelos elétrons defletidos por um campo magnético como o que acontece nos magnetrons de fornos de microondas;
- Ondas de rádio (> 30 cm): produzidas por circuitos de oscilação de cargas elétricas como os de emissoras de TV e rádio AM e FM.

Os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo podem refletir, absorver, transmitir e emitir energia em diferentes proporções e, a partir

destas interações podem ser obtidas informações importantes na forma de imagem ou gráfico sobre as características físicas (dimensão, forma, temperatura, cor, etc.) e químicas (composição) dos alvos em estudo.

As quatro resoluções de uma imagem referem-se à capacidade de um sensor “enxergar” ou distinguir objetos da superfície terrestre (Florenzano, 2007). Estas resoluções são denominadas: resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal.

- Resolução espacial: indica o tamanho do menor objeto que é possível representar na imagem, por exemplo, resolução do Landsat 30 metros, que corresponde ao tamanho do pixel;
- Resolução radiométrica: ao adquirir uma imagem por meio de um filme ou por um sensor, sua sensibilidade à energia eletromagnética determina a sua resolução;
- Resolução espectral: representa a largura da faixa do espectro eletromagnético e a quantidade de bandas que cada sensor é capaz de capturar;
- Resolução temporal: se refere ao intervalo de tempo em dias ou horas, que o sistema demora em obter duas imagens consecutivas da mesma região.

No caso específico das fotografias aéreas a resolução espectral refere-se ao número de bandas e a espessura de cada banda que o filme é capaz de cobrir e a resolução temporal é um termo não utilizado para vôos fotogramétricos, pois a área é coberta apenas uma vez (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A área de cobertura de uma imagem coletada a partir do nível orbital é bem maior do que as coletadas de vôos aéreos, mas a imagem mais próxima do solo possuirá maior resolução.

3.3 Fotografias Aéreas

Em termos técnicos, considera-se uma fotografia aérea como aquela obtida por meio de câmara aérea rigorosamente calibrada (com distância focal, parâmetros de distorção de lentes e tamanho de quadro de negativo conhecidos), montada com o eixo ótico da câmara próximo da vertical em uma aeronave devidamente preparada e homologada para receber este sistema (SPOHR, 2009).

Segundo Marchetti e Garcia (1986) as fotografias aéreas, tais como são, não podem ser consideradas como mapas, mas por métodos fotogramétricos, usando-se geometria sólida e plana, pode-se fazer mapas planimétricos e topográficos a partir

de fotografias. O método que se usa é o dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, porque tais fotografias registram as direções e a intersecção de pelo menos duas direções de objetos da terra, o que é necessário para se determinar a posição dos objetos no mapa.

As propriedades geométricas mais significativas de uma fotografia aérea são as propriedades angulares e a escala da fotografia. Em função do ângulo de aquisição ela pode ser classificada em vertical, oblíqua alta e oblíqua baixa.

A fotografia vertical é tirada com o eixo óptico da câmara coincidindo com a linha vertical ou a direção da força da gravidade. Na prática, consideram-se ainda verticais as fotografias com inclinação de até 3° (PAREDES, 1987). Na fotografia oblíqua o eixo ótico da câmera é inclinado intencionalmente em relação à linha vertical, portanto a oblíqua alta apresenta o eixo ótico com um grande desvio onde aparecerá o horizonte, enquanto que na oblíqua baixa o desvio do eixo ótico é bem pequeno. Observe a figura 5.

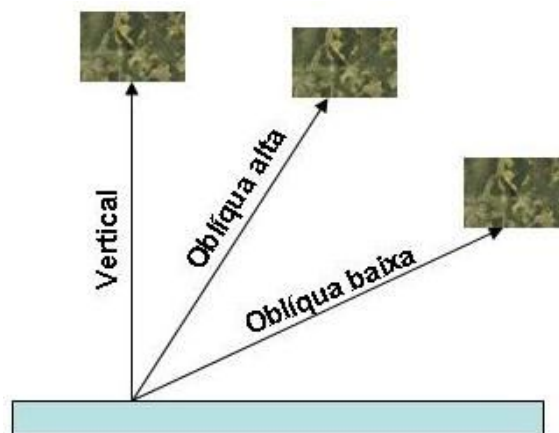


Figura 5 - Geometria de aquisição de fotografias aéreas (adaptada Novo; Ponzoni, 2001).

A escala (E) da fotografia aérea determina o seu valor para diferentes aplicações a partir de duas variáveis: distância focal da câmera (f) e altura do vôo (H) obtida por média aritmética. Assim, a relação matemática f/H determina a escala da fotografia. O formato padrão das fotografias é de 23x23 cm. A tabela abaixo apresenta algumas escalas para distância focal 153 mm (JOHANSSON JUNIOR, 2000):

Tabela 1 - Recobrimentos e áreas de aerofotos 23 cm X 23 cm

Recobrimento Longitudinal	60%	Área p/ Cobertura	100 km ²
Recobrimento Lateral	30%	Fotos de Segurança	15%
Distância focal	153 mm	Perc Útil do Modelo	28%

ESCALA FOTO	ALTURA VÔO (m)	LADO FOTO (m)	REC. LONGITUDINAL (m)	REC. LATERAL (m)	ÁREA FOTO (km ²)	ÁREA COBERTURA ÚNICA (km ²)	NÚMERO FOTOS
4.000	612	920	552	276	0,85	0,24	485
8.000	1224	1840	1104	552	3,39	0,95	121
10.000	1530	2300	1380	690	5,29	1,48	78
15.000	2295	3450	2070	1035	11,90	3,33	35
20.000	3060	4600	2760	1380	21,16	5,92	19
25.000	3825	5750	3450	1725	33,06	9,26	12
30.000	4590	6900	4140	2070	47,61	13,33	9
33.000	5049	7590	4554	2277	57,61	16,13	7

As fotografias aéreas ainda podem ser classificadas quanto ao tipo de filme utilizado:

- Infravermelho falsa cor (ou colorido): os alvos são vistos por cores diferentes daquelas que originalmente possuem. Esse tipo de filme foi desenvolvido durante a II Guerra Mundial com o objetivo de detectar camuflagens, pois nas fotografias falsa cor a vegetação aparece em vermelho e objetos verdes ou vegetação artificial geralmente aparecem em azul/verde.
- Infravermelho preto e branco: a sensibilidade desse filme é muito útil para mapear a condição hídrica dos solos e identificar doenças em plantas. Os objetos são diferenciados por tons de cinzas.
- Colorida: o filme apresenta três camadas sensíveis (vermelho, verde e azul), isto facilita a interpretação de objetos e cenas, mas sua alta sensibilidade aos fenômenos atmosféricos (bruma, névoa, poluição), variação de temperatura e o ângulo de inclinação no instante da tomada da foto influencia na resposta obtida na imagem.
- Pancromática (preto e branco): seu custo é relativamente baixo e sua resposta espectral está bem próxima do espectro visível pelo olho humano, mas sua sensibilidade (mesmo com filtros apropriados) à bruma atmosférica reduz o contraste da imagem.

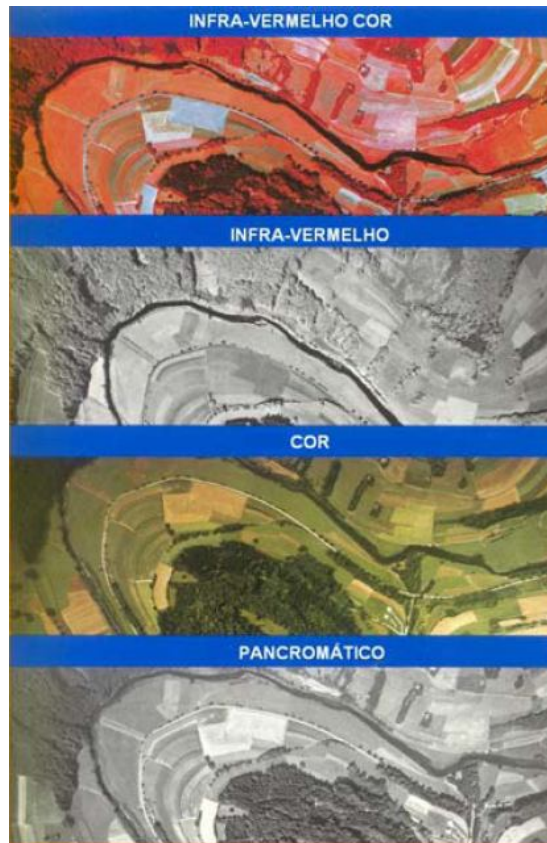


Figura 6. Filmes utilizados em Fotogrametria Aérea (adaptado REDWEIK, 2007)

O voo fotogramétrico é realizado após um completo planejamento da operação, que é resultante de um estudo detalhado com todas as especificações sobre o tipo de cobertura a ser executado. O conjunto de fotografias aéreas necessário para elaboração de estudos ou mapeamento de determinada área é denominado de cobertura aerofotogramétrica.

3.3.1 – Cobertura Aerofotogramétrica

Antes da execução do voo é necessário buscar informações existentes da região através de mapas, fотомosaicos e fotografias aéreas que sirvam como mapabase para delimitar a área do projeto, localizar e determinar o número de pontos de apoio terrestre, definir a direção e o número de linhas de voo, e a quantidade de fotografias. Todas as informações necessárias para um projeto fotogramétrico dependem da finalidade das fotografias, o produto final desejado e a precisão

exigida pelo projeto. Esses fatores vão determinar o tipo de câmara, filme, filtro, aeronave, recobrimento e estabelecer o plano de vôo.

Se o objetivo da cobertura for o mapeamento da região, as linhas de vôo são planejadas com um espaçamento lateral tal que se obtenha uma área comum entre as faixas em torno de 25% a 30%. Estas áreas comuns, resultantes da superposição entre faixas no sentido transversal à direção do vôo, são denominadas de Recobrimento Lateral. Cada fotografia tomada ao longo de uma linha de vôo cobre uma área que se superpõe à área coberta pela fotografia anterior em aproximadamente 60%. Esta superposição entre fotografias consecutivas é denominada Recobrimento Longitudinal. No caso de uma Cobertura cuja finalidade é a obtenção de ortofotos, o Recobrimento Longitudinal é de 80%.

De acordo com Fontes (2005) os recobrimentos longitudinal e transversal têm como objetivo básico o estabelecimento de pontos fotogramétricos de apoio de posições comuns em duas fotos consecutivas para uso na interpretação. A figura 7 mostra os conceitos apresentados:

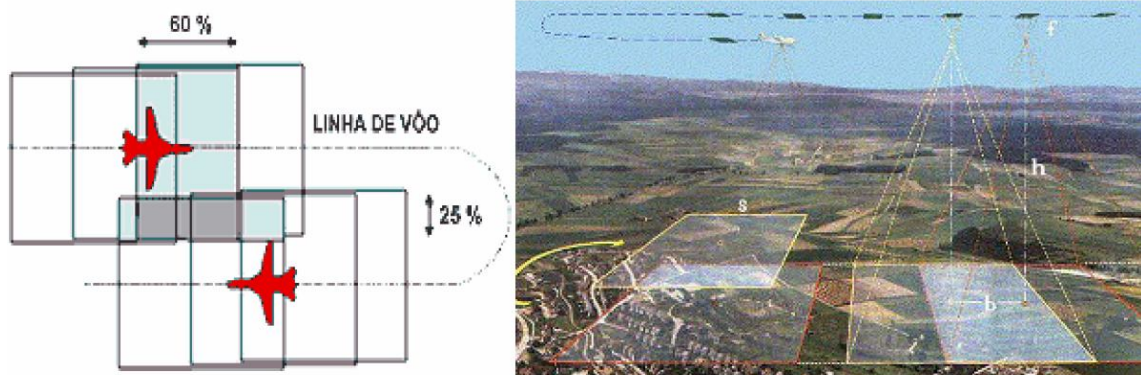


Figura 7 - Recobrimento Lateral e Longitudinal às linhas de vôo (ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A, 2010).

A superposição longitudinal entre duas aerofotos consecutivas resulta em uma imagem estereoscópica. A estereoscopia é explicada por Paredes (1987) como sendo um fenômeno natural que ocorre quando uma pessoa olha simultaneamente duas imagens que foram tiradas da mesma cena, mas de pontos diferentes, fazendo com que cada imagem seja vista com um olho. O resultado é a percepção da profundidade, ou terceira dimensão.

A partir da obtenção das aerofotos é necessário estabelecer a posição correta em um mapa através do processo de restituição. Nesse processo a projeção cônica de cada fotografia é transformada em uma única projeção ortogonal sobre um plano,

onde são traçados os detalhes planialtimétricos para o mapa. A transformação para projeção plana é feita na área de sobreposição de duas fotografias sucessivas, o estereomodelo. A restituição é executada nos estereomodelos, um de cada vez até que se tenha restituído por completo a área de interesse.

As fotografias obtidas poderão gerar mapas, dados numéricos, mosaicos, fotoíndices e ortofotos com fins quantitativos (medição) ou qualitativos (interpretação) que determinará se o levantamento é exploratório, de reconhecimento, semidetalhado ou detalhado. O vôo aerofotogramétrico depende de vários fatores para gerar produtos de boa qualidade, dentre esses fatores considere o quadro 2 adaptada do site do IBGE.

Condições naturais da região	<ul style="list-style-type: none"> - Local a ser fotografado; - Área a fotografar; - Dimensões da área; - Relevo; - Regime de ventos; - Altitude média do terreno; - Variação de altura do terreno; - Mês para execução do vôo; - Nº de dias favoráveis ao vôo.
Apoio logístico	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte; - Hospitais; - Alimentação.
Condições técnicas (base e aeronave)	<ul style="list-style-type: none"> - Base de operação; - Alternativa de pouso; - Recursos na base; - Modelo da aeronave; - Autonomia; - Teto de serviço operacional;

	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidade média de cruzeiro; - Tripulação.
Condições técnicas (plano de vôo)	<ul style="list-style-type: none"> - Altura de vôo; - Altitude de vôo; - Escala das fotografias; - Superposição longitudinal; - Superposição lateral; - Câmara aérea; - Tipo e quantidade de filme empregado; - Rumo das faixas; - Nº de faixas e nº de fotos; - Velocidade máxima (arrastamento); - Tempo de exposição ideal; - Intervalo de exposição; - Distância entre faixas; - Base das fotos.

Quadro 2 - Especificações sobre o tipo de cobertura (Vôo Fotogramétrico)

O fotoíndice é uma montagem por simples sobreposição das fotografias, geralmente publicado em escala reduzida, de uma maneira geral, de três a quatro vezes a escala de vôo. Está voltada para determinar falhas existentes no recobrimento ou mesmo, possibilitar a seleção de fotos adequadas ao propósito do vôo (TEMBA, 2000).

Os mosaicos podem ser não-controlados (fotografias ajustadas pela simples combinação de detalhes), semi-controlados (utiliza pontos de apoio e a triangulação radial) e controlados (fotografias retificadas e padronizadas). Para se obter um mosaico é necessário montar um conjunto de fotografias, em escala aproximada, de forma que todo o conjunto pareça uma única fotografia.

A vantagem de se produzir uma ortofoto está na riqueza de detalhes que a foto pode registrar e que o mapa não tem condições de informar. Os detalhes são fatores dominantes para o trabalho do fotointérprete.

3.3.2 – Fotointerpretação

A diferença entre a fotogrametria e a fotointerpretação é a forma de tratamento dos dados. A fotogrametria está relacionada com a medição de fotos para determinar o posicionamento e a forma geométrica dos objetos, enquanto que a fotointerpretação está relacionada com a arte de examinar as imagens e deduzir a significância dos objetos (MARCHETTI; GARCIA, 1986).

Fotointerpretação é o ato de localizar, descrever e determinar o significado das imagens dos objetos (ou ambiente) em fotografias aéreas (ou outros sensores) através das características das fotografias geradas (escala, qualidade do filme, filtros etc) e dos elementos de reconhecimento mais significativos que são: forma, tamanho, padrão, textura e tonalidade.

Dentre as várias aplicações da fotointerpretação a que interessa neste trabalho é a fotointerpretação aplicada à vegetação. Segundo Loch (2008):

A fotointerpretação da vegetação iniciou-se quando se tornou necessário o levantamento de áreas de difícil acesso por terra. Este estudo exige, basicamente, uma pesquisa das espécies vegetais que compõem a flora da região, sua representação em fotografias e a associação de plantas naturais que, geralmente, aparecem no mesmo local.

A interpretação da vegetação pode ser visual e/ou automática. O sucesso da interpretação visual depende da experiência do fotointérprete e da qualidade do material fotográfico disponível. Na interpretação automática Loch (2008) afirma que o intérprete deve decidir as classes, catalogar características e estabelecer um método de decisão para definir a que classe pertence cada elemento analisado baseando-se em informações seguras da área em estudo, as quais podem ser definidas através de trabalhos de campo ou então da análise de imagens de maior escala.

3.4 Sensores Remotos Orbitais

Nas plataformas de nível orbital estão os balões meteorológicos utilizados nos estudos do clima, da atmosfera terrestre e em previsões do tempo e os satélites que podem produzir imagens para uso meteorológico, mas também são úteis nas áreas de mapeamento e estudo de recursos naturais. O termo satélite empregado atualmente é de origem latina, vinda de *satelles* ou *satellitis*, que significa corpo que gravita em torno de um astro de massa superior (estrela ou planeta).

A definição mais abrangente para sensoriamento remoto orbital é a adotada por Silva (2004):

O sensoriamento remoto orbital pode ser definido como um sistema por meio do qual se obtém informações a respeito dos recursos naturais do planeta Terra, em diversas escalas temporais, espaciais e multiespectrais, pela utilização de sensores colocados em satélites ou espaçonaves. É uma nova tecnologia, denominada geoinformação, envolvendo um conjunto de programas e equipamentos para auxiliar o homem em suas observações sobre o planeta, como por exemplo: determinação de temperatura de superfície, previsão de safras, planejamento urbano, gestão de recursos hídricos, monitoramento de manchas de petróleo no mar, desmatamento, monitoramento de cardumes, etc. O processamento e análise de imagens digitais exigirão algoritmos e técnicas cada vez mais específicos para a automação de etapas na classificação das imagens e extração de feições, uma vez que o sensor vem aumentando rapidamente seu nível de detalhamento.

A primeira fotografia colorida a nível orbital foi obtida a partir de uma câmera automática colocada a bordo da espaçonave (plataforma espacial) MA-4 Mercury em 1961. Em função do tipo de órbita há satélites geoestacionários situados a 35 mil quilômetros acima da superfície da terra (no plano do Equador) que se deslocam à mesma velocidade e direção do movimento de rotação da terra e os satélites de órbita polar com movimentos sincronizados com o sol, ou seja, sua velocidade de deslocamento perpendicularmente ao plano do Equador é tal que sua posição angular em relação ao sol se mantém constante ao longo do ano. Existem diversos tipos de satélites orbitando a Terra:

Militares	IDS (Guerra nas Estrelas)
Telecomunicações	GPS, Iridium, Globalsat, Odyssey, Ico, Intelsat, Intersputinik, Brasilsat, Telecom
Científicos	CERES, MOPITT, MISR, MODIS, ASTER
Meteorológicos	NOAA, METEOSAT, GOES, SCD-2
Observação da Terra	LANDSAT, CBERS, SPOT, IKONOS, JERS, RADARSAT

Quadro 3 - Tipos de Satélites na Órbita da Terra (adaptado SILVA, 2004)

As ciências ambientais sofreram grandes avanços em termos de qualidade, agilidade e número de informações após o advento dos satélites. Os satélites de recursos naturais recobrem grande parte da totalidade da Terra devido à sua órbita quase polar. Os principais sistemas disponíveis são: LANDSAT, SPOT, CBERS, IRS, KOMPSAT, EROS, IKONOS, QUICKBIRD, JERS, ERS, ENVISAT, RADARSAT, ASTER.

3.4.1 – Programa Landsat

O programa Landsat (Land Remote Sensing Satellite) teve início em 1972 com o nome de Earth Resources Technology (ERTS-1), construído a partir de uma modificação no satélite meteorológico Nimbus. As três primeiras séries transportavam a bordo dois sensores: um com sistema de varredura multiespectral (Multispectral Scanner Subsystem – MSS) e outro com sistema de varredura constituído por três câmaras de televisão (Return Beam Vidicon – RBV). O Landsat 4 passou a utilizar o sensor TM (Thematic Mapper) com operação em 7 faixas espectrais, assim como o Landsat 5.

O sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper) foi projetado para ser levado a bordo do Landsat 6, mas não entrou em operação devido à falha ocorrida no lançamento do satélite. O sensor ETM evoluiu para o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) e PAN (pancromático), lançado em 1999 a bordo do Landsat 7; este instrumento manteve os mesmos intervalos espectrais, ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros, além de tornar a banda pancromática (banda 8) operante e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução.

A National Space and Space Administration (NASA) administra a operação do satellite em órbita, enquanto a produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS (United States Geological Survey). No Brasil, o INPE e algumas empresas privadas comercializam as imagens do LANDSAT 4, 5 e 7.

No quadro 4 seguem informações técnicas dos sensores TM e ETM+ utilizados no Landsat 5 e 7, respectivamente.

Sensor TM (Landsat 5)			Sensor ETM+ (Landsat 7)		
Bandas Espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Bandas Espectrais	Resolução espectral	Resolução Espacial
(B1) Azul	0.45-0.52	30 m	(B1) Azul	0.45-0.515	30 m
(B2) Verde	0.52-0.60	30 m	(B2) Verde	0.525-0.605	30 m
(B3) Vermelho	0.63-0.69	30 m	(B3) Vermelho	0.63-0.69	30 m
(B4) Infravermelho próximo	0.76-0.90	30 m	(B4) Infravermelho próximo	0.76-0.90	30 m
(B5) Infravermelho médio	1.55-1.75	30 m	(B5) Infravermelho médio	1.55-1.75	30 m
(B6) Infravermelho termal	10.4-12.5	120m	(B6) Infravermelho termal	10.4-12.5	60 m
(B7) Infravermelho médio	2.08-2.35	30m	(B7) Infravermelho médio	2.09-2.35	30 m
			(B8) Pancromático	0.52-0.90	15 m

Quadro 4 - Dados Técnicos dos Satélites LANDSAT 5 e 7 (adaptado EMBRAPA, 2009)

As especificações sobre resoluções (espacial e radiométrica) e dimensões da imagem são:

- Resolução temporal dos dois sensores é de um ciclo a cada 16 dias;
- Resolução Radiométrica TM e ETM+: 8 bits = 256 níveis 8 bits = 256 níveis;
- Dimensões da imagem (em km): TM = 185 x 185 e ETM+ = 183 x 183.

Cada banda representa a resposta em certa faixa espectral. De acordo com Silva (2002) a aplicação das bandas espectrais do satélite landsat 5:

- Banda 1 (0,450 - 0,520 μm) Azul: útil para mapeamento de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação, mapeamento de florestas e detecção de feições culturais (mancha urbana, rodovias, etc.), entre outras;
- Banda 2 (0,520 - 0,600 μm) Verde: apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Corresponde à reflectância da vegetação verde e sadia. Também é útil para identificação de feições culturais;
- Banda 3 (0,630 - 0,690 μm) Vermelho: útil para discriminação entre espécies de plantas e delinear solo e feições culturais. Permite um bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação. (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana e identificar áreas agrícolas;
- Banda 4 (0,760 - 0,900 μm) Infravermelho próximo: permite estimar a quantidade de biomassa de vegetação presente em uma cena. É útil para identificação de culturas agrícolas, enfatizando a diferenciação solo/agricultura e água/solo. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia, permitindo a análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto e queimadas;
- Banda 5 (1,550 - 1,750 μm) Infravermelho médio: apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar o stress hídrico da vegetação. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. Pode ser usada para discriminação entre nuvens, neve e gelo;
- Banda 6 (10,40 - 12,50 μm) Infravermelho termal: apresenta sensibilidade nos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. Útil para avaliações de stress em plantas, intensidade de calor, aplicações de inseticida e estudos de atividade geotermal;
- Banda 7 (2,080 - 2,350 μm) Infravermelho médio: apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e

Geologia. Útil para a discriminação de tipos de rochas e estudo de solos, como também para estudar o conteúdo da umidade e da vegetação do solo.

O Landsat 7 funcionou corretamente até 2003, quando apresentou problemas de hardware e começou a operar com o espelho corretor de linha (SLC) desligado. Desde então, as imagens continuam adquiridas e enviadas para a Terra, mas para torná-las aptas à utilização necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels (EMBRAPA, 2009).

3.4.2 – Comportamento espectral dos alvos

Os sensores a bordo dos satélites apresentam em média 7 bandas que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético; conhecendo o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre é possível escolher as bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais.

A energia Incidente (I) sobre os alvos da superfície terrestre interage de formas diferentes de acordo com as características geométricas e físico-químicas de cada um deles. Esta interação é específica para cada alvo e pode ser medida através da energia Refletida (R), energia Absorvida (A) e a energia Transmitida (T), onde cada componente é uma função do comprimento de onda. A igualdade é um balanço da energia e explica de uma forma geral a reflexão, absorção e a transmissão através da equação 2.1.

$$I = R + A + T \quad (3.1)$$

Segundo Novo (2008), através da análise da curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa é possível identificar três regiões espectrais, em função dos fatores que condicionam seu comportamento:

- a) até 0,7 μm a reflectância é baixa (< que 20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm , há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância, não atingindo, porém, níveis superiores a 20%. É a reflectância responsável pela percepção da cor verde da vegetação;
- b) de 0,7 μm a 1,3 μm , tem-se a região dominada pela alta reflectância da vegetação (30% < ρ < 40%), devido à interferência da estrutura celular (estrutura do mesófilo);

c) entre 1,3 μm e 2,5 μm , a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas. Nessa região, encontram-se dois máximos de absorção pela água; em 1,4 μm e 1,95 μm , a esta região correspondem também às bandas de absorção atmosférica; por isto, os sensores desenvolvidos têm suas faixas espectrais deslocadas para regiões menos sujeitas à atenuação atmosférica (NOVO, 2008). Observe a figura 8.

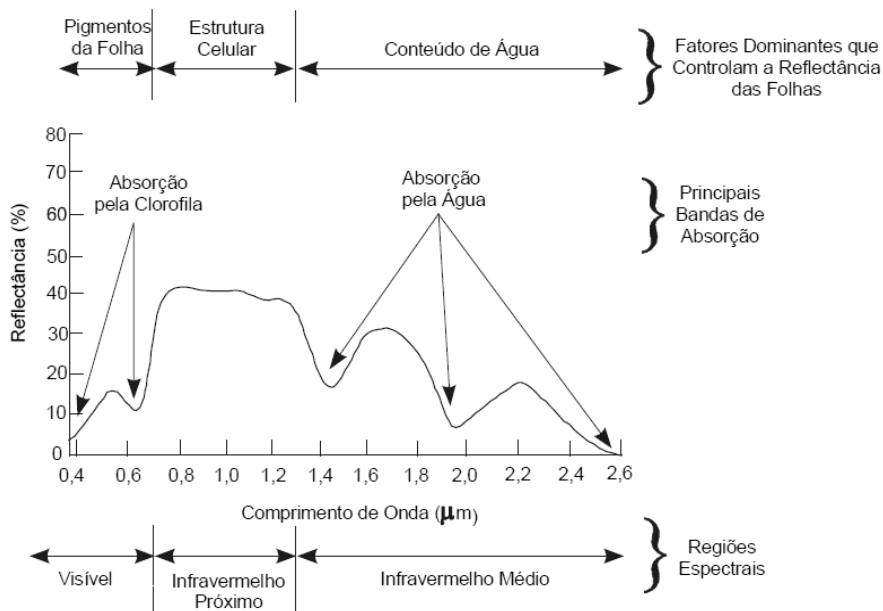


Figura 8- comportamento espectral de uma folha (BATISTA, 2007)

O comportamento espectral de folhas verdes apresenta em geral uma configuração que permite a distinção de qualquer espécie na presença de outros objetos.

3.5 Processamento Digital de Imagens Aéreas e Orbitais

O uso de imagens de sensores remotos digitais tem demonstrado grande utilidade em levantamentos e pesquisas ambientais como pode ser confirmado no trabalho de Aquino, Vieira e Cruz (2005) onde eles utilizam técnicas de sensoriamento remoto para o diagnóstico de recursos vegetais com potencial energético na Amazônia.

O termo processamento digital de imagens (PDI) compreende o conjunto de técnicas que tem por finalidade a extração de informações das imagens digitais.

Com o intuito de refinar e agrupar um elevado número de informações são utilizados os métodos de aquisição, realce (ou pré-processamento), segmentação, pós-processamento, extração de atributos e classificação.

O PDI tem como objetivo melhorar as características estruturais da imagem fornecendo elementos para a sua interpretação, de forma que permita a sua utilização para o reconhecimento de ambientes para aplicações em mapeamentos e também para outros processamentos.

Uma imagem é constituída de elementos de resolução (Picture Element) que representam um valor relacionado com a radiância de uma determinada superfície terrestre. A dimensão desta superfície é função das características do sensor e da plataforma que o sustenta. O sensor registra a radiação eletromagnética refletida de uma específica porção da superfície terrestre na qual se encontram alvos distintos, cada um com suas próprias características de interação com a REM incidente. Como resultado, o sensor registrará um único valor numérico relacionado à radiância medida que se apresentará como uma média das radiâncias de todos os alvos contidos no elemento de resolução, o qual é costumeiramente denominado pixel (NOVO; PONZONI, 2001).

O pixel é o menor elemento (ponto) que forma uma imagem digital. A qualidade de uma imagem digital se dará sobre dois aspectos, a quantidade de pixel por unidade de área, em geral pixels/polegada (resolução da imagem), e o número de pixels na horizontal e na vertical (tamanho da imagem em centímetros). O pixel é usado como unidade de medida para descrever a dimensão geométrica de uma imagem.

As imagens digitais são caracterizadas por uma função em duas dimensões $f(x,y)$, em que x e y são as coordenadas de um determinado ponto e a amplitude de f no par ordenado (x,y) é chamado de intensidade ou nível de cinza. Esta função pode ser representada matematicamente por uma matriz, em que cada elemento desta matriz é a amplitude de f e as coordenadas x e y correspondem às colunas e linhas. O processamento computacional da função depende da digitalização das coordenadas espaciais (x,y) e da amplitude (f) denominada amostragem e quantização em níveis de cinza, respectivamente (GONZALEZ; WOODS, 2000).

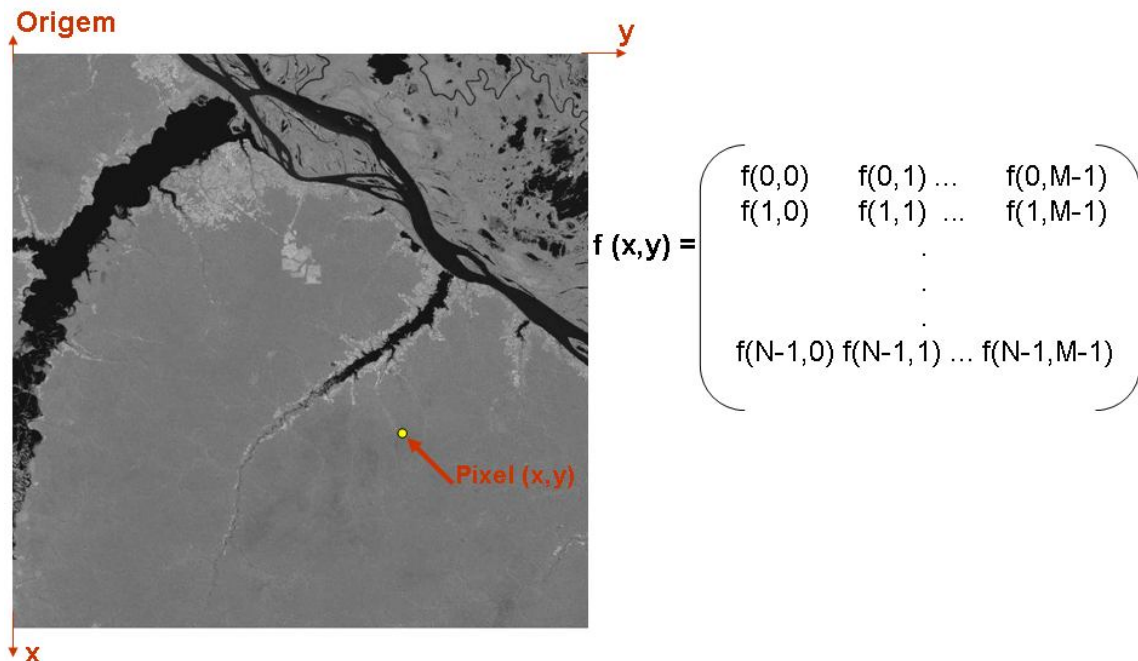


Figura 9 - Representação de uma imagem digital arranjada na forma de uma matriz N x M.

A imagem contínua $f(x,y)$ é aproximada por amostras igualmente espaçadas, arranjadas na forma de uma matriz N x M como foi apresentado na figura 9. As tonalidades mais claras sempre terão números maiores, pois correspondem a uma quantidade maior de energia chegando ao sensor. Para um número de tons igual a 2^k , o tom mais escuro será igual a 0 e o mais claro, igual a $2^k - 1$.

As imagens digitais podem ser coloridas representadas no sistema RGB por três canais de cores (R (Red), G (Green) e B (Blue)) ou em níveis de cinza. Segundo Brito e Coelho Filho (2007) uma imagem colorida pode ser representada por uma combinação de três imagens em tons de cinza que expressam três bandas do espectro e que são projetadas sobre uma mesma superfície através dos filtros vermelho, azul e verde (um filtro para cada imagem). Assim, uma imagem colorida de 16 milhões de cores ($\cong 16.777.216$ cores) é uma combinação de três imagens de 256 níveis cada, ou ainda, uma imagem de 8 bits por banda, exibindo três bandas.

Através do comando "imread" no toolbox de processamento de imagens do matlab é possível ler a matriz da imagem que apresenta o seguinte formato vetorial:

$$f(x,y) = (fR(x,y), fG(x,y), fB(x,y)) \quad (3.2)$$

Onde:

$x \rightarrow$ é a linha da matriz

$y \rightarrow$ é a coluna da matriz

$fR(x,y) \rightarrow$ intensidade do vermelho

$fG(x,y) \rightarrow$ intensidade do verde

$fB(x,y) \rightarrow$ intensidade do azul.

A função `"I=imread('tuc10x10.jpg');"` captura a matriz numérica da imagem e a função `"image(I)"` mostra a imagem utilizada.

A imagem $10 \times 10 \times 3$ é uma matriz de 10 colunas e 10 linhas que totalizam 100 pixels representada nos três canais de cores (RGB).

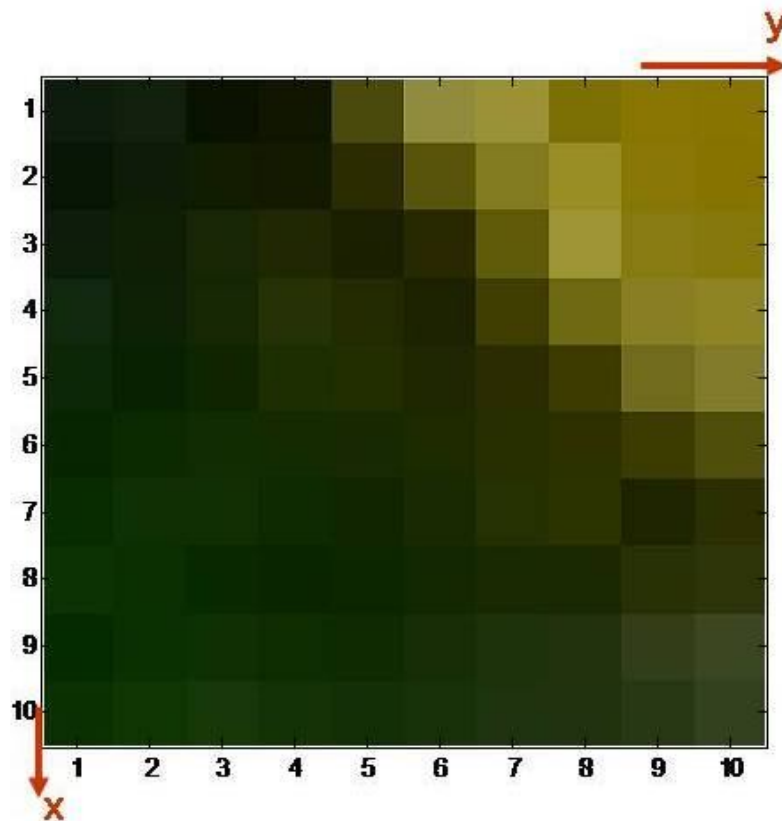


Figura 10 - Imagem RGB com 100 pixels.

A representação no sistema RGB pode ser vista no matlab através do comando `"impixelregion"` que retorna a imagem com os três valores de cada pixel.

R: 14	R: 18	R: 10	R: 16	R: 74	R:145	R:155	R:124	R:137	R:136
G: 28	G: 31	G: 19	G: 22	G: 74	G:139	G:146	G:112	G:117	G:116
B: 13	B: 11	B: 0	B: 0	B: 14	B: 61	B: 53	B: 4	B: 2	B: 0
R: 8	R: 14	R: 17	R: 19	R: 43	R: 88	R:130	R:153	R:136	R:135
G: 22	G: 27	G: 28	G: 26	G: 44	G: 84	G:123	G:142	G:120	G:116
B: 5	B: 7	B: 0	B: 0	B: 0	B: 10	B: 32	B: 37	B: 7	B: 0
R: 12	R: 15	R: 24	R: 31	R: 26	R: 41	R: 96	R:157	R:136	R:134
G: 29	G: 31	G: 38	G: 40	G: 31	G: 41	G: 91	G:148	G:123	G:120
B: 10	B: 5	B: 5	B: 0	B: 0	B: 0	B: 7	B: 53	B: 19	B: 11
R: 17	R: 13	R: 22	R: 37	R: 33	R: 29	R: 64	R:111	R:136	R:142
G: 40	G: 33	G: 39	G: 50	G: 42	G: 34	G: 62	G:105	G:127	G:132
B: 14	B: 5	B: 3	B: 6	B: 0	B: 0	B: 0	B: 19	B: 34	B: 35
R: 12	R: 8	R: 15	R: 29	R: 33	R: 31	R: 42	R: 61	R:113	R:129
G: 39	G: 34	G: 37	G: 46	G: 46	G: 39	G: 45	G: 59	G:107	G:122
B: 6	B: 0	B: 0	B: 1	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 29	B: 42
R: 6	R: 11	R: 17	R: 20	R: 23	R: 30	R: 39	R: 45	R: 60	R: 79
G: 38	G: 42	G: 44	G: 43	G: 41	G: 43	G: 47	G: 49	G: 60	G: 78
B: 0	B: 0	B: 1	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 11
R: 8	R: 15	R: 16	R: 14	R: 16	R: 26	R: 37	R: 43	R: 31	R: 44
G: 44	G: 48	G: 48	G: 42	G: 38	G: 42	G: 49	G: 51	G: 36	G: 47
B: 0	B: 3	B: 1	B: 0	B: 0	B: 0	B: 1	B: 0	B: 0	B: 0
R: 12	R: 10	R: 8	R: 8	R: 12	R: 19	R: 26	R: 28	R: 40	R: 46
G: 50	G: 46	G: 41	G: 37	G: 38	G: 40	G: 41	G: 41	G: 49	G: 53
B: 1	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 6	B: 9
R: 4	R: 10	R: 15	R: 13	R: 15	R: 23	R: 29	R: 34	R: 50	R: 59
G: 42	G: 47	G: 48	G: 45	G: 42	G: 45	G: 50	G: 50	G: 62	G: 71
B: 0	B: 0	B: 1	B: 0	B: 0	B: 6	B: 11	B: 13	B: 24	B: 33
R: 10	R: 16	R: 22	R: 19	R: 19	R: 24	R: 29	R: 33	R: 40	R: 51
G: 48	G: 54	G: 55	G: 51	G: 47	G: 49	G: 51	G: 50	G: 56	G: 65
B: 0	B: 3	B: 8	B: 4	B: 6	B: 9	B: 15	B: 16	B: 20	B: 30

Figura 11- Componentes RGB em cada pixel da figura 8.

O tamanho do pixel está diretamente relacionado com a capacidade de se discernir objetos no terreno; quanto menor o tamanho do pixel, maior é a resolução espacial da imagem digital. A resolução radiométrica está ligada à capacidade de discernir quantidades cada vez maiores de tons dentro de uma determinada banda do espectro eletromagnético. Uma imagem de 256 tons de cinza ($256 = 2^8$, 8 bits/pixel) permiti 256 variações numéricas diferentes (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

Para assegurar que os pixels das imagens a serem trabalhadas sejam referentes à mesma área no terreno é necessário registrar essa imagem através da transformação geométrica que relaciona as coordenadas planas de um determinado objeto com as coordenadas de referência. Georreferenciamento é o registro executado quando as coordenadas de referência modelam a superfície terrestre (exemplo: latitude, longitude e altitude, coordenadas UTM, etc.).

O conceito de vizinhança entre pixels é muito importante para realização de várias operações no processamento de imagens digitais. Um pixel p pode ter 4 vizinhos horizontais e verticais, cujas coordenadas são $(x+1, y)$, $(x-1, y)$, $(x, y+1)$ e $(x, y-1)$, estes pixels formam a 4-vizinhança de p , $N4(p)$. Os 4 vizinhos diagonais de p são os pixels de coordenadas $(x+1,y+1)$, $(x+1,y-1)$, $(x-1, y+1)$ e $(x-1, y-1)$ que constituem a vizinhança $Nd(p)$. A união do conjunto $N4(p)$ com $Nd(p)$ forma o $N8(p)$, conforme figura 12.

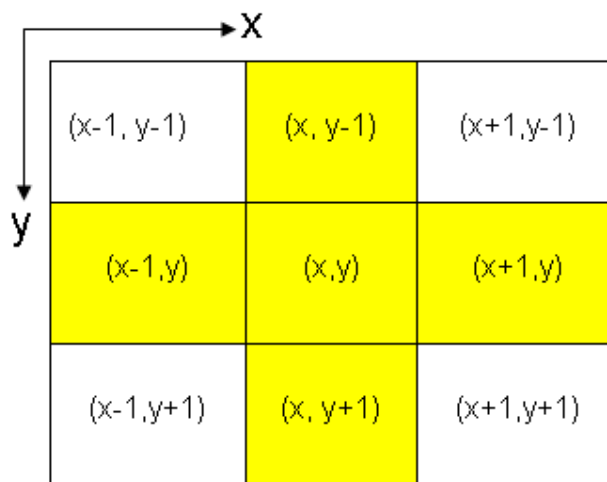


Figura 12 - Representação da vizinhança de um pixel

A conectividade entre pixels pertencente à mesma região em uma imagem resulta da sua vizinhança, a qual obedece ao critério de adjacência (4 pixels) e de similaridade em seus níveis de cinza (8 pixels).

As imagens brutas apresentam distorções radiométricas e geométricas inerentes e dependentes do sistema sensor utilizado que precisam de correção através das técnicas de pré-processamento antes de serem utilizadas nas aplicações. Do mesmo modo que os métodos de realce enfatizam feições de interesse na imagem, elas também realçam as imperfeições na mesma; por isso é necessário que ruídos ou outras imperfeições intrínsecas nas cenas sejam removidas ou atenuadas antes da aplicação de técnicas de realce. É necessário desenvolver algoritmos específicos para remoção ou redução de ruídos presentes nas imagens digitais. Embora alguns tipos de distorções sejam corrigidas na estação de recepção de imagens há ainda necessidade de se realizar algumas correções

antes da fase de processamento de imagens, propriamente dita. Algumas distorções, tais como as provocadas pelo efeito atmosférico, são muito complexas e difíceis de serem corrigidas (FONSECA, 2000).

Na área de processamento de imagens digitais um dos grandes desafios é a extração rápida de informações a partir das imagens para a realização de análise. A questão fundamental na extração é a simplificação da imagem, reduzindo as informações a regiões homogêneas, permitindo uma representação mais adequada. Essa tarefa é conhecida como problema da segmentação. Devido à diversidade de uso e tipos distintos de dados, não existe uma solução única para todas as aplicações da segmentação, o que dá origem a diversas técnicas e métodos (SALDANHA; FREITAS, 2009).

Os algoritmos de segmentação permitem achar diferenças entre dois ou mais objetos, e distinguir as partículas umas das outras e do fundo. Esta distinção permitirá ao programa interpretar pixels contíguos e agrupá-los em regiões. Os algoritmos de segmentação para imagens monocromáticas são geralmente baseados em uma das seguintes propriedades básicas de valores de níveis de cinza: descontinuidade e similaridade. Na descontinuidade a abordagem é particionar a imagem baseado em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As principais áreas de interesse são a detecção de pontos isolados, detecção de linhas e bordas na imagem. Na similaridade as principais abordagens baseiam-se em limiarização e crescimento de regiões.

Segundo Gilat (2006) os histogramas são gráficos destinados à apresentação de uma distribuição de dados. Toda a faixa de um determinado conjunto de dados é dividida em intervalos menores e o histograma mostra quantos pontos do conjunto de dados estão em cada intervalo.

De acordo com Gonzalez e Woods (2000), o histograma apresenta uma estimativa da probabilidade de ocorrência de um determinado nível de cinza, fornecendo uma descrição global da aparência de uma imagem. A análise da forma de um histograma demonstra informações sobre a possibilidade de realce do contraste. Uma imagem com bom contraste possui um histograma cujas barras estão razoavelmente espalhadas ao longo de todo o intervalo da escala.

O Histograma nos dá uma idéia da luminosidade média (mais escura ou mais clara) e da homogeneidade da imagem. Os histogramas com médias baixas representam imagens mais escuras enquanto que com médias altas representam

imagens mais claras. O desvio padrão baixo representa imagens homogêneas, com pouca variabilidade e o desvio padrão alto representam imagens heterogêneas, com grande variabilidade. A figura 13 apresenta quatro histogramas de diferentes tipos de cenas.

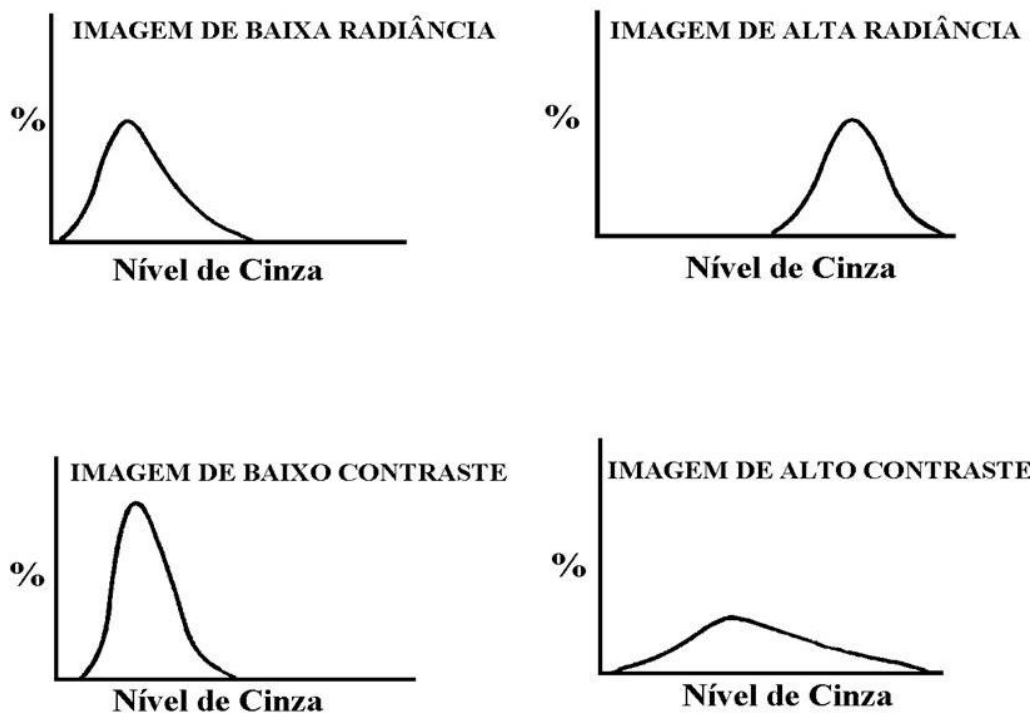


Figura 13 - Características dos histogramas para diferentes tipos de imagens (adaptado de NOVO, 2008).

Ao invés do uso de histogramas, o realce local pode ser baseado em outras propriedades de intensidade de pixels em uma vizinhança. A média de intensidade e a variância (desvio padrão) são duas propriedades freqüentemente usadas devido a suas relevâncias para a aparência de uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2000). A média em uma imagem fornece informações sobre o brilho, a variância sobre o contraste e a covariância descreve o grau de correlação existente entre cada par de bandas.

Após as etapas do processamento da imagem digital é necessário classificar/agrupar padrões através da interpretação automatizada. O tipo de classificador adotado nesse trabalho são as redes neurais artificiais que serão definidas no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 - REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

De acordo com Soares (1997), a atividade do Sistema Nervoso se faz por meio da transmissão de impulsos nervosos que se processam rapidamente através das cadeias de neurônios. Os neurônios representam a sede de comando das células, onde todos os dados são computados ou processados, resultando na percepção de sensações, no envio de ordens, no armazenamento da memória, na interpretação e associação de fatos etc.

Ludwig Junior e Costa (2007) definem a anatomia do neurônio biológico da seguinte forma:

- Os dendritos, que tem por função, receber os estímulos transmitidos pelos outros neurônios;
- O corpo de neurônio, também chamado de soma, que é responsável por coletar e combinar informações vindas de outros neurônios;
- E finalmente o axônio, que é constituído de uma fibra tubular que pode alcançar até alguns metros, e é responsável por transmitir os estímulos para outras células.

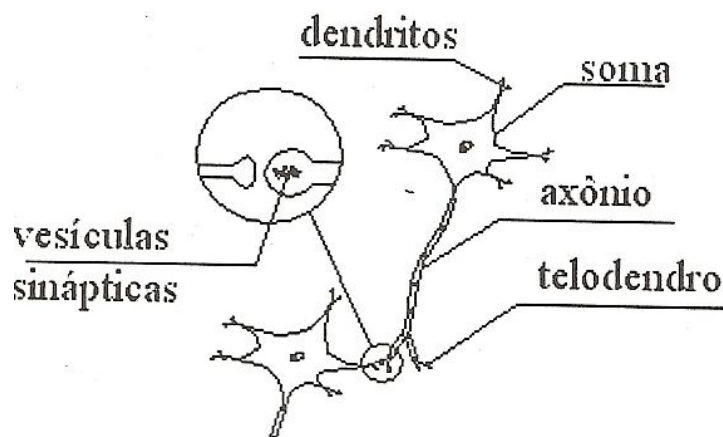


Figura 14 – Componentes do neurônio biológico (LUDWIG JUNIOR; COSTA, 2007).

A neurocomputação é uma ciência ligada ao desenvolvimento e estudo das Redes Neurais Artificiais (RNAs). As primeiras informações sobre neurocomputação surgiram em 1943, em artigos de um neurofisiologista chamado Warren McCulloch, do MIT, e pelo matemático Walter Pitts da Universidade de Illinois, onde fizeram uma analogia entre células nervosas vivas e o processo eletrônico em um trabalho publicado sobre "neurônios formais", simulando o comportamento do neurônio natural, onde o neurônio possuía apenas uma saída, que era uma função da soma

de valor de suas diversas entradas. O trabalho consistia num modelo de resistores variáveis e amplificadores representando conexões sinápticas de um neurônio biológico.

A semelhança com o neurônio é muito grande, pois ambos possuem disparos de saídas, podendo receber várias entradas, e direcionando em uma única saída.

Observe na figura:



Figura 15 - Neurônio biológico e Neurônio artificial

A neurocomputação executa processos bem diferentes dos computadores convencionais e isto pode ser observado no quadro a seguir:

Computadores	Neurocomputadores
Executa programas	Aprende
Executa operações lógicas	Executam operações não lógicas, transformações, comparações.
Depende do modelo ou do programador	Descobre as relações ou regras dos dados e exemplos
Testa uma hipótese por vez	Testa todas as possibilidades em paralelo

Quadro 5 – Quadro comparativo entre computadores e neurocomputadores

As redes neurais artificiais representam uma tecnologia que tem raízes em muitas disciplinas: neurociência, matemática, estatística, física, ciência da computação e engenharia.

Devido o nível de complexidade das redes neurais não existe um único conceito que defina rede neural, mas de acordo com Haykin (2001) uma rede neural é uma máquina que é projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função interesse; a rede é normalmente implementada utilizando-

se componentes eletrônicos ou é simulada por programação em um computador digital.

As redes neurais artificiais (RNAs) são construídas através de um sistema que busca simular o comportamento executado pelo cérebro humano, porém numa forma ainda extremamente rudimentar do ponto de vista da eficiência (SANTOS et al, 2002). De acordo com Braga, Ludermir e Carvalho (2000) afirmam que uma das propriedades mais importantes de uma rede neural artificial é a capacidade de aprender por intermédio de exemplos e fazer inferências sobre o que aprendeu, melhorando gradativamente o seu desempenho.

As RNAs são um método de solucionar problemas de inteligência artificial, através de um sistema que simula o cérebro humano, inclusive seu comportamento, ou seja, aprendendo, errando e fazendo descobertas. São técnicas computacionais que adquirem conhecimento através da experiência.

Segundo Tafner e Xerex (1996) as conexões entre os neurônios procuram simular as conexões sinápticas biológicas fazendo uso de uma variável chamada peso (w). A função de soma acumula os dados recebidos (estímulos) de outros elementos, e a função de transferência processa a função soma transformando-a.

Pode-se representar um neurônio de uma rede neural artificial como uma função matemática consistindo num somatório ponderado de várias entradas que produzem como sinal de saída uma tensão elétrica.

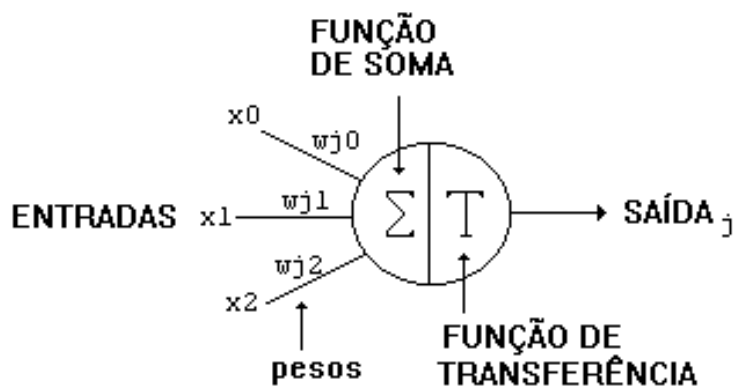


Figura 16 – Diagrama esquemático de um neurônio artificial (TAFNER; XEREX; RODRIGUES FILHO, 1996).

Observa-se que cada sinal de entrada x_i é multiplicado por um peso w_{ki} , sendo k o neurônio. Estes valores são somados na junção aditiva e depois é

aplicada a função de ativação $\varphi(\cdot)$ que restringe o valor da saída a um intervalo pré-definido.

Matematicamente, pode-se descrever as equações como:

$$u_k = \sum w_{ki} \cdot x_i \quad (4.1)$$

$$y_k = \varphi(u_k) \quad (4.2)$$

É importante citar que a entrada fixa $x_1 = 1$ e $w_{k1} = b_k$ representam uma 'tensão' externa que reforça ou diminui a entrada líquida da função de ativação.

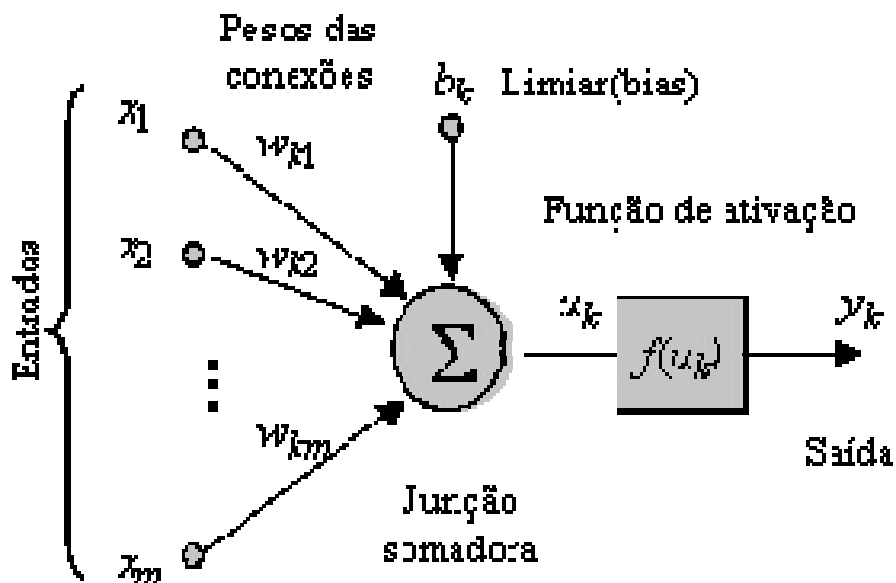


Figura 17 – Modelo matemático de um neurônio (adaptado de Haykin, 2001)

Um fator de extrema importância para as redes neurais é a definição da função de ativação. Existem diversas funções matemáticas utilizáveis, entretanto, hoje as funções do tipo sigmóide são as de maior utilização, pois possuem uma característica importante para definição dos pesos w_{ki} por serem diferenciáveis. Isso permite a construção de algoritmos de aprendizagem e memorização, pois dada uma equação, pode-se determinar seus pontos de máximo e mínimo por meio da resolução das equações diferenciais encontradas (MENEZES, 2001).

4.1 Métodos de Treinamento

O que mais desperta atenção nas redes neurais é a habilidade de aprender (reter na memória) e com isso melhorar o seu desempenho. O treinamento da rede

neural pode ser dividido em duas fases: uma de aprendizagem e outra de validação. Na primeira fase, um conjunto conhecido de dados de entrada X e de saída Y é apresentado à rede. Em seguida, os pesos entre os neurônios (estabelecidos aleatoriamente no início), são ajustados até a entrada produzir a saída desejada.

O treinamento é realizado através de modificações nos pesos do neurônio artificial e para que esta rede (neural) possa aprender uma determinada função é montando um conjunto de procedimentos bem definidos chamado algoritmo de aprendizado; os algoritmos podem ser de vários tipos e o que o define é o modo como os pesos são modificados. Observe o processo de aprendizado:

De acordo com Braga, Ludermir e Carvalho (2000), a aprendizagem é o processo pelo qual os parâmetros de uma rede neural são ajustados através de uma forma continuada de estímulo pelo ambiente no qual a rede está operando, sendo o tipo específico de aprendizagem realizada definido pela maneira particular como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros.

O conhecimento de uma rede neural está armazenado nas sinapses entre os neurônios, ou seja, nos pesos atribuídos. Quanto ao processo de aprendizado foram desenvolvidos diversos métodos e estes podem ser representados de duas formas: o aprendizado supervisionado, o aprendizado não-supervisionado, o aprendizado por competição e o híbrido que será visto nos sub-itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4.

4.1.1 Aprendizado Supervisionado

Nesse tipo de aprendizado a rede é treinada com o auxílio de um supervisor que apresenta a rede neural um conjunto de dados de entrada padronizados e padrões de saída correspondentes. Se estas saídas não apresentarem os dados esperados e caso essas saídas não ocorram, o supervisor deverá ajustar os pesos sinápticos até que a resposta seja o resultado desejado para aquele vetor de treinamento. O primeiro modelo de RNAs a usar este tipo de aprendizado foi o perceptron. Este sistema de aprendizagem é capaz de realizar tarefas como classificação de padrões e aproximação de funções.

Na verdade, a resposta desejada representa a ação ótima a ser realizada pela rede neural. Os parâmetros da rede são ajustados sob a influência combinada do vetor de treinamento e do sinal de erro. O sinal de erro é definido como a

diferença entre a resposta desejada e a resposta real da rede (HAYKIN, 2001). A figura a seguir mostra um sistema de aprendizagem supervisionada.

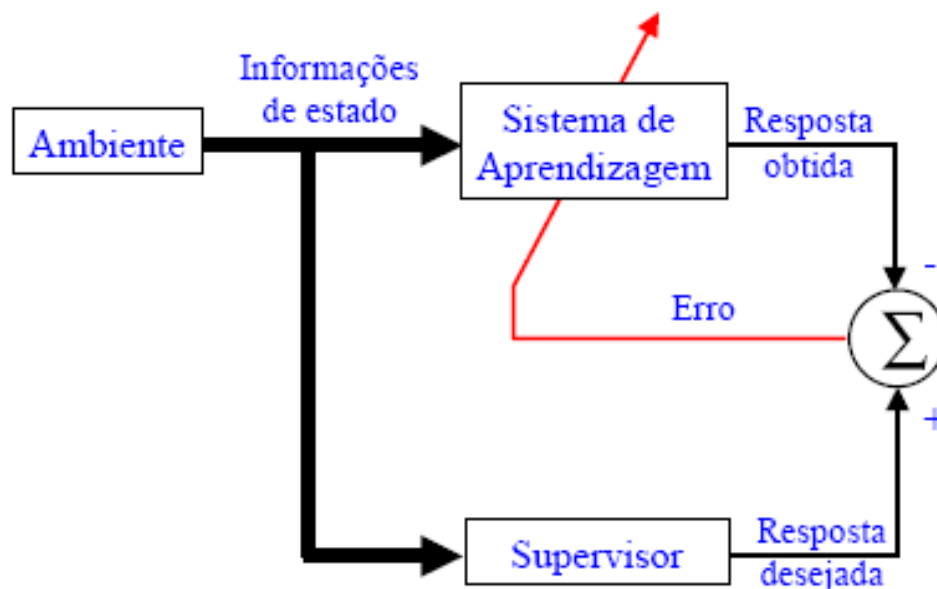


Figura 18 – Diagrama de Aprendizado Supervisionado (adaptado HAYKIN, 2001).

Aplicando a idéia de estudo supervisionado à rede, a primeira etapa é a colocação dos pesos aleatoriamente nas entradas e a apresentação de uma entrada. Como segunda etapa, a rede faz o somatório de todas as entradas multiplicadas pelos seus respectivos pesos, e caso a soma ultrapassasse o valor limite à saída seria 1, caso contrário, seria 0.

A desvantagem do aprendizado supervisionado é que, na ausência do supervisor, a rede não conseguirá aprender novas estratégias para situações não-cobertas pelos exemplos do treinamento da rede. Os exemplos mais conhecidos de algoritmos para aprendizado supervisionado são a regra delta e a sua generalização para redes de múltiplas camadas, o algoritmo backpropagation (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2000).

4.1.2 Aprendizado Não-supervisionado

No aprendizado não-supervisionado ou auto-organizado não há um supervisor, a dependência é somente da entrada de dados e não é feita nenhuma exigência sobre o conhecimento da solução. Nesse tipo de aprendizagem são

usados nos padrões de entrada exemplos de coisas semelhantes para que a rede responda de maneira semelhante.

A rede trabalha essas entradas e se organiza de modo que acabe classificando-as, usando para isso, os seus próprios critérios. Esse tipo de rede utiliza os neurônios como classificadores, e os dados de entrada, como os elementos para classificação. O processo de classificação fica a encargo da rede neural e do seu algoritmo de aprendizado. A auto-organização demonstrada em redes neurais não-supervisionadas envolve o processo de competição, e o processo de cooperação entre os neurônios da rede (TAFNER, 1996).

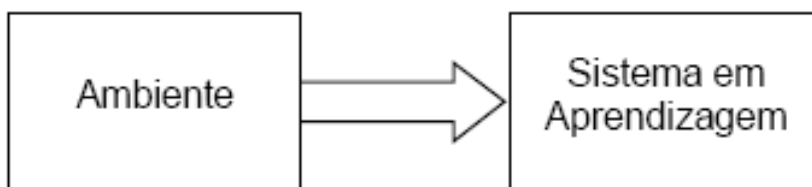


Figura 19 – Diagrama de Aprendizado Não-Supervisionado (adaptado HAYKIN, 2001).

De acordo com Braga, Ludermir e Carvalho (2000) muitos dos sistemas biológicos ocorrem através do aprendizado não-supervisionado, como por exemplo, os estágios iniciais dos sistemas de visão e audição; e Tafner, Xerex e Rodrigues Filho (1996) afirmam que esse tipo de aprendizado é muito utilizado por pesquisadores em sistemas classificadores dada sua capacidade de aprender a distinguir a esquerda e a direita sem a presença de um supervisor para ensinar.

4.1.3 Aprendizado por competição

É um tipo de aprendizado não-supervisionado onde os neurônios da camada de saída da RNA competem entre si para ser o neurônio ativado (um único neurônio é ativado) e com peso atualizado no treinamento. As unidades de entrada são diretamente conectadas às unidades de saída, e estas últimas também podem estar ligadas entre si via conexões laterais inibitórias, ou negativas (BRAGA; LUDERMIR; CARVALHO, 2000). A unidade de saída com maior ativação inicial terá maior chance de vencer a disputa das outras unidades, que perderão o poder de inibição ao longo do tempo sobre a unidade de maior ativação. A unidade mais forte fica ainda mais forte, e seu efeito inibidor sobre as outras unidades de saída torna-se

dominante. Com o tempo, todas as outras unidades de saída ficarão completamente inativas, exceto a vencedora.

O problema desse tipo de aprendizagem é que uma unidade de saída pode se tornar dominante e ficar ativa todo o tempo podendo captar para si todo o espaço de entradas. A solução para tal problema é racionar os pesos, de forma tal que a soma dos pesos sobre as linhas de entrada de uma unidade seja limitada a 1.

4.1.4 Aprendizado Híbrido

Neste tipo de aprendizado ocorre uma "mistura" dos tipos supervisionado e não-supervisionado. Parte dos pesos é determinada através da aprendizagem supervisionada, enquanto outros são obtidos através da aprendizagem não-supervisionada.

4.2 Arquitetura de Redes Neurais

As redes neurais artificiais possuem camadas de entrada e de saída e entre estas, estão às camadas intermediárias, é à disposição das camadas e o número de neurônios por camada são utilizados para classificar uma arquitetura de uma rede neural; estes fatores estão intimamente ligados com o algoritmo de aprendizagem usado para treinar a rede. Conjuntos de neurônios artificiais, organizados e conectados de várias formas, podem resultar em diferentes arquiteturas neurais, com características e aplicações bastante distintas.

Segundo Braga, Ludermit e Carvalho (2000), a definição da arquitetura de uma RNA é um parâmetro importante na sua concepção, uma vez que ela restringe o tipo de problema que pode ser tratado pela rede. Redes com uma camada única de nodos MCP (Modelo McCulloch Pitts), por exemplo, só conseguem resolver problemas linearmente separáveis. Redes recorrentes, por sua vez, são mais apropriadas para resolver problemas que envolvem processamento temporal.

A arquitetura de uma rede neural pode se modificada de acordo com a necessidade e preferência do projetista. Existem basicamente 3 (três) tipos de arquitetura de RNAs: feedforward de uma única camada, feedforward de múltiplas camadas e redes recorrentes.

As redes diretas (feedforward – alimentadas a diante ou acíclicas) possuem uma memória de curto prazo, pois só armazenam informações relacionadas ao processamento imediato de cada neurônio anterior; essas redes geralmente são treinadas de modo supervisionado e são freqüentemente utilizadas por serem muito conhecidas e pelos métodos de aprendizado fáceis de usar como a retropropagação (backpropagation). São conhecidas como aproximadoras universais de funções por sua capacidade de aproximar com maior ou menor precisão, qualquer função não-linear, dependendo do número de neurônios na rede. São redes estáticas, mas é possível introduzir uma certa dinâmica (limitada) através da utilização de neurônios dinâmicos (equação diferencial de primeira ordem ou a uma diferença finita).

4.2.1 Feedforward (redes diretas) de uma única camada, ou acíclica

Nessa arquitetura existe somente uma camada de neurônios ligados diretamente aos nós de entrada que se projeta sobre uma camada de saída de neurônios (nós computacionais) que não retorna; sempre segue adiante, pois essa rede é estritamente acíclica.

Os neurônios da camada de entrada correspondem aos neurônios sensoriais que possibilitam a entrada de sinais na rede (não fazem processamento). Os neurônios da camada de saída fazem processamento.

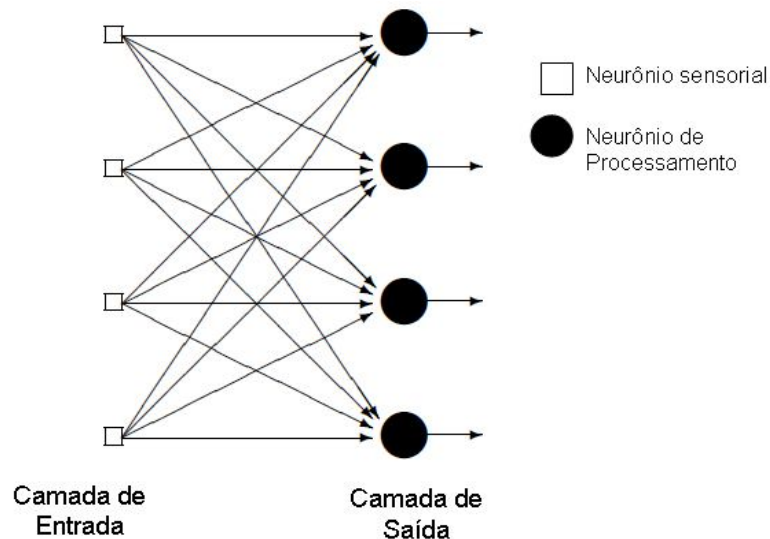


Figura 20 – Diagrama esquemático de rede feedforward de uma única camada (adaptado HAYKIN, 2001).

A limitação desta rede é não resolver problemas classificados como linearmente não separáveis. Na figura 21 é apresentada a representação matricial esquemática dessa arquitetura.

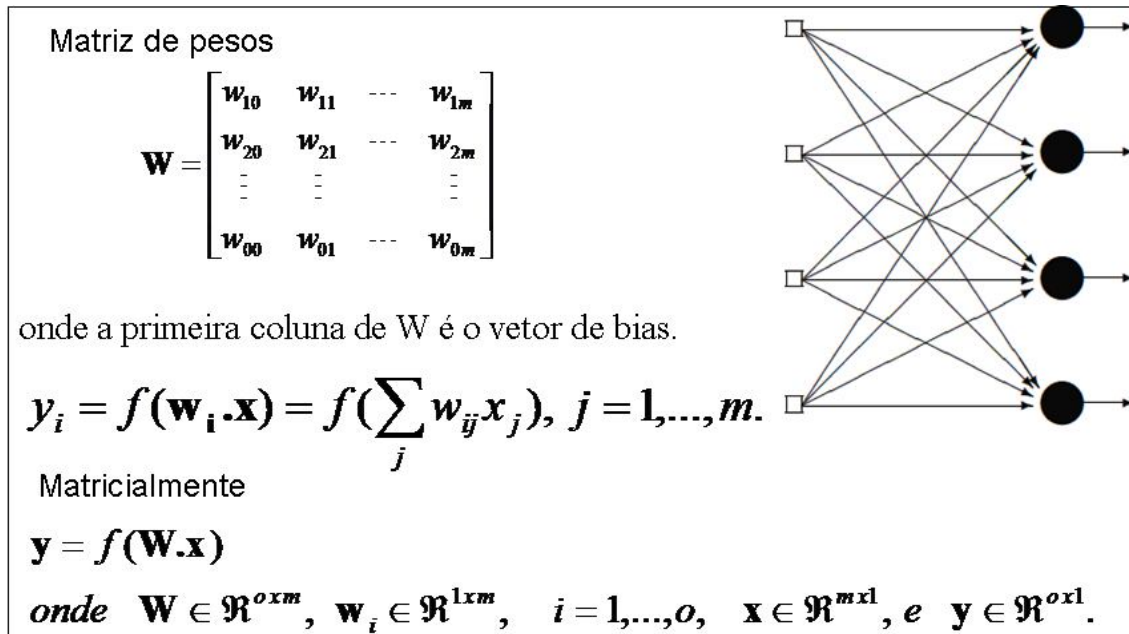


Figura 21 – Representação matricial da rede Feedforward de uma única camada (adaptada de SAITO, 2006).

3.2.2 Feedforward (redes diretas) de múltiplas camadas, ou acíclica:

Essa rede possui uma ou mais camadas de neurônios ocultos (nós computacionais). Sua função é processar os sinais de entrada antes de enviá-los aos neurônios de saída; a adição de camadas ocultas a rede torna a rede capaz de extrair estatísticas de ordem elevada. Apesar da maior complexidade, essa arquitetura possibilita uma melhor qualidade de treinamento, pois há maior interação entre os neurônios. Quando todos os neurônios estão conectados a todos os outros neurônios, essa rede é dita totalmente conectada, do contrário, é chamada parcialmente conectada.

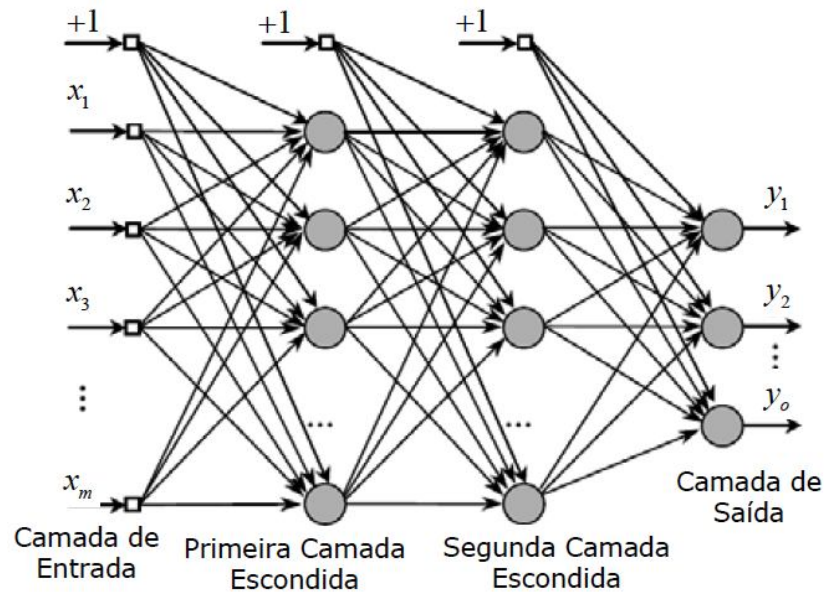


Figura 22 – Representação esquemática de uma rede Feedforward de múltiplas camadas (MAIA, 2008).

As redes neurais recorrentes têm a capacidade de aprender seqüências, por isso são a melhor escolha para tratamento de dados de séries temporais porque apresentam a capacidade de realizar uma série de ações necessárias para executar uma tarefa, (a tarefa é dividida em passos) e responder a uma entrada com diferentes saídas em diferentes momentos. Essas redes podem ser treinadas com backpropagation, bastando comparar os níveis de ativação das unidades de saída com os níveis desejados e retropropagar o erro através da rede, de modo a determinar a seqüência correta de ações.

4.2.3 Redes recorrentes, ou cíclicas:

Possuem uma característica chamada de feedback (realimentação), sendo arquiteturas neurais que possuem pelo menos um laço de realimentação podendo ser classificadas como monocamadas ou multicamadas.

De acordo com Haykin (2001), uma rede recorrente pode consistir, por exemplo, de uma única camada de neurônios com cada neurônio alimentando seu sinal de saída de volta para as entradas de todos os outros neurônios. Na estrutura representada na figura 23, não há laços de auto-alimentação na rede e também neurônios ocultos.

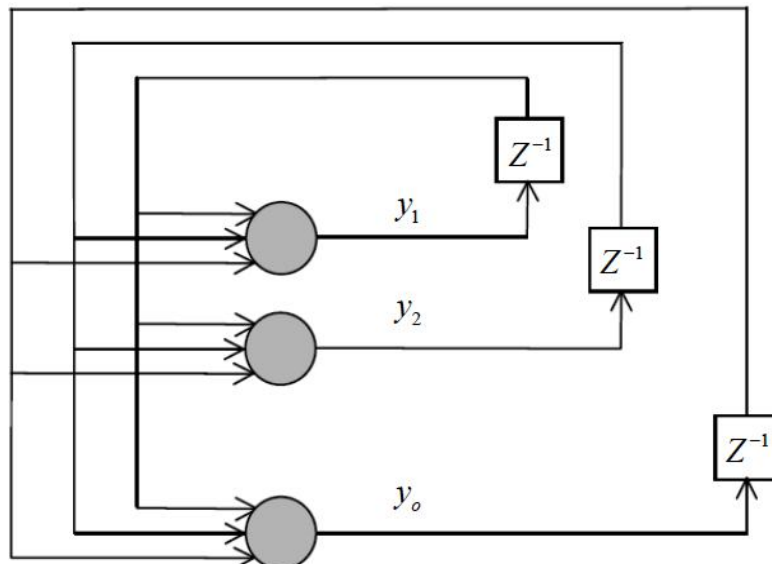


Figura 23 – Redes recorrentes sem laços de auto-alimentação e sem neurônios ocultos (MAIA, 2008).

Na figura 24 é apresentada outra classe de redes recorrentes com neurônios ocultos. A presença de laços de realimentação tanto na estrutura recorrente da figura 23 como da figura 24 são de grande influência na capacidade de aprendizagem e desempenho da rede.

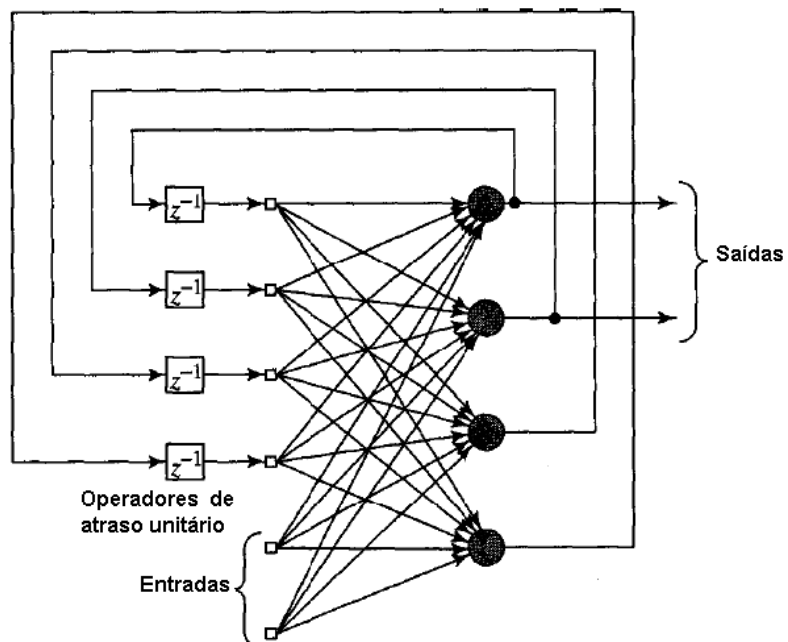


Figura 24 – Desenho esquemático de redes recorrentes com neurônios ocultos (HAYKIN, 2001).

4.3 Rede de Kohonen

As redes neurais conhecidas como mapas auto-organizados de Kohonen (Self-Organizing Map - SOM), baseadas no aprendizado competitivo foram desenvolvidas em 1987 pelo Prof. Teuvo Kohonen, pesquisador da Universidade de Helsinki. Esta rede foi adotada em vários campos da ciência como a estatística, o processamento de sinais, a teoria de controle, a análise financeira, a física experimental, a química e a medicina.

O modelo de Kohonen é uma rede neural tipo feed forward de treinamento não supervisionado que classifica padrões, otimiza problemas e realiza simulações. As RNAs SOM resolvem problemas não-lineares de alta dimensionalidade, como por exemplo, extração de características e classificação de imagens e padrões acústicos, controle adaptativo de robôs, equalização, demodulação e transmissão de sinais. Considerando uma rede de duas dimensões, o paradigma de Kohonen não impõe, em absoluto, nenhuma formação topológica, podendo ser hexagonal, retangular, triangular, entre outras formas poligonais possíveis

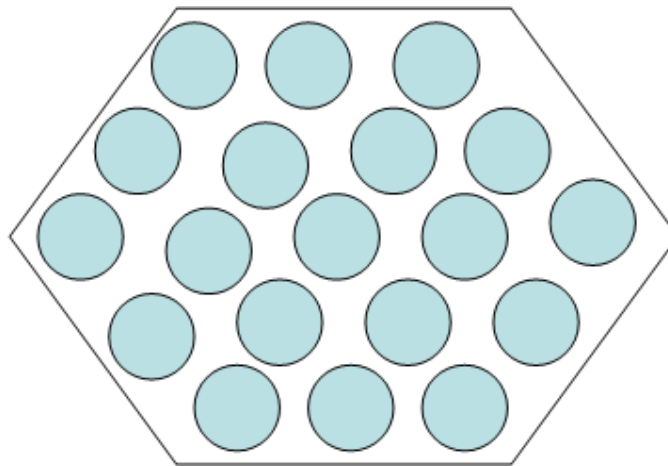


Figura 25 – Exemplo de modelo hexagonal

Considerando que o esquema básico de um modelo de Kohonen tem a propriedade de se modificar, pode-se afirmar que, os neurônios próximos respondem similarmente. Assim, os neurônios da camada de saída disputam entre si a representação da informação apresentada aos neurônios de entrada para serem os vencedores a cada modificação. O neurônio vencedor é reajustado para responder ainda melhor ao estímulo recebido. Dentro deste modelo não

supervisionado, não somente os pesos do vencedor, mas também os pesos dos seus vizinhos (dentro de um senso físico) são ajustados (TAFNER, 1996).

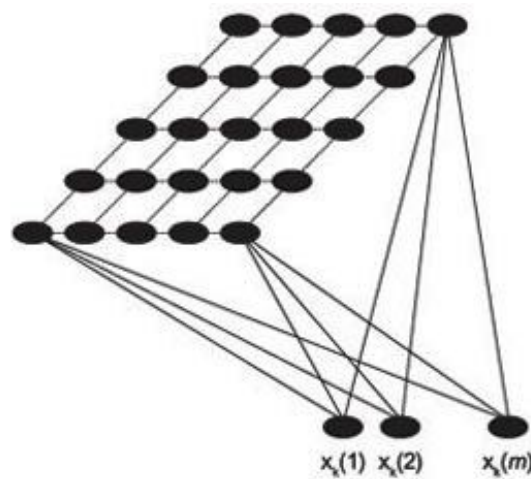


Figura 26 - Mapa de Kohonen com neurônios de saída usados de forma bidimensional (SOUZA; SOUZA; PESSANHA, 2010).

Este "comportamento" tem por objetivo fazer com que a rede simule uma atividade cerebral. Este paradigma é baseado na teoria de que as células nervosas corticais estão arranjadas anatomicamente em relação aos estímulos que recebem dos sensores às quais estão ligadas. Com relação a este tema, vale lembrar que alguns cientistas, rastreando a atividade cerebral, notaram que, apesar de as células nervosas estarem ligadas e coligadas entre si, existem centros de atividade mais intensificados conforme a atividade exercida no momento (KANDEL; SCHWARTZ; JESSEL, 1991).

No mecanismo de Kohonen os pesos sinápticos são inicializados com valores aleatoriamente baixos, e um sinal de entrada x com valores que representam uma informação qualquer, é fornecido para a rede sem que se especifique a saída desejada. O sinal de entrada x é exposto como:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^1 \in \mathfrak{R}^n \quad (4.3)$$

De acordo com o sinal de entrada, um neurônio de saída y deverá responder melhor para essa entrada específica; quando se caracterizar como neurônio vencedor, conforme essa entrada for apresentada este neurônio será disparado. Para considerar o treinamento de uma rede é necessário que todos os critérios de treinamento sejam satisfeitos e em seguida passa-se ao teste da rede neural onde os pesos dos neurônios não serão mais alterados e as entradas poderão receber

além dos fatos que foram apresentados, outros que não fizeram parte do conjunto de treinamento para testar a eficácia da rede.

Cada neurônio da rede representa uma saída, portanto se a rede possuir um total de 20 neurônios (o neurônio estará amplamente conectado com as entradas) na camada de saída, conseqüentemente haverá 20 saídas possíveis para qualquer quantidade de entradas a que rede estiver sendo submetida.

Observe na figura 27 que se cada neurônio de saída estiver conectado com 4 entradas, também terá 4 pesos sinápticos, um para cada entrada.

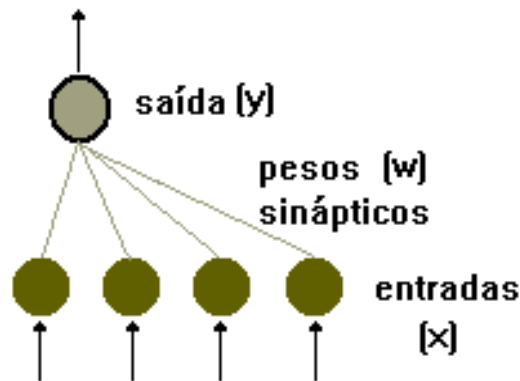


Figura 27 – Conexões sinápticas de um neurônio de saída ligado a 4 entradas (TAFNER, 1996).

É importante lembrar que o conhecimento da rede reside nos pesos de suas conexões e no neurônio acontece apenas a resposta do calculo efetuado entre as entradas e os pesos sinápticos.

A definição de vizinhos do neurônio é um ponto muito importante na definição da rede; para um neurônio i , seus vizinhos podem, então ser definidos como $i+1$ e $i-1$. Inicialmente o conjunto de vizinhos é extenso e não muito bem definido.

Conforme observações do próprio Kohonen a melhor auto-organização ocorre quando o conjunto de vizinhos começa extenso e diminui com o tempo. Assim a vizinhança pode ser definida como tempo-variável.

O processo de vizinhança é simplesmente uma competição pelo melhor aprendizado, onde quem aprender melhor será o vencedor.

Para a formação ordenada do mapa é primordial a adaptação dos neurônios, apesar de um neurônio ser afetado independentemente do outro, é o conjunto inteiro que representa a informação. Para ajustar os pesos sinápticos é necessário descobrir qual é o neurônio vencedor para cada entrada apresentada, ou seja, qual é o neurônio que possui a menor distância Euclidiana para uma entrada focalizada.

$$d_i(t) = \sum_{j=1}^N (x_j(t) - w_{ij}(t))^2 \quad (4.4)$$

Onde:

t = instante t no tempo;

i = indexação do neurônio;

j = indexação das entradas e dos pesos;

N = número de entradas (quantidade de x e, respectivamente, quantidade de w por neurônio);

$x_j(t)$ = entrada j no tempo t;

$w_{ij}(t)$ = peso j do neurônio i no tempo t;

$d_i(t)$ = distância do neurônio no tempo t.

Em cada passo do aprendizado, o neurônio que melhor responder deverá ser ajustado para responder ainda mais àquela entrada, e, conjuntamente, todos os neurônios dentro da vizinhança h_{ik} serão alterados. Os neurônios que estiverem fora do subconjunto de vizinhança não serão alterados. A adaptação dos neurônios é muito simples. Basicamente, é pegar a diferença entre os dois vetores (x e w) e somar uma fração desta diferença ao vetor de pesos original (w). Para realização desse processo seguem-se os seguintes passos:

- A taxa do erro é definida como a diferença entre o valor da entrada o peso

$$\varepsilon = (x(t) - W_i(t)); \quad (4.5)$$

- A taxa de erro é então multiplicada por uma constante de aprendizado $\alpha(t)$;

- O peso, agora, é igual a ele próprio mais a taxa de erro.

Com isso o novo peso é:

$$\begin{aligned} w_i(t+1) &= w_i(t) + \alpha(t)[x(t) - w_i(t)] \rightarrow i \in V_i(t) \\ w_i(t+1) &= w_i(t) \rightarrow i \notin V_i(t) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Kohonen propôs que, na prática computacional, o processamento pudesse parar quando o termo chegasse a zero, pois, automaticamente, não haveria mais alterações nos pesos do neurônio selecionado. O que tem sido feito também é estabelecer períodos de decremento diferentes para em momentos diferentes de t durante o treinamento. Isso quer dizer que pode seguir uma flutuação diferente em um tempo diferente dentro do mesmo treinamento.

Quanto às interações à medida que tem sido adotada é de 500 passos para cada neurônio na camada de saída. Isso significa que, havendo 10 neurônios na camada de saída, deverá haver perto de 5000 iterações para que o mapa esteja ordenado adequadamente. Essas 5000 iterações significam passar 5000 vezes o conjunto de treinamento para a rede neural (TAFNER, 1996). Esses parâmetros não são regras e sim recomendações resultantes da observação de determinados pesquisadores, mas nada impede que se obtenha sucesso com menos ou mais iterações. Uma desvantagem da rede de Kohonen é quanto a sua validação por não existirem parâmetros que avaliem a qualidade de uma mapa com determinado nível de confiança. Como solução desse problema entra a matriz de confusão que mede a quantidade de acertos por classe e dependendo da quantidade de acertos a rede é considerada boa ou não; esse processo só poderá ser realizado se houver um conhecimento prévio sobre o conjunto de dados. Para isso devem ser criados conjuntos de treinamento completamente definidos em geral através de conjunto de dados artificiais com parâmetros estatísticos bem conhecidos.

4.4 Redes Neurais Aplicadas no Sensoriamento Remoto

As redes neurais vêm sendo aplicadas na resolução de problemas complexos, onde algoritmos convencionais não conseguem boas soluções, pois as RNAs são dispositivos que permitem tolerância a ruídos e falhas, o que advém da capacidade de generalização das redes, sendo capaz de suportar ruídos e imperfeições no ambiente, ainda mantendo o resultado desejado.

Muitos pesquisadores utilizam técnicas de redes neurais associadas ao sensoriamento remoto como no caso de Ribeiro et al (2008) que aplicou RNAs na interpretação de imagens de satélite Landsat para monitorar a qualidade da água coletada no reservatório de Tucuruí-PA, ou seja, estimar a concentração de pigmentos (clorofila), comparando com análises “in situ” de amostras de água distribuídas espacialmente e temporalmente; Espinhosa e Galo (2003) também desenvolveram uma aplicação onde utilizaram dados multiespectrais de Sensoriamento Remoto, técnicas de Processamento Digital e Análise de Imagens, além de RNAs com o objetivo de verificar o potencial da aplicação de Redes Neurais Artificiais na detecção de locais de infestação por plantas aquáticas emersas.

Em outra aplicação Almeida et al (2009) propôs uma metodologia que utiliza a tecnologia de RNAs para extrair informações sobre biomassa a partir de imagens de satélite e inseri-las em uma aplicação desenvolvida em Sistemas de Informação Geográficas para estimar o potencial energético de biomassa florestal na região amazônica. Schoeninger et. al (2008) também usou redes neurais para mapeamento de biomassa com o objetivo de verificar o desempenho das RNAs na quantificação de biomassa arbórea e na quantidade de carbono orgânico armazenado no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa.

CAPÍTULO 5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

O município de Tucuruí no estado do Pará tem 97.109 habitantes e 2086 km² com uma história que pode ser dividida em dois momentos: antes e depois da construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí que provocou mudanças na base econômica e nas perspectivas da população. A construção da Hidrelétrica de Tucuruí começou em 1976 e foi inaugurada em 22 de novembro de 1984.

A barragem de Tucuruí, administrada pela empresa estatal Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A, está situada na região amazônica, nas coordenadas geográficas, latitude 03° 45' S e longitude de 49° 41' W, no baixo Rio Tocantins, a cerca de 300 km em linha reta da cidade de Belém, capital do Estado do Pará. O rio Tocantins com seu principal afluente, o Araguaia, constitui uma bacia própria, denominada Bacia do Tocantins. Nascido no planalto central brasileiro percorre grandes extensões recobertas por cerrados antes de penetrar em áreas de floresta amazônica densa, já no Estado do Pará, onde está situada a UHE Tucuruí.

Para o estudo realizado foram escolhidas duas fotografias aéreas que foram adquiridas por meio de digitalização do filme, utilizando um scanner fotogramétrico e um recorte do Landsat representando a mesma área da imagem aérea.

Para a tomada das fotografias foi utilizada aeronave SENECA de fabricação EMBRAER, modelo 810C EMB, Matrícula de identificação PT-EJE, e uma câmara RMK 15/23 com distância focal calibrada de 152,895 mm, com quadro de exposição 23 cm x 23 cm e luneta de navegação óptica. Tomada de fotografias aéreas com o Sol a 30° (trinta graus sexagesimais) da linha do horizonte, evitando sombras, nuvens, fumaça e bruma. A realização da cobertura aerofotogramétrica depende de uma autorização do Ministério da Defesa, onde devem ser informados a localização e limite da área a ser levantada. Somente depois da autorização o vôo poderá ser realizado.

A área do recobrimento aéreo (figura 28) localizada no entorno do Reservatório de Tucuruí, está compreendida entre os paralelos 3° 22'41"S e 5° 27'52"S e os meridianos 48° 55'57" W e 50° 46'39"W, abrangendo uma área aproximada de 21.595 km² (aproximadamente 215.950 hectares) e foi executada na

escala nominal de 1:20.000, com direção principal das linhas de vôo LESTE-OESTE, recobrando lateralmente em 20% e longitudinalmente em 60%.

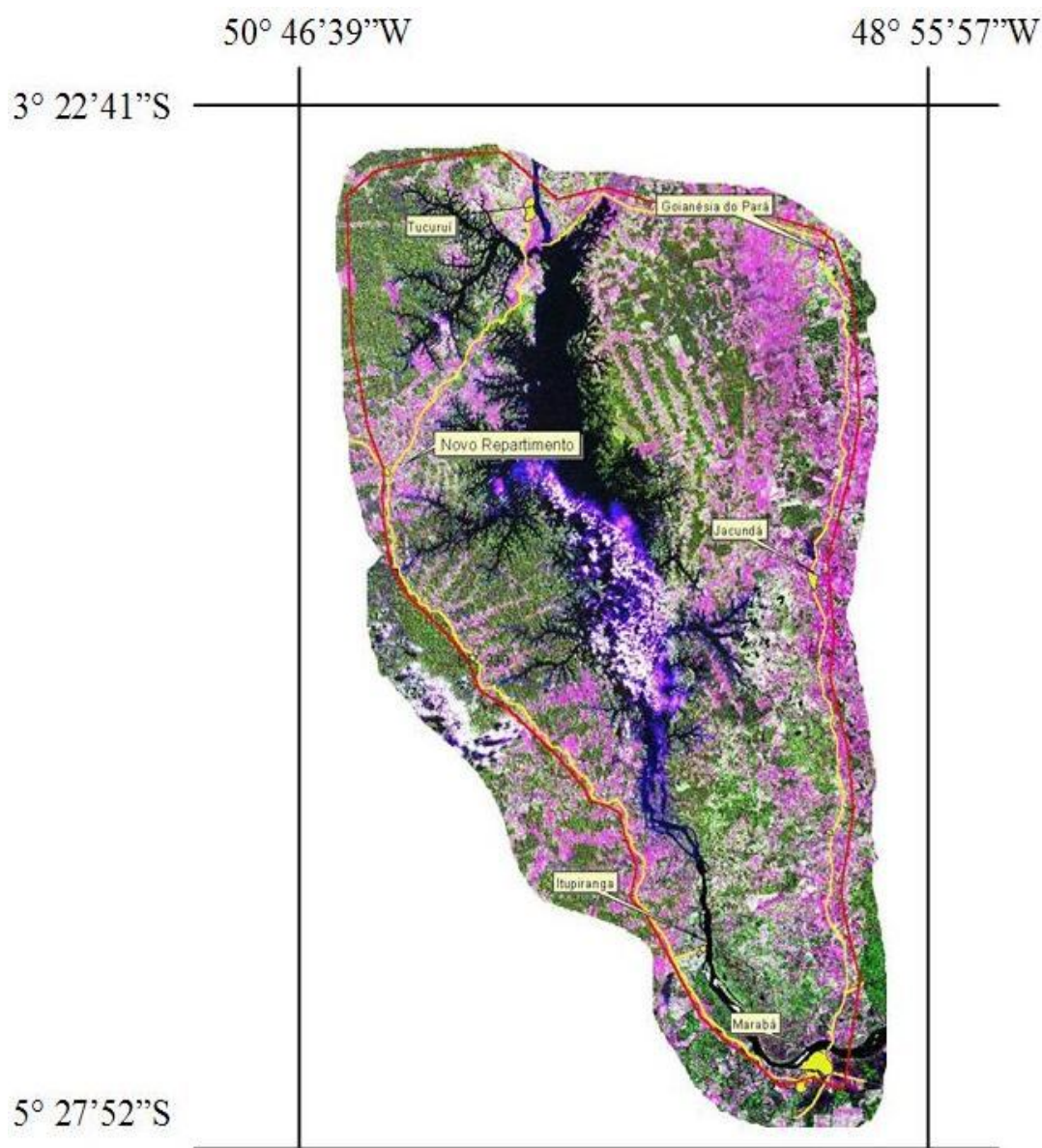


Figura 28 - Mosaico do Recobrimento Aéreo do Entorno do Reservatório de Tucuruí (TOPOCART TOPOGRAFIA E ENGENHARIA S/C, 2002).

O objetivo principal do recobrimento aéreo da área em questão foi à obtenção de imagem para a consecução de material fotográfico apropriado ao mapeamento aerofotogramétrico da região, bem como para subsidiar estudos ambientais. Todas as operações para obtenção das ortofotos digitais foram realizadas de forma automatizada, com os mais modernos equipamentos de posicionamento por satélite, tais como, receptores, GPS geodésicos, de dupla e de uma frequência, softwares

específicos para geodésia, GPS e desenhos elaborados em CAD, com auxílio de imagens de satélite (TOPOCART TOPOGRAFIA E ENGENHARIA S/C, 2002).

A imagem de satélite utilizada nesse trabalho (figura 29) que recobre a área é a órbita/ponto 224/63, do sensor Thematic Mapper do LANDSAT-5, nas bandas 3, 4 e 5, cujas coordenadas geográficas em graus decimais são: Latitude Norte (-3.41871), Longitude Oeste (-50.79940), Latitude Sul (-5.25929) e Longitude Leste (-49.43710).

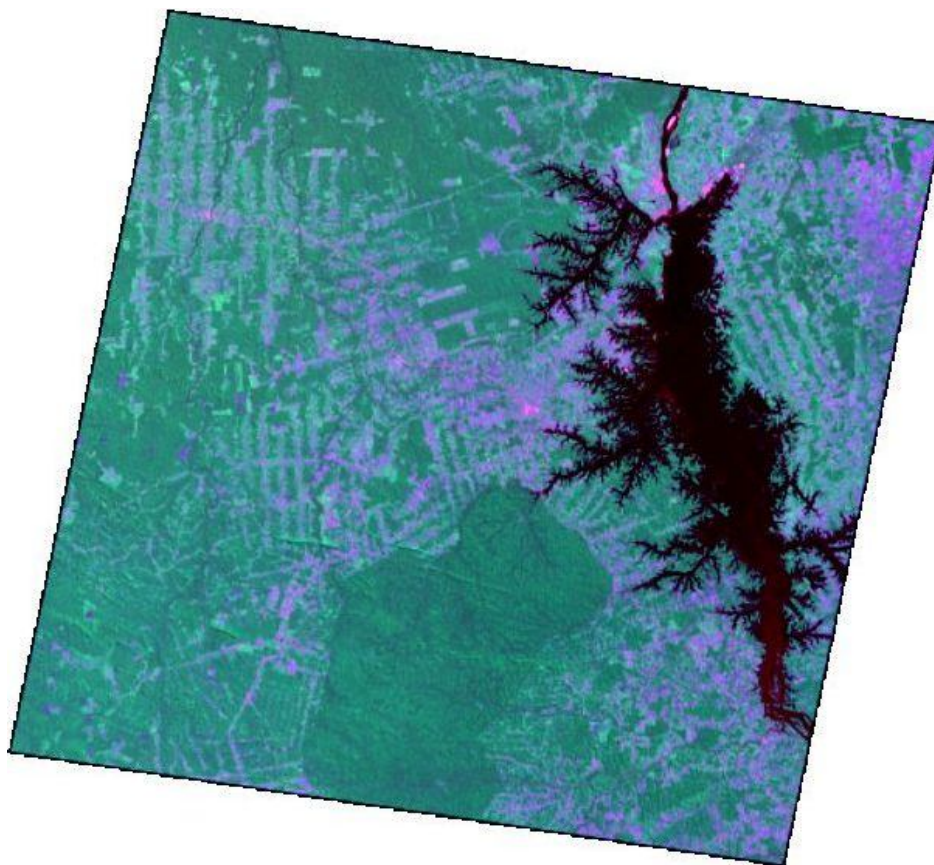


Figura 29. Imagem referente as bandas 3, 4, 5 do Landsat 5 (INPE, 2009)

Essa imagem foi obtida pelo sensor em agosto de 2001. O arquivo digital das bandas 3, 4 e 5 se apresentam no formato gráfico .tif.

Os dois principais instrumentos imageadores do Landsat 5 são o Multispectral Scanner (MSS) e Thematic Mapper (TM). O sensor TM possui 7 bandas, cada uma representando uma faixa do espectro eletromagnético. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 possuem 30 m de resolução geométrica, isto é, cada pixel da imagem representa uma área de 0,09 hectare de terreno, enquanto a banda 6, possui resolução de 120m, cada pixel representa 1,4 hectare.

5.1.1 Softwares Utilizados

O algoritmo de Kohonen desenvolvido para classificar imagens foi implementado no Matlab¹ 7.3.0 que é um ambiente interativo para computação envolvendo matrizes, destinada à resolução de cálculos algébricos e de grandes problemas de engenharia que foi desenvolvido no início da década de 80 por Cleve Moler, no Departamento de Ciência da Computação da Universidade do Novo México, EUA.

Segundo CARREIRA e SILVA (2007) o Matlab contém um vasto leque de funções organizadas por áreas de cálculo científico ou de engenharia, as quais são chamadas de toolboxes. Todas as funções existentes nas diversas toolboxes são ficheiros de texto (M-files) que contém linhas de programação em código aberto. Deste modo, os utilizadores podem analisar e adaptar as linhas de programação das funções ou ampliar as potencialidades de cálculo das toolboxes, construindo novas funções (M-files). Assim, é possível adaptar todas as potencialidades de cálculo do Matlab às necessidades específicas de cada utilizador. O código das funções existentes e a criar pelo utilizador é desenvolvido numa linguagem de programação própria e de simples aprendizagem, contendo todas as rotinas e estruturas de programação existentes nas restantes linguagens de programação.

O software Arcview 3.2a foi utilizado para georreferenciar às imagens e comparar os resultados obtidos no classificador implementado no Matlab. O programa ArcView foi desenvolvido pela empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI), para efetuar análises em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica. Todas as atividades no âmbito do Arcview estão organizadas sob um Project, o qual pode estar constituído por uma série de Views, Tables, Charts, Layouts, e Scripts. Scripts são programas na linguagem Avenue (linguagem de programação do ArcView) e, já que esse exercício faz uso de Scripts intrínsecos ao Arcview, não estão incluídos Scripts desenvolvidos por usuários. As funções do Arcview incluem a apresentação de planos de informação numa View, tabelas de atributos relacionados a essa View, tabelas de atributos relacionados em função de campos chave, criação de gráficos para a visualização de informações espaciais, e a criação de layouts para a apresentação de informações supridas pelas Views, Charts, e Tables (ARCGIS DESKTOP ARCVIEW, acesso 23 mar. 2011).

¹ Matrix Laboratory - Software de Matemática Aplicada

Segundo Barrett, Dingwall e Gaffney (2007) a Classificação não-supervisionada utilizada no comando de categorização do Arcview usa o algoritmo ISODADA ESRI (Técnica de Auto-Organização Iterativa de Análise de Dados) que é uma técnica iterativa na medida que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando cálculos estatísticos, esses dirão qual a probabilidade de um pixel pertencer ou não a uma determinada classe ou a outra; e auto-organizado na maneira em que ele localiza os grupos que são inerentes aos dados. O método de agrupamento ISODATA usa a fórmula espectral de distância mínima para formar grupos.

5.2 Metodologia

Inicialmente foram escolhidas duas fotografias aéreas no formato .jpg que reúnem região de solo, água e vegetação com uma área de cobertura de 3m² por pixel e unificadas no Arcview após o georreferenciamento (Figura 30).

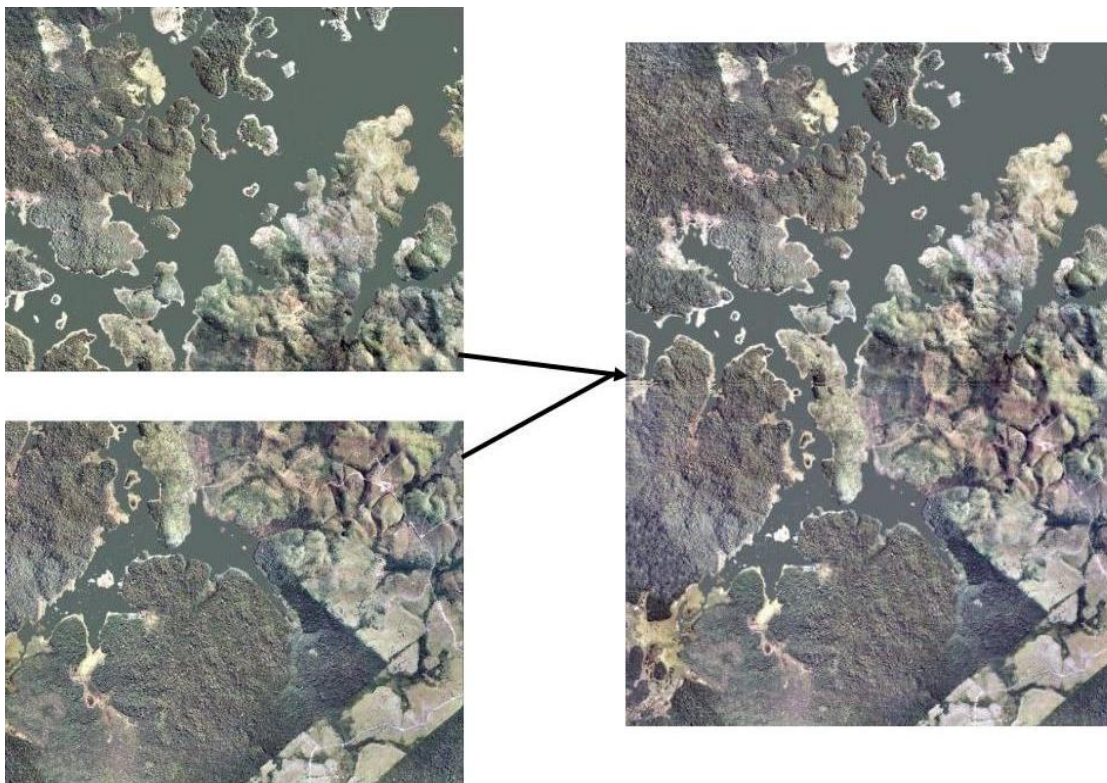


Figura 30. Mosaico de duas imagens aéreas

As duas fotografias aéreas (ortofotos) foram unidas após o georreferenciamento no software Arcview para formar o mosaico que foi utilizado durante o processamento.

O georreferenciamento no Arcview foi realizado através da ferramenta de alinhamento (align tool) onde foram informadas as coordenadas geográficas em graus decimais dos quatros cantos da figura.

Após o georreferenciamento e mosaicagem essas imagens foram salvas no formato .tif que é a extensão utilizada pelo Arcview para imagens georreferenciadas. Cada fotografia tem dimensão de 6982 x 4655 o que resultou em um mosaico com dimensão de 6982 x 9310 e um total de 65.002.420 pixels. As coordenadas x e y desse mosaico são respectivamente: -49.9375 e -4.0000.

Na imagem de satélite foram escolhidas as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM porque mostram mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa. O sensor TM Possui separação espectral adequada para oferecer subsídios para mapeamentos temáticos na área de recursos naturais.

Segundo Novo (2008) associando essas cores ao comportamento espectral de alvos, pode-se verificar que a cor rósea do solo se deve à alta reflectância dos solos na banda 3 e 4. O verde é resultado da alta reflectância da vegetação na banda 4 e a cor preta da água se deve à baixa reflectância da água na banda 3 e 4.

As bandas foram concatenadas, georreferenciadas no Arcview e salvas no formato .tif resultando em uma imagem com dimensão de 7583 largura x 6970 altura o que totaliza 52.853.510 pixels. As imagens com formatos TIFF (Tagged Image File Format) são de alta definição e conservam uma grande quantidade de dados.

Após a concatenação e inserção das coordenadas geográficas a imagem do Landsat foi levada para o Matlab para recortar a área de interesse. A matriz da imagem .tif foi lida no Matlab através da função "imread" e o arquivo .tfw que guarda as referências geográficas foi lido pela função "wordfileread". As referências foram guardadas dentro de uma variável nomeada de R.

No mosaico das fotografias aéreas sabe-se que o pixel da linha 1, coluna 1 é -49.9375 e -4.0000, mas foi necessário identificar a coordenada geográfica da última linha e última coluna (9310, 6982) através da função `pix2latlon` do toolbox de mapeamento, na equação 4.1:

$$[ultimalinha, ultimacoluna] = pix2latlon(R, 9310, 6982) \quad (5.1)$$

Os valores encontrados foram -49.8750 e -4.0833.

De posse desses valores o próximo passo foi identificar o valor das coordenadas de pixels através da função *latlon2pix* e encontrar altura e largura da imagem que será recortada através da função “*imcrop*”. Os seguintes passos foram adotados:

- 1) Encontrar o valor do pixel da coordenada geográfica -49.9375 e -4.0000;

$$[linha1, coluna1] = latlon2pix(R, -4.0000, -49.9375) \quad (5.2)$$

- 2) Encontrar o valor do pixel da coordenada geográfica -49.8750 e -4.0833;

$$[ultimalinha, ultimacoluna] = latlon2pix(R, -4.0833, -49.8750) \quad (5.3)$$

- 3) Encontrar altura e largura da imagem resultante subtraindo a linha do passo 1 com a do passo 2 e da mesma forma subtrai a coluna;

$$\begin{aligned} \textit{Altura} &= \textit{ceil}(\textit{ultimalinha} - \textit{linha1}) \\ \textit{Largura} &= \textit{ceil}(\textit{ultimacoluna} - \textit{coluna1}) \end{aligned} \quad (5.4)$$

A função “*ceil*” arredonda o resultado para o inteiro mais próximo.

- 4) Os valores anteriores são indispensáveis para utilizar a função de recorte da imagem.

$$\textit{Recorte} = \textit{imcrop}(\textit{Landsat}, [\textit{linha1}, \textit{coluna1}, \textit{Largura}, \textit{Altura}]) \quad (5.5)$$

Na figura 31 é mostrado o recorte do Landsat resultante dos passos anteriores que foi um dos objetos de interesse nesse estudo.

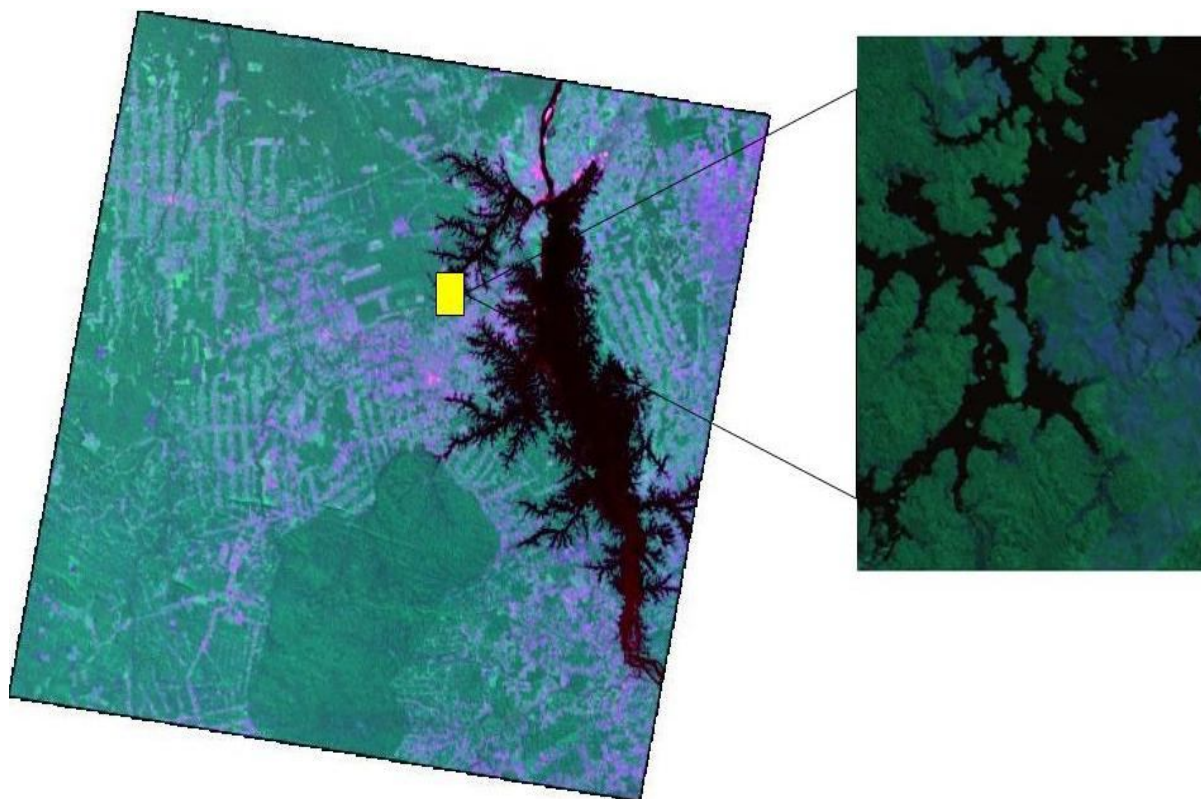


Figura 31- A figura destacada representa a área utilizada da imagem original do Landsat.

O pixel do Landsat tem resolução de 30m (= 900m²), enquanto que a ortofoto é de 3m² que representa:

$$\text{Relação Interpixel} = \frac{900}{3} = \frac{300}{1} \quad (5.6)$$

Um pixel do Landsat corresponde aproximadamente 300 pixels da ortofoto.

Devidamente identificadas às áreas de trabalho, as imagens foram lidas para serem utilizadas como dados de entrada no Matlab. Em seguida o algoritmo organizou os componentes da matriz em três colunas e treinou os dados através do Mapa Auto-organizável de Kohonen com vinte e cinco iterações, definidas como o número de repetições no processo, onde a cada iteração os pixels foram recalculados pela distância euclidiana e reclassificados, assumindo novos valores médios.

No final do processo foram gerados gráficos da imagem original e da classificação; conhecendo a resolução calculou-se a área em metros quadrados das três classes escolhidas e as representou em porcentagem no gráfico pizza.

As imagens foram classificadas no Matlab e posteriormente no Arcview através da função categorize, pois ambos utilizam a distância euclidiana, portanto espera-se que os resultados sejam semelhantes. Para estimar a área em metros quadrados de cada imagem é realizada uma contagem dos pixels de cada classe e multiplicado por sua resolução.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados de modo a permitir a avaliação e a comparação da cobertura do solo das imagens classificadas pelo método não supervisionado, com base em um classificador por mínima distância.

Na quantificação de recursos energéticos a classificação é apenas uma etapa do planejamento energético que é uma ferramenta administrativa e dinâmica das informações coletadas que se tornarão referência para melhoria dos resultados. As informações geradas pela classificação farão parte da tomada de decisão para identificar a melhor forma de produção de energia, levando em conta os custos operacionais e a disponibilidade de cada fonte.

A classificação foi realizada, identificando-se nas imagens áreas representativas dos seguintes temas: água, vegetação e antropização. As imagens classificadas são agrupadas em grupos homogêneos de acordo com sua similaridade espectral, assim o resultado da classificação foi uma imagem digital constituída de "pixels" classificados, representados por cores.

As imagens foram classificadas por dois softwares distintos: primeiro pelo algoritmo de Kohonen implementado no Matlab 7.3.0 e posteriormente no Arcview 3.2a para comparar os resultados.

6.1 Classificação no Matlab

A rede SOM de Kohonen é uma rede linear de camada única totalmente conectada, cuja saída é organizada em uma ou duas dimensões, sendo possível dimensões superiores, mas a interpretação fica bem mais difícil.

O Mapa Auto-Organizável de Kohonen tem os neurônios da camada de saída disputando entre si a representação da informação apresentada aos neurônios de entrada. Cada neurônio da rede representa uma saída com um vetor de pesos escolhidos de forma aleatória de dimensão igual a do vetor de entradas.

As etapas da análise exploratória de dados através de mapas auto-organizáveis compreendem: a escolha do conjunto de dados de entrada, o pré-processamento dos dados, a modelagem dos dados, a parametrização da rede, a

elaboração do mapa, a visualização dos mapas e a interpretação dos resultados obtidos.

O algoritmo de Kohonen implementado utilizou as funções do toolbox de redes neurais do Matlab versão 7.3.0. Após realizar variações no número de neurônios, na topologia da rede e nas taxas de aprendizado optou-se por usar os dados contidos no default da rede, pois não houve mudanças significativas em termos de redução de tempo e aumento da eficiência. A rede foi implementada com quarenta neurônios interconectados em uma grade hexagonal, com taxa de aprendizado na fase de ordenação de 0.9 e taxa de aprendizado na fase de convergência de 0.02. A medida estatística de distância utilizada para calcular o valor do neurônio vencedor foi a distância euclidiana.

Na entrada da rede foram utilizados exemplos de treinamento no formato de vetores de três elementos correspondente à codificação RGB dos pontos amostrados.

A fase de treinamento da rede foi dividida em duas outras diferentes: a fase de auto-organização ou ordenação e a fase de convergência. Na fase de ordenação o mapa de saída é organizado de acordo com a similaridade entre os neurônios através dos parâmetros taxa de aprendizagem e vizinhança topológica; e na fase de convergência as entradas são repetidas vezes apresentadas ao mapa para haver uma melhor resposta do mapa de saída para a determinada entrada. A partir da conclusão da etapa de treinamento cada neurônio foi associado a uma classe, sendo formados três grupos.

O mosaico da ortofoto resultou em um arquivo com 186 Mb (megabytes), mas o Matlab exige muita memória do sistema operacional e para resolver o problema a opção encontrada foi realizar a compressão da imagem no Microsoft Office Picture Manager para 42,9 Kb (kilobytes). A redução de certa quantidade de dados necessária para representar uma imagem digital é o processo denominado de compressão onde se remove dados redundantes. O valor de cada pixel da imagem original é, normalmente, representado por um byte, o processo de compressão ocorre quando se representa cada pixel por uma quantidade menor de bits.

Gonzalez e Woods (2000) afirmam que a redundância de dados não é um conceito abstrato, mas uma entidade matematicamente quantificável. Se n_1 e n_2 denotam o número de unidades de transporte de informação em dois conjuntos de

dados que representa a mesma informação, a redundância de dados relativa R_D do primeiro conjunto de dados (aquele caracterizado por n_1) pode ser definida como:

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R} \quad (6.1)$$

Em que C_R denominada taxa de compressão é,

$$C_R = \frac{n_1}{n_2} \quad (6.2)$$

Caso $n_2 = n_1$, $C_R = 1$ e $R_D = 0$, pode-se concluir que (relativo ao segundo conjunto de dados) a primeira representação da informação não contém dados redundantes.

A figura 32(a) mostra a ortofoto com compressão de 448x336 pixels e a 32(b) apresenta o resultado unidimensional da classificação da ortofoto após o processo iterativo de 25 épocas. A classe de água representada pela cor vermelha, vegetação pela cor verde e antropização pela cor azul agregaram respectivamente 41518, 35967 e 73043 de um total de 150528 pixels.

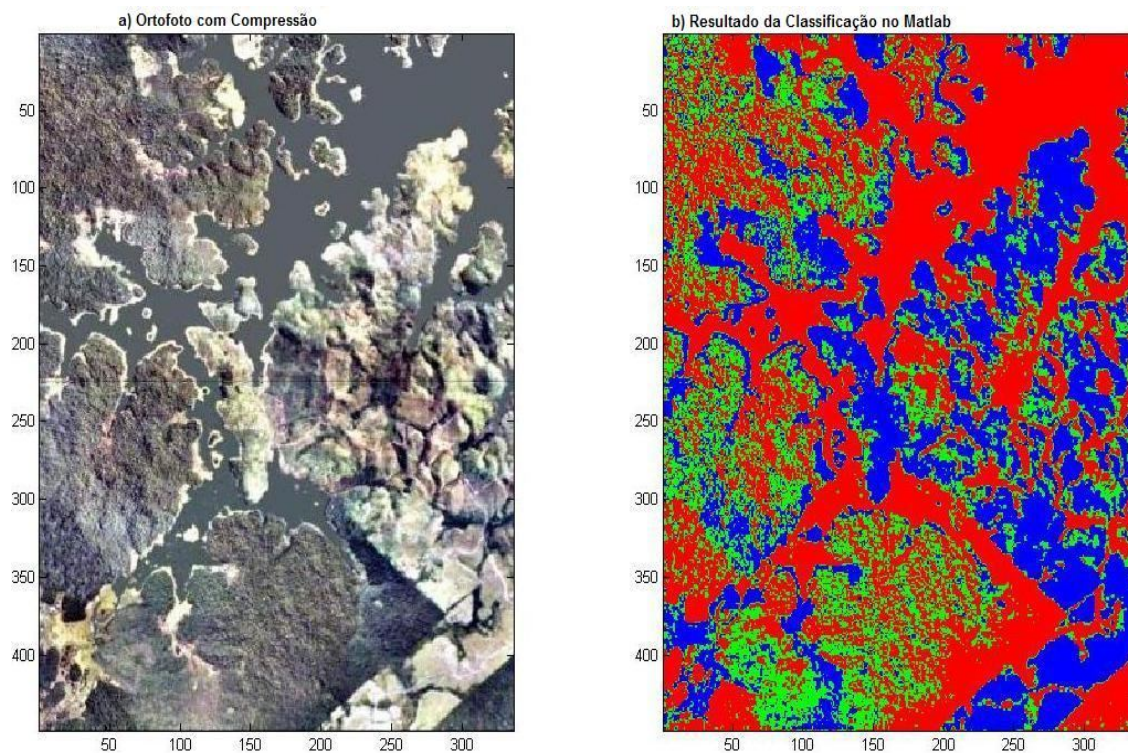


Figura 32- a) Ortofoto com Compressão e b) Resultado da Classificação da Ortofoto no Matlab

O mapa temático da figura 32(b) é importante na construção de cenários energéticos porque através dele é possível quantificar as informações à respeito de disponibilidade de recursos energéticos e realizar um planejamento capaz de avaliar previamente os potenciais da área em estudo.

Pode-se perceber no gráfico da figura 33 que o resultado da classificação da Ortofoto no Matlab indica que nessa área há 49% de água, 28% de áreas antropizadas e 24% de vegetação.

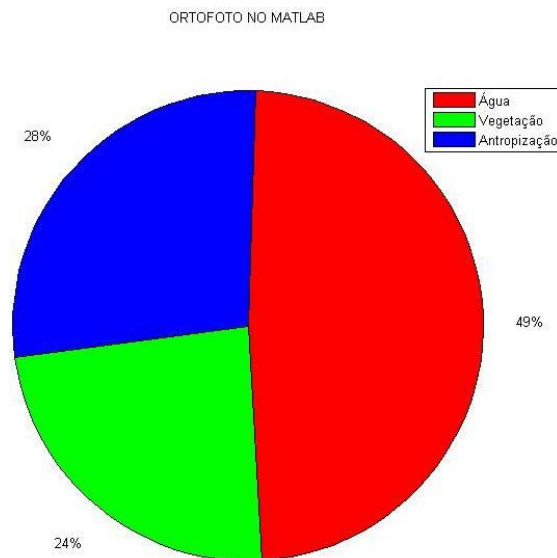


Figura 33- Resultado da Classificação da Ortofoto no Matlab em Porcentagem

A disponibilidade de energia renovável obedece a sazonalidade, por isso, o Planejamento procura identificar a necessidade de expansão de cada sistema visando complementar possíveis períodos de escassez ou de preços altos. A diversificação da matriz energética e o avanço tecnológico são o caminho para o uso racional das diversas formas energéticas e otimização do suprimento dessas fontes.

Quanto à classificação da ortofoto no Matlab pode-se afirmar que apresentou resultado semelhante ao obtido no software Arcview porque, mesmo compactada, a imagem não perdeu as feições adquiridas durante o processo de obtenção. Para a realização de uma cobertura aerofotogramétrica muitas variáveis são consideradas dentre elas o alto custo, por isso, estudos comparam a eficiência das informações geradas por imagens de satélites e fotografias aéreas associadas a Sistemas de Informações Geográficas.

A figura 34(a) mostra o recorte da imagem gerada pelo satélite Landsat e a 34(b) apresenta o resultado da classificação no Matlab da imagem do Landsat referente à mesma área da ortofoto (fotografia aérea com correções).

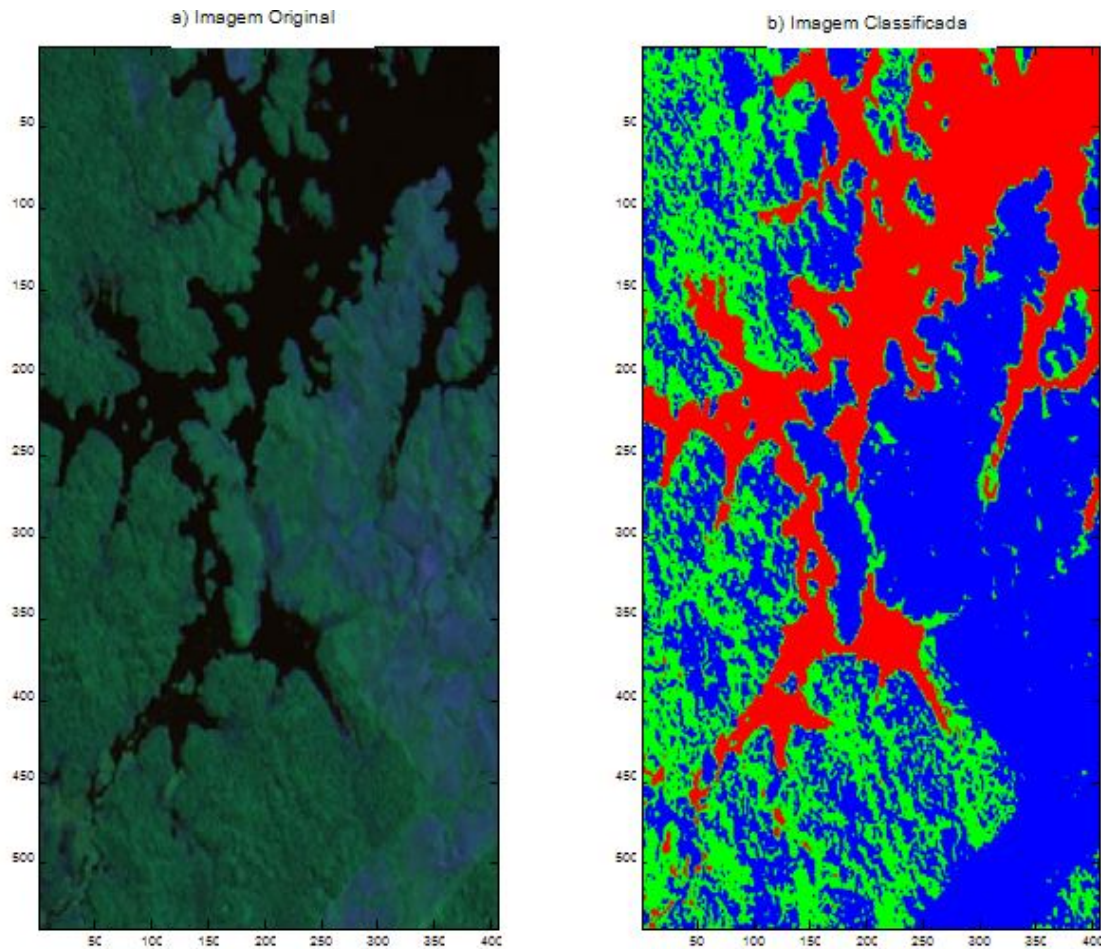


Figura 34- a) Recorte do Landsat e b) Classificação do Landsat no Matlab

O resultado da classificação digital (Figura 34(b)) é apresentado por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes). É constituído por um mapa de "pixels" classificados, representados por cores, ou seja, o processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral, que nesse caso são três bandas concatenadas, em um número de classes que vai variar de acordo com a intenção da pesquisa representada em uma única imagem.

O gráfico da figura 35 mostra a porcentagem presente nessa área de água, vegetação e antropização que são respectivamente 24%, 27% e 49% de cada classe.

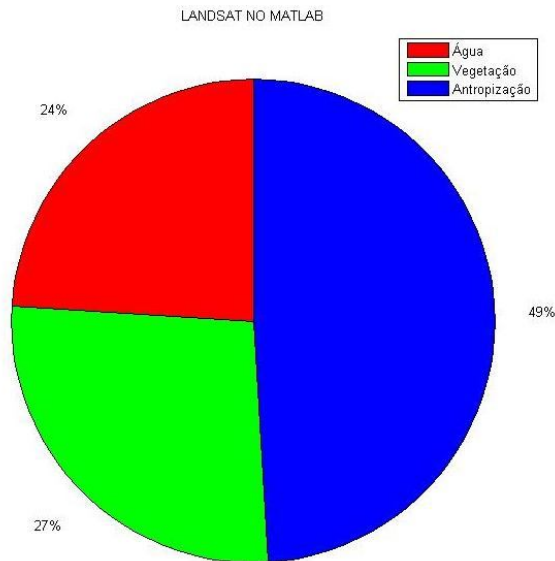


Figura 35- Resultado da Classificação do Landsat no Matlab em Porcentagem

Na ortofoto o classificador encontrou uma maior quantidade de água, enquanto que no Landsat a antropização foi a classe de maior porcentagem. Na classe de vegetação que é a de interesse desse trabalho não houve variação significativa.

O tempo de processamento do mosaico foi aproximadamente de dez horas apesar da compressão, enquanto que, o algoritmo processou a imagem do Landsat em menos de três horas.

6.2 Classificação no Arcview

As duas imagens que foram utilizadas nesse trabalho são de alta e média resolução espacial. Na imagem de alta resolução é possível identificar visualmente e diferenciar as classes de água, vegetação, antropização e por meio da fotointerpretação visual pode-se perceber claramente que a classe mais presente é a de antropização que pode ser confirmada pela data de obtenção da fotografia, agosto de 2001, período de verão.

Na figura 36 a ortofoto está em seu tamanho original e foi classificada no software Arcview 3.2a, através da função de categorização que agrupa os dados da imagem com base em seus valores espectrais utilizando o método do vizinho mais próximo.

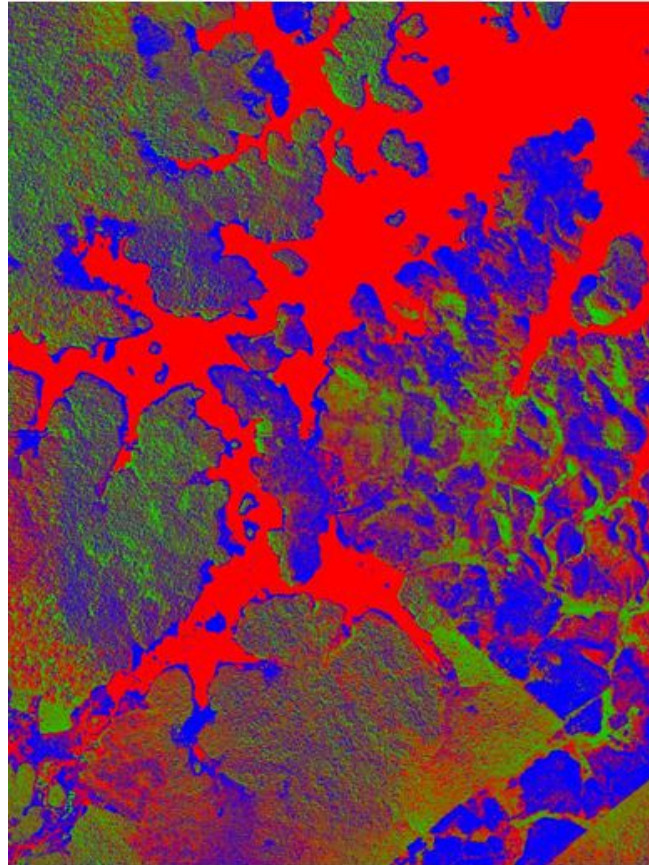


Figura 36- Classificação Ortofoto em Alta Resolução no Arcview

A resolução do pixel dessa imagem é de 3m^2 de área, portanto para conhecer a cobertura de cada classe em metros quadrados deve-se apenas multiplicar o número de pixels de cada classe por 3. Uma área de $195.007,260\text{ m}^2$ ficou dividida da seguinte forma:

- Água $\rightarrow 99.136,971\text{ m}^2$
- Vegetação $\rightarrow 38.220,540\text{ m}^2$
- Antropização $\rightarrow 57.649,749\text{ m}^2$

Para entender melhor o mapa temático da figura 36 é apresentado o gráfico em pizza (Figura 37) onde pode-se perceber uma maior representatividade da classe de água que combina com o resultado gerado pelo algoritmo implementado no Matlab.

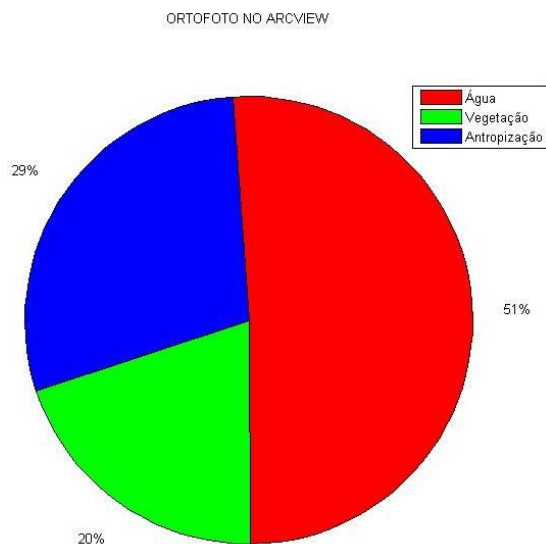


Figura 37- Resultado da Classificação da Ortofoto no Arcview em Porcentagem

Na figura 38 o recorte do Landsat na composição colorida RGB, bandas 3,4 e 5 foi classificado no Arcview com o mesmo procedimento de categorização adotado na classificação da ortofoto.

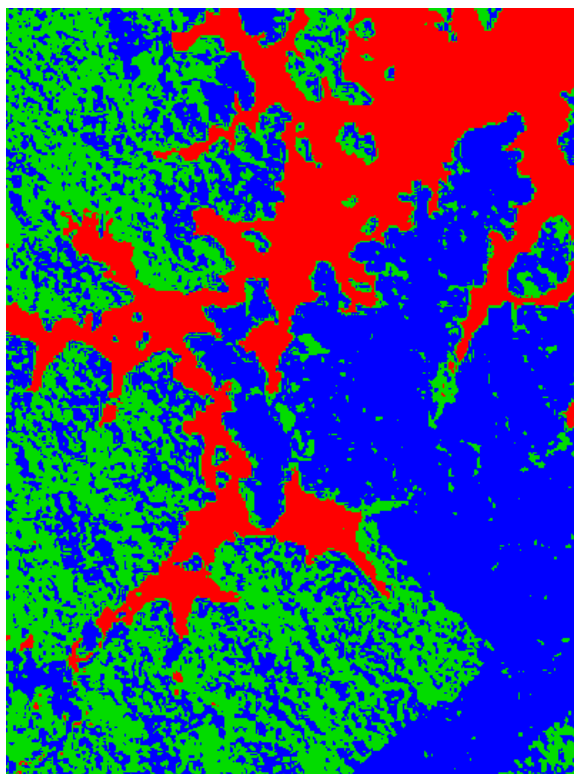


Figura 38 - Classificação do Landsat no Arcview

Um pixel do Landsat tem uma resolução de 30 m (900 m²). Então os valores calculados de cada classe foram:

- Água → 43.439,400 m²
- Vegetação → 65.224,800 m²
- Antropização → 87.801,300 m²

A área total é de 196.465,500 m².

Na figura 39 o gráfico representa o resultado da classificação do Landsat no Arcview. A área de antropização é a maior com uma porcentagem de 45%, enquanto que, a vegetação decorre em segundo lugar com 36%, mas a quantidade de água identificada nesse espaço é de apenas 22%.

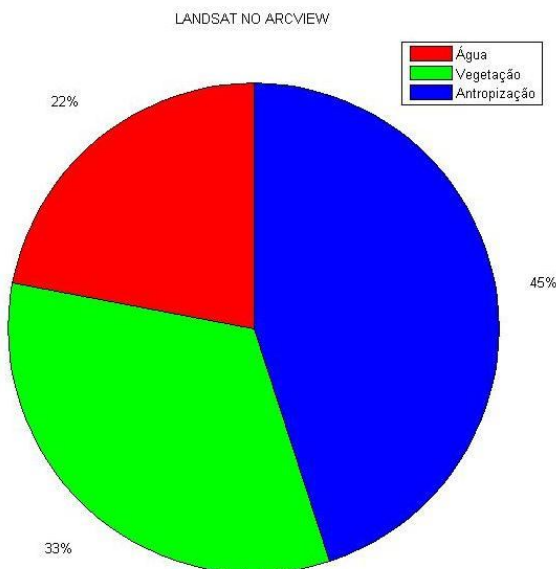


Figura 39- Resultado da Classificação do Landsat no Arcview em Porcentagem

O processo de mapear uma área de interesse energético através de imagens agiliza o trabalho de levantamento de campo, principalmente porque nessas regiões onde há maior disponibilidade de recursos a dificuldade de acesso ainda é muito alta. Considerando que o período de obtenção dessa imagem é de verão e que na interpretação visual da imagem de alta resolução percebe-se muitas áreas antropizadas esse resultado é o mais confiável.

No entanto, ocorreu uma divergência entre o resultado da Ortofoto (Figura 40(a)) e do Landsat (Figura 40(b)) que pode ser explicada pelo fato de que a imagem de alta resolução espacial ocasiona muita variação espectral em algumas feições, gerando dificuldades nas classificações, portanto o algoritmo de classificação do vizinho mais próximo, que é utilizado com êxito para classificar

imagens de média resolução espacial, apresentou desempenho inferior na classificação de imagens de alta resolução.

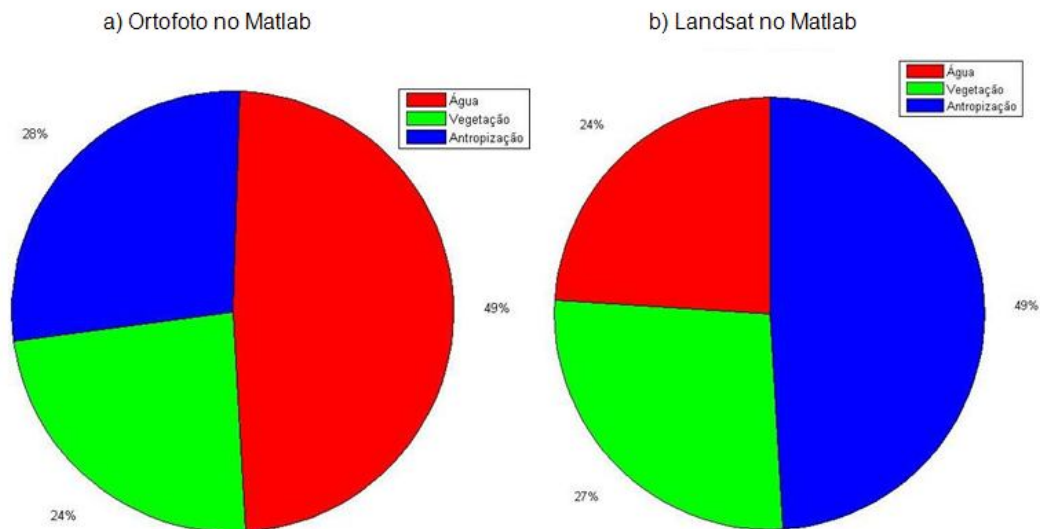


Figura 40- Divergências entre (a) Ortofoto no Matlab e (b) Landsat no Matlab

É importante ressaltar que tanto a imagem de alta resolução quanto o recorte do Landsat representam a mesma área identificada por meio de coordenadas geográficas.

A classe de vegetação que é o objeto de interesse nesse estudo não apresentou variação significativa, por isso o algoritmo é válido para aplicação na área de cobertura vegetal.

A produção de mapas temáticos com imagens de satélites e fotografias aéreas pode ser resultado de um processo de interpretação visual ou de uma classificação automática. O enorme volume de dados gerados atualmente por sensoriamento remoto torna a interpretação visual um processo dispendioso e demorado, por isso há uma necessidade de desenvolver métodos automáticos mais refinados para construção de cenários energéticos que possam ser monitorados e atualizados constantemente a fim de proporcionar respostas rápidas para a tomada de decisões.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO

Nessa dissertação foi abordado o problema de classificação de imagens com enfoque na área de sensoriamento remoto para planejamento energético. O classificador desenvolvido em ambiente Matlab utilizou o aprendizado por meio de redes neurais e utilizou como dado de entrada a matriz da imagem que representa a radiância no espectro eletromagnético de cada pixel.

Os resultados obtidos no classificador utilizando rede neural e no classificador do Arcview foram semelhantes, mas houve uma divergência no que diz respeito a imagem de alta e média resolução que pode ser justificada pelo fato de que a imagem de alta resolução espacial ocasiona muita variação espectral em algumas feições, gerando dificuldades nas classificações.

Esse trabalho pôde confirmar que a imagem de média resolução ainda é a mais indicada para resolver a maioria dos problemas de classificação e na questão da imagem de alta resolução estudos mais aprofundados devem ser continuados.

As mudanças climáticas e a busca por um desenvolvimento sustentável geram a necessidade de inovações tecnológicas para a definição de cenários mais abrangentes e que tenham a capacidade de identificar alternativas para a substituição dos combustíveis fósseis, expandir o fornecimento de energia para consumidores em áreas de difícil acesso e ampliar o uso de sistemas agroflorestais.

No contexto desses cenários a metodologia descrita nesse trabalho pode ser aplicada para identificar áreas degradadas (antropização), localizar consumidores em áreas isoladas muito comum na região Amazônica e monitorar recursos energéticos em sistemas agroflorestais. Esse classificador automático é uma ferramenta importante para identificar oportunidades e ameaças, assim como, potenciais a serem desenvolvidos na construção de cenários energéticos programados, sintetizados em um mapa geral.

REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; DEPPE, F.; RIZZI, R.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FONSECA, L. M. G. e FARIA, R. T. **Fusão de imagens por IHS para melhorar a identificação de uso do solo em elementos amostrais.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 27, n. 2, 2007.

ALMEIDA, A. C. **Metodologia Integrada Utilizando Sensoriamento Remoto e Redes Neurais Artificiais na Quantificação do Potencial de Biomassa Florestal na Amazônia.** 135 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Energia) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

ALMEIDA, A. C.; BARROS, P. L. C.; MONTEIRO, J. H. A.; ROCHA, B. R. P. **Estimation of Above-ground Forest Biomass in Amazonia with Neural Networks and Remote Sensing.** IEEE Latin America Transactions, Vol. 7, No. 1, 2009.

ALMEIDA, A. C., ROCHA, B. R. P.; **Energia, Desenvolvimento Sustentável e Inclusão Social nas Ilhas do Município de Belém;** Anais: Simpósio Amazônia, Cidades e Geopolítica das Águas. Belém. 2003.

ALMEIDA, A. C.; ROCHA, B. R. P.; MONTEIRO, J. H. A.; AARÃO JR, R. N. N.; GASPAR, G. C. M. **Planejamento energético em regiões isoladas da amazônia utilizando sistemas de informações geográficas.** In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5., 2004, Campinas.

ANDRADE, M. M. **Elaboração Do TCC Passo a Passo.** São Paulo: Ed. Factash, 2007. 198p

ANTUNES, A. F. B. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto em Ambiente de Geoprocessamento.** Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: < <http://people.ufpr.br/~felipe/apostilasr.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2010.

_____. **Fotointerpretação.** Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~felipe/fotointer.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2010.

AQUINO, L. C. S.; VIEIRA, H. M.; CRUZ, H. P. **Contribuições das técnicas de sensoriamento remoto para o diagnóstico de recursos vegetais com potencial energético na Amazônia.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p. 1423-1426.

ARAUJO, J. C. de; MOLIN, J. P.; VETTORAZZI, C. A.. **Uso de fotografias aéreas coloridas 35 mm na avaliação de produtividade de grãos.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 24, n. 3, 2004.

ARCGIS DESKTOP ARCVIEW. **Esri Oficial Distributor.** Disponível em: <<http://www.img.com.br/pdf/arcview.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

AZEVEDO, F. M. de; BRASIL, L. M.; OLIVEIRA, R. C. L. de. **Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas**. Florianópolis: Bookstore, 2000.

BAJAY, S. **Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia**. *Revista Brasileira de Energia*. Vol. 1(Nº1). SBPE, Campinas, 1989. p. 45 – 53.

BARCELLOS, P. R. M. **Reconstrução de Superfícies de Imagens de Gated SPECT para Auxílio na Avaliação do Movimento Cardíaco**. Universidade Federal de Pelotas - Instituto de Física e Matemática, 2009. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/prg/sisbi/bibct/acervo/info/2009/mono_pablo_barcellos.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2010.

BARRETT, G.; DINGWALL, L.; GAFFNEY, V. L. **Heritage management at Fort Hood, Texas: experiments in historic landscape characterization**. Editora: Archaeopress. 128 pág. Volume 1. 2007.

BATISTA, G. T. **Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Cartografia (Material Didático)**. Slides usados em aula do 1º Bimestre de 2007. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/sensor_remoto/Aulas_5_6_2007.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2010.

BATISTELLA, M. **Contribuições para a classificação e monitoramento do uso e cobertura das terras na Amazônia**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 2859-2861.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? para quem?**. São Paulo: Editora Livraria da Física, FASE, 2002.

BERNARDES, T.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. **Classificação Automática de Imagens de Satélites no Mapeamento da Região Cafeeira de Patrocínio, Mg**. In: V SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2007, Águas de Lindóia. Anais do V Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil; Brasília, DF: Embrapa Café, 2007.

BRAGA, A. P.; LUDERMIR, T. B.; CARVALHO, A. P. L. F. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, [c2000].

Brites, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.. **Comparação de Desempenho entre três Índices de Exatidão Aplicados a Classificações de Imagens Orbitais**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 1996, p. 813-821.

BRITO, J. L. N. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007, 196p.

BURANI, G. F.; RECH, H.; ABREU, Y. V.; PRADO, L. T. S.; TEIXEIRA, P. H.; KAMIMURA, A.; SCARPINELLA, C. A. **Estudos de cenários energéticos e a**

projeção da matriz energética do Tocantins 2030. São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, 2007.

CARREIRA, F. e SILVA, P. **Introdução ao Cálculo e Programação em Matlab.** Dezembro, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/44404041/Introducao-Ao-Matlab>>. Acesso em: 28 mar. 2011

CHRISTODOULOU, C. **Applications of neural networks in electromagnetics.** Boston: Artech House, c2001.

CONDURÚ, M. T.; PEREIRA, J. A. R. **Elaboração de Trabalhos Acadêmicos: normas, critérios e procedimentos.** 2ª ed. Belém: EDUFPA, 2006.

COSTA, J. A. F.; ANDRADE NETTO, M. L. de. **Segmentação de mapas auto-organizáveis com espaço de saída 3-D.** Sba Controle & Automação, Natal, v. 18, n. 2, 2007.

CRÓSTA, Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas, 1992. 164 p.

DAAMEN, M. L. J.; Rocha, J. V.; LAMPARELLI, R.A.C.; ZULLO JUNIOR, J. **Mapeamento da variabilidade espacial da produção da cultura de cana-de-açúcar por meio de processamento digital de imagens de satélite e análise de componentes principais.** In.: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão Viçosa, 2, MG, 12 a 14 de junho de 2002.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. **Delineamento de Copas de Árvores em Fotografias Aéreas de Alta Resolução, através de suas Sombras Periféricas: Estudo de Caso na Floresta Ombrófila Mista.** Rev. Árvore, Viçosa, v. 29, n. 2, 2005.

ELETROBRAS. **Centro Da Memória Da Eletricidade No Brasil.** Disponível em: <<http://www.memoria.elektrobras.gov.br/main.asp>>. Acesso em 30 jun. 2011.

EMBRAPA. **Sistemas de Monitoramento e Gestão Territorial - Landsat (Land Remote Sensing Satellite).** Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. **Estimativa de áreas agrícolas municipais, utilizando sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite.** Bragantia, Campinas, v. 61, n. 2, 2002.

ESPINHOSA, M. C.; GALO, M. L. B. T. **Uma aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na detecção de macrófitas emersas em grandes reservatórios.** In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, 2003.

ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A. **Cobertura Aerofotogramétrica.** Disponível em: <http://www.esteio.com.br/servicos/so_cobertura.htm>. Acesso em: 23 mai. 2010.

FALCÃO, A. **Classificação de Ocupação Florestal em Fotografias Aéreas Orto-restituídas com Redes Neurais Probabilísticas**. Grupo de Economia e Gestão de Recursos Naturais. Departamento de Engenharia Florestal -Instituto Superior de Agronomia, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2ª ed., 2007.

FONSECA, L. M. G. **PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**. INPE, 2000. Disponível em: <http://geosere.ccr.ufsm.br/files/PDI_3_correcao.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2010.

FONTES, L. C. A. de A. **Técnicas de Geomensura: Notas de Aulas**, UFBA, Edição Experimental, 2005. Disponível em: <www.topografia.ufba.br/nocoos%20de%20aerofotogrametriapdf.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2010.

FRANCISCO, C. N. **Interpretação e Prática Cartográfica para o Ensino Escolar - Módulo Sensoriamento Remoto**. Departamento de Análise Geoambiental - Universidade Federal Fluminense, 2007. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/Apostila%20-%20Interpretacao%20e%20Pratica%20Cartografica.doc>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

FREIRE, M. L. F.; BASTOS, E. J. B.. **Simulação da Reflectância Espectral Planetária de Alvos**. Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 16, n. 2-3, July 1998 .

GILAT, A. **Matlab com Aplicações em Engenharia**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GONÇALVES, F. D. **Utilização de dados de sensores remotos para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo na Baía de Guajará, Belém-PA**. 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

GONÇALVES, L. M. S.; FONTE, C. C.; JULIO, E.N.B.S e CAETANO, M. **Aplicação de medidas de incerteza no processo de Classificação de imagens multiespectrais**. Cartografia e Geodesia. LIDEL, Lisboa, pp. 180-190. 2009

GONZALEZ, R. C; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 2000.

GRIMONI, J; GALVAO, L. C; UDAETA, M. **Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo-EdUSP, 2004.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e práticas**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HERNANDEZ, E. D. M. **Inteligência Computacional e Redes Neurais em Engenharia Elétrica**. Disponível em:

<<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/RedesNeurais.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2010.

HINDRICH, R; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Editora Cengage Learning Editores, 2004.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Anais do III Workshop Internacional Brasil - Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Campinas (SP)- Brasil, 2005.

INPE. **Divisão de Geração de Imagens** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <tneuminha@hotmail.com> em Nov. 2009.

JUCÁ, S. C. S; CARVALHO, P. C. M; AGUIAR JUNIOR, J. S. **A Relevância dos Sistemas de Informação Geográfica no Desenvolvimento das Energias Renováveis**. Ciência & Cognição, Vol. 9, 131-136, 2006.

JOHANSSON JUNIOR, A. O. **Notas de Aula, Disciplina Aerofoto e Fotointerpretação**. UNIFAP (2000). Disponível em: <<http://www.cartografia.eng.br/artigos/naero07.asp>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

KANDEL, E.; SCHWARTZ, J.; JESSEL, T. **Principles of neural science**. 3. ed. USA: Appleton & Lange, 1991. p. 367-384.

KHATCHATOURIAN, O.; PADILHA, F. R. R. **Reconhecimento de variedades de soja por meio do processamento de imagens digitais usando redes neurais artificiais**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 28, n. 4, 2008.

KÓVACS, Z. L. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Edição Acadêmica, 1996.

LIMA, D. M. P. A.; ALVES JUNIOR, N. **Introdução a redes neurais**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF. Disponível em: <<http://mesonpi.cat.cbpf.br/naj/redesneurais.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

LIMA, Z. M. C.; RIBEIRO, M. R.; LIMA, A. T. O. **Utilização de imagens TM/LANDSAT-5 como ferramenta no mapeamento de solos**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 5, n. 3, 2001 .

LINO, A. C. L.; SANCHES, J.; FABBRO, I. M. D. **Image processing techniques for lemons and tomatoes classification**. Bragantia, Campinas, v. 67, n. 3, 2008.

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5ª Ed. rev. Atual. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008. 103p.

LUDWIG JUNIOR, O.; COSTA, E. M. M. **Redes Neurais – Fundamentos e Aplicações com Programas em C**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna Ltda, 136p – 1ª edição – 2007.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 257p, 1986.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; YAMASHITA, C.; PEREIRA, S. V.; MANTELLI NETO, S. L. **Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético-Projeto SONDA**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p. 3563-3570.

MENEZES, C. C. **Redes Neurais: arquiteturas especiais de computadores**. Instituto de Informática – CPGCC (UFRGS). Outubro/ 2001.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

MONTEIRO, C.; LOPES J. P.; VA K. P.; HEROLD, H.; ROCHA, B.; SILVA, I. O.; PINHEIRO, H.; MORAES, S.; ROCHA, O. **Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará**. Actas do 4º Encontro Luso-Afro-Brasileiro de Planejamento e Exploração de Redes de Energia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 1999.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Energias renováveis: os exemplos de fora**. Disponível em: <<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/1128>>. Acesso em 30 jun. 2011.

NOVO, E. .M. L. de M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 3ª edição.

NOVO, E. M. L. de M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. Disponível em:< www.agro.unitau.br/sensor_remoto/apofla.pdf >. Acesso em: 23 mai. 2010.

PAREDES, E. A. **Introdução a Aerofotogrametria para Engenheiros**. Maringá-PR. 249p, 1987.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. **Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira-PA**. Rev. Árvore, Viçosa, v. 26, n. 4, 2002.

_____. **Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais**. Rev. Árvore, Viçosa, v. 28, n. 4, 2004.

REDWEIK, P. **Fotogrametria Aérea**. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Lisboa, 2007. Disponível em:

<www.ocartografo.com/apostilas/fotogrametriaaerea/fotogrametriaaerea.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2010.

RIBEIRO, F. S; PELEGRINI, M. A; UDAETA, M. E. M. **Planejamento integrado de recursos energéticos na eletrificação rural**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas-SP, 2000.

RIBEIRO, H. M. C; ALMEIDA, A. C; ROCHA, B. R. P; KRUSCHE, A. V. **Water Quality Monitoring in Large Reservoirs Using Remote Sensing and Neural Networks**. IEEE Latin America Transactions, Vol. 6, No. 5, 2008.

RIBEIRO, J.C. **Fotogrametria Digital**. In: Anais do I Workshop sobre Geoprocessamento da UFV. Viçosa [s.n.]: 2002.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, J. A. S. **Comparação da técnica das redes neurais com o algoritmo estatístico da máxima verossimilhança na classificação do uso do solo utilizando imagens orbitais**. In: II COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, Curitiba, 2001. p. 176-177.

ROCHA, B. R. P. **Impactos na Geração de Eletricidade devidos a Implantação de Sistemas de Produção de Biodiesel no Estado do Amazonas**. Universidade Federal do Pará. 2011. 38 slides.

ROCHA, B. R. P.; **Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará**. Relatório Final Projeto Pesquisa SECTAM/UFPA/INESC, Belém-PA, Brasil, 1999.

ROCHA, B. R. P; SILVA , I.M.O; ROCHA, A.O.F; PINHEIRO, E.C.L; LOPES, V. M. **Technologies for Electric Energy Production Using Biomass in Marajo Island, Brazil**, Proceedings of The Fourth Biomass Conference of the Americas. California, USA.1999 pag.- 187-192.

ROCHA, C. H. O; PIORNO, J. L; FREIRE, R. R; MEDINA, I. A. **Uma Discussão Histórica Sobre a Fotogrametria**. In Anais: XXI - Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte - MG, 2003.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Editora CAMPUS - 2ª Edição – 2004.

SADECK GEOTECNOLOGIAS. **Tutorial ArcGIS**. Disponível em: <<http://geotecnologias.wordpress.com/2009/11/21/classificacaosupervisionada-arcgis-9-3/>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

SAITO, J. H. **Redes Neurais Artificiais**. Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos. 2006. 42 slides.

SALDANHA, M. F. S., FREITAS, C. C. **Segmentação de Imagens Digitais: Uma Revisão**. Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). In: IX Workshop do Curso de Computação Aplicada, LIT/INPE, 21 de outubro de 2009.

SANTOS, H. F.; COURA, P. Z.; DANTAS, S. O.; BARONE, P. M. V. B. **Escola Brasileira de Estrutura Eletrônica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002.

SCHOENINGER, E. R.; KOEHLER, H. S.; BOTELHO, M. F.; WATZLAWICK, L. F.; OLIVEIRA, P. C. **Uso de redes neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. Guarapuava- PR, v.4 n.2, p.179-195. Maio/Ago. 2008

SILVA, A. L. G. **Descrição dos Principais Sistemas Sensores Orbitais em Operação**. Universidade Federal Fluminense, 2002. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/apostilasr.doc>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

SILVA, A. V. R. **Nossa Estrela o Sol**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, I.M.O., BRIGIDA R. P. R. **Biomass Residues Evaluation For Energy Generation in Marajo Island, Brazil**, 5th Biomass Conference of the Americas. Florida, USA. 2001.

SILVA, M. R. L. F., **Mandando a Informática para o Espaço**. In Anais: IV Escola Regional de Informática RJ/ES, 19-21 de Novembro de 2004.

SILVA, M. V. M; BERMAN, C. **O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural**. In Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas-SP, 2002.

SOARES, J. L.. **Biologia**. 9ª ed. São Paulo: Scipione, 1997.

SOUZA, M. V. P.; SOUZA, R. C.; PESSANHA, J. F. M. **Custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica: um estudo comparativo dos modelos DEA e SFA**. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 17, n. 4, 2010.

SPOHR, R. **B. Fotogrametria e Fotointerpretação**. Disponível em: <http://www.cesnors.ufsm.br/professores/renatospohr/introducao_a_geomatica_i_g/apostilas/Principios%20fotogrametria%20e%20fotointerpretacao.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2010.

TAFNER, M. A. **Reconhecimento de Palavras Faladas Isoladas Usando Redes Neurais Artificiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

TAFNER, M. A.; XEREZ, M.; RODRIGUES FILHO, I. W. **Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação**. Blumenau: EKO: Editora da Universidade Regional de Blumenau, 1996.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de Cartografia, UFMG, 2000. Disponível em: <<http://www.ltc.ufes.br/geomaticsce/Modulo%20Fotogrametria.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2010.

TOPOCART TOPOGRAFIA E ENGENHARIA S/C. **Relatório Técnico de Implantação da Rede de Apoio Básico Geodésico na Área de Projeto da UHE Tucuruí.** Brasília, 2002.

UDAETA, M.E.M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável).** Tese (Doutorado) - EPUSP, São Paulo. 345p. 1997

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. e SENA JÚNIOR, D. G. **Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.

APÊNDICE A

ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA DAS IMAGENS TRABALHADAS

LISTA DE FIGURAS DO APÊNDICE A

Figura 41 – mostrando a frequência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas das fotografias aéreas	111
Figura 42 – mostrando a frequência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas da imagem do Landsat	112

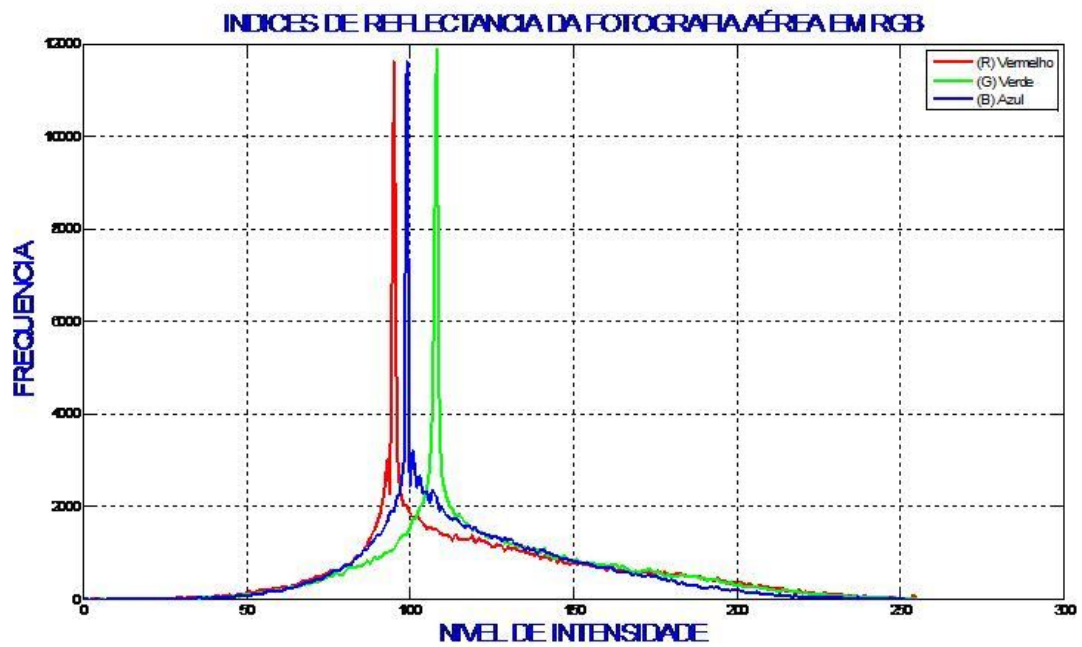


Figura 41 - Frequência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas das fotografias aéreas.

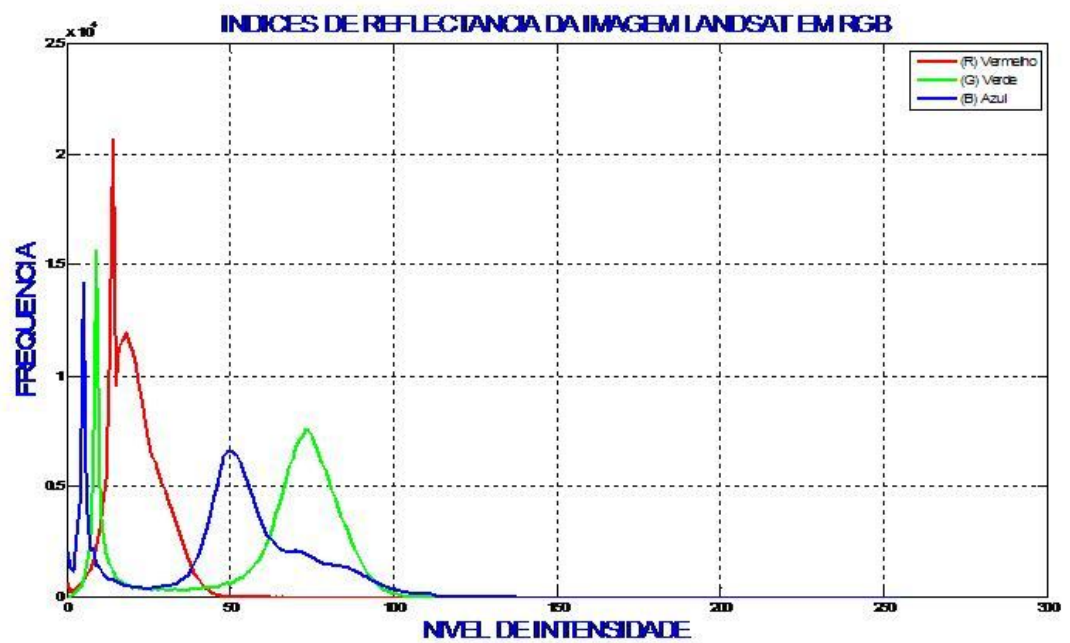


Figura 42 - Frequência dos níveis de intensidade da reflectância das três bandas da imagem do Landsat.