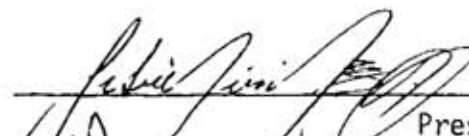


1. Publicação nº <i>INPE-3455-TDL/188</i>	2. Versão	3. Data <i>Março, 1985</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa
4. Origem <i>DRH-DDS</i>	Programa <i>FRH/SER</i>		<input type="checkbox"/> Restrita
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO COBERTURA DA TERRA MSS/LANDSAT</i> <i>MAPEAMENTO DIGITAL ÁREAS COSTEIRAS</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:55(816.4)</i>			
8. Título <i>INPE-3455-TDL/188</i> <i>PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS DO MSS-LANDSAT</i> <i>APLICADO AO MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA DA</i> <i>PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO TUBARÃO, S.C.: METODO</i> <i>GIA E ESTIMATIVA DE EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>87</i>	
9. Autoria <i>Dalton de Morisson Valeriano</i>		11. Última página: <i>B.2</i>	
 Assinatura responsável		12. Revisada por  <i>Hermann Kux</i>	
		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho descreve uma metodologia para estimar a exatidão de classificação de mapas temáticos. A metodologia utilizada permite selecionar um tamanho de amostras e o correspondente número máximo de observações de classificação errada permitido para realizar um teste de hipóteses que satisfaça os seguintes critérios: a) possuir baixa probabilidade de aceitar um mapa de má qualidade; b) possuir alta probabilidade de aceitar um mapa de boa qualidade. O teste foi aplicado a um mapa de cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, litoral sul do Estado de Santa Catarina. Este mapa foi obtido a partir de um procedimento híbrido de classificação digital de dados do MSS-LANDSAT. A informação de verdade terrestre utilizada como referência na realização da estimativa de exatidão do mapa derivado de dados do MSS-LANDSAT foi um mapa de cobertura da terra elaborado através de interpretação visual de fotografias aéreas. Considerações sobre os resultados do teste são apresentados, bem como uma avaliação crítica sobre o próprio teste.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovado em 21 de Agosto de 1984.</i>			

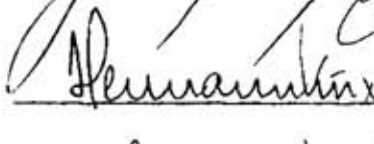
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Getúlio Teixeira Batista



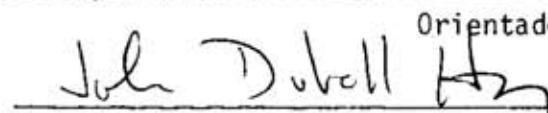
Presidente

Dr. Hermann Kux



Orientador

Dr. John DuVall Hay



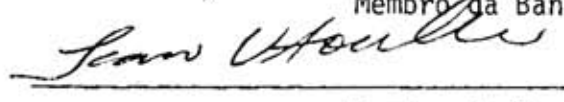
Membro da Banca
-convidado-

Eng^a Agro. Sherry Chou Chen, MSc.



Membro da Banca

Dr. Ícaro Vitorello



Membro da Banca

Candidato: Dalton de Morrison Valeriano

São José dos Campos, 21 de agosto de 1984

ABSTRACT

This work describes a methodology to estimate the classification accuracy of thematic maps. The utilized methodology permits to select a sample size and the corresponding maximum number of observations allowed with erroneous classification, in order to accomplish a hypothesis test which satisfies the following criteria: a) to have a low probability of accepting a map with bad quality; b) to have a high probability of accepting a map with good quality. The test was applied to a land cover map of the coastal plain of the Tubarão river, southern littoral of the Santa Catarina State. This map was obtained by means of a hybrid classification procedure of MSS/LANDSAT digital data. The ground truth information used as reference in the realization of the accuracy estimation of the map derived from MSS/LANDSAT data was a land cover map elaborated through visual interpretation of aerial photographs. Considerations on the results of the test are presented, as well as a critical evaluation of the test itself.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS COSTEIRAS:</u> <u>CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DO MSS-LANDSAT E</u> <u>INTERPRETAÇÃO VISUAL DE FOTOGRAFIAS AÉREAS</u>	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Revisão Bibliográfica	1
1.2.1 - Banhados costeiros: definição, importância ecológica e papel do sensoriamento remoto na sua preservação	1
1.2.2 - Sistemas de classificação	6
1.2.3 - Sensoriamento remoto aplicado a regiões costeiras	7
1.2.4 - Descrição da área de estudo	10
1.3 - Materiais	16
1.4 - Método e discussão	17
1.4.1 - Desenvolvimento do sistema de classificação	17
1.4.2 - Elaboração do mapa de verdade terrestre (MVT)	24
1.4.3 - Interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT	25
1.4.3.1 - Pré-processamento	25
1.4.3.2 - Classificação automática da área de estudo	27
<u>CAPÍTULO 2 - ESTIMATIVA DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE MAPAS</u> <u>TEMÁTICOS</u>	31
2.1 - Introdução	31
2.2 - Revisão Bibliográfica	33
2.3 - Metodologia utilizada	51
2.3.1 - Registro dos mapas	51
2.3.2 - Avaliação da exatidão de classificação do mapa	52
2.3.2.1 - Alocação de pontos para amostragem	52
2.3.2.2 - Determinação do tamanho da amostra	53
2.3.3 - Avaliação da exatidão de classificação por classe	54
2.4 - Discussão dos resultados	55

	<u>Pág.</u>
2.4.1 - Avaliação da exatidão do mapa temático	55
2.4.2 - Avaliação da exatidão de classificação por classes	60
2.5 - Conclusões	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A - COBERTURA DO SOLO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO TUBARÃO (SC) - SETEMBRO DE 1978	
APÊNDICE B - COBERTURA DO SOLO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO TUBARÃO (SC) - ABRIL DE 1978	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Descrição da área de estudo	11
2.1 - Função de densidade de probabilidade binomial ($f(x_i; 30; 0,85)$) com área de rejeição de H_0 assinalado	40
2.2 - Funções de densidade de probabilidade binomial: a) $f(x_i; 30; 0,85)$ com área de R_u assinalado; b) $f(x_i; 30; 0,90)$ com área de R_p assinalada	42
2.3 - Diminuição do risco do produtor com o aumento do tamanho da amostra	48

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Sistema de classificação	18
1.2 - Valores a serem subtraídos para cada canal do MSS-LANDSAT para correção atmosférica	26
2.1 - Probabilidade de obter nenhum erro em amostras de tamanhos variáveis de populações com diferentes exatidões	37
2.2 - Probabilidade de obter x erros em amostras de tamanhos variáveis de uma população com exatidão $P = 0,85$	38
2.3 - Valores de X_C associados a $n \in [30, 50]$ para $\alpha < 0,05$ e $P_U = 0,85$ e valores correspondentes de β para $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$	44
2.4 - Valores ótimos de n para $X_C \in [0,47]$ e para $\alpha = 0,05$ e $P_U = 0,85$, e correspondentes valores de β para $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$	46
2.5 - Matriz de confusão entre as classes e dados da amostragem ..	49
2.6 - Matriz de confusão e dados de amostragem de cada classe	50
2.7 - Resultados da amostragem obtidos de dados do MSS-LANDSAT para avaliação da exatidão de classificação do mapa	56
2.8 - Proporção de pontos erroneamente classificados observados a acréscimos de 10 do tamanho da amostra	59
2.9 - Matriz de confusão resultante da avaliação da exatidão de cada classe	61

CAPÍTULO 1

MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS COSTEIRAS: CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DO MSS/LANDSAT E INTERPRETAÇÃO VISUAL DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

1.1 - INTRODUÇÃO

As planícies de maré ocupadas por macrófitas têm importante papel na cadeia alimentar de ecossistemas costeiros confinados, tais como baías e lagoas, fornecendo-lhes matéria orgânica particulada e em solução. A estabilidade desta produtividade primária, muitas vezes dominante em tais ecossistemas, deve ser preservada pelos órgãos públicos interessados na produtividade de atividades pesqueiras próximas à costa, aliados aos órgãos reguladores da utilização do solo. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para o levantamento de informações básicas e para o monitoramento destas áreas apresenta ótimas perspectivas quando comparadas às técnicas de levantamento de campo convencionais.

A escolha do tema cobertura da terra em áreas costeiras visa desenvolver e difundir as técnicas de aplicação de sensoriamento remoto neste tipo de ambiente.

1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 - BANHADOS COSTEIROS: DEFINIÇÃO, IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA E PAPEL DO SENSORIAMENTO REMOTO NA SUA PRESERVAÇÃO

Os estuários constituem, junto com as florestas tropicais e os bancos de corais, os ambientes de maior produtividade biológica existentes na Terra, segundo Odum (1971). Pritchard (1967) definiu estuários como corpos d'água semifechados, que têm conexão com o mar, nos quais a água do mar se dilui ao longo de um gradiente com a água proveniente da drenagem terrestre.

As características próprias dos estuários podem ser extraídas da definição acima: há um fornecimento de nutrientes em um corpo d'água semi-fechado que os acumula, daí a sua alta produtividade. Os mecanismos de retenção de nutrientes nos estuários são: a adsorção deles nas argilas do fundo, a rápida assimilação de nutrientes pelas macrófitas bentônicas e a alta biomassa da biocenose que funciona como um reservatório de nutrientes.

As correntes internas dos estuários, geradas pelas marés, ventos e drenagem fluvial, promovem a circulação dos nutrientes em suspensão, fazendo com que as espécies sêsseis filtradoras sejam especialmente bem sucedidas neste ambiente. Quando estas correntes não são profundas o bastante para revolver o fundo, ocorre o acúmulo de matéria orgânica, que é fonte de alimento para detritívoros bentônicos (Pickral e Odum, 1976).

Os estuários são importantes na reprodução de várias espécies animais marinhas, que ali procuram condições próprias para o deseenvolvimento de suas formas larvais e juvenis (Gunter, 1967).

Os estuários podem ser classificados em quatro grupos, de acordo com a sua origem (Pritchard, 1967):

- vales inundados;
- fiordes;
- formados por processos tectônicos;
- formados por restingas.

Os primeiros originam-se de vales formados durante as regressões marinhas do Quaternário. Após o período glacial houve transgressões do nível do mar e o estuário assumiu a forma do antigo vale. Os fiordes são de origem glacial e têm como característica comum a presença de uma barreira submersa no contato com o mar, formada pela moraina frontal da geleira. Os estuários de origem tectônica são corpos

d'água capturados próximo à costa por falhamentos e subsidências. Finalmente os estuários formados por restingas são antigas baías, fechadas por cordões de areia depositados pelo mar ao longo da costa.

Às margens dos estuários ocorrem processos de colmatção por deposição de sedimentos e acúmulo de matéria orgânica produzida pelas macrófitas ali presentes, resultando estes processos em planícies costeiras de extensão variável (Redfield, 1967). A seção das planícies costeiras sob a influência direta das marés é denominada planície de maré (Zenkovich, 1967).

As planícies de maré podem ser desprovidas de vegetação vascularizada, formando os chamados bancos de vasa. A ocupação destas áreas por vegetais superiores é feita por poucos gêneros cosmopolitas adaptados às oscilações do nível d'água, à salinidade e à baixa aeração destes solos argilosos. Basicamente existem duas unidades fisionômicas presentes nas planícies de maré: manguezais e banhados¹ (Biot, 1965).

O manguezal é um tipo de vegetação arbórea-arbustiva representado no Brasil pelos gêneros *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* e *Hibiscus*. Os dois primeiros gêneros são providos de diversas adaptações para ocupar com sucesso este tipo de ambiente (raízes adventícias, pneumatóforos, viviparidade, xeromorfismo) e são pioneiros na sucessão vegetal desenvolvida nas terras recém-emersas dos estuários. O manguezal, tipicamente tropical, ocorre na costa brasileira desde o Amapá até Santa Catarina (Reitz, 1961).

O banhado é uma vegetação herbácea formada por gêneros de Gramineae (*Spartina*, *Paspalum*) Juncaceae (*Juncus*), Cyperaceae (*Claudium*, *Cyperus*, *Heliocharis*) e outras. Na ocorrência de manguezal, de ocupação restrita ao médio litoral, o banhado ocupa apenas o infra e o supra-litoral.

¹ Por não haver consenso quanto à terminologia nacional, o termo "banhado" utilizado na região estudada, será aplicado ao tipo de vegetação denominada "marsh" em inglês e "marais" em francês.

Portanto, este tipo de vegetação só é expressiva em termos de área nas planícies costeiras situadas fora da área de ocorrência de manguezal, que no Brasil são a de Santa Catarina e as planícies costeiras do Rio Grande do Sul.

Diversos trabalhos atestam a alta produtividade primária das comunidades e populações vegetais do banhado: White et alii (1978) mediram uma produtividade de $2895 \text{ gm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em um dossel de *Spartina alterniflora*. Cruz e Hackney (1977) avaliaram em $1360 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ a produtividade de raízes de uma comunidade de *Juncus roemerianus*. A produtividade aérea encontrada por Hopkinson e Goesselink (1978) foi em $\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$: 3237 para *Distichlis spicata*, 3416 para *Juncus roemerianus* e 2658 para *Spartina alterniflora*. Adaime (1978), analisando a variação sazonal da biomassa de um banco de *Spartina alterniflora* em Cananéia, SP, observou que o pico da produção ocorre em março com $816 \pm 187 \text{ g m}^{-2}$ e o mínimo em julho com $166 \pm 33 \text{ g m}^{-2}$, e que a deposição de matéria morta se mantém relativamente constante durante o ano.

A contribuição do banhado para a cadeia alimentar dos estuários é conhecida desde o início deste século (Darnell, 1967a). Como o banhado possui alta produtividade e baixa biomassa, há uma deposição contínua de matéria orgânica nas áreas por ele ocupada. As folhas mortas são fragmentadas "in loco" por ação de microorganismos e, quando atingem tamanho suficiente para entrar em suspensão, são exportadas para o estuário pelo refluxo da maré ou drenagem das águas pluviais (Darnell, 1967b).

A medida que as partículas de detrito diminuem, aumenta o seu teor de proteínas devido à maior relação superfície/volume e à presença de microorganismos na superfície da partícula. Odum e Cruz (1967) observaram que as folhas mortas das plantas de um banhado da Geórgia, EUA, tem 6% de proteínas, enquanto as partículas menores que 0,064 mm, oriundas destas folhas, têm este teor aumentado para 24%. A exportação deste material para o estuário foi medida em $5,6 \text{ kg ha}^{-1}$ nas grandes marés, e $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ nas pequenas marés, por ciclo de maré.

Por outro lado, o banhado é visto como fronteira agrícola cuja ocupação depende apenas do controle do nível d'água e do impedimento da entrada de água salgada. Isto é feito através de canais de drenagem, diques e aterros. Deste modo, grande áreas deste valioso recurso natural estão sendo substituídas por áreas de pastagens e culturas agrícolas em detrimento da produtividade dos estuários.

Faz-se necessários que o planejamento da ocupação do solo em planícies costeiras próximas a estuários seja feito procurando a conservação da produtividade destes corpos d'água, fonte de produtos de alta rentabilidade e teor protéico.

Para que seja realizado o planejamento da ocupação destas áreas com estes enfoques e monitorada a sua execução, é necessária a obtenção periódica de mapas de uso e cobertura do solo onde as áreas alagadas, seja por água doce ou por água salgada, estejam assinaladas. Obter estes dados em campo é difícil e oneroso devido à inacessibilidade do terreno com solos argilosos e alagados. O uso de fotografias aéreas é oneroso devido ao fato de estas áreas estarem espalhadas ao longo da costa, e pela necessidade de repetitividade.

O sistema LANDSAT de aquisição de dados de recursos naturais serve bem a este propósito de levantamento de grandes áreas com repetitividade. Considerando que o satélite LANDSAT efetua órbitas polares, o litoral dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é coberto por duas órbitas apenas, que permitem o levantamento da ocupação do solo de grandes extensões do litoral para um dado momento. A repetitividade do sistema (18 dias para o LANDSAT-3 e 16 dias para o LANDSAT-4) satisfaz o aspecto temporal do monitoramento. Como os produtos gerados pelo sistema MSS-LANDSAT são dados digitalizados por unidade de resolução e por banda espectral, pode-se realizar o mapeamento através de procedimentos automáticos, o que torna a extração de informações extremamente rápida.

1.2.2 - SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Anderson et alii (1979) desenvolveram um sistema de classificação com o intuito de padronizar as legendas de mapas de uso e cobertura da terra e de compatibilizar os produtos gerados a partir de dados obtidos com diversos tipos de sensores remotos em diversas escalas. Este sistema de classificação é organizado hierarquicamente, sendo o nível I recomendado para aplicações com dados de sistemas orbitais. Este nível é extremamente genérico, permitindo o desdobramento em níveis de detalhamento compatíveis com dados de melhor resolução.

As classes determinadas para o nível I são as seguintes:

- a) terra urbana ou construída;
- b) terra agrícola;
- c) pastagem;
- d) terra florestal;
- e) água;
- f) terra úmida;
- g) terra árida;
- h) tundra;
- i) neve ou gelo perene.

Estas são as classes recomendadas para ser mapeadas através de dados de sensores orbitais disponíveis em 1979. As classes do nível II apesar de algumas serem passíveis de discriminação com uso dos ditos sensores, são recomendadas para produtos como fotografias aéreas de alta altitude. Estas não serão tratadas aqui por formar uma lista muito longa e também por muitas vezes não representar as condições naturais existentes no Brasil.

Cowardin (1982) criou um sistema de classificação para ser aplicado no mapeamento de áreas alagadas, para fins de manejo am

biental. Este permite organizar as classes em função dos habitats por elas oferecidos. Os habitats são divididos em sistemas em função da qualidade d'água a qual a área alagada está associada. Estes sistemas são desdobrados em subsistemas, os quais descrevem a posição do habitat em relação ao nível d'água. Em seguida as classes são determinadas a partir do tipo de substrato e da presença de vegetação.

1.2.3 - SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A REGIÕES COSTEIRAS

O papel desempenhado pelas comunidades vegetais costeiras no funcionamento do ambiente do estuário e sua rápida substituição por comunidades agrícolas têm motivado diversos trabalhos de sensoriamento remoto aplicados a seu mapeamento e à detecção de mudanças pro movidas pelo homem.

Procurando identificar as áreas sob influência da maré em uma planície costeira em Nova Jersey, EUA, Anderson e Wobber (1973) mapearam as áreas ocupadas por *Spartina alterniflora*, utilizando foto grafias aéreas infravermelhas coloridas. O estabelecimento de uma espé cie vegetal como indicadora das condições abióticas foi justificado pe los autores devido ao fato de que a *S. alterniflora* ocupa o baixo e mé dio litoral de modo homogêneo e com alto índice de dominância.

Estes mesmos autores, avaliando as possibilidades do sis tema LANDSAT para aplicações em estudos de áreas costeiras, conforme consta em Wobber e Anderson (1973), ressaltaram a aplicabilidade de da dos do MSS-LANDSAT para a classificação da cobertura vegetal, para o monitoramento da ocupação do solo e para o planejamento da construção de canais de drenagem.

A característica das técnicas de sensoriamento remoto de permitir discriminar não são diferentes tipos de plantas, mas também ní veis de vigor de uma dada espécie, foi explorada por Reimold et alii (1973) que, mapeando uma área de banhado na Geórgia, EUA, com uso de fotografias aéreas infravermelhas coloridas de grande escala, discrimi

naram quatro classes espectrais em áreas ocupadas por *S. alterniflora*. Estas classes espectrais foram associadas a níveis de biomassa e de teor de clorofila nas folhas.

Gallagher et alii (1972), avaliando o desempenho de diversos tipos de produtos aerofotográficos em várias escalas e bandas espectrais de um imageador multiespectral na aplicação em estudos de vegetação costeira, concluíram que o melhor resultado foi obtido com o uso de fotografias aéreas infravermelhas coloridas na escala de 1:5.000 a 1:24.000. A mesma conclusão chegou Howlan (1980) estudando composições coloridas de fotografias aéreas multiespectrais combinadas num Visor de Cores Aditivas.

A aplicação de dados de sensoriamento remoto orbital para estudos costeiros foi avaliada por Klemas et alii (1974), que compararam a utilização de dados do sistema LANDSAT-1 com os do sistema SKYLAB. Os dados do MSS/LANDSAT-1 foram analisados automaticamente e sete classes de cobertura do solo e três de água foram identificadas com exatidão acima de 80%.

Anderson et alii (1975) também compararam a utilidade dos dados obtidos pelos sistemas sensores do LANDSAT e SKYLAB e obtiveram bons resultados no mapeamento de comunidades vegetais através de interpretação visual de imagens MSS-LANDSAT. Os autores ressaltam a viabilidade do uso dos dados orbitais no monitoramento da ocupação do solo neste tipo de ambiente.

A utilização de medidas espectrais em campo para o auxílio da interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT provou dar bons resultados no estudo de áreas costeiras. Carter e Schuber (1974) identificaram cinco comunidades vegetais de banhado e quatro outras classes de cobertura de solo não-alagado.

Carter (1977) discute e justifica a aplicação de técnicas de sensoriamento em estudos de áreas da costa leste dos EUA, em fun

ção da necessidade de estabelecer os limites da área sob proteção da lei federal "Coastal Zone Management Act. 1972". A avaliação dos programas de mapeamento e monitoramento de áreas costeiras apresenta vários estudos bem sucedidos com o uso de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e alguns trabalhos nos quais os dados do MSS-LANDSAT são utilizadas de modo satisfatório. A autora aponta a baixa resolução espacial como a principal limitação ao uso desta fonte de informação num programa operacional. A melhor resolução espacial do Mapeador Temático do LANDSAT-4 e 5 e a repetitividade inerente aos sensores orbitais são apresentadas como solução para o monitoramento dos ambientes costeiros em escala operacional.

Analisando dados do MSS-LANDSAT com uso de um analisador de imagens multiespectrais IMAGE-100, Sweet et alii (1980) conseguem discriminar seis classes de cobertura de solo na costa leste da Flórida, EUA, sendo uma das classes constituída de banhado.

Sabendo que o fornecimento de nutrientes para o ambiente aquático por parte de uma área de banhado costeiro é proporcional a sua produtividade primária e inversamente relacionado a sua distância ao corpo d'água, Butera (1979) mapeou, através de dados MSS-LANDSAT, o potencial de fornecimento de nutrientes de áreas ocupadas por banhados próximos à foz do rio Mississipi. Para tal, foi feita uma classificação das comunidades vegetais da área de estudo. A produtividade primária média das comunidades de banhado mapeadas foi medida em campo e a distância de cada "pixel" ocupado por banhado ao corpo d'água mais próximo foi calculada por um algoritmo aplicado à imagem. A razão entre estes dois parâmetros foi calculada para cada "pixel" e normalizada para valores inteiros entre 0 a 155. A cada valor foi atribuída uma cor, e o mapa de potencial de exportação de nutrientes foi gerado.

1.2.4 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, que abrange cerca de 650 km², está situada no litoral do SE de Santa Catarina, englobando parte dos municípios de Tubarão, Laguna e Jaguaruna (Figura 1.1).

O relevo constitui-se essencialmente da planície costeira de Santa Catarina, formada por depósitos flúvio-marinhos bordejados por cordões de restingas que se estendem entre os afloramentos rochosos ao longo da costa, os quais podem ser considerados como a extremidade meridional da Serra do Mar.

Segundo Maack (1936, apud Reitz, 1961), a formação da planície costeira do SE de Santa Catarina teria iniciado com a subsidência da serra do Mar, resultado do tectonismo de falhamentos ocorrido no início do Cretáceo. Com isto o Oceano Atlântico teria atingido os contrafortes da Serra Geral, formando então um litoral muito recortado por baías e enseadas e apresentando ilhas alinhadas no sentido N-S, que corresponderam aos cumes das montanhas da Serra do Mar, então submersas (Reitz, 1961).

O alinhamento N-S das ilhas e o fornecimento de sedimentos em abundância pela plataforma continental granítico-gnáissica e pelos arenitos triássicos aflorantes na região, aliados à ação da corrente do Brasil paralela à costa, propiciaram a formação de cordões de restingas, de acordo com a teoria de Zenkovich (1967), ligando as ilhas entre si e formando um grande lagamar que se estendia de Torres a Imbituba.

Segundo Reitz (1961), esta extensa laguna foi sendo assoreada e colmatada por sedimentos provenientes das encostas íngremes da Serra Geral e pelo acúmulo de materiais orgânicos originários da vegetação extremamente produtiva, que cresce em solos com condições adversas à degradação da matéria orgânica. Restam ainda na região algumas lagoas testemunhas do antigo lagamar, destacando-se as seguintes na

área de estudo: Imaruĩ, Santo Antonio, Ribeirão Grande, Manteiga, Camacho, Garopaba, Redonda e Jaguaruna.

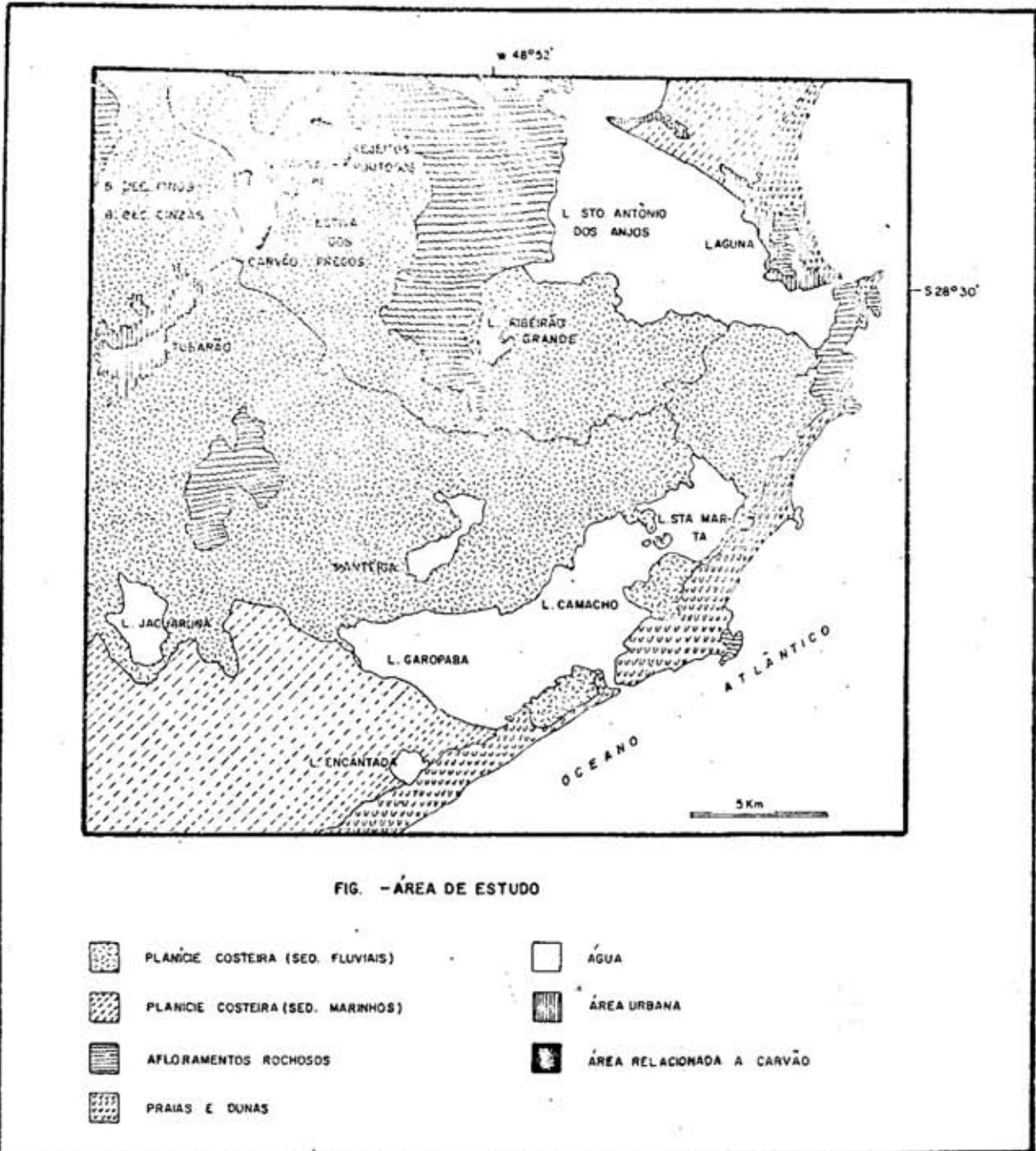


Fig. 1.1 - Descrição da área de estudo.

A paisagem resultante é uma extensa planície costeira, onde ocorrem algumas lagoas. Os afloramentos do Cristalino constituem morros arredondados cujas altitudes variam de 20m a 400m, destacando-se o Morro Grande e o Morro das Congonhas. A área em estudo é cortada pelo baixo curso do rio Tubarão que deságua na lagoa de Santo Antônio, próximo ao canal desta para o mar.

Os cordões de restinga estão ocupados por dunas vivas junto à praia, seguidas de dunas fixas para o interior. A faixa de dunas vivas, modeladas pelo vento NE, chega a atingir a largura de 3 km no município de Jaguaruna. Na área em estudo as dunas fixas são relevantes apenas na restinga ao norte de Laguna, estendendo-se por aproximadamente 4 a 5 km para leste até a lagoa de Imaruí.

Por ser uma área de formação geológica relativamente recente, a vegetação presente na área em estudo representa diversos estágios (seres) da sucessão que ocorre desde a instalação em áreas não ocupadas até o clímax, que na região é formado pela Mata Pluvial Subtropical. Reitz (1961) classificou a vegetação costeira de Santa Catarina de acordo com o habitat disponível para a sucessão vegetal. Este autor dividiu os habitats da região em dois grupos: o aquático, onde ocorre a hidrossere, e o seco, no qual a xerossere se desenvolve. Cada uma destas formas de sucessão vegetal é dividida em dois subgrupos. Nestes subgrupos se sucedem as etapas de evolução da fitocenose. A organização da vegetação feita por Reitz (1961) é da seguinte forma:

GRUPOS	SUBGRUPOS	ETAPAS
Hidrossera	Halossera	{ submersa e flutuante paludosa
	Helossera	{ submersa flutuante das Cyperaceaes das turfeiras de <i>Sphagnum</i> paludosa brejosa subsequentes
Xerossera	Arenosa	{ da ante-duna das dunas mōveis e semifixas das dunas fixas
	Rochosa	{ dos lĩquens dos musgos das xerōfilas rupĩcolas

Na Halossera, ou seja, sucessão em ambientes salinos e salobres, a etapa submersa e flutuante é realizada por algas unicelulares planctônicas, algas multicelulares e fanerógamas bentônicas. A etapa paludosa é representada na área de estudo pelos manguezais e pelos campos de praturã. Como o limite sul de ocorrência dos manguezais na costa brasileira é o litoral de Laguna, na área em questão estes estão restritos a pequenas manchas. Já o pratural, campos de *Spartina alterniflora* e *S. densiflora*, se estende por vasta área na margem sul da lagoa de Santo Antônio.

A etapa submersa da Helossera, sucessão em ambientes de água doce, não é detectável pelas técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho. A etapa flutuante é composta principalmente de *Eichornia azurea* e tem significado em termos de área em algumas lagoas.

Reitz (1961) cita a *Typha domingensis* (taboa) apenas como uma invasora de alta agressividade cujo controle se faz necessário. Como o seu trabalho foi compilado a partir de dados de campo obtidos entre 1942 e 1954, acredita-se que esta planta não devia ter na época a abrangência que tem hoje. Deve-se incluir uma etapa de *T. domingensis* entre as etapas flutuantes e das Cyperaceae, já que esta espécie, ocupando o mesmo habitat (altimétrico em relação ao nível d'água) dos campos de praturã, porém não salinos, ocorre em grandes áreas hoje em dia.

A etapa de Cyperaceae (tiriricas), ocupando áreas não tão alagadas quanto as da *T. domingensis*, forma também campos extensos. Esta etapa é representada na área de estudo principalmente por *Cyperus giganteus*. Estes campos são ocasionalmente queimados para a sua substituição temporária por pastagens, o que forma um mosaico composto por manchas de vegetação em diversos estágios de recuperação.

A etapa de turfeiras de *Sphagnum sp* ocorre mais ao sul da área de estudo e se desenvolve nos alagados existentes entre as dunas de areia fixas ou vivas. Esta etapa é representada por diversas espécies de gênero *Sphagnum* associadas a outras plantas vascularizadas.

A etapa paludosa é constituída por diversas espécies herbáceas que se desenvolvem nos baixios e lagoas temporárias localizadas entre os cordões de restinga.

A etapa brejosa e demais etapas subsequentes são ocupadas por plantas de porte cada vez maior para atingir o estágio clímax desta sucessão, que é a Mata Pluvial Subtropical. Na área de estudo, a ocorrência destes estágios mais maduros é muito restrita devido à sua substituição por áreas agrícolas.

Na xerossara, apenas a fase arenosa é válida para este trabalho porque a fase rochosa ou evoluiu totalmente para mata pluvial, sendo posteriormente substituída por pastagem e cultivos anuais, ou

sua expressão em área é extremamente pequena para ser detectada pelos dados de sensoriamento remoto utilizados.

As etapas da anteduna e das dunas móveis e semifixas são constituídas por psamo-halófitas (plantas adaptadas a substrato arenoso e salino) herbáceas e, ocasionalmente, arbustivas. A etapa das dunas fixas, localmente denominada jundu, é uma vegetação dominada por arbustos que apresentam características xeromórficas, principalmente da família das Myrtaceae. A ocorrência da palmeira *Butia capitata* var. *odorata* é extremamente alta na área de estudo. A cobertura do solo feita por este tipo de vegetação não é completa, sendo característica a ocorrência de manchas densamente ocupadas, separadas por vazios arenosos.

A vegetação original da baixada costeira tem sido substituída por culturas agrícolas, principalmente arroz, mandioca e pastagens.

O cultivo de arroz ocupa grandes áreas nas partes mais elevadas da planície, onde o controle do nível d'água é mais fácil e menos oneroso. O plantio é feito em setembro e a colheita em fevereiro. O arrozal é aproveitado como pastagem a partir da época da colheita até maio-junho, quando começa a preparação da terra para o plantio.

As pastagens estão posicionadas em termos altimétricos, entre os arrozais e a etapa das Cyperaceae da Hidrossera. As pastagens cultivadas requerem intenso controle do nível d'água, através de densos sistemas de canais de drenagem, enquanto as pastagens nativas são instaladas com um mínimo de esforço para retirar o excesso d'água. Os campos de praturã são também explorados como pastagens, porém com menor capacidade de suporte.

A leste da cidade de Tubarão, ao longo do canal da Madre, há minifúndios dedicados à olericultura. Dos municípios que constituem

a área de estudo, Jaguaruna é o que apresenta maior área plantada com mandioca, seguido de Laguna e Tubarão.

A maior cidade dentro da área de estudo é Tubarão (75320 habitantes em 1980), seguida de Laguna (35.359 habitantes em 1980) e Jaguaruna (12.302 habitantes em 1970).

1.3 - MATERIAIS

Foram utilizados na realização do trabalho:

- 22 fotografias aéreas infravermelhas coloridas na escala de 1:45.000, que cobrem toda a área de estudo, obtidas em Agosto/Setembro de 1978. A missão de aerolevanteamento foi realizada pela Aerofoto Cruzeiro do Sul.
- Computer Compatible Tape (CCT) com dados do MSS-LANDSAT, órbita/ponto: 178/32, de 24 de abril de 1978.
- Cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000, das folhas: Laguna, Tubarão, Jaguaruna e Lagoa de Garopaba.
- Analisador de Imagens Multiespectrais Image-100 (I-100).
- Os seguintes programas para processamento de imagens multiespectrais:
 - Cluster Synthesis;
 - Single-Cell;
 - Subtra;
 - Correção radiométrica;
 - Ord-cell;
 - Média K;
 - Maxver.

1.4 - MÉTODO E DISCUSSÃO

1.4.1 - DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO

As classes de cobertura do solo existentes na área de estudo foram inicialmente listadas a partir de uma análise de fotografias aéreas, na qual foram levadas em conta as características de tonalidade, textura e contexto.

As classes cuja identificação foi possível a partir da experiência obtida em trabalho anterior (Lombardo e Valeriano, 1981), receberam denominação definitiva, enquanto as demais foram mantidas preliminarmente com uma denominação descritiva.

As classes decorrentes de atividades humanas, como áreas construídas e áreas agrícolas, foram organizadas hierarquicamente de acordo com o sistema de classificação proposto por Anderson et alii (1979), com algumas adaptações.

Como todas as classes não identificadas na análise preliminar eram classes de vegetação natural, a organização destas foi feita a partir de seus habitats, deduzidos das fotografias aéreas, de acordo com Cowardin (1982), e utilizando o trabalho de Reitz (1962) para sugerir possíveis denominações.

Foi realizado um trabalho de campo para verificar o sistema de classificação e o mapa de verdade terrestre, para o qual foi obtida a identificação definitiva das classes mapeadas.

O resultado final do sistema de classificação é apresentado na Tabela 2.1 e o mapa de verdade terrestre no Apêndice A.

TABELA 1.1

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO

NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III
1. Áreas relacionadas a carvão.	1.1 - Depósito	1.1.1 - Rejeito piritoso. 1.1.2 - Carvão. 1.1.3 - Concentrado de pirita. 1.1.4 - Rejeito carbonoso.
	1.2 - Bacias de Decantação	1.2.1 - Finos piritosos. 1.2.2 - Cinzas. 1.2.3 - Finos carbonosos.
2. Banhados	2.1 - Permanentemente alagados	2.1.1 - Tifeto. 2.1.2 - Spartineto. 2.1.3 - Etapa paludosa da restinga. 2.1.4 - Vegetação em stress. 2.1.5 - Etapa flutuante.
	2.2 - Periodicamente alagados	2.2.1 - Cyperaceaes com pastagens. 2.2.2 - Cyperaceaes. 2.2.3 - Com Compositaes.
3. Áreas Agrícolas	3.1 - Arroz	
	3.2 - Pastagens	3.2.1 - Drenadas. 3.2.2 - Permanentemente alagadas. 3.2.3 - Periodicamente alagadas. 3.2.4 - Em encostas.
	3.3 - Solos preparados	3.3.1 - Orgânico úmido. 3.3.2 - Orgânico seco. 3.3.3 - Arenoso.
4. Água	4.1 - Lagoas 4.2 - Oceano 4.3 - Bancos de Areia	
5. Áreas Urbanas	5.1 - Residencial 5.2 - Loteamento 5.3 - Industrial	
6. Áreas Florestais	6.1 - Reflorestamento 6.2 - Floresta Subtropical Pluvial 6.3 - Manguezal e Etapa Brejosa 6.4 - Etapa das Dunas Fixas	
7. Áreas Geologicamente Recentes	7.1 - Praias e Dunas Vivas 7.2 - Turfeiras	

No sistema de classificação proposto por Anderson et alii (1979), as áreas desprovidas de vegetação devido a atividades humanas (aterros, depósitos de rejeitos minerais, terraplenagem, etc.) estão posicionadas nos níveis II e III da classe "Áreas Desnudas" ("Barren Lands"). Entretanto, os autores permitem adaptações a seu sistema de classificação para aplicações específicas.

As áreas relacionadas ao beneficiamento do carvão mineral provocam enormes danos à biocenose servida por sua drenagem, condicionado, conseqüentemente, a utilização do solo a jusante. Devido a este fato, estas áreas merecem especial atenção num planejamento da ocupação do solo.

Por estes motivos, a classe "Áreas Relacionadas ao Carvão" foi, neste sistema de classificação, promovida ao nível I, visando do permitir seu maior detalhamento.

A divisão desta classe ao nível II é decorrente do fato de que as bacias de decantação, por terem o fornecimento constante de água e uma única saída, são fontes de poluentes hídricos permanentes e pontuais, enquanto os depósitos de materiais resultantes ao beneficiamento de carvão, por liberarem ácido sulfúrico (H_2SO_4) na água e gás sulfídrico (H_2S) e dióxido de enxofre (SO_2) no ar, principalmente quando ocorre precipitação pluvial, são considerados como fontes de poluição atmosférica e hídrica periódicas e não-pontuais. A distinção entre estes tipos de fontes de poluição é importante, já que requerem diferentes abordagens para seus controles.

O detalhamento desta classe ao nível III é devido ao potencial como fonte de poluição de cada item deste nível, bem como à possibilidade de discriminá-los a partir das fotografias aéreas.

Estas classes estão todas situadas nas proximidades da Vila Capivari de Tubarão, onde se situam o Lavador de Capivari e a Usina Termoelétrica Jorge Lacerda.

A classe "Banhado" também foi promovida ao nível I em relação ao sistema de classificação de Anderson et Alii (1979), já que um dos objetivos deste trabalho é fornecer informações para a preservação deste tipo de vegetação. O nível II agrupa as comunidades vegetais de acordo com a posição altimétrica destas em relação ao nível d'água, semelhante aos subsistemas do sistema de classificação de Cowardin (1982). A classificação a partir da salinidade da água, proposta por Cowardin (1982) e por Reitz (1961), que forneceria preciosa informação, não pôde ser feita, já que o Spartinete (tipicamente da halossera) e o Typheto (predominantemente da helossera) apresentam as mesmas características espectrais, tanto nas fotografias aéreas quanto na imagem MSS-LANDSAT.

O Typheto ocupa grande extensões compostas quase exclusivamente por *Typha dominguesis* (taboa), com algumas manchas formadas por clones de *Fuirena robusta* (peri). Ocorre nas bordas de todas as lagoas de área de estudo, exceto na margem sul da lagoa de Santo Antônio, devido à maior salinidade desta.

Esta margem da lagoa Santo Antônio é ocupada pelo Spartinete. Esta comunidade halófito é típica de áreas banhadas pela maré. Na área de estudo, spartinete é formado por *Spartina alterniflora* no médio litoral e por *S. densiflora* no supra-litoral (Santos e Araújo, 1982). A distinção entre as duas espécies não foi possível de ser feita a partir das fotografias aéreas.

A etapa paludosa da restinga, já descrita na seção 1.2.4, não será descrita nesta seção por suas associações vegetais, dada a diversidade florística desta comunidade. Esta classe ocorre principalmente na restinga ao norte de Laguna.

A vegetação em "stress" foi assim denominada devido ao intenso estado de clorose que as plantas desta comunidade apresentam em resposta à drenagem ácida proveniente das atividades de beneficiamento do carvão. Esta classe ocorre na parte central do banhado da Es

tiva dos Pregos (área sob influência direta das águas poluídas pelo depósito de rejeito piritoso do lavador de Capivari). A cobertura vegetal é composta pelas Cyperaceae *Fuirena umbellata*, na parte mais central, e *Scyrpus giganteous* nas periferias desta classe. O *S. giganteous* inicialmente se apresenta extremamente clorótico e ainda em associação com *F. umbellata*, atingindo, em direção centrífuga ao banhado, maior vigor e dominância até ser substituído pela franja de "banhado compositae".

A etapa flutuante ocorre em grandes extensões na margem leste da lagoa Ribeirão Grande. É predominantemente composta por *Eichornia azurea* (aguapé).

A etapa das Cyperaceae ocorre na região ou formando comunidades homogêneas, praticamente uniespecíficas, ou interrompidas por espaços ocupados por pastagens. O principal representante desta família na área de estudo é o *Scyrpus giganteous*. As pastagens são introduzidas nas áreas ocupadas por esta planta após a queimada destas áreas. As classes "Cyperaceae com pastagens" e "Cyperaceae" situam-se entre as classes de banhados permanentemente alagados e pastagens drenadas na planície do rio Tubarão.

O banhado com Compositae é uma classe criada para descrever uma franja de vegetação arbustiva que ocorre no banhado da Estiva dos Pregos, entre a vegetação em stress e as pastagens artificialmente formadas nas bases de elevações que circundam o dito banhado. Supõe-se que esta classe venha a ser a etapa paludosa da helossera (Reitz, 1961) perturbada por ação antrópica. As áreas agrícolas foram organizadas de acordo com a proposta de Anderson et alii (1979) para esta classe.

Na área de estudo, o arroz é plantado em latifúndios situados em torno da cidade de Tubarão e ao longo da BR-101, ao sul desta cidade.

As pastagens compõem a classe de maior expressão em área na planície costeira em estudo. A classe "pastagens drenadas" abrange aquelas situadas na planície, onde o esforço para controlar o nível d'água foi bem sucedido. Esta classe ocorre principalmente na parte central da área de estudo, próximo ao rio Tubarão, e em alguns talhões inseridos nos arrozais, onde *Setaria sp* e *Brachiaria sp* são plantadas para produção de feno.

As pastagens permanentemente alagadas ocupam áreas sujeitas a inundações devido à elevação do nível dos rios pelas marés. São pastagens com alta capacidade de suporte e situam-se ao longo do rio Sambaqui e outros distributários do rio Tubarão.

Ao longo das várzeas dos rios Capivari e Jaguaruna existe uma diversificada comunidade vegetal herbácea, localmente denominada pasto nativo. Estas áreas são inundadas na época das cheias (verão) e utilizadas como pastagens no estio e, devido a este fato, foram agrupadas neste trabalho sob a classe "pastagem periodicamente alagada".

A classe "pastagem em encosta" abrange aquelas situadas nos afloramentos rochosos da serra do Mar. São pastagens de baixa produtividade, formadas pela substituição por queimada e/ou abate da cobertura florestal e arbustiva existente nestas encostas.

Como as fotografias aéreas foram obtidas na época de preparação do solo para o plantio de arroz e outras culturas, muitas das áreas agrícolas não puderam ser categorizadas nas suas respectivas culturas. Para esta área foi criada a classe "solo preparado", a qual foi dividida em três sub-classes em função da composição do solo e teor d'água, sendo esta última característica extraída das fotografias aéreas apenas.

As áreas agrícolas com culturas de menor expressão em área como mandioca, milho, olericultura, etc. foram agrupadas dentro da classe genérica "outras".

Da classe "águas", a denominação "Lagoas" refere-se a todos os corpos d'água limnética sem considerar a qualidade deles em relação à salinidade, a sedimentos em suspensão, etc. Os bancos de areias são áreas de deposição de sedimentos cuja proximidade à superfície d'água permite a sua discriminação nas fotografias aéreas. Possivelmente são emersos nas marés mais baixas.

A subdivisão "Residencial" da classe "Área Urbana" abrange todas as categorias de área urbana que não sejam grandes indústrias ou loteamentos de baixa densidade de habitações, ambas categorizadas nas demais subdivisões da classe "Área Urbana".

As áreas de reflorestamento são pequenos talhões de *Eucalyptus sp.*, cultivados principalmente sobre os afloramentos da Serra do Mar. Ocorrem, também, em menor expressão, sobre a restinga de Laguna e sobre a planície arenosa de Jaguaruna.

A floresta subtropical pluvial está parcamente representada por pequenas manchas nos morros da Serra do Mar.

O manguezal e a etapa brejosa são os únicos tipos de vegetação arbórea presentes na planície do rio Tubarão. Geralmente acompanham as margens dos distributários deste rio.

A etapa das dunas fixas, localmente conhecida por "jundu", apesar de ser essencialmente arbustiva, foi categorizada como área florestal devido ao fato de apresentar predominantemente espécies lenhosas. Com isto a classe Área Florestal abrange todas as comunidades vegetais da área de estudo que possuem um estrato arbóreo ou arbustivo dominante. O "jundu" está presente na restinga de Laguna e ao sul da lagoa de Garopaba.

A classe "Áreas Geologicamente Recentes" refere-se às áreas resultantes da ação eólica e marinha sobre os sedimentos depositados pelo mar no litoral. As praias e dunas vivas são áreas desprovi

das de vegetação ou com vegetação rarefeita situadas ao longo da linha de costa. As turfeiras se desenvolvem nas depressões existentes entre as dunas vivas, explorando pequenos charcos ali formados pela soleira impermeável deixada pelas dunas ao se deslocarem.

1.4.2 - ELABORAÇÃO DO MAPA DE VERDADE TERRESTRE (MVT)

Estabelecido o sistema de classificação preliminar, as fotografias aéreas foram interpretadas visualmente.

Como o MVT será utilizado para verificar a exatidão do mapa obtido através de interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT, a unidade mínima de mapeamento foi estabelecida em cerca de 1 elemento de resolução (pixel = 56 x 79m) deste sensor. Algumas exceções a este critério foram feitas quando o contraste entre o alvo e áreas adjacentes era muito grande, como em algumas construções rurais, indústrias e pequenas lagoas.

De cada fotografia aérea, extraíram-se em transparências de papel Mylar as principais estradas, a rede de drenagem, inclusive os canais artificiais de drenagem, os limites das classes de cobertura de solo e os limites das unidades de relevo. As classes de cobertura de solo foram delineadas apenas na parte central da fotografia, enquanto os demais aspectos, em toda a fotografia foram delineadas para auxiliar a montagem do mosaico.

Para a confecção do mosaico, foram determinados 11 pontos de controle (3 para cada uma das 3 faixas superiores e 2 para a faixa mais ao sul). Estes pontos permitiam fácil localização tanto nas fotografias aéreas quanto nas cartas topográficas. A partir do ponto mais central, foram traçadas nas cartas topográficas linhas radiais que ligam este ponto aos demais do mosaico. O posicionamento dos pontos de controle foi transferido para uma base na escala das fotografias aéreas, os ângulos entre as linhas radiais foram mantidos constantes e os comprimentos das linhas foram ajustados para a escala desejada.

As transparências que continham os pontos de controle foram fixadas e as demais, posicionadas de modo a distribuir os erros de projeção equitativamente por todo o mosaico. Devido ao pequeno número de pontos de controle, o mosaico obtido é considerado não-controlado.

Deste mosaico foi extraído um mapa (Apêndice A) que apresenta a cobertura do solo e os principais rios que compõem a rede de drenagem e estradas a título de orientação.

1.4.3 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DO MSS-LANDSAT

1.4.3.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

1) CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Para amenizar os efeitos do retroespalhamento atmosférico e da reflexão pelo alvo da radiação difusa, efetuou-se o seguinte procedimento baseado em Almeida Filho e Vitorello (1982).

Foi ampliada para a escala de 1:100.000 a tela do I-100 uma seção da imagem que contém parte da escarpa da Serra Geral, apresentando vales profundos e, conseqüentemente, sombras de relevo.

Através do algoritmo "cluster-synthesis", alarmaram-se na tela do I-100 os "pixels" que possuem valor 0 ou 1 no canal MSS-7.

Estes "pixels" alarmados foram transferidos para um dos temas do I-100 e o parâmetro de média deste tema foi extraído com uso do algoritmo "single-cell" (General Electric, 1975).

As médias obtidas foram arredondadas para o menor número inteiro mais próximo e o valor resultante para cada canal foi subtraído de toda a imagem utilizando o algoritmo "subtra" (Ribeiro et alii, 1982).

As justificativas para este procedimento são:

- Partindo do fato de que a Mata Pluvial subtropical ainda está intacta nas escarpas da Serra Geral (Maixner e Schwarzbald, 1978; Klein, 1978) e levando em conta a alta reflectância das coberturas florestais na faixa espectral do canal 7 do MSS-LANDSAT, pode-se admitir que os "pixels" com resposta tão baixa no canal 7 estão fora do alcance da irradiação direta do sol.
- Já que não há irradiação solar direta sobre os "pixels" alarmados, qualquer resposta sensoriada nos demais canais sobre estes "pixels" será devida ao retroespalhamento atmosférico e à reflexão da irradiação difusa, ambas as informações espúrias que precisam ser eliminadas.
- Devido à seletividade de espalhamento Rayleigh dominante na atmosfera, devem-se esperar valores para estas radiações espúrias inversamente proporcionais ao comprimento de onda. Os resultados obtidos (Tabela 1.2) satisfazem este requisito.

TABELA 1.2

VALORES A SEREM SUBTRAÍDOS PARA CADA CANAL DO
MSS-LANDSAT PARA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

CANAL DO MSS-LANDSAT	4	5	6	7
VALOR A SER SUBTRAÍDO	12	4	3	0

2) CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Para eliminar o efeito de bandeamento decorrente das diferenças de sensibilidade dos detetores de um mesmo canal do MSS-LANDSAT, foi aplicado à imagem na tela do I-100 o algoritmo "correção radiométrica" (Ribeiro et alii, 1982).

Os valores adotados para os parâmetros de limiar e limiar para rampa foram respectivamente 8 e 11, convencionalmente utilizados na aplicação deste algoritmo.

1.4.3.2 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

Para realizar a classificação automática, adotou-se o procedimento híbrido de tratamento de dados multiespectrais (Swain, 1978, p. 184). Este procedimento consiste na estratificação preliminar da área de estudo em campos espectralmente homogêneos, através da utilização de um classificador não-supervisionado. O resultado obtido juntamente com o mapa de verdade terrestre orienta a localização das amostras de treinamento para a classificação supervisionada.

1) CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA

O algoritmo "Média-K versão para dois canais" (Ribeiro et alii, 1982) foi utilizado nesta etapa do trabalho. A opção pela versão para dois canais, com compressão dos dados para 64 níveis, foi dada à necessidade de fornecer toda a área de estudo para a extração das células de entrada para o algoritmo, o que não é possível quando a versão para quatro canais do algoritmo Média K é utilizada.

Visto que há altas correlações entre os pares de canais 4-5 e 6-7 do MSS-LANDSAT, utilizaram-se os canais 5 e 7 na execução do algoritmo.

Os parâmetros fornecidos ao algoritmo foram:

- população unitária;
- população mínima para considerar classe = 1;
- precisão = 0,01;
- número de centros = 8.

O resultado foi a classificação da área de estudo em 8 classes espectrais, das quais 3 são classes de água e 5 são classes espectrais de cobertura do solo.

2) CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Esta etapa foi realizada em duas fases utilizando o algoritmo "Maxver" (Ribeiro et alii, 1982). Na primeira fase, buscou-se a discriminação detalhada das classes existentes na área de estudo, ou seja, procurou-se identificar as classes situadas nos níveis II e III da hierarquia do sistema de classificação de uso e cobertura do solo elaborado para este trabalho. Esta fase foi efetuada com o intuito de verificar a capacidade de discernimento do sistema de aquisição e tratamento de dados de sensoriamento remoto utilizado. A segunda fase consistiu no agrupamento das classes geradas na fase anterior para obter resultados de classificação mais próximos do mapa de verdade terrestre, ainda que com um grau de generalização maior. O ponto ótimo do compromisso entre o detalhamento do mapa e a exatidão de mapeamento foi escolhido subjetivamente, tendo-se dedicado maior esforço às classes de cobertura vegetal do banhado por motivos justificados na introdução deste capítulo.

O principais procedimentos executados nesta etapa estão abaixo descritos:

- Primeira fase:

- Comparação entre o "printout" resultante da classificação não-supervisionada e o mapa de verdade terrestre.
- Seleção de amostras de treinamento para cada interseção entre classe espectral e classe de verdade terrestre que apresentasse expressão em área possível de amostragem. Foram selecionadas somente amostras puras, ou seja, amostras com classificação espectral homogênea.

- Após efetuar na tela do I-100 os procedimentos da etapa de classificação não-supervisionada, a imagem original em quatro canais com 256 níveis foi chamada à tela e efetuou-se o pré-processamento. Os resultados da classificação não-supervisionada foram mantidos no canal 5 do I-100.
 - As amostras de treinamento foram localizadas no vídeo do I-100, transferindo-as visualmente do "printout" para o local correspondente da classificação não-supervisionada exposta na tela. Algumas amostras tiveram de ser deslocadas ou eliminadas devido ao fato de seus locais na tela do I-100 não apresentaram classificação homogênea.
 - Inicialmente foi extraído o maior número possível de amostras de treinamento para cada classe em após aplicar o processo interativo de otimização de amostras disponível no algoritmo "Maxver", este número foi reduzido para obter melhor desempenho da Matriz de Classificação (Ribeiro et alii, 1982).
 - O resultado desta fase foi a classificação da área de estudo em 18 categorias, sendo 4 classes de áreas relacionadas com carvão, 5 classes de banhado, 5 classes de áreas agrícolas, 2 classes de água, 1 classe de área construída e 1 classe de área florestal.
 - Este resultado foi impresso em 3 "printouts" e analisado em comparação ao mapa de verdade terrestre.
- Segunda fase:
- A análise quantitativa do resultado da primeira fase da classificação supervisionada revelou que o detalhamento excessivo prejudicou a exatidão do mapeamento. Observaram-se muitos erros de inclusão entre classes de um mesmo grupo hierárquico. Ocorreram também classes de informação totalmente categorizadas como classe de outro grupo hierárquico.
 - Foi feita então a adição das amostras das classes que apresentavam confusões dentro de um grupo hierárquico superior. Fo

ram abandonadas as amostras das classes categorizadas fora de seus grupos.

Procurou-se reduzir o número de classes para 8 para que o resultado pudesse ser apresentado num único produto gráfico.

As classes obtidas neste procedimento foram:

- áreas relacionadas a carvão;
- banhados permanentemente alagados;
- banhados periodicamente alagados;
- áreas agrícolas;
- solos expostos;
- corpos d'água;
- áreas urbanas;
- áreas florestais.

O classificador definitivo foi obtido após a otimização da amostragem resultante da adição das amostras da primeira fase. Apenas a classe de solo exposto corresponde ao resultado da apresentação sob único tema de três classes espectrais, dadas as diferenças inerentes a solos de origens diversas (arenosos e orgânicos) e ao teor de umidade variável.

Uma "classe fantasma", não representada no produto final, foi criada para as áreas com sombra de relevo para eliminar a inclusão destas áreas pelas classes de banhado.

À classificação final foi aplicado o algoritmo "Uniformização de Temas" (Ribeiro et alii, 1982) com limiar e peso iguais a 3.

O resultado final desta classificação está apresentado no Apêndice B.

CAPÍTULO 2

ESTIMATIVA DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

2.1 - INTRODUÇÃO

Uma das principais vantagens dos sistemas de sensoriamento remoto ao nível orbital é a capacidade de gerar mapas temáticos sobre aspectos do terreno (e.g., compartimentação geomorfológica, tipos de solos, uso da terra, etc.) a um custo por área mapeada relativamente baixo.

Entretanto, dados sinóticos sobre grandes áreas produzem um volume de informações que compete com outras características do sistema sensor (e.g., resoluções espacial e espectral) pelo mecanismo de transferência da informação, a qual tem uma capacidade de volume limitada, como por exemplo a taxa de bits por segundo de transmissão ou a gravação dos dados obtidos.

À luz deste compromisso, o sistema MSS-LANDSAT foi concebido para ser aplicado em diversas áreas de ciências da terra, explorando principalmente a sua capacidade de fornecer informações sobre grandes áreas com repetitividade. Seu poder de discriminação, derivado das resoluções espacial e espectral, foi portanto dimensionado para trabalhos de âmbito regional.

Em termos de levantamento de uso e cobertura da terra¹, o resultado disto é que o sistema LANDSAT discrimina com segurança classes de cobertura da terra a um nível de detalhamento relativamente baixo. Anderson et alii (1979) recomendam a aplicação de dados MSS-LANDSAT para mapear as classes situadas no nível I do sistema de classificação por eles proposto, as quais, para diversos fins práticos, são muito

¹ Para fins deste trabalho, ambos passarão a ser denominados cobertura da terra.

abrangentes (p.ex., a classe "Áreas Agrícolas" envolve pastagens cultivadas e todos os tipos de culturas agrícolas, inclusive pomares, vinhedos, etc).

Apesar disto, grande tem sido o esforço despendido em pesquisas para explorar ao máximo e mesmo aumentar o poder de discriminação do sistema. Diversos algoritmos de classificação, eliminação de dados espúrios, realçamento de dados e outros atestam este esforço. Paralelamente, diversos trabalhos publicados na bibliografia especializada descrevem aplicações de dados do MSS-LANDSAT em discriminações de classes de cobertura da terra a um nível de detalhamento maior do que aquele recomendado por Anderson et alii (1978). Estes trabalhos ora exploram novas técnicas de processamento e interpretação de dados, ora aspectos intrínsecos do objeto mapeado tal como fenologia diferencial de classes de cobertura vegetal, grande diferença espectral entre a classe mapeada e as demais, etc.

Como tais trabalhos operam próximo ao limite da capacidade de discriminar alvos do sistema LANDSAT, foi preciso desenvolver métodos para avaliar a exatidão² dos resultados obtidos, para possibilitar a comparação dos resultados obtidos por técnicas diversas, bem como o fornecimento de dados sobre a qualidade do produto ao usuário (que o utilizará).

Dependendo da finalidade de um mapa, devem-se examinar diferentes aspectos de sua qualidade como documento cartográfico.

O posicionamento correto dos pontos contidos no mapa dentro de uma projeção cartográfica (exatidão espacial) deve ser esperado quando se pretende avaliar distâncias e orientações entre pontos do mapa. A exatidão espacial pode ser estimada comparando estas medidas feitas em campo e no produto do mapeamento.

² Exatidão = $|\theta - \bar{\theta}|$ - Diferença entre o valor estimado para dado parâmetro e o seu valor real.

Denomina-se exatidão de classificação ao percentual da área de um mapa temático corretamente classificado. Exige-se um alto valor para este parâmetro em mapas cuja finalidade é avaliar a área ocupada por cada tema ou identificar mudanças temporais na distribuição destes temas.

Procura-se nesta parte do trabalho discorrer sobre uma metodologia para estimar exatidão de classificação, exemplificar e discutir sua aplicação num mapa de uso da terra obtido a partir de dados do MSS-LANDSAT.

2.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aceitação por parte dos usuários dos produtos derivados de interpretação de dados de sensoriamento remoto é função da relação custo/benefício, quando comparada à mesma relação obtida por outras técnicas, e da exatidão dos resultados, ou seja, do mapa gerado (Hord e Brooner, 1976).

Como a relação custo/benefício é comprovadamente mais baixa para levantamentos de média e pequena escala através de sensoriamento remoto (George et alii, 1980), resta então estabelecer um método de avaliação de exatidão de mapeamento estatisticamente válido para que se possa dar confiança ao usuário ou contratante de um serviço de mapeamento temático, e para que se possa comparar resultados obtidos por técnicas diferentes de sensoriamento remoto.

Hord e Brooner (1976) apresentam um método com fundamentos estatísticos para este fim. Como é impossível a verificação de todo o mapa, torna-se necessária uma amostragem para estimar a exatidão de mapeamento. Um mapa temático pode ser considerado como um conjunto de N pontos atribuídos a determinadas classes, dos quais pode-se extrair uma amostra de n pontos. Cada ponto é uma variável x , que, comparada à verdade terrestre, assume um valor *um* quando a classificação for correta e *zero* quando for errada. A exatidão do mapa, ou seja, a proporção de pontos corretamente classificados (P), é dada por:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.1)$$

e a variância da distribuição de P é dada por:

$$\sigma^2 = PQ, \quad (2.2)$$

onde $Q=1-P$ = proporção de erros.

Os estimadores imparciais para estes parâmetros populacionais são (Cochran, 1963, pg 50):

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.3)$$

$$S^2 = \frac{pq}{n}, \quad (2.3)$$

onde $q=1-p$.

Calculados os estimadores acima e estabelecido o nível de confiança

$$100 (1 - \alpha)\%,$$

onde α é a probabilidade de uma estimativa incorreta, podem-se calcular os limites de confiança para a estimativa da exatidão de mapeamento, μ , utilizando a distribuição da variável normal reduzida z:

$$\Pr \left(-Z_{\alpha/2} < \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} < Z_{\alpha/2} \right) = 1 - \alpha, \quad (2.5)$$

$$\therefore \Pr \left(\bar{X} - \frac{Z_{\alpha/2} S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + \frac{Z_{\alpha/2} S}{\sqrt{n}} \right) = 1 - \alpha, \quad (2.6)$$

onde $Z_{\alpha/2}$ é o valor da variável reduzida tal que a área compreendida abaixo da curva normal reduzida entre 0 e $Z_{\alpha/2}$ é igual a $0,5 - \alpha/2$.

Tem-se então, de acordo com o procedimento acima, dentro de um nível de confiança de $100(1-\alpha/2)\%$, que a exatidão do mapa é maior que:

$$\bar{x} - \frac{Z_{\alpha/2}S}{\sqrt{n}}$$

A idéia de utilizar os limites de confiança para estimar a exatidão de mapas temáticos, aplicada por Hord e Brooner (1976), foi um passo em direção à avaliação deste parâmetro de forma estatisticamente fundamentada. Uma vez que se pretende estabelecer um número mínimo aceitável de pontos para verificação, não é recomendável a aplicação de abordagens da distribuição normal em distribuições binomiais. Exemplificando esta afirmativa, lembra-se que para uma variável binomial de probabilidade maior que 0,90, na sua distribuição amostral aproxima-se do comportamento gaussiano quando n é maior que 500.

Van Genderen et alii (1978), após relacionarem trabalhos onde a avaliação da exatidão de mapas temáticos foi abordada muito mais sob o aspecto da distribuição das amostras (método da alocação proporcional, amostragem aleatória estratificada por classe ou por segmento, etc.) do que sob o aspecto da justificativa para o tamanho da amostragem, estabelecem os principais objetivos de uma amostragem para avaliação da exatidão de classificação, a qual deve determinar:

- a) a frequência com que uma classe no terreno é erroneamente atribuída a outra classe pelo intérprete (erros de omissão);
- b) a frequência com o que o intérprete atribui a uma dada classe pontos que no terreno pertencem a outras classes (erro de inclusão);
- c) a proporção total de pontos erroneamente classificados (erro total);

- d) se os erros estão aleatoriamente distribuídas pelas classes ou se há alguma tendência para uma dada classe.

Resta resolver o problema da determinação do tamanho ótimo da amostra: número mínimo de pontos que satisfaça os requisitos para verificar se o mapa possui exatidão igual ou superior a um valor pré-estipulado pelo usuário. Van Genderen et alii (1978) abordam este problema utilizando a expansão binomial que descreve a probabilidade da ocorrência de um evento numa amostragem de uma variável binomial.

A probabilidade de obter x erros em uma amostra de tamanho n de um mapa temático de exatidão P é dada por

$$\text{Pr}(x) = {}_n C_x Q^x P^{n-x}, \quad (2.7)$$

onde:

$\text{Pr}(x)$ é a probabilidade de ocorrência de x eventos;

${}_n C_x$ é a combinação de n , x a x .

Considerando apenas a probabilidade de ocorrência de nenhum erro na equação acima, ou seja:

$$\text{Pr}(0) = P^n, \quad (2.8)$$

Van Genderen et alii (1978) constroem a Tabela 2.1, variando os valores de P e n .

TABELA 2.1
PROBABILIDADE DE OBTER NENHUM ERRO EM AMOSTRAS DE TAMANHOS
VARIÁVEIS DE POPULAÇÕES COM DIFERENTES EXATIDÕES

EXATIDÃO DO MAPA (P)	TAMANHO DA AMOSTRA (n)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
0,99											0,5472
0,95											0,0461
0,90						0,2146	0,1661	0,1285	0,0994	0,0769	0,0052
0,85			0,2059	0,1216	0,0713	0,0474	0,0250	0,0148	0,0087		
0,80			0,0874	0,0388	0,0172						
0,70		0,1074	0,0352								
0,60	0,1681	0,0282									
0,50	0,0778										
	0,0313										

— LINHA QUE INDICA A POSIÇÃO APROXIMADA DO NÍVEL DE PROBABILIDADE DE 0,05

FONTE: Van Genderen et alii (1978).

Utilizando a Equação 2.7 para valor fixo de exatidão de mapeamento $P = 0,85$, os autores constroem a Tabela 2.2, apresentando a probabilidade de obter x erros em amostras de tamanho variável.

TABELA 2.2

PROBABILIDADE DE OBTER x ERROS EM AMOSTRAS DE TAMANHOS VARIÁVEIS DE UMA POPULAÇÃO COM EXATIDÃO $P = 0,85$

	NÚMERO DE ERROS (x)					
	0	1	2	3	4	5
15	<u>0,0874</u>					
20	0,0388	0,1368				
25	0,0172	<u>0,0759</u>	0,1607			
30	0,0076	0,0404	0,1034			
35	0,0034	0,0239	<u>0,0627</u>	0,1218		
40			0,0365	0,0816		
45			0,0206	<u>0,0520</u>	0,0963	
50				0,0319	<u>0,0661</u>	0,1072
55				0,0189	0,0434	0,0781
60					0,0275	<u>0,0544</u>
65						0,0365

— LINHA QUE INDICA A POSIÇÃO APROXIMADA DO NÍVEL DE PROBABILIDADE DE 0,05.

FONTE: Van Genderen et alii (1978).

Note na Tabela 2.1 que para um valor fixo de exatidão de classificação, diminui-se a probabilidade de encontrar nenhum erro quando se aumenta o número de pontos de verificação. A mesma constatação pode ser generalizada para qualquer número de erros na Tabela 2.2.

Isto sugere a necessidade de estabelecer um número mínimo de pontos de amostra para um dado número de erros admissíveis nesta amostragem, ao testar a exatidão de um mapa contra um valor pré-fixado.

Apesar de não explícito no texto. Van Genderen et alii (1978) solucionam o problema do número aceitável de erros para testar um mapa contra uma proporção preestabelecida num tamanho de amostra já determinado.

Para isto deve-se calcular o número de erros que produza uma probabilidade acumulada menor ou igual a um valor de α preestabelecido. Ex.: Considerando $\alpha = 0,05$ e observando a Tabela 2.2, linha do tamanho de amostra = 30, vê-se que a probabilidade de obter nenhum erro é muito aquém do determinado. A probabilidade de obter nenhum ou apenas 1 erro é de 0,048, enquanto a chance de obter nenhum, 1 ou 2 erros é muito maior do que 0,05.

Estabelece-se a seguinte declaração para o teste:

H_0 - mapa tem exatidão menor que 0,85 (mapa é rejeitado);

H_1 - mapa tem exatidão maior ou igual a 0,85 (mapa é aceito).

O intervalo da aceitação de H_0 (Figura 2.1) em termos de número de erros (em 30 pontos) é [2 - 30]. Portanto, H_1 é a decisão quando se encontra no máximo 1 erro em 30 pontos amostrados.

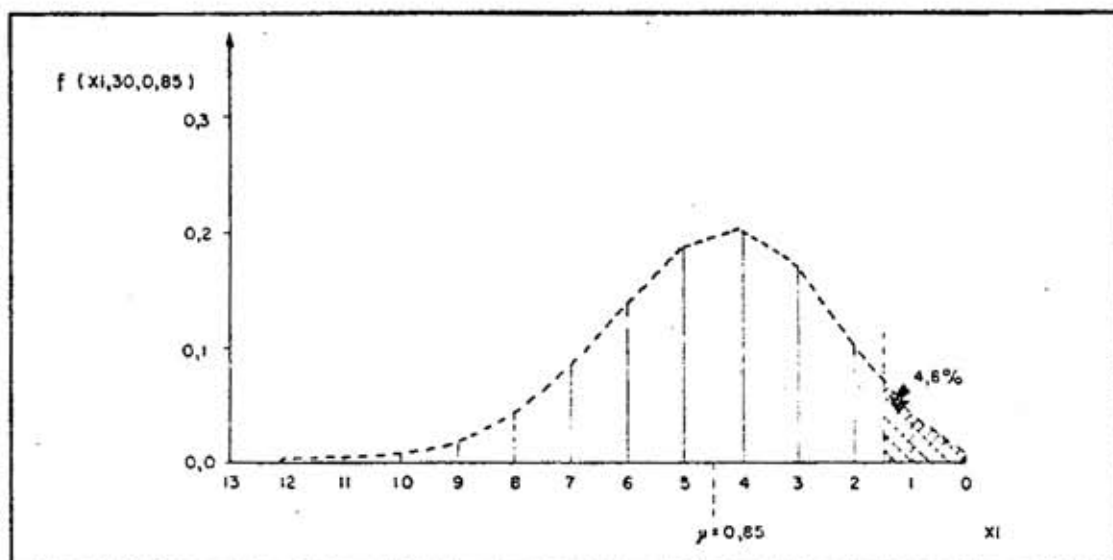


Fig. 2.1 - Função de densidade de probabilidade binomial $f(x_i; 30; 0,85)$ com área de rejeição de H_0 assinalada.

Mapas temáticos derivados de dados de sensoriamento remoto são geralmente verificados através de comparações com dados obtidos em campo. Isto faz com que o número de pontos a serem verificados seja regido por restrições econômicas. Ginevan (1979) demonstra que esta abordagem, para estabelecer o tamanho da amostra (n), pode justamente se tornar antieconômica quando se propõe a fornecer um mapa dentro de especificações predeterminadas. No mesmo trabalho é apresentada uma metodologia para determinar n , cujo critério é proteger ambos os usuários do mapa e o seu produtor de riscos de gastos desnecessários.

Esta metodologia é baseada num ramo da Estatística denominado Amostragem por Nível de Aceitação, largamente utilizado em controle de qualidade de produtos industriais. O objetivo deste é estabelecer um tamanho de amostra que minimize o risco de o usuário receber um mapa abaixo das especificações e o risco de o produtor ter que reavaliar um mapa que, apesar de satisfazer as condições estabelecidas

das, não foi aprovado no teste. O primeiro é denominado risco do consumidor e o segundo, risco do produtor.

Para caracterizar graficamente estes 2 riscos, considere-se a distribuição probabilística (Figura 2.2.a) de um mapa com exatidão = $0,05 - \epsilon$ (onde ϵ é um valor infinitamente pequeno). Considerando ϵ pequeno o bastante para não alterar o máximo número aceitável de pontos erroneamente classificados no teste exemplificado na seção 2.2, tem-se que a probabilidade de H_0 ser rejeitado (e o mapa ser aprovado) é menor ou igual a 0,048. Esta probabilidade é o risco do usuário (R_U)³.

Considere-se agora a distribuição probabilística de um mapa com exatidão real maior que 0,85, e.g. 0,90 (Figura 2.2.b). Dentro das mesmas especificações do teste ($n = 30$, $n_c = 0,05$ e $P = 0,85$), a probabilidade de este mapa ser rejeitado é igual à probabilidade acumulada de obter 2 ou mais erros em 30 pontos tirados de um mapa com $P = 0,90$. Este é o risco do produtor (R_p) para P real = 0,90.

Da Teoria da Decisão Estatística, têm-se 2 tipos de erros de decisão:

- erro tipo 1: rejeitar H_0 quando H_0 é verdadeiro;
- erro tipo 2: aceitar H_0 quando H_0 é falso.

Denominam-se α e β as respectivas probabilidades de incorrer nestes erros ao tomar uma decisão de partir de um teste de hipóteses.

Tem-se que no exemplo em questão o risco do consumidor é menor ou igual a α , que é o nível de significância do teste, e o risco do produtor é igual a $\beta = \sum_{x=2}^{30} {}^{30}C_x (0,90)^{30-x} (0,10)^x = 0,8163$.

³ Para fins de padronização dos símbolos deste trabalho, utilizar-se-á o risco do usuário (R_U) = risco do consumidor (R_c) utilizando por Girvan (1973) e demais referências citadas nesta seção.

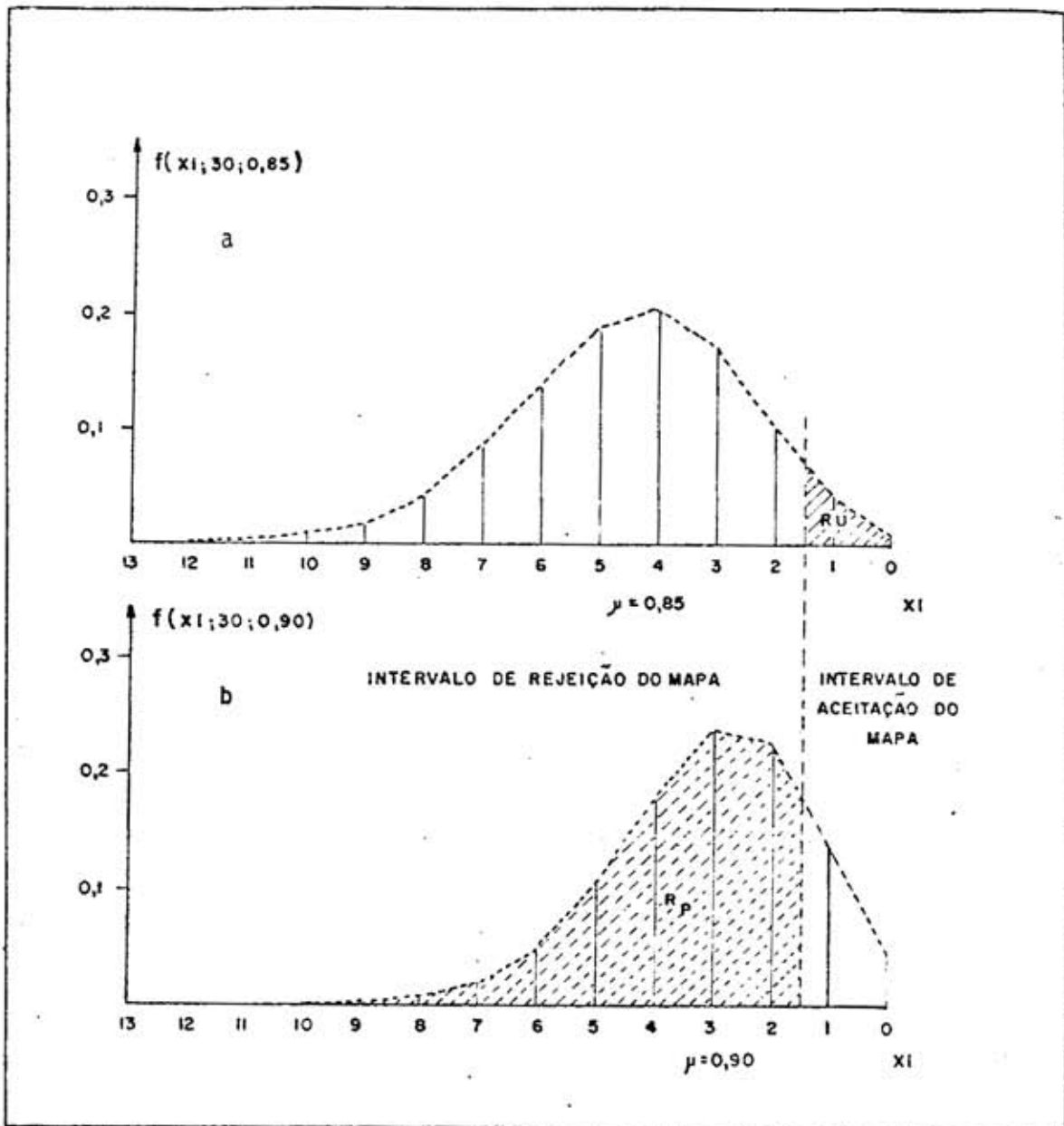


Fig. 2.2 - Funções de densidade de probabilidade binomial:
a) $f(x_i; 30, 0,85)$ com área de R_U assinalada;
b) $f(x_i; 30, 0,90)$ com área de R_P assinalada.

Segundo Ginevan (1979), os critérios para um esquema de amostragem feito para verificar a qualidade de um determinado produto são:

- ter baixa probabilidade de aceitar um mapa com baixa qualidade;
- ter alta probabilidade de aceitar um mapa de alta qualidade;
- requerer um número mínimo n de amostras para verificação.

Dada a função de densidade de probabilidade binomial

$$f(x, n, P) = {}_n C_x Q^x p^{n-x}, \quad (2.9)$$

onde:

- x é o ponto erroneamente classificado,
- n é o tamanho da amostra,
- Q é igual $1-P$,
- P é a exatidão do mapa,

deve-se predeterminar junto ao usuário um valor de exatidão mínima, P_u , abaixo do qual se rejeitará o mapa com a probabilidade de $(1-\alpha)$.

Uma vez escolhidos os valores para n , α e P_u , o cálculo do número máximo de pontos erroneamente classificados aceitável, x_c , é dado pelo maior número de x que satisfaça a desigualdade

$$\sum_{x=0}^{x_c} f(x, n, P_u) \leq \alpha. \quad (2.10)$$

Tendo calculado o valor crítico x_c , pode-se então calcular a probabilidade de β rejeitar um mapa com uma dada exatidão P_p (sendo $P_p > P_u$) estabelecida pelo realizador do projeto. β é dada por:

$$\beta = \sum_{x=x_c+1}^n f(x, n, P_p). \quad (2.11)$$

A Tabela 2.3 descreve o comportamento de α e β para amostras de tamanho n que variam de 30 a 50 com os correspondentes x_c , sendo α calculado para $P_u = 0,85$ e β para $P_p = 0,90, 0,95$ e $0,99$.

TABELA 2.3

VALORES DE x_c ASSOCIADOS A $n \in [30, 50]$ para $\alpha < 0,05$ e $P_u = 0,85$

E VALORES CORRESPONDENTES DE β PARA $P_p = 0,90; 0,95$ E $0,99$

n	x_c	α	VALORES DE β PARA		
			$P_p=0,90$	$P_p=0,95$	$P_p=0,99$
30	1	0,0480	0,8163	0,4465	0,0361
31	1	0,0420	0,8304	0,4634	0,0384
32	1	0,0366	0,8436	0,4800	0,0407
33	1	0,0320	0,8558	0,4964	0,0430
34	1	0,0279	0,8671	0,5123	0,0454
35	1	0,0243	0,8776	0,5280	0,0479
36	1	0,0212	0,8874	0,5433	0,0503
37	1	0,0184	0,8964	0,5582	0,0529
38	1	0,0160	0,9047	0,5728	0,0555
39	1	0,0139	0,9124	0,5871	0,0581
40	2	0,0486	0,7772	0,3233	0,0075
41	2	0,0431	0,7914	0,3371	0,0080
42	2	0,0382	0,8049	0,3510	0,0086
43	2	0,0339	0,8176	0,3648	0,0092
44	2	0,0300	0,8296	0,3786	0,0098
45	2	0,0265	0,8410	0,3923	0,0104
46	2	0,0234	0,8516	0,4060	0,0110
47	2	0,0207	0,8617	0,4195	0,0117
48	2	0,0183	0,8711	0,4330	0,0124
49	2	0,0161	0,8800	0,4463	0,0131
50	3	0,0460	0,7497	0,2396	0,0016

FONTE: Ginevan (1979).

Como a função de probabilidade binomial é discreta, tem-se o mesmo valor de x_c para vários valores de n . Nota-se também que, para dados P_u e P_p , ao aumentar n , dentro do mesmo valor de x_c , diminui-se α e aumenta-se β . Já que α é pré-estipulado pelo usuário, fazer n maior que o mínimo para dado x_c é desvantajoso e desnecessário, porque este procedimento, além de aumentar o número de amostras a serem verificadas, onerando o projeto, aumenta o valor de β , sujeitando-o a nova verificação e reavaliações que consomem tempo e dinheiro.

Portanto, fixados P_u e α , para cada valor de x_c existe apenas um valor de n ótimo. A Tabela 2.4 relaciona estes valores de x_c e n ótimo para $\alpha = 0,05$ e $P_u = 0,85$ com os correspondentes valores de β para $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$.

Aronoff (1982 a e b), além de explorar com maior detalhe a aplicação da Amostragem por Nível de Aceitação na avaliação de qualidade de mapas temáticos proposta por Ginevan (1979), exemplifica a determinação do tamanho da amostra e do correspondente x_c , e a utilização da Tabela 2.4 dentro de um contexto prático: na realização do contrato para fazer o mapeamento, devem ser estabelecidos a qualidade mínima aceitável pelo usuário, P_u , o risco do teste aprovar um mapa com qualidade abaixo de P_u , R_u , e um alto valor de exatidão de mapeamento, P_p , que o produtor se propõe a correr o risco, R_p , de rejeitá-lo. (É bom lembrar que estes parâmetros influem no custo final do projeto, seja através de gastos em verificação de um número muito alto de pontos de amostragem, ou através de reavaliações do projeto, portanto são critérios a serem negociados). Calcula-se então, o menor valor de n e seu correspondente x_c que satisfaça a desigualdade (2.10) e cujo resultado da equação (2.11) melhor se aproxima do valor de R desejado.

TABELA 2.4

VALORES ÓTIMOS DE n PARA $x_c \in [0,47]$ e PARA $\alpha = 0,05$ e $P_u = 0,85$, E
CORRESPONDENTES VALORES DE β PARA $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$

n	x_c	VALORES DE β PARA		
		$P_p=0,90$	$P_p=0,95$	$P_p=0,99$
19	0	0,8649	0,6226	0,1738
30	1	0,8163	0,4465	0,0361
40	2	0,7772	0,3233	0,0075
50	3	0,7497	0,2396	0,0016
59	4	0,7152	0,1719	0,0003
68	5	0,6859	0,1242	0,0001
76	6	0,6467	0,0856	0,0000
85	7	0,6247	0,0624	0,0000
93	8	0,5919	0,0432	0,0000
102	9	0,5746	0,0318	0,0000
110	10	0,5464	0,0221	0,0000
118	11	0,5203	0,0153	0,0000
126	12	0,4959	0,0107	0,0000
134	13	0,4731	0,0074	0,0000
142	14	0,4518	0,0052	0,0000
150	15	0,4318	0,0036	0,0000
158	16	0,4130	0,0025	0,0000
166	17	0,3954	0,0018	0,0000
174	18	0,3787	0,0012	0,0000
182	19	0,3630	0,0009	0,0000
190	20	0,3481	0,0006	0,0000
197	21	0,3252	0,0004	0,0000
205	22	0,3122	0,0003	0,0000
213	23	0,2998	0,0002	0,0000
220	24	0,2802	0,0001	0,0000
228	25	0,2693	0,0001	0,0000
236	26	0,2589	0,0001	0,0000
243	27	0,2421	0,0000	0,0000
251	28	0,2329	0,0000	0,0000
259	29	0,2242	0,0000	0,0000
266	30	0,2097	0,0000	0,0000
274	31	0,2020	0,0000	0,0000
281	32	0,1890	0,0000	0,0000
289	33	0,1821	0,0000	0,0000
296	34	0,1704	0,0000	0,0000
304	35	0,1643	0,0000	0,0000
311	36	0,1537	0,0000	0,0000
319	37	0,1483	0,0000	0,0000
326	38	0,1388	0,0000	0,0000

(continua)

Tabela 2.4 - Conclusão

n	x_c	VALORES DE β PARA		
		$P_p=0,90$	$P_p=0,95$	$P_p=0,99$
334	39	0,1339	0,0000	0,0000
341	40	0,1253	0,0000	0,0000
349	41	0,1210	0,0000	0,0000
356	42	0,1133	0,0000	0,0000
364	43	0,1094	0,0000	0,0000
371	44	0,1024	0,0000	0,0000
379	45	0,0989	0,0000	0,0000
386	46	0,0926	0,0000	0,0000
393	47	0,0867	0,0000	0,0000

FONTE: Ginevan (1979)

Um exemplo de procedimento acima descrito pode ser extraído da Tabela 2.4: suponha-se que no contrato foi estabelecido que $P_u = 0,85$, $P_p = 0,90$, $R_u = 0,05$ e $R_p = 0,15$. A Tabela 2.4 é específica para $\alpha = 0,05$ e $P_u = 0,85$. Deve-se então procurar na coluna dos valores de β para $P = 0,90$ o valor que mais se aproxime de 0,15. Tem-se então o valor 0,1483, obtendo-se $n = 319$ e $x_c = 37$.

A Figura 2.3 ilustra graficamente que o que se faz ao procurar um valor de n aceitável para ambas as partes é diminuir a variância das distribuições amostrais de mapas com exatidões de P_p e P_u até que os valores de α e β atinjam níveis menores que os riscos R_u e R_p estabelecidos.

Caso o mapa não seja aprovado no teste, pode-se calcular a sua exatidão mínima. Esta é dada pelo maior valor de P_u que satisfaça a Inequação (2.10) para os valores de n e α estabelecidos e para x observado.

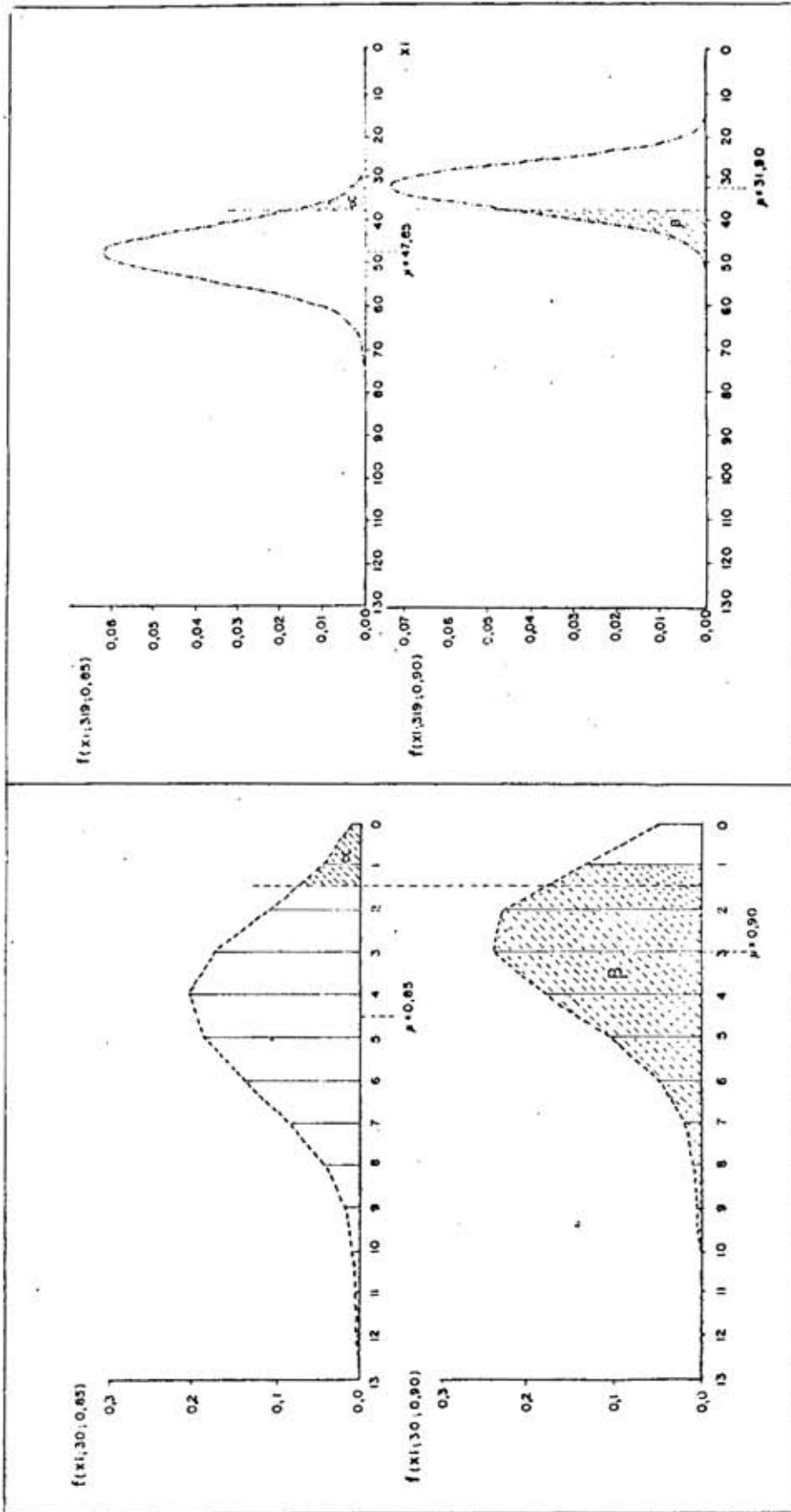


Fig. 2.3 - Diminuição do risco do produtor com o aumento do tamanho da amostra.

Para avaliação da exatidão de um mapa como um todo, Aronoff (1982b) usou a amostragem aleatória simples. Os resultados podem ser apresentados numa matriz de confusão (para análise subjetiva do usuário), com os critérios preestabelecidos listados na parte inferior da Tabela 2.5.

TABELA 2.5

MATRIZ DE CONFUSÃO ENTRE AS CLASSES E DADOS DA AMOSTRAGEM

CLASSES MAPEADAS	MATRIZ DE CONFUSÃO								
	CLASSES VERIFICADAS COM A VERDADE TERRESTRE						TOTAL	% CORRETO	% INCLUSÃO
	A	B	C	D	E				
A	26	1	0	0	1	28	93	7	
B	1	5	0	0	3	9	56	44	
C	2	0	43	1	2	48	90	10	
D	4	1	2	76	13	96	79	21	
E	0	0	2	1	29	32	91	9	
TOTAL	33	7	47	78	48	213			
% OMISSÃO	21	29	9	3	40				

PONTOS AMOSTRADOS (n)	213
Nº DE PONTOS ERRONEAMENTE CLASSIFICADOS ADMISSÍVEL (x_c)	23
Nº DE PONTOS ERRONEAMENTE CLASSIFICADOS OBSERVADO	24
RISCO DO USUÁRIO (R_u)	5%
RISCO DO PRODUTOR (R_p) PARA $p_p=0,90$	30%
EXATIDÃO MÍNIMA	84,5%

FONTE: Aronoff (1982b).

Para a análise objetiva do desempenho de cada classe, de vem-se extrair de forma aleatória estratificada pontos adicionais à primeira amostragem, até que o tamanho da amostra de cada classe analisada atinja um valor n_c que satisfaça os parâmetros P_u , R_c e R_p estipulados para a dada classe. Nota-se que, como as classes podem ter diferentes importâncias, n_c não é necessariamente igual em todas as classes. Aronoff (1982b) recomenda a apresentação dos dados obtidos pela análise por classe de acordo com a Tabela 2.6.

TABELA 2.6

MATRIZ DE CONFUSÃO E DADOS DA AMOSTRAGEM DE CADA CLASSE

MATRIZ DE CONFUSÃO								
CLASSES Mapeadas	CLASSES VERIFICADAS COM A VERDADE TERRESTRE					TOTAL	CORRETO	% INCLUSÃO
	A	B	C	D	E			
A	47	2	0	0	1	50	94	6
B	7	40	0	0	3	50	80	20
C	7	0	116	1	2	126	92	8
D	4	1	2	76	13	96	79	21
E	0	0	2	1	47	50		
TOTAL	65	43	120	78	66	372		
% OMISSÃO	28	7	3	3	29			

DADOS DA AMOSTRAGEM POR CLASSE					
	CLASSES				
	A	B	C	D	E
PONTOS AMOSTRADOS (n_c)	50	50	126	96	50
Nº DE ERROS ADMISSÍVEIS (x_c)	3	3	12	8	3
Nº DE ERROS OBSERVADOS	3	10	10	20	2
* EXATIDÃO MÍNIMA	85	68	67	71	85
** RISCO DO PRODUTOR	75	75	50	59	75

* Exatidão mínima dada em % e calculada para $R_c = 1,05$
 ** Risco ao produtor dado em % e calculado para uma taxa de exatidão $P_p = 1,90$, utilizando o número de erros admissíveis x_c .

FONTE: Aronoff (1982b).

Esta análise, junto com a avaliação da exatidão do mapa como um todo, permite ao usuário saber rapidamente se o desempenho da classificação e a qualidade do mapa suprem as suas necessidades para vários propósitos.

2.3 - METODOLOGIA UTILIZADA

Esta etapa foi desenvolvida com o intuito de exemplificar a aplicação do teste de exatidão de classificação apresentado na revisão bibliográfica. Este será aplicado ao mapa de cobertura da terra obtido através de interpretação automática de dados MSS-LANDSAT, cujos objetivos e resultados estão apresentados no capítulo seguinte. A verdade terrestre disponível para a verificação do mapa temático derivado de dados LANDSAT são fotografias aéreas coloridas obtidas quatro meses após a passagem do satélite.

Utilizar fotografias aéreas para verificar a exatidão de mapas temáticos obtidos por sensores orbitais apresenta o inconveniente de que dificilmente dados simultâneos são disponíveis. Entretanto, a possibilidade de se examinar um grande número de pontos em as limitações inerentes a um trabalho de campo (campo tempo x custo fixo, inacessibilidade de pontos remotos, etc.), justifica a utilização desta abordagem neste trabalho.

Basicamente o método consiste em registrar (dentro do possível) os dois mapas temáticos, escolher pontos aleatoriamente sobre os mapas, compará-los e computar os resultados.

2.3.1 - REGISTRO DOS MAPAS

Inicialmente obteve-se o produto da classificação numa escala mais próxima possível daquela do mapa de verdade terrestre. Para isto foi extraída, através do algoritmo Single-Cell do sistema IMAGE-100, a assinatura espectral das classes água e carvão no canal MSS-7.

As áreas ocupadas por carvão e água são espectralmente homogêneas no canal considerado, possuem formas bem definidas e estão espalhadas por toda a área de estudo, servindo bem para este procedimento. Ambas as classes foram atribuídas a um tema através da classificação realizada pelo mesmo algoritmo Single-Cell, e deste tema foram extraídas impressões alfanuméricas ("printouts") em diferentes escalas. Através da comparação por superposição destes "printouts" e do mapa de verdade terrestre num processo de aproximações sucessivas, chegou-se à escala ótima para o registro. A escala de vídeo que gera um "printout" com escala mais próxima à do mapa de verdade terrestre (1:46.000 aproximadamente) é a de 1:104.100.

Uma vez determinada a escala ótima de vídeo, obteve-se a classificação automática da área de estudo nesta escala da qual foi gerados "printouts". Deste selecionaram-se pontos cuja identificação no "printout" e no mapa de verdade terrestre é possível de ser feita. Ligando estes pontos, traçaram-se em cópias transparentes do mapa de verdade terrestre polígonos (triângulos e quadriláteros de lados de aproximadamente 20 a 80 caracteres alfanuméricos de distância), de forma que somados ocupassem o maior percentual possível da área de estudo, mantendo a possibilidade de registro de seus vértices aos correspondentes pontos no "printout". Estes polígonos foram cortados e colados nas respectivas posições no "printout".

Justifica-se este procedimento pela premissa de que uma vez registrados os vértices dos polígonos, obtém-se o registro de todos os pontos neles contidos.

2.3.2 - AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO DO MAPA

2.3.2.1 - ALOCAÇÃO DE PONTOS PARA AMOSTRAGEM

A amostragem foi orientada primeiramente para avaliar a exatidão de classificação do mapa como um todo e, posteriormente, exami

nar as classes individualmente. A primeira parte foi realizada através de amostragem aleatória simples e a segunda por amostragem estratificada.

A fim de simplificar a primeira amostragem, foi lançada uma malha de 4 x 3 caracteres sobre o "printout" cujas linhas e colunas foram numeradas. Com o uso de uma tabela de números aleatórios, foram escolhidos pares de coordenadas da malha (linha e coluna) e a interseção destas foram amostradas quando pertencentes a um dos polígonos. Para cada ponto amostrado foram registradas, além de suas coordenadas, suas classificações no mapa de verdade terrestre e no "printout" gerado de dados LANDSAT, bem como um valor binário indicando classificação correta ou não.

2.3.2.2 - DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA

Estabeleceram-se as seguintes especificações para a determinação do tamanho da amostra:

risco do usuário $R_u = 0,05$;

exatidão mínima requerida pelo usuário (P_u) = 0,85;

risco do produtor (R_p) = 0,15;

exatidão estabelecida pelo produtor para o cálculo de R_p (P_p) = 0,90.

O tamanho de amostra (n) mais apropriado para satisfazer estas especificações é de 319 pontos, cujo respectivo valor de x_c é de 37 pontos.

Este procedimento possui duas maneiras de encerrar. Quando o número de observações erroneamente classificadas não ultrapassa o valor de x_c , deve-se encerrar o procedimento ao extrair a 319ª observação. Entretanto, uma vez atingido o valor de x_c no número de observações com classificação errada, deve-se também dar o procedimento como encerrado e considerar que o mapa é de qualidade inferior a P_u dentro das especificações estabelecidas.

Na realização da amostragem, o número de pontos observados com classificação errada atingiu o valor de x_c quando $n = 140$, e a amostragem para a avaliação da exatidão de classificação do mapa como um todo foi terminada.

2.3.3 - AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO POR CLASSE

Estabeleceu-se que o tamanho da amostra para cada classe deve ser constante para que se possam comparar os resultados. Extraíram-se então 50 pontos para cada classe, incluindo-se nestes os pontos obtidos na primeira amostragem (aleatória simples). Mantendo os valores de P_p , P_u e R_u iguais aos do primeiro teste, tem-se então $R_p = 0,75$ e $x_c = 3$ para esta avaliação por classe.

Uma amostragem aleatória estratificada por tema aplicada a mapas temáticos pode ser feita de diversas maneiras. Por exemplo: podem-se escolher os pontos aleatoriamente por todo o mapa e são registrar os pontos observados na classe de interesse. Podem-se também numerar os pontos de cada classe e sortear aleatoriamente estes números.

Todos estes métodos envolvem tediosos procedimentos quando aplicados num mapa temático que apresenta diversas classes com alta frequência de distribuição espacial. O mapa resultante da classificação de dados MSS-LANDSAT obtido neste trabalho apresenta esta característica. Esta inconveniência é agravada pelo fato de haver grandes diferenças, em termos de tamanho das unidades mapeadas das classes presentes no mapa, o que restringe a simplificação dos dados através de grades.

Em vista disto, optou-se pela realização da seleção dos pontos adicionais para verificação por uma pessoa alheia ao trabalho em questão. Este método, apesar da inerente susceptibilidade a bias, ao menos apresenta como vantagem sua imparcialidade e, obviamente, sua rapidez.

Realizada a amostragem, os resultados foram organizados numa matriz de confusão conforme sugestão de Aronoff (1982b).

2.4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

2.4.1 - AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DO MAPA TEMÁTICO

Na Tabela 2.7 são apresentadas as coordenadas dos pontos obtidos na amostragem aleatória simples, juntamente com as respectivas categorias observadas no MVT e no mapa verificado, bem como o valor da variável observada em cada ponto (1 = ponto corretamente classificado).

TABELA 2.7

RESULTADOS DA AMOSTRAGEM OBTIDOS DE DADOS DO MSS-LANDSAT
PARA AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO DO MAPA

PONTO Nº	X	Y	CLASSE NO MVT	CLASSE NO MAPA LANDSAT	PONTO CORRETO
1	130	042	211	22	0
2	44	8	324	33	0
3	91	142	322	3	1
4	161	146	321	0	0
5	76	133	41	4	1
6	24	104	324	3	1
7	177	113	41	4	1
8	140	85	211	21	1
9	113	235	42	4	1
10	99	157	321	3	1
11	55	219	51	0	0
12	159	170	42	0	0
13	63	009	321	0	0
14	137	157	43	4	1
15	088	207	321	3	1
16	109	83	321	0	0
17	160	221	42	4	1
18	30	109	324	3	1
19	56	52	321	3	1
20	118	243	42	4	1
21	202	146	42	4	1
22	78	55	323	3	1
23	08	171	41	4	1
24	198	95	71	0	1
25	91	41	321	3	1

(continua)

Tabela 2.7 - Continuação

PONTO Nº	X	Y	CLASSE NO MVT	CLASSE NO MAPA LANDSAT	PONTO CORRETO
26	90	124	221	22	1
27	39	194	43	41	1
28	174	11	332	33	1
29	112	75	321	3	1
30	55	102	331	21	0
31	165	175	42	4	1
32	185	254	42	4	1
33	82	170	63	22	0
34	10	176	41	4	1
35	173	100	323	3	1
36	164	200	42	4	1
37	195	153	42	4	1
38	138	65	223	22	1
39	64	108	62	0	0
40	154	40	324	0	0
41	53	177	41	4	1
42	43	237	42	4	1
43	127	245	42	4	1
44	54	84	331	21	0
45	66	59	332	33	1
46	107	112	322	21	0
47	124	84	322	21	0
48	155	137	41	4	1
49	69	39	51	5	1
50	161	58	323	3	1
51	113	164	221	5	0
52	188	164	42	4	1
53	142	99	41	4	1
54	33	165	41	4	1
55	71	143	321	3	1
56	80	58	332	33	1
57	113	118	322	21	1
58	191	252	42	4	1
59	9	170	42	4	1
60	134	56	211	4	0
61	112	28	322	21	0
62	139	197	324	0	0
63	34	125	62	6	1
64	150	006	321	3	1
65	77	215	212	21	1
66	116	55	321	3	1
67	196	134	42	4	1
68	39	87	223	22	1
69	30	218	71	0	1
70	129	186	322	3	1

(continua)

Tabela 2.7 - Continuação

PONTO Nº	X	Y	CLASSE NO MVT	CLASSE NO MAPA LANDSAT	PONTO CORRETO
71	83	155	331	22	0
72	26	125	62	6	1
73	27	252	42	4	1
74	197	59	321	3	1
75	101	23	324	3	1
76	25	52	323	3	1
77	95	44	332	5	0
78	188	239	42	4	1
79	75	160	221	22	1
80	193	57	322	3	1
81	43	38	331	33	1
82	20	57	323	3	1
83	7	249	42	4	1
84	43	173	41	4	1
85	95	107	215	21	1
86	45	124	324	3	1
87	158	23	321	0	0
88	44	55	324	22	0
89	198	207	42	4	1
90	117	80	321	3	1
91	61	48	321	5	0
92	113	109	322	22	0
93	39	21	331	3	0
94	98	218	71	0	1
95	58	182	41	4	1
96	198	254	42	4	1
97	141	244	42	4	1
98	194	187	42	4	1
99	84	158	331	3	0
100	48	200	41	4	1
101	43	100	214	21	1
102	53	169	41	4	1
103	102	254	42	4	1
104	70	99	221	0	0
105	35	221	71	0	1
106	170	43	324	3	1
107	121	148	221	22	1
108	118	41	324	0	0
109	157	76	321	3	1
110	90	236	42	0	0
111	200	167	42	4	1
112	144	105	41	4	1
113	170	244	42	4	1
114	200	161	42	4	1

(continua)

Tabela 2.7 - Conclusão

PONTO Nº	X	Y	CLASSE NO MVT	CLASSE NO MAPA LANDSAT	PONTO CORRETO
115	74	151	211	21	1
116	21	143	62	6	1
117	148	254	42	4	1
118	52	36	331	33	1
119	17	161	42	4	1
120	105	147	321	3	1
121	83	188	51	3	0
122	57	85	321	3	1
123	65	157	212	21	1
124	167	31	324	3	1
125	31	56	53	33	1
126	15	197	64	22	0
127	137	32	322	22	0
128	62	246	42	4	1
129	195	87	322	0	0
130	81	92	223	21	0
131	163	25	324	3	1
132	21	134	324	3	1
133	183	97	61	3	0
134	132	71	211	21	1
135	162	135	42	4	1
136	94	66	323	3	1
137	113	40	324	0	0
138	167	13	324	3	1
139	75	108	62	22	0
140	122	166	211	4	0

A fim de melhor analisar a Tabela 2.7, extraiu-se a proporção de pontos erroneamente classificados encontrados a cada acréscimo de 10 ao número de pontos observados. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 2.8.

TABELA 2.8

PROPORÇÃO DE PONTOS ERRONEAMENTE CLASSIFICADOS OBSERVADOS
A ACRÉSCIMOS DE 10 AO TAMANHO DA AMOSTRA

TAMANHO DA AMOSTRA	PROPORÇÃO DE PONTOS ERRONEAMENTE CLASSIFICADOS
10	0,33
20	0,35
30	0,27
40	0,27
50	0,28
60	0,27
70	0,26
80	0,25
90	0,24
100	0,26
110	0,26
120	0,24
130	0,26
140	0,27

O comportamento das médias obtidas através de amostras de tamanhos crescentes permite observar uma tendência central no valor da estatística. Esta tendência central, insinuada pela convergência da média a um dado valor, fornece uma estimativa do parâmetro média.

Analisando a tabela, observa-se que a partir de $n = 30$ há uma convergência da proporção de acertos em torno de $p = 0,74$.

Pode-se admitir este valor como uma aproximação do parâmetro amostrado, apoiado nas seguintes observações:

- A amplitude da variação da estatística em torno de 0,74 para $n > 30$ é de $\pm 0,02$, ou seja, de $\pm 2,7\%$, o que evidencia uma tendência central.
- Aumentando n , aproxima-se a distribuição obtida da configuração gaussiana, o que torna válida esta estimativa da média, a qual tem como argumento teórico o Teorema do Limite Central.

Portanto, admitindo esta aproximação, a rejeição do mapa é uma decisão correta.

Entretanto, nota-se um aspecto negativo do teste quanto à sua aplicação prática. Necessitou-se de 140 observações para rejeitar o mapa. Visto que a proporção de acertos mínima necessária para a aprovação do mapa é de

$$p = 1 - \frac{37}{319} = 0,88,$$

poder-se-ia prever que este valor não seria alcançado já na 70ª observação, caso a convergência fosse acompanhada da proporção de erros.

Conclui-se que o teste em questão é uma maneira estatisticamente fundamentada de abordar o problema da estimativa da exatidão de classificação e, portanto, válido numa avaliação final de um resultado de classificação. Por outro lado, recomenda-se a observação da convergência da proporção de acertos quando se está realizando uma avaliação intermediária (como, por exemplo, na análise dos resultados parciais de um procedimento iterativo de classificação). Esta segunda abordagem fornece uma aproximação da exatidão do mapa, com um número de observações relativamente pequeno, o que é vantajoso em termos práticos.

2.4.2 - AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO POR CLASSES

Os resultados das amostragens realizadas nas diferentes classes do mapa analisado estão apresentados na Tabela 2.9.

TABELA 2.9

MATRIZ DE CONFUSÃO RESULTANTE DA AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE CADA CLASSE

		CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS NA VERDADE TERRESTRE										TOTAL	% CORRETO	% INCLUSÃO
CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DO MAPA TEMÁTICO	CLASSE	1	21	22	3	33	4	5	6	7	7			
	1	6	2	-	8	-	30	4	-	-	-	50	12	88
	21	-	25	8	9	3	3	-	2	-	-	50	50	50
	22	-	6	17	17	2	-	-	8	-	-	50	34	66
	3	-	-	-	44	3	-	1	2	-	-	50	88	12
	33	-	1	3	21	23	-	2	-	-	-	50	46	54
	4	-	2	-	-	-	48	-	-	-	-	50	96	4
	5	-	-	1	10	17	-	21	-	1	-	50	42	58
	6	-	-	-	21	-	-	-	29	-	-	50	58	42
	N.CLASS.	-	-	1	10	-	3	1	1	1	4	-	-	-
	TOTAL	6	36	30	140	48	84	29	42	5	-	-	-	-
	% OMIS.	0	31	43	69	52	43	28	31	-	-	-	-	-

Esta tabela consiste na matriz de confusão entre a classificação e a verdade terrestre, acompanhada de informações marginais.

Observando o erro de inclusão, nota-se que das oito classes apenas duas apresentam percentual de pontos corretos superior aos 0,74 observados na avaliação do mapa como um todo. A maior parte das classes está mapeada com percentual de acertos entre 0,30 e 0,06, enquanto a classe 1 possui um desempenho de apenas 12% de pontos corretamente classificados.

Observando que a média dos percentuais de acertos observados nas classes é de 0,53, conclui-se que a predominância em área das classes melhor classificadas (área agrícola e água) é responsável pelo valor 0,74 observado na avaliação da exatidão do mapa como um todo. Ressalta-se então que a avaliação da exatidão total de um mapa temático não é uma representação do desempenho médio das classes, mas sim de uma média ponderada das exatidões das classes, cujo fator de ponderação é o percentual de área ocupada pela classe na área analisada.

Como todos os pontos foram posicionados no mapa temático para posterior comparação com a verdade terrestre, o total de pontos obtidos para a avaliação do erro de omissão não é preestabelecido. Portanto, dentro da metodologia adotada, a avaliação deste parâmetro é apenas um subproduto da análise do erro de inclusão.

Desprezando o fato de que o número de pontos amostrados em diversas classes faz que se incorra num alto risco do produtor (R_p), obteve-se uma exatidão percentual média de pontos corretos de 0,53. É interessante notar que a classe que apresentou maior percentual de erro de omissão foi a classe áreas agrícolas. Como as parcelas ocupadas pelas demais classes (excetuando água) são bem menores que a área ocupada por esta classe, pode-se concluir que estas parcelas foram relativamente bem classificadas, ocorrendo porém uma grande inclusão de áreas ocupadas para fins agrícolas pelas demais classes. O percentual de 69% de erro de omissão na classe Áreas Agrícolas decorre do maior empenho dedicado às demais classes durante o procedimento de classificação.

Algumas conclusões podem ser obtidas da análise de erros de omissão e inclusão de cada uma das classes.

A classe "Áreas relacionadas com carvão" apresentou nenhum erro de omissão, o que significa que as parcelas do terreno ocupadas por esta classe estão corretamente classificadas. Nota-se aqui uma falha de avaliação decorrente do pequeno número de pontos sorteados sobre estas parcelas, pois as bacias de decantação de cinzas não foram categorizadas corretamente, como se pode observar na Figura 2.3. O principal erro de inclusão desta classe é observado nas margens dos corpos d'água da área de estudo, demonstrando uma semelhança do comportamento espectral entre as partes rasas e/ou turvas das lagoas e rios e as áreas ocupadas com carvão ou derivados de seu processamento.

Os erros observados na classe 21 devem ser decorrentes do mesmo motivo, uma vez que este tipo de banhado possui como um dos principais componentes de sua resposta espectral áreas ocupadas por uma fina camada d'água. Os erros na classe 3 representam pontos espalhados em áreas agrícolas classificados como pertencentes à classe 1. Os motivos para este erro são condições que promovem uma perda de brilho nestes "pixels" como, por exemplo, sombreamento pelo relevo ou presença de solo orgânico exposto. As áreas urbanas classificadas como "Áreas relacionadas a carvão" são, em grande parte, áreas onde há predominância de superfície coberta de asfalto.

A inclusão de oito pontos de banhado periodicamente alagado (22) pela classe Banhado permanentemente alagado (21) é decorrente da semelhança espectral existente entre as duas classes. Esta confusão entre as duas classes é também evidenciada pelos seis pontos pertencentes à classe 21 incluídos pela classe 22.

Os pontos pertencentes à classe "Áreas agrícolas" (3), porém classificados como Banhado permanentemente alagado (21) ou como Banhado periodicamente alagado (22), são pontos da classe "Pastagem per

manentemente alagada" (322) cuja resposta espectral se assemelha às das classes de banhado devido à presença consorciada de água e cobertura vegetal.

A inclusão de áreas de solo exposto pelas classes de banhado é um erro sistemático observado em áreas como solo orgânico e úmido.

Tanto o erro de inclusão quanto o de omissão observados entre a classe "Banhado permanentemente alagado" (21) e "Água" (4) são decorrentes da ocorrência de reentrâncias na linha de costa, mapeadas nas fotografias aéreas não detectáveis nos dados MSS-LANDSAT.

A presença de pequenas manchas de Manguezal (63) em áreas próximas a lagoa Santo Antônio e a similaridade espectral existente entre áreas úmidas de floresta em sombra de relevo respondem pela inclusão de pontos da classe "Áreas florestais" (6) pelas classes de banhado (21 e 22).

Algumas queimadas ocorridas nas áreas de banhado entre a data da imagem (abril de 1978) e a aquisição das fotografias aéreas (agosto-setembro de 1978) fizeram com que alguns pontos das classes de banhado fossem omitidos a favor da classe solo exposto (33). Esta mesma razão, aliada à confusão existente entre as classes "Área urbana" (5) e "Solo exposto" (33), promoveu a inclusão de pontos da classe "Banhado periodicamente alagado" (22) pela classe "Área urbana" (5).

A confusão (omissão e inclusão) observada entre as classes "Área agrícola" (3) e "Solo exposto" (33) é uma decorrência natural da defasagem de tempo existente entre os dois dados comparados, aliada à curta duração dos ciclos das culturas agrícolas existentes na região (arroz, mandioca, milho, hortigranjeiros). A ocorrência de

um número maior de inclusões por parte da classe "Solo exposto" (33) é decorrente do fato de que o fim do inverno e a primavera são as principais épocas para plantio na região.

Os pequenos núcleos rurais com casas esparsas, entremeados de hortas e pomares, foram quase todos categorizados na classe "Áreas agrícolas" (3), o que justifica a inclusão destas áreas urbanas nesta classe.

Já a omissão de pontos da classe "Áreas agrícolas" (3) para a classe "Áreas urbanas" (5) é devida à confusão entre as classes "Solo exposto" (33) e "Áreas urbanas" (5) e ao preparo do solo em setembro de áreas com cobertura vegetal em abril.

As confusões observadas entre as classes "Áreas agrícolas" (3) e "Áreas florestais" (6) são decorrentes do tamanho dos talhões ocupados por esta última. Como a maioria das áreas florestais são pequenas, muitas não foram classificadas como tal, mas sim como áreas agrícolas, devido à classificação errada dos "pixels" de borda e à perda de pequenos talhões resultante da aplicação do algoritmo UNITOT e dos limites de resolução do sensor MSS-LANDSAT.

A confusão entre "Solo exposto" e "Áreas urbanas" foi um dos principais problemas encontrados no processo iterativo de classificação. Como não foi obtida uma discriminação precisa entre as duas classes optou-se por um conjunto de amostras de treinamento que permitisse uma melhor caracterização dos grandes centros urbanos encontrados na área de estudo. Por outro lado, esta decisão fez com que houvesse uma grande inclusão de pontos de solo exposto, especialmente os de solos arenosos. Isto está evidenciado na matriz de confusão pelo grande número de pontos da classe "Solo exposto" (33) classificados como "Áreas urbanas" (5) e pelo pequeno número de inclusões desta classe em pontos de áreas urbanas. Esta mesma confusão pela inclusão na classe "Áreas urbanas" (5) de pontos das "Áreas geologicamente recentes" (7), correspondentes a praias e dunas.

Os pontos não-classificados estão distribuídos pelas classes de forma proporcional às suas áreas, exceto no caso da classe "Áreas geologicamente recentes" (7) que foram propositadamente não classificadas, podendo-se então considerar estes pontos como corretos.

2.5 - CONCLUSÕES

Sobre a utilização de técnicas de tratamento digital de dados do MSS-LANDSAT para o mapeamento da cobertura do solo de planícies costeiras pode-se concluir que:

- A discriminação de classes correspondentes ao nível I do sistema de classificação proposto em Anderson et alii (1979) é possível, enquanto o resultado da classificação de subdivisões ao nível II não é satisfatório- A utilização de dados multitemporais e/ou sensores com melhores resoluções espacial e espectral contribuirão para melhorar o desempenho de técnicas de classificação digital aplicadas a discriminação de classes com um alto grau de especificidade, desde que esta melhora na aquisição de dados seja acompanhada de progressos nas técnicas de tratamento de imagens digitais, de modo a evitar a subutilização dos dados.
- A preparação a priori de um sistema de classificação abrangente e organizado hierarquicamente é fundamental para o bom desenvolvimento de um projeto de mapeamento, porque o sistema de classificação permite que, uma vez realizada uma categorização detalhada da área de estudo, seja possível a aglutinação das classes obtidas em classes genéricas cujo nível de exatidão é aceitável.
- A metodologia híbrida, ou seja, uma classificação não-supervisionada seguida de uma classificação supervisionada, apresenta grande vantagem sobre a utilização de apenas o procedimento supervisionado, uma vez que permite a obtenção de amostras de

treinamento unimodais. Amostras de treinamento com esta característica promovem menor variância das populações das classes e, portanto, menor probabilidade de superposição de classes e de erro de classificação, além de satisfazer a premissa da regra de decisão bayesiana de que as distribuições das classes têm comportamento gaussiano.

- A separação entre os dois tipos de banhado obtida neste trabalho, apesar da baixa exatidão apresentada, permite antever aplicações da técnica utilizada para extrair informações sobre profundidade do lençol freático, teor de umidade do solo e área afetada pela maré, uma vez que estas comunidades vegetais têm suas distribuições determinadas por estes parâmetros ambientais.

Sobre a utilização de metodologia baseada em amostragem por nível de aceitação para a estimativa da exatidão de classificação de mapas temáticos, conclui-se que:

- É uma metodologia que, apoiada em fundamentos estatísticos, permite manter em níveis aceitáveis os riscos do produtor e do usuário. Com isto consegue-se realizar o teste dentro das especificações do usuário sem correr o risco de ter que reavaliar o mapa desnecessariamente. Por isso tal metodologia deve ser parte integrante de um projeto de mapeamento.
- O método, entretanto, é extremamente lento e tedioso quando realizado a partir de uma amostragem aleatória simples. Considerando uma verificação no campo, seu custo torna-se quase proibitivo. Sugere-se a utilização de amostragem dupla para diminuir o tempo gasto na sua verificação com uso de fotos aéreas e para diminuir o custo quando a verdade terrestre for obtida em campo.
- Para um exame corriqueiro do desempenho obtido numa interação do processo de classificação de imagem, é melhor que se faça uma amostragem aleatória simples e se observe a convergência dos

percentuais de pontos corretos obtidos de amostras de tamanho crescente. Com este procedimento tem-se rapidamente uma noção sobre a qualidade do mapa analisado.

- Devido à sua inerente morosidade, o exame de exatidão de classificação de cada classe deve ser realizado apenas após a aprovação do mapa no teste para verificação de sua exatidão como um todo.

Recomenda-se, por fim, que a avaliação da exatidão da classificação seja parte integrante de qualquer projeto de mapeamento cujo resultado seja um mapa temático. É um procedimento complementar à estimativa da exatidão do cálculo de área de dada classe, e a utilização de ambos auxiliará muito a obtenção de bons resultados na extração deste parâmetro. O fornecimento da avaliação da exatidão do mapa ao usuário será também de grande valor para a manutenção de um alto nível na qualidade dos mapas produzidos por qualquer entidade com este propósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAIME, R.R. Estudo da variação estacional do "standing crop" e do re povoamento em um banco de *Spartina alterniflora* Loiseur, 1807 no com plexo estuarino-lagunar de Cananéia. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 27(2): 1-43, 1978.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. *Enhancement of digital images through band ratio techniques for geological applications*. São José dos Cam pos, dez. 1982. 22p. (INPE-2604-PRE/250).
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. *Sistema de clas sificação do Uso da Terra e do Revestimento do Solo para Utilização com Dados de Sensores Remotos*. Rio de Janeiro, SUPREN - IBGE, 1979. 78p. (Série Paulo Assis Ribeiro, 9).
- ANDERSON, R.; ALSID, L.; CARTER, V. Comparative utility of LANDSAT-1 and SKYLAB data for coastal wetland mapping and ecological studies. In: NASA. *Earth Resources Survey Symposium*, Proceedings of Symposium held in Houston, Tx, 1975. NASA Lyndon B. Johnson Space Center, V.1-A p. 469-477.
- ANDERSON, R.R.; WOBBER, F.J. Wetlands mapping in New Jersey. *Photogram metric Engineering*, 39(4): 353-358, 1973.
- ARONOFF, S. Classification accuracy: a user approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(8): 1299-1307, 1982, a.
- The map accuracy report: a user view. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(8): 1309-1312. 1982, b.
- BIROT, P. *Les Formations Vegetales du Globe*. Paris, Societê d'Edition d'Enseignement Superieur, 19765, 508 p.

- BUTERA, M.K. Computer - implemented remote sensing techniques for measuring coastal productivity and nutrient transport system. In: DEUTSCH, M.; WIESNET, D.R.; RANGO, A. *Satellite Hydrology*. American Water Resources Association, 1979. p. 522-531.
- CARTER, V. Coastal wetlands: the present and future role of remote sensing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11., Ann Arbor, MI, ERIM, 1977. *Proceeding*. v.1, p. 301-324.
- CARTER, V.; SCHUBERT, J. Coastal wetlands analysis from ERTS MSS digital data and field spectral measurements. In: ERIM Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI, Apr. 15-19, 1974. *Proceeding*. v.2, p. 1241-1260.
- COCHRAN, W.G. Sampling techniques. 2nd ed. John Wiley & Sons; 1963, 413 pp.
- COWARDIN, L.M. Wetlands and deepwater habitats: a new classification. *Journal of soil and Water Conservation*, 37(2): 83-85, 1982.
- CRUZ, A.A.; HACKNEY, C.T. Energy value, elemental composition and productivity of belowground biomass of *Juncus* tidal marsh. *Ecology*, 58(5): 1165-1170, 1977.
- DARNELL, R.M. The organic detritus problem. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington, D.C., AAAS, 1967,a. p. 374-375.
- Organic detritus in relation to the estuarine ecosystem. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington D.C., AAAS, 1967,b. p. 376-382.
- GALLAGHER, J.L.; REIMOLD, R.J.; THOMSON, D.E. A comparison of four remote sensing media for assessing salt marsh productivity. In: ERIM Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI, Oct. 2-6, 1972. *Proceeding*. V.2, p. 1287-1295.

- GENERAL ELECTRIC (GE) Space Division Ground Systems Department.
IMAGE-100: User Manual. Daytona Beach, Fl. 1975.
- GEORGE, T.S.; TAYLOR, R.S.; SHUBINSKI, R.P. Cost effectiveness of conventional and remote sensing techniques for watershed planning. In: ERIM Fourteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. San José, Costa Rica, Apr. 23-30, 1980. *Proceeding*. V. 2, p. 639-644.
- GINEVAN, M.E. Testing land-use map accuracy: another look. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(10): 1371-1377, 1979.
- GUNTER, G. Some relationships of estuaries to the fisheries of the Mexico. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington, D.C. AAAS, 1967. p. 621-638.
- HOPKINSON, C.S.; GOSSELINK, J.G. Aboveground production of seven marsh plant species in coastal Louisiana. *Ecology*, 59(4): 760-769, 1978.
- HORD, R.M.; BROONER, W. Land use map accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(5): 671-677, 1976.
- HOWLAN, W.G. Multispectral aerial photography for wetland vegetation mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(1): 87-99, 1980.
- KLEIN, R.M. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Itajaí, SUDESUL, FATMA, HBR, 1978. 24p. (Flora Ilustrada Catarinense, parte 5). 24 p.

- KLEMAS, V.; BARTLETT, D.; ROGERS, R.; REED, L. Inventories of Delaware coastal vegetation and land use utilizing digital processing of ERTS-1 imagery. In: ERIM Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI, Apr. 15-19, 1974. *Proceedings*. V. 2, p. 1399-1410.
- LOMBARDO, M.A.; VALERIANO, D.M. *Utilização de procedimento automático para a determinação de classes de uso da terra na Depressão Periférica Paulista: área teste Ararcs*. São José dos Campos, jul. 1981. (INPE-2155-RPE/374). 6p.
- MAIXNER, A.E.; SCHWARZBOLD, A. Características silvo-agro-pastoris da região carbonífera do Estado de Santa Catarina. In: FUNDAÇÃO DE AMPARO À TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE (FATMA). *Estudo sobre o impacto ecológico da mineração e do beneficiamento do carvão na Região Sul do Estado de Santa Catarina; Relatório Final*. Convênio FATMA-UFRGS. Porto Alegre, UFRGS, 1978. p. 115.
- ODUM, E.P. *Fundamentals of Ecology*, 3. ed. Philadelphia, PA, W.B. Saunders Co., 1971. 574 p.
- ODUM, E.P.; CRUZ, A.A. Particulate organic detritus in a Georgia salt marsh-estuarine ecosystem. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington D.C., AAAS, 1967. p. 383-388.
- PICHRAL, J.C.; ODUM, W.E. Benthic detritus in a saltmarsh tidal creek. In: WILEY, M. *Estuarine processes*. New York, N.Y., Academic, 1976. V.2, p. 280-292.
- PRITCHARD, D.M. What is an estuary: physical view-point. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington D.C., AAAS, 1967. p. 3-5.
- REDFIELD, A.C. The ontogeny of a saltmarsh. In: LAUFF, G.H. *Estuaries*. Washington D.C., AAAS, 1967. p. 108-114.

- REIMOLD, R.J.; GALLAGHER, J.L.; THOMPSON, D.E. Remote Sensing of a tidal marsh. *Photogrammetric Engineering*, 39(5): 477-488, 1973.
- REITZ, P.R. Vegetação da zona marítima de Santa Catarina. *Sellowia*, 13:17-115, 1961.
- RIBEIRO, E.A.; Ii, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual de usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. São José dos Campos, INPE, Departamento de Informática - DSC-LTID. 1982. 158 p.
- SANTOS, M.; ARAUJO, D. *Identificação e descrição do habitat das macrófitas dominantes na margem sul da Lagoa Santo Antonio, Laguna S.C.* Rio Grande, R.S., nov. de 1982. Comunicação pessoal a VALERIANO, D.M.
- SWAIN, P.H. Fundamentals of pattern recognition in remote sensing. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, N.Y. McGraw-Hill, 1978. p. 136-187.
- SWEET, H.C.; POPPLETON, J.E.; SHUEY, A.G.; PEEPLES, T.O. Vegetation of Central Florida's East coast: the distribution of six vegetational complexes of Merrit island and Cape Canaveral peninsula. *Remote Sensing of Environment*, 9(2): 93-108, 1980.
- Van GENDEREN, J.L.; LOCK, B.F.; VASS, P.A. Remote Sensing: Statistical testing of thematic map accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 7(1): 3-14, 1978.
- WHITE, D.A.; WEISS, T.E.; TRAPANI, J.M.; THIEN, L.B. Productivity and decomposition of the dominant salt marsh plants in Louisiana. *Ecology*, 59(4): 751-759, 1978.
- WOBBER, F.J.; ANDERSON, R.R. ERTS data for coastal management. *Photogrammetric Engineering*, 39(6): 593-598, 1973.
- ZENKOVICH, V.P. *Processes of coastal development*. London, Oliver Boyd, 1967. 738 p.

APÊNDICE A

COBERTURA DO SOLO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO
RIO TUBARÃO (SC) - SETEMBRO DE 1978

APÊNDICE B

COBERTURA DO SOLO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO
RIO TUBARÃO (SC) - ABRIL DE 1978