

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Atualização de Informações Cartográficas

uma abordagem baseada em conhecimento

NILTON NOBUHIRO IMAI

Tese de Doutorado
apresentada ao
Departamento de Geografia
da Universidade de São
Paulo, sob orientação da
Profa. Dra. Claudette
Barriguela Junqueira

São Paulo, março de 1996

à Viviam

por todo apoio e carinho

AGRADECIMENTOS

Agradeço à todos que, de alguma forma, contribuíram na realização do trabalho. Especialmente aos que me auxiliaram no desenvolvimento do experimento, dentre os quais o Milton H. Shimabukuro, o Klaus Schlunzen Jr., a Dra. Solange Rezende Rodrigues, a Maria de Lourdes B. T. Galo e a Dra. Ana Maria M. Marangoni.

Também agradeço à Suzano Feffer por me fornecer dados e informações sobre a produção de eucaliptos em sua fazenda de Itararé-SP.

Capítulo 1. Introdução	01
------------------------	----

Parte I. Referências Teóricas

Capítulo 2. O MAPA: na busca de um conceito adequado à investigação proposta	
--	--

2.1. Introdução	17
2.2. Comunicação Cartográfica	19
2.3. Mapas versus bases de dados espaciais	35
2.4. Modelagem de dados espaciais	55
2.5. Que tipo de mapa é adequado?	58

Capítulo 3. Sensoriamento Remoto: fonte de informações cartográficas	
--	--

3.1. Introdução	61
3.2. Análise visual de imagens multiespectrais	63
3.3. Análise quantitativa de imagens multiespectrais	67
3.3.1. Análise de imagens por computador	70
3.4. Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas	77

Capítulo 4. Um sistema especialista em atualização cartográfica	
---	--

4.1. Introdução	86
4.2. Linguagem de programação para Inteligência Artificial	87
4.2.1. A linguagem PROLOG	87
4.2.2. Noções da linguagem de programação	90
4.3. Concepção de um mapa digital	93
4.3.1. Técnicas de representação de relacionamento entre objetos	95
4.3.2. Representação das unidades temáticas no espaço	97

4.4. Um sistema especialista em atualização de informações espaciais a partir de dados de Sensoriamento Remoto	100
4.4.1. Procedimento para elaboração de um sistema especialista em atualização de informações espaciais	100
4.4.2. Concepção de um banco de conhecimento para o sistema de atualização cartográfica	103

Parte II. O estudo de caso 114

Capítulo 5. Modelagem de informação baseada em conhecimento

5.1. Introdução	115
5.2. O banco de conhecimento envolvido	118
5.3. Plano de investigação: estudo de caso	125
5.3.1. Descrição do cenário a ser representado	140
5.3.2. Esboço de um modelo de informação	143
5.4. Da verificação experimental	151

Capítulo 6. Da integridade e robustez da base de dados espaciais e não espaciais

6.1. Introdução	152
6.2. Experimento 1	152
6.3. Concepção da base de dados espaciais e não-espaciais	156
6.4. Aquisição e representação do conhecimento	159
6.4.1. Detecção e enquadramento de elementos diferentes do contexto	159
6.4.2. Verificação de hipóteses e identificação dos fenômenos indesejáveis	171
6.5. Resultados do Experimento 1	185

Capítulo 7. Da viabilidade de um “sistema especialista” em atualização de informações cartográficas	
7.1. Introdução	187
7.2. Desenvolvimento inicial	195
7.3. Aquisição e representação do conhecimento	195
7.4 Resultados	233
Capítulo 8. Do ajustamento do banco de conhecimento do sistema especialista	
8.1. Introdução	236
8.2. Resultados da aplicação da versão inicial do protótipo	238
8.3. Aprimoramento do banco de conhecimento	242
8.4. Resultados finais do experimento	255
Capítulo 9. Conclusões e recomendações finais	257
Capítulo 10. Referências Bibliográficas	265

Lista de figuras

Fig. 1.1: Detecção de mudanças na atualização de informações cartográficas	03
Fig. 1.2: Processo de atualização cartográfica	03
Fig. 1.3: Relação entre o crescente volume de dados coletados e alta demanda de informação com a atual possibilidade de extração de informações	07
Fig. 2.1: Comunicação da Informação Cartográfica Ic	20
Fig. 2.2: Mapeamento como processo de comunicação	30
Fig. 2.3: Base de dados como modelo da realidade	55
Fig. 3.1: Tipos de conhecimentos	83
Fig. 4.1: Representação esquemática do sistema de atualização de informações espaciais proposto	86
Fig. 4.2: Predicado p1 formado pelo objeto X1 e seu papel r1	96
Fig. 4.3: Representação gráfica dos objetos X1 e X2 relacionados	96
Fig. 4.4: Relação entre predicados com seus papéis separados	96
Fig. 4.5: a. modelo analógico bi-dimensional; b. representação vetorial; c. modelo <i>tesselado</i>	98
Fig. 4.6: Modelo analógico bi-dimensional com polígonos irregulares representando regiões na superfície terrestre	99
Fig. 5.1: Curva de Reflectância porcentual típica de uma folha verde	119
Fig. 5.2: Influência do grau de umidade na Reflectância de folhas de milho	122
Fig. 5.3: Município de Itararé no Estado de São Paulo	128
Fig. 5.4: Mapa de unidades de área da fazenda	131
Fig. 5.5: Área de estudo com as unidades selecionadas para o estudo de caso	132
Fig. 5.6: Mapa de uso do solo da área do estudo de caso	133
Fig. 5.7: Mapa de Estágio de Desenvolvimento Florestal da área de estudo em 10/10/87	134
Fig. 5.8: Mapa de Estágio de Desenvolvimento Florestal da área de estudo em 09/08/88	135
Fig. 5.9: Segmentos de cena TM-LANDSAT: a. banda 3 de 10/10/87, b. banda 4 de 10/10/87, c. banda 5 de 10/10/87, d. banda 3 de 09/08/88, e. banda 4 de 09/08/88, f. banda 5 de 09/08/88	136

Lista de figuras

Fig. 5.10: Função bi-dimensional que representa uma imagem digital	137
Fig. 5.11: Representação de uma imagem multiespectral com N atributos espectrais e seu sistema de coordenadas espaciais (linha,coluna)	138
Fig. 5.12: Espaço de atributos espectrais de um pixel de uma imagem com $N = 3$	138
Fig. 5.13: Representação gráfica do primeiro modelo de dados do reflorestamento	147
Fig. 5.14: Representação gráfica do modelo de dados, final, do reflorestamento	148
Fig. 5.15: Fato que relaciona cada célula a sua posição na superfície	148
Fig. 5.16: Fato relacionando uma célula a uma unidade de área	149
Fig. 5.17: Relacionamento entre cada célula e a resposta espectral correspondente	149
Fig. 5.18: Representação de unidade de área destinada à produção florestal	150
Fig. 5.19: Representação de unidade de área destinada à preservação de mananciais	150
Fig. 5.20: Representação de um talhão de reflorestamento em um estágio de desenvolvimento em uma data, como modelo de informação de “talhão”	151
Fig. 6.1: Representação da estrutura lógica global da busca de dados multiespectrais indesejáveis ao processo de atualização	161
Fig. 6.2: Representação da estrutura lógica do exame formalizado para detecção de valores de resposta espectral indesejáveis em cada unidade de área do mapa a ser atualizado	163
Fig. 6.3: Vizinhaça de uma célula X	167
Fig. 6.4: Representação de um carreador e de uma faixa de transição entre unidades de área	168
Fig. 6.5: Alteração parcial de um talhão, provocada pelo manejo do reflorestamento	169
Fig. 6.6: Representação da estrutura lógica que conduz a verificação de hipóteses de explicação para valores diferentes da média, esquema geral	173
Fig. 6.7: Representação da estrutura lógica do exame realizado nas células com valores de resposta espectral diferentes da média e diferentes das vizinhas cujos valores também sejam diferentes da média da unidade de área	175

Lista de figuras

Fig. 6.8: Representação da estrutura lógica adotada para iniciar o exame dos valores de resposta espectral considerados diferentes da média da unidade de área	181
Fig. 7.1: Distribuição das unidades de área no espaço	189
Fig. 7.2: Tipo de destinação das unidades de área	189
Fig. 7.3: Estágio de desenvolvimento dos talhões em 1993	189
Fig. 7.4: Estrutura lógica da busca pelo estágio de desenvolvimento florestal em que o talhão deve se encontrar	200
Fig. 7.5: Representação da estrutura lógica do processo de tomada de decisão que verifica se um determinado talhão está evoluindo de acordo com as tendências previstas de modificação	201
Fig. 7.6: Representação da estrutura lógica da avaliação de tendência de uma célula de um talhão	204
Fig. 7.7: Estrutura lógica para avaliar valores de resposta espectral conforme sua tendência de variação	208
Fig. 7.8: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: igual	209
Fig. 7.9: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: maior ou igual	209
Fig. 7.10: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: menor ou igual	210
Fig. 7.11: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: maior	210
Fig. 7.12: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: menor	211
Fig. 7.13: Esquema da lógica adotada para examinar os talhões não atualizados detalhadamente	214
Fig. 7.14: Estrutura lógica adotada para agrupar unidades de área vizinhas entre si que não foram atualizadas porque aparentemente sofreram alguma modificação inesperada	216

Lista de figuras

- Fig. 7.15: Representação da lógica usada para selecionar células cuja variação de resposta espectral não satisfaça às condições previstas para o talhão 219
- Fig. 7.16: Representação esquemática da estrutura lógica adotada para examinar os fenômenos que não puderam ser identificados de acordo com as tendências esperadas 225
- Fig. 8.1: Índice de vegetação NDVI obtido das bandas TM-3 e TM-4: a. 10/10/87 e b. 09/08/88 243
- Fig. 8.2: Representação gráfica do esquema lógico adotado para verificar se um talhão adulto foi colhido 249
-

Lista de quadros

Quadro 2.1: Relações entre variáveis gráficas na comunicação monossêmica	22
Quadro 2.2: Ênfases das atividades cartográficas	41
Quadro 2.3: Tarefas na leitura de mapas	43
Quadro 2.4: Questões geográficas para tomada de decisão e construção de conteúdo informacional no uso do mapa	44
Quadro 2.5: Operações analíticas casadas a questões geográficas de alta ordem	53
Quadro 3.1: Comparação entre programas típicos em IA e convencionais	77
Quadro 4.1: Exemplo da recursividade da linguagem ARITY/PROLOG	91
Quadro 5.1: Transformações físicas previstas e eventuais do reflorestamento	122
Quadro 5.2: Variação da resposta espectral conforme mudança de estágio de desenvolvimento	124
Quadro 5.3: Atividades de manejo do reflorestamento de eucálptos do estudo de caso	139
Quadro 6.1: Coordenadas de un 1 em exp1	154
Quadro 6.2: Coordenadas de un2 em exp1	154
Quadro 6.3: Coordenadas de un3 em exp1	154
Quadro 6.4: Valores de brilho na banda 2 da imagem adquirida em 93	155
Quadro 6.5: Valores de brilho na banda 1 da imagem adquirida em 93	155
Quadro 6.6: Formalização do predicado <u>processaexam(Mapa,Ano,Difer)</u> , responsável pelo início do exame das respostas espectrais de uma unidade de área	164
Quadro 6.7: Predicado responsável pelo exame dos valores de resposta espectral de cada célula de uma unidade de área que esteja sendo avaliada	165
Quadro 6.8: Predicados de <u>verifica(Mapa,Unidade,Ano,Lmedia,Difer)</u> e suas respectivas metas	166
Quadro 6.9: Vizinhança da célula cujas coordenadas são (linha,coluna)	166
Quadro 6.10: Hipóteses explicativas para valor de resposta espectral diferente da média	172
Quadro 6.11: Predicados de <u>mutante(, ,)</u>	173

Lista de quadros

Quadro 6.12: Código do processo de condução da verificação de hipóteses de explicação para valores diferentes da média em linguagem PROLOG	174
Quadro 6.13: Principais predicados usados na avaliação de hipóteses explicativas	177
Quadro 6.14: Predicado responsável pela avaliação de hipóteses de agrupamentos de células, criadas a partir de células cuja hipótese inicial é de erro de mapeamento ou efeito de borda	178
Quadro 6.15: Predicado responsável pela avaliação de hipóteses de agrupamentos de células, criadas a partir de células cuja hipótese inicial é de que sofreu alteração	183
Quadro 7.1: Representação da distribuição espacial das células das unidades de área do mapa simulado para este experimento 2	189
Quadro 7.2: Estágio de desenvolvimento florestal de cada célula em 1994	190
Quadro 7.3: Distribuição espacial de interferências indesejáveis ao processo de atualização, nos dados multiespectrais da fonte adotada	191
Quadro 7.4: Limites de valores espectrais para estágio de desenvolvimento florestal	191
Quadro 7.5: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 3, de 10/10/93	192
Quadro 7.6: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 4, de 10/10/93	192
Quadro 7.7: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 5, de 10/10/93	193
Quadro 7.8: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 3, de 8/8/94	193
Quadro 7.9: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 4, de 8/8/94	194
Quadro 7.10: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 5, de 8/8/94	194
Quadro 7.11: Conhecimento sobre as relações entre tempo e evolução do estágio de desenvolvimento dos talhões de eucaliptos da produção considerada no estudo de caso	197
Quadro 7.12: Fatos que relacionam mudança de estágio de desenvolvimento florestal com variação de resposta espectral	198
Quadro 7.13: Fatos que representam os intervalos de tempo previstos entre dois estágios consecutivos	198
Quadro 7.14: Principais predicados no exame inicial da tendência de uma célula de uma dada unidade	201

Lista de quadros

Quadro 7.15: Predicado que verifica se os dados multiespectrais das células de um talhão seguem tendência esperada	202
Quadro 7.16: Predicado que começa verificar se o comportamento dos valores de resposta espectral de uma célula de um talhão correspondem ao previsto	203
Quadro 7.17: Predicado que atualiza informações de um talhão quando as tendências são confirmadas	206
Quadro 7.18: Avaliação da tendência de igualdade de resposta de uma banda espectral de uma célula	206
Quadro 7.19: Predicado que examina os valores de uma célula, para uma única banda espectral	212
Quadro 7.20: Predicados mais relevantes no processo de refinamento da identificação de fenômenos de interesse à atualização	214
Quadro 7.21: Predicado que inicia identificação de talhões que aparentemente não obedecem a tendência esperada	215
Quadro 7.22: Detecção de alterações em cada unidade com indícios de alteração parcial	217
Quadro 7.23: Predicados responsáveis pela seleção de segmentos da cena com alteração inesperada	218
Quadro 7.24: Predicado responsável pelo início da verificação de cada célula de uma unidade	220
Quadro 7.25: Predicado que instancia a regra responsável pela avaliação de hipóteses com os talhões vizinhos relacionados com um fenômeno de alteração semelhante	221
Quadro 7.26: Predicado que coloca em um grupo os talhões vizinhos que tenham sofrido fenômeno de alteração semelhante	222
Quadro 7.27: Fenômenos que podem interferir na variação das respostas espectrais de um talhão	224

Lista de quadros

Quadro 7.28: Principais regras implementadas para identificar fenômeno de alteração não esperado	227
Quadro 7.29: Predicado responsável pela avaliação, final, de hipóteses	227
Quadro 7.30: Principais predicados de <u>analisanidades</u> (.....)	228
Quadro 7.31: Predicado responsável pela investigação das células selecionadas por <u>changedetect</u> (.....)	229
Quadro 7.32: Predicado que avalia possibilidade de ter ocorrido incêndio, como também ataque de pragas ou doenças	231
Quadro 7.33: Predicado responsável pela investigação das células selecionadas por <u>changedetect</u> (.....)	232
Quadro 7.34: Resultado da aplicação das regras de verificação de hipóteses iniciais previstas	234
Quadro 7.35: Atualização das unidades de área que não foram atualizadas no exame inicial	235
Quadro 8.1: Estágio de desenvolvimento florestal de cada unidade de área nas duas datas	238
Quadro 8.2: Sub-experimentos identificados pelo nome e unidades de área de cada mapa derivado	239
Quadro 8.3: Resultados da aplicação da versão inicial do protótipo desenvolvido	241
Quadro 8.4: Possíveis formas de evolução de um talhão, a partir do estágio <u>“adulto”</u>	244
Quadro 8.5: Formalização, em linguagem ARITY/PROLOG, do esquema lógico adotado para verificar a possibilidade de um talhão adulto ter sido colhido	246
Quadro 8.6: Verifica hipótese de um determinado talhão ter permanecido no estágio adulto	251
Quadro 8.7: Previsão de estágio para alguns casos nos quais possa ocorrer combinação	251
Quadro 8.8: Tendência esperada para um talhão cujo estágio é corte raso executado no mapa mais antigo	252

Lista de quadros

Quadro 8.9: Objetos representando os fatos <u>estágio</u> (..., para cada tipo de variação de umidade, em uma das possíveis mudanças de estágio, previsto pelo especialista	254
Quadro 8.10: Variação de conteúdo de umidade da vegetação a partir da data de aquisição de imagens de Sensoriamento Remoto	254
Quadro 8.11: Incidência de chuvas no município de Itararé-SP	255
Quadro 8.12: Resultados da aplicação da versão final do protótipo desenvolvido	256

ATUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

uma abordagem baseada em conhecimento

Capítulo 1

Introdução

Informações a respeito de fenômenos que ocorrem na superfície ou sub-superfície da Terra vêm sendo usadas pelo homem desde os primórdios da história da humanidade. Quando esses dados se referem a objetos e fenômenos do mundo real que possuem alguma expressão espacial, ou seja, *"têm atributos de natureza espacial que dizem sobre sua localização ou distribuição espacial"* (Rodrigues, 1988) são denominadas de informações espaciais, sendo armazenadas, comunicadas e processadas, enquanto informações cartográficas representadas, tradicionalmente, através de um modelo analógico bidimensional conhecido como mapa. Assim sendo, o uso de um mapa é condicionado ao conteúdo informacional nele disponível e, conseqüentemente, à fidelidade de suas informações cartográficas.

O tempo é um importante fator de perda de fidelidade de conjuntos de registros de um mapa, pois modificações naturais ou provocadas pelo homem podem alterar a realidade ali representada. Portanto, se a fidelidade das informações disponíveis é um dos fatores mais importantes para a utilização cartográfica, então é necessário que as modificações que ocorram no mundo real sejam registradas. Robbi (1993), coloca que:

"o fato da carta ser um relato gráfico do meio físico em um determinado instante, e este por sua vez ser dinâmico, faz com que, continuamente, exista um processo de desatualização. Conseqüentemente, novos elementos

devem ser adicionados a esta, o que se faz através de duas operações principais envolvidas neste processo:

- 1. Detecção das mudanças ocorridas no espaço objeto,*
- 2. Processo de atualização da carta".*

O processo de atualização cartográfica vem recebendo importantes contribuições, principalmente no que tange à aquisição de dados e seu processamento, o que, por sua vez, tem possibilitado uma melhor manutenção da fidelidade das informações cartográficas. Por outro lado, o homem vem utilizando a Terra de forma muito intensa, e, conseqüentemente, alterando rapidamente a paisagem^{1.1}. A situação provoca a necessidade de atualizações de informações cartográficas entre períodos de tempo cada vez menores. Dessa maneira, além de fontes de dados adequados para obtenção de novas informações, é necessário que haja processos mais rápidos e de menor custo para aquisição de informações espaciais.

Em conseqüência, o processo de atualização de mapas foi escolhido como objeto de investigação deste trabalho, como uma resposta à necessidade de mapas ou de informações espaciais atualizadas com rapidez e exatidão.

As figuras 1.1 e 1.2 ilustram, respectivamente, a detecção de alterações da paisagem, bem como o processo de atualização de informações cartográficas.

^{1.1} Paisagem é utilizada, no presente trabalho, com um significado restrito ao que pode ser visto na superfície da Terra, referindo-se somente às entidades físicas do mundo real.

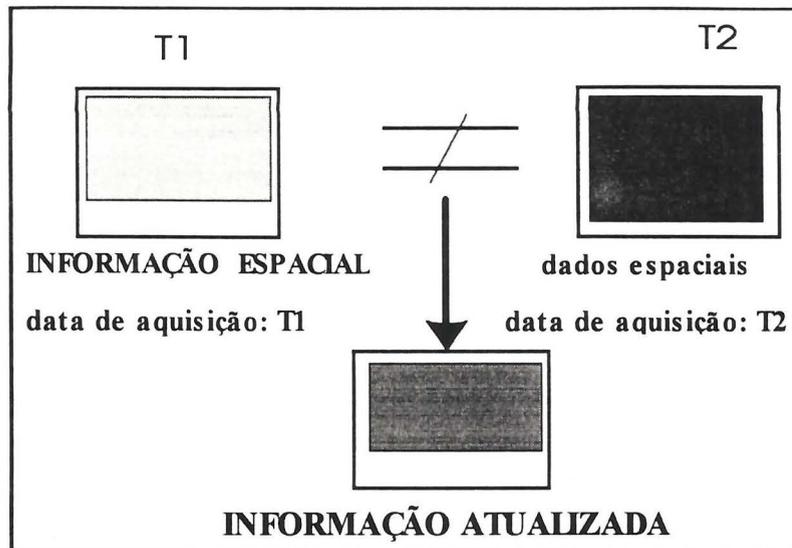


Figura 1.1: Detecção de mudanças na atualização de informações cartográficas. JUNQUEIRA, C.B..

onde:- T1: informações geográficas na data t1;

- T2: dados dessa área na data t2, dentre eles:

- dados multiespectrais, dados auxiliares, etc.;

- Informação atual: produto do processo de atualização;

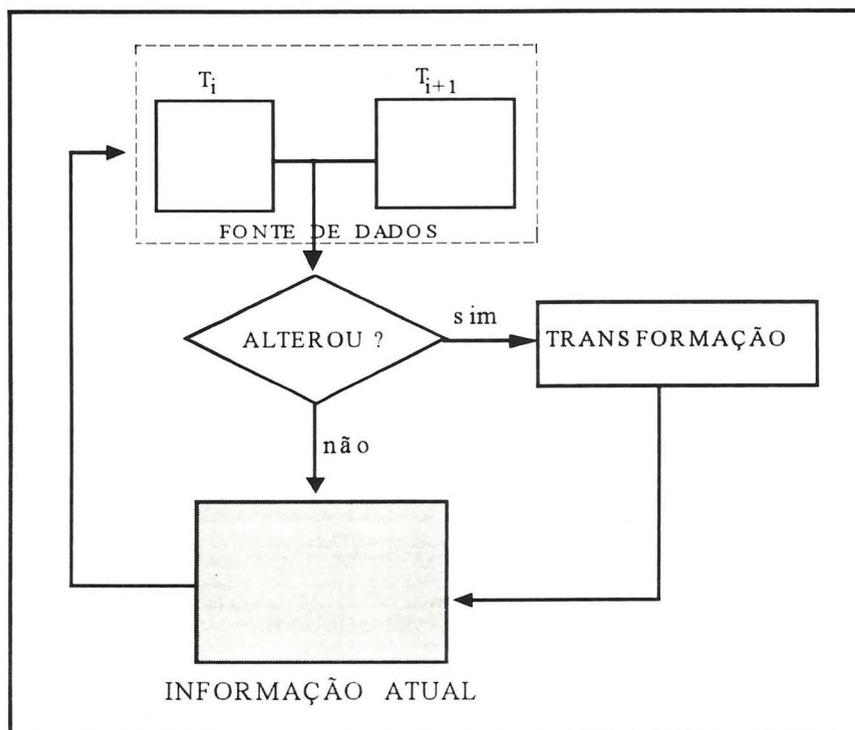


Figura 1.2: Processo de atualização cartográfica. JUNQUEIRA, C.B.

onde - T_i : dados obtidos na data t_i ;

- T_{i+1} : dados obtidos da data t_{i+1} ;

- Transformação: processo de modificação das informações disponíveis.

Robbi (1993) relata ainda que duas etapas distintas

"distinguem a atualização do remapeamento, no qual não se consideram as mudanças ocorridas, pois estas não são acrescentadas aos velhos mapas, e sim refaz-se todo o trabalho gerando novos mapas. Portanto, o termo chave em uma atualização cartográfica é detecção de mudanças, cujas fontes para obtê-las podem ser:

- informações provenientes de órgãos públicos que trabalham diariamente com feições do meio físico e, conseqüentemente, acompanham suas alterações, exemplificando: companhia distribuidora de energia elétrica, companhia de saneamento básico, companhia telefônica, etc.;

- comparação de um novo conjunto de fotografias aéreas ou imagens de satélite com as antigas ou mapas existentes;

- constatação direta no terreno, comparando o mapa existente com a situação física real".

Os métodos de detecção de mudanças, aqueles que comparam a situação atual à antiga que está representada no mapa, através de fotografias aéreas ou imagens multiespectrais de plataformas orbitais, têm sido os mais utilizados. A comparação é feita através de alguma técnica, seja ela ótica ou computacional, com a sobreposição dos dados de duas datas diferentes. No entanto, qualquer que seja o procedimento, atualmente ainda é necessário que ocorra uma significativa atuação de um especialista na sua aplicação.

O processo de aquisição de informações da superfície da Terra pode ser subdividido em duas etapas: a coleta de dados e a extração de informações.

A primeira vem se aprimorando com o desenvolvimento da tecnologia, em consequência de contribuições mais expressivas provenientes da informática; das telecomunicações; dos sistemas de coleta de dados (Física Aplicada e Eletrônica); da evolução dos sistemas de coleta de dados de Sensoriamento Remoto orbital; etc.

O Sensoriamento Remoto por sua vez, aprimora-se rapidamente, no que tange os sistemas de coleta de dados a nível orbital, em decorrência do aumento contínuo da resolução de tais sistemas, principalmente com a ampliação do número de bandas espectrais exploradas pelos sensores, com a diminuição do tamanho do elemento de resolução no terreno; do aumento do número de plataformas em funcionamento simultâneo e da utilização de sistemas ativos.

Do ponto de vista da utilização, é crescente a utilização de dados espaciais devido à disponibilidade dos sistemas de informações geográficas que facilitam a obtenção de informações provenientes de bases de dados pela aplicação das teorias de sistemas de informação, com a automação dos processos de: recuperação de dados espaciais; busca e seleção em bases de dados; operações de análise; representação de dados e informações.

A situação descrita funciona como fato gerador das seguintes exigências: rigorosos modelos da realidade; sintaxe própria; maior grau de atualização e maior diversidade de informações espaciais.

Por sua vez, as duas últimas levam a uma necessidade de maior volume de informação.

O processo de extração de informações no contexto apresentado pode envolver três momentos diversificados:

- a interpretação visual:- que realiza melhor exploração das fontes disponíveis, incluindo aspectos qualitativos;
- o processamento digital de imagens: que aumenta a capacidade do intérprete na exploração visual dos dados;
- a classificação automática de dados de Sensoriamento Remoto: executada com a aplicação de algoritmos baseados em modelos matemáticos, que são limitados para representar fenômenos espaciais.

Porém, os entraves persistem de forma a inviabilizar seu uso para um grande número de aplicações, apesar do grande volume de pesquisa realizados em busca da superação dos classificadores disponíveis em *softwares* comerciais de processamento digital de imagens.

Assim, ao se procurar escolher entre a interpretação por análise visual e a classificação automática, depara-se com diversos inconvenientes, já que cada um deles possui suas inadequações, que podem ser identificadas como sendo:

**interpretação por análise visual (muito utilizados) => baixa
produtividade;**
classificação automática => pouco adequada à realidade.

A situação atual do processo anteriormente descrito não se demonstra, portanto, muito favorável à aquisição de informações, o que pode ser confirmado esquematicamente, a partir da figura 1.3.



Figura 1.3: Relação entre o crescente volume de dados coletados e alta demanda de informação com a atual possibilidade de extração de informações.

Como os procedimentos de extração de informações não acompanham nem o volume crescente de dados disponíveis, nem a grande necessidade de informações por parte dos usuários é urgente reverter esse quadro.

Para sua consecução, propõe-se realizar a extração de informações através da associação:

homem & máquina

visando ao aumento da produtividade do especialista através de:

- processo apoiado em computador;
- abordagem baseada no conhecimento do especialista;
- tomadas de decisão baseadas em heurísticas;
- diminuição da intervenção do especialista após cada análise;

Como se trata de um problema de atualização, pressupõe-se a existência de um referencial, constituído de um mapa a ser atualizado, bem como dos próprios dados multiespectrais usados na sua concepção. A partir desses produtos, acrescido do material com data de aquisição mais recente, o processo deve gerar um produto contendo

informações atuais. O enfoque permite o uso da resolução temporal dos sistemas de Sensoriamento Remoto orbital, a qual representa como uma de suas mais importantes características no processo de aquisição informações. Ou seja, apesar da grande importância da resolução espectral no processo de aquisição de informações através do Sensoriamento Remoto orbital, o uso da resolução temporal também funciona, em muitos casos, como fundamental nos processos de extração de informações desses dados multiespectrais por caracterizar os fenômenos através de sua variação no tempo.

A resolução temporal manifesta-se através de variações na distribuição espacial dos elementos da superfície, tornando-os bons indicadores para a compreensão dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

O conhecimento sobre o conteúdo informacional do mapa a ser atualizado fornece uma descrição das entidades de interesse do mundo real, bem como de suas relações, que podem ser utilizadas no processo de avaliação da imagem de Sensoriamento Remoto, cuja análise pode ser enriquecida pelo conhecimento das relações daquelas entidades de interesse com outras entidades já identificadas, bem como pelas características físicas mais relevantes ao seu processo de aquisição.

O processo de análise de imagens por computador, considerando todos os aspectos apresentados, pode dar origem a uma investigação com base nas variações de valores digitais referentes às medidas radiométricas, nas bandas espectrais, em duas datas de aquisição, em um espaço conhecido.

Dessa forma, o problema da atualização de informações cartográficas a partir de imagens multiespectrais, caracteriza-se pela possibilidade de total aproveitamento dos recursos dos dados. Ou melhor, quando as atualizações são realizadas a partir de imagens de Sensoriamento Remoto de diferentes datas, com o auxílio do computador, há a

possibilidade de se explorarem, ao mesmo tempo, as resoluções espectral, temporal, espacial e radiométrica dos dados.

Fundamentado no contexto analisado, o presente trabalho pretende realizar uma atualização de informações espaciais a partir de **heurísticas formalizadas através de regras**, as quais buscam reproduzir o conhecimento de especialistas em interpretação de imagens multiespectrais. Assim, a tarefa aqui proposta é reunir, organizar e estruturar conhecimento de alto nível na forma de regras aplicáveis na identificação de alvos e fenômenos correspondentes às áreas alteradas. Portanto, vislumbra-se a possibilidade de desenvolvimento de um sistema de atualização de mapas que exija uma interação com especialistas humanos, na qual, a cada novo evento, os conhecimentos recolhidos serão armazenados pelo sistema. Assim, após um certo número de casos analisados, a necessidade de interrogar especialistas humanos será restrita aos casos ainda não observados.

A questão básica, que se coloca para a hipótese apresentada, refere-se às reais possibilidades de representar o conhecimento dos especialistas em interpretação de imagens, de maneira que a grande diversidade de informações processadas por tais intérpretes, também possa ser aproveitada nessa abordagem. Além disso, os especialistas em Sensoriamento Remoto são capazes de considerar e relacionar todos os indícios e aspectos das informações disponíveis, descartando aquelas consideradas irrelevantes ao entendimento de um determinado fenômeno. Tal competência também deve ser incorporada a um sistema inteligente para que possa realizar o processo de atualização com maior segurança.

Por outro lado, a sistemática de trabalho necessita de que o local a ser mapeado seja caracterizado fisicamente. Ou seja, as informações que descrevem o local de interesse devem ser fornecidas, pois são essenciais para realizar uma análise dos fenômenos de alteração da paisagem. A necessidade de caracterização do espaço territorial conduz a investigação a um experimento que permita avaliar as hipóteses ora apresentadas. Portanto,

a fim de viabilizar uma discussão baseada em observação empírica e, principalmente, uma avaliação, das hipóteses deste trabalho, decidiu-se realizar um estudo de caso que forneceu um parâmetro coerente para proposta de investigação.

A condição básica para a escolha do estudo de caso foi a possibilidade de definir um usuário e, por extensão a finalidade do mapa. Além disso, escolheu-se um caso cujo cenário de fenômenos de interesse é descrito com pouca dificuldade devido às suas condições bem conhecidas. O plano idealizado para realizar a investigação empírica, assim como a descrição geral do estudo de caso são apresentados na Parte II.

Além de tornar a investigação menos genérica, a proposta visa obter subsídios para a questão mais ampla, vale dizer que os resultados do estudo de caso forneçam indicadores para outras situações em que o processo de atualização da informação espacial também possa dispor de uma descrição detalhada da cena, isto é, da realidade de interesse ao mapeamento, incluindo as possibilidades de mudança através do tempo e do espaço territorial considerado. Enfim, que se consiga a atualização de um mapa cujo contexto espacial e temporal possa ser descrito e usado no processo.

Com esse objetivo, selecionou-se um reflorestamento de eucaliptos da Cia Suzano de Papel e Celulose, no município de Itararé - SP, cuja finalidade é produzir matéria prima para a transformação em papel e celulose. As entidades de interesse ao controle e gerenciamento dos recursos disponíveis foram definidas pelas necessidades de matéria prima. Dessa maneira, a realidade de interesse ao mapeamento foi facilmente modelada e relacionada com as atividades de manejo do reflorestamento, como também com o desenvolvimento fenológico da cultura, cujo ciclo, no caso deste tipo de produção, é conhecido, uma vez que é estabelecido em função de sua finalidade. O modelo representativo da realidade de interesse ao planejamento da produção envolve, portanto, informações a respeito do desenvolvimento da cultura, em cada talhão de reflorestamento,

as quais, especializadas no contexto das unidades de área da fazenda, em uma determinada data, constituem o mapa de suporte ao gerenciamento da produção escolhido como objeto de estudo deste trabalho. O detalhamento do estudo de caso está apresentado no capítulo 5.

Uma análise inicial e superficial pode conduzir ao pensamento de que a exigência de fidelidade das informações desse mapa não seja muito grande. No entanto, uma reflexão mais aprofundada das necessidades de informações mostra que a dinâmica característica do reflorestamento provoca o deterioramento da qualidade das informações em intervalos de tempo que podem variar de três meses a quatro anos, conforme o estágio fenológico do talhão. Portanto, o projeto cartográfico do mapa considerado deve prever sua atualização em intervalos de tempo compatíveis com as exigências de fidelidade das informações espaciais para o usuário, e com os meios adotados para executar o projeto de mapeamento. No estudo de caso da presente proposta, a principal fonte usada para obter as informações espaciais é a imagem TM - LANDSAT. Cobertura de nuvens que impede a coleta de dados da superfície terrestre pode comprometer a importância na aquisição de dados pelos sistemas sensores que atuam na faixa refletiva do espectro eletromagnético. A extração de informações a partir dos atributos espectrais e espaciais, bem como suas variações no decorrer do tempo, conduzem à necessidade de monitoramento em intervalos de tempo que sejam compatíveis com a dinâmica dos fenômenos de interesse ao mapeamento. A ponderação dessas questões indicou que atualizações anuais das informações respondem tanto às necessidades do usuário, como também às possibilidades de adquirir dados de Sensoriamento Remoto adequados à análise temporal.

Uma vez que a presente proposta prevê o uso do computador para realizar parte da tarefa de atualização das informações espaciais, com base em conhecimento de especialista em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto, então o mapa a ser atualizado é digital e deve ser criado de maneira que possa ser atualizado a partir de um

programa “inteligente”. No entanto, resta ainda conceituá-lo melhor por não se tratar de um mapa analógico, ou seja, por ser um mapa pelo seu papel no ponto de vista da Cartografia Analítica (cognição e análise), mas que não usa a sintática daqueles analógicos. Assim sendo, o procedimento adotado para fazer seu projeto cartográfico foi baseado nos conhecimentos oriundos tanto da Cartografia, quanto dos Sistemas de Informação, combinados com alguns dos procedimentos indicados para os projetos de sistemas especialistas. Nesse sentido, foi preciso buscar um conceito de mapa que se compatibilizasse à presente situação.

O capítulo 2 procura mostrar como tal conceito de mapa foi elaborado na Cartografia. Além disso, explicam-se as etapas do procedimento de criação desse documento, procurando-se, finalmente, esclarecer qual é o seu conceito adotado.

A definição do procedimento de criação do mapa e do protótipo do estudo de caso deste trabalho orientou-se pela necessidade de criar um programa com recursos próprios da Inteligência Artificial - IA que fosse implementado e testado com certa facilidade, ou seja que a linguagem de programação fosse adequada para programação simbólica e não procedural, a qual também que se adequasse à criação de protótipos facilmente modificáveis. Por essas razões, adotou-se a linguagem PROLOG que possui características adequadas para avaliar e testar protótipos de sistemas de Inteligência Artificial. A investigação sobre a aplicação de IA, em atualização de informações cartográficas, através da extração de informações de dados multiespectrais adquiridos por sistemas sensores orbitais, justifica-se tanto pelas limitações das abordagens convencionalmente adotadas para essas atualizações, como também pelo potencial já demonstrado pela IA em aplicações relacionadas à tarefa.

No capítulo 3, estão expostas as características básicas das duas abordagens mais convencionais, bem como o potencial da interpretação ou análise de imagens ou cenas

juntamente com um relato a respeito de Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas, os quais podem auxiliar no entendimento do assunto.

Entretanto, permanece a questão:

- como criar o mapa e seu sistema de atualização de acordo com a abordagem proposta?
- exigência fundamental: conhecer a ferramenta a ser usada para a tarefa, ou seja, o PROLOG.

Para tanto, o capítulo 4 inicia-se com uma rápida explicação das principais características da linguagem de programação PROLOG, descrevendo, inclusive, algumas características que facilitam a representação, tanto das informações espaciais, quanto do conhecimento de especialistas em Sensoriamento Remoto. O mesmo capítulo expõe uma técnica oriunda da área de Sistemas de Informação, a qual foi adotada para a representação do modelo lógico no projeto do mapa, além de duas estruturas básicas na representação de fenômenos e objetos da superfície da Terra nos mapas, uma contínua e outra discreta.

Fica evidente, portanto, que o mapa do estudo de caso foi criado a partir de regras e fatos, ou seja de predicados da linguagem PROLOG, com a adoção da representação discreta das informações espaciais de interesse em decorrência da adequação ao processo de atualização proposto, cuja fonte de dados também é adquirida na forma discreta. A formalização dos fatos representantes das informações espaciais, os dados da fonte para atualização e os auxiliares são apresentados no início do primeiro experimento, que é relatado no capítulo 6.

O capítulo 4 discute o conteúdo do banco de conhecimento do sistema de atualização cartográfica analisado neste trabalho, os procedimentos adotados na sua

elaboração, para encerrar com uma apresentação geral do material formulado ao longo do estudo.

Assim como no caso do mapa, o protótipo de sistema de atualização também foi criado com regras e fatos do PROLOG, porque possui um banco de conhecimento formado por uma parte adquirida de um especialista em Sensoriamento Remoto e outra sobre a cena ou imagem usada como fonte de atualização associada àquele conhecimento específico dos fenômenos de interesse ao mapeamento. O acervo foi representado através do relacionamento dos fenômenos físicos que ocorrem na realidade de interesse, com suas possíveis formas de manifestação no conjunto de imagens de Sensoriamento Remoto, com ênfase no seu comportamento espectral através do tempo. Todo referencial está apresentado no capítulo 5, enquanto os experimentos são relatados nos capítulos 6, 7 e 8.

Portanto, os capítulos 2, 3 e 4 integram a Parte I do trabalho, cujo conteúdo refere-se a fundamentação teórica e os capítulos 5, 6, 7 e 8 tratam do estudo de caso constituindo, assim, a Parte II.

Três experimentos foram realizados com o objetivo de testar e avaliar a hipótese da investigação.

No primeiro, foi simulada uma situação conveniente para testar o conhecimento necessário para eliminar os dados indesejáveis ao processo de extração de informações, isto é, ruídos, transição entre unidades de área ou carreadores, codificado em PROLOG.

O segundo, foi realizado em uma nova situação simulada cujo objetivo era testar novamente o banco de conhecimento implementado para o experimento anterior e servir como base para formalizar o conhecimento necessário para a atualização das informações espaciais.

Finalmente, o terceiro e último foi realizado a partir das informações espaciais, dos dados multiespectrais, com os dados auxiliares de uma área de estudo selecionada da

fazenda da Cia Suzano de Papel Celulose, localizada em Itararé - SP. O último e decisivo experimento foi montado para avaliar o protótipo em uma situação real. Sua apresentação mais detalhada é, primeiramente, descrita para, em seguida, apresentarem-se os resultados da aplicação do protótipo resultante da implementação realizada através das simulações dos experimentos anteriores. Verificou-se, em conseqüência, que o banco de conhecimento criado necessitava dos aprimoramentos relatados no item 8.3. Os resultados da aplicação da versão final do protótipo estão apresentados no item 8.4.

O esforço empreendido para realizar os experimentos fornecem resultados promissores ao processo de atualização de informações cartográficas. No entanto, a realização desses experimentos foi dificultada pela escassez de recursos materiais dos laboratórios utilizados.

O plano inicial do presente trabalho previa o uso de estações de trabalho (*workstations*) com *softwares* para Sistemas de Informações Geográficas associados a aplicativos de Processamento Digital de Imagens que oferecessem condições de serem ligados a um sistema especialista criado a partir de linguagem PROLOG.

Entretanto, a expectativa tornou-se inviável a partir da limitação de se realizarem os experimentos na FCT/UNESP.

Acrescente-se a dificuldade de se encontrar um ambiente que fosse comercialmente disponível ou mesmo localizado em instituições de pesquisa, que correspondessem às necessidades da abordagem.

Assim, no início do trabalho, não se contava nem mesmo com sistemas de visualização das imagens de Sensoriamento Remoto.

Tal dificuldade só foi vencida a partir da implementação de rotinas de Processamento Digital de Imagens nas estações PROCEDA que estavam disponíveis no laboratório utilizado.

Por outro lado, um compilador da linguagem PROLOG tornou-se acessível por empréstimo, mas não havia um computador com capacidade para executar os programas e realizar os experimentos. Foi somente a partir da aquisição de um computador 486 DX-50 que se tornou possível realizar os primeiros experimentos. Aqueles baseados em dados reais foram executados em um computador com processador PENTIUM 60 adquirido mais recentemente. Apesar das dificuldades encontradas, criou-se um protótipo a partir dos recursos disponíveis, de forma que a abordagem proposta foi avaliada através de um estudo de caso.

No desenvolvimento dos capítulos 5 e 6, demonstrou-se como foi criado o protótipo, quais os testes desenvolvidos para avaliar, tanto a base de dados espaciais e não espaciais, como o banco de conhecimento do protótipo de sistema de atualização.

Parte I

Referências teóricas

O MAPA: na busca de um conceito adequado à investigação proposta

2.1. Introdução

O mapa tem funcionado, através da história da humanidade, como o meio pelo qual o homem representa informações espaciais registrando, comunicando e armazenando o conhecimento dos objetos e fenômenos da superfície, assim como de suas relações espaciais. Nessa direção, o mapa deve fornecer as informações para processos de aquisição de conhecimento da realidade.

Entretanto, através do uso dos microchips, a microeletrônica determinou uma revolução em todas as áreas do conhecimento. Na área das comunicações, desenvolveu-se um grande aumento tanto no volume, quanto na rapidez da coleta e transmissão de informações. Ou seja, vive-se hoje em um mundo onde se dispõe de recursos tecnológicos destinados ao tratamento, armazenamento e transmissão de conhecimento.

A Cartografia, pelo papel relevante que desempenha nos processos de transmissão de conhecimento, também sofreu mudanças decorrentes da introdução dessa tecnologia. Tal determinante tem provocado profundas alterações nos processos relacionados com a aquisição, atualização, tratamento e representação. As conseqüências dessa revolução não afetam somente os processos, mas também os produtos gerados. Assim, modificações significativas têm também ocorrido em aspectos globais da Cartografia as quais, além de provocar muitas discussões teóricas sobre novos conceitos do mapa, levantam desafios para uma utilização criteriosa e adequada aos objetivos dos usuários.

Na coleta de dados, a introdução da eletrônica e, especificamente da informática, tem levado a uma crescente utilização de sistemas de imageamento eletro-ópticos, bem como de microondas, tanto em plataformas orbitais, como em aeronaves, o que tem possibilitado a obtenção de um volume cada dia maior de dados da superfície. Por outro lado, os sistemas baseados em computador também ocupam posição de destaque no tratamento e análise desses dados, pois, além de possibilitarem seu uso no formato obtido pelas fontes, os custos de operação e de aquisição dos dados pelos equipamentos mais decrescem na atualidade. Assim, instrumentos e ferramentas alternativas, baseados em plataformas computacionais também estão sendo muito usados, tanto na extração de informações de dados brutos, como na sua representação.

Mas é a crescente utilização dos Sistemas de Informações Geográficas, com sua característica multidisciplinar que tem motivado muitos pesquisadores a realizar reflexões a respeito do mapa dentro desse contexto. As modificações nos meios de produzir mapas convencionais e mapas destinados aos sistemas de suporte à decisão, assim como as alterações das características dos próprios mapas introduzidas pela informática são discutidas em um grande número de trabalhos, entre os quais se destacam: Petchenik (1977); Visvalingam (1989); Molenaar (1991); Oosterom e Bos (1989); Vasiliev, et. al. (1990); Nyerges (1991); Cassettari et. al. (1992); Worboys (1990). A preocupação desses pesquisadores, bem como da grande maioria da comunidade cartográfica, está relacionada a um melhor entendimento da própria Cartografia nos dias de hoje, e conseqüentemente, aos processos envolvidos na concepção de mapas para incorporar as modificações introduzidas pela tecnologia de maneira a realizar um aproveitamento adequado dessas mudanças.

A partir dessas considerações coloca-se a indagação:

qual é o mapa adequado para a abordagem de atualização proposta?

Para responder a essa indagação recuperam-se alguns dos mais importantes modelos de Cartografia, iniciando por aqueles enquadrados na Teoria da Informação da Matemática, passando pela preocupação de Bertin na definição de uma linguagem cartográfica, chegando à visão da Cartografia no contexto da cognição.

A partir das concepções do mapa e, principalmente, da evolução do pensamento cartográfico, realizam-se algumas discussões sobre o mapa digital e sobre seu papel em sistemas de apoio à decisão. Essa abordagem pretende aproveitar uma parte da fundamentação teórica existente para mostrar qual é o mapa necessário a atualização de informações espaciais ora investigada. Além disso, parte desse conhecimento balizou o projeto cartográfico proposto, através de conceitos adaptados à realidade do mapa digital.

2.2. Comunicação Cartográfica

Os conceitos oriundos da Teoria Matemática da Informação fornecem dados importantes para se compreender a evolução do conceito de mapa. Apesar de tratar-se de uma teoria muito difundida e discutida pela comunidade cartográfica é importante lembrar a proposição de Kolacny que explica o processo de Comunicação Cartográfica, baseada na Teoria Matemática da Informação, de forma mais completa, ao inserir o usuário do mapa no processo de comunicação e, além disso, por tratar-se de um referencial teórico da Cartografia a partir do qual surgiram novas teorias.

De acordo com sua proposição, a informação cartográfica representa o registro e a comunicação por meio dos mapas, o *"conteúdo intrínseco, significado e sentido da descrição cartográfica da realidade... sua criação e comunicação são um processo muito*

complexo de atividades e operações com circuitos de retroalimentação em vários níveis" (1977). Portanto, tanto a criação, como a utilização desses dados cartográficos devem ser partes integrantes do processo da gênese de tais informações.

O mesmo pesquisador sugere, a partir de suas observações, que a criação e o uso do mapa fazem parte de um único processo. Como decorrência, propõe que se deve procurar aprimorar os métodos de sua utilização, ao mesmo tempo, que apresenta um diagrama representando o processo de comunicação cartográfica (fig. 2.1).

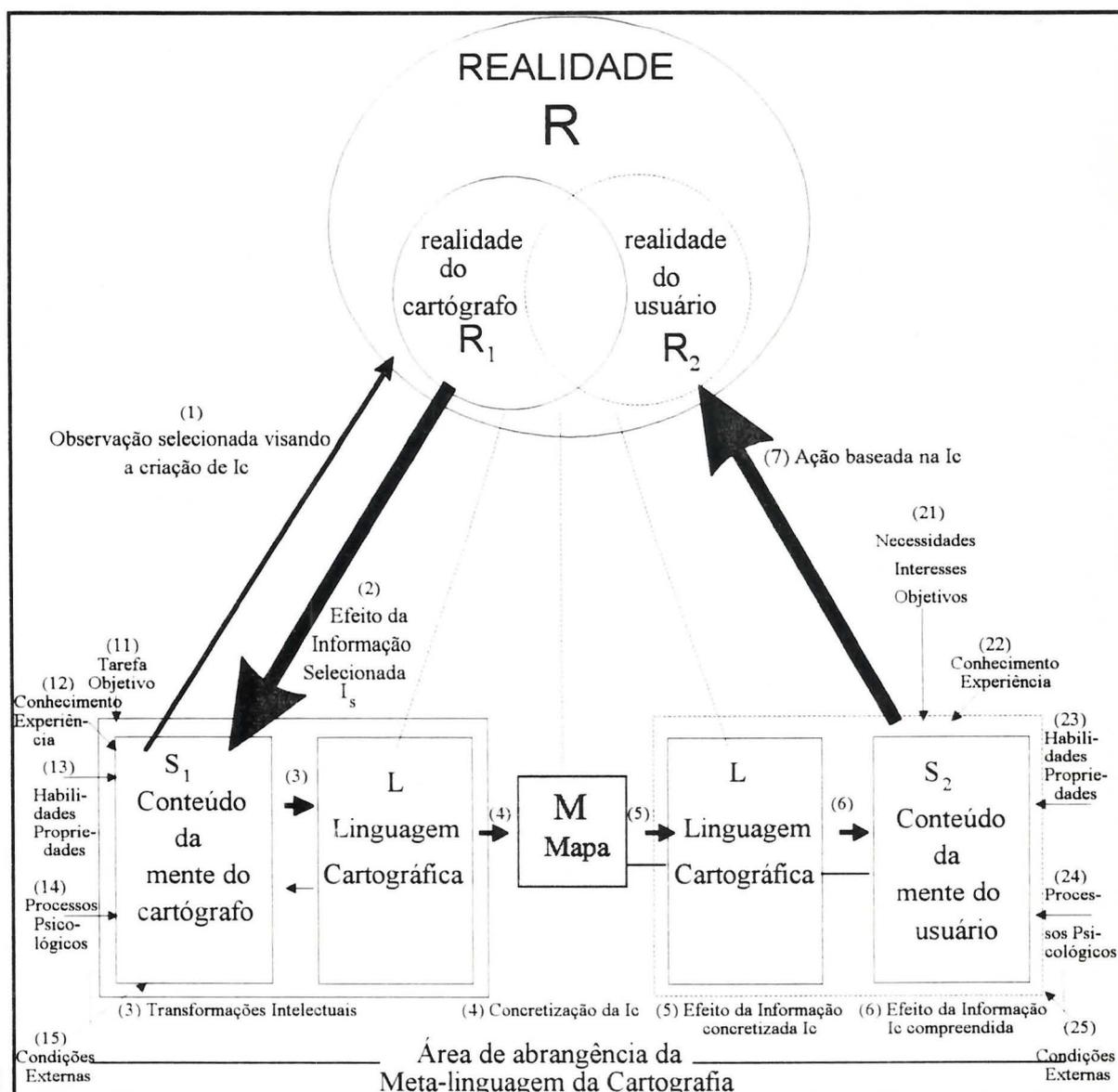


Figura 2.1: Comunicação da Informação Cartográfica Ic fonte: KOLACNY, A. (1977) in: SIMIELLI, M. E. R. O Mapa como meio de comunicação. Tese de doutorado. FFLCH/USP - Cidade Universitária, SP. 1986.

O diagrama prevê uma discrepância e uma sobreposição entre a realidade do cartógrafo e do usuário de mapa, além de apresentar os estágios através dos quais, acredita, a informação cartográfica é comunicada. A importância da ligação entre criação e uso do mapa através da informação cartográfica no projeto cartográfico é enfatizada da seguinte maneira:

"Exige-se que um produto moderno da Cartografia apresente informações objetivas a respeito da realidade concebida em relações espaciais, de maneira verdadeira e eficaz. Espera-se que o mapa conte muito mais sobre a realidade do que pode ser percebido através dos sentidos. O sucesso do cartógrafo em relação a esse aspecto depende de sua capacidade de obter as informações iniciais mais completas sobre a realidade e de generalizá-la e transformá-la em sua imagem cartográfica - em informação cartográfica. ... Além disso, exige-se que o cartógrafo assegure a maior eficiência possível no trabalho do usuário com o mapa. O mapa deve satisfazer as necessidades e interesses do usuário ... Se o cartógrafo tem de atender a esses requisitos, ele deve investigar e estudar cuidadosamente as condições internas e externas daqueles que deverão usar a sua criação. ... pois, o produto cartográfico não pode atingir seu efeito máximo se o cartógrafo considerar a produção e o consumo de mapa dois processos diferentes. Esse efeito máximo só pode ser obtido se a criação e a utilização forem considerados dois componentes de um processo coerente (e, em certo sentido, indivisível) no qual as informações cartográficas originadas, são comunicadas e produzem um efeito", Kolacny (1977)

Portanto, Kolacny (1977) estabelece algumas premissas muito importantes nos processos de comunicação cartográfica. A partir do Diagrama de Kolacny, derivaram-se muitas outras propostas de explicação desses processos. De acordo com essa ótica, foram

propostas várias teorias que procuram fornecer uma visão geral sobre o mapa dentro de processos de comunicação cartográfica. Apesar de suas diferenças, todas procuram estabelecer conexão entre a criação do mapa e sua utilização, segundo a teoria da informação.

Outras concepções de Cartografia como processos de comunicação, com base na Teoria da Informação são apresentadas em Morrison^{2.1.} (1974) apud Salichtchev (1978), Ratajski^{2.2.} (1972, 1973, 1978) apud Board (1981) e caracterizam-se pela preocupação relacionada com as perdas de informações nesse processo de comunicação.

Bertin^{2.3.} (1967) apud Board (1981) apresenta a proposta do paradigma da "Semiologia Gráfica", na qual enfatiza a representação gráfica como parte da Semiologia (ciência do sistema de signos), e assim compõe uma linguagem gráfica destinada à vista. Segundo seu paradigma, a linguagem é universal e necessita de apenas um instante de percepção para estabelecer comunicação. Para tanto, coloca a necessidade de "aprender a ver", de maneira que a partir das propriedades da linguagem gráfica se possa obter instantaneamente a informação neles contida. Nessa visão, mapas e diagramas ao serem representados adequadamente estarão utilizando uma representação "monossêmica", em contraposição às imagens, por exemplo de fotografias ou mesmo obras de artistas plásticos, que estabelecem comunicação "polissêmica", dando margem a diversas leituras. As orientações da "Semiologia Gráfica" conduzem ao mapa para ver e não para ler o que, segundo Bertin (1967) apud Board (1981), obriga o usuário a perscrutar os elementos do mapa, um a um, até formar mentalmente a imagem do conjunto. Sua versão monossêmica explora relações entre dados, para conjuntos com duas ou mais áreas, representando-as com

2.1. MORRISON, JOEL L. Changing Philosophical - Technical Aspects of Thematic Cartography. The American Cartographer, v. I, p. 5-14, 1974.

2.2. RATAJSKI, L. Cartology. Geographia Polonica, v. 21, 1972.

2.3. BERTIN, J. Sémiologie graphique. Paris, The Hague: Gauthier-Villars - Mouton, 1967.

variáveis visuais comparáveis entre si; sendo três os tipos de relações por ele identificadas (quadro 2.1):

Quadro 2.1: Relações entre variáveis gráficas na comunicação monossêmica

BERTIN (fase inicial)		BERTIN (fase final)	
nível	qualitativo	a semelhança	similaridade
nível	de ordem	a ordem	ordem
nível	quantitativo	a proporcionalidade	proporcionalidade

fonte: BOARD, C. - 1981

A superação da visão matemática da comunicação cartográfica ocorreu através da contribuição de diversos pesquisadores. Uma delas pode ser atribuída a Robinson e Petchenik que, investigando essas questões realizam uma análise crítica do enquadramento da comunicação cartográfica na teoria matemática da informação, principalmente nas analogias com os esquemas utilizados pelos técnicos em telecomunicações:

*"Primeiramente, fazem um relato detalhado sobre por que a teoria da informação (como um meio de medir eficiência da transmissão da informação) é uma analogia falsa como uma explicação da comunicação através de mapas. Concluem seguramente que **"Por ser a comunicação de informação em um mapa de maneira alguma semelhante à de uma mensagem seqüencial codificada formada por sinais, a medição do conteúdo de informação de um mapa e da quantia transmitida por um cartógrafo para um perceptor de mapa não pode ser efetivamente obtida com as técnicas da teoria da informação"** (Robinson and Petchenik, 1975). Em segundo lugar, distinguem entre leitores, usuários e os percipientes de mapas. Embora essas definições sejam ou não aceitas, enfatizam a diferença de níveis das operações de uso de mapa. E em terceiro lugar, desenvolvem um modelo diferente de comunicação cartográfica" (Keates, 1982)*

No modelo de Robinson e Petchenik^{2.4.} (1976) apud Keates (1982), há uma área que representa "...um aumento no entendimento espacial do percipiente que pode ocorrer por causa de sua visão do mapa, mas que não foi nem pretendido, nem simbolizado de modo algum pelo cartógrafo", o que demonstra uma interpretação realizada pelo usuário do mapa, que através das afirmações do mapa obtém outras informações, analisando-as e associando-as ao seu próprio conhecimento da realidade. Ocorrendo esse fato, o processo não se enquadra em uma concepção da Teoria da Informação, na qual mensagens são transmitidas a um receptor, pois a resposta depende do usuário. Assim, não é possível ser prevista ou pretendida anteriormente na criação do mapa (Keates, 1982).

Para Morrison^{2.5.} (1976) "dados básicos" representam o fato de que a linguagem cartográfica utilizada deve ser conhecida pelo usuário, e que os domínios cognitivos deste e do cartógrafo possuem informações em comum, permitindo assim uma comunicação cartográfica. Ao contrário, se o usuário não souber a linguagem cartográfica ou seja, se os dados assumidos como sendo "básicos" pelo cartógrafo não estiverem presentes no mapa, ou se ele não incluir um número suficiente deles, a comunicação resultante será ineficiente. Entretanto, ao se considerar a utilização de um mapa de um terreno completamente estranho ao usuário, quaisquer que sejam os "dados básicos" incluídos pelo cartógrafo, pode não existir nenhum elemento comum no que se refere a conhecimento geográfico. Mesmo assim o usuário pode utilizar o mapa, à medida que entenda a estrutura de localização do mapa e o sistema de signos que a indicam (Keates, 1982).

Para demonstrar falhas na concepção baseada na Teoria da Informação, Morrison levanta que "o cartógrafo não tem controle sobre a indução", que a interpretação ocorre no

2.4. ROBINSON, A. H. and PETCHENIK, B. B. The Nature of Maps: Essays toward Understanding Maps and Mapping. Chicago, 1976.

2.5. MORRISON, J. The Science of Cartography and its Essential Processes. International Yearbook of Cartography, v. 16, p. 84-97, 1976.

domínio cognitivo do leitor de mapas; dado não considerado na idéia de mensagens sendo enviadas a um receptor (Keates, 1982).

Discutindo o dilema relacionado aos modelos de comunicação cartográfica que se baseiam na teoria da informação, Keates (1982) coloca:

"Por um lado, Morrison (1976) afirma que "... Permanece como uma questão aberta a de quanto as ações resultantes da leitura de mapa são parte da preocupação do cartógrafo". Mas, em um parágrafo posterior conclui que, "... a leitura do mapa e os processos mentais envolvidos na interpretação de mapas são todas preocupações legitimamente cartográficas". Em todas as tentativas de criar modelos para a Cartografia sobre uma teoria simplista da comunicação, onde o input iguala-se ao output, a interpretação permanece um dilema".

O questionamento das limitações do conceito de comunicação cartográfica enquadrada na Teoria da Informação conduziu à formulação de conceitos que rompessem tais limites. Board (1981) na trilha dos modelos teóricos para Cartografia, procura também recuperar as contribuições de Morrison para a reflexão sobre a real adequação do processo de comunicação cartográfica à cognição:

"a ciência cartográfica está ligada à realidade através das consciências cognitivas do cartógrafo e do leitor de mapa. Três divisões são reconhecidas: a generalização do mapa; o próprio mapa, o canal comunicativo ou linguagem cartográfica; e a interpretação do mapa".

No entanto, a terminologia usada pelos diversos autores na conceituação da Cartografia não é uniforme, conforme Board (1981). Esta afirmação, segundo ele, pode ser comprovada ao se verificar que Morrison utiliza o termo leitor de mapa para a pessoa que utiliza o mapa, e simultaneamente leitura de mapa para o processo de detectar, discriminar,

reconhecer (ou conhecer) e estimar o mapa. Robinson e Petchenik limitam o termo leitura de mapas a ações tais como a identificação do nome de uma cidade ou o cálculo da altura de uma montanha. Entretanto, Board estende leitura de mapas a todos os tipos possíveis de usos do mapa. Por sua vez, Morrison recupera sua visão do termo leitor de mapas, definindo a leitura de mapas como sendo:

"todos os processos começando pela identificação de marcas, excluindo porém a visualização de padrões significativos ou a simples comparação da informação recebida do mapa com aquela já possuída pelo leitor de mapa. Leitura de mapa excluiria também a visualização de traços de contorno como uma paisagem tridimensional ... Por outro lado, o reconhecimento entre formas de relevo individuais e traços de contorno poderia ser encarado como leitura de mapas. Esta é uma forma de decodificar onde formas familiares e combinações de formas são repetidamente reconhecidas, como quando se lêem palavras em uma língua estrangeira sem saber o que elas significam"
(Board, 1981).

As preocupações de Board (1981) em torno dessas definições, assim como sua análise de alguns modelos revelam o papel fundamental do usuário de mapas, ao mesmo tempo que se referem às dificuldades de entendimento de mapas como decorrentes da *"redução à escala, a perda da terceira dimensão, o artifício humano de criação de convenções"*. Porém, o especialista argumenta que *"nenhum mapa pode representar perfeitamente a realidade, mas não o fazendo é mais útil ainda."* pois *"A única representação perfeitamente fiel seria uma cópia idêntica da própria realidade"*.

Considerando as tentativas estruturadas do homem para comunicar algo da natureza do mundo real, Board (1975) propõe uma visão de mapas como modelos icônicos, ou representativo-conceituais:

"É relativamente fácil visualizar os mapas como modelos representativos do mundo real, mas é importante compreender que são também modelos conceituais que contêm a essência de generalizações da realidade. Nessa perspectiva, mapas são instrumentos analíticos úteis que ajudam os investigadores a verem o mundo real sob uma nova luz ou até a proporcionar-lhes uma visão inteiramente nova da realidade". Board (1975)

E, para permitir uma melhor compreensão de sua concepção, apresenta o CICLO DO MODELO-MAPA dividindo o processo de comunicação cartográfica em duas fases principais. Na primeira, o conjunto de atividades destina-se a concentrar o mundo real na forma de um modelo; na segunda, as atividades previstas têm a função de conduzir os testes do modelo em relação à realidade, ou seja confrontando aquele a este. Observa-se que muitos testes podem levar a projetos e construções de novos mapas, pois o cartógrafo passa a ter nova visão da realidade após a segunda fase.

Ocorrem semelhanças notáveis entre o ciclo do modelo-mapa e o diagrama de Kolacny, porque a construção e a utilização do mapa são colocadas no mesmo grau de importância no processo. Board (1975), nos testes realizados sobre o mapa, afirma: "*(o mapa) é modelo do que ele retrata, ele é dissecado tanto como a paisagem ou ambiente real. Após essa investigação, alguns dos resultados podem ser apresentados sob forma de mapa, entrando assim na outra fase do ciclo*".

Contrapondo-se à visão da comunicação cartográfica como parte da teoria da informação, Salichtchev (1978) reconhece que, em termos de "*... objetividade e localização, mapas são indispensáveis para o armazenamento e transmissão de informações sobre a distribuição de feições, fenômenos, e processos assim como suas condições, relações espaciais e dinâmica*". Acrescenta que, através dos mapas, essas informações são

disseminadas e transmitidas para a posteridade. Para o mesmo pesquisador, muitos mapas podem incluir os resultados iniciais de levantamentos de dados e da pesquisa original, ou resultados derivados de mapas os quais fornecem meios efetivos de aquisição de novas informações aos investigadores. Assim, apesar da Cartografia também relacionar-se com os estudos de informação no que se refere ao processo de comunicação, é inadequada sua inserção como parte desses estudos, ou seja, seu enquadramento na Teoria Matemática de Informação. Argumentando que tal abordagem reduz as tarefas da Cartografia ao controle da perda de informações das comunicações cartográficas e exclui a preocupação com a expansão de informação. Em oposição a essa visão, propõe uma abordagem da Cartografia como uma ciência da cognição.

Outros trabalhos também refletem semelhante mudança na concepção da Cartografia. Ratajski^{2.6.} (1976) apud Salichtchev(1978) coloca-a na categoria da teoria do conhecimento; Morrison^{2.7.} (1976) apud Salichtchev (1978) inclui a interpretação e a análise da informação derivadas de mapas no processo de comunicação.

O conceito de mapa que melhor se ajusta àquele adotado na abordagem de atualização de informações espaciais do presente trabalho é o proposto por Board (1975) que enquadra-o como modelo da realidade. Na proposição, o uso do mapa como uma ferramenta de análise da realidade permite a aquisição de conhecimento através do estabelecimento de relações entre o conteúdo do documento e o da mente do usuário. Para o caso da presente investigação, a base de dados espaciais e não espaciais é utilizado em uma avaliação analítica que visa a atualização das informações espaciais disponíveis através do estabelecimento de relações entre o conteúdo informacional dessa base e o do banco de conhecimento do sistema de atualização. Tanto o mapa da proposição do pesquisador

^{2.6.} RATAJSKI, L. Cartology, its Developed Concept. Polish Cartography, Warsaw, p. 7-9, 1976.

^{2.7.} MORRISON, J. The Science of Cartography and its Essential Processes. International Yearbook of Cartography, v. 16, p. 84-97, 1976.

quanto a base de dados desta proposta assumem o papel de modelo da realidade, mostrando ser este o conceito mais adequado de um mapa digital destinado ao uso analítico.

No entanto, pode-se levantar a questão: por que utilizar um mapa como modelo da realidade e deixar de investigar a própria realidade ?

Procurando responder a questão, Board (1975) coloca que os mapas, apesar de possuírem restrições intrínsecas às suas características, podem ser considerados instrumentos úteis para a pesquisa. Empregando-os em avaliações da realidade, apesar de suas limitações, o investigador está testando-os em relação à realidade, apresentando alguns que podem ser gerados a partir da aplicação de técnicas analíticas, os quais podem ser úteis através da interpretação e comparação com a própria realidade. Segundo essa argumentação, a utilização realizada de forma analítica sustenta o enquadramento do mapa como modelo da realidade, ao mesmo tempo que conduz à aquisição de novos conhecimentos, endossando o esquema proposto por Salichtchev (1978) o qual prevê a possibilidade de haver uma ampliação do conhecimento sobre a realidade (fig. 2.2).

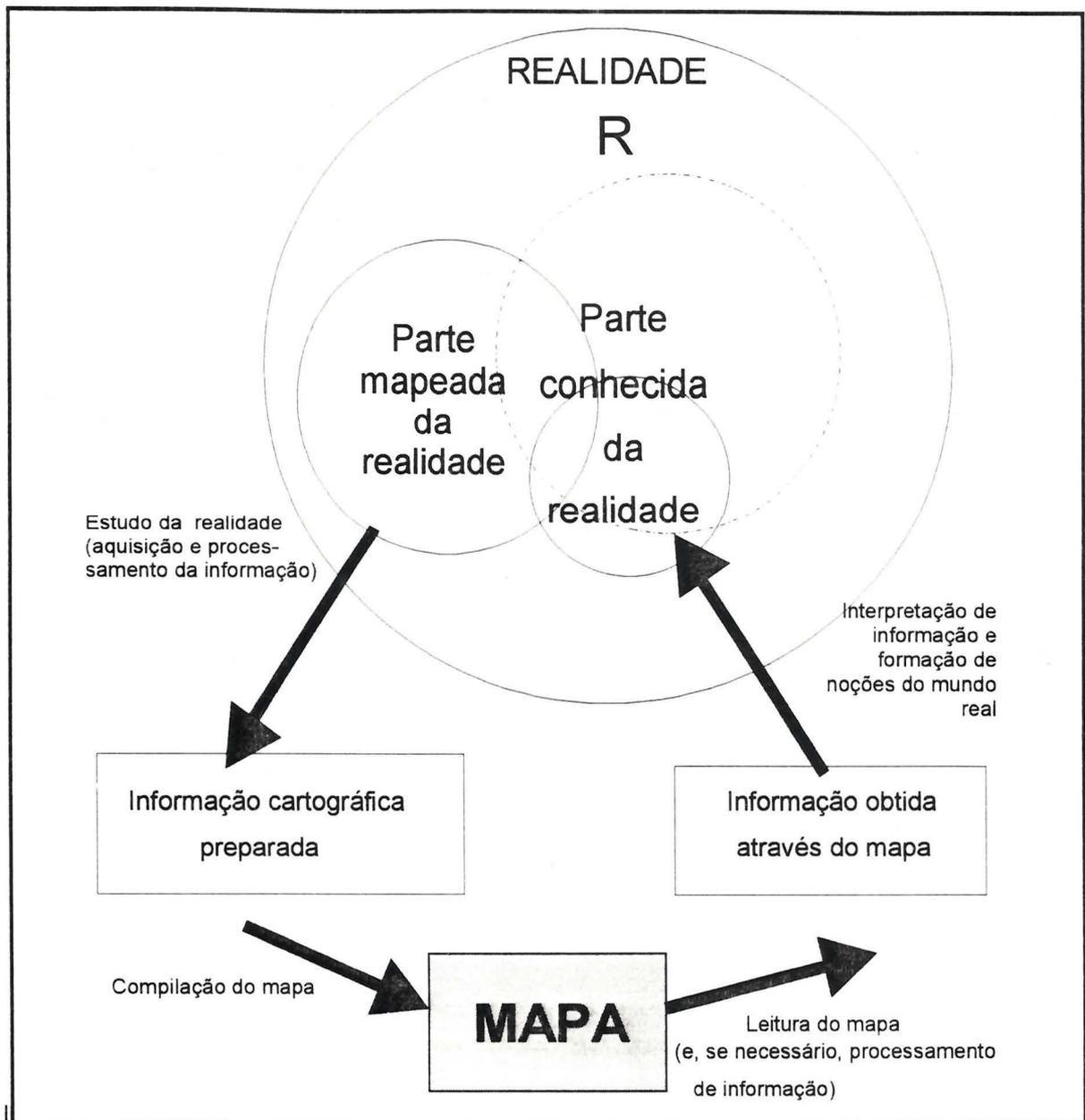


Figura 2.2: Mapeamento como processo de comunicação.
fonte: SALICHTCHEV, K. A. (1978).

adaptação: IMAI, N. N.

Salichtchev (1978) procura discutir uma fusão dos conceitos de modelamento, de semiótica e de Teoria Matemática da Informação argumentando que são qualitativamente distintos, com significados próprios que não se opõem, ou que possam substituir um ao outro. Mas, a totalidade dos processos constituem a comunicação científica. Nesse sentido, explica que:

"... modelamento, semiótica e teoria da informação, os quais possuem características relativamente particulares, não se substituem em suas aplicações na Cartografia, mas convenientemente complementam-se uns aos outros. Modelamento - um método cognitivo e uma forma de reflexão sobre a realidade - é a essência de mapeamento como construção de modelos gráfico-simbólico espaciais do mundo real. Semiótica investiga as características de símbolos e de sistemas de símbolos ou, em sua aplicação na Cartografia, símbolos de mapas gráficos e os sistemas desses símbolos. Teoria da informação estuda e desenvolve processos para armazenamento, transformação e transmissão de informação. ...a Cartografia não deve dar preferência a algum desses conceitos, mas deve aproveitar prudentemente de cada ramo de ciência. Ou seja, a partir da posição do processo de comunicação como constituinte da teoria da informação, e incluindo todos os quatro estágios do mapeamento: (1) a aquisição e processamento de informação como um resultado da percepção, pelo cartógrafo, de fragmentos da realidade de seu interesse; (2) a compilação de mapas como um portador de informação; (3) a percepção (leitura) do mapa pelo leitor (se necessário, com processamento adicional de informação, p. ex., por meio de cartometria); e então (4) a interpretação da informação obtida pelo leitor para a formação de suas próprias idéias do mundo real" (figura 2.2).

O mesmo autor examina os estágios do esquema para comunicação cartográfica, considerando que a contribuição da semiótica no segundo e terceiro estágios melhoram a codificação e decodificação. Sob a óptica do mapa como modelo da realidade percebe-se a possibilidade de haver aumento de informação no processo de criar e usar mapas. Aponta também um erro nas questões de perda e ganho de informações quando são tratadas principalmente sob o ponto de vista da teoria da informação, sem atentar para a essência do

modelamento. Este é um dos conceitos mais completos na Cartografia, pois pode ser aplicado para os mais diversos casos, sendo aproveitado para a conceituação do mapa da abordagem de atualização da presente proposta.

Board (1975) apresenta um relato detalhado da "construção do modelo", quando discute a escolha dos dados, transformações de escala, generalização cartográfica, intervalos de classes, ruído, entre outros tópicos relacionados à fase de criação do mapa, concluindo que *"apenas uma parcela das informações do mundo real eventualmente encontra seu caminho até o leitor, através de um mapa ou de um modelo representativo do mundo real"*. Procura mostrar que em uma construção de mapa adequadamente posta em prática, algumas informações, ou detalhes devem ser descartados para que o produto resultante cumpra seus objetivos no processo de comunicação cartográfica. Discorrendo sobre a questão da fidelidade coloca que é *"saudável lembrar que Gombrich^{2.8}. (1962) salientou que o mundo real é tão complexo, tão rico de detalhes, que nenhum quadro pode retratá-lo completamente"*. Acrescenta que o mapa útil é produzido em um longo processo de esboços e correções, sendo possível realizar um modelo sob qualquer grau de precisão exigido. Ou seja, a construção do modelo deve ser balizada pela sua finalidade. Desta forma, acrescenta que

*"Uma vez conscientes de que a precisão de um mapa é uma exigência e a maneira pela qual ele repete a realidade é outra, existem possibilidades de afirmações gerais sobre todos os mapas em relação ao mundo real. Quanto menos um mapa se parece com o mundo real, mais abstrato é, mais se torna um modelo desse mundo real. Na verdade, é perfeitamente fácil conceber uma escala de fidelidade entre o mapa de uma **milha por milha** e a seta de direção das estradas, que além de ser extremamente abstrata é imprecisa em termos de ângulos, distância e área, mas (geralmente) atualizada. Até*

2.8. GOMBRICH, E. H. J. Art and Illusion. London, 1962, 388p.

certo ponto, a propriedade da escala também concorda com a fidelidade, pois quanto menor a escala, menos fiel pode ser um mapa à realidade. No entanto, a variação bastante óbvia que existe em mapas da mesma escala indica que, embora a escala possa fixar limites amplos à fidelidade do mapa, no detalhe, outras propriedades podem ser mais importantes. ...As propriedades espaciais que fundamentam todas as outras são distância, orientação e área. Qualquer mapa pode afastar-se da realidade em todas, em algumas ou em uma dessas características. A seletividade ou grau de integralidade com que representa a realidade é superposta sobre essas qualidades escalares básicas, mas é dependente delas. O tempo fornece um quarto fator que afeta o conteúdo de informação de um mapa. Naturalmente, quanto maior o lapso de tempo entre o levantamento e a publicação, menos provável se torna que o mapa seja fiel à realidade".

Em relação ao mapa como produto final, Board (1975), afirma que esse fornece nova visão da realidade que, embora subjetiva, dá ao leitor *"uma visão da realidade que não é perceptível para o homem localizado na superfície"*. O que é possível por se comprimir e codificar a realidade em um documento compreensível, usado tanto para informar o leitor, como instrumento de análise a respeito da realidade. Nesse sentido, lembra que ele não é infalível, mas, *"pode ser usado com segurança para previsão e para interpretação, se suas propriedades forem conhecidas e compreendidas"*.

A percepção do mapa pelo leitor comparece no terceiro estágio do processo de comunicação cartográfica de Salichtchev (1978), conforme ilustrado na figura 2.2. Nesse estágio, percebe-se que nem sempre toda informação contida é utilizada. O estudioso apresenta duas razões que explicam tal fato: insuficiência no treinamento cartográfico do leitor, e a seleção da informação útil à finalidade do usuário (p. ex. no uso de produtos do mapeamento sistemático). Então, há perda de informação somente no primeiro caso, pois

no segundo foi utilizado o recurso de selecionar o que era de interesse. Complementando, ele lembra *"os processos de extração de informações por meios (cartometria, análises estatísticas / matemáticas, etc.) usados nos métodos de pesquisa cartográficos podem gerar essencialmente novas informações sobre os fenômenos que estão sendo estudados"*.

Refletindo sobre utilização de mapas, Board (1975) discute alguns aspectos do teste do modelo discorrendo a respeito da importância dos *"mapas isarítmicos na generalização dos padrões espaciais"*, assim como do *"mapeamento da superfície de tendência"* juntamente à sua análise. Note-se a ênfase dada à utilização, através de processos analíticos, de informações que não são explicitadas de maneira direta no trabalho original.

Finalmente, o quarto estágio do mapeamento apresentado por Salichtchev (1978) refere-se à interpretação da informação obtida do mapa, ou seja à

"formação e expansão de idéias, do leitor sobre a realidade mapeada, pela combinação com suas experiências e conhecimentos anteriores. Mas experiência e conhecimento variam de pessoa para pessoa. Este fator subjetivo explica a possibilidade de variação na profundidade e correção da interpretação da realidade (mostrado na figura 2.2 como dois círculos tracejados de diferentes tamanhos e não-concêntricos). Evidentemente o quarto estágio está fora dos limites da Teoria Matemática da Informação."

Na aplicação analítica do mapa, em sua abordagem como modelo da realidade, é que ocorre sua utilização enquanto um instrumento para investigação de problemas e apresentação dos resultados. Nesse sentido, *"reconhecendo os mapas como modelos do mundo real e empregando-os como modelos conceituais, a fim de compreendê-lo melhor, está garantida sua importância central na metodologia geográfica"*, Board (1975).

A atualização de informações espaciais através de um processo de extração de imagens de Sensoriamento Remoto por computador exige que se disponha de uma descrição da cena que auxilie o processo. Tal descrição deve estar disponível para uma análise que envolva tanto aquelas a serem atualizadas quanto as imagens de Sensoriamento Remoto. Portanto, as informações espaciais e não espaciais de interesse ao usuário ou ao processo de atualização devem constituir um mapa que seja um modelo do mundo real, que permita que sejam realizadas as análises necessárias ao processo de atualização. Apesar do mapa como modelo da realidade proposto por Board (1975) considerá-lo principalmente na forma analógica, esse conceito parece adequar-se bem às características do mapa da abordagem aqui proposta, assim como aos mapas digitais que constituem as bases de dados espaciais de um Sistema de Informações Geográficas.

2.3. Mapas versus bases de dados espaciais

Com a intensificação do uso dos computadores, tanto como suporte nos projetos gráficos de mapas, assim como no suporte à decisão através dos Sistemas de Informações Geográficas, diversos trabalhos passaram a se dedicar a reflexões em torno da adequação dos conceitos e definições da Cartografia. As preocupações concernentes vêm sendo manifestadas tanto em periódicos com ênfase na Cartografia, Fotogrametria e ou Sensoriamento Remoto, como também naqueles que tratam principalmente de Sistemas de Informações Geográficas. Esse fato parece sinalizar a urgência de se utilizarem conceitos mais abrangentes da Cartografia que possam auxiliar na fundamentação teórica dos processos envolvidos, quer na geração, quer na utilização dos mapas digitais. Enfim, que possibilitem o uso mais crítico e adequado da tecnologia de informática na representação de dados espaciais.

Vasiliev, et al (1990), procuram oferecer subsídios para responder à questão “O que é um mapa?”, por acharem importante saber o que o cartógrafo quer dizer quando fala a respeito de mapas. Pode haver interpretações erradas, quando termos não são bem definidos, principalmente na situação em que se encontra a Cartografia, ou seja, com a tecnologia alterando tudo aquilo que se relaciona com mapas, desde seu projeto à sua produção e interpretação.

Nessa direção, Visvalingam (1989) explica que tanto a definição da Cartografia, como a dos mapas, do ponto de vista tradicional, são inadequadas e incompletas, argumentando que

“Cartografia não é unicamente arte e habilidade; nem é só tecnologia ou sistema de construção de artefatos. É também uma ciência que busca verdades e princípios gerais assim como deduzir, predizer ou prever como resultado de processos cartográficos. ... Se Cartografia está relacionada com a criação e uso de mapas, então não se relaciona só a produtos visuais; relaciona-se, igualmente, com os processos de mapeamento, desde a aquisição de dados, sua transformação e simplificação através da simbolização; assim como com a leitura de mapas, sua análise e interpretação”.

Levando em conta o expressivo papel da informática nesses processos, levanta a necessidade de se incluírem as bases de dados espaciais no escopo da Cartografia. Acrescenta que se tal ponto de vista for aceito, a Cartografia estaria relacionada a dois tipos de mapas: mapas visuais e mapas digitais, já que o mapa visual é adequado aos processos de comunicação gráfica de informações preparadas em uma forma holística, Visvalingam (1989) entretanto, coloca que o mapa digital possui outras funções, ou seja, constitui

“... parte de uma interface para o usuário em um sistema computadorizado de informações. Ele não fornece só uma visão dos dados espaciais, mas

pode ser usado também para recuperar e interagir com dados relacionados selecionando elementos mostrados na tela. ... Então, essa moderna tecnologia não é só um meio pelo qual podemos produzir mapas, é uma mudança radical no modo pelo qual comunicamos, exploramos e entendemos informação espacial através de mapas. ... A Cartografia tradicional conduz à necessidade de realizar modelamento visual de dados espaciais para permitir uma análise rápida e precisa através do sistema humano de processamento de informações. A nova Cartografia considera essas necessidades por meio de apropriados modelos digitais de dados espaciais que tornam possíveis processamentos rápidos e precisos pela tecnologia computacional. ... Então, o mapa digital não é unicamente outro banco de dados convencional. Ele é um modelo estruturado e conciso de dados espaciais, ... não é só um depósito de dados, é um modelo da realidade espacial." Visvalingam (1989).

Board (1992) contribui para a ampliação dos conceitos quer de mapa quer de Cartografia, definindo aquele como: *"Uma representação ou abstração da realidade geográfica. Uma ferramenta para representar informação geográfica de uma forma que pode ser visual, digital ou tátil"*. E acrescenta que, a partir dessa definição, Taylor define Cartografia como segue: *"A organização, representação, comunicação e utilização de geo-informação na forma gráfica, digital ou tátil. Pode incluir todos estágios desde a preparação dos dados até o uso final na criação de mapas e produtos relacionados com informações espaciais"*, Board (1992). E como recomendação propõe que Cartografia seja entendida como *"a organização, representação, comunicação e utilização de geo-informação na forma visual, digital ou tátil. Pode incluir todos processos desde a preparação dos dados até o uso e estudo dos mapas em qualquer uma de suas formas"*, Board (1992).

Além disso, a crescente utilização de Sistemas de Informações Geográficas - SIG também vêm contribuindo para aumentar as dúvidas relacionadas aos conceitos da Cartografia, ou para ampliar tais conceitos, de maneira que:

"Muitos usuários de mapas consideram o SIG apenas como um sistema de informações digital e ou visual baseado em mapa. Quando um SIG é usado por suas capacidades de análise, ou na integração de dados não espaciais e espaciais, a Cartografia ainda forma a infra-estrutura para muitas aplicações e é o meio pelo qual resultados são comunicados. Mesmo para os que não consideram o mapa visual essencial, a Cartografia possui um papel subjacente na geração da base de dados espaciais.", Cassettari et. al. (1992)

Por exemplo, as ferramentas disponíveis em um SIG não dispensam o processo de generalização, além de necessitar da precisão dos dados em um procedimento de síntese ou de análise. Diversos problemas podem surgir na aplicação de mapas digitais em propósitos analíticos, *"especialmente quando lida com fenômenos geográficos que não tenham limites reconhecíveis ou quando combinam várias escalas (níveis de detalhamento). Os princípios cartográficos devem ser claramente compreendidos de forma a avaliar as conseqüências de manipular tais conjuntos de dados."*, Cassettari, et. al.(1992) Esses mesmos autores concluem que *"diferença conceitual entre bases de dados espaciais e bases de dados cartográficos não existem. SIG é uma tecnologia que alia elementos provindos de várias disciplinas. A Cartografia, por sua vez, não fornece só uma estrutura unificada e dados, mas também supre objetivos, conhecimento, princípios e técnicas"*. Cassettari, et. al.(1992)

"Na Cartografia tradicional há a necessidade de realizar o modelamento visual dos dados espaciais para facilitar a análise rápida e precisa pelo usuário. A Cartografia ao utilizar o mapa digital reconhece a necessidade de modelar os dados espaciais a fim de possibilitar um processamento rápido e

acurado pela tecnologia do computador. Isto não só requer alguma avaliação da capacidade e das restrições da Tecnologia da Informação, mas também exige uma exposição explícita de dados espaciais e não espaciais, e de suas relações espaciais e não espaciais" Visvalingam (1989).

Visvalingam (1989), discutindo algumas questões relacionadas com Cartografia e SIG procura o significado de mapa considerando os seguintes fatores: o objetivo dos mapas, a função dos mapas, sua forma, e o processo de mapear. Sendo que o objetivo dos mapas *"tem sido definido como a representação das feições da superfície da Terra ou da distribuição de alguns fenômenos sobre ela..."*, com relação às funções do mapa lembra que no passado era projetado para usar a capacidade do homem de processar informação espacial. E que *"o mapa modelo era usado para o armazenamento, disseminação e comunicação de dados espaciais, das formas e relações para uma variedade de usos. Na Cartografia digital, a base de dados espaciais é o depósito de dados."* E questiona se a *"... transferência de algumas funções do mapa para a base de dados espaciais faz do último um mapa?"* A autora procura responder colocando que o termo mapa digital implica uma representação compacta, estruturada, integrada e elegante de dados espaciais e seus atributos não espaciais de maneira que facilite a inferência, recuperação e a rápida atualização livre de erros. Para isso, é necessário que os dados de entrada sejam submetidos a um pré-processamento e a uma substancial reestruturação de maneira que o sistema de processamento de dados digitais possa inferir formas espaciais, relações e padrões de maneira semelhante, ou se possível melhor, que as capacidades do processamento humano de informação. Assim, mapeamento digital deve estar relacionado com a extração e representação de objetos e relações espaciais de uma forma completa, explícita e coerente, porém que não seja redundante. Por exemplo, uma imagem *"raster"* mostrada em vídeo pode ser um bom mapa visual, mas um mapa digital inadequado, desde

que não pode ser usado diretamente na maioria dos casos que necessitem de algum processamento de informação. E conclui que apesar das pessoas serem superiores aos computadores em reconhecimento de padrões e processamento de dados espaciais, computadores são mais eficientes na recuperação de informação, mais consistentes em processamento lógico e mais precisos em utilização métrica e nas análises. E com respeito à função, parece óbvio que tanto para extrair informação espacial com sistemas de processamento humanos e/ou digitais o essencial é que se utilize um mapa de boa qualidade.

Ao discutir a questão da forma do mapa, Visvalingam (1989), refere-se às inconsistências da definição da ICA - International Cartographic Association (1973) que não inclui os táteis nem os digitais. Considera que a representação não deve ser examinada isoladamente, mas dentro do contexto do processo de construção do mapa e de seu uso. Se, com relação àquela, o mais importante fosse a representação espacial de formas e relacionamentos, então modelos mentais e textuais, e descrições verbais, que são essencialmente lineares, seriam excluídos desde que eles não comunicam de uma forma holística. Mas, lembra a autora, representações holísticas não precisam necessariamente ser visuais.

Finalmente, com relação ao processo de mapeamento, Visvalingam (1989), lembra que o mapa resulta da abstração e simplificação da realidade em informação significativa, a partir de um conjunto de dados é, portanto, possível produzir diferentes resultados igualmente válidos, como também outros que distorcem essa realidade. E ainda que, tanto na construção do mapa visual como na do digital, devem-se explorar os recursos de cada um deles para responder melhor às necessidades de informação do usuário.

Uma das importantes conclusões das reflexões de Visvalingam (1989) é sua definição de mapas como: "... *representações holísticas da realidade espacial. O mapa é inicial e primariamente uma abstração intelectual da realidade, mas isto deve ser*

comunicado em seguida, isto é modelado e codificado, de uma forma que explore as capacidades de processamento espacial do homem ou do computador."

Nessas discussões sobre o enquadramento ou não das bases de dados espaciais como mapas, com grande frequência, sua análise aproxima-se à de Board (1975), ou seja, do papel do mapa como modelo, manifestando-se através de seu uso analítico.

Nyerges (1991), levanta uma discussão que também utiliza semelhante enfoque colocando que *"as atividades cartográficas podem ser descritas com ênfases que combinam foco e perspectiva"* (quadro 2.2). O mapa como meio de comunicação e o mapa de uso analítico são, de acordo com o autor, suas perspectivas. Discussões a esse respeito já foram anteriormente analisadas neste trabalho.

Enquanto foco de atenção, o autor, em sintonia com a visão de Cartografia já preconizada por KOLACNY, relaciona a construção e o uso do mapa. E lembra ainda que, *"desde que uma atividade cartográfica provavelmente não pode ser enquadrada em uma única categoria, a caracterização tem como finalidade elucidar melhor a questão das ênfases do que classificá-las. Embora uma diferenciação seja estimulada academicamente, talvez sua síntese seja mais útil que a demarcação de limites"* (Nyerges, 1991).

O quadro 2.2 procura descrever a relação entre esses conceitos.

Quadro 2.2: Ênfases das Atividades Cartográficas

Foco:	Perspectiva:	
	da Comunicação (mapa é imagem)	da Aplicação Analítica (mapa é ferramenta computacional)
na CONSTRUÇÃO do Mapa	concepção como SIMBOLIZAÇÃO visual	concepção como ESTRUTURA de Dados
no USO do Mapa	para: VER (Semiologia) para: leitura, visualização e mensuração	para: uso ANALÍTICO

fonte: NYERGES, T. L. 1991, p. 12.

adaptação: JUNQUEIRA, C.B.

Note-se que a base de dados espaciais e não espaciais a ser atualizada, de acordo com a abordagem da presente proposta, é uma ferramenta computacional, cujas informações são usadas analiticamente no processo investigado. Desta maneira, as discussões a respeito das bases utilizadas em sistemas de informações geográficas constituem referencial adequado à melhor compreensão da adotada.

Com a disponibilidade de poderosos recursos computacionais, vêm sendo criados tipos de mapas que aproveitam o potencial tecnológico disponível e, portanto, possuem características próprias tanto em sua criação, como em sua utilização. Considerando, que em um processo cartográfico, o mapa é o produto que deve ser gerado de acordo com determinada finalidade estabelecida pelo usuário, um exame de produtos digitais, a partir dos focos do quadro 2.2, pode contribuir para o entendimento e esclarecimento da questão da base de dados espaciais como mapas. Nyerges (1991) procura elucidar a questão relativa especificamente às bases de dados espaciais usadas em sistemas de informações geográficas,

de acordo com a perspectiva de Board (1975), isto é, do mapa como modelo da realidade, usado como ferramenta analítica. Suas discussões iniciam-se pela questão do uso do mapa, considerando a atual falta de suporte analítico para tarefas de ordem mais elevada. Tal suporte representaria a operação que produz a informação a partir dos dados e de sua estrutura.

Considerando-se a importância de se buscar um melhor entendimento das tarefas relacionadas com o uso do mapa, a questão básica a ser discutida é:

qual a relação entre o usuário e o mapa?

Olson (1976), Morrison (1978), Board (1978, 1984), apresentam discussões relacionadas com o uso do mapa, examinando questões relativas às tarefas que devem ser realizadas na sua utilização. Para Morrison as mais complexas dependem das mais simples. Olson reconhece porém, três níveis sucessivamente mais complexos, mas não afirma que as mais complexas sejam realizadas pelo conjunto de tarefas mais simples. No primeiro nível, está a comparação das características entre símbolos individuais: forma, tamanho relativo, importância, p. ex., a diferença na forma entre um triângulo e um quadrado, comparação do tamanho de dois triângulos. No segundo nível realiza-se o reconhecimento das propriedades de grupos de símbolos no mapa como um todo: padrões espaciais, semelhança com outros padrões no mapa. Embora essa atividade seja mais complexa que aquelas do primeiro nível, ainda trata de símbolos abstratos. Relações entre símbolo e referência não estão presentes. Exemplo: uma distribuição de símbolos é simples ou complexa? O terceiro nível envolve a utilização do mapa em processos de tomada de decisão ou como instrumento constituído de conhecimento através da integração de símbolos com seus significados. Relações entre símbolos e referências são fundamentais nesse contexto. Diferenças entre símbolos e agrupamentos são importantes, mas só na medida em que representam fenômenos e suas

características espaciais. Um exemplo é o reconhecimento de regiões de alto risco de inundação. Infelizmente, existe pouca referência ao terceiro nível em Olson (1976).

Board (1978) preocupa-se com o processo de avaliação de mapas, discutindo a natureza das tarefas de sua leitura em um contexto de avaliação experimental totalmente racional, e em particular, a natureza dessas tarefas de um ponto de vista do geógrafo. O contexto dessa discussão depende das necessidades de informação geográfica do usuário, o qual pode necessitar de dados a respeito de distância, proximidade no tempo e separação; orientação e direção; conexão; repetição; inclusão e exclusão; e associação espacial. O autor ainda identifica três propósitos principais para o uso de informação geográfica, que incluem a navegação (para facilitar deslocamento de um lugar para outro), mensuração e visualização (ambos relacionados com a aquisição de informação sobre o meio geográfico representado no mapa). Para o autor, a finalidade da extração de informação não é importante. Essa é adicionada ao conhecimento do usuário que poderá criar novas concepções ou a rejeitará como sendo imprecisa, se a mesma discordar das concepções em que o leitor de mapas acredita firmemente. As tarefas que devem ser executadas para realizar navegação, mensuração e visualização são relacionadas no quadro 2.3.

Quadro 2.3: Tarefas na leitura de mapas

NAVEGAÇÃO	MENSURAÇÃO	VISUALIZAÇÃO
busca identificação e localização de posições próprias no mapa orientação no mapa busca de rotas ótimas no mapa busca de sinais terrestres na rota reconhecimento de sinais terrestres na rota busca pelo destino identificação do destino verificação	busca identificação contagem comparação contraste estimativa interpolação mensuração	busca identificação descrição comparação/reconhecimento contraste discriminação/distinção delimitação verificação generalização dar preferência padronização

fonte: BOARD, C. 1978, p. 6.

adaptação: IMAI, N.N.

Board (1984), partindo dos três níveis de tarefas na leitura de mapas (Olson, 1976), lembra que aquele de alta ordem (terceiro nível) no uso de mapas tem especial relevância na visualização e reconhecimento de padrões espaciais com um significado particular como uma distribuição espacial de um fenômeno da superfície. Para melhor elucidar a natureza das tarefas de uso do mapa de alta ordem, o autor recupera, sinteticamente, uma lista de questões geográficas genéricas desenvolvidas por Slater^{2.9} (1982) apud Nyerges (1991), selecionando questões de maior importância para tomada de decisão e construção de conteúdo informacional (conhecimento). Essas questões estão apresentadas no quadro 2.4 em uma seqüência de complexidade crescente.

Quadro 2.4: Questões geográficas para tomada de decisão e construção de conteúdo informacional no uso do mapa

Questões relacionadas com localização e extensão:

- Onde é o fenômeno de interesse?
- Que fenômeno ocorre naquele lugar?
- Qual é o fenômeno que acontece nesse lugar?
- Quantos desses fenômenos ocorrem no lugar?

Questões relacionadas com distribuição e padrão:

- Possui alguma regularidade em sua distribuição?
- Onde é o fenômeno em relação a outro similar?
- Qual é o tipo de distribuição do fenômeno?
- Onde são seus limites?

Questões relacionadas com associação espacial:

- Que outro fenômeno também ocorre no lugar?
- Os fenômenos ocorrem usualmente juntos na mesma área?

Questões relacionadas com interação espacial:

- O fenômeno está ligado a outro fenômeno?
- Qual é a natureza do fenômeno ligado?

Questões relacionadas com alteração espacial:

- O fenômeno esteve sempre no lugar?
- Como foi a alteração do fenômeno no decorrer do tempo?
- Que fatores tem influenciado seu espalhamento?

fonte: NYERGES, T. 1991, p. 14.

adaptação: IMAI, N.N.

^{2.9} SLATER, F. Learning Through Geography. London, Heinemann. 1982.

Na perspectiva da base de dados espaciais como modelo da realidade, pode-se perguntar quais dessas tarefas relacionadas no quadro 2.4 podem ser executadas com o uso de tal base? Com a preocupação de verificar quais são as contribuições da Cartografia analítica na busca de solução para as questões do quadro 2.4 em Sistemas de Informações Geográficas, o autor coloca que

"ainda estamos utilizando os mapas virtuais principalmente para as questões relacionadas com localização e com abordagens de nível rudimentar nos sistemas analíticos para questões relacionadas à distribuição e padrão, particularmente em SIG. Na maioria dos casos, isto é decorrência de: 1. a natureza institucionalizada da informação sendo solicitada; 2. uma ausência nas atuais capacidades dos sistemas de produzir informações; ou 3. uma falta de conhecimento em colocar sistemas em uso. O último problema não deve ser subestimado como um problema de treinamento, mas reconhecido como sendo um dilema educacional dos dias de hoje". NYERGES (1991)

É importante lembrar que a segunda limitação mencionada pelo autor pode ser minimizada pela aplicação de solução heurística a qual viabilizaria a implementação de caminhos adotados pelos especialistas no processo de tomada de decisão. Por outro lado, interfaces de comunicação mais inteligentes e amigáveis podem facilitar o uso desses sistemas aumentando o potencial de exploração de seus recursos.

Sistemas que realizam tarefas de alta ordem em Cartografia analítica não são novos. Existem alguns relacionados com estudos de transporte que possuem componentes gráficos e analíticos. Entretanto, não dispõem de um componente de gerenciamento de dados eficiente e efetivo, o que limita sua habilidade em estender a capacidade até questões até as quais não foram programados.

Atualmente, os softwares em SIG possuem, principalmente, componentes gráficos, gerenciamento e análise de dados que, no entanto, falham no suporte em diversas tarefas no

terceiro nível (nível de alta ordem), pois muitas das construções e/ou operações para responder questões em tomada de decisão e construção de conteúdo informativo não estão disponíveis. Nyerges (1991), coloca ainda que esses sistemas realizam seus tratamentos baseados na concepção dos mapas planos.

No entanto, o mesmo estudioso lembra que pesquisas em sistemas de suporte à tomada de decisão espacial ainda se encontram em sua infância. Portanto, espera-se que a evolução desses sistemas torne possível resolver as questões relacionadas às tarefas de terceiro nível de uso de bases de dados espaciais.

Nessa direção, afirma que o desenvolvimento da próxima geração de modelos de dados orientados para análise destinados a SIG passa pelo aprofundamento do conhecimento sobre conteúdo e estrutura da informação em bases de dados espaciais, considerando que *"diferentes tarefas no uso de mapas necessitam de um conteúdo e estrutura informacional diferente; a real preocupação reside na natureza do conteúdo e estrutura da informação"* enfatizando que a questão a ser colocada em foco é:

"Qual é o conhecimento geográfico que deve estar incluído na base de dados espaciais para um certo nível de uso analítico do mapa?"

A extração de informações de bases de dados espaciais pode ser obtida através do modo de consulta (*query mode*), ou através do modo de produto (*product mode*) tais como mapas, tabelas ou listas. Aquele é caracterizado pela resposta rápida e específica e critério bem conhecido. Enquanto que este necessita de grande quantidade de informação selecionada através de um critério amplo. Na tentativa de explicar a estrutura da informação, Nyerges (1991), recupera um conceito de Miller^{2.10}. (1956) sobre "*chunks*" (pedaços) de informação, os quais representam uma certa quantidade de informação que

2.10. MILLER, G. The Magic Number Seven, Plus or Minus Two. *Psychological Review*, v. 63, p. 81--97. 1956

pode ser reconhecida e recuperada da memória de “longo prazo” para a memória de “curto prazo”, considerando que, *“memória pode ser definida como um processo que permite ao indivíduo o armazenamento das experiências e percepções, para recordações futuras”* (Strub, R.L. and Black, F.W., 1985). Segundo Lamm-Warburg (1993), existem *“três estágios da memória. A lembrança imediata envolve a retenção da informação que foi armazenada durante poucos segundos. Memória de “curto prazo” promove a mediação da retenção de eventos ou do aprendizado ocorrido no intervalo de poucas horas ou dias. A memória de “longo prazo” consiste de experiências prematuras e informações adquiridas ao longo dos anos”*. Como a memória recente ou de “curto prazo” não se caracteriza pelo seu tamanho, mas pela retenção de informação de padrão familiar e bem conhecido, tanto conceitos simples como mapas inteiros podem ser considerados *“chunks”* de informação, Head (1984). Sua natureza depende da familiaridade do usuário do mapa em relação ao contexto do problema espacial, como também da forma como um *“chunk”* é usado (Nyerges, 1991).

Saídas de modo consulta e de produto são maneiras convenientes de lidar com *“chunks”* de informação em sistemas analíticos e são consistentes com uma habilidade da mente humana de processar fontes de informação em qualquer momento. Um modo consulta ou de produto é selecionado conforme a natureza das necessidades de informação do usuário em uma tarefa de alta ordem na utilização do mapa. As bases de dados espaciais necessitam de elementos que devem existir em tal base para satisfazer um conjunto de questões e tarefas. Cada aplicação de mapa, em termos de conjunto de tarefas a serem realizadas, tem sua necessidade especial a qual determina a constituição de um modelo específico para a base de dados. Tal modelo funciona como estrutura de projeto para implementação de uma base de dados específica, mas não é a base propriamente dita. Nesse

contexto, a informação é geralmente descrita em termos de domínio dos dados por tema, espaço e tempo, cuja natureza restringe o uso do mapa. Nyerges (1991)

Worboys, et. al. (1990), colocam que a escolha de uma representação apropriada para a estrutura de um problema talvez seja o mais importante componente para sua solução.

"os meios de representação são fornecidos por um modelo de dados. Um modelo de dados fornece uma ferramenta para especificar propriedades estruturais e comportamentais de uma base de dados sendo que, idealmente, coloca a disposição uma linguagem que permite que o usuário e o projetista da base de dados expressem suas necessidades da maneira que acharem mais apropriada, e possível de converter em estruturas adequadas para implementação em um sistema de gerenciamento de bases de dados. O modelamento de dados está entre os primeiros estágios no projeto de base de dados. O propósito do modelamento de dados é de auxiliar a projetar uma base de dados de maneira que funcione eficientemente; contenha informação correta (e que torne a entrada daquelas incorretas o mais difícil possível); cuja estrutura lógica seja suficientemente natural para ser entendida pelos usuários; e tão fácil quanto for possível de mantê-la e extendê-la".

A importância dos modelos de dados ganha mais destaque ao se considerarem as bases de dados espaciais ou seja os mapas digitais que, de modo geral, ao serem destinados à construção de conhecimento mostram-se inadequados

"devido à falta de informação conceitual. Definições de entidade e das relações entre si fazem parte da informação conceitual que precisa ser armazenada ou derivada para as tarefas de alta ordem. As definições de entidade são armazenadas como tipos de entidades para distingui-los dos

tipos objetos. Tipos de entidades são referências do mundo real, enquanto os tipos objetos são as abstrações a serem armazenadas na base de dados. Esses últimos possuem significado explícito que permite que um computador possa manipular a estrutura de dados construída". Nyerges (1991)

Como esses modelos de dados possuem uma estrutura lógica à qual o usuário tem acesso, é natural que se utilize de uma parte do modelo para resolver um problema particular, baseando-se em uma *"estrutura de informação específica composta de informação"*. Esclarecendo-se que, neste contexto, uma estrutura de informação *"representa uma estruturação mental de informação simples e conceitual do modelo de dados os quais são usados para examinar e procurar entender problemas geográficos particulares"* Nyerges (1991).

Nyerges (1991) descreve uma estrutura de informação como composta de dois componentes: estrutura superficial e estrutura profunda; denominadas em Head (1984), de nível superficial (frase) e nível conceitual (proposição). Aquela define a organização de simples informação imediatamente perceptível para um usuário de mapa. Nessa direção os *"chunks"* de informação simples representam os símbolos gráficos mostrados no mapa, assim como os elementos armazenados nas bases de dados, cujo significado é obtido através da estrutura profunda que os organiza, a qual contém a informação conceitual, como base de significado, além de várias relações geográficas entre os *"chunks"* formando as bases da abstração da realidade. . Como a obtenção da informação dessas estruturas é baseada em muitos esquemas mentais, tais conceitos permitem entender a riqueza da informação mapeada em uma estrutura de informação. Um simples esquema mental é composto de uma regra ou conjunto de regras que organizam *"chunks"* de informação, que armazenam, enquanto concepções de estruturas de informação, esquemas de bases de dados em um sistema de computador. Portanto, muitos esquemas mentais são usados no processo de

criação das bases de dados, assim como pelos usuários que selecionam a informação a ser examinada como parte das tarefas de uso do mapa.

Nos mapas, os esquemas de “*chunks*” de estrutura superficial são regras que organizam símbolos como aparecem individualmente no mapa, ou como são gravados individualmente na base de dados. Já os esquemas de “*chunks*” de estrutura profunda organizam a informação conceitual associada à estrutura superficial em termos de significado dos elementos da base de dados ou base de conhecimento e suas relações geográficas. Em razão de sua importância, o especialista enfatiza que *"a informação da estrutura profunda é o significado básico de fenômenos espaciais (geográficos), das relações entre fenômenos (freqüentemente fornecendo parte do sentido) e dos significados das relações entre fenômenos. Então, a informação da estrutura profunda é crítica na solução de problemas geográficos solucionados com mapas"*.

Não obstante as bases teóricas dos métodos de investigação da Geografia, representa-se o mundo real a partir da seleção de alguns elementos e as relações entre eles. Essa representação conceitual dá significado à observações obtidas da realidade de interesse. No presente trabalho, tipos entidade constituem aqueles elementos no processo de modelamento da informação.

Construtores de estruturas de informação em bases de dados espaciais envolvem os já mencionados tipos entidade, mais especificamente suas classes e suas características, ou seja, o domínio dos dados que melhor descrevem a realidade de interesse. Assim, um modelo de dados *"funciona como um conjunto de construtores descritivos, um conjunto de operações que atuam sobre eles, e um conjunto de restrições aplicados tanto sobre aqueles como nessas"* (Nyerges, 1991). Tais construtores descritivos não são semanticamente estruturados, mas possuem potencial de significado que depende do modo como o projetista *"1. usa os construtores (isto é, carrega as categorias de informação no modelo de dados em termos de estrutura de informação), 2. usa o conjunto de*

operações que pode manipular os construtores descritivos" Nyerges (1991). As restrições possibilitam a realização do controle de qualidade, quer do conteúdo, quer da estrutura da informação.

No entanto, esses modelos de bases de dados são expressões de uma ou mais estruturas de informação. Um usuário de mapa trabalha com "chunks" de estrutura de informação na forma de símbolos individuais ou coleções de símbolos representando conceitos significativos relativos ao mapa. Assim como os "chunks" da estrutura de informação fornecem os significados da base de dados, construtores de estrutura da informação são construtores do modelo de dados denominados "classes" e "tipos objeto", nos diversos níveis de sua descrição. Uma "classe objeto" representa um conjunto de objetos armazenados como dados na base de dados, enquanto um "tipo objeto" é uma definição usada para diferenciar um "objeto" de outro e uma "classe de outra. "Classes objeto" são implementadas usando linguagens de programação e construtores de estrutura de dados, de acordo com seu tipo. Nos sistemas de gerenciamento de dados espaciais os "tipos objeto" são freqüentemente fixados de acordo com o projeto do *software* que está sendo utilizado. Conseqüentemente, um projetista de base de dados, após ter adotado um *software*, deve escolher entre aqueles já disponíveis para criar uma base de dados espaciais como um modelo da realidade (Nyerges, 1991).

Nyerges (1991) esclarece que modelos de dados constituídos de "classes de objetos" fornecem meios flexíveis para armazenar "classes de entidades" e "domínio dos dados" em estruturas de informação, que podem ser definidas pelo projetista da base de dados sem necessidade de programador. As "classes de entidades" e "domínio dos dados" são armazenados em um esquema da base de dados usando "classes de objetos" para expressar a natureza temática, espacial, e temporal dos dados.

Portanto, bases de dados espaciais podem ser aceitas como modelos da realidade quando usadas como ferramenta analítica? Para responder a essa indagação, Nyerges (1991), recupera um conjunto de operações de um componente de análise ideal para SIG propostas por Goodchild, tais como:

1. analisar o atributo de uma simples classe de objeto como na análise estatística convencional;
2. analisar uma classe de objetos usando informações de localização e de atributos;
3. analisar os atributos de pares de objetos;
4. analisar mais que uma classe de objetos;
5. criar novos pares de objetos a partir de uma ou duas classes de objetos existentes;
6. criar uma nova classe de objeto a partir de uma ou mais classes de objetos existentes; (Goodchild^{2.11}. (1987) apud Nyerges (1991)).

Relacionando essas operações com as questões de terceiro nível do quadro 2.4, Nyerges (1991), obtém os resultados do quadro 2.5.

^{2.11}. GOODCHILD, M. A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems. International Journal of Geographical Information Systems, v. 1, n. 4, p. 327-334. 1987.

Towards an Enumeration and Classification of GIS Functions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. Arlington. Proceedings... Arlington: 1987, v. 2, p. 67-77.

Quadro 2.5. Operações analíticas casadas a questões geográficas de alta ordem

Operação	
	<u>Questões relacionadas com distribuição e padrão:</u>
2	Possui alguma regularidade em sua distribuição?
2,3	Onde é o fenômeno em relação a outro similar?
2	Qual é o tipo de distribuição do fenômeno?
2	Onde são seus limites?
	<u>Questões relacionadas com associação espacial:</u>
2,4	Que outro fenômeno também ocorre no lugar?
4	Os fenômenos ocorrem usualmente juntos na mesma área?
	<u>Questões relacionadas com interação espacial:</u>
4,5	O fenômeno está ligado a outro fenômeno?
	Qual é a natureza do fenômeno ligado?
	<u>Questões relacionadas com alteração espacial:</u>
	O fenômeno esteve sempre no lugar?
	Como foi a alteração do fenômeno no decorrer do tempo?
	Que fatores tem influenciado seu espalhamento?

fonte: NYERGES, T. (1991), p. 20.

adaptação: IMAI, N.N.

O quadro 2.5 permite inferir que algumas questões geográficas de alta ordem não podem ser respondidas pelo conjunto de operações consideradas ideais por um componente de análise de um SIG. As três últimas questões, relacionadas com aspectos temporais dos dados estão entre aquelas que não vêm sendo resolvidas de maneira razoavelmente eficiente pelos sistemas atuais, Nyerges (1991). No entanto, as questões do quadro 2.5 não representam o todo o potencial futuro dos sistemas. Explorando o potencial de sistemas computacionais, as bases de dados espaciais estarão resolvendo os problemas mais complexos e atuando de maneira que aumente sua semelhança aos mapas usados analiticamente, ou seja dos mapas como modelos da realidade. A definição de modelos de bases de dados espaciais complexos a partir das estruturas de informação do usuário e sua posterior implementação com ferramentas poderosas, permitem sua materialização. Portanto, torna-se óbvio que uma das maiores limitações da criação de bases de

dados espaciais e não espaciais reside na obtenção, representação e formalização da estrutura de informações a partir do conhecimento do usuário do mapa. Logo projetar mapa não é como projetar bases de dados espaciais. A diferença localiza-se na exigência de gerar bases de dados, que contemplem as entidades de interesse do usuário, estruturáveis através dos modos de consulta e de produto. Assim, o mapa gerado neste trabalho de investigação, a partir de uma modelagem, deve conter a informação espacial e não espacial organizada de forma que possa ser estruturável, pelos recursos da linguagem de programação adotada, a fim de permitir sua clara recuperação e sua atualização funcional.

2.4. Modelagem de dados espaciais

Considerando-se que uma base de dados espaciais constitui o mapa digital cuja atualização é investigada no presente trabalho, portanto, de acordo com as discussões anteriores, trata-se de um modelo da realidade (figura 2.3). Assim sendo, as atividades envolvidas na sua elaboração fazem parte do escopo de uma modelagem de dados espaciais.

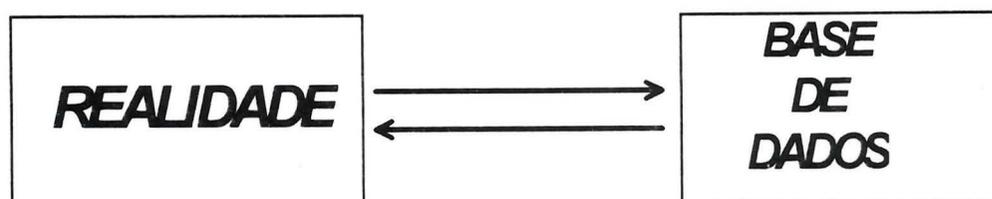


Figura 2.3: Base de dados como modelo da realidade

IMAI, N.N.

A modelagem de dados espaciais inicia-se pela realidade passando por uma abstração através da qual se obtém uma estrutura de informação orientada para o usuário, sendo concretizado como uma estrutura de armazenamento orientada para o computador.

Para facilitar a tarefa pode-se dividir a modelagem em níveis de abstração e, assim, sistematizar o processo.

A divisão da modelagem em cinco níveis facilita a compreensão do processo:

- realidade;
- estrutura lógica da informação;
- modelo de dados;
- estrutura de dados;
- estrutura física dos dados.

Realidade: o fenômeno como ele realmente existe, incluindo todos aspectos os quais possam ser ou não percebidos.

Estrutura lógica da informação: um modelo lógico e simplificado da realidade, concepção da realidade segundo o usuário do mapa.

Modelo de dados: uma abstração do mundo real que incorpora aquelas propriedades consideradas relevantes para a aplicação ou aplicações de interesse, usualmente uma concepção humana da realidade.

Estrutura de dados: uma representação do modelo de dados geralmente expresso em termos de diagramas, listas e “*arrays*” através de códigos em uma linguagem de computador.

Estrutura física dos dados: a representação dos dados no armazenamento físico.

No presente trabalho, a modelagem da base de dados espaciais é feita em duas etapas: a primeira etapa é o projeto lógico que resulta a estrutura lógica da informação e a segunda é o projeto físico no qual implementa-se o modelo de dados a partir da codificação

com a linguagem PROLOG. Neste caso, a estrutura de dados e a estrutura física dos dados são definidas pelas próprias características da linguagem PROLOG, portanto, transparentes ou invisíveis para o projetista.

Naturalmente, problemas diferentes exigem meios de representação diferentes. Conseqüentemente, um grande número de técnicas para modelagem de dados fica descrito na literatura de bases de dados. Alguns deles possuem estrutura semelhante à de implementação. O modelo relacional que pode ser programado por uma das linguagens de banco de dados relacionais disponíveis exemplifica esse dado.

A abordagem orientada a objeto pode ser utilizada em diversas fases do desenvolvimento de sistemas de informações geográficas (SIG) já que oferece boas ferramentas para a base de dados como também para o subsistema de interfaceamento com o usuário do sistema de informação (Oosterom e Bos, 1989). Os trabalhos que vêm sendo publicados (Gahegan e Roberts, 1988, Oosterom e Bos, 1989, Worboys, et. al. 1990, Milne, et. al. 1993) demonstram o crescente interesse pela sistemática orientada a objetos para sistemas de informações geográficas.

Os modelos de dados ou de bases de dados orientados a objetos originaram-se em linguagens de programação como o Simula e Smalltalk. A idéia de aplicá-la foi estimulada pela aparente limitação da tecnologia tradicional relacional quando esta é adotada para algumas aplicações. Alguns exemplos típicos de tal limitação são as aplicações de bases de dados em projeto apoiado por computador (CAD), engenharia de software e em sistemas de informações geográficas. Uma dificuldade comum em todas essas áreas de aplicação é a diferença entre a riqueza da estrutura de informação no domínio da aplicação e a relativa simplicidade dos modelos de dados que essas estruturas (relacionais, entre outras) podem expressar e manipular. Modelos orientados a objetos tem a facilidade de expressar mais adequadamente (de maneira mais direta e rápida) a estrutura de informação das áreas de

aplicação (Worboys, et. al. 1990). Essa abordagem forma uma boa interface com o usuário, ou seja, caso o objeto tenha sido bem escolhido, o usuário pode facilmente formar um modelo mental do sistema (Oosterom e Bos, 1989).

A abordagem orientada para objetos deve auxiliar na tarefa de definir as informações do mapa digital desta proposta, bem como as relações entre tais objetos, por tratar-se de uma técnica que representa, de forma descomplicada, as entidades de interesse ao gerenciamento de recursos renováveis.

2.5. Que tipo de mapa é adequado?

Por tratar-se de um mapa submetido a um processo de atualização apoiado por computador, adotou-se uma abordagem própria da Cartografia analítica, a qual vem sendo aplicada, quando o mapa torna-se uma fonte de dados e informações espaciais processadas por computador. O fato ocorre costumeiramente com os mapas que constituem bases de dados de Sistemas de Informações Geográficas, pela necessidade de aplicar um conjunto de operações que forneçam as informações de interesse ao usuário. Portanto, o mapa digital é uma estrutura de dados que pode ser operada para os vários propósitos da Cartografia, inclusive para a visualização, através das interfaces algorítmicas adequadas. Assim, o cartógrafo deve especificar de forma explícita, em seu projeto cartográfico, todos os elementos do mapa, bem como suas relações, para que possa ser usado como modelo da realidade através do computador. A esse respeito, Petchenik (1977), coloca que:

“quando o computador é utilizado de uma forma ou outra para produzir um mapa, o cartógrafo deve dizer a ele exatamente o que deve ser feito para produzir um mapa. Portanto, ele deve saber exatamente^{2.12.} o que deve ser

2.12. Não é necessário saber “exatamente” quais mapas serão visualizáveis, mas saber que sistemas de visualização estarão disponíveis.

feito, para ser capaz de codificar esses procedimentos, explicitando-os de forma avançada, para a máquina reproduzir”.

Considerando ainda que o principal objetivo deste trabalho está relacionado com a avaliação da possibilidade de um sistema de computador utilizar o conhecimento de especialistas em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto nos processos de atualização, define-se dessa forma, que o mapa adotado deve comunicar-se com um sistema lógico (sistema de atualização) de maneira que seu conteúdo seja acessível ao sistema, o qual deve ser capaz de adicionar informações para efetivar o processo de atualização.

Portanto, deve ficar claro que o mapa terá seu conteúdo modificado a cada atualização, para fornecer informações concernentes ao aspecto dinâmico das feições da superfície da Terra.

O projeto do mapa digital adotado fundamenta-se em um modelo da realidade no qual são previstas tanto as relações entre os objetos que representam as entidades do mundo real, como também uma descrição desses objetos. Assim, é possível relacionar idade de um talhão de reflorestamento com seu estágio de desenvolvimento florestal, bem como alguma intervenção com algum tipo de manejo que esteja previsto. De forma, que os objetos previstos em um modelo possam representar as entidades do mundo real com a fidelidade necessária ao processo de atualização.

Cada vez que o mapa digital tem seu conteúdo informacional atualizado, o usuário tem acesso a informações que o auxiliam a compreender a evolução da produção florestal para gerenciar e planejar os recursos disponíveis. Esse tipo de mapa funcionará como modelo, enquadrando-se na visão apresentada por Board (1975). Mas, ao se codificarem as informações espaciais de interesse na forma de uma representação compacta, estruturada e integrada de dados espaciais e seus atributos não espaciais que facilitam a inferência,

recuperação e a rápida atualização livre de erros, o produto enquadrar-se-á na definição do mapa digital de Visvalingan (1989) .

Nesse enfoque, o mapeamento digital estará relacionado com a extração e representação de objetos e relações espaciais de uma forma completa, explícita e coerente, e não redundante, pois *“um ser humano é capaz de operar com sucesso no domínio do mapeamento ou em outro domínio, na base do conhecimento tácito pouco entendido. Entretanto, para o computador todo o conhecimento tácito deve ser revestido de uma forma explícita “*, Petchenik (1977).

Com respeito à sua função, o mapa digital elaborado deve apresentar uma performance na extração da informação espacial, através de sistemas digitais, que seja equivalente ao processo realizado por um sistema humano de processamento usando um mapa de boa qualidade. Portanto, considerando que o mapa digital concebido deve ser capaz de responder às questões relacionadas com sua finalidade e que tais respostas devem ser interpretadas pelo usuário de maneira que possa tomar decisões no processo de planejamento e gerenciamento no qual está envolvido, percebe-se que os processos de tomada de decisões realizados para obter informações *“devem se basear no conhecimento das características perceptiva-cognitivas dos seres humanos, e em uma sólida compreensão do significado dos mapas”*, Petchenik (1977).

Sensoriamento Remoto: fonte de informações cartográficas

3.1. Introdução

Um dos aspectos críticos da constituição de um mapa e, muitas vezes, de maior custo refere-se à aquisição das informações a serem representadas. O Sensoriamento Remoto vem se consolidando como uma tecnologia adequada para esse fim, porque se caracteriza por custos baixos de coleta de dados e por apresentar qualidade de resultados. No entanto, a extração de informações dos dados obtidos por esse sistema continua sendo a etapa de maior custo de homem/hora.

O processo de atualização cartográfica analisado adota essa fonte para obter as informações necessárias para a realização da tarefa. Procurou-se apresentar, neste capítulo, alguns fundamentos da interpretação de imagens, assim como uma discussão a respeito da sua análise quantitativa. Além disso, estão relacionadas algumas contribuições para investigação de abordagens de extração de informações de imagens com base em conhecimento. Por se tratar da área de conhecimento, cuja aplicação permite a materialização de algumas dessas abordagens, elaborou-se uma rápida explicação da Inteligência Artificial e de Sistemas Especialistas.

Dados multiespectrais são coletados por sistemas sensores capazes de medir a energia eletromagnética provinda de um alvo, a qual é limitada, dentro de um intervalo de comprimento

de onda do espectro eletromagnético^{3.1} obtido pela decomposição da Radiação Eletromagnética - (REM) por um dispositivo de dispersão. Limita-se também por um campo de visada que é delimitado por um sistema ótico, definindo aquele e, conseqüentemente o alvo, que é, em última instância, o principal responsável pela energia recebida pelo detector do sistema sensor. Assim, este a bordo de uma plataforma orbital é capaz de realizar medidas de energia em diversas bandas espectrais, simultaneamente, de forma que a energia provinda de uma área amostrada no terreno é transformada em um conjunto de medidas radiométricas que formam o atributo espectral de um *pixel*^{3.2}. Ou melhor, um *pixel* é representado por um conjunto de medidas obtidas por meio da quantização da radiação eletromagnética emitida por um alvo da superfície, de tamanho limitado pelo sistema ótico do coletor do sistema sensor. Assim, um *pixel* de uma imagem multiespectral representa a REM refletida ou emitida por um alvo de dimensões discretas da superfície, em algumas bandas do espectro da energia, medidas em um intervalo discreto de valores digitais, de um alvo em uma posição conhecida da superfície. Dessa forma, um *pixel* possui valores digitais que se referem à REM quantizada em algumas bandas espectrais e uma posição na imagem que o contextualiza espacialmente em relação aos elementos vizinhos. A posição espacial na imagem pode ser convertida para posição geográfica do alvo cuja REM foi quantizada.

Existem dois procedimentos que podem ser adotados na extração de informações dos dados multiespectrais da superfície, disponíveis em formato digital, quantizados espacialmente em *pixels* e radiometricamente em níveis discretos de brilho. Um deles envolve a utilização de computadores para examinar individualmente cada *pixel* da imagem, com o objetivo de decidir sobre este, levando em conta seus atributos espectrais. Trata-se, nesse caso, de efetuar análises quantitativas, uma vez que *pixels* com atributos semelhantes referem-se freqüentemente a uma

3.1. Espectro eletromagnético é a distribuição das radiações eletromagnéticas em função do comprimento de onda, desde os raios gama, de menor comprimento, até as ondas longas de rádio.

3.2. *Pixel* palavra construída pela composição de *picture* e *element*, constituindo um elemento discreto de uma imagem digital.

área a ser estimada. Um outro procedimento necessita de um analista humano/intérprete para a extração de informações, através da análise visual de uma imagem, sendo que o sucesso depende da capacidade de o intérprete explorar efetivamente os elementos espaciais, espectrais e temporais presentes na cena. Tais elementos estão relacionados com as características espaciais do fenômeno detectado (forma, tamanho e contexto), com a energia quantizada em cada banda do espectro eletromagnético (Radiância espectral) e com os dados disponíveis que foram adquiridos em datas de aquisição subseqüentes, respectivamente; maiores detalhes em ASP - *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (1975). A interpretação visual é feita com base no conhecimento anterior e na experiência do intérprete em correlacionar as características da reflectância espectral com os tipos de cobertura do terreno e de que maneira as características foram registradas pelo sensor do satélite.

3.2. Análise visual de imagens multiespectrais

Segundo Novo (1989), "*a extração de informações através da inspeção visual de imagens não é uma atividade simples*". O processo de interpretação de imagens é altamente dependente da capacidade da mente do intérprete para generalizações. Para aprender a identificar objetos em imagens, necessita-se estudar as características dos produtos, de modo que, os elementos de identificação (tais como: tonalidade, forma, tamanho, padrão, etc.), possam ser associados a alvos específicos. Eventualmente, o processo mental permite uma abstração concisa das características chaves de alguns objetos conhecidos, de modo que a informação possa ser aplicada para reconhecer objetos desconhecidos.

O intérprete habilidoso deve ter uma grande bagagem de conhecimento específico e informação para desempenhar um trabalho adequado, aliada a um conhecimento geral orientado para o estudo das características naturais e culturais porque as complexas são raramente identificadas como resultado de uma rápida interpretação. Assim, o intérprete que sabe quais

características podem ser encontradas em um dado local, bem como, aquelas com pouca probabilidade de ocorrer, pode fazer uma identificação mais positiva em um menor período de tempo.

Sob certas circunstâncias, o processo mental de dedução e associação pode permitir a detecção de objetos realmente não visíveis nas imagens, como por exemplo, um oleoduto sob o solo. Naturalmente, existem situações, em que as limitações fotográficas ou a falta de informações impedem a identificação positiva dos objetos. Em tais casos, os termos provável e possível são freqüentemente usados para qualificar a decisão do intérprete. Cabe ressaltar que a abordagem baseada em conhecimento, cuja aplicação em extração de informações para atualização cartográfica constitui o escopo desta investigação, prevê a possibilidade de realizar processos dedutivos, por exemplo na aplicação de Inteligência Artificial em demonstração de Teoremas (maiores detalhes no item 3.4 deste capítulo).

Portanto, a interpretação de imagens pode ser entendida, de um modo mais abrangente, como a utilização de sistemas, técnicas ou processos para a análise de imagens, que permite a técnicos e cientistas capacitados pela sua experiência individual, produzirem informações significativas, confiáveis e detalhadas a respeito das características naturais e culturais de uma dada área imageada, bem como determinarem ou inferirem os fatores que determinam a presença dessas características.

Assim sendo, o objetivo geral da interpretação de imagens, é a obtenção de informações sobre a natureza e/ou sobre as propriedades dos objetos registrados na imagem fotográfica, as quais são extraídas de tal maneira que possam ser utilizadas como um subsídio para a tomada de decisões lógicas, a respeito dos objetos representados em uma imagem.

A definição das técnicas envolvidas na interpretação de imagens foi proposta, inicialmente, por Leuder em 1959. Pelo fato de a classificação ter sido feita quando as imagens se restringiam a fotografias aéreas, ficou convencionada à utilização do termo fotointerpretação.

A classificação de Leuder considera três estágios da fotointerpretação, que são geralmente designados, dos mais simples para os mais complexos, como fotoidentificação (ou fotoleitura), fotoanálise e fotointerpretação, propriamente dita. Alguns autores reconhecem as três técnicas de fotointerpretação, enquanto outros preferem considerá-las como fases ou estágios de desenvolvimento de uma mesma técnica, a qual assume uma maior ou menor complexidade, de acordo com os propósitos em vista.

As imagens, qualquer que seja o seu processo de formação, representam o registro de energia proveniente dos objetos da superfície, podendo ser apresentadas em diferentes resoluções e escalas. Independente disto, elas se caracterizam por apresentar os elementos básicos da interpretação, o que permite a extração de informações do terreno.

O número dos elementos utilizados no reconhecimento de padrões não é fixo, podendo variar de autor para autor. No entanto, alguns são mais utilizados, facilitando um certo consenso na sua utilização.

As imagens coloridas permitem que os objetos sejam diferenciados através de variações na cor. Em imagens preto e branco essas diferenciações são feitas através de variações de tonalidade ou nível de cinza. Entretanto, a cor e a tonalidade não são os únicos atributos de um objeto e nem todos se distinguem apenas pela cor. Um campo de cultivo e uma pastagem podem apresentar uma mesma cor, quando observados em imagens obtidas por sistemas sensores. Nessas circunstâncias, outros aspectos deverão ser considerados na identificação dos objetos. Além disto, a cor ou a tonalidade (como representativas de seu comportamento espectral) estão sujeitas a variações em função das condições ambientais e da aquisição dos dados.

Outro aspecto importante na identificação através de suas cores é conhecer o produto utilizado e o comportamento espectral dos objetos de interesse. Portanto, a cor ou a tonalidade é função não apenas das propriedades do objeto, mas também das características do produto sob análise.

As imagens não oferecem, porém, informações apenas sobre cor e/ou tonalidade dos objetos. Pode-se, também, observar sua dimensão, sendo que na avaliação das dimensões como elemento de identificação, deve-se levar em conta a escala da imagem que está sendo analisada.

Nas situações em que nem a cor/tonalidade nem o tamanho permitem a discriminação de objetos há a possibilidade de avaliar sua forma. As estradas e os campos com solos preparados para cultivo apresentam a mesma tonalidade, mas apresentam tamanho e forma diferentes. Os campos são areolares, as estradas são lineares. É importante considerar que a forma de um objeto observado a partir de uma perspectiva vertical é diferente em relação à observação horizontal. Assim, a habilidade para compreender e reformatar um objeto a partir de sua visão do espaço em um plano deve ser desenvolvida.

Outro elemento para identificação de objetos nas imagens é a textura, que pode ser definida como a variação de tonalidades ou cores em função da presença de objetos muito pequenos para serem percebidos individualmente. A textura oferece a impressão visual de rugosidade ou lisura de determinada porção da imagem, constituindo-se num elemento fundamental para a identificação de objetos. Em imagens orbitais, essa característica permite diferenciar, em alguns casos, áreas de reflorestamento de áreas de florestas naturais. As áreas de reflorestamento, por possuírem uma vegetação homogênea no tocante ao espaçamento, altura dos indivíduos e idade, apresentam geralmente, textura mais lisa que as florestas naturais.

Os objetos organizados numa cena também originam padrões que auxiliam na sua identificação. Em Geografia, os padrões espaciais de arruamento de uma cidade podem ser indicadores, por exemplo, do nível sócio-econômico de seus habitantes. Em S. Paulo, pode-se classificar os bairros em termos de qualidade de vida de seus habitantes a partir do padrão de casas, ou seja, da repetição de casas unitárias, jardins, arborização de ruas, etc.

As sombras também podem auxiliar na identificação de certos objetos, da mesma forma que podem obscurecer a visualização de outros. Através da sombra pode-se ter informação da

forma dos objetos. Além disso, elas podem aumentar o contraste de um objeto em relação a seu "*background*", favorecendo a sua identificação.

Outro elemento importante para a identificação dos objetos é a sua localização. Em regiões montanhosas, a diferenciação de vegetação pode ser feita a partir de sua localização topográfica.

Finalmente, o contexto ou a associação entre objetos é outro elemento útil para sua identificação em imagens de Sensoriamento Remoto. O indivíduo poderá ter dificuldades, por exemplo, de identificar a mancha urbanizada em uma imagem de satélites, se ela estiver localizada numa região de intenso uso agrícola. Entretanto, se ele procurar identificar elementos associados à presença de cidades, terá sua tarefa facilitada. Em geral, as cidades têm seu acesso através de estradas; dessa maneira, ao contrário das parcelas agrícolas, sua ocorrência estará associada a um sistema de linhas convergentes, formadas pelas ligações intermunicipais.

A complexidade da análise de informações através de tais técnicas aumentou consideravelmente com o advento de sensores com capacidade de coletar simultaneamente imagens em diferentes regiões do espectro. A quantidade de informações que passou a ser processada visualmente em imagens multiespectrais de uma cena é muito grande. O binômio olho-cérebro precisa, objetivamente, comparar o "aspecto visual" de um objeto em diversas regiões do espectro, para atribuir-lhe certo significado. Conseqüentemente, com o aumento do número de faixas espectrais disponíveis sobre uma mesma cena, as técnicas de inspeção visual tornaram-se insuficientes para processar todos os dados contidos nas imagens a serem analisadas.

3.3. Análise quantitativa de imagens multiespectrais

A análise quantitativa de imagens multiespectrais foi desenvolvida a partir do advento dos computadores, sendo a classificação automática uma ferramenta para sua

consecução. A identificação de feições em Sensoriamento Remoto, através de interpretação visual, é efetiva para os aspectos globais geométricos e avaliação geral dos tipos de cobertura da terra (uso da terra). No entanto, sua aplicação apresenta-se impraticável a nível de *pixel*, a não ser quando apenas seu conjunto seja de interesse e quando não haja necessidade de determinações acuradas de estimativa da área ocupada por um tipo particular de cobertura da terra. Se, por um lado, a análise simultânea de um conjunto de bandas é bastante limitada na interpretação visual, o que é agravado pelo fato do intérprete humano ser incapaz de discriminar toda a extensão da resolução radiométrica disponível, por outro, através da análise computacional pode ser possível examinar plenamente o aspecto multidimensional dos dados e sua resolução radiométrica.

A interpretação dos dados de Sensoriamento Remoto, via computador, em virtude de suas propriedades numéricas, em função de sua habilidade de identificá-los e a sua capacidade de calcular o número de *pixels* que ocupam uma dada área considerada homogênea é chamada análise quantitativa. Os sistemas disponíveis para a implementação de técnicas de análise quantitativa e os *softwares* utilizados em computadores comerciais, complementam os processos totalmente interativos de processamento de imagens por computador. Em alguns casos, os processos de análise quantitativa são baseados na classificação de imagens, método pelo qual um *pixel* é alocado a uma determinada legenda (classe) com base nas suas características espectrais. A categorização (legenda) geralmente é feita a partir de um treinamento inicial que é pré-requisito para o conhecimento dos *pixels* com similaridades espectrais. A abordagem é conhecida como classificação supervisionada.

Segundo Bolstad(1992), a classificação supervisionada *pixel a pixel*,

“com regra de decisão baseada em Máxima Verossimilhança espectral é uma das técnicas mais comumente aplicadas devido em parte à base teórica bem desenvolvida, à facilidade de aplicação e à utilidade demonstrada.

Infelizmente, quando usadas com imagens de satélite, essas tecnologias frequentemente fornecem resultados com precisão inaceitável para muitas aplicações. Por exemplo as instituições de gerenciamento de florestas que frequentemente necessitam de classificação de cobertura da terra no nível II/III de Anderson et. al. (1976), com o mínimo de 95% dessa exigência, enquanto a das classificações dos dados de satélite costumam ser bem menores que esse mínimo”.

O resultado da classificação de dados multiespectrais pode ser melhorado ao se integrá-los com outros espaciais e não-espaciais. Mas *“não é simples realizar essa integração com a tecnologia atual”*, Bolstad(1992). Em busca de soluções que possam fornecer melhores resultados na classificação, diversos trabalhos vêm sendo realizados, entre os quais muitos procuram realizar uma interpretação de imagens por computador, ou seja utilizam técnicas de inteligência artificial para melhorar a classificação de cobertura da terra através de compreensão de cena.

Taylor (1986) afirma que os métodos de classificação supervisionada baseada na análise dos atributos espectrais de cada *pixel* são adequados só para aplicações restritas. E acrescenta que, se comparados aos diversos tipos de informações adicionais utilizadas por um intérprete treinado, suas limitações são muitas, tais como:

- textura e forma;
- informação contextual, por exemplo as inter-relações entre *pixels* e ou regiões;
- informação topográfica, por exemplo a altitude de uma região;
- informação temporal, por exemplo uma classificação anterior da região.

Em razão dessa característica, o mesmo autor afirma que a incorporação de informações no processo de sua extração pode ser realizado de forma mais eficaz através do uso de

conhecimento, tanto para “compreensão” de imagens por computador (image understanding), quanto para segmentar a cena e extrair feições com o uso de conhecimento externo. Entretanto, em processos de atualização de informações cartográficas extraídas de imagens de Sensoriamento Remoto, o conhecimento a respeito de entidades naturais presentes em determinada cena, bem como suas possíveis relações espaciais, é vital para a atividade de interpretação imagens. Portanto, fundamental no desenvolvimento de sistemas de “interpretação” ou “compreensão” de imagens por computador.

3.3.1. Análise de imagens por computador

Um dos primeiros sistemas para análise de imagens, da superfície da Terra, por computador (image understanding) que se tem notícia é discutido na obra "A Structural Analysis of Complex Aerial Photographs" de Nagao e Matsuyama, os quais realizaram uma interpretação pela análise estrutural de fotografias aéreas, utilizando técnicas sofisticadas de Inteligência Artificial. A arquitetura de *software* adotada é o Sistema de Produção (maiores detalhes no item 3.3), sendo configurado como um sistema distribuído, ou seja, possui subsistemas de detecção de objetos que são considerados módulos independentes do sistema, no qual foi utilizada a estrutura de "Quadro-Negro" para permitir que os dados estivessem disponíveis para todos os subsistemas de detecção de objetos.

Goldberg et. al. (1982) propuseram um sistema de monitoramento e detecção de alterações baseado em regras, o qual utilizou uma rede de sistemas especialistas, cujos processadores independentes formam algo semelhante a um comitê anárquico que se contrapõe a estrutura hierárquica tradicional. O esquema apresenta-se semelhante ao de Nagao e Matsuyama (1980).

Também interessados na aplicação de Inteligência Artificial em extração de informações, Mckeown Jr. e Denlinger (1984) defenderam a utilização de “conhecimento”

na análise de fotografias aéreas, propondo um sistema que incorpora uma base de dados que contém informações de mapas comparados à imagem segmentada na análise das fotografias.

Mas, a aplicação das técnicas de Inteligência Artificial nos processos de extração de informações dependem de uma boa compreensão do conhecimento envolvido nos processos de tomadas de decisão realizadas em uma interpretação de imagens, e conseqüentemente, dos elementos mensuráveis e representativos do universo de interesse. Nesse sentido, Mulder (1985), ao discorrer sobre os processos de tomada de decisão, estabeleceu uma ligação com a classificação de imagens, em que o elemento comum é a regra de decisão, de maneira que essas pudessem representar, em ambos os casos, o conhecimento de especialistas sobre algum aspecto da realidade. Essa competência pressupõe uma fase de aprendizado concretizado na inferência de regras. Para tanto, é necessário recorrer a uma visão do mundo que esteja relacionada com os sensores disponíveis, os quais em conjunto com outras fontes, fornecem uma quantidade tão grande de dados, exigindo uma filtragem baseada no modelo do universo tratado, a qual costuma ser denominada de extração de atributos. O autor avalia ainda que regras de decisão aplicadas por um sistema de interpretação são capazes de realizar uma classificação, ou seja, de transformar os dados ou símbolos em dados nominais. A extração de atributos é vital nessa proposta, para que se eliminem redundâncias. Em decorrência, a base de dados extraída do universo mensurável apresenta a seguinte constituição:-

- mapas temáticos,
- atributos espaciais,
- atributos espectrais e
- atributos temporais;

os quais devem ser usados com parcimônia para se evitarem enganos na classificação, porém, não omitindo, quando possível, nenhum desses itens, pois garantem uma decisão mais bem fundamentada.

Procurando explorar o potencial do universo mensurável colocado por Mulder(1985), pode-se citar alguns trabalhos cuja abordagem inclui o uso de Inteligência Artificial. Srinivasan and Richards (1990), por exemplo, defenderam o uso de técnicas de classificação de dados de diversas fontes, baseadas em conhecimento. Descreveram meios de tratar incerteza para realizar tomadas de decisão que incorporassem evidência extraída de diferentes fontes de dados.

Rosenfeld (1986) apresenta discussões de alguns pesquisadores a respeito de sistemas de visão, mais especificamente sobre sistemas de visão especialista. As questões colocadas para discussão continuam importantes até os dias de hoje.

A primeira delas refere-se à ineficiência de sistemas de visão especialista, que poderiam ser substituídos por sistemas que não possuem conhecimento explícito sobre sua aplicação, mas com melhor performance. O referido autor rebate colocando que esse tipo de sistema cujo conhecimento não é explícito possui flexibilidade mais limitada, e além disso, sua habilidade de avaliar sua própria performance, e assim, aprimorá-la é limitada. Acrescentam que, apesar do custo computacional do uso de sistemas especialistas ser maior, esses diminuem muito rápido, sendo que o resultado final torna-se mais importante que o custo computacional. Se por um lado os aplicativos para desenvolvimento de sistemas especialistas disponíveis para aquisição podem ser usados para representar o conhecimento de imagem, por outro não há nada de especial quanto ao conhecimento sobre o espaço. Contra tais colocações argumentam que *“muitos aspectos do conhecimento sobre o espaço, por exemplo restrições nas formas da terra onde várias entidades naturais podem ocorrer e ou nas relações espaciais entre entidades, são muito difíceis de*

verbalizar, e portanto, difíceis de expressar em uma linguagem” , e conclui que *“é necessário uma teoria sobre o espaço”*.

Em defesa do uso da abordagem de sistemas especialistas para extração de informações das imagens de Sensoriamento Remoto, Estes et al. (1986) colocam que as *“tarefas da interpretação de imagens tanto pelo homem quanto pelo computador são similares: detecção, identificação (classificação), obtenção de medidas, e solução de problemas”*. E concluem que o potencial oferecido pelas técnicas baseadas em IA poderiam tornar os produtos de Sensoriamento Remoto gerados por computadores mais aceitáveis .

JENSEN (1990) mostrou um sistema que realiza classificação de áreas urbanas. O classificador, baseado em regras, utiliza informações de contexto e de textura extraídos de imagens TM-Landsat. A *“classificação contextual”* proposta por tal autor trata-se de uma abordagem baseada em um sistema especialista que se utiliza de conhecimento sobre *“contexto”*, além de realizar uma segmentação da cena, analisada através de uma busca por áreas, cuja textura seja homogênea. Para implementar o classificador contextual foi desenvolvido um sistema especialista, implementado com a linguagem PROLOG, que escolhe suas buscas heurísticamente. Segundo JENSEN (1990) *“contexto pode ser incorporado através de um modelo da cena que descreva as conexões esperadas entre os diferentes elementos na cena”*, sendo que essa incorporação *“ênfatiza a necessidade de expressar o conhecimento a priori dos objetos de interesse de uma maneira heurística”*.

MEISEL (1972) apud JENSEN (1990) descreve a abordagem heurística comparando-a com a tradicional: *“a abordagem heurística permite a utilização do conhecimento da aplicação particular em questão para minimizar a amostragem e melhorar a precisão. ... A abordagem heurística define claramente as feições e, ao invés de usar amostras rotuladas para derivar as superfícies de decisão, descreve, a partir do*

conhecimento do problema, as equações e os esquemas lógicos exatos das regras de decisão". Sobre a utilização da linguagem PROLOG, JENSEN (1990) explica que é adequada para o "desenvolvimento de programas de processamento de imagens nos quais seja preciso representar conhecimento e máquina de inferência como no caso de sistemas especialistas. Além disso, PROLOG é adequado para prototipagem, isto é, novas idéias são rapidamente implementadas e avaliadas".

Alguns outros trabalhos têm investigado as aplicações das técnicas de Inteligência Artificial na extração de informações de imagens associadas com procedimentos mais tradicionais de processamento digital de imagens.

Nazif and Levine (1984) usaram um sistema especialista para segmentação de imagens, o qual aplica diversos algoritmos de segmentação na mesma cena, e em seguida usa um outro, especialista, para extrair uma segmentação do conjunto. Baseia-se em regras que realizam a junção ou separação das regiões segundo critérios de similaridade e proximidade.

Newton et al. (1994), investigando o problema da atualização de alterações de florestas em imagens de sensoriamento remoto, testaram algumas técnicas de detecção de alterações, procurando identificar entre quatro estágios de alteração da floresta: aparecimento, crescimento, senescência, desaparecimento. Para tanto, propõem o uso de regras baseadas no conhecimento a respeito de práticas de manejo para realizar tal identificação, devido à facilidade na sua implementação.

Goldberg et. al. (1985) realizaram a interpretação de imagens, organizando hierarquicamente um sistema especialista com abordagem em evidências, a qual de acordo com Bolstad (1992), fundamenta-se na obtenção de medidas de evidência que dêem suporte a uma hipótese alternativa. O sistema especialista desenvolvido utiliza um outro de

processamento digital de imagens para realizar as operações de baixo nível, com o objetivo de atualizar mapas de florestas no Canadá.

Com a preocupação em fornecer mais subsídios para o estudo de classificação de cobertura da terra através da integração de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, Bolstad (1992) implementou e testou um classificador baseado em regras. Para tanto utilizou uma abordagem baseada no conceito de modelo de classificação. Segundo esse autor *“Modelo de classificação é definido como uma sequência automática de operações aplicadas em uma imagem e outros dados, as quais resultam na classificação de cobertura da terra. Modelos de classificação podem ser considerados análogos a modelos cartográficos definidos para sistemas de informações geográficas”*.

Wang and Newkirk (1987) apresentaram um sistema de detecção de alterações em dados adquiridos por sensores remotos, o qual se baseia em conhecimento que permite a aplicação de algoritmos de análise digital de imagens de forma automática.

Cleynenbreugel (1988) utilizou conhecimento de baixo nível para alimentar seu sistema de interpretação de imagens. Nesse trabalho, foram apresentados dois estudos de caso, ambos sobre a extração e interpretação de feições lineares.

A fim de explorar melhor o potencial dos diversos sistemas sensores que vem sendo colocados em funcionamento, também realiza-se pesquisa em aplicações de Inteligência Artificial em extração de informações de dados multisensores.

Algumas investigações das aplicações de Inteligência Artificial na extração de informações de imagens multiespectrais propõem o uso de parâmetros que permitam simular os processos de tomada de decisão baseados na maior ou menor confiança do intérprete nas evidências encontradas no conjunto de dados. Seguindo essa corrente, WILKINSON and MÉGIER (1990) defendem o uso de evidência na classificação de *pixels*,

ao mesmo tempo descrevem algumas medidas de confiança utilizadas por classificadores de dados multiespectrais.

No entanto, as aplicações da abordagem de extração de informações de imagens do mundo real, baseadas em conhecimento, também têm sido investigada para finalidades diferentes das tratadas no presente trabalho. Por exemplo, Morton and Popham (1987), utilizaram conhecimento sobre visão para descrever cenas horizontais que apresentavam uma visão de mundo semelhante ao que se observa no cotidiano.

Diferentes informações do mundo real extraídas de imagens multiespectrais através de abordagens baseadas em conhecimento que vem se realizando mostram a viabilidade de sua aplicação para diversos temas. Por exemplo, Middelkoop et. al. (1989) apresentaram uma aplicação de engenharia do conhecimento em interpretação e classificação de imagens em um estudo de caso através do qual se procurou demonstrar a integração de técnicas de engenharia de conhecimento para mapeamento de solos a partir de imagens "SPOT".

Kontoes et. al. (1993), adotaram uma abordagem cujas informações adicionais disponíveis no sistema de informações geográficas são usadas *"em um processo de pós classificação, isto é, para o refinamento das classes que foram obtidas inicialmente a partir da imagem. Isso se faz pela combinação da imagem classificada com novas classes de evidência provindas das regras que são disparadas pela máquina de inferência ao instanciar as informações de contexto"*.

Assim, as técnicas de Inteligência Artificial e sistemas especialistas vêm demonstrando sua utilidade na criação de classificadores de imagens de Sensoriamento Remoto, integradas com outros dados espaciais, bem como com dados não espaciais.

3.4. Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas

Considerando que o presente trabalho prevê o uso de técnicas de Inteligência Artificial (IA), serão discutidos, a seguir, alguns dos aspectos mais relevantes dessa área do conhecimento.

Sua história tem início com os primeiros passos da construção dos sistemas lógicos que constituem uma das bases do sucesso da Informática. Ao término da Segunda Guerra Mundial, grupos independentes de cientistas ingleses e norte-americanos trabalhavam para desenvolver o que hoje se chamaria computador. O principal cientista britânico, Alan Turing, argumentava que tal máquina, uma vez desenvolvida para fins gerais, teria muitos usos diferentes. Refletindo o seu conhecimento na lógica formal argumentava que as instruções fundamentais dadas a uma máquina deveriam basear-se em operadores lógicos, tais como "e", "ou" e "não", e então, usar tais operadores muito genéricos para montar os operadores numéricos mais especializados, necessários para as operações aritméticas. Além disso, os programas baseados em operadores lógicos, seriam capazes de manipular qualquer tipo de material simbólico com que se quisesse trabalhar, incluindo afirmações em linguagem ordinária.

Desde então, os computadores desenvolveram-se muito, tendo logrado êxito enquanto “processadores numéricos”. Não obstante esse fato, um pequeno grupo de cientistas continuou a explorar a capacidade dos computadores manipularem símbolos não numéricos. Simultaneamente, psicólogos interessados na resolução de problemas pelo homem buscavam desenvolver programas de computador que simulassem o comportamento humano. Durante anos, indivíduos interessados tanto no “processamento simbólico”, como na resolução de problemas numéricos pelo homem, formaram essa subdivisão da Informática que se denomina Inteligência Artificial (IA). Os pesquisadores em IA preocupam-se em

desenvolver sistemas de computador que produzam resultados que normalmente se associariam à inteligência humana.

Não existe uma característica única através da qual se possa distinguir um sistema de IA de um convencional. De acordo com Estes et al. (1986) *“há um conjunto de características que tipificam uma abordagem de IA, mas as técnicas de IA podem ser facilmente integradas às procedurais. Então, existem infinitas classes de programas mais ou menos orientados em IA”*. Algumas das maiores diferenças entre os programas de IA e os convencionais estão apresentados no quadro 3.1.

Quadro 3.1: Comparação entre programas típicos em IA e convencionais

Programas IA	Programas convencionais
Heurísticos	Algorítmicos
Modulares com fontes autônomas de conhecimento	Conhecimento intrínseco na estrutura de controle do programa
Conhecimento flexível	Conhecimento armazenado inflexível
Simbólico	Numérico
Programação de estados	Programação sequencial

fonte: Estes et al. (1986)

adaptação: IMAI, N. N.

À medida que a pesquisa em IA progrediu e técnicas para tratar de quantidades maiores de conhecimento foram desenvolvidas, conseguiu-se certo progresso em diversas áreas, incluindo a percepção (visão e fala), compreensão de linguagem natural e resolução de problemas em domínios especializados, como a diagnose médica e análise química.

A percepção do mundo ao nosso redor é essencial para nossa sobrevivência. Animais com muito menos inteligência do que as pessoas, possuem percepção visual mais sofisticadas do que as máquinas atuais. Os esforços iniciais para a percepção visual simples e estática levaram a duas direções: uma no sentido do reconhecimento dos padrões estatísticos e outra no sentido de sistemas de compreensão de imagens mais flexíveis e, conseqüentemente, de análise mais complexa. Por causa das diferenças na flexibilidade

dessas duas abordagens, apenas essa última é tipicamente enquadrada dentro da abrangência da Inteligência Artificial.

Para Rich (1988), um dos poucos resultados concretos obtidos nos primeiros vinte anos da pesquisa de IA é o fato de que a atividade mental se exerce sobre um determinado conhecimento. Para compensar sua característica predominante, a indispensabilidade, o conhecimento também possui algumas propriedades menos desejáveis, incluindo:

- denso volume;
- dificuldade de caracterização precisa;
- a constante mutação.

Em decorrência, conclui que a técnica de explorar o conhecimento a ser representado deve ser capaz de:

- *"capturar generalizações, ou seja, não é necessário que ele represente separadamente cada situação individual, ao contrário, situações que partilhem propriedades importantes deverão ser agrupadas. Se o conhecimento não tiver essa propriedade, será necessário mais memória do que se dispõe para representá-lo, e mais tempo do que se tem para mantê-lo atualizado;*
- *ser compreendido por pessoas que necessitam supri-lo. Embora para muitos programas a maior parte dos dados possa ser adquirida automaticamente (por exemplo, tirar leituras de uma variedade de instrumentos) em muitos domínios de IA, a maioria dos conhecimentos que o programa possui terá, em última instância, de ser fornecido por pessoas em termos acessíveis;*
- *ser facilmente modificado para corrigir erros e para refletir mudanças no mundo e em nossa visão de mundo;*

- *ser utilizado em muitas situações, mesmo quando não totalmente preciso ou completo;*
- *ser utilizado para superar seu próprio volume, ao ajudar a estreitar a faixa de possibilidades que deverá normalmente ser considerada".*

Segundo Harmon et. al. (1988), a IA pode ser subdividida em três áreas de pesquisa relativamente independentes. A primeira delas é a compreensão ou processamento de linguagem natural; a segunda é aquela que se dedica ao desenvolvimento de robôs inteligentes; um terceiro ramo da pesquisa em IA ocupa-se em desenvolver programas que constituem os chamados sistemas especialistas ou cognitivos já que usam o conhecimento simbólico para simular o processo de análise empregado pelos especialistas humanos.

O professor Edward Feigenbaum, da Universidade de Stanford, um dos principais pesquisadores em sistemas especialistas, definiu-os como:

"... um programa inteligente de computador que usa conhecimento e procedimentos inferenciais, para resolver problemas que são difíceis o suficiente para requererem, na sua solução, muita perícia humana. O conhecimento necessário para atuar a esse nível, mais os procedimentos inferenciais empregados, podem ser considerados como um modelo da perícia dos melhores profissionais do ramo.

O conhecimento de um sistema especialista consiste em "fatos" e "heurísticas". Os "fatos" constituem um corpo de informações que são largamente compartilhados, publicamente disponíveis e geralmente aceitos pelos especialistas em um campo. As heurísticas são em sua maioria privadas, regras pouco discutidas de bom discernimento (regras do raciocínio plausível, regras da boa conjectura), que caracterizam a tomada de decisão a nível de especialista na área. O nível de desempenho de um sistema

especialista é função principalmente do tamanho e da qualidade do banco de conhecimento que possui", Harmon and King (1988).

Portanto, sistemas especialistas são concebidos de maneira a usarem conhecimento e estratégias inferenciais, procurando imitar o comportamento do especialista.

Para que um programa funcione como um especialista humano, este deve ser capaz de realizar as operações mentais que este comumente faz. Por exemplo, os especialistas consultam outros para ajudá-los a resolver problemas. Assim, a maioria dos sistemas cognitivos propõem questões, explicam seu raciocínio quando perguntado e justificam suas conclusões. Além disso, fazem-no normalmente, em linguagem que o usuário possa entender facilmente. Em outras palavras, os sistemas especialistas interagem com um usuário quase da mesma maneira que um consultor humano.

Portanto, funcionam como programas de computador de intenso conhecimento. Empregam regras práticas, ou heurísticas, para se concentrarem nos aspectos chave de problemas particulares e manipulam descrições simbólicas, a fim de discorrer sobre o conhecimento que lhes é fornecido. Com frequência, examinam simultaneamente um número de hipóteses contrárias, oferecendo recomendações experimentais ou atribuindo pesos às alternativas. Os melhores sistemas especialistas podem resolver problemas difíceis, em um domínio muito restrito, tão bem ou melhor que os especialistas humanos.

Tudo isso não significa que, na maioria dos casos, os sistemas especialistas de hoje sejam tão bons como os especialistas humanos. A tecnologia é ainda recente para que possa ser aplicada a problemas comerciais difíceis. Os sistemas cognitivos atuais estão confinados a tarefas muito circunscritas. Não sabem raciocinar a partir de axiomas ou teorias gerais; não aprendem e, por isso, ficam limitados ao uso de fatos ou heurísticas específicas, que lhes foram "ensinados" pelo especialista humano; não possuem senso comum; não podem

raciocinar por analogia e seu desempenho piora rapidamente quando os problemas ultrapassam a tarefa restrita para as quais foram projetados.

Para descrever como os seres humanos processam a informação simbólica, os pesquisadores da IA criaram uma "linguagem de programação" chamada **sistema de produção**, o qual consta de duas partes: (1) as regras de produção ou proposições "se-então" e (2) uma memória de trabalho. Em outras palavras, uma produção é uma instrução a um processador "reconhecer-agir". As regras de produção (ou simplesmente produções) aplicam-se à "memória de trabalho". Se tiverem êxito, contribuirão com alguma nova informação para a "memória".

O sistema de produção oferece um modelo do pensamento humano extremamente poderoso por ser discreto, simples e flexível. O seu êxito em criar programas que modelam o comportamento humano leva os pesquisadores em IA a concentrarem a atenção no papel que as regras "se-então" desempenham no conhecimento.

O conhecimento pode ser classificado de diversas maneiras. Na figura 3.1 apresenta-se uma classificação geral do conhecimento. A seta horizontal descreve uma dimensão que indica o conhecimento compilado que um indivíduo adquiriu. Por conhecimento compilado entende-se a informação que foi organizada, indexada e armazenada de tal maneira que o acesso a ela é fácil, sendo utilizável de imediato para a resolução de problemas. Partes significativas do conhecimento são armazenadas e recuperadas como unidades funcionais.

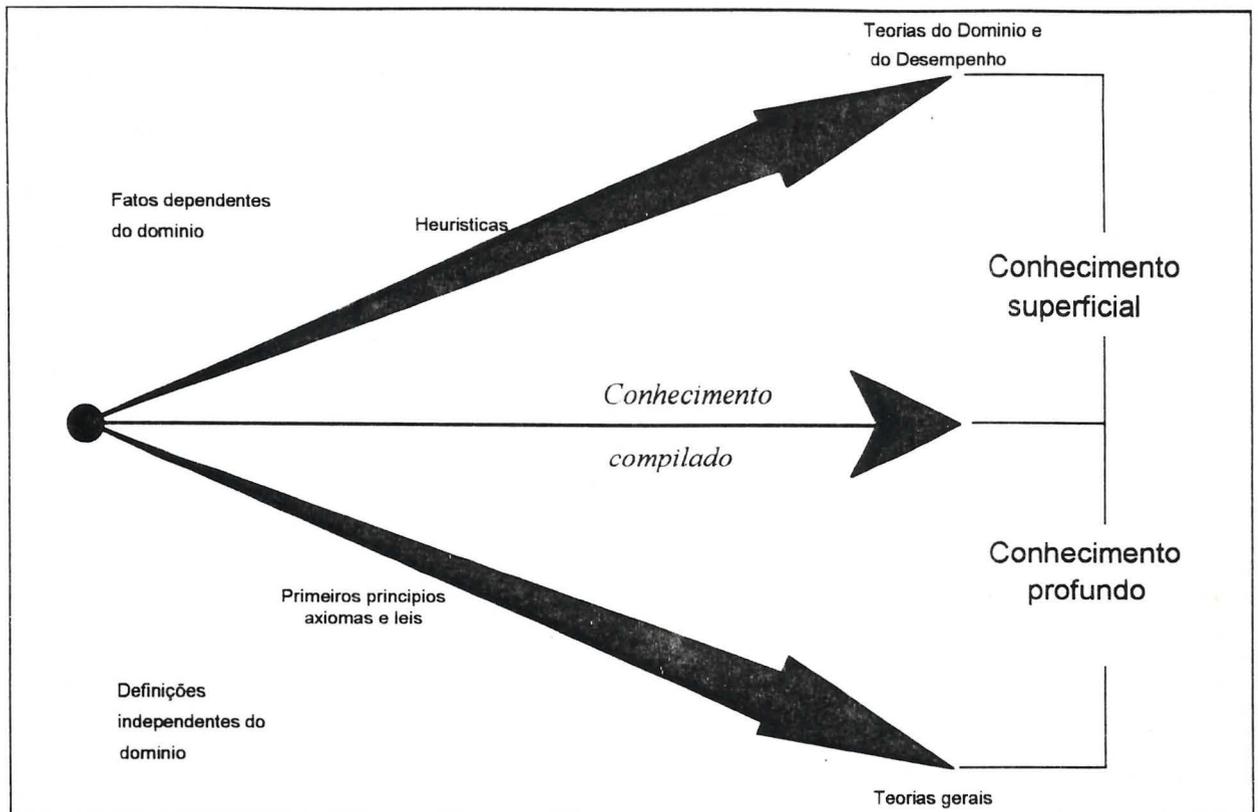


Figura 3.1: Tipos de conhecimento.

fonte: Harmon and King (1988)

O processo de compilação ocorre de duas formas complementares. Primeiro, podem-se estudar os tópicos formalmente como em uma escola. Como resultado de tal estudo, o conhecimento é agrupado em forma de definições, axiomas e leis.

Uma segunda maneira de como se pode compilar o conhecimento é por meio da experiência ou pelo aprendizado com um mentor. Neste caso, os resultados são diferentes. Os fatos de domínio específico aprendem-se primeiro. A experiência, ou um mentor, usualmente ensina o aluno a confiar em regras práticas para executar tarefas ou resolver problemas.

O conhecimento compilado da experiência resulta em heurísticas, regras práticas, que podam os espaços de busca para dimensões controláveis e tendem a concentrar a atenção em algumas configurações chave.

O conhecimento heurístico compilado, isto é, a experiência que é bem organizada e indexada na memória permanente, dá a percepção necessária quando enfrenta e resolve numerosos problemas diários. A forma do conhecimento é simples e a sua força advém de toda a experiência que resume. O conhecimento é representado facilmente como uma regra de produção. Ao codificar e observar características do problema, tais produções são relembradas e permitem construir planos e soluções.

Há muitas variedades de comportamento humano de resolução de problemas. Uma delas ocorre quando se enfrenta um problema novo e pouco familiar, dando origem a um processo de experimentação. Usa-se uma abordagem diferente quando se encontram problemas sobre os quais se sabe muito. Nesse caso, reúnem-se sistematicamente informações pertinentes, constroem-se protótipos de solução, ignoram-se muitos detalhes descabidos e revêem-se as hipóteses à luz das restrições. Assim, o estudo das habilidades em resolver problemas complexos transforma-se em uma questão de determinar o conhecimento que é necessário, a fim de poder reduzir a abrangência de um problema mal formalizado a dimensões mais controláveis (maiores detalhes em: Harmon and King (1988); Rich (1988); and Harmon et. al. (1988)).

A possibilidade de formalizar e codificar conhecimento de especialistas, a partir das técnicas que foram relatadas, fazem delas ferramentas de grande potencial para atuar nos processos de extração de informações. Tanto é que muitos pesquisadores vêm se dedicando ao desenvolvimento de interpretadores computacionais. Além disso, o uso de conhecimento implica a formalização de estruturas de informações que podem ser adequadamente relacionadas à estrutura de bases de dados espaciais, de maneira que se possa prever o comportamento das entidades do mundo real, avaliadas a partir de uma descrição da cena na qual o conhecimento dos objetos de interesse e suas relações estejam disponíveis. Tais estruturas de informação comportamentais são adequadas para avaliações de mudanças

ocorridas no meio, ou seja, constituem-se em instrumento de grande potencial nos processos de atualização de informações espaciais que sejam executados com apoio de computadores. Além disso, informações adicionais, tanto aquelas de caráter espacial quanto as não espaciais, podem ser facilmente incorporadas e utilizadas em uma abordagem que use as técnicas de Inteligência Artificial e sistemas especialistas. E finalmente, o espaço de busca por uma solução lógica pode ser reduzido a partir da realização de busca heurística, que em geral deve diminuir o tempo de processamento. A abordagem heurística é, portanto, uma característica de valor dos sistemas baseados em conhecimento.

Para Estes et al. (1986) *“uma área da IA que parece possuir potencial significativo para aplicação em Sensoriamento Remoto é aquela dos sistemas especialistas”*. Aqueles, humanos, distinguem-se, freqüentemente, por possuírem conhecimento amplo sobre um domínio específico. Essa competência torna possível desenvolver sistemas especialistas com programas de computador. Os autores consideram que os *“programas de classificação tendem a ser os mais simples e de maior potencial de sucesso da aplicação de sistemas especialistas para tarefas do Sensoriamento Remoto”*. Baseiam-se no fato de que os especialistas humanos fazem muito mais que resolver problemas, pois suas atividades são caracterizadas por um vasto leque de comportamentos que tornam a solução do problema mais evidente. Além disso, *“especialistas também explicam os resultados, aprendem e reestruturam seu conhecimento, ao mesmo tempo que determinam a importância relativa de diferentes elementos em uma dada situação”*.

Um sistema especialista em atualização cartográfica

4.1. Introdução

Neste capítulo, apresentar-se-ão os meios usados na criação de um protótipo de sistema especialista em atualização cartográfica, o qual realiza a tarefa de extrair informações de imagens multiespectrais, através do uso do conhecimento de intérpretes desses produtos, ou seja, um sistema baseado em compreensão ou interpretação de imagens. Uma representação da proposta é apresentada em seguida.

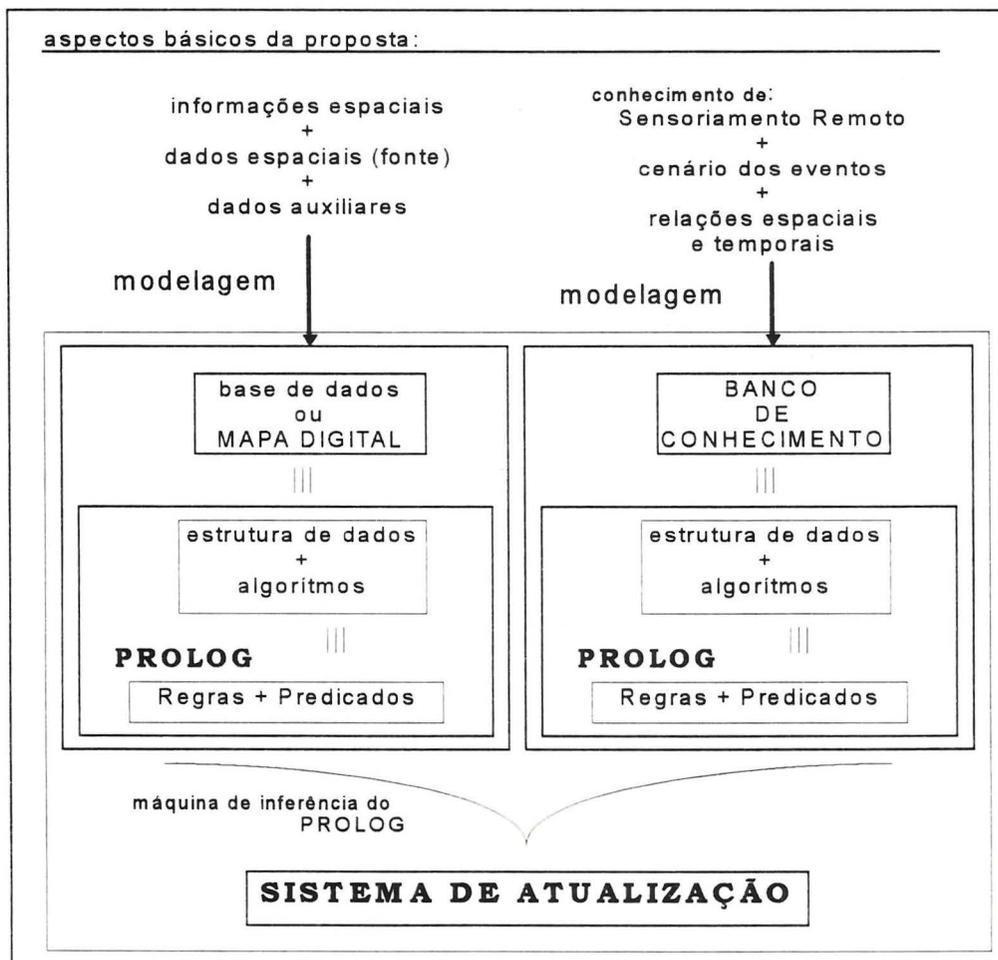


Figura 4.1: Representação esquemática do sistema de atualização de informações espaciais proposto IMAI, N. N.

Uma linguagem computacional que permita codificar uma base de dados espaciais e não espaciais, bem como o conhecimento do intérprete de imagens multiespectrais representa a primeira necessidade na criação de tal sistema. Para tanto adotou-se, neste trabalho, o PROLOG por se tratar de uma linguagem adequada para fins relacionados com inteligência artificial e sistemas cognitivos.

4.2. Linguagem de programação para inteligência artificial

A programação em Inteligência Artificial tem como base fundamental os operadores lógicos que, por sua vez, utilizam a lógica simbólica. Nesse sentido, é necessário que se utilize uma linguagem simbólica artificial através da qual possam ser expressos os enunciados e raciocínios da linguagem natural.

Desde a Antigüidade, o homem faz uso de uma notação lógica especial. Aristóteles, que fundou a disciplina de lógica simbólica, usou certas variáveis para facilitar o seu próprio trabalho.

De acordo com Bratko (1986), *“os símbolos especiais da lógica moderna ajudam-nos a expor, com maior clareza, as estruturas lógicas de proposições e argumentos, cujas formas podem ser obscurecidas pela pouca maleabilidade da linguagem corrente”*.

4.2.1. A linguagem PROLOG

O PROLOG funciona como uma linguagem de programação para computação simbólica e não-numérica que resolve problemas através do uso da lógica e é adequada para objetos e relações entre objetos. Ao contrário das linguagens de programação que operam

“modelos numéricos”, o PROLOG é uma linguagem não imperativa” que trabalha por cálculo sentencial, por meio de um pequeno conjunto de operadores da lógica simbólica^{4.1}.

Decidiu-se pela utilização desse sistema linguístico nos experimentos deste trabalho, em razão de suas características adequadas à implementação de sistemas especialistas, bem como pelas facilidades oferecidas pelo produto denominado ARITY/PROLOG na busca e eliminação de erros de programação. Além disso, a linguagem foi escolhida por ser adequada para criar protótipos, porque novas idéias podem ser implementadas rapidamente para os testes.

Note-se, ainda, que há uma grande semelhança no tratamento dos elementos manipulados tanto por essa ferramenta quanto pelos modelos de dados orientados a objetos. Essa identidade auxiliou, tanto na escolha da linguagem de programação, bem como na maneira de modelar a base de dados espaciais, pois a materialização das estruturas de informação ocorrem de forma mais natural ao se implementar um modelo de dados orientados a objetos em uma linguagem como o PROLOG, o qual realiza uma busca por solução através de:

- tentativa para mostrar que uma premissa é verdadeira, supondo que as relações presentes são verdadeiras;
- procura para encontrar quais são os objetos para os quais as premissas são satisfeitas.

Essa linguagem de programação utiliza um pequeno conjunto de mecanismos básicos, incluindo correspondência de padrões, estrutura de dados baseada em árvore e retorno automático (*backtrack*). Esse pequeno conjunto constitui surpreendentemente um ambiente de programação poderoso e flexível, especialmente adequado para problemas que envolvem objetos, em particular objetos estruturados, bem como suas relações. Por

^{4.1}. Nos sistemas menos “puros” há alguns comandos imperativos como desvio, interrupções, etc, por ex. “*cut*” e “*fail*”.

exemplo, é fácil expressar relações espaciais entre objetos, tais como a esfera azul está atrás da verde. Também é fácil programar uma regra mais geral como:

se objeto X está mais perto do observador que objeto Y,
e Y está mais próximo que Z,
então X está mais próximo que Z.

Bratko (1986) coloca que o

"Prolog aceita fatos e regras como um conjunto de axiomas e as questões como teoremas conjecturados; então tenta provar o teorema, ou seja demonstrar que pode ser logicamente derivado dos axiomas".

um exemplo extraído de sua obra ilustra o mecanismo adotado pelo PROLOG:

Todos homens são falíveis.

Sócrates é um homem.

então: *Sócrates é falível.*

O primeiro axioma pode ser rescrito como:

Para todo X, se X é um homem, então X é falível.

No PROLOG pode ser:

```
falível(X) :- homem(X).           % Todos homens são falíveis
homem(socrates).                  % Sócrates é um homem
?- falível(socrates).             % Sócrates é falível ?
sim
```

Note-se que na implementação, o primeiro predicado é uma regra estabelecida para o universo considerado e o segundo é um fato desse universo. A partir da aplicação da

regra no fato, tem-se a solução. Assim, um programa semelhante consiste de um conjunto de regras e fatos correspondendo à base de conhecimento formalizado do sistema especialista. Quando esse programa é executado, uma meta é avaliada através de lógica dedutiva.

Com a finalidade de oferecer algum subsídio para o leitor, apresentar-se-á uma breve introdução à sintaxe e semântica do PROLOG, juntamente com a representação dos objetos estruturados e uma de suas mais importantes operações, casamento (match), extraída de Bratko (1990).

4.2.2. Noções da linguagem de programação

OBJETOS

O sistema PROLOG reconhece o tipo de um objeto no programa pela sua forma sintática, competência realizável, pois a sintaxe PROLOG especifica diferentes formas para cada tipo de objeto, cujas formas e sintaxe são os seguintes: átomos e números, variáveis e estruturas.

Átomos e números

1. cadeias de letras, algarismos e o caracter ‘_’, iniciando sempre com uma letra minúscula, por exemplo: ana, x25, x_25Ab, x_, x__y, alpha_beta;

2. cadeias de caracteres especiais:

<---->

=====>

...

É necessário algum cuidado para usar átomos desta forma, pois algumas cadeias já possuem significado pré-definido; um exemplo é ‘:-’;

Variáveis

Variáveis são cadeias de letras, algarismos e caracteres ‘_’. Eles iniciam com uma letra maiúscula ou com um caracter ‘_’, por exemplo: X, Resto, Tendencia.

Estruturas

Objetos estruturados, ou simplesmente estruturas, são os que possuem vários componentes, os quais podem, por sua vez, funcionarem como estruturas. Embora estas sejam organizadas de vários componentes, são tratadas no programa como objeto individual. Para combiná-los, em um objeto individual utiliza-se um **functor**. Um exemplo de functor extraído da versão inicial do protótipo deste trabalho é **estagio**. Então o estágio de desenvolvimento florestal reflorestamento jovem, representado pelo átomo **rj**, tem desenvolvimento, **des**, como estágio sucessor e a lista **[equal,greater,greater]** como as tendências esperadas de variação de valores de resposta espectral que ocorre quando o talhão muda de um estágio para outro. A estrutura pode ser escrita como: **estagio(rj,des,[equal,greater,greater])**.

Todos componentes que constituem os argumentos ou atributos da estrutura neste exemplo são constantes (dois átomos e uma lista de átomos), mas também podem ser variáveis ou outras estruturas.

Casamento (matching)

Dados dois termos, diz-se que eles casam (match) se:

1. eles são idênticos, ou
2. as variáveis em ambos termos podem ser instanciadas por objetos de forma que depois da substituição das variáveis por estes objetos os termos tornem-se idênticos. Por exemplo, os termos **estagio(rj,des,[equal,greater,greater])** e **estagio(rj,Edfprev,Ltend)** casam. Uma instanciação que os torna idênticos é:

- Edfprev é instanciado por des;
- Ltend é instanciado por [equal,greater,greater].

Esta instanciação é escrita mais compactadamente em uma forma mais familiar na qual o resultado é:

Edfprev = des

Ltend = [equal,greater,greater].

Por outro lado os termos estagio(rj,des,[equal,greater,greater]) e estagio(des, Edfprev,Ltend) não casam. Quando essa operação se realiza, obtém sucesso, pois o resultado é verdadeiro, se não, é porque a operação falhou, ou seja, o resultado é falso, maiores detalhes são apresentados em Bratko (1990).

Finalmente, a fim de realizar buscas as regras do PROLOG podem ser expressas recursivamente ao ativar um predicado através dele mesmo, de maneira que a inferência deve continuar até a busca terminar. Um exemplo, extraído do protótipo deste trabalho, é apresentado a seguir:

Quadro 4.1: Exemplo do uso da recursividade da linguagem ARITY/PROLOG

```
exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,[ ]).\n\nexame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,[Head|Resto]):-\n  comportamento(Head,Anoant,Ano,Edf,Edfprev,Listatendencias),\n  changedetect(Mapa,Head,Anoant,Ano,Limiar,Listatendencias),\n  exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,Resto).
```

Note-se que o predicado exame_unidade(Mapa, Anoant,Ano,Limiar,[Head|Resto]) instancia primeiro a regra comportamento(Head,Anoant,Ano,Edf,Edfprev,Listatendencias) que foi programada de maneira a fornecer a lista de tendências de variação esperada dos valores de respostas espectrais da unidade de área que estiver instanciada na variável da cabeça da lista de unidades, isto é, a variável Head. Em seguida, seleciona as células cujos valores de resposta espectral tenham variado de maneira diferente da prevista na lista de

tendências através do predicado changedetect(Mapa,Head,Anoant,Ano,Limiar,Listatendencias). Outra unidade de área passa a ser investigada ao instanciar novamente o predicado exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano, Limiar,Resto) mas com a lista de unidades Rest , na qual a unidade anteriormente investigada já não está presente. Desta forma, o predicado é instanciado recursivamente até que a variável Resto do predicado torne-se vazia, ou seja igual a [], tornando verdadeiro o predicado exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,[]).

4.3. Concepção de um mapa digital

Mapas digitais possuem algumas características que os tornam potencialmente adequados para serem atualizados constantemente, já que novos arquivos digitais são criados com grande facilidade. No entanto, sua atualização deve ser planejada por ocasião de sua concepção, para que se possa estabelecer quais informações podem ser analisadas no processo, que tipo de relacionamento existe entre os dados da fonte e as informações espaciais a serem atualizadas, quais informações espaciais e não espaciais auxiliares que complementam uma descrição da cena. Ou seja, o projeto cartográfico de um mapa digital atualizável por meio de um sistema inteligente baseado em conhecimento espacial é executado a partir de um modelamento da estrutura das informações e dados envolvidos, juntamente com um modelamento do conhecimento necessário ao processo de atualização.

Bases de dados espaciais como modelos da realidade são usados analiticamente e podem ser constituídos a partir de uma estrutura de informação na qual haja previsão de atualização em períodos de tempo e fontes previamente estabelecidas. Ou melhor, tal base de dados espaciais deve ser concebida de maneira que contenha informações bem estruturadas, de maneira que possa auxiliar na avaliação dinâmica da realidade. Portanto, o modelo de base de dados espaciais deve prever as entidades do mundo real envolvidas na

atualização, assim como as formas de relacionamento de interesse no processo. Desta forma, as fontes de dados adotadas para atualização juntamente com suas características devem estar previstas em um modelo de base de dados espaciais e não espaciais, na qual se realize um processamento visando a sua atualização.

As informações do mapa digital devem ser organizadas de acordo com as formas de acesso previstas no projeto da base de dados, para assim, permitir a realização de operações que se baseiam naquelas comumente realizadas quando se utiliza um mapa gráfico (medidas de distâncias e de áreas, cruzamento com outras informações, etc.), além de permitir a realização de algumas operações que caracterizam os bancos de dados convencionais, tais como busca e atualização. Enfim, esse tipo de base de dados é mais que um arquivo de desenhos e imagens, pois a aquisição de informações é feita através da interação entre o usuário e o sistema.

Ou seja, o projeto do mapa digital, que será utilizado, deve se basear nas necessidades de um usuário, da mesma forma que ocorre quando se trata de mapas na forma gráfica. Analogamente aos projetos cartográficos convencionais, a estrutura da informação cartográfica na base de dados é formalizada a partir do entendimento das peculiaridades da informação considerada, bem como de suas aplicações. No entanto, diferentemente dos projetos de mapas gráficos, as relações espaciais entre os objetos do mapa devem ser explícitas e integrar o mapa digital.

Um projeto para sistema de atualização de informações espaciais de uso e ocupação da terra apoiados em computador deve considerar, tanto as fontes de dados primários, os dados orbitais de Sensoriamento Remoto, como dados adquiridos por estimativas realizadas por instituições de pesquisa, entre outros. Neste projeto, os diferentes tipos de dados que podem ser coletados, bem como suas relações com os dados armazenados, fornecem os parâmetros para sua elaboração.

Existem, na literatura especializada em sistemas de informações ou em bancos de dados, diversas proposições para representar uma estrutura de informações. Considerando que os modelos de dados espaciais orientados para objetos são, atualmente, aqueles mais indicados para a tarefa, escolheu-se uma representação baseada no Modelo de Predicados apresentado por BOMMEL et. al. (1991) a fim de realizar o modelamento do estudo de caso proposto.

De acordo com o Modelo de Predicados proposto por esses estudiosos, a estrutura das informações é constituída pelos seguintes componentes básicos:

1. um conjunto **P** finito de predicados;
2. um conjunto **O** finito de tipo-objeto;
3. uma partição **F** do conjunto **P**, sendo os elementos de **F** chamados tipo-fato.

O tipo-objeto é classificado em duas categorias: a primeira é o tipo-fato **F** que se trata de um tipo-objeto composto, a segunda é denominada tipo-objeto atômico (**A**). Existem duas variedades de tipo-objeto atômico: tipo entidade (**E**) e tipo label (**L**).

4.3.1. Técnicas de representação de relacionamento entre objetos

Cada tipo-objeto possui uma finalidade, essa e o objeto formam um predicado. Na figura 4.2. está representado um objeto X1 e seu respectivo papel r1 formando um predicado p1.

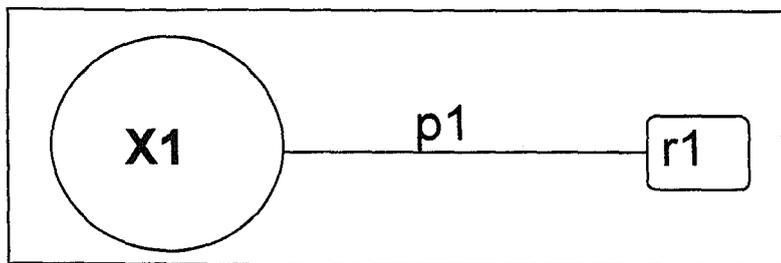


Figura 4.2: Predicado p1 formado pelo objeto X1 e seu papel r1
Fonte: Bommel, et. al. 1991. adaptação: IMAI, N. N.

onde:-
X1: objeto
r1: papel
p1: predicado

Conseqüentemente um tipo-relação é obtido pela composição de um conjunto de predicados. Para representar graficamente um tipo-relação adotou-se aqui o estilo NIAM. Os predicados p1 e p2 formam a relação R, conforme representado na figura 4.3.

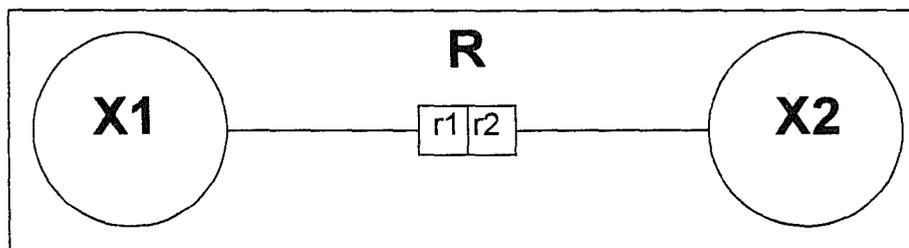


Figura 4.3: Representação gráfica dos objetos X1 e X2 relacionados.
Fonte: Bommel et. al. (1991) adaptação: IMAI, N. N.

A representação de uma relação no Modelo de Predicados, em que as finalidades dos objetos são separados, é mais bem explicitada na figura 4.4. do que na figura 4.3. As propriedades e operadores desse modelo são descritos em BOMMEL et. al. (1991).

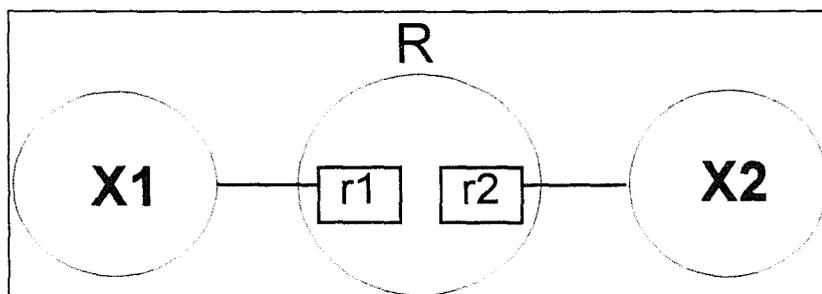


Figura 4.4: Relação entre predicados com seus papéis separados
Fonte: Bommel, et. al. 1991 adaptação: IMAI, N. N.

4.3.2. Representação das unidades temáticas no espaço

Informações extraídas de levantamentos de uso e cobertura da terra, geralmente, podem ser fornecidas na forma de tabelas contendo dimensões e outros valores derivados e mapas mostrando a distribuição espacial dos fenômenos. A dimensão desses fenômenos é fornecida por uma medida de superfície e, como tal, adota unidade de área, respectivamente, por exemplo: metro quadrado, quilometro quadrado, hectare, alqueire, etc.

Por outro lado, outras informações adicionais também podem ser necessárias como referências ou complementos. Algumas das informações são bem representadas como feições lineares, é o caso das estradas ou dos rios, sendo, portanto, de dimensão linear. Outras, cuja dimensão é irrelevante, só sua posição é registrada.

Os mapas tradicionais tem suas informações representadas graficamente, constituindo um modelo analógico bi-dimensional demonstrado pela fig. 4.5.a. São usados dois tipos de modelos básicos para o armazenamento de imagens na forma digital: vetores e células em uma grade regular no modelo tesselado (*tessellation model*), ou seja, formado por tesselas, conforme pode ser comprovado pelas figuras 4.5: b e c.

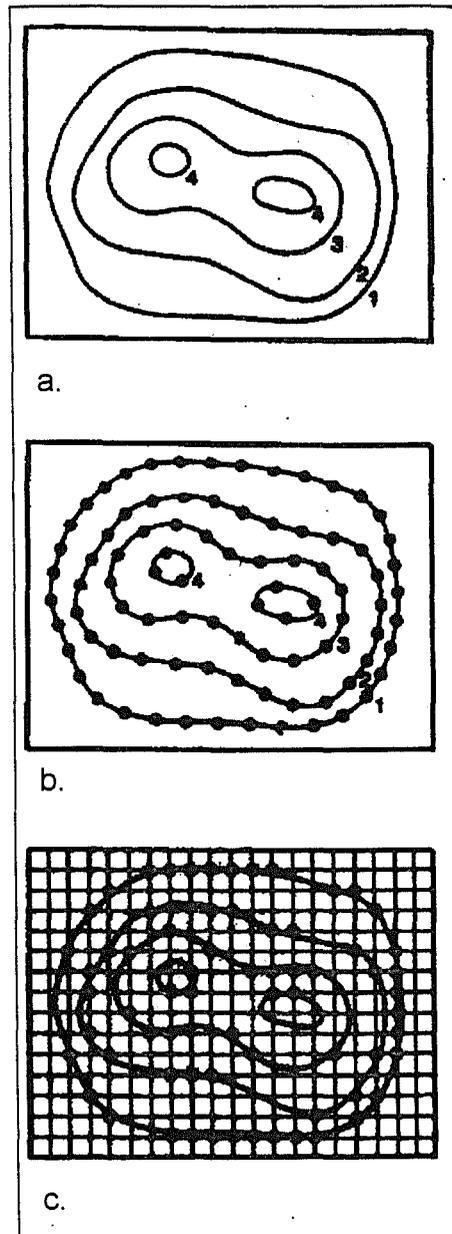


Fig. 4.5: a. modelo analógico bi-dimensional; b. representação vetorial;
c. modelo *tesselado* Fonte: Peuquet, 1984

No tipo vetor, a unidade lógica no contexto geográfico corresponde a linhas no mapa tais como linha de contorno, rio, estrada, limites de uma área ou um segmento de um deles. Uma série de coordenadas de pontos ao longo da linha é gravada como componentes de um único registro. Pontos podem ser representados na organização vetorial como linhas de comprimento nulo (isto é, uma única coordenada no plano). A célula constitui a unidade lógica no modelo

tesselado, também conhecido como *raster*^{4.2}. Uma imagem no formato *raster* é constituído de tesselas no plano e é análogo ao mosaico. Peuquet em seu artigo “A conceptual framework and comparison of spatial data models” apresenta um relato detalhado sobre o assunto.

Um polígono irregular tem a dimensão de suas arestas conhecida, assim como suas coordenadas, no sistema de referência adotado e representa uma região da superfície da Terra constituindo uma unidade temática. Na figura 4.6, os polígonos diferentemente preenchidos representam algumas regiões no espaço. Cada polígono irregular pode ser representado alternativamente por qualquer um dos dois modelos: vetor ou *raster*. Em ambos os casos, é preciso adotar um sistema de coordenadas como georeferência.

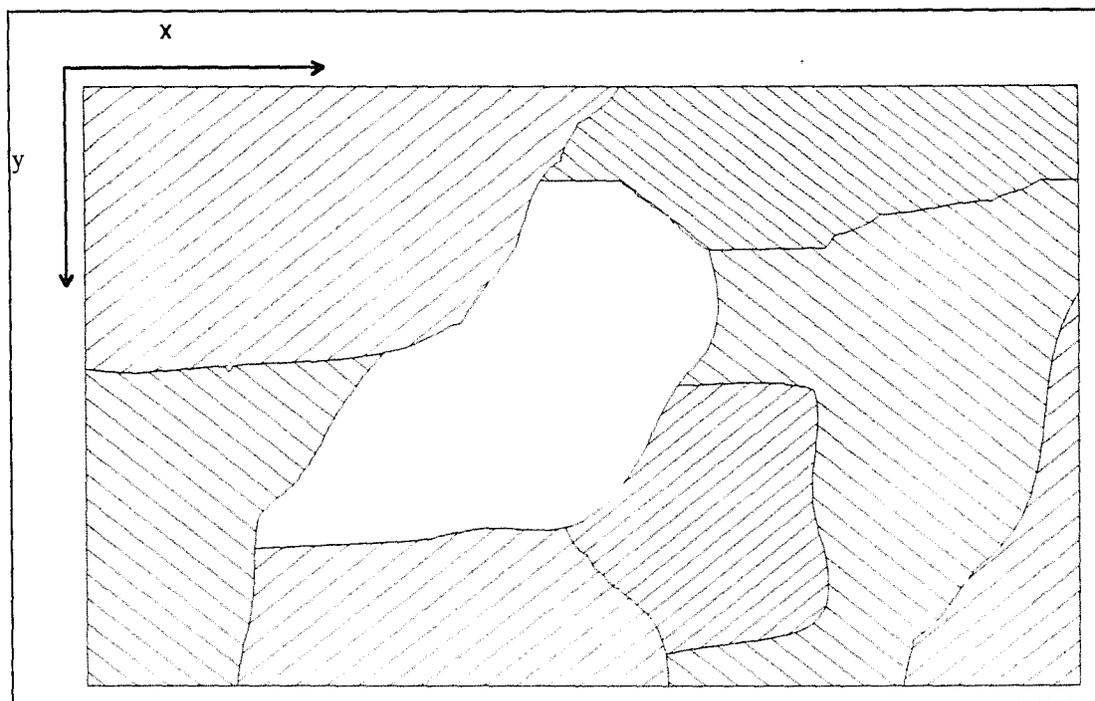


Figura 4.6: Modelo analógico bi-dimensional com polígonos irregulares representando regiões na superfície terrestre

4.2. Esse modelo de representação de imagens é muito conhecido por se tratar do formato das imagens digitalizadas por meio dos dispositivos denominados *scanners*

4.4. Um sistema especialista em atualização de informações espaciais a partir de dados de Sensoriamento Remoto

Para organizar a apresentação das considerações a respeito da abordagem para atualização de informações espaciais proposta neste trabalho, descrever-se-á, em primeiro lugar, no item 4.4.1. o procedimento associado à ferramenta utilizado na elaboração de um protótipo de sistema especialista que foi usado nos experimentos; em segundo lugar, no item 4.4.2., desenvolver-se-á uma discussão geral sobre o conhecimento utilizado pelos intérpretes, a qual serve de base para o desenvolvimento do protótipo deste trabalho.

4.4.1. Procedimento para elaboração de um sistema especialista em atualização de informações espaciais

Na concepção do presente trabalho, o sistema de atualização de mapas, a partir da análise de imagens multiespectrais de duas diferentes datas, juntamente com dados auxiliares, usando uma lógica baseada no processo empregado pelos especialistas em interpretação de imagens realiza sua tarefa de atualização. Para avaliar a hipótese elaborada, é necessário que o conhecimento destes especialistas na extração informações de imagens de Sensoriamento Remoto seja formalizado. Comportamento espectral de alvos relacionado com condições climáticas no momento da aquisição de uma imagem e a evolução fenológica de uma cultura que esteja sendo monitorada, dimensões dos fenômenos investigados relacionados com sua representação na imagem de Sensoriamento Remoto, o contexto espacial e temporal dos fenômenos de interesse, influência da topologia e do clima na resposta espectral, técnicas de interpretação de imagens, entre outros, constituem esse conhecimento. Um relato mais detalhado do conhecimento específico para o estudo de caso do presente trabalho é apresentado no capítulo 5.

Algumas linguagens computacionais têm sido projetadas para o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, também chamados sistemas cognitivos, os quais se mostram mais adequados à implementação do sistema a que se propõe do que as linguagens convencionais, ou seja, imperativas, por oferecer meios mais adequados para formalizar o conhecimento. Jensen (1990) , adota a linguagem PROLOG para codificar um sistema especialista em classificação de imagens baseado em conhecimento contextual, por ser adequado para programas que usem representação de conhecimento e máquina de inferência.

Portanto, na abordagem do presente trabalho, a construção do banco de conhecimento, através de um processo de aquisição de conhecimento, é imprescindível para o sucesso da tarefa de atualização, cuja elaboração pode ser entendida como o desenvolvimento de algumas etapas bem definidas que, no entanto, são desencadeadas quase que simultaneamente.

O processo cíclico de formalização do conhecimento refere-se à aquisição, ao modelamento e à codificação do conhecimento, entre os quais pode-se ainda identificar uma outra etapa que se confunde com as demais, constituída pela depuração da base de conhecimento.

A aquisição de conhecimento relaciona-se com todas as atividades envolvidas na sua obtenção e prevê uma interação direta com os especialistas em interpretação de imagens multiespectrais. Com a finalidade de formalizar um conhecimento específico, o especialista é indagado sobre os critérios que utiliza no processo de interpretação, partindo de situações reais ou simuladas, exemplos práticos, ou mesmo de aplicações específicas. Portanto, funciona como o emissor do conhecimento necessário que conduz à resolução do problema proposto.

Por exemplo a seguinte questão:

- como tratar dos pixels da borda ou da vizinhança de uma feição areolar cuja resposta espectral seja diferente daquela ?

A solução apresentada pelo especialista é:

- descartando-as da análise.

O processo de organizar o conhecimento a ser inserido no sistema que se concretiza na forma de FATOS E REGRAS representados pelos PREDICADOS do PROLOG, expressos de maneira precisa e objetiva constitui o modelamento de conhecimento. Deve-se, portanto, procurar as relações entre os conjuntos de informações para formalizá-los. Para tanto é necessário entender como os diversos conjuntos se interrelacionam e identificar quais deles herdam alguma informação de outros.

Para exemplificar apresenta-se um relato do modelamento da solução do exemplo anterior:

- o pixel investigado pertence a uma borda entre regiões de resposta espectral homogênea ou esta na vizinhança de uma ?
- caso a resposta seja positiva continue a investigação, senão o pixel não é descartado por não se tratar daquele de interesse à análise;
- resposta espectral do pixel de borda ou próximo de uma é diferente da média dos pixels que constituem a feição de interesse ?
- sim: os dados do pixel são descartados do processo de extração de informações;
- não: mantém-se tais dados.

A codificação do conhecimento é o processo de criar fatos e regras na forma de predicados, de maneira que suas relações sejam explícitas no sistema de atualização. Deste modo, a formalização do conhecimento pressupõe uma representação simbólica tanto para as

informações de uso e cobertura da terra, quanto para os indicadores de alterações extraídos do banco de dados. Como já foi colocado, adotou-se a linguagem PROLOG, mais especificamente o interpretador e compilador ARITY/PROLOG versão 5.0, porque suas características são adequadas para a codificação de protótipos de sistema especialista.

Como exemplo apresenta-se a codificação do modelo do exemplo anterior pelo predicado `descartapixel(end(Y,X),Lborda,Radi(B1,B2,B3),Rad_Med(M1,M2,M3))` o qual deve ser verdadeiro para que os dados do pixel sejam descartados do processo de atualização.

```
descartapixel(end(Y,X),Lborda,Radi(B1,B2,B3),Rad_Med(M1,M2,M3)):-  
diferente([B1,B2,B3],[M1,M2,M3]),  
pertenceborda([Y,X],Lborda).
```

O predicado `diferente([B1,B2,B3],[M1,M2,M3])` é verdadeiro, se a resposta espectral do pixel for diferente da resposta espectral média da feição e o `pertenceborda([Y,X],Lborda)`, se o pixel estiver na borda de uma feição ou em sua vizinhança.

Na etapa de depuração da base de conhecimento, procuram-se eliminar as inconsistência e os erros observados no conjunto de fatos e predicados.

4.4.2. Concepção de um banco de conhecimento para o sistema de atualização cartográfica

O monitoramento da evolução da paisagem por meio de dados provenientes de sistemas sensores colocados em plataformas orbitais vem sendo realizado com grande frequência, devido à sua adequação técnica às necessidades de informação da superfície, bem como ao seu baixo custo de aquisição. Há dois procedimentos que usualmente são adotados, alternativamente, para realizar uma atualização de informações da superfície. Em uma primeira abordagem, realiza-se a tarefa a partir da interpretação desse conjunto de dados com suporte em informações adquiridas

no campo; em uma segunda alternativa, acrescenta-se, na interpretação, o conjunto de dados multiespectrais, imagem de referência, Goldberg (1982), os quais foram utilizados como fonte para a geração das informações que estão sendo atualizadas. A última possibilidade apresentada oferece mais recursos à execução do processo de atualização por aproveitar a resolução temporal dos dados multiespectrais coletados pelos satélites de recursos naturais, permitindo assim acompanhar e monitorar a evolução da paisagem. A análise de dados multi-temporais destaca-se como uma das mais adequadas para tarefas de monitoramento dos fenômenos da superfície, por tratar-se de um procedimento no qual se intenta destacar ou realçar as diferenças existentes entre os conjuntos de dados multiespectrais ou padrões, adquiridos em duas ou mais datas subsequentes, através de um conjunto de dados gerados pela aplicação do procedimento, que indica as áreas que sofreram maior grau de modificação.

Assim, o presente trabalho adota a abordagem de monitoramento, cujo processo de atualização dos dados de uso da terra baseia-se na aplicação de uma técnica de detecção de alterações cujo objetivo é encontrar quais células possuem maiores chances de terem sido modificadas para, em seguida, procurar realizar a identificação dos fenômenos.

Há diversas propostas de procedimentos de detecção de alterações em Sensoriamento Remoto, com diferentes estágios e abordagens. Goldberg (1982) descreve os mais relevantes, bem como sua proposta de monitoramento e detecção de alterações por um sistema de decisões distribuído que tem por finalidade realizar classificação de imagens multi-temporais. A proposta de Goldberg (1982) baseia-se em uma abordagem do Quadro-negro, já mencionada anteriormente, cuja a estrutura de dados permite que um “comitê anárquico” possa comunicar-se com esta estrutura de Quadro-negro. Segundo Goldberg (1982), o Quadro-negro é a base de dados na qual os resultados do trabalho dos especialistas são armazenados e onde as questões ainda pendentes estão representadas para que um especialista que não esteja ocupado possa

procurar uma solução. Na abordagem de Goldberg (1982), é possível que diversos especialistas estejam tratando simultaneamente de um mesmo pixel ou região.

No entanto, de maneira geral, os resultados obtidos pela aplicação de um procedimento de detecção de alterações podem ser utilizados tanto diretamente em um processo de classificação, ou mesmo como indicadores em uma análise com finalidade de atualizar informações relacionadas com a imagem mais antiga. De forma, que na abordagem deste trabalho, os resultados obtidos de uma detecção de alterações são os dados destinados à análise temporal de comportamento espectral. Para tanto, é necessário que os elementos da base de dados cartográficos estejam relacionados entre si de maneira que o acesso às informações temáticas que caracterizem tais células na data de aquisição mais antiga seja viável. Considerando que os objetos que constituem o mapa digital a ser atualizado devem ser confrontados com os dados multi-temporais da fonte a fim de se buscar uma explicação que satisfaça o comportamento temporal detectado e assim viabilizar a extração de informações destinada à atualização do mapa digital, então, tal mapa deve ser construído de maneira que as relações entre seus objetos e os dados da fonte estejam aí representados. Além disso, o conhecimento sobre as relações entre os objetos da base de dados também são usados na própria execução do processo de detecção de alterações e de busca de explicações, pois constituem, juntamente com os próprios objetos, a representação lógica da realidade ou o modelo da realidade. Assim, através de uma sintaxe adotada pode-se obter o conteúdo informacional a ser analisado, confrontado com os dados da realidade provindos das fontes utilizadas, e finalmente atualizado. Nesse sentido, informações adicionais também são incorporadas na base de dados, na medida em que contribuam para uma descrição mais adequada da cena na qual os fenômenos de interesse estejam ocorrendo. Desta forma, a análise dos indicadores, obtidos por uma comparação de imagens multiespectrais de duas datas, pode ser feita com base em um modelo da realidade que possa restringir as possibilidades de ocorrência dos fenômenos de interesse

auxiliando no processo de extração de informações. Finalmente, uma vez adotados os dados orbitais de Sensoriamento Remoto como a principal fonte de dados para a atualização de informações espaciais, deve-se incorporar sua estrutura de representação “raster” na estrutura de informação, do mapa digital. Essa restrição decorre do fato de que será necessário realizar consultas acerca das informações do mapa, assim como sobre o comportamento temporal dos dados de Sensoriamento Remoto analisados.

De acordo com Novo (1992), o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento é fundamental ao processo de extração de informações dos dados de Sensoriamento Remoto. Assim, o conhecimento é básico para a realização de uma análise de alterações, sendo, portanto, necessária a utilização do conhecimento disponível a respeito da interação da radiação eletromagnética com os alvos, ao longo do espectro.

O procedimento de detecção de alterações adotado é uma adaptação que combina a abordagem do método de Análise de Vetor de Alteração de imagens bi-temporais de Goldberg (1982), com os métodos de classificação de imagens multiespectrais que usam modelos baseados em conhecimento a respeito do comportamento dos objetos do mesmo especialista.

O método de Análise de Vetor de Alteração baseia-se na análise do vetor obtido pela diferença entre os vetores de atributos espectrais das duas imagens, de cada um dos pixels, ou seja comparando a distância euclidiana entre os vetores de atributos de cada pixel nas duas imagens. As classificações de imagens realizadas pela abordagem do Modelo de Estado de Crescimento, proposto por Hlavka et. al.^{4.3} (1979) apud Goldberg (1982) para classificação de culturas de grãos baseia-se na definição de assinaturas multiespectrais temporais, que se correlacionam com a fenologia de um determinado tipo de cultura.

^{4.3} HLAVKA, C. et. al. Multitemporal Classification of Winter Wheat Using a Growth State Model. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSES DATA SYMPOSIUM. Anais ..., 1979, p. 105-115.

Na presente proposta, calculam-se as diferenças entre os vetores de atributos e, em seguida, procura-se ajustar uma tendência de desenvolvimento do fenômeno monitorado àquelas de modificação das respostas espectrais, sem no entanto recorrer à criação de assinaturas quantitativas pela aplicação de “clustering”, como no caso da abordagem do Modelo de Estado de Crescimento. Analogamente, aos processos de interpretação visual de imagem baseados na variação temporal das respostas espectrais, cria-se um conjunto de chaves de interpretação, usualmente adotados pelos especialistas em Sensoriamento Remoto aplicado ao mapeamento de reflorestamentos, culturas agrícolas, uso da terra, etc., que se caracterizem pela identificação de fenômenos de interesse na superfície através de relações entre as mudanças na resposta espectral e o ciclo fenológico da cultura, ou à evolução natural desses fenômenos. Ou seja, o conhecimento do intérprete, sobre as características de evolução do fenômeno monitorado, associado às mudanças nas respostas espectrais é representado através de uma linguagem de IA, de maneira que seu conteúdo lógico expresse as relações entre a dinâmica da evolução da paisagem e seus reflexos nos dados multiespectrais. Desta forma, o banco de conhecimento deve conter as prováveis relações entre fatos esperados no universo considerado e seu comportamento espectral correspondente, ou seja a variação esperada dos valores da resposta espectral.

No entanto, um processo de atualização baseado em conhecimento não precisa ser restrito às técnicas de interpretação de imagens multi-temporais descritas, pois a obtenção de indicadores no processo de atualização de bases de dados cartográficos não se resume aos relacionados nos parágrafos anteriores. Há também a possibilidade de extrair indicadores dos próprios conjuntos de dados multiespectrais, a partir de técnicas de processamento digital adequadas. Tais processamentos têm por objetivo fornecer informações sobre os elementos a serem mapeados através de índices que se relacionem por exemplo com o estado da cobertura vegetal; ou índices que relacionem a textura de uma região na imagem com o tipo de destinação

da área. Pode-se incorporar a textura, como informação destinada a esta análise através dos resultados de uma classificação de textura os quais podem ser úteis na identificação dos fenômenos que ocorrem na superfície, uma vez que as chaves de interpretação adotadas pelos especialistas geralmente incluem esse atributo no processo de interpretação. Há ainda indicadores de forma, ou seja da geometria da área, que se relacionam, principalmente, com as técnicas de utilização do solo. Existem ainda outros aspectos que costumam ser analisados pelos intérpretes, tais como tamanho, linearidade, estrutura do conjunto, entre outros. Entretanto, para a finalidade da investigação, não é necessário adicionar os atributos no processo pois, um modelo baseado no conhecimento a respeito de comportamento espectral de alvos é capaz de mostrar que, o conhecimento de interpretação de dados multiespectrais pode ser utilizado na criação de um sistema de atualização de informações espaciais. Portanto, as hipóteses que orientam tanto as discussões a respeito da concepção proposta neste trabalho, bem como o próprio trabalho empírico são consideradas, neste trabalho, por meio de uma proposição cuja finalidade não é esgotar as possibilidades de utilização do conhecimento de especialistas em interpretação de imagens multiespectrais, mas mostrar sua viabilidade, bem como seu potencial.

Considerando que a abordagem proposta baseia-se na experiência de intérpretes de imagens multiespectrais adota-se, portanto, o princípio de busca heurística de solução, mais detalhes podem ser encontrados em Bratko (1990), que se constitui em uma abordagem na qual a escolha de um caminho nessa busca seja baseada na experiência do especialista. Assim, a prioridade de alternativas a serem investigadas é semelhante àquela do próprio especialista humano.

Por exemplo, na identificação da alteração dos talhões de reflorestamento do estudo de caso a primeira solução considerada é aquela prevista para um desenvolvimento normal no período de tempo decorrido entre as atualizações. Sendo a alternativa abandonada, depois que todas as possibilidades forem examinadas. E, apesar de haver um conjunto de possibilidades,

examina-se primeiro aquela na qual a variação da resposta espectral da feição considerada corresponda à prevista pelo especialista. Se a alternativa for falsa, outra é investigada, no caso verifica-se a possibilidade de que a resposta espectral não tenha se modificado significativamente dentro dos parâmetros de comparação adotados.

Na busca heurística implementada através do PROLOG, o sistema procura correspondência entre fatos e predicados de acordo com uma lógica baseada na experiência de um especialista, isto significa que o caminho percorrido na busca de correspondência entre fatos e predicados é aquele que, em geral, seria realizado pelo especialista. De forma que, nem sempre, a busca seja a mais adequada porém, segundo a experiência do intérprete, o caminho mais indicado. Portanto, o funcionamento do sistema depende de uma aquisição minuciosa e consistente do conhecimento de um intérprete e de sua representação através de fatos e predicados que constituem o banco de conhecimento desse sistema especialista.

Tendo em vista o exposto no parágrafo anterior, torna-se necessário realizar uma exposição de procedimentos e de tomadas de decisões envolvidos no processo de atualização do sistema desenvolvido para os experimentos deste trabalho. Portanto, apresenta-se em seguida, algumas considerações sobre o conhecimento utilizado, bem como a respeito de alguns procedimentos adotados para criação do sistema especialista utilizado e avaliado nos experimentos deste trabalho.

A atualização de dados de uso e cobertura da terra deve iniciar-se logo após a geocodificação dos dados multiespectrais e/ou até multisensores que constituem a principal fonte de dados para a tarefa. Assemelha-se ao ato de procurar correspondência visual entre as feições das imagens de duas datas de aquisição subsequentes com o fim de encontrar alguma modificação nos padrões, sendo que a presença ou ausência de alterações entre os padrões desses conjuntos de dados são usados como um indicador para a interpretação. Assim, é a geocodificação dos dados referenciados em um sistema de coordenadas previamente adotado

que os coloca em condições adequadas para serem submetidos a procedimentos como a detecção de alterações, bem como a outros procedimentos que realizem sínteses que mostrem ou realcem os fenômenos que se deseja identificar. A etapa de monitoramento e detecção de alterações tem, portanto, a finalidade de reproduzir o exame comparativo realizado pelo intérprete. Procedimentos de comparação de imagens digitais de diversas datas de aquisição são tratamentos de dados comumente realizados por processamento digital de imagens em Sensoriamento Remoto, quando se recorre a recursos de ajustamento de transformação de coordenadas, aplicação de transformações de coordenadas nas imagens a serem utilizadas, associados com uma ferramenta que realize a interpolação de valores de resposta espectral. Um comparador^{4.4} é usado nesta fase, a fim de identificar e localizar alguns pontos em ambas imagens. Através das coordenadas desses pontos em ambos sistemas, ajusta-se uma transformação que permite a obtenção das coordenadas da imagem no sistema adotado como referência, sendo que os valores digitais dos pixels da imagem georeferenciada são obtidos pela aplicação de um método de interpolação. No caso da interpretação visual, utilizando produtos fotográficos, o trabalho do intérprete torna-se mais fácil, se ambas estiverem representadas de acordo com as coordenadas do mapa a ser atualizado isto é, se as imagens forem corrigidas geometricamente.

De modo geral, a aplicação de um procedimento destinado a detectar alterações produz um conjunto de dados ou melhor, de indicadores usados como referência inicial para uma análise. Na abordagem deste trabalho, é a partir de tais indicadores que se procuram identificar as alterações de interesse à atualização nas células da base de dados. Neste tipo de análise, procura-se considerar tanto as modificações causadas pela intervenção do homem ou a ação do clima, e até mesmo aquelas relacionados com a evolução natural da paisagem. Além disso, pode haver indícios de modificação causadas por interferências na coleta de dados, como os ruídos do

^{4.4}. Comparador é um instrumento feito para medir coordenadas de uma imagem, em um sistema qualquer.

sistema de aquisição e/ou transmissão, ou resultantes dos efeitos da interação da radiação eletromagnética com a atmosfera; ou mesmo alguma falsa indicação, devido a algum erro de geocodificação, que pode ocorrer na vizinhança de bordas de regiões, ou de feições lineares; como também na zona de transição entre duas superfícies com resposta espectral diferentes.

A evolução de fenômenos na superfície da Terra pode ser prevista através de modelos, tais como os ciclos fenológicos de culturas agrícolas que possuem características próprias em cada região. Para tornar o conhecimento útil ao sistema de atualização proposto, devem-se elaborar modelos de evolução da paisagem, adequados a cada caso, para serem incorporados ao banco de conhecimento do sistema especialista. Os modelos podem incorporar características regionais que se manifestam nas formas de uso e cobertura da terra que, por sua vez, dependem das características do próprio solo, relevo, clima, bem como dos recursos disponíveis. Enfim, tais modelos devem representar o cenário, em que os fenômenos se desenrolam, bem como características dos próprios fenômenos de interesse, no meio em que se encontram.

Para que esse tipo de informação esteja disponível, é necessário recorrer-se à base de dados espaciais. É importante lembrar que o acesso a tais informações só é possibilitado pelo fato de que, além da base de dados espaciais e não espaciais e o sistema de atualização estarem conectados, tal sistema responsável pela atualização é capaz de procurar e usar as informações da base durante o processo de análise. A comunicação entre esse sistema e sua base de dados deve ocorrer nas duas vias, permitindo também que esta possa receber e armazenar novas informações providas do sistema, efetivando desta forma o processo de atualização. Tais características mostram, mais uma vez, que o processo de atualização constitui parte integrante do projeto cartográfico, juntamente com o próprio mapa, sendo o elemento responsável pela fidelidade das informações ao longo do tempo.

Também é possível realizar uma análise contextual das células, a partir dos valores digitais da resposta espectral de células vizinhas daquela que estiver em destaque, ou seja, a

partir de uma análise de vizinhança da célula que está sendo examinada. Nesse caso, além de comparar os valores digitais referentes à célula em processo de avaliação, utilizam-se também os valores digitais, dos dados multiespectrais, referentes às células que constituem sua vizinhança. Uma ampliação da vizinhança pode auxiliar na identificação de processos de alteração. Quando se adota uma nova atitude, procurando analisar o fenômeno de modificação de grupos de células, caracteriza-se uma análise de regiões da superfície. Na avaliação, a vizinhança em termos de regiões próximas também pode fornecer informações contextuais para o processo de atualização. Note-se que o conhecimento relacionado à vizinhança da célula e a modificação de seus valores digitais aliados com os modelos de evolução da paisagem da região formam um contexto muito mais amplo, o qual fornece melhores condições para as tomadas de decisão realizadas no processo de atualização, que as análises no contexto espacial e temporal realizadas separadamente.

Assim, as células de uma região podem ser avaliadas em conjunto. Os modelos conhecidos passam a ser usados a partir das características de modificação espectral e temporal de cada conjunto de células. Para tanto, recorre-se aos indicadores disponíveis, assim como aos modelos baseados na resposta espectral de alvos. Uma vez que a variação temporal deve fazer parte dos modelos examinados, o intervalo de tempo entre as aquisições de dados para os levantamentos e a época do ano em que se realizaram tais coletas também devem ser adequadamente consideradas. As informações que podem ser extraídas da base de dados a ser atualizada são fundamentais nesta fase, pois constituem as melhores referências para iniciar a busca do modelo que melhor explique os fenômenos detectados.

Finalmente, o refinamento do processo ocorre pelo uso de informações auxiliares como o comportamento do clima no período que antecede a coleta de dados, etc. Através das informações adicionadas às informações adquiridas no campo, conclui-se o processo. O trabalho de verificação possibilita a eliminação de dúvidas no processo de análise, tornando mais seguras

as decisões. Fica também evidente que o processo de aquisição de informações no campo, apesar de ser imprescindível, é maior à medida que os indicadores e atributos utilizados forem ineficientes para a realização de tomadas de decisão mais seguras, por não retratarem a realidade de interesse de maneira adequada.

Parte II

Estudo de caso

O estudo de caso

O estudo de caso é apresentado nos capítulos 5, 6, 7 e 8. O capítulo 5 apresenta as bases do conhecimento específico do estudo de caso, o qual é modelado para constituir o banco de conhecimento do protótipo avaliado. Os capítulos 6, 7 e 8 referem-se aos experimentos realizados para avaliar a proposta de sistema de atualização cartográfica.

O capítulo 6, da integridade e robustez da base de dados, tinha por finalidade responder às seguintes indagações:

1. os critérios usuais de detecção e eliminação de dados indesejáveis são aplicáveis à base de dados espaciais e não espaciais proposta?
2. verificar a integridade e robustez da base de dados, ou seja, é carregada e fornece dados e informações livres de erros, mesmo após ter sido manipulada e atualizada?

O capítulo 7, da viabilidade de um “sistema especialista” em atualização de informações espaciais, foi realizado com a finalidade de investigar a questão:

- é possível codificar o conhecimento utilizado por especialistas “humanos” para identificar fenômenos de alteração em imagens de Sensoriamento Remoto, tornando-o disponível a um sistema especialista em atualização de informações espaciais?

Finalmente, no capítulo 8, do ajustamento da modelagem do conhecimento do especialista, foi feita a avaliação e adaptação do protótipo de sistema de atualização cartográfica com base em sua aplicação nos dados reais do estudo de caso.

Modelagem de informação baseada em conhecimento

5.1. Introdução

As verificações das hipóteses deste trabalho estão baseadas em testes realizados em uma situação extraída do mundo real. Nessa direção, foi necessário estabelecer um usuário que determinasse a finalidade das informações espaciais para viabilizar a realização de um projeto cartográfico que tivesse como produtos um mapa digital e um protótipo de sistema de atualização.

Portanto, executou-se um projeto cartográfico cujo objetivo era determinar o conteúdo informacional de interesse do usuário, juntamente com sua representação, como também especificar a principal fonte de dados, associada ao sistema de atualização que deve manter a fidelidade das informações da base de dados ao longo do tempo.

Deve-se ainda lembrar que a representação gráfica das informações consideradas, o conteúdo informacional e a exatidão não são objetos de avaliação do presente estudo em razão dos seguintes fatos:

1. a abordagem desta proposta prevê a atualização de um mapa digital;
2. o usuário já vem transformando o acervo de dados e informações espaciais e não espaciais da forma analógica para a digital;
3. o usuário utiliza um mapa cujo conteúdo informacional, representação gráfica e precisão satisfazem suas necessidades.

A decisão de realizar a avaliação das hipóteses deste trabalho, com base nos resultados de alguns experimentos realizados, a partir de uma situação real, permitiu limitar as tarefas do processo de verificação de hipóteses pela criação de um protótipo, no qual se consideram, somente, os principais aspectos de processos de atualização de informações espaciais, ou seja, a detecção de alterações e a identificação dos fenômenos de alteração detectados.

Por outro lado, os experimentos foram elaborados de forma a limitar a problemática dos processos de atualização, restringindo-os a níveis de complexidade adequados à realização de testes, os quais permitiram investigar a viabilidade de aplicação do conhecimento de especialista em interpretação de imagens multiespectrais através de computadores. Vale dizer, os experimentos foram feitos de maneira a permitir uma discussão e avaliação crítica do uso de lógica de predicados na análise de informações espaciais, ou seja, informações com caráter geográfico.

O mapa foi representado simbolicamente para facilitar o acesso das informações ao sistema especialista responsável pelo processo de atualização. Cada uma das entidades do mapa é um objeto representado por um fato, ou seja um predicado com seus atributos na linguagem PROLOG, que contém as informações caracterizadoras do objeto e constituintes da base de dados.

Este mapa pode ser representado graficamente como um mapa convencional, como pode também possuir opções de visualização que utilizem os recursos oferecidos por sistemas computacionais. O produto final a ser visualizado pode ser gerado em papel, ou em um monitor de vídeo, em cópia fotográfica, etc. Recomenda-se que os recursos de tais opções de visualização sejam cuidadosamente avaliados na elaboração do projeto gráfico para que as informações sejam representadas de forma adequada às necessidades do usuário.

Um mapa temático a ser atualizado a partir de dados multiespectrais deve conter algumas informações básicas que podem ser ou não adicionais em relação ao mapa gráfico. Primeiramente, deve fornecer a posição dos elementos nele mapeados e, em consequência, sua área. A informação da vizinhança entre elementos e a forma de cada elemento deve estar, de alguma maneira, disponível ao sistema de atualização. A data da coleta de dados do qual se originou o levantamento, o procedimento utilizado, bem como uma forma de acesso a esses dados brutos também são necessários. Além disso, devem ser definidos alguns pontos de controle no espaço imagem, referenciando-os ao sistema de coordenadas da base de dados espaciais, isto é, georeferenciá-los, para que se possa estabelecer relações entre as informações do mapa com os dados multiespectrais ou aos dados auxiliares (por exemplo, rede viária).

Finalmente, cada tema a ser atualizado, ou, cada objeto a ser representado, deve ser caracterizado de maneira que se possa reconhecê-lo. No caso de reflorestamentos, a idade do talhão ou do maciço florestal, sua espécie e demais informações sobre datas de desbastes já ocorridos, cortes rasos, aplicação de fertilizantes ou de inseticidas e fungicidas entre outras, que são inerentes às práticas de manejo são úteis no processo de extração de informações dos dados multiespectrais. Ou seja, informações espaciais e não espaciais da evolução histórica devem fornecer uma boa descrição da realidade ao sistema de atualização e, assim, contextualizar os fenômenos que devem ser identificados.

Portanto, prevê-se que o mapa digital deva conter dados e informações adicionais que possam ser úteis no processo de atualização. Além disso, a evolução do universo mapeado deve estar disponível, bem como informações que auxiliem na descrição desse universo, tais como: seu comportamento temporal associado com a espécie de vegetação, alguma intervenção prevista, variações sazonais, eventos climáticos inesperados, como o excesso, ou a falta de chuva, ataques de pragas ou doenças entre outros.

5.2. O banco de conhecimento envolvido

Como já foi colocado anteriormente, a primeira etapa do processo de atualização de informações espaciais tem início com a detecção de alterações das informações do banco de dados de referência, a partir de imagens TM-LANDSAT de duas datas diferentes. Em seguida, procura-se realizar a identificação dos fenômenos ocorridos através de uma análise dos atributos da fonte de dados. Para tanto, dados disponíveis para a atualização também são incorporados à base de dados espaciais, de maneira que um conjunto de regras coloque em execução rotinas que façam uma extração dos indicadores necessários à análise.

Uma avaliação lógica, que é realizada por meio de comparações entre os valores radiométricos de cada data de aquisição, de cada banda espectral do imageador Thematic Mapper - TM, referente a uma única célula do mapa nas imagens, fornece um primeiro indicador das alterações ocorridas. O indicador deve ser acompanhado de informações complementares, que sejam capazes de caracterizar os principais tipos de variações que podem ocorrer na resposta espectral, conforme o fenômeno.

Assim, tem início a busca de resposta a indagações,

“houve alteração” ? , e “que tipo de alteração” ?

Uma avaliação temporal dos valores de resposta espectral de um talhão tem como base o conhecimento a respeito do comportamento espectral da vegetação relacionado com o desenvolvimento fenológico do reflorestamento. PONZONI (1995) coloca que :

“o termo comportamento espectral da vegetação é freqüentemente utilizado para representar as características de reflexão da Radiação Eletromagnética - REM por parte de folhas, plantas individuais e conjunto de plantas. Contudo, convém ressaltar que intrínsecos ao termo comportamento espectral da vegetação estão os conceitos de

Reflectância, Transmitância e Absortância Espectrais (Hemisféricas ou Bidirecionais), ou seja, caracterizar o comportamento espectral de um alvo significa conhecer como se dá a interação da REM com este alvo, em termos de reflexão, transmissão e absorção. No entanto, para o Sensoriamento Remoto dos recursos naturais, a reflexão é o fenômeno mais importante, uma vez que normalmente considera-se a REM refletida pelos alvos existentes na superfície terrestre. Isso explica a rápida associação do termo comportamento espectral à Reflectância Espectral (Hemisférica ou Bidirecional)".

A fig. 5.1 representa a curva de reflectância espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa.

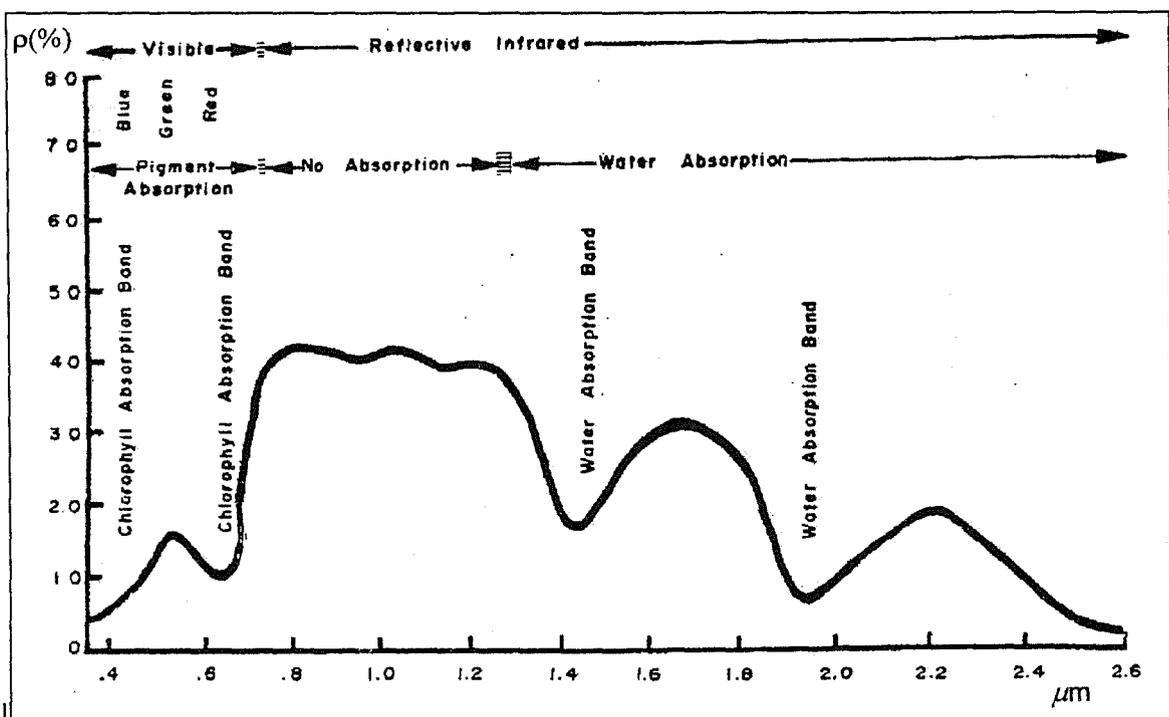


Figura 5.1: Curva de Reflectância percentual típica de uma folha verde.

fonte: KUMAR (1972)

A partir da análise da figura anterior, NOVO (1992) divide-a em três regiões espectrais de maior interesse para extração de informações e afirma que essas resultam de

determinados fatores que condicionam o comportamento espectral de uma folha fotossinteticamente ativa, assim descritos:

“a) até 0,7 μm , a reflectância é baixa (menor que 20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm , há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância, não atingindo, porém, níveis superiores a 0,1. É a reflectância responsável pela percepção da cor verde da vegetação;

b) de 0,7 μm a 1,3 μm , temos a região dominada pela alta reflectância da vegetação (30 % < ρ < 40 %), devido à interferência da estrutura celular;

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

Assim sendo, é necessário que haja uma representação para o conhecimento a respeito das transformações físicas do reflorestamento que devam e possam ser previstas. Nessa direção, pode-se colocar que a diferença admissível entre dois valores de resposta espectral de um pixel, em duas datas de aquisição, de um alvo que tenha sido modificado, não deve ultrapassar um valor de tolerância, que pode ser estimado e aprimorado em cada atualização, a partir de dados multiespectrais previamente analisados por um especialista em interpretação de imagens. Os valores desses limiares podem se basear nos valores de

diferença de resposta espectral para áreas que o especialista tenha conhecimento e tenham sofrido algum tipo de alteração identificada.

Informações adicionais que possam ser usadas para analisar as variações dos dados multiespectrais no decorrer do tempo são fundamentais na identificação das transformações físicas de áreas reflorestadas, porque auxiliam a identificar os fenômenos de alteração ocorridos devido à ação antrópica, bem como as modificações intrínsecas ao próprio desenvolvimento fenológico, pois permitem que as alterações detectadas no conjunto de dados multiespectrais sejam analisadas de acordo com o contexto da realidade mapeada. Assim, o procedimento de análise deve considerar o conhecimento a respeito da realidade mapeada, juntamente com os dados auxiliares, que ajustam esse conhecimento mais geral para o caso da atualização a ser realizada, de forma a possibilitar o estabelecimento de correlações entre as alterações detectadas pela fonte de dados multiespectrais com a própria realidade.

Nesse sentido, dados de precipitação pluviométrica tornam-se muito importantes, pois o conteúdo de umidade das folhas pode modificar a resposta espectral do reflorestamento. Kumar (1972) mostra que as modificações da estrutura interna das folhas, devido aos diferentes conteúdos de umidade, são os principais responsáveis pela variação da radiação refletida na faixa do infra-vermelho refletido (aproximadamente $0,76\mu\text{m} - 2,6\mu\text{m}$). A fig. 5.2 ilustra este fato apresentando as curvas de reflectância espectral percentual obtidas de folhas de milho com quatro diferentes conteúdos de umidade: 0 - 40%, 40 - 54%, 54 - 66% e 66 - 100%.

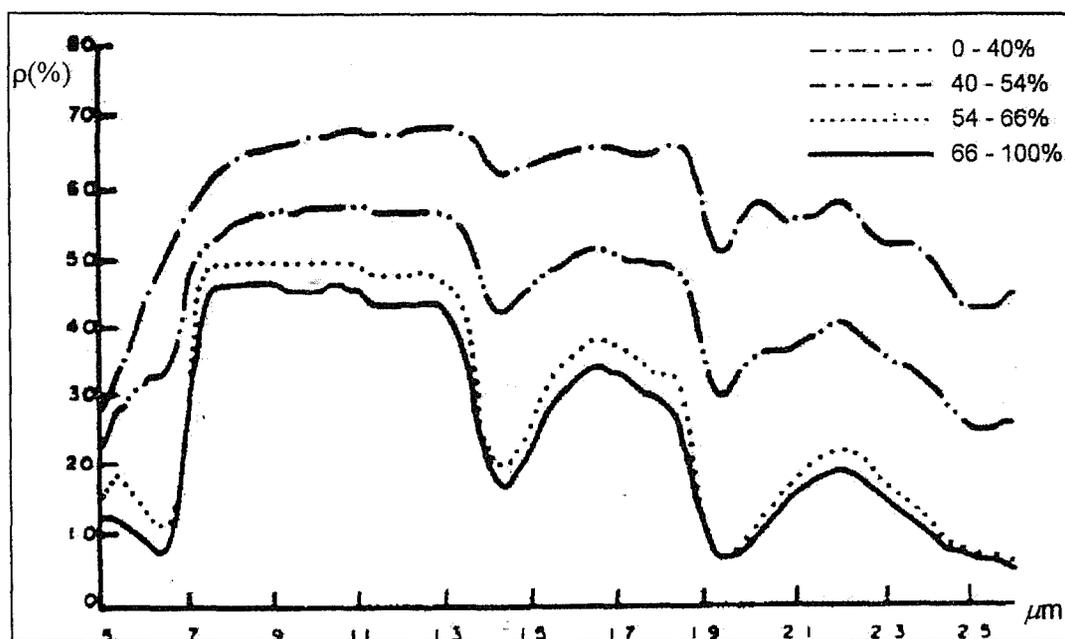


Figura 5.2: Influência do grau de umidade na Reflectância de folhas de milho.
 fonte: KUMAR (1972)

Analisando as curvas da fig. 5.2, PONZONI (1995) conclui que:

"a absorção devido à água líquida predomina na Reflectância Espectral das folhas na região do infra-vermelho médio. Considerando a água líquida, esta apresenta, na região em torno de 2,0 μm, uma Reflectância geralmente pequena, sendo menor do que 10% para um ângulo de incidência de 20 graus, dada a forte absorção da água.... As faixas ou bandas de absorção da água são: 1,1; 1,45; 1,95; 2,7 e 6,3.... Pode-se verificar que ocorre um pequeno decréscimo na reflectância na primeira faixa de absorção da água para amostras de folhas de 0 a 40% de grau de umidade. A primeira faixa de absorção da água torna-se bastante evidente para amostras contendo 40 a 54% de umidade, e a forma geral da curva na região de 1,3 a 2,0 μm é assumida para folhas suculentas. As curvas referentes a 54 a 66% e 66 a 100% de umidade são geralmente similares. Na região na qual a umidade não exerce influência, existe uma consistente diferença de 3 a 4% na Reflectância. Examinando uma seção transversal de uma folha poderá ser

constatado que essa diferença não se deve a absorção da água, mas sim pelas alterações estruturais que ocorrem na folha quando esta perde água”.

Além disso, solos mais úmidos refletem menos radiação eletromagnética que os secos, de forma que uma chuva intensa que tenha ocorrido pouco antes da coleta dos dados multiespectrais pode modificar a resposta espectral dos talhões. Maiores detalhes sobre a influência da umidade do solo na energia eletromagnética por ele refletida em Stoner et. al. (1980).

Em resumo, as atividades de manejo associadas ao desenvolvimento fenológico, as variações sazonais do clima e os eventos acidentais provocam transformações físicas que estão relacionadas com as modificações da resposta espectral dos talhões de reflorestamento. Na quadro 5.1 estão relacionados os eventos mais significativos na modificação de respostas espectrais da cobertura de eucaliptos do reflorestamento.

Quadro 5.1: Transformações físicas previstas e eventuais do reflorestamento

MANEJO	SAZONAIS (CLIMA)	ACIDENTAIS
plantio	período de chuvas	fogo
rebrotas	período sêco e frio	pragas/insetos
desbaste ou rareamento		
corte		

As mudanças de estágio fenológico associadas às práticas de manejo e conteúdo de umidade podem provocar transformações físicas que modificam a resposta espectral de um talhão de eucaliptos. Uma primeira aproximação das possíveis variações nas respostas espectrais associadas às variáveis citadas é apresentada no quadro 5.2. As variações nas respostas espectrais são esperadas para conjuntos de dados multiespectrais que estejam devidamente calibrados. No entanto, pode-se esperar variações, devido a erros no registro radiométrico entre as imagens das duas datas de aquisição, que impõem restrições ao uso na comparação dos valores espectrais das imagens. Além disso, os dados multiespectrais

coletados pelo Mapeador Temático do Landsat-5 estão descalibrados devido ao longo tempo de funcionamento, complicando ainda mais as comparações entre imagens de datas diferentes. Felizmente, tem sido comprovado que o uso de índices de vegetação obtidos pela combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais são mais sensíveis às mudanças ocorridas em vegetação viva do que as respostas em bandas isoladas. CRÓSTA (1992), coloca que *este efeito ocorre ao combinar-se o mínimo de energia refletida pela vegetação na região espectral de absorção da clorofila, com o máximo de reflexão no infra-vermelho próximo. Desta forma, pequenas mudanças nesses parâmetros possuem um efeito desproporcionalmente alto na razão das bandas correspondentes*". Portanto, uma forma de melhorar o grau de confiança nas variações da resposta espectral conforme modificações no estágio fenológico associado às práticas de manejo é a utilização de um índice de vegetação, que combine as bandas correspondentes aos comprimentos de onda no vermelho, TM3, com a banda do infra-vermelho próximo, TM4.

Adotou-se, no presente trabalho, um dos mais conhecidos índices entre os usuários de Sensoriamento Remoto. Trata-se do Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI), que foi originalmente definido para o sistema sensor MSS, obtido pela razão entre a diferença e a soma das duas bandas, multiplicado por 256 para obter o resultado no range de 0 a 255, correspondente ao de codificação dos dados multiespectrais TM-Landsat. As variações dos valores do NDVI entre os estágios, com diferentes graus de umidade também estão previstos no quadro 5.2.

Quadro 5.2: Variação da resposta espectral conforme mudança de estágio de desenvolvimento.

MUDANÇA NO ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	variação no conteúdo de umidade	prática de manejo associada	variação da resposta espectral		
			Índice de Vegetação $\frac{TM3 - TM4}{TM3 + TM4}$	banda espectral do TM4	banda espectral do TM5
jovem para desenvolvimento	maior	desbaste	maior ou igual	menor ou igual	menor ou igual
	igual	em rebrota	maior ou igual	menor ou igual	maior
	menor	e adubação	maior ou igual	menor ou igual	maior
desenvolvimento para adulto	maior		menor ou igual	igual	menor
	igual	adubação	menor ou igual	igual	menor
	menor		menor ou igual	igual	menor
adulto para corte raso	maior		maior	menor	maior
	igual	corte raso	maior	menor	maior
	menor		maior	menor	maior
adulto para jovem	maior		menor ou igual	maior ou igual	menor
	igual	corte raso	menor ou igual	maior ou igual	menor
	menor		menor ou igual	maior ou igual	maior ou igual
corte raso para jovem	maior		menor	maior ou igual	menor
	igual		menor	maior ou igual	menor
	menor		menor	maior ou igual	menor

5.3. Plano de investigação: estudo de caso

Como já foi colocado anteriormente, adotou-se, no presente trabalho, uma forma de avaliação das hipóteses que se baseia em testes realizados através de experimentos controlados. A escolha desse procedimento decorre principalmente da dificuldade de se produzirem os fatos e predicados, necessários para representar um conhecimento como o descrito no item anterior, incluindo as heurísticas utilizadas pelos especialistas em interpretação de imagens multiespectrais, sem as restrições próprias de um cenário conhecido. Além disso, a variabilidade natural dos valores de resposta espectral só

comparece em um teste realizado em uma imagem real, fornecendo resultados que permitem uma avaliação concreta da aplicação do processo de atualização.

Por outro lado, a aquisição de conhecimento do especialista humano para a construção do banco de conhecimento é facilitada pela especificação do problema a ser solucionado, pois as indagações, próprias da etapa de aquisição, a serem feitas ao especialista, baseiam-se em um cenário definido.

Finalmente, a fundamentação teórica utilizada por um especialista em extração de informações espaciais em situações cujo tema, técnica de produção, clima, etc, sejam diferentes, é a mesma, mas aplicada de forma adequada a cada caso. Assim sendo, o especialista humano procura adequar seu conhecimento a respeito de Sensoriamento Remoto para uma dada situação, o que se constitui em um processamento mental de grande complexidade. Portanto, nesta proposição, o conhecimento a ser adquirido de um especialista e armazenado em um banco de conhecimento restringe-se àquele empregado a uma dada situação.

Considerando que a avaliação da hipótese de que o conhecimento adquirido de especialistas humanos e representado simbolicamente pode ser usado na automação de processos de atualização de informações espaciais é a principal preocupação deste trabalho, basta que o protótipo do sistema de atualização proposto seja capaz de realizar uma análise utilizando, não somente dados multiespectrais e temporais, mas também informações complementares que auxiliem na caracterização tanto do espaço territorial estudado, quanto dos fenômenos mapeados. Assim, adotou-se um estudo de caso a partir de uma situação real no qual um mapa e seu protótipo de sistema de atualização pudessem ser desenvolvidos e desta forma realizar os experimentos.

O referido estudo de caso visa à atualização de informações espaciais de uma área de reflorestamento de eucaliptos localizada no Município de Itararé, SP fig. 5.3, mais

especificamente na Fazenda Santana, sob a responsabilidade da empresa Suzano Feffer, conforme o mapa demonstra.

Essa escolha deve-se ao fato de os reflorestamentos de eucaliptos apresentarem características que tornam complexa a manutenção de mapas, os quais possibilitam uma avaliação mais precisa da capacidade de produção da matéria-prima energética, que pode ser destinada tanto à produção de celulose/papel, como de madeira, ou ainda, de carvão vegetal. O grande número de variáveis que dependem da espécie, clima, relevo, práticas de manejo, etc. oferecem uma vasta gama de alternativas relacionadas com os fenômenos de alteração da cobertura.

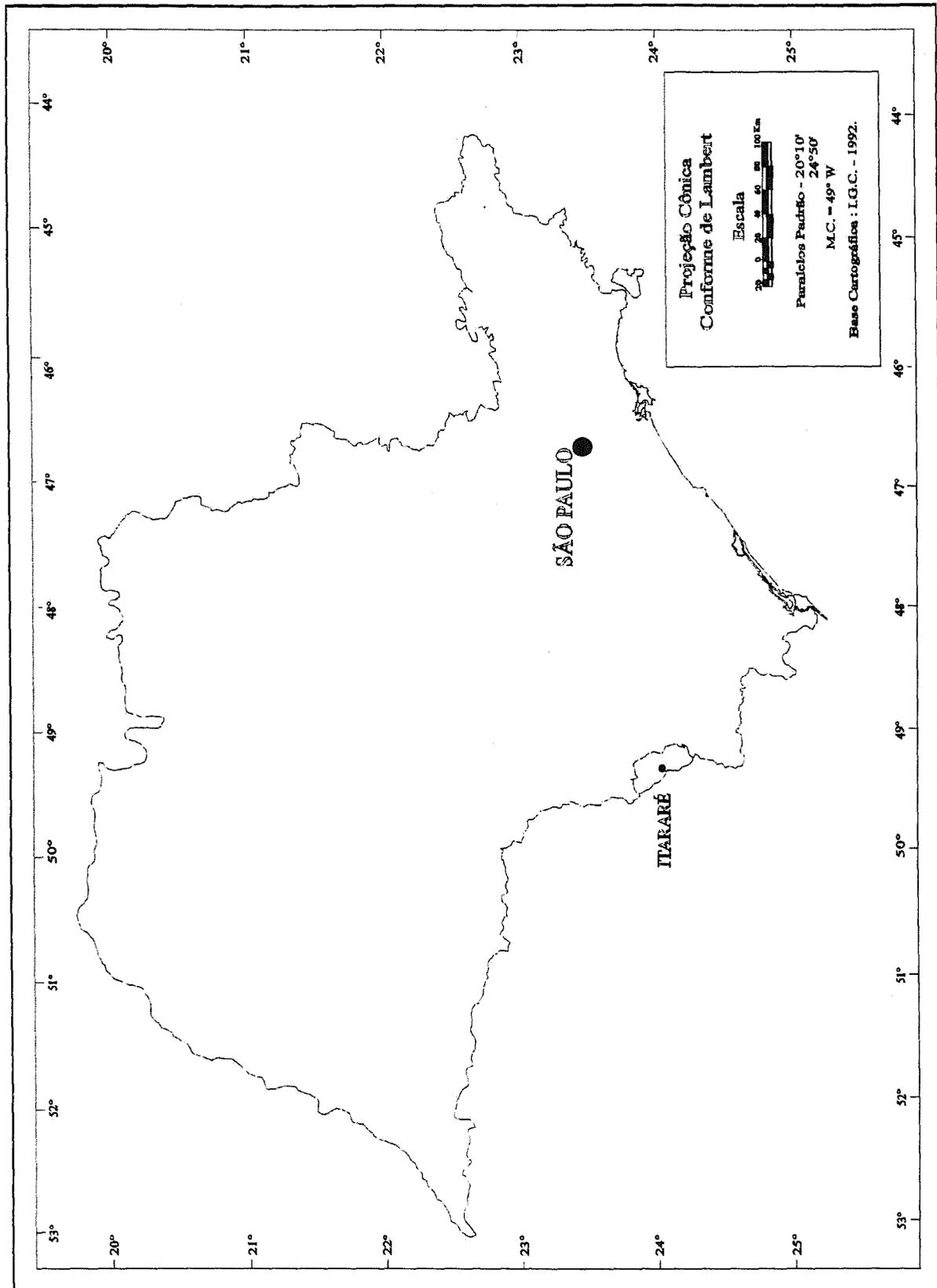


Figura 5.3: Município de Itararé no Estado de S. Paulo

fonte: I.G.C. (1992)

Os reflorestamentos localizados nas imediações do município de Itararé - SP (sudeste do Estado de S. Paulo) têm sido estudados por diversos pesquisadores devido à sua representatividade no Estado de S. Paulo, sendo portanto, uma área adequada aos propósitos aqui apresentados.

O tema selecionado para este trabalho merece destaque, pois mapas que possibilitem uma avaliação da real capacidade de produção dos reflorestamentos são muito importantes na planejamento da produção de papel, tanto para o Estado, como para a iniciativa privada. Os produtos obtidos, direta ou indiretamente, dos reflorestamentos são de primeira necessidade, obrigando o Estado a tomar medidas que venham a garantir uma oferta mínima compatível com as necessidades da população. No que tange às empresas, pode-se lembrar que é necessário uma grande inversão de capitais na modernização e na ampliação de plantas industriais destinadas a produção de celulose/papel, exigindo-se, portanto, garantias de produção da matéria-prima em quantidade que possa suprir a demanda industrial. Assim, é necessário que haja um planejamento que oriente a reposição e expansão de maciços florestais destinados ao aproveitamento econômico. O monitoramento dos reflorestamentos pode, também, ser um instrumento de controle do Estado, tanto na verificação da aplicação dos incentivos ou financiamentos, quanto com finalidade de arrecadação, e controle de preços, etc.

Quanto ao estudo, observar-se-ão os seguintes elementos:

Dados disponíveis:

- mapa de unidades de área da fazenda, figura 5.4;
- unidades de área da área selecionada para o estudo de caso, fig. 5.5;
- mapa de uso da área do estudo de caso, figura 5.6;
- situação espacial da área de estudo em 10/10/87, fig. 5.7;
- verdade terrestre da área de estudo em 9/08/88, fig. 5.8;

As principais características do objeto de atualização são:

- . reflorestamento de eucaliptos para produção de madeira destinada à indústria de papel e celulose;
- . unidades de área demarcados por trabalho de topografia, fig. 5.4;
- . ciclo adotado: plantio e duas rebrotas;
- . rede de drenagem protegida;
- . idade média de corte: entre 6 e 8 anos: adota-se 7 anos;
- . necessidade de monitoramento da produção para fins de gerenciamento e planejamento, ou seja controle integrado ao setor de transformação (industrial);

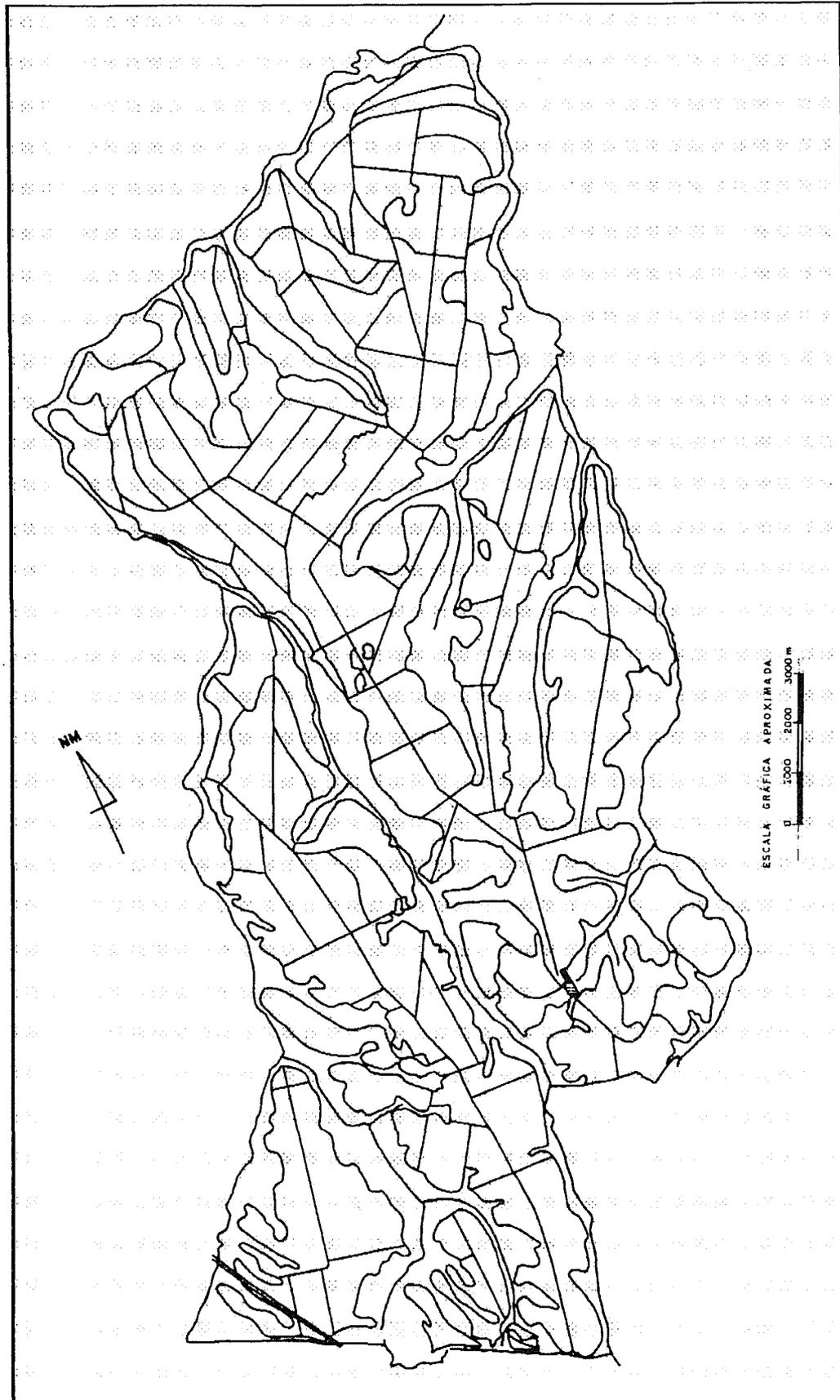


Figura 5.4: Mapa de unidades de área da Fazenda Santana

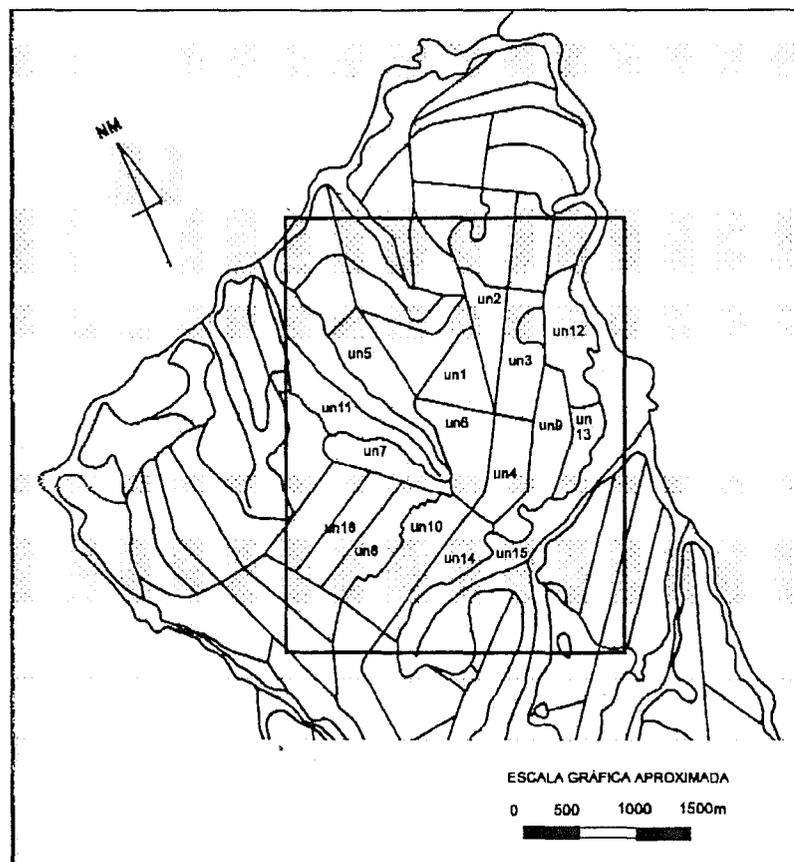


Figura 5.5: Área de estudo com as unidades selecionadas para o estudo de caso

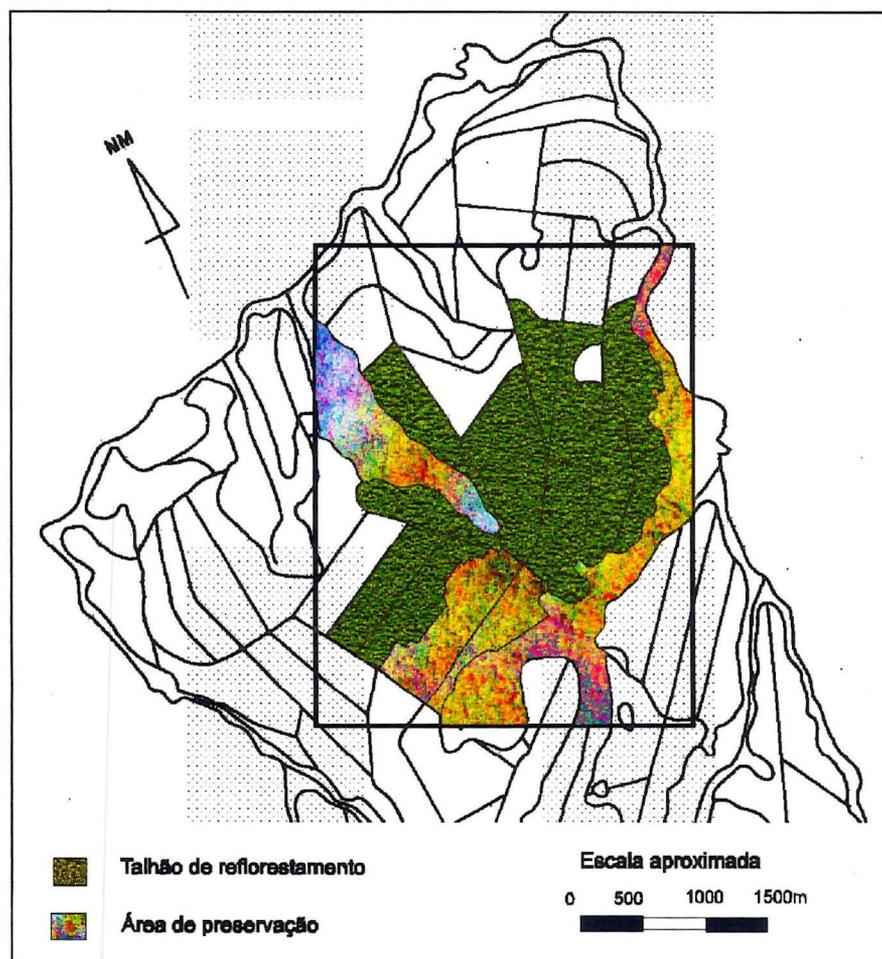


Figura 5.6: Mapa de uso do solo da área de estudo.

IMAI, N. N.

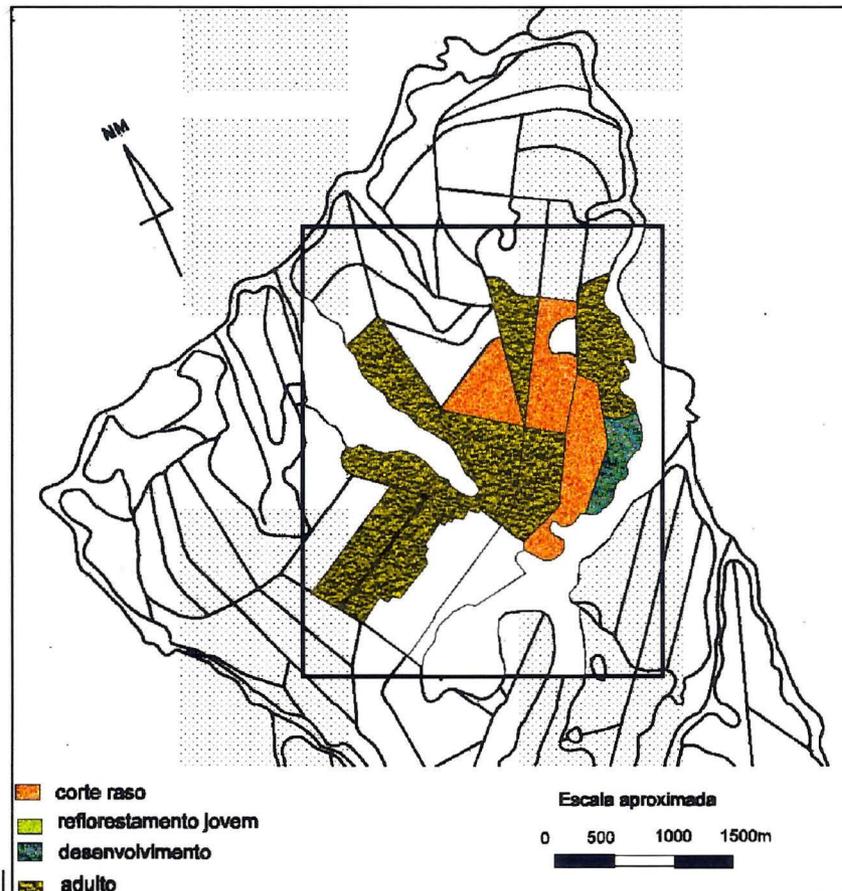


Figura 5.7: Mapa de estágio de desenvolvimento florestal da área de estudo em 10/10/87. IMAI, N. N.

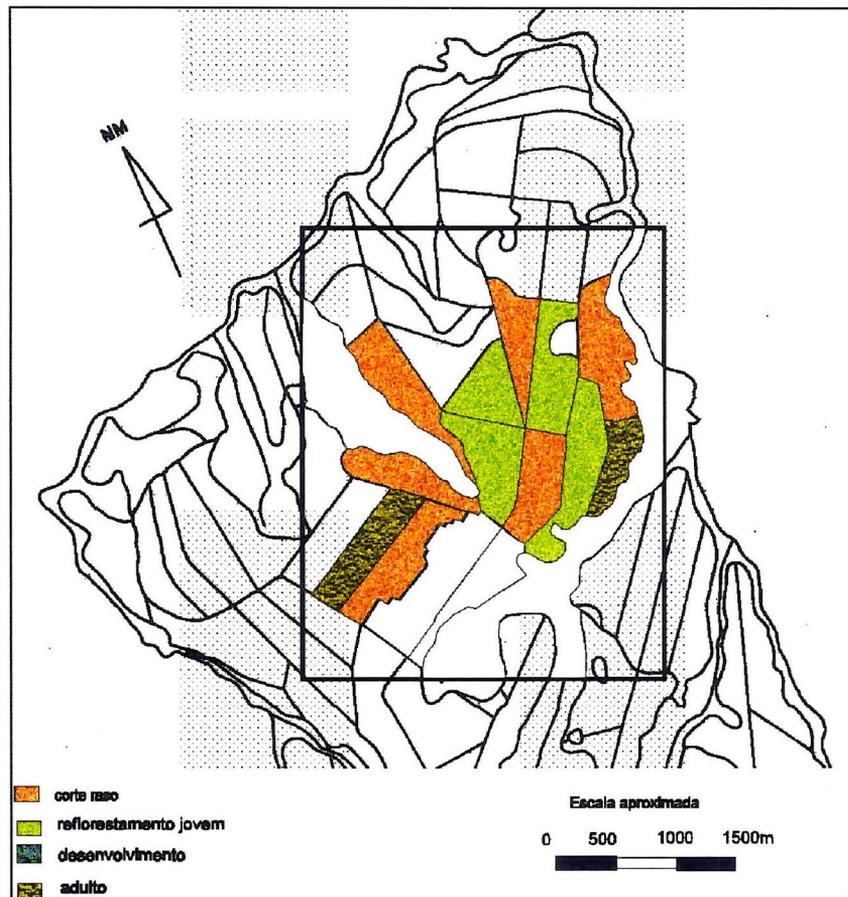


Figura 5.8: Mapa de estágio de desenvolvimento florestal da área de estudo em 9/8/88. IMAI, N. N.

- dados multiespectrais TM-Landsat:
- segmentos de cena gravados em diskettes, referentes a duas datas de passagem, figura 5.9: a, b, c, d, e, f.

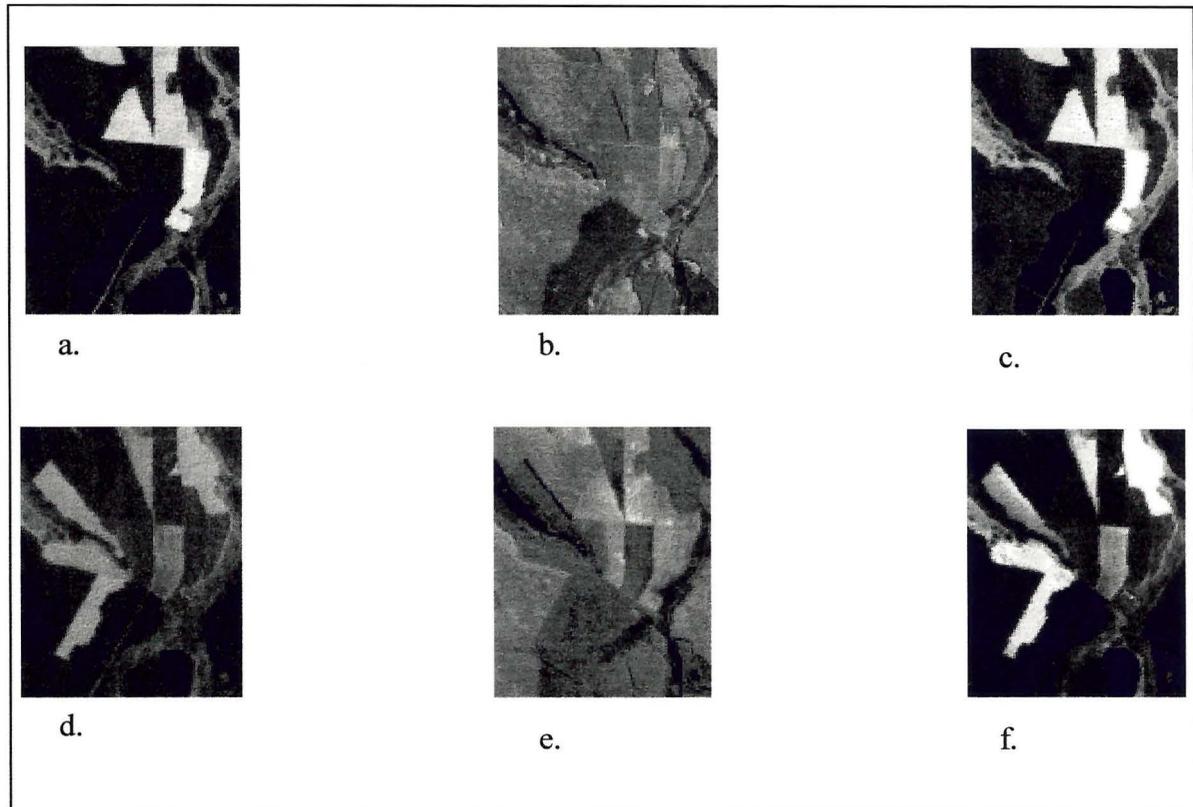


Figura 5.9: Segmentos de cena TM-LANDSAT: a. banda 3, de 10/10/87, b. banda 4, de 10/10/87, c. banda 5, de 10/10/87, d. banda 3, de 9/08/88, e. banda 4, de 9/08/88, f. banda 5, de 9/08/88

Obs: dados multiespectrais do acervo da biblioteca da Geografia/USP, gerados pelo INPE.

- . 3 bandas do espectro refletido;
- . elemento de resolução no terreno: 30x30m;
- . especificações técnicas das cenas:
 - . dados adquiridos em fitas CCT;
 - . órbita/ponto: 221/77;
 - . datas de aquisição:- 10/10/87 e 9/08/88.

A principal fonte de dados da presente proposta são as imagens multiespectrais de Sensoriamento Remoto, adquiridas por sistemas sensores colocados a bordo de plataformas orbitais, que se caracterizam pelos valores de resposta espectral e que correspondem à radiância espectral de um elemento de resolução no terreno, obtido através da medida de

radiação eletromagnética provinda de alvos, definidos por meio de uma amostragem sistemática da energia emitida ou refletida pela superfície terrestre. Tais valores constituem os menores elementos da imagem denominados pixels e resultam de transformações de sinais elétricos, portanto analógicos, em sinais digitais, geralmente quantizados no range entre 0 (zero) e 255 (duzentos e cinquenta e cinco) por sua adequação tanto à representação dos sinais analógicos, como devido à conveniência de armazenamento e posterior utilização. Cada pixel de uma imagem multiespectral pode ser representado por um vetor onde cada um dos componentes corresponde à resposta espectral de um elemento de resolução da superfície em um dado momento e é conhecido como sendo um atributo espectral do conjunto de dados multiespectrais. Como os valores dos componentes do vetor, que possui os atributos espectrais de um pixel, variam conforme sua posição no espaço/tempo, então um pixel de uma imagem digital é usualmente representado como uma função bi-dimensional, conforme representação na fig. 5.10.

f(1, 1)	f(1, 2)	f(1, 3)	f(1, 4)	f(1, 5)	f(1, 6)	f(1, 7)	.....	f(1,coluna)
f(2, 1)	f(2, 2)	f(2, 3)	f(2, 4)	f(2, 5)	f(2, 6)	f(2, 7)	.....	f(2, coluna)
f(3, 1)	f(3, 2)	f(3, 3)	f(3, 4)	f(3, 5)	f(3,6)	f(3, 7)	.....	f(3, coluna)
f(4, 1)	f(4, 2)	f(4, 3)	f(4, 4)	f(4, 5)	f(4, 6)	f(4, 7)	.....	f(4, coluna)
							
f(linha,1)	f(linha,2)	f(linha,3)	f(linha,4)	f(linha,5)	f(linha,6)	f(linha,7)	.....	f(linha, coluna)

Fig. 5.10: Função bi-dimensional que representa uma imagem digital IMAI, N.N.

Portanto, uma imagem multiespectral, na sua forma digital, pode ser vista como uma matriz tri-dimensional, com um determinado número de linhas e de colunas constituindo as duas dimensões da figura anterior e com uma terceira dimensão que contém os planos que representam cada uma das bandas espectrais consideradas, conforme ilustração apresentada na fig. 5.11.

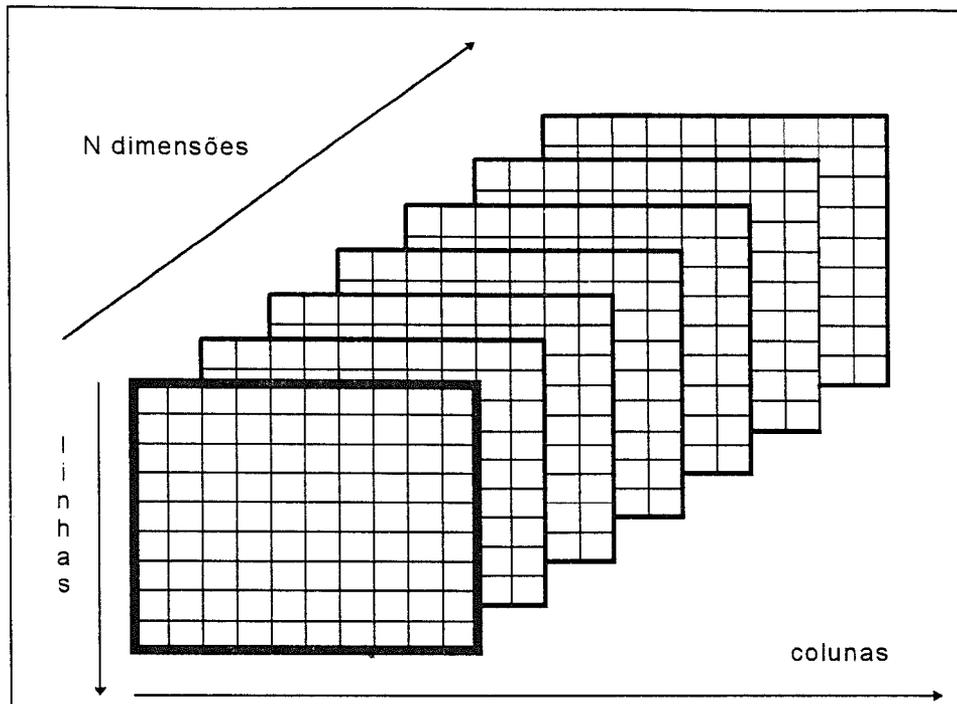


Fig. 5.11: Representação de uma imagem multiespectral com N atributos espectrais e seu sistema de coordenadas espaciais (linha, coluna) IMAI, N. N.

Assim, cada pixel da imagem é constituído de N valores de resposta espectral, sendo N o número de atributos espectrais adotados. Uma representação gráfica de um espaço de atributos com dimensão $N = 3$ é apresentada na fig. 5.12.

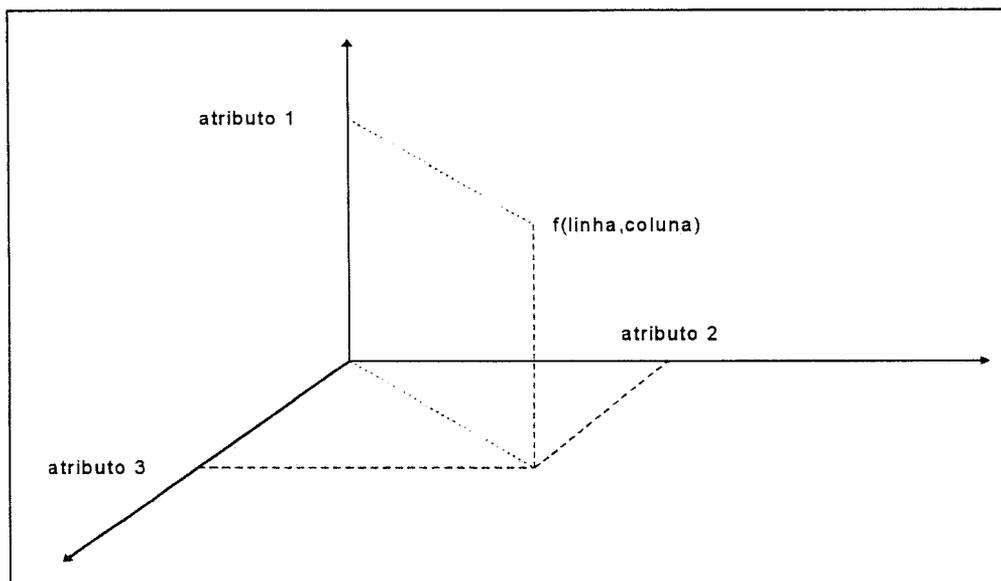


Fig. 5.12: Espaço de atributos espectrais de um pixel de uma imagem com $N = 3$ IMAI, N. N.

A representação de um pixel, de um conjunto de dados multiespectrais com N bandas como um vetor no espaço de atributos espectrais, com dimensão correspondente, é

apresentada a seguir: $\bar{x} = \begin{pmatrix} x1 \\ x2 \\ \vdots \\ xN \end{pmatrix}$,

onde: \bar{x} é o vetor que representa um pixel no espaço de atributos espectrais;

$x1, x2, \dots, xN$: são os valores de resposta em cada banda, representados no espaço de atributos.

Neste estudo de caso, como o produto do reflorestamento visa fornecer matéria prima para indústria de papel e celulose, necessita-se de um monitoramento de sua produção a fim de manter suas condições de manejo bem controladas. Ou seja, é preciso acompanhar e controlar o desenvolvimento da cultura, assim como os tratamentos culturais aplicados a fim de gerenciar e planejar a produção da matéria prima de forma garantir o ritmo, previsto, do setor industrial.

Assim, a finalidade do mapeamento é prover o usuário com informações da evolução da produção de madeira para a realização de planejamento e gerenciamento, ou seja controle sincronizado ao setor de transformação. Entre as informações necessárias para as atividades de gestão da produção pode-se citar:

- quanto ao solo: tipo e fertilidade;
- quanto ao manejo: técnica de plantio empregada, correção do solo, adubação das mudas, data do plantio, espaçamento entre mudas, espécie de muda plantada, idade das mudas, data das capinas, data do corte;
- quanto à produção: idade do talhão quando colhido, volume produzido;

- quanto às condições climáticas: medidas pluviométricas diárias, medida de temperaturas mínima, máxima e de umidade relativa do ar.

No caso de rebrota, há outras informações que devem ser acrescentadas: data do desbaste, adubação da rebrota, etc.

Finalmente, outra informação também de interesse refere-se à evolução da produção, ou seja, do estágio de desenvolvimento florestal ou fenológico de um talhão por possibilitar um gerenciamento da produção, que seja mais adequado às necessidades previstas de matéria-prima para o setor de transformação da produção de papel e celulose.

Os dados de Sensoriamento Remoto podem fornecer indicações da ocorrência de algumas atividades de manejo. No quadro 5.3 são apresentadas as atividades mais importantes do manejo e sua possibilidade de detecção através dos dados de Sensoriamento Remoto.

Quadro 5.3: Atividades de manejo do reflorestamento de eucaliptos do estudo de caso

Manejo	Detecção por Sensoriamento Remoto
plantio	detecção pela sua associação com solo preparado na época para plantio
capina	provavelmente não modifica significativamente a resposta espectral
adubação	detecção depende de sua associação com mudança de estágio fenológico e consequente modificação significativa da massa foliar
corte raso	modifica sensivelmente a resposta espectral
rebrota	modifica sensivelmente a resposta espectral
desbaste	modifica a resposta espectral de forma a auxiliar no monitoramento do desenvolvimento do estágio fenológico de um talhão

5.3.1. Descrição do cenário a ser representado

No presente trabalho, procurou-se realizar a identificação do estágio de desenvolvimento fenológico de um talhão através de sua associação com as atividades de manejo apresentadas. Adotou-se essa estratégia devido ao fato de que cada uma das

atividades de manejo está prevista para uma determinada fase do desenvolvimento de um talhão do reflorestamento, assim como pelo aumento da possibilidade de sucesso na identificação do fenômeno através dos dados multiespectrais.

Para a área selecionada, dispõe-se de dados de monitoramento adquiridos pelos técnicos responsáveis pela produção ao longo do tempo. Esse material, comumente utilizado no gerenciamento e planejamento da floresta, foi de grande valia para os experimentos realizados pois, além de ter sido usado como suporte para as avaliações, forneceu boa parte do conhecimento necessário ao estabelecimento de fatos e predicados que constituem o banco de conhecimento do protótipo do sistema especialista.

Podem-se prever as possíveis modificações a partir das técnicas de manejo adotadas, das espécies florestais empregadas pela empresa responsável pela exploração do recurso, bem como de informações adicionais sobre ocorrência de incêndio, ou de pragas/doenças, como também de precipitações ocorridas antes da aquisição dos dados utilizados.

Portanto, o conjunto de dados e informações que foram carregados na base de dados cartográficos a ser atualizada refere-se a uma pequena área de uma fazenda de produção de eucaliptos. O reflorestamento é dividido em talhões que constituem as unidades mapeadas e manejadas na fazenda. As informações que dizem respeito à produção são referenciadas aos talhões em uma determinada data. Na área selecionada estão presentes, além dos talhões de eucaliptos, áreas de preservação destinadas à conservação dos mananciais. Os últimos objetos auxiliam na descrição do contexto da realidade.

Além disso, alguns dos talhões de eucaliptos da área de estudo estão, nas datas de aquisição de dados TM/LANDSAT utilizadas, sendo submetidos a um corte raso que pode ser identificado, correlacionando a resposta espectral com a idade das árvores nas diferentes datas, bem como o crescimento de novas árvores nos talhões que sofreram o corte pouco

antes do levantamento inicial. Entre outras informações que também são necessárias no estabelecimento dos modelos destinados às análises pode-se citar a idade média de 7 (sete) anos para a execução do corte raso, o estágio fenológico da cultura que pode implicar em maior e menor quantidade de folhas verdes, etc. Informações sobre possíveis ataques de pragas ou doenças que podem ocorrer em partes de vários talhões, caracterizando um conjunto de talhões “atacados”, isto é, com problemas fitossanitários; incluindo o conhecimento existente sobre as possíveis mudanças no comportamento espectral. Ou, quaisquer outras informações que possam dar suporte à compreensão dos processos de evolução, são de interesse na atualização da base de dados espaciais. Esse é um conhecimento específico do especialista humano que constitui material que corresponde ao tratado genericamente no item 4.4.2 e que, finalmente, neste momento, surgiram condições para especificá-lo.

No decorrer deste trabalho, após a implementação do protótipo inicial do sistema, ocorreram alterações no conhecimento representado. Conseqüentemente, somente com a concretização das idéias em termos de fatos, regras, objetos e suas relações é que foi possível analisar e testar a formulação inicial da presente proposta na área de estudo. A partir da aplicação da versão inicial do protótipo desenvolvido através dos dois experimentos iniciais, na área de estudo, tornou-se possível identificar suas fragilidades. Uma representação mais consistente foi obtida pelo aprimoramento da versão inicial. A modificação do banco de conhecimento deu-se com a substituição de banda isolada pelo índice de vegetação NDVI e pelo acréscimo da possibilidade de considerar a variação no grau de umidade entre as duas aquisições de imagens de Sensoriamento Remoto. Portanto, os testes finais, bem como a análise de seus resultados só foram concretizadas através da versão final do protótipo criado para este trabalho, que, enfim, forneceu os subsídios que permitiram avaliar as hipóteses deste trabalho.

5.3.2. Esboço de um modelo de informação

Em uma abordagem inicial da representação do universo do tema escolhido podem ser incluídas informações relativas à unidade de área, destinação, estágio de desenvolvimento florestal, data de aquisição das informações e posição em coordenadas da imagem da qual se originou. Sendo a base cartográfica adotada georeferenciada pelo sistema de coordenadas da fonte de dados, ou seja dos dados TM/LANDSAT.

Assim, os elementos representados no mapa da área selecionada são os talhões de eucaliptos e as áreas de preservação. Um talhão de eucaliptos, por sua vez, pode encontrar-se em uma fase de desenvolvimento ou estágio, ou seja pode ter sido recentemente colhido e assim, estar com mudas novas plantadas, ou com brotos provenientes da rebrota, ou em descanso constituindo as áreas de pousio. Ou então, pode estar com árvores em desenvolvimento ou até mesmo no estágio adequado para colheita.

Os objetos que representam as entidades de interesse do mundo real estão relacionados em seguida:

- unidade de área (ua): região na superfície;
- talhão (t): unidade de área destinada a produção, talhão do reflorestamento;
- área de preservação (ap): unidade de área reservada como área de preservação para conservação do solo e da água;
- estágio de desenvolvimento florestal (edf): é um estágio fenológico de interesse ao produtor;
- data (data): data de aquisição dos dados multiespectrais^{5.1};

^{5.1} Data de aquisição de dados multiespectrais refere-se à data em que o sistema sensor (neste caso TM, MAPEADOR TEMÁTICO) realizou a coleta de dados radiométricos da superfície.

- célula (cel): um dos elementos, de uma região da superfície, na representação raster;
- endereço (end): coordenadas de posição no espaço, de cada uma das células, neste trabalho linha e coluna da imagem TM-Landsat, com origem no canto superior esquerdo da sub-cena selecionada;
- brilho espectral (b_λ): valor de resposta espectral de uma célula, em uma banda espectral, para uma data de coleta; corresponde à radiância^{5.2.} espectral do alvo (superfície).

Considerando-se que as informações dos mapas trabalhadas pela empresa de reflorestamento são representadas por entidades do universo considerado e que neste experimento, a entidade adotada como referência para consultas é denominada "unidade de área", elaborou-se uma estrutura para as informações que constituem a base de dados espaciais e não espaciais a partir desta entidade.

Portanto, a "unidade de área" constitui o objeto chave do modelo de dados criado para este estudo de caso. Uma unidade de área pode ser dividida em duas categorias: "área de preservação" e "talhão". Para cada "talhão" são relevantes os dados referentes ao seu "estágio de desenvolvimento florestal" em uma determinada "data". O objeto "estágio de desenvolvimento florestal" caracteriza, portanto, o estágio fenológico do "talhão" de um objeto chave "unidade de área". As categorias de estágios fenológicos adotadas pelo produtor são as seguintes:

^{5.2.} Radiância é a grandeza radiométrica que um sensor ótico de energia eletromagnética mede ao quantizar a energia radiante provida de uma superfície; e a radiância espectral é uma medida obtida em uma faixa do espectro eletromagnético, mais detalhes podem ser encontrados em Slater (1980).

- reflorestamento jovem (rj): fase de desenvolvimento inicial que começa após 2 a 3 meses do corte raso ou logo após o plantio. Ocorre, aproximadamente, durante um período de 1 ano a 1 ano e meio. Caracteriza-se pelo desenvolvimento mais intenso da massa foliar;
- reflorestamento em desenvolvimento (des): inicia-se, aproximadamente, no segundo ano do talhão, ocorrendo por um período de 4 anos, quando há o desenvolvimento do fuste e o ganho de volume. É importante acrescentar que um talhão que venha sendo desenvolvido a partir da rebrota ocorrida após uma colheita sofre um desbaste ou rareamento na fase anterior, diminuindo, em geral, a massa foliar presente na copa;
- reflorestamento adulto (ad): este estágio ocorre, aproximadamente, quando o talhão completa o sexto aniversário, deste até a colheita. Sua principal característica é de que o volume já desenvolvido satisfaz as necessidades do produtor que, portanto, pode realizar a colheita a qualquer momento;
- corte raso (cr): na colheita realiza-se o corte raso dos eucaliptos de um talhão que esteja pronto, isto é, adulto. Ocorre, em média, entre o sexto e o oitavo ano do talhão, mas pode haver atraso na colheita devido a alguma estratégia da empresa.

Entretanto, ocorrem modificações indesejáveis que também devem ser registrados no mapa. Tais fenômenos podem estar relacionados com eventos episódicos pouco previsíveis, que acontecem em qualquer estágio fenológico da produção e, em qualquer parte que seja mais propícia, não escolhendo uma determinada unidade de área, podem sobrevir em várias unidades vizinhas simultaneamente. Tais eventos são os seguintes:

- pragas/insetos: um ataque de pragas ou de insetos altera as condições sanitárias da produção, provocando uma diminuição no volume final de madeira. As alterações provocam uma mudança no padrão de resposta espectral de maneira pouco conhecida pelos especialistas. Portanto, sua detecção nos dados multiespectrais é mais complexa, mesmo para um intérprete experimentado, dependendo de uma combinação de análise da variação radiométrica e da variação de textura em duas aquisições, correlacionando a informações provindas da observação direta;
- incêndio: eventualmente o fogo pode destruir parte da produção. O comportamento espectral de áreas que em uma data de aquisição da imagem possuía vegetação e, na aquisição seguinte, a vegetação tenha sido consumida pelo fogo, é conhecido, sendo possível identificá-lo pela análise das respostas espectrais.

Como os valores digitais do espaço de atributos dos pixels de conjuntos de dados multiespectrais de duas datas de aquisição constituem a principal fonte para o processo de atualização das informações espaciais, é necessário que os vetores de atributos dos pixels que compõem cada unidade de área, em cada uma das datas sejam conhecidos pelo sistema de atualização.

Define-se, portanto, uma entidade denominada "célula", com dimensões e posição na superfície, ou seja, no espaço objeto, compatíveis com as dimensões das áreas representadas pelos pixels dos dados multiespectrais, bem como sua posição no terreno.

Dessa forma, a base de dados espaciais constitui-se de um conjunto de "células" que compõem cada "unidade de área", de forma que os dados referentes aos valores de

"brilho espectral" das células de cada "unidade de área" podem ser acessados, pois se conhecem as células de cada uma das unidades do mapa.

Em um esboço inicial da base dados, selecionou-se o objeto "unidade de área" como a principal chave de acesso às informações, tendo como objeto auxiliar, as células que possibilitam a utilização dos dados de Sensoriamento Remoto.

O modelo da base de dados esboçado preliminarmente é apresentado na figura 5.13.

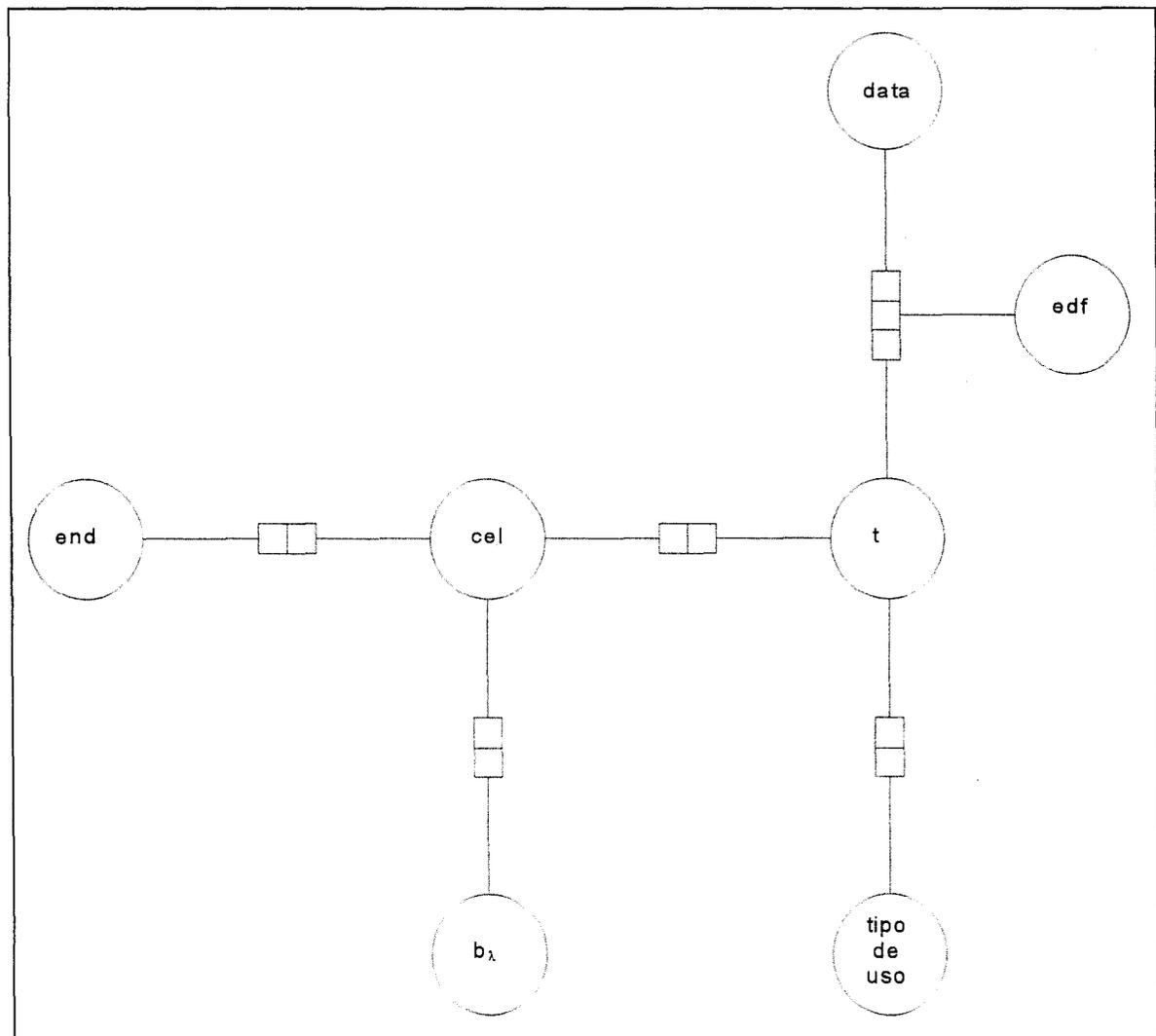


Figura 5.13: Representação gráfica do primeiro modelo de dados do reflorestamento IMAI, N.N.

Como o modelo proposto primeiro não representa adequadamente a realidade do reflorestamento, criou-se uma nova versão, aprimorada a partir da anterior, para a estrutura

da base de dados, fig. 5.14. Neste modelo o objeto, "talhão" é substituído por um outro objeto mais geral e abrangente, ou seja o objeto "unidade de área".

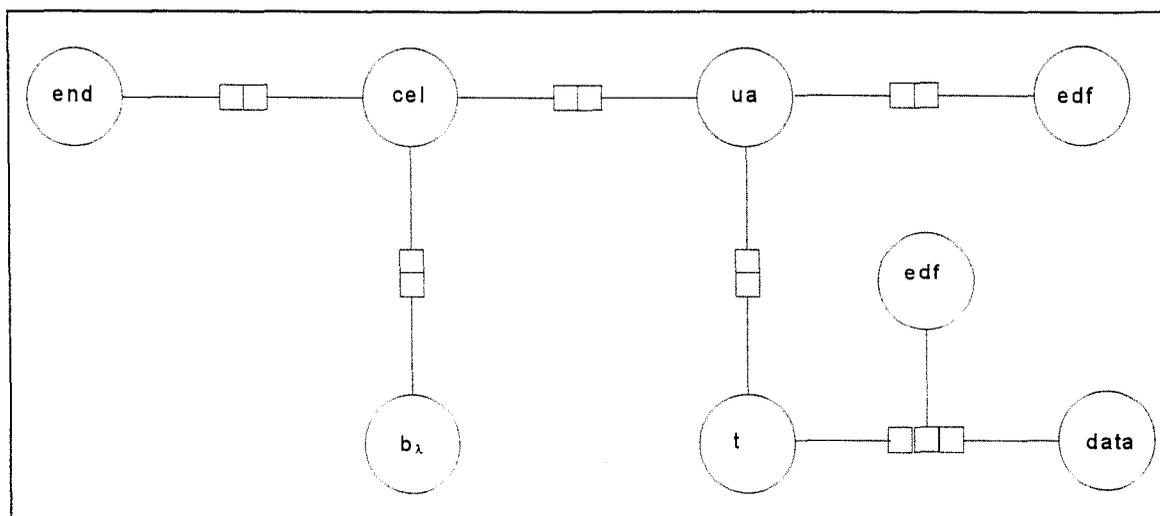


Figura 5.14: Representação gráfica do modelo de dados, final, do reflorestamento. IMAI, N.N.

Na representação gráfica da fig. 5.14, "célula" é o menor elemento pertencente a uma "unidade de área" representada na base de dados, ou seja representa uma área de 30m X 30m no terreno, em posição conhecida na superfície da terra. Portanto, o objeto "célula" relaciona-se com o objeto "endereço", ou seja, com as coordenadas (linha, coluna) de uma imagem multiespectral adotada como referência, que fornecem sua posição no espaço, de forma que cada célula pode ser referenciada a um endereço e vice-versa, conforme representação na fig. 5.15. As coordenadas adotadas são extraídas da imagem multiespectral da qual se produz o mapa que deve ser examinado e atualizado pelo sistema.

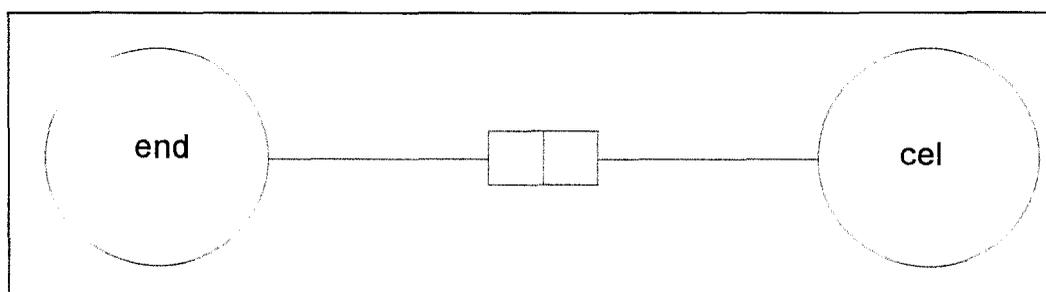


Figura 5.15: Fato que relaciona cada célula a sua posição na superfície IMAI, N.N.

"Unidade de área" (ua) é um tipo-objeto entidade que representa uma parcela da superfície, sendo seu tamanho, forma e posição no espaço objeto^{5.3} definida pelos responsáveis pela produção de eucaliptos, em função de seus interesses. Cada "unidade de área" é formada por um conjunto de "células", de maneira a formarem a relação representada na fig. 5.16.

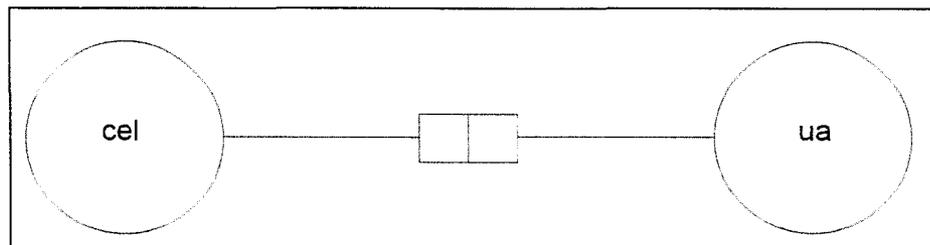


Figura 5.16: Fato relacionando uma célula a uma unidade de área. IMAI, N.N.

O objeto "célula" relaciona-se também com o objeto "brilho espectral", fig. 5.17. Cada "célula" da base de dados pode possuir um valor de resposta em cada banda espectral, nas quais se realiza a aquisição dos dados de Sensoriamento Remoto. Os valores são inteiros e variam entre 0 (zero) e 255 (duzentos e cinquenta e cinco). Tais valores de resposta que dependem da reflectância espectral dos alvos na superfície, podem alterar-se, no decorrer do tempo, de acordo com a evolução ou modificações que ocorram durante este intervalo de tempo, no alvo considerado. A resposta espectral dos alvos é, conseqüentemente, um dos indícios iniciais mais importantes para a resolução do problema de atualização de mapas desta proposta.

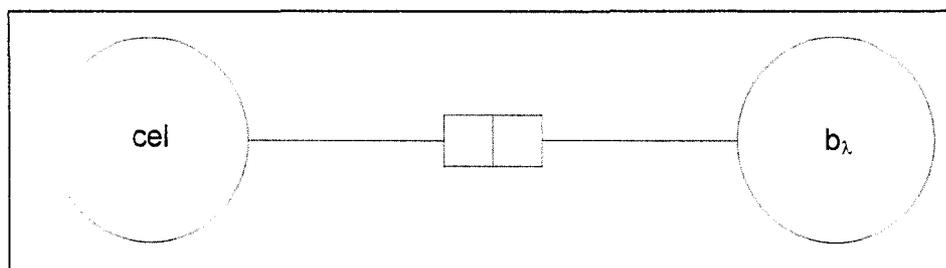


Figura 5.17: Relacionamento entre cada célula e a resposta espectral correspondente. IMAI, N.N.

^{5.3} Espaço objeto expressa o espaço físico real da superfície da Terra.

Para o estudo de caso escolhido neste trabalho, ou seja, áreas ocupadas por re-florestamento, a posição do objeto "unidade de área", na superfície apresenta pouca dinâmica no tempo e, conseqüentemente, são raros os casos de modificação das "células" que o compõem. Por outro lado, uma "ua" pode ser destinada à preservação florestal, por tratar-se de áreas de maior risco aos processos de degradação do solo. Portanto, conforme sua destinação, o tipo objeto "unidade de área" pode assumir entre dois diferentes papéis nesta estrutura, de maneira a formar um predicado que o relaciona com "talhão" e com "área de preservação". Estas relações estão representadas nas figuras 5.18 e 5.19 respectivamente.

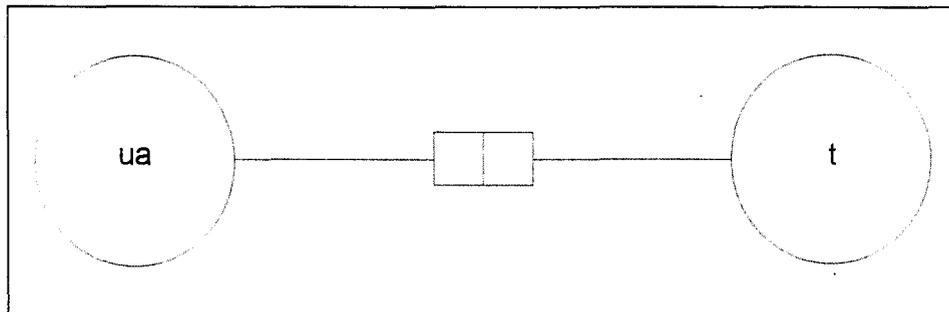


Figura 5.18: Representação de unidade de área destinada à produção florestal.
IMAI, N.N.

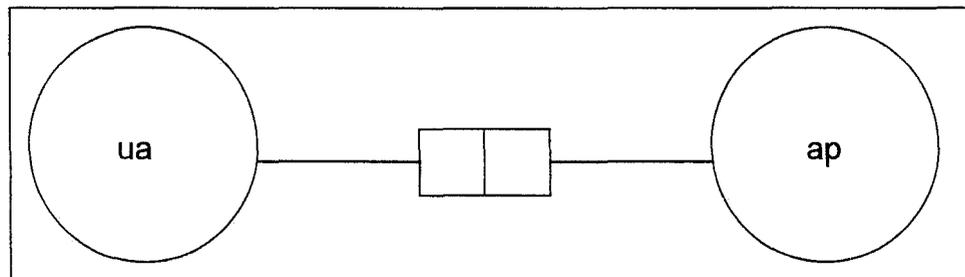


Figura 5.19: Representação de unidade de área destinada à preservação de mananciais.
IMAI, N.N.

O objeto "talhão" refere-se exclusivamente a áreas de re-florestamento e é caracterizado, a princípio, por meio de um tipo-fato no qual estão envolvidos três predicados, sendo um deles o próprio "talhão" e os dois outros formados pelos seguintes objetos: "edf" que é o objeto ora identificado como "estágio de desenvolvimento"

florestal”, e “data” que é o dia da aquisição dos dados multiespectrais, e conseqüentemente com o “edf”. Neste tipo-fato, representado pela figura 5.20, o “talhão” é destinado à produção de madeira e o reflorestamento encontra-se em um determinado “estágio de desenvolvimento florestal” na “data” a que se refere a aquisição desta informação. Dessa forma, fica caracterizada uma relação na qual os três predicados devem obrigatoriamente estar envolvidos.

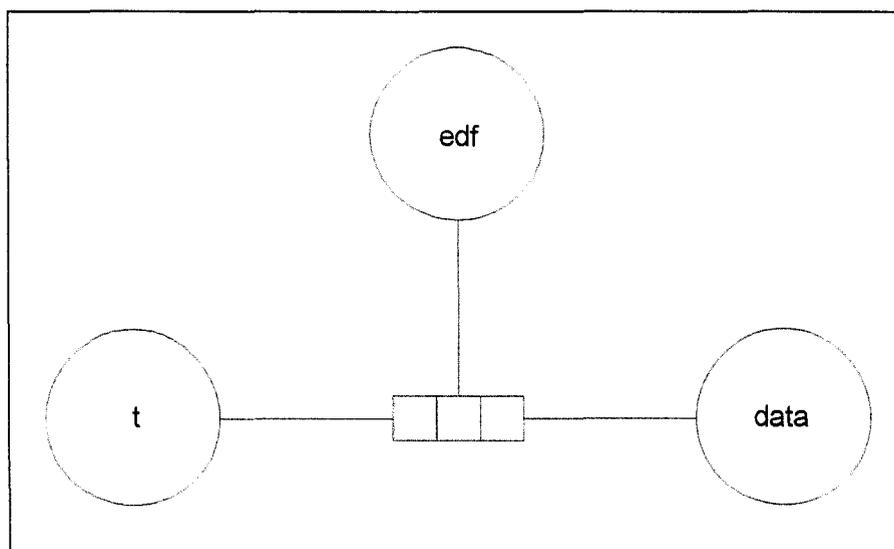


Fig. 5.20: Representação de um talhão de reflorestamento em um estágio de desenvolvimento em uma data, como modelo de informação de “ Talhão”
IMAI, N.N.

5.4. Da verificação experimental

Foram realizadas duas simulações, as quais são relatadas nos capítulos 6 e 7, sendo o primeiro destinado à investigar a integridade e robustez da base de dados espaciais e não espaciais e o segundo para verificar a viabilidade de um “ sistema especialista” em atualização de informações cartográficas.

O terceiro e último experimento, apresentado no capítulo 8, refere-se à aplicação, em dados reais do estudo de caso, quer da versão inicial do protótipo do sistema especialista para atualização de informações espaciais, quer da versão aprimorada.

Da integridade e robustez da base de dados espaciais e não espaciais

6.1. Introdução

A fim de dispor-se de um procedimento que pudesse auxiliar na avaliação da integridade e robustez^{5.4.} da base de dados espaciais associada ao banco de conhecimentos, para a tarefa de atualização do mapa, foi elaborada uma simulação, com um pequeno número de células no mapa, apresentando condições controladas, inserindo o maior número possível de situações que poderiam ser encontradas no mundo real.

6.2. Experimento 1

O experimento foi desenvolvido para que se pudesse responder com segurança às seguintes indagações.

1. Os critérios usuais de detecção e eliminação de dados indesejáveis são aplicáveis à base de dados proposta ?
2. Verificar a integridade e robustez da base de dados, ou seja, se é carregada e se fornece dados e informações livres de erros, mesmo após ter sido manipulada e atualizada ?

^{5.4.} A preocupação refere-se a capacidade de carregar e recuperar dados e informações livre de erros, principalmente nas buscas realizadas pelo protótipo deste trabalho.

Concebeu-se, para tanto, um segmento de cena TM-Landsat cuja dimensão em unidades de elementos de dados multiespectrais similares àqueles obtidos pelo próprio sistema sensor no espectro refletido (pixels), corresponde a 15 X 15 elementos. Tal segmento possui 3 unidades de área, onde os dois primeiros representam talhões e o terceiro uma área de preservação.

A base de dados concebida possui as seguintes características:

- a variável “Mapa” é instanciada pelo átomo **exp1**, onde as unidades de área são: **un1**, **un2**, **un3**;
- as unidades de área **un1** e **un2** foram criadas como talhões e **un3** como área de preservação;
- as coordenadas das células que constituem cada uma das unidades de área estão apresentados nos quadros 6.1, 6.2 e 6.3;
- o quadro 6.1 mostra as coordenadas de **un1** no contexto da área total considerada neste experimento, da mesma forma que os quadros 6.2 e 6.3 mostram sucessivamente **un2** e **un3**;
- o ano da suposta aquisição dos dados para o mapeamento é **93**, para os quais foram criados valores de brilho em duas bandas espectrais (quadros 6.4 e 6.5);
- note-se ainda que as tabelas apresentam os dados segundo as coordenadas adotadas neste trabalho, ou seja, linha e coluna.

Quadro 6.1: Coordenadas de un1 em exp1

1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
10,1	10,2	10,3	10,4	=2	=2	=3	=3	=2	=3	=3	=3	=3	=3	=3
11,1	11,2	11,3	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=3	=3	=3	=3	=3	=3
12,1	12,2	12,3	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=3	=3	=3	=3	=3
13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	=2	=2	=2	=2	=2	=3	=3	=3	=3	=3
14,1	14,2	14,3	14,4	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=3	=3	=3	=3	=3
15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	=2	=2	=2	=3	=3	=3	=3	=3	=3

Quadro 6.2: Coordenadas de un2 em exp1

=1	=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	10,5	10,6	=3	=3	10,9	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	=3	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	12,10	12,11	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	13,6	13,7	13,8	13,9	13,10	13,11	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9	14,10	=3	=3	=3	=3	=3
=1	=1	=1	=1	=1	=1	15,7	15,8	15,9	=3	=3	=3	=3	=3	=3

Quadro 6.3: Coordenadas de un3 em exp1

=1	=1	=1	=1	=1	=1	1,7	1,8	1,9	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
=1	=1	=1	=1	=1	=1	2,7	2,8	2,9	2,10	2,11	2,12	2,13	2,14	2,15
=1	=1	=1	=1	=1	=1	3,7	3,8	3,9	3,10	3,11	3,12	3,13	3,14	3,15
=1	=1	=1	=1	=1	=1	4,6	4,7	4,8	4,9	4,10	4,11	4,12	4,13	4,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	5,6	5,7	5,8	5,9	5,10	5,11	5,12	5,13	5,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11	6,12	6,13	6,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	7,6	7,7	7,8	7,9	7,10	7,11	7,12	7,13	7,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	8,6	8,7	8,8	8,9	8,10	8,11	8,12	8,13	8,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	9,6	9,7	9,8	9,9	9,10	9,11	9,12	9,13	9,14
=1	=1	=1	=1	=2	=2	10,7	10,8	=2	10,10	10,11	10,12	10,13	10,14	10,15
=1	=1	=1	=2	=2	=2	=2	=2	=2	11,10	11,11	11,12	11,13	11,14	11,15
=1	=1	=1	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=2	12,12	12,13	12,14	12,15
=1	=1	=1	=1	=1	=2	=2	=2	=2	=2	=2	13,12	13,13	13,14	13,15
=1	=1	=1	=1	=2	=2	=2	=2	=2	=2	=2	14,11	14,12	14,13	14,14
=1	=1	=1	=1	=1	=1	=2	=2	=2	=2	15,10	15,11	15,12	15,13	15,14

Quadro 6.4: Valores de brilho na banda 2 da imagem adquirida em 93

21	19	20	17	18	43	120	203	210	207	208	208	210	207	208
20	18	17	19	17	47	142	202	209	208	205	208	209	205	205
23	22	23	21	28	41	135	209	211	209	208	209	208	207	209
24	21	19	20	39	129	207	208	212	212	210	207	212	209	211
22	20	21	18	46	137	210	209	212	211	211	210	208	210	212
20	21	18	19	42	147	212	211	210	210	212	212	210	212	209
18	17	19	22	47	149	209	214	210	209	209	210	209	208	211
19	19	21	25	41	156	206	215	212	208	210	208	207	206	209
20	21	23	22	49	165	201	212	197	207	211	212	210	209	206
21	23	25	40	98	126	173	208	132	192	209	209	210	211	212
19	17	38	97	114	113	117	184	109	143	208	202	208	212	210
17	19	33	99	102	112	114	112	109	103	137	182	207	209	211
15	16	29	34	37	103	115	113	117	108	134	186	208	205	209
18	18	17	18	39	98	105	106	120	136	184	201	212	210	211
19	17	18	19	17	22	38	102	119	138	182	210	211	212	210

Quadro 6.5: Valores de brilho na banda 1 da imagem adquirida em 93

105	103	105	101	102	89	46	29	30	28	29	30	31	30	33
106	104	87	102	103	90	48	28	28	29	30	31	30	31	35
101	0	2	103	105	88	50	30	250	255	253	251	33	33	31
102	100	102	102	92	47	42	31	248	250	29	31	32	35	32
99	104	103	104	89	39	30	30	29	29	29	31	34	32	33
97	98	101	102	91	29	28	29	27	30	32	34	35	31	30
101	102	100	106	88	30	29	29	27	30	32	34	32	33	31
105	103	98	92	91	29	30	28	30	33	34	36	34	31	29
96	1	2	2	2	30	33	32	29	31	32	34	31	33	30
98	0	5	4	50	51	43	41	49	38	38	32	30	32	29
92	98	97	62	59	56	57	31	58	63	41	38	31	30	28
94	95	97	61	60	59	56	62	60	58	61	34	29	31	29
96	99	100	98	99	61	59	58	63	62	59	36	29	28	31
97	94	99	87	95	57	56	59	58	59	37	34	26	29	30
103	97	94	98	100	91	87	58	57	59	36	35	33	32	34

onde:



marca um pixel referente a uma unidade de área vizinha, o qual deve ser excluído da detecção de alterações no processo de atualização cartográfica;

e



assinala um pixel da unidade de área considerada, porém mapeado na unidade vizinha e portanto, também deixará de ser considerado na identificação dos fenômenos ocorridos.

Uma das tarefas iniciais em um sistema de atualização, como o proposto neste trabalho, deve ser a procura de pixels da imagem que estejam com erro grosseiro na geocodificação seguida da sinalização desses erros. Dessa maneira, procura-se evitar a

influência das perturbações na análise. Assim sendo, devem ser excluídos desta análise os pixels: (11,8), (14,5) e (15,7), (15,10) e (11,10).

O experimento procura, portanto, avaliar a aplicação do conhecimento do intérprete de imagens, na forma de regras e predicados, com o objetivo de realizar uma análise inicial dos dados multiespectrais com vistas à atualização de informações espaciais através de um computador. Para tanto, o mapa digital deve estar disponível ao sistema computacional, juntamente com a imagem digital que se constitui na principal fonte de dados utilizada nesta abordagem. Na análise preliminar, procura-se detectar e isolar erros de mapeamento entre o mapa e a imagem multiespectral (correspondência geométrica) que podem ocorrer apesar do pré-processamento de transformação geométrica, o qual deve ser aplicado na imagem antes de carregá-la na base de dados. Além disso, células que eventualmente venham a ser carregadas com valores produzidos por alguma interferência, ou seja, com ruídos, também devem ser isoladas das restantes por dificultar o processo de atualização. Finalmente, selecionam-se as células que representam as feições lineares da imagem, que podem ser valores de respostas de carreadores, caminhos, ou até alguma transição entre áreas cujas respostas espectrais sejam muito distintas.

6.3. Concepção da base de dados espaciais e não espaciais

Para que o experimento pudesse ser realizado, foi necessário modelar e criar fisicamente o mapa digital, objeto da atualização de suas informações, através do ARITY-PROLOG. As características desse mapa digital foram discutidas no capítulo 2 intitulado “**O MAPA: na busca de um conceito adequado à investigação proposta**”. Seu modelamento, no item 5.3.2. do capítulo anterior, sendo apresentada uma representação gráfica na fig. 5.14 (Representação gráfica do modelo de dados, final, do reflorestamento).

Inicialmente, carregou-se esse mapa digital, ou seja, a base de dados espaciais que se constitui dos fatos:

- unidade(UA, ap, preserva, inicio(sempre), Data):

representando uma unidade de área destinada à preservação em uma data, que deve ser instanciada para cada unidade do mapa que for reservada como área protegida;

- unidade(UA, t, EDF, inicio(Inicio), Data):

fato que relaciona uma unidade de área usada para produção de eucaliptos com o estágio de desenvolvimento das árvores do talhão em uma data, estes fatos são carregados na base com a função **assert** do ARITY/PROLOG;

- adress(UA, Endereço):

este fato relaciona cada célula, através de suas coordenadas (linha, coluna) à unidade de área na qual está inserida, sendo o fato carregado na base de dados espaciais pela função **recordz** do ARITY/PROLOG;

- brilho(Endereço, UA, Data, Brilho_λ):

é um predicado que pode ser associado a uma unidade de área através da árvore b chamada uniarea, possui uma lista de valores de resposta espectral correspondente a uma célula do mapa, que, por sua vez, pertence a uma unidade de área, em uma data. É carregado na base de dados espaciais pela função: **recordz**; sendo a árvore uniarea carregada pela função **recordb** (árvore b com múltiplos índices) do ARITY/PROLOG.

Além dos fatos que constituem as informações espaciais do mapa digital, outro contendo informações adicionais e dados auxiliares, também são carregados na base de dados, são eles:

- map_dimension(0, Ncol): indica que antes de carregar o mapa não há nenhuma linha disponível e ainda que devem ser carregadas um certo número de colunas (Ncol). Este fato é carregado na base pela função **assert** do ARITY/PROLOG;

- média(Mapa, UA, Data, Lmédia, Lvariância): apresenta os valores médios de resposta espectral, bem como das variâncias dos valores espectrais das células que compõem cada unidade de área de um mapa em determinada data; a função escolhida para carregar este fato é **assert** do ARITY/PROLOG;

- umidade(Varição): a Variação pode ser: igual, maior, menor. Corresponde à variação do volume de precipitação nas 3 semanas que antecedem a coleta de dados multiespectrais, ou seja, igual para medida pluviométrica similar; maior, quando a precipitação antes da aquisição de dados mais recente for maior que antes da mais antiga; menor, quando a aquisição mais recente for precedida por um período seco e na mais antiga o reflorestamento tiver recebido chuvas significativas nas 3 semanas anteriores à coleta de dados.

Maiores detalhes da linguagem adotada podem ser encontrados no manual de referência publicado por Arity Corporation (1988).

Além disso, são utilizados alguns limites e tolerâncias obtidas diretamente de um arquivo de dados auxiliares a fim de selecionar células, cujos valores de resposta espectral indiquem a possibilidade da existência de alguma anomalia,. A determinação de valores de tolerâncias é realizada através de um processo no qual um analista procura ajustar valores que sejam adequados, cada vez que utilize novos conjuntos de dados multiespectrais na atualização do mapa. Para tanto, os valores inicialmente adotados em uma atualização são aqueles obtidos nas últimas atualizações realizadas. Os resultados com esses valores de

tolerância podem indicar a necessidade de ajuste. Apesar deste processo de ajustamento depender exclusivamente do analista, a tendência natural, após algumas atualizações, é a de encontrar valores que não necessitem de refinamento, ou seja, valores que representam adequadamente o comportamento espectral dos alvos de interesse à atualização.

6.4. Aquisição e representação do conhecimento

6.4.1. Detecção e enquadramento de elementos diferentes do contexto

A aquisição do conhecimento usado para detecção e enquadramento dos elementos diferentes do contexto de interesse que podem estar presentes na imagem multiespectral, bem como sua representação é, como já foi colocado anteriormente, uma das principais fases na constituição de um sistema baseado em conhecimento, ou seja, em regras.

Uma descrição do conhecimento usado para realizar uma leitura inicial da imagem é apresentada a seguir.

A leitura realiza-se pela sobreposição do mapa que esteja sendo objeto de atualização, à imagem adotada, como fonte de dados. Devem-se selecionar os elementos que não se enquadrem à aparência média daqueles que compõem cada unidade de área, considerando-se a possibilidade de se tratarem de ruído, ou erro de mapeamento, ou valores de transição entre unidades, ou feições lineares que separam unidades, ou, inclusive, uma alteração parcial ocorrida em uma unidade de área. Para tanto, é necessário que sejam estabelecidas medidas de homogeneidade dos elementos que compõem cada unidade de área, as quais constituem parte do conjunto de valores armazenados no arquivo de tolerâncias. Assim, adotaram-se parâmetros estatísticos para estimar um valor central e uma dispersão dos valores das células de uma unidade, a fim de realizar o exame inicial. Mais

especificamente, escolheram-se a média dos valores de resposta espectral e a variância correspondente, calculados a partir dos valores de resposta espectral das células de cada unidade de área em uma data de aquisição.

A operação é realizada juntamente com o processo de carga da base. As operações previstas baseiam-se nas funções que representam a média e a variância, com as devidas aproximações para obtenção de estimativas amostrais, que não sejam tendenciosas.

Note-se que não se trata de uma avaliação estatística rigorosa, pois não são utilizadas medidas no espaço multivariado, como no processo de classificação supervisionada, que se utiliza do critério de Máxima Verossimilhança.

Neste caso, adotaram-se somente estimativas de parâmetros no âmbito da estatística univariada, admitindo que sejam distribuídos segundo a função normal, por tratar-se de um modelo mais simples e, aparentemente, representar uma generalização da aplicação do conhecimento de intérpretes de imagens multiespectrais, na tarefa de selecionar os detalhes indesejáveis na análise.

Uma analogia para o uso do modelo univariado poderia se pautar na maneira pela qual um intérprete, em geral, percebe elementos com aparência destoante em produtos fotográficos preto e branco, ou seja, realiza a tarefa examinando uma banda espectral de cada vez.

Isso não significa que ele não possa associar o que percebeu em uma das bandas com outra, mas pode fazê-lo em fases posteriores do processo de atualização de informações espaciais.

Então, um exame dos dados multiespectrais, com os objetivos de detectar e enquadrar os elementos destoantes do contexto de interesse à atualização, é realizado com base na média dos valores de resposta espectral calculados para cada unidade de área e de valores de tolerância em torno desta média, onde as tolerâncias representam limites para os

quais a diferença na aparência dos elementos seria perceptível a um intérprete. Os elementos considerados diferentes são destacados para análise posterior. Considerando que os valores de média por unidade de área e, por banda espectral, estejam disponíveis, é possível medir uma distância entre as respostas espectrais das células de cada unidade de área e sua média.

Adotou-se a distância euclidiana no espaço unidimensional, por tratar-se de uma medida que não envolve cálculos complexos, mas somente uma operação de subtração e, além disso, por indicar adequadamente quais células devem ser examinadas.

A figura 6.1 representa uma visão geral do processo, cujo detalhamento é discutido em seguida.

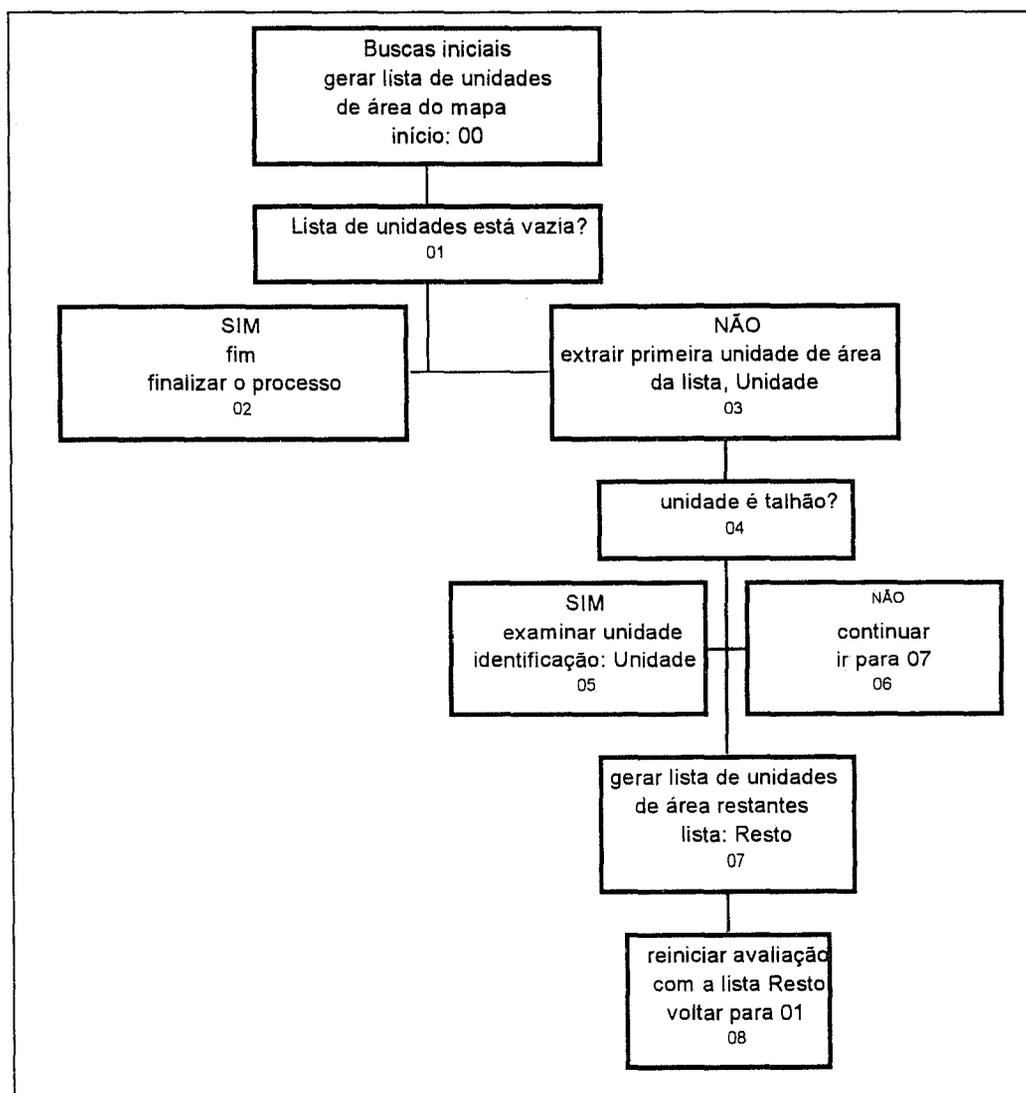


Figura 6.1: Representação da estrutura lógica global da busca de dados multiespectrais indesejáveis ao processo de atualização. IMAI, N. N.

Como a seleção de células com respostas espectrais indesejáveis ao processo de atualização é semelhante para cada uma das unidades de área do mapa considerado, a tarefa é descrita para uma unidade de área genérica.

O exame inicia-se pela recuperação dos valores de resposta espectral de uma única célula da unidade de área nas bandas consideradas, os quais são comparados a outros médios da unidade de área em cada um dos atributos espectrais utilizados. Assim, se o valor em uma das bandas espectrais exceder à tolerância admitida, a célula torna-se o centro das atenções da avaliação, ou seja, uma referência para a continuidade do processo. Caso contrário, recuperam-se os valores de outra célula, submetendo-a ao mesmo tipo de análise.

O processo de recuperação e análise dos valores de resposta espectral das células deve ser realizado para cada unidade de área do mapa a ser atualizado, para uma data de aquisição da fonte de dados.

A recuperação pode ser realizada a partir de uma busca do objeto unidade de área, representado na base de dados pelo fato unidade(UA, Uso, EDF, Data). Tal busca pode ser feita com o uso do predicado **setof** que é um predicado do PROLOG.

O recurso permite que se obtenha uma lista das unidades de área mapeadas em uma data. Em seguida, recuperam-se os valores de resposta espectral das células de cada unidade de área dessa lista de unidades instanciando os predicados retrieveb(uniarea, Area, Numref), associado com instance(NumRef, Brilho), onde o Brilho é uma variável que é instaciada, por sua vez, pelo fato armazenado na base de dados: brilho(Endereço, UA, Data, Brilho_λ).

O predicado é instanciado até que não haja mais nenhuma célula, cuja resposta espectral não tenha sido examinada.

A estrutura do procedimento lógico adotado para realizar o exame de cada unidade de área, com a finalidade de descartar dados multiespectrais indesejáveis no processo de atualização, está representada na fig. 6.2.

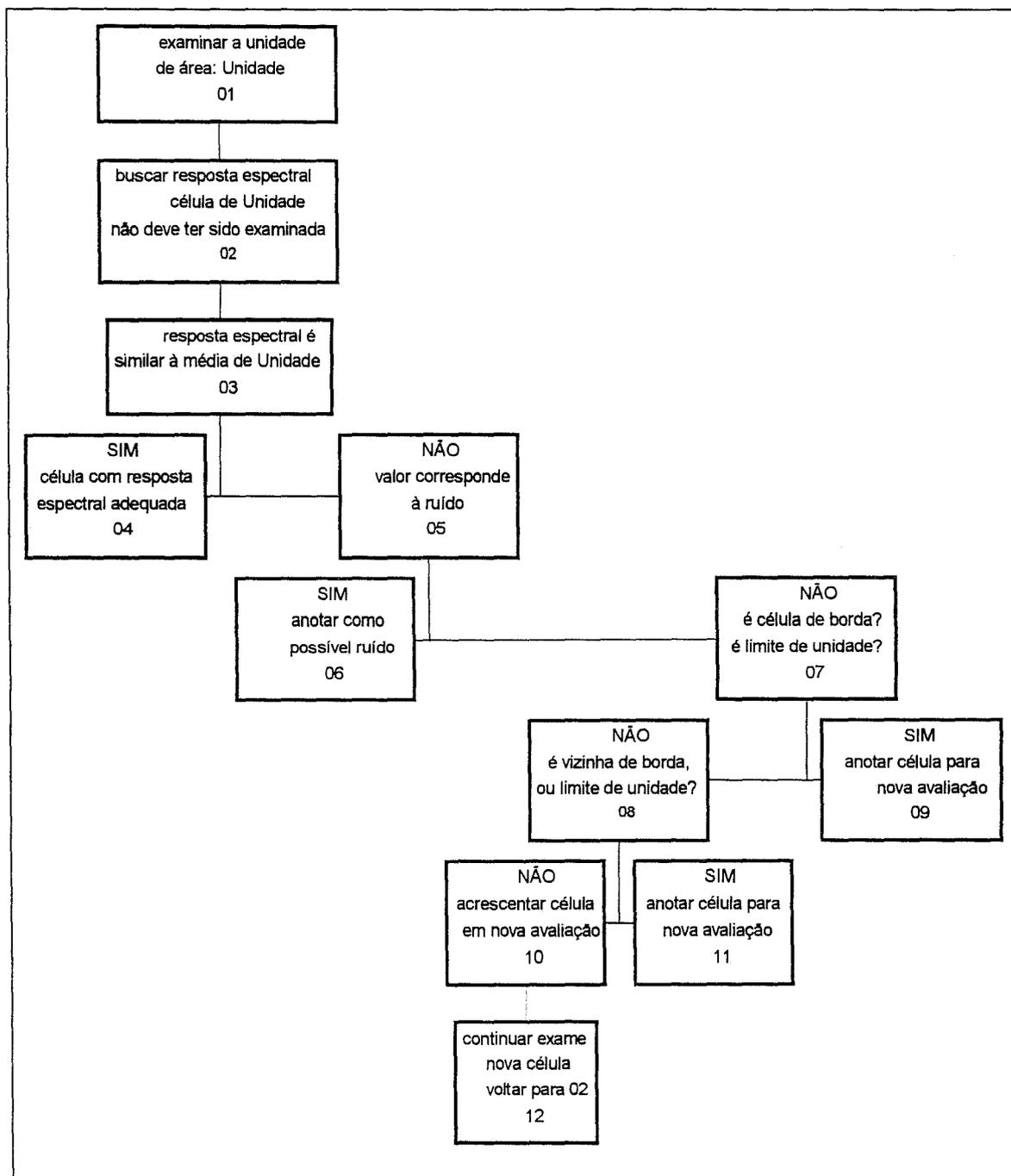


Figura 6.2: Representação da estrutura lógica do exame formalizado para detecção de valores de resposta espectral indesejáveis em cada unidade de área do mapa a ser atualizado.

IMAI, N.N.

A cláusula criada para acionar esse exame de valores de resposta espectral das células de cada unidade de área de um mapa em uma determinada data pelo sistema especialista responsável pelo processo de atualização é

`processaexam(Mapa,Ano,Difer)`

onde: Mapa é a variável que instancia a identificação do mapa que está sendo atualizado;

Ano: refere-se à data de aquisição dos dados multiespectrais usados na atualização;

Difer: tolerância adotada neste processo.

O predicado instanciado por tal cláusula está representado no quadro 6.6, o qual é fruto da formalização de uma parte da estrutura lógica apresentada na fig. 6.2.

Quadro 6.6: Formalização do predicado `processaexam(Mapa,Ano,Difer)`, responsável pelo início do exame das respostas espectrais de uma unidade de área.

```
processaexam(Mapa, Ano, Difer):-  
informarea(Listunidades),  
(  
Listunidades \== [],  
retract(informarea([Unidade|Resto])),  
media(Mapa,Unidade,Ano,ListMedia,LVar),  
verifica(Mapa,Unidade,Ano,ListMedia,Difer),  
assert(informarea(Resto),fail,  
;  
Listunidades = [],  
retract(informarea([ ]))).
```

onde:

informarea(Listunidades): é um fato da base de dados que instancia em Listunidades uma lista que contém as unidades de área do mapa que está sendo atualizado;

media(Mapa,Area,Ano,ListMedia,LVar) é um predicado que tem a finalidade de recuperar o vetor de atributos médio, ListMedia, e variância, LVar de cada unidade de área;

ListMedia: lista dos valores medios em cada banda espectral considerada;

Lvar: lista de desvios padrões correspondentes às médias;

Unidade: variável que instancia cada uma das unidades de área do mapa considerado.

Assim, este predicado instancia Listunidades e, em seguida compara-a com uma lista vazia []. Caso Listunidades seja diferente de vazio, ou seja, haja unidades de área a serem examinadas, então instancia a primeira da lista na variável Unidade e recupera da base de dados os valores de média e desvio padrão das respostas espectrais dos pixels dessa Unidade, para a data de aquisição dos dados. Finalmente, instancia uma cláusula, que aciona o predicado verifica(Mapa,Unidade,Ano,Lmedia,Difer) o qual recupera e analisa os dados multiespectrais de cada uma das células da unidade de área, que está sendo examinada, conforme demonstra o quadro 6.7.

Quadro 6.7: Predicado responsável pelo exame dos valores de resposta espectral de cada célula de uma unidade de área que esteja sendo avaliada.

```
verifica(Mapa,Unidade,Ano,Lmedia,Difer):-  
  retrieveb(uniarea,Unidade,NumRef),  
  instance(NumRef,brilho(adress(X,Y),Unidade,Ano,Lb)),  
  delta(LMedia,Lb,Ldif),  
  diferente(Difer,Ldif),  
  makewin([X,Y],Lwin),  
  
  vervizi(Mapa,Unidade,Ano,[X,Y],Lb,Lc,Lwin,LMedia,Difer),  
  carg_change(Mapa,Unidade,Ano,[X,Y|Lc]),fail.
```

Os predicados que devem ser verdadeiros para que verifica(Mapa,Unidade,Ano,Lmedia,Difer) o seja estão relacionados no quadro 6.8 juntamente com o objetivo de cada um.

Quadro 6.8: Predicados de verifica(Mapa,Unidade,Ano,Lmedia,Difer) e suas respectivas metas.

predicados	metas
retrieveb(uniarea,Unidade,Num)	recuperar o número de registro, NumRef de um dos elementos da árvore uniarea, pela referência Unidade
instance(Num,brilho(adress(X,Y),_,_,Lb))	recuperar o fato brilho(.,.,.,.) da árvore uniarea através do seu número de referência NumRef
delta(LMedia,Lb,Ldif)	calcular diferença entre valor de resposta espectral e media da unidade
diferente(Difer,Ldif)	comparar diferença a um valor limite
makewin([X,Y],Lwin)	criar lista de células vizinhas de uma célula
vervizi(.,.,.,.,.,.)	examinar célula vizinha através de esquema lógico semelhante e estabelecer hipótese de explicação inicial
carg_change(.,.,.)	anotar célula cuja resposta espectral necessita de investigação mais detalhada

A recuperação da resposta espectral de cada uma das células de uma unidade de área, que esteja sendo examinada, é feita através dos predicados **retrieveb** e **instance**, do PROLOG, associados. Em seguida, calcula-se a diferença entre o valor recuperado com o da média da unidade e, em seguida, compara-se essa diferença a um valor limite. Nos casos em que a diferença for maior que o limiar adotado pelo analista, conclui-se que possa tratar-se de alguma anomalia merecedora de uma nova investigação e que sua vizinhanca deva ser avaliada.

Para avaliar a vizinhança de uma célula constrói-se, a partir de makewin([X,Y],Lwin), uma lista Lwin contendo as coordenadas das células vizinhas daquela considerada estranha dentro da unidade de área, conforme o quadro 6.9 e figura 6.3 apresentadas a seguir.

Quadro 6.9: Vizinhança da célula cujas coordenadas são (linha,coluna)

f(linha-1, coluna-1)	f(linha-1,coluna)	f(linha-1,coluna+1)
f(linha,coluna-1)	f(linha,coluna)	f(linha,coluna+1)
f(linha+1,coluna-1)	f(linha+1,coluna)	f(linha+1,coluna+1)

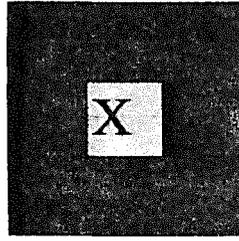


Fig. 6.3: Vizinhança de uma célula X.
IMAI, N. N.

A vizinhança deve ser examinada a fim de reunir as células que compõem um dos possíveis tipos de fenômenos de interesse ao processo. Adota-se, neste ponto, uma abordagem “forward” ou seja, a partir dos fatos examinados, procura-se encontrar hipóteses que expliquem os fenômenos ocorridos na realidade examinada. Dentre as várias hipóteses prováveis, serão consideradas as seguintes:

- se a célula vizinha pertence à unidade de área considerada e sua resposta espectral for diferente da resposta espectral média da unidade de área, bem como da resposta espectral da célula de referência, então os valores das respostas podem estar indicando a presença de ruído e serão armazenados como diferentes;
- se a célula vizinha pertence à unidade de área considerada e sua resposta espectral for diferente da resposta espectral média da unidade de área, porém semelhante à resposta espectral da célula de referência, configura-se uma expectativa de alteração parcial, sendo então armazenado como mudou(_,_,_) e mudall(_,_,_).
- se a célula vizinha não pertence à unidade de área enfocada, ou se a célula de referência ou sua vizinha estão no limite entre duas unidades de área, e a resposta espectral da célula de referência for diferente da média da resposta espectral da unidade de área vizinha, então, pode tratar-se de uma feição linear entre duas unidades de áreas vizinhas (ex: carregadores), ou de uma transição de valores de

resposta espectral entre aqueles que caracterizam cada unidade de área, ou simplesmente, de células que representem parte de um talhão que sofreu alteração parcial, localizadas na borda da unidade de área, sendo armazenado em errogeo([X,Y],Ano,Area,Unid) e allgeoerro(Mapa,Ano,Lerrados), as figuras 6.4 e 6.5 mostram exemplos dessas possíveis situações;

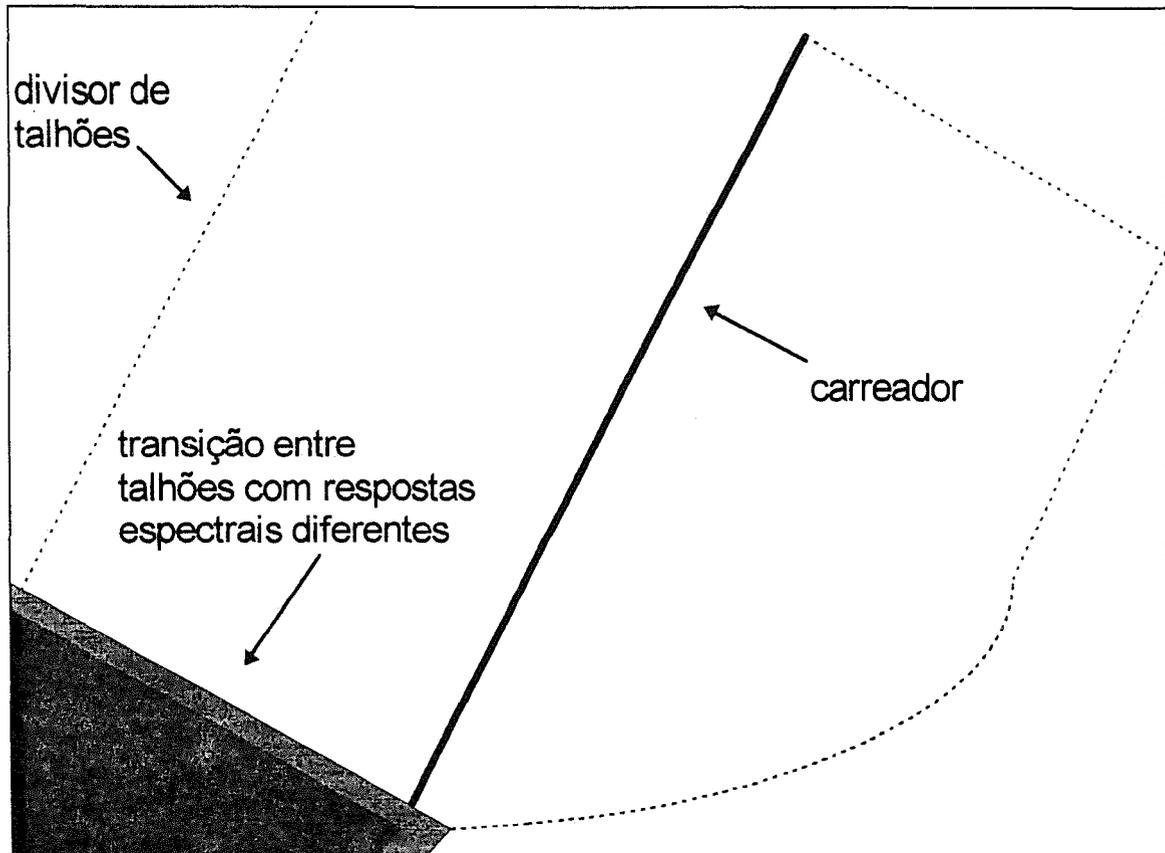


Figura 6.4 : Representação de um carregador e de uma faixa de transição entre unidades de área.

- se a célula vizinha não pertence à unidade de área considerada e a resposta espectral da célula de referência for semelhante à resposta espectral média da unidade de área vizinha, então este fato pode indicar um erro de mapeamento dos dados multiespectrais, atribuindo um pixel da unidade de área vizinha para a considerada, sendo carregada em errogeo([X,Y],Ano,Area,Unid) e allgeoerro(Mapa,Ano,Lerrados) (este caso foi simulado neste experimento 1).

Estas são as hipóteses usadas na análise, que se realiza nas células contidas na lista Lwin, pelo predicado vervizi(_,_,_,_,_,_,_,_), o qual investiga a possibilidade de encontrar células na vizinhança de uma com coordenadas [X,Y], que também possam ser consideradas diferentes no contexto da unidade de área examinada. Assim, tomando como base esse conhecimento de interpretação de imagens, faz-se uma análise de uma célula a partir de sua vizinhança.

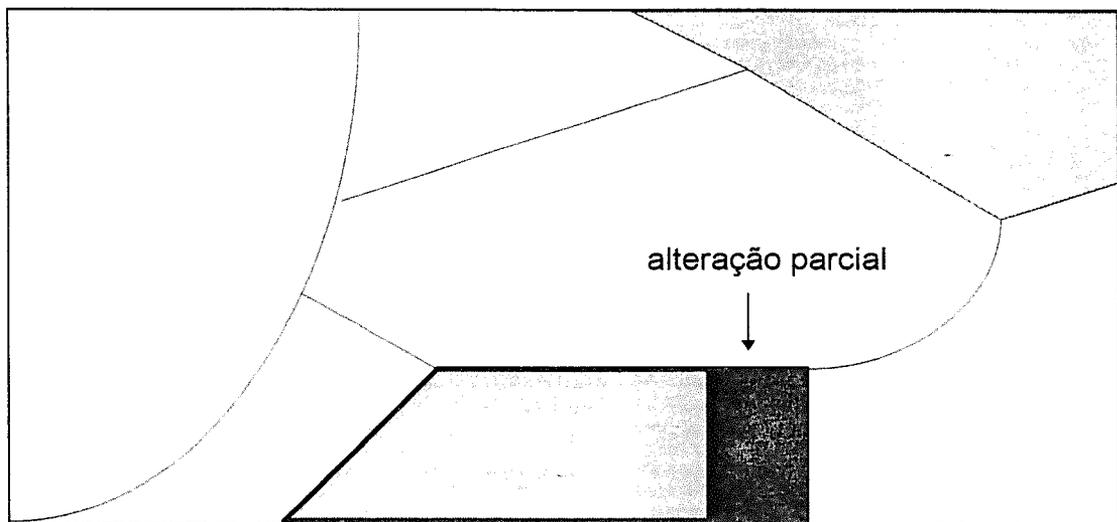


Figura 6.5 : Alteração parcial de um talhão, provocada pelo manejo do reflorestamento.

O conhecimento foi formalizado e passou a constituir um conjunto de fatos e predicados codificados no arquivo **exam.ari**.

As maiores dificuldades encontradas na formalização ou melhor, codificação, do conteúdo lógico tem sua origem nas limitações da ferramenta utilizada para codificá-lo, ou seja, o interpretador e compilador ARITY/PROLOG. Uma das principais limitações da ferramenta reside no fato de que, apesar dos testes e exames realizados nos pixels da imagem serem semelhantes para uma unidade de área e muitas vezes semelhantes para todos os talhões examinados, não é possível formalizar o conhecimento com auxílio de recorrências devido ao elevado número de células comumente tratadas, que ultrapassam a capacidade de memória disponível.

Assim, adotou-se uma solução que usa o recurso de repetir e falhar (repet/fail), aliado ao uso de uma base de dados auxiliar que permite a recuperação dos eventos anteriores. Este tipo de solução não é usualmente empregada, pois o uso da recursividade no PROLOG é mais natural na estrutura da linguagem. Problemas de Inteligência Artificial mais convencionais costumam se resolvidos adequadamente pela codificação do conhecimento empregando recursividade.

Entre outros predicados de **exam.ari** que utilizam a estrutura repetir/falhar, podem-se citar: processaexam(Mapa,Ano,Difer), que se repete até que o fato informarea(Lista) esteja com a lista de unidades de área Listare vazia, ou seja Listare = []; verifica(,_,_,_,_), por sua vez, repete-se até que não haja mais células de uma unidade de área a ser examinada.

Por outro lado, carg_change(,_,_,_) foi codificado com auxílio de uma estrutura de recorrência, assim como delta(L1,L2,L) que gera uma lista L cujos elementos são obtidos pela diferença entre os elementos das listas L1 e L2. Assim como o predicado pertence(X,Y,L), que verifica a possibilidade de um par de coordenadas (X,Y) estar na lista L.

Utilizaram-se as relações “e” e “ou” associadas para a formalização do conhecimento, porém, o aumento na complexidade do conteúdo lógico dificultou o uso dessas relações lógicas, de forma que ocorreram algumas buscas de solução que não estavam previstas e, conseqüentemente, erros na aplicação da rotina. Esse tipo de problema, assim como a solução adotada neste trabalho, estão descritos em seguida.

6.4.2. Verificação de hipóteses e identificação dos fenômenos indesejáveis

Uma vez selecionadas as células cujos valores de resposta espectral não se enquadram na aparência média das células das unidades de área do mapa, deve-se procurar identificar que tipo de fenômeno é responsável pelo fato e, se possível, eliminar ou marcar aquelas células que estejam carregadas com resposta espectral, a qual possa causar distúrbios no processo de atualização.

Esses fatos podem ser identificados e isolados nos seguintes casos:

1. valor de resposta espectral substituído por um outro valor devido à interferências que introduziram ruídos no conjunto de dados multiespectrais;
2. presença de feições lineares que não pertencem a nenhuma das unidades de área, mas cujos pixels foram atribuídos a uma delas;
3. valores radiométricos (medida da radiância espectral de um elemento de resolução no terreno) intermediários que caracterizam mistura de alvos em um elemento de resolução devido à interferências causadas pelo contexto espacial ou seja, resposta espectral do pixel mapeado em uma determinada unidade de área obtida pela medida de radiação eletromagnética refletida de alvos da unidade e de outros pertencentes à unidade vizinha, ou, até mesmo, de carregadores ou de caminhos.

Os dois últimos tipos de fenômeno podem ocorrer no limite entre duas ou mais unidades de área caracterizando pixels de transição entre duas ou mais respostas espectrais, ou pixel de uma unidade de área atribuído erroneamente à célula de outra (erro no mapeamento dos pixels na base de dados).

Além disso, um último tipo de fenômeno que pode ser detectado neste reconhecimento inicial, mas dificilmente reconhecido ou mesmo isolado, é decorrente de

alterações parciais de unidades de área que, por sua vez, são de grande interesse no processo de atualização.

O conhecimento, formalizado como hipóteses explicativas, deve ser aplicado nas células que foram selecionadas na etapa anterior, a fim de descartar células que possam dificultar as análises que são feitas no processo de atualização de informações do mapa. As hipóteses a serem verificadas são apresentadas no quadro 6.10.

Quadro 6.10: Hipóteses explicativas para valor de resposta espectral diferente da média

hipótese	descrição do fenômeno
ruído	valores extremos que aparecem como linhas ou pequenos pontos na imagem
erro de mapeamento	pixel da imagem mapeado em posição errada no sistema de coordenadas da imagem de referência
transição entre unidades de área	pixel cujo valor de resposta espectral mistura características da reflectância espectral de duas unidades de área
estradas, carreadores, e outros	valores de resposta espectral que correspondem à entidades do mundo real que possuem comportamento espectral muito diferente das unidades de área, têm aparência linear na imagem e localizam-se entre as unidades
alteração parcial	valores de resposta espectral diferentes da média devido à alteração parcial de um talhão decorrente de um corte raso iniciado, ou um incêndio em parte do talhão, ou mesmo um ataque de pragas/doença

Assim, se na abordagem da etapa anterior, ou seja da aplicação do conhecimento formalizado em **exam.ari** as hipóteses explicativas dos fatos são formuladas a partir do exame desses mesmos fatos, na fase que se segue, adota-se a abordagem “backward”.

Considerando o conjunto de hipóteses iniciais, descritas na tabela anterior, procuram-se eliminar aquelas que se mostrarem inconsistentes. A fase foi modelada de forma a constituir-se em uma atividade análoga à aplicação de chaves, comumente utilizadas por intérpretes de imagens multiespectrais. O predicado que deve ser instanciado para que sejam feitas as análises é mutante(_,_,_) , sendo seus principais predicados demonstrados no quadro 6.11, e sua estrutura lógica representada na fig. 6.6.

Quadro 6.11: Predicados de mutante(_,_,_)

predicado	descrição
solvedif(.,.,.,.) sem hipótese explicativa	verifica células cujos valores de resposta espectral sejam diferentes da média, não estejam próximas a uma borda e seus valores sejam diferentes das células vizinhas que também estiverem carregados com valores diferentes da média
ruido(.,.,.,.)	verifica se um grupo de pixels pode ser ruído comparando com um número máximo admitido pelo analista
analisa(.,.,.)	verifica hipótese de erro de mapeamento ou diferença por estar na borda
analisaalt(.,.,.)	realiza a mesma verificação de analisa(.,.,.) com diferentes ferramentas

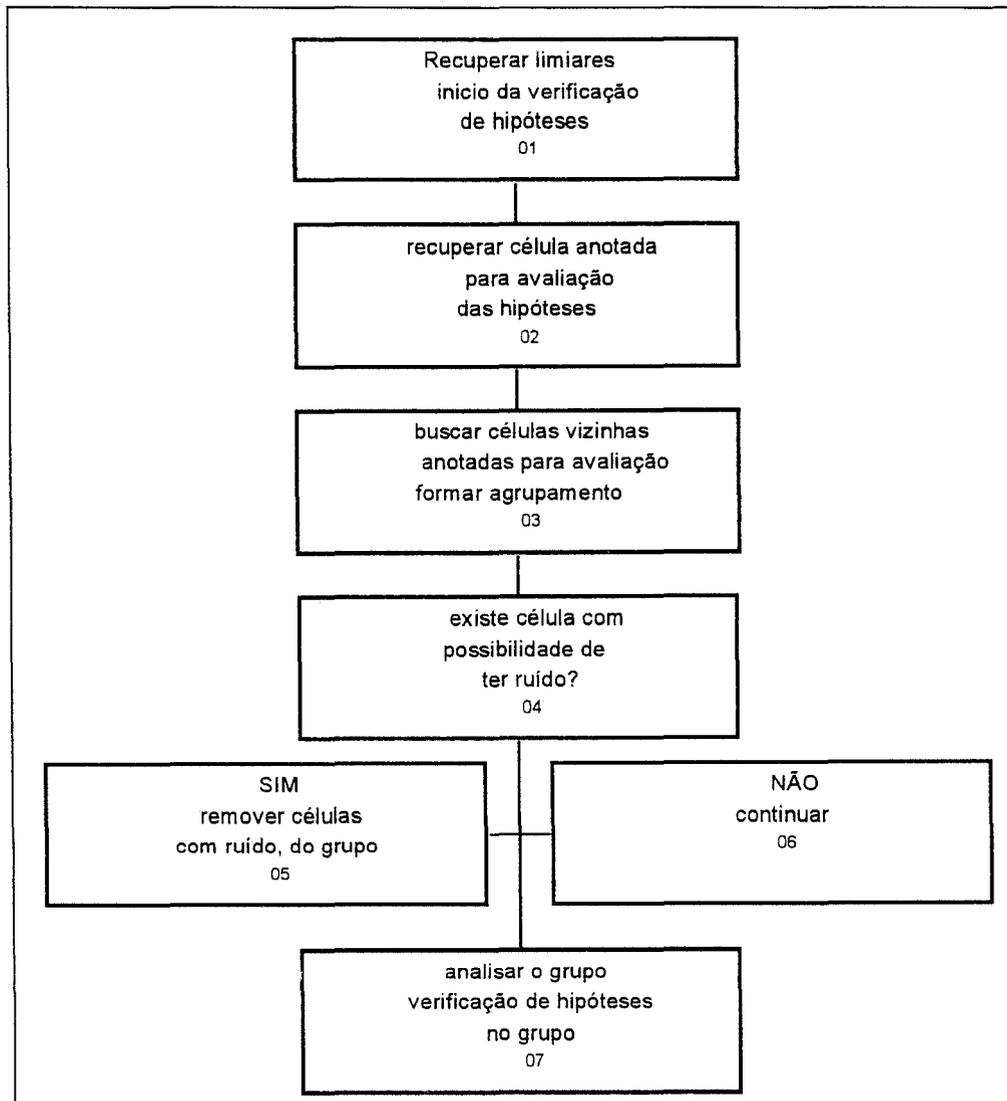


Figura 6.6: Representação da estrutura lógica que conduz a verificação de hipóteses de explicação para valores diferentes da média, esquema geral.

IMAI, N.N.

O predicado codificado na linguagem adotada está apresentado no quadro 6.12.

Quadro 6.12: Código do processo de condução da verificação de hipóteses de explicação para valores diferentes da média em linguagem PROLOG.

```
mutante(Mapa,Ano,Nomelim):-
leparam(Limites,Noiselimit,Downconstraint,Upconstraint,T),
retract(alldifer(Mapa,Ano,LDif)),
ifthen(LDif /= [ ],
(
assert(lista1(LDif)),
solvedif(Mapa,Ano,Noiselimit,Upconstraint,Downconstraint),
retract(lista1(_))
)
),
retract(allgeoerro(Mapa,Ano,Listend)),
ifthen(Listend \== [ ],
(
assert(lista1(Listend)),
ruído(Mapa,Ano,Noiselimit,Upconstraint,Downconstraint),
retract(lista1(_))
)
),
mudall(Mapa,Ano,Listadress),
ifthen(Listadress \== [ ],
(
assert(lista1(Listadress)),
ruído(Mapa,Year,Noiselimit,Upconstraint,Downconstraint),
retract(lista1(_))
)
),
ifthen(Listend \== [ ],
(
assert(analise(Listend)),
assert(edgeoise(Year,[ ])),
analisa(Mapa,Ano,T),
)
),
ifthenelse(Listadress \== [ ],
(
assert(analise(Listadress)),
analisa(Mapa,Ano,T)
)
),
(
ifthen(LDif \== [ ],
(
assert(analise(LDif)),
analisa(Mapa,Ano,T)
)
)
),
retract(mudall(Mapa,Ano,Listadress).
```

As primeiras células examinadas por esse predicado, quadro 6.12, são recuperadas do fato alldifer(Mapa, Ano,LDif) do Mapa que está sendo atualizado com os

dados de duas datas de aquisição (Ano), sendo que a hipótese mais plausível para as respostas espectrais, das células cujas coordenadas estão em LDif, é a de que os valores atribuídos sofreram interferências ruidosas.

Assim, o predicado solvedif(_,_,_,_,_) , compara o valor de resposta de um pixel de LDif, em cada banda espectral, com o valor de resposta médio da unidade de área a que pertence, considerando as tolerâncias estabelecidas anteriormente, a fim de descartar células carregadas com ruídos da atualização. A figura 6.7 representa a estrutura lógica da análise.

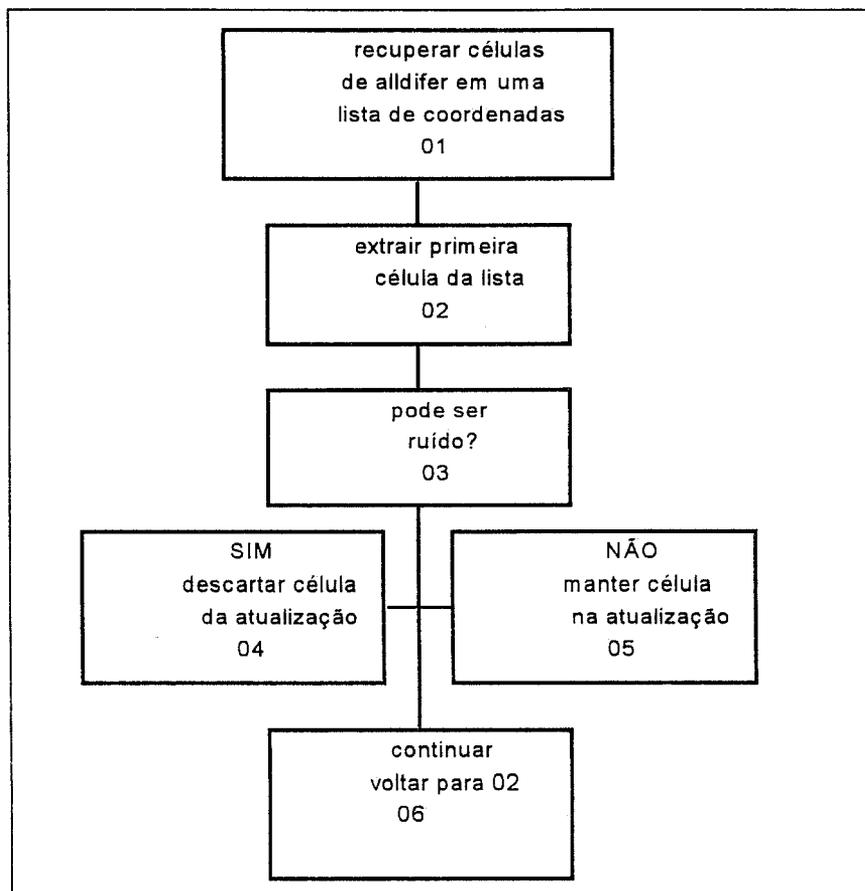


Figura 6.7: Representação da estrutura lógica do exame realizado nas células com valores de resposta espectral diferentes da média e diferentes das vizinhas cujos valores também sejam diferentes da média da unidade de área. IMAI, N.N.

Caso a diferença entre a resposta espectral atribuída à célula e o valor médio da unidade de área na qual ela esteja inserida, para a mesma data de aquisição dos dados

multiespectrais, seja maior que o valor de tolerância adotado e ainda, o valor de resposta da célula examinada for menor do que um determinado valor de tolerância para ruídos escuros ou exceder o valor de tolerância para ruídos claros, então é forte a evidência de tratar-se de um resultado de alguma interferência ruidosa. Portanto, as coordenadas dessa célula são incluídas na base de dados no fato noisevid().

Por outro lado, se a diferença, entre a resposta espectral atribuída à célula e a média da unidade de área na qual esteja inserida, for maior que o valor de tolerância utilizado, mas o valor radiométrico examinado não for inferior ou superior aos valores de tolerância estabelecidos para ruídos escuros e claros respectivamente, a decisão final necessitará de uma intervenção do analista que estiver controlando o processo de atualização.

Para que isso ocorra, o analista recebe as seguintes informações: coordenadas da célula cujos valores brilho espectral atribuídos não foram explicados, os valores das respostas espectrais, bem como as tolerâncias adotadas neste exame.

O analista pode modificar os valores das tolerâncias, ou mesmo identificar o fenômeno para que a resposta espectral seja rotulada adequadamente, ou até mesmo adiar a análise dessa célula.

A última decisão é mais adequada na maioria dos casos, devido ao alto grau de incerteza na decisão que deve ser tomada com base nos dados de uma única data de aquisição. O procedimento justifica-se pelo fato de que esta mesma célula, desde que esteja incluída em análises posteriores, será examinada em seu contexto espacial e temporal, de maneira a facilitar a identificação do fenômeno.

As próximas células a serem examinadas são aquelas cuja hipótese inicial é a de haver ocorrido algum erro no mapeamento dos pixels na base de dados ou de alguma alteração parcial. Nesse procedimento, são recuperadas as células da lista Listend do fato

allgeoerro(_,_,_), procurando no primeiro momento aquelas que apresentam alguma evidência de interferência ruidosa através do predicado ruído(Mapa,Ano,Lim,Up,Down) que as incluem no fato noisevid(_); recuperam-se ainda, as células cuja hipótese inicial é de alteração parcial e que estão na lista Listadress do fato mudall(Mapa,Ano,Listadress), buscando evidência de haver ocorrência de valores de respostas de interferência ruidosa entre elas, novamente com o predicado ruído(Mapa,Ano,Lim,Up,Down).

O exame das células da lista Listend armazenada no fato allgeoerro(Mapa,Ano,Listend) é feito a partir do predicado analisa(Mapa,Ano,Limiar). Os principais predicados usados neste exame são apresentados no quadro 6.13.

Quadro 6.13: Principais predicados usados na avaliação de hipóteses explicativas

predicados	descrição
<u>agrupar</u> (_,_,_)	gera lista de células vizinhas entre si, cujos valores de resposta espectral sejam diferentes da média
<u>ruídoevid</u> (_,_)	verifica a existência de células da lista criada por <u>agrupar</u> () que possam ter ruídos no lugar do dados multiespectrais
<u>noise</u> (_,_,_)	reúne agrupamentos de células vizinhas entre si cujos valores de resposta espectral possa ser de ruído, e decide se classifica-os como ruídos pelo número total de pixels envolvidos; confirmação da hipótese de se tratar de ruído
<u>remruído2</u> (_,_)	remove células que forem classificadas como ruídos da lista de células a serem examinadas
<u>processaerro</u> (_,_,_,_,_)	predicado que verifica se as células, vizinhas entre si, tem valores de resposta espectral diferente da média por estarem na borda entre unidades de área ou próximos dela

O código feito para o predicado analisa(Mapa,Ano,Limiar) está no quadro 6.14.

Quadro 6.14: Predicado responsável pela avaliação de hipóteses de agrupamentos de células, criadas a partir de células cuja hipótese inicial é de erro de mapeamento ou efeito de borda.

```

analisa(Mapa,Ano,Limiar):-
repeat,
analise(Listend),
ifthenelse(Listend \== [ ]),
(
Listend = [X,Y|Restos],
mudall(Mapa,Ano,Changelist),
adress(Unidade,X,Y),
agrupar(Listend,Changelist,Grupo),
retract(geo(Listaux)),
ifthenelse(ruido2(Ano,Grupo),
(
noise(Ano,Grupo,Noisegroup),
assert(ruido2(Noisegroup,Grupo)),
remruido2(Limiar,Ano),
ruido2(L,Newgrupo),
retract(ruido2(_,_)),
ifthenelse(Newgrupo \== [ ],
(
processaerro([X,Y],Mapa,Ano,Unidade,Newgrupo),
removecell(Unidade,Grupo,Listend,Listend1),
retract(analise(_)),
assert(analise(Listend1))
)
),
(
retract(analise(_)),
assert(analise(Listaux))
)
)
),
(
processaerro([X,Y],Mapa,Ano,Unidade,Grupo),
removecell(Unidade,Grupo,Listend,Listend1),
retract(analise(_)),
assert(analise(Listend1))
)
),
retract(grupo(Grupo)),
fail,
)
;
(
retract(analise([ ]))
)
).

```

O predicado parte de uma das células com evidência de erro de mapeamento que esteja na lista Listend, para o que foi feito um agrupamento de todas as células que sejam

suas vizinhas e que também estejam com evidência semelhante à encontrada na célula usada como referência ou, mesmo aquelas que apresentam evidência de terem sido submetidas a um processo de alteração (células de mudou) por meio do predicado agrupar(Listend,Changelist,Grupo). Este predicado devolve uma lista de coordenadas (linha,coluna) dessas células vizinhas instanciadas na variável Grupo.

Em seguida, o predicado ruidoevid(Ano,Grupo) examina a possibilidade de haver uma célula na lista instanciada em Grupo, para qual tenha sido adquirido um valor de resposta radiométrica alterada por alguma interferência ruidosa na sua aquisição. Para tanto, realiza uma busca que tem início pela primeira célula da lista Grupo, se esta estiver incluída em noisevid(_), ou seja, caso exista forte evidência de que o valor de brilho atribuído tenha se perdido e em seu lugar colocado um valor igual a 255 ou, ao menos, maior que 251 ou então um valor igual a 0 (zero), a célula passa a ser o ponto de partida para reunir células vizinhas com evidência semelhante, constituindo um grupo que pode ter sido afetado pela mesma interferência.

O agrupamento pode ser considerado como um ruído, se o número de pixels que o constituir não for maior do que um número máximo admitido pelo analista. Caso contrário, descarta-se a possibilidade desta ter sido gerada por uma interferência ruidosa, passando-se a considerar o agrupamento, como resultado de alguma forma de alteração e, portanto, constituindo-se de células a serem investigadas nas etapas seguintes do processo de atualização.

O número máximo de pixels agrupados, adotado pelo analista, pode ser armazenado no arquivo de tolerâncias, para ser utilizado em novos processos de atualização, constituindo dessa forma, conhecimento que pode vir a ser aprimorado a cada atualização realizada.

Porém, caso a célula não apresente evidência de haver sido carregada com valores de brilho que tenham sido substituídos por quaisquer outros valores (ruídos), o processo de busca conduz à uma próxima célula. Tanto o modelo, quanto os critérios utilizados para analisar a nova célula são os mesmos descritos para a primeira. A busca deve encerrar quando não houver mais células na lista Grupo para serem analisadas, ou seja quando ela estiver vazia (Grupo = []).

Essa análise tem por objetivo remover os valores de brilho que, ao contrário de contribuir na identificação dos fenômenos, atrapalham o processo. Assim, caso o predicado ruidoevid(Ano,Grupo) seja verdadeiro, realiza-se uma análise que permite identificar os ruídos isolando-os do processo de atualização, removendo-os da lista instanciada em Grupo.

A etapa a seguir busca uma explicação para as células selecionadas que restaram no processo de atualização, sendo as hipóteses previstas apresentadas em seguida:

1. as células detectadas fazem parte de um conjunto que compõe uma feição linear entre duas unidades de área, ou resposta espectral intermediária entre unidades de área com diferentes valores radiométricos médios (fig. 6.4);
2. alteração parcial, provavelmente de caráter antrópico, na unidade de área que teve início em um dos lados de um talhão (fig. 6.5).

A estrutura lógica que verifica tais hipóteses está representada na figura 6.8.

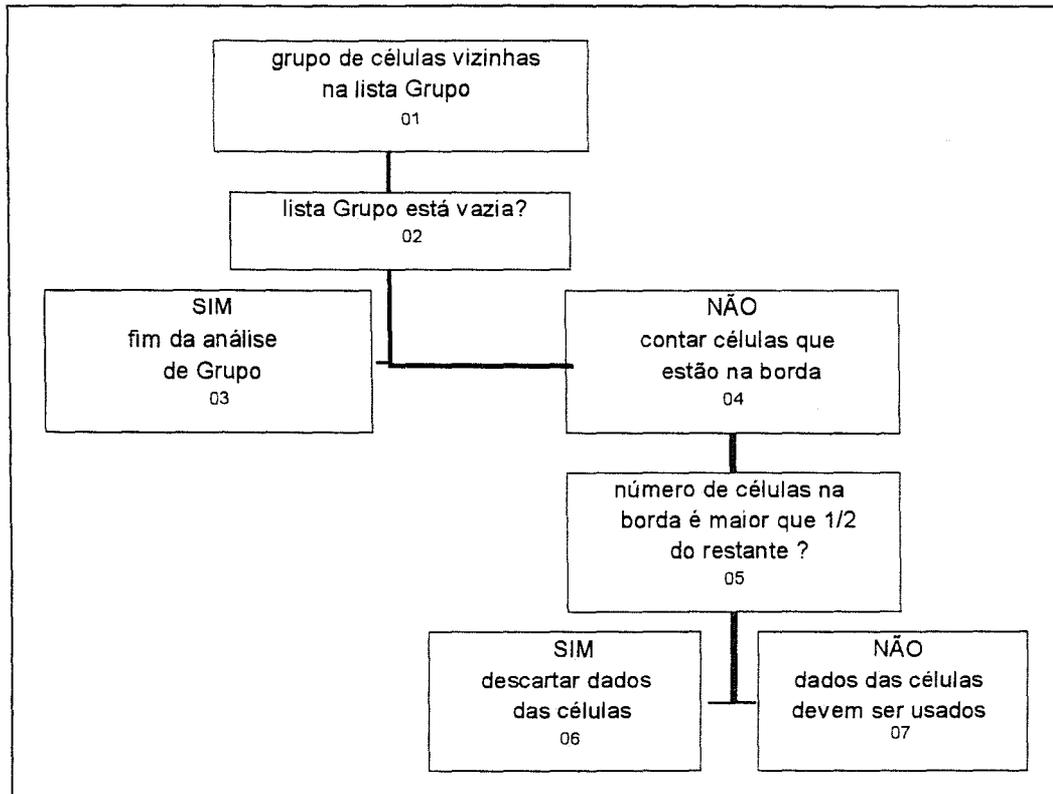


Figura 6.8: Representação da estrutura lógica adotada para iniciar o exame dos valores de resposta espectral considerados diferentes da média da unidade de área.

IMAI, N.N.

Uma vez que o processo de identificação dos fenômenos responsáveis pela aparência diferente de grupos de valores de brilho espectral mapeados em células vizinhas entre si esteja livre de interferências indesejáveis, devem-se contar as células cuja hipótese inicial seja de erro de mapeamento e aquelas que, por sua vez, foram consideradas como constituintes de uma alteração parcial.

Nessa contagem, aquelas células que porventura estiverem com ambos os rótulos, ou que fizerem parte dos limites entre unidades de área são consideradas como possuindo somente a hipótese de erro de mapeamento. Caso o número de células com esta hipótese de erro de mapeamento seja menor que a metade daquelas cuja hipótese inicial seja de alteração parcial, então a hipótese mais aceitável é de que a célula, representa uma área que provavelmente sofreu alguma alteração distinta do restante da unidade de área, conseqüentemente, pode ter ocorrido uma alteração parcial na unidade de área.

A identificação do fenômeno é tarefa a ser realizada na análise temporal por oferecer maior segurança ao processo de tomada de decisão. Porém, em casos opostos, ou seja, quando o número de células cuja hipótese inicial tenha sido erro de mapeamento for maior do que a metade daqueles inicialmente considerados como sendo pertencentes a uma alteração parcial, é provável que se trate de um erro de mapeamento dos dados multiespectrais na base de dados espaciais, ou uma feição linear entre duas unidades de área, ou valores de brilho espectral obtidos pela mistura da resposta espectral de dois ou mais tipos de alvos.

Nesses casos, não é necessário identificar melhor o fenômeno pois, basta que se saiba que pode ser resultado de qualquer um dos fenômenos citados, para descartar suas respostas espectrais do processo de atualização.

Essa decisão se baseia no conhecimento de que eles não auxiliam a caracterização dos fenômenos de interesse do mapa enfocado. A proporção aqui adotada de um para dois pode ser modificada à medida que atualizações sejam realizadas e detectadas proporções mais adequadas (processo de refinamento). O predicado responsável por esta etapa é

processaerro(_,_,_,_,_),

que isola as células cujas respostas espectrais não sejam de interesse à atualização do mapa colocando na base de dados suas coordenadas. Dessa maneira, podem ser encontradas as células que compõem agrupamentos cujos pixels foram mapeados erroneamente; ou células que fazem parte de uma feição linear que ocorre entre duas unidades de área; ou células cujas respostas espectrais são obtidas pela mistura de duas ou mais respostas; ou finalmente, células que integram uma alteração parcial.

Na etapa seguinte, a investigação dos dados da fonte deve concentrar-se nas respostas espectrais atribuídas às células, cuja hipótese explicativa inicial seja de alteração parcial, ou seja que estejam armazenadas em mudou, sendo o processo lógico a ser aplicado

nestas células semelhante ao descrito para o caso das células de errogeo. O predicado criado para a tarefa é analisalt(Mapa,Ano,Tr), representado no quadro 6.15.

Quadro 6.15: Predicado responsável pela avaliação de hipóteses de agrupamentos de células, criadas a partir de células cuja hipótese inicial é de que sofreu alteração.

```
analisalt(Mapa,Ano,Tr):-
repeat,
analise(Listadress),
ifthenelse(Listadress \== [ ],
(
Listadress = [X,Y|Restos],
adress(Unidade,X,Y),
agrupar2(Listadress,Unidade,Grupo),
retract(alter(Listaux)),
grup(Grupo),
ifthenelse(ruidoevid2(Ano,Grupo),
(
noise2(Ano,Grupo,Noisegroup),
assert(ruido1(Noisegroup,Grupo)),
remruído(Tr,Unidade,Ano),
retract(ruido1(L,Newgrupo)),
processnois(Mapa,Ano,Newgrupo,Unidade),
removecell2(Unidade,Grupo,Listadress,Restadress),
retract(analise(_)),
assert(analise(Restadress))
)
),
(
processaerro2(Mapa,Ano,Unidade,Grupo),
removecell2(Unidade,Grupo,Listadress,Restadress),
retract(analise(_)),
assert(analise(Restadress))
)
),
retract(grup(Grupo)),
fail,
),
(
retract(analise([ ]))
)
).
```

Este predicado possui estrutura similar ao predicado analisa(Mapa,Ano,Tr) descrito anteriormente, sendo necessária sua formalização apenas por diferenças decorrentes da forma de avaliação final das células. Enquanto o predicado anterior realiza o exame a partir de células com evidência de erro de mapeamento da lista Listend, este utiliza

como referência as células de uma unidade de área que podem ter sido alteradas parcialmente, ou seja aquelas instanciadas na lista Listadress do fato mudou.

Analogamente ao predicado analisa(Mapa,Ano,Tr), o predicado analisaalt(Mapa,Ano,Tr) promove a instanciação de um predicado, agrupar2(Listadress,Umidade,Grupo), que devolve a lista de coordenadas Grupo de um conjunto de células vizinhas que possuem indícios de terem sido alteradas. A partir de uma lista de células vizinhas a uma célula que esteja sendo investigada, procuram-se aquelas que também pertençam ao conjunto de células que estão sendo analisadas (mudou) e que pertençam à mesma unidade de área. Células que apresentem tais características são incluídas na lista onde foi colocada a célula inicial e suas vizinhanças incluídas na lista de células vizinhas.

O resultado da realização deste processo de seleção é um novo grupo de células que representam uma região cuja resposta espectral é diferente da média da unidade de área à qual pertence, e aqui carregado na lista Grupo.

A cláusula que deve ser instanciada para acionar o predicado responsável pela detecção de ruído é ruidoevid2(Ano,Grupo). Uma vez encontrado um possível ruído, sua análise e anotação são realizadas de forma semelhante ao do predicado do qual se originou, pois também tem por objetivo a remoção de ruídos no processo de atualização.

Como no caso das células de errogeo, as células, com hipótese explicativa inicial de pertencerem a uma alteração parcial (mudou), que são vizinhas entre si, podem possuir células que estejam no limite da unidade de área, cujos valores de resposta tenham sofrido influências indesejáveis para a análise.

Além disso, também pode haver células cujos valores de brilho espectral tenham sido substituídos por outro proveniente de interferência ruidosa. Aplica-se, portanto, a mesma idéia utilizada para a remoção de ruídos dos agrupamentos obtidos a partir das células de errogeo, ou seja, procura-se, entre as células de um agrupamento alguma que

esteja incluída em noisevid. Enfim, o processo de análise destes casos, realizado pelo predicado analisaIt(Mapa,Ano,Tr) é similar ao que foi adotado para as células em situação semelhante no predicado analisa(Mapa,Ano,Limiar), pois ambos predicados possuem o mesmo objetivo.

Neste experimento, os parâmetros adotados são os seguintes:

- diferença máxima em relação à média da unidade de área = 25;
- resposta espectral maior que 247 ou menor que 6 pode ser ruído;
- conjuntos menores que 20 (vinte) células adjacentes podem ser constituídos de ruídos.

6.5. Resultados do experimento 1

O experimento realizado procurava responder a duas indagações.

1. Verificar sua integridade e robustez, ou seja, se é carregada e se fornece dados e informações livre de erros, mesmo após ter sido manipulada e atualizada ?
2. Os critérios usuais de detecção e eliminação de dados indesejáveis são aplicáveis à base de dados proposta ?

Quanto a primeira questão, os resultados do experimento demonstraram que a base de dados desenvolvida possui a integridade e a robustez necessárias para integrar o protótipo proposto ao permitir que, tanto a imagem de Sensoriamento Remoto, quanto as informações espaciais de interesse, fossem carregadas e recuperadas de diversas formas e ainda possibilitou incluir novas informações sem apresentar inconsistências.

No que se refere a segunda indagação, a abordagem de avaliar primeiro as hipóteses com maior chance eliminando aquelas mais frágeis, apresentou os seguintes resultados:

- células com interferência de ruídos:

(9 , 2); (9 , 3); (9 , 4); (9 , 5)

(10 , 2); (10 , 3); (10 , 4);

e (3 , 2); (3 , 3);

e (15 , 15);

e finalmente (3 , 9); (3 , 10); (3 , 11); (3 , 12);

(4 , 9); (4 , 10);

- células que podem ter sido mapeadas erradamente, ou que fazem parte de uma feição linear entre unidades de área (ex. carreadores), ou cuja resposta espectral é resultado de mistura de alvos em região de transição entre as unidades de área:

un1:

un2: (11 , 8); (14 , 5); (15 , 7); (14 , 10); (12 , 11);

un3: (7 , 6); (6 , 6); (5 , 6); (4 , 6); (3 , 7); (2 , 7); (1 , 7).

Não foi encontrada nenhuma região de alteração parcial. Portanto, os resultados confirmaram que um exame inicial de uma imagem multiespectral de uma data de aquisição pode ser realizado pelo computador, com a utilização do conhecimento de intérpretes de imagens multiespectrais para descartar os dados que não contribuem no processo de extração de informações.

Portanto, critérios usuais de detecção e eliminação de dados indesejáveis aplicados na base de dados proposta, codificados em ARITY/PROLOG, forneceram os resultados desejados confirmando a expectativa inicial.

Da viabilidade de um “sistema especialista” em atualização de informações cartográficas

7.1. Introdução

A questão a ser investigada neste segundo experimento é:

É possível codificar o conhecimento utilizado por especialistas “humanos” para identificar fenômenos de alteração em imagens de Sensoriamento Remoto, tornando-o disponível a um sistema especialista em atualização de informações espaciais ?

Assim sendo, este experimento tem uma dupla finalidade:

1. criar uma situação na qual se possa operar aquisição de conhecimento, formalização e avaliação de um banco de conhecimento
2. deve emular um especialista em interpretação de imagens à realização das tarefas de detecção de alterações e identificação dos fenômenos de alteração, em um processo de atualização de mapas digitais que se destinem a fornecer informações de interesse à situação do estudo de caso deste trabalho.

Considerando que se prevê uma análise temporal das imagens de Sensoriamento Remoto, é necessário que as imagens multiespectrais de duas datas sejam criadas para a

simulação e ainda que os valores de resposta espectral das imagens simuladas correspondam à realidade dos dados disponíveis ao estudo de caso.

Assim, a elaboração da simulação tem início com a criação de uma situação inicial da produção de eucaliptos, ou seja, elaboração do mapa a ser atualizado e definição dos fenômenos de alteração a serem detectados e identificados.

A partir do mapa gerado é que se estabelecem os valores de resposta espectral dos dados na primeira data de aquisição. Através dos fenômenos de alteração definidos para a simulação, dimensionam-se os valores de resposta espectral para o conjunto de dados, da segunda data de aquisição, usados no processo de atualização.

Criou-se, então, um mapa que corresponde aos dados simulados para outubro de 1993, o qual deve ter unidades de área destinadas à produção, bem como para preservação do meio ambiente.

Os talhões devem representar os seguintes estágios de desenvolvimento:

- a) corte raso recente,
- b) plantio ou rebrota (rotação) recente,
- c) talhão em desenvolvimento,
- d) talhão de reflorestamento adulto.

As informações do mapa atualizado, um ano depois, foram geradas a partir da situação da realidade simulada para a data anterior, em conjunto com as expectativas normais de evolução do reflorestamento. Além disso, foram acrescentadas algumas situações que não são usualmente encontradas em situações reais. Na simulação, algum talhão está sendo modificado no momento em que foi realizada a aquisição de dados multiespectrais, de maneira que há uma alteração parcial devido a corte raso. Criou-se, também, uma situação na qual alguns talhões sofreram alteração devido a um incêndio.

O mapa desta simulação corresponde a uma área de aproximadamente 450m x 480m, ou seja, uma área que corresponde a uma sub cena TM-LANDSAT de 15 x 16 pixels. Nela se encontram 8 unidades de área de tamanho igual a 210m x 120m, ou seja, cada unidade de área é representada por 7 x 4 pixels das imagens TM-LANDSAT. O quadro 7.1 ilustra a distribuição de células por unidade de área. A posição relativa de cada unidade de área está representada na fig. 7.1. A fig. 7.2 demonstra a distribuição de destinação das unidades de área com legenda para talhão (t) e para área de preservação (ap). Assim foi definido o contexto da distribuição espacial das unidades de área e respectivos usos.

Quadro 7.1: Representação da distribuição espacial das células das unidades de área do mapa simulado para este experimento 2.

un1	un2												
un1	un2												
un1	un2												
un1	un2												
un3	un4												
un3	un4												
un3	un4												
un3	un4												
un5	un6												
un5	un6												
un5	un6												
un5	un6												
un7	un8												
un7	un8												
un7	un8												
un7	un8												

un1	un2
un3	un4
un5	un6
un7	un8

Figura 7.1: Distribuição das unidades de área no espaço.

t	t
t	t
ap	t
t	t

Figura 7.2: Tipo de destinação das unidades de área.

ad	des
cr	des
	des
ad	rjovem

Figura 7.3: Estágio de desenvolvimento dos talhões em 1993.

A representação da distribuição espacial dos estágios de desenvolvimento florestal de cada talhão no ano de 1993 é apresentada na fig. 7.3. No quadro 7.2 estão reunidas as informações sobre o estágio de desenvolvimento dos talhões em 1994, mostrando situações de alteração das unidades de área e de alterações parciais que devem ser detectadas e identificadas no processo de atualização.

Quadro 7.2: Estágio de desenvolvimento florestal de cada célula em 1994.

cr	cr	cr	cr	cr	cr	cr	ad	ad	ad	ad	ad	ad	ad	ad
cr	cr	cr	cr	cr	cr	cr	ad	ad	ad	incêndio	ad	ad	ad	ad
cr	cr	cr	cr	cr	cr	cr	ad	incêndio	incêndio	incêndio	incêndio	incêndio	ad	ad
cr	cr	cr	cr	cr	cr	cr	ad	ad	incêndio	incêndio	incêndio	ad	ad	ad
rj	rj	rj	rj	rj	rj	rj	des	incêndio	incêndio	des	des	des	des	des
rj	rj	rj	rj	rj	rj	rj	des	incêndio	incêndio	incêndio	des	des	des	des
rj	rj	rj	rj	rj	rj	rj	des	des	incêndio	incêndio	des	des	des	des
rj	rj	rj	rj	rj	rj	rj	des	des	des	des	des	des	des	des
							des	des	des	des	des	des	des	des
							des	des	des	des	des	des	des	des
							des	des	des	des	des	des	des	des
							des	des	des	des	des	des	des	des
ad	ad	ad	cr	cr	cr	cr	des	des	des	des	des	des	des	des
ad	ad	ad	cr	cr	cr	cr	des	des	des	des	des	des	des	des
ad	ad	ad	cr	cr	cr	cr	des	des	des	des	des	des	des	des
ad	ad	ad	cr	cr	cr	cr	des	des	des	des	des	des	des	des

Também introduziram-se nesta simulação ruídos, mapeamento de pixels em células erradas, além de um carreador entre algumas unidades de área. As células que sofreram a introdução das interferências estão apresentadas no quadro 7.3.

Quadro 7.3: Distribuição espacial de interferências indesejáveis ao processo de atualização, nos dados multiespectrais da fonte adotada.

					carreador								
		ruído	ruído		carreador								
					carreador								
					carreador								
					carreador								
					carreador								
					erro	erro							
					carreador								
					erro	erro							
					carreador								
					carreador								
					carreador								
					carreador								
					ruído	ruído	ruído	ruído	ruído	ruído	ruído		
					carreador				ruído	ruído			

Para estabelecer os valores de resposta espectral, baseados na realidade, extrairam-se alguns valores amostrais dos dados multiespectrais disponíveis para o estudo de caso. Os limites máximo e mínimo nas bandas espectrais correspondentes ao TM3, TM4 e TM5 são apresentadas no quadro 7.4, para cada estágio de desenvolvimento florestal considerado.

Quadro 7.4: Limites de valores espectrais para estágios de desenvolvimento florestal

	TM3	TM4	TM5
Reflorestamento jovem (de 0,3 até 2 anos)	25 - 27	66 - 80	56 - 76
Reflorestamento em desenvolvimento (de 2 até 6 anos)	21 - 27	58 - 67	39 - 62
Reflorestamento adulto (mais de 6 anos)	21 - 30	56 - 67	40 - 61
Corte raso (entre 6 e 8 anos)	41 - 61	50 - 63	91 - 165

Os dados multiespectrais gerados para este experimento, a partir das observações realizadas nas imagens disponíveis, estão apresentados nos quadros 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 e 7.10.

Quadro 7.5: Imagem simulada, TM - LANDSAT, banda 3, de 10/10/93

23	25	27	28	25	29	28	62	22	23	21	26	27	22	21
24	25	27	26	26	27	30	64	25	26	25	27	27	27	21
23	24	25	26	27	28	26	63	25	27	26	26	25	25	25
21	26	26	25	29	30	25	65	23	24	25	26	25	26	26
48	49	50	50	51	54	55	65	23	25	21	23	25	26	27
41	43	44	42	47	53	55	64	21	23	24	25	25	25	26
47	52	54	57	55	55	58	63	22	24	26	27	27	26	25
51	49	50	55	60	59	61	64	21	23	26	27	26	26	25
21	23	23	23	25	26	26	43	26	25	23	27	22	21	21
23	30	32	31	24	25	25	44	22	21	25	25	25	24	23
22	29	31	30	25	27	22	48	22	21	25	25	26	26	27
28	23	25	27	22	28	29	39	23	23	22	24	24	25	25
21	25	24	24	23	22	22	64	26	26	26	25	25	27	26
23	26	26	23	25	25	25	66	27	26	26	26	25	25	25
27	27	28	28	28	29	30	67	25	25	25	26	27	25	26
26	28	24	25	27	27	29	67	27	26	26	25	26	26	27

Quadro 7.6: Imagem simulada, TM- LANDSAT, banda 4, de 10/10/93

60	65	65	62	58	56	59	45	61	60	60	60	62	63	65
63	64	64	63	61	57	60	44	58	58	61	60	60	66	67
64	65	63	63	62	62	62	45	59	60	60	59	59	63	62
64	66	65	64	63	63	62	47	61	60	60	66	66	64	62
54	54	55	55	55	53	52	42	62	62	63	65	60	60	60
57	58	43	43	49	52	53	43	66	63	59	58	58	59	60
56	55	55	54	53	53	53	40	66	67	65	64	64	60	60
59	61	60	60	54	55	55	41	64	64	65	59	61	61	63
62	63	63	64	64	64	63	48	60	60	60	60	58	59	63
55	55	61	63	63	61	62	49	60	61	64	62	65	65	62
57	58	60	62	62	63	78	47	67	66	66	66	60	60	63
51	53	60	64	78	77	80	48	61	58	59	59	64	65	65
63	65	65	66	67	63	62	50	67	67	67	66	71	73	75
59	56	58	56	61	62	62	49	66	67	67	67	74	75	75
60	60	64	66	62	60	60	51	73	76	76	77	76	73	75
66	65	63	63	63	56	58	48	75	78	80	78	75	74	75

Quadro 7.7: Imagem simulada, TM-LANDSAT, banda 5, de 10/10/93

49	48	49	48	52	54	59	110	46	46	47	59	55	56	62
47	47	50	51	53	57	60	107	45	46	46	48	52	57	59
46	45	48	51	51	58	61	101	40	40	44	45	48	50	53
40	44	49	50	52	57	59	105	39	41	43	46	48	48	48
102	103	104	104	120	125	123	136	40	42	44	45	47	49	50
101	104	104	104	117	110	118	138	39	44	46	46	46	46	48
99	100	102	108	115	118	118	140	41	42	46	45	45	43	45
91	104	109	112	116	121	118	139	43	45	47	48	48	49	47
67	65	62	63	60	59	61	110	46	48	49	47	48	48	48
55	55	56	59	57	56	58	108	47	49	53	52	51	50	51
51	51	53	61	68	70	75	115	52	51	58	56	52	51	51
45	47	46	48	72	83	81	120	54	56	59	60	62	61	59
49	51	53	52	50	48	45	93	56	57	58	63	67	73	74
54	55	55	55	49	46	40	98	58	58	58	64	68	74	76
55	55	57	56	54	50	47	97	59	60	60	61	66	70	75
58	57	61	60	59	53	51	96	58	61	61	61	64	69	70

Quadro 7.8: Imagem simulada, TM- LANDSAT, banda 3, de 8/8/94

44	42	48	051	058	60	61	59	25	26	26	27	28	29	30
41	44	50	252	254	58	59	58	23	26	27	19	26	28	28
43	46	53	055	055	55	57	60	26	18	17	14	16	19	27
47	49	52	053	055	56	58	61	27	28	16	15	17	26	28
26	26	27	025	026	26	26	54	25	15	19	24	25	27	26
27	25	25	025	027	27	26	53	26	18	16	16	24	25	25
25	25	26	027	026	27	54	39	22	21	15	14	24	25	25
26	26	27	027	026	26	26	51	23	24	25	24	27	26	26
23	22	21	023	024	26	27	52	26	26	27	27	27	25	25
30	50	31	034	025	26	26	25	58	27	26	25	25	24	23
32	54	48	046	028	29	29	49	24	26	25	25	25	25	22
35	55	51	045	033	31	30	55	21	25	26	23	24	22	23
27	27	23	060	058	60	58	60	22	26	26	24	25	23	23
27	28	23	060	059	59	58	62	24	26	25	25	25	24	22
28	28	24	061	059	60	59	61	26	25	25	25	23	22	22
28	26	23	061	060	60	61	61	27	27	23	24	23	23	21

Quadro 7.9: Imagem simulada, TM- LANDSAT, banda 4, de 8/8/94

56	57	57	58	59	55	58	52	60	60	60	60	61	63	65
57	57	57	57	59	58	59	53	58	57	58	18	60	64	63
56	53	51	54	59	59	58	52	57	21	19	20	17	18	60
55	52	50	53	56	57	57	51	56	58	17	20	21	62	62
67	68	67	70	72	75	74	50	61	22	21	58	59	58	59
67	66	67	69	74	77	76	50	63	17	18	18	58	59	60
69	71	72	75	77	78	52	62	60	64	17	17	60	60	60
70	75	75	74	75	80	76	51	64	66	67	65	62	60	60
62	61	61	60	60	63	64	52	63	64	62	61	61	60	60
63	68	65	66	62	64	63	65	48	61	65	66	62	61	60
63	76	66	77	65	66	67	50	63	62	64	67	64	62	60
62	78	79	78	72	70	69	49	58	59	63	64	63	62	60
67	66	65	51	50	52	51	46	60	60	63	67	66	65	64
64	62	62	49	49	53	52	47	60	60	60	64	65	64	62
62	62	60	49	48	54	52	45	60	59	59	62	61	63	63
60	61	59	50	50	52	51	45	61	58	59	60	60	62	62

Quadro 7.10: Imagem simulada, TM- LANDSAT, banda 5, de 8/8/94

110	111	108	102	95	91	97	126	50	51	51	52	53	55	54
111	109	107	101	97	93	98	125	54	51	51	22	54	57	58
109	107	106	104	102	99	105	123	56	21	19	16	19	23	60
107	105	103	104	104	104	106	123	59	60	18	17	19	60	61
59	58	58	61	64	68	72	114	46	20	21	52	52	56	57
60	58	60	61	61	64	73	116	46	19	18	19	45	46	52
61	58	58	59	61	61	115	73	45	44	18	19	43	47	48
61	57	56	57	58	59	61	114	45	43	42	39	41	44	45
52	53	53	55	57	63	65	112	43	44	45	43	45	46	46
54	55	57	58	94	57	64	85	115	46	49	48	48	46	49
56	58	92	90	93	56	72	118	49	48	54	52	48	48	47
67	68	89	88	91	92	74	116	50	52	56	62	59	58	55
49	52	59	123	134	136	142	132	48	46	42	39	41	47	50
47	51	58	132	146	148	145	133	47	46	46	46	42	49	51
47	51	52	140	142	148	144	254	253	253	255	255	254	52	55
48	50	53	139	147	150	144	138	47	48	48	252	252	54	58

Neste segundo experimento, procura-se avaliar a aplicação do conhecimento do intérprete de imagens, na forma de fatos e predicados, com o objetivo de realizar uma análise temporal dos dados de Sensoriamento Remoto através de um sistema especialista. Inicialmente, é preciso realizar uma verificação da presença de ruídos, de erros de mapeamento e da presença de feições lineares ou de transições em cada um dos conjuntos de dados multiespectrais, a fim de remover aqueles que não contribuem para análise temporal a ser realizada. Assim, aplica-se o conjunto de fatos e predicados codificados no

experimento 1 em cada um dos conjuntos de dados de maneira a selecionar as células a serem evitadas na análise temporal.

Como no experimento anterior, o mapa digital deve estar disponível ao sistema de atualização, juntamente com os dados de ambas imagens multiespectrais. Na análise temporal procura-se detectar alguma variação temporal, das respostas espectrais para associá-las com um dos possíveis fenômenos previstos.

7.2. Desenvolvimento inicial

Inicialmente, carregou-se a base de dados espaciais e não espaciais com as informações do mapa a ser atualizado, bem como as imagens das duas datas de aquisição. Foram examinados os dados multiespectrais de ambas datas, com os ruídos inseridos, propositalmente, selecionados e com o carreador também detectado, juntamente com os elementos das bordas das unidades de área. Dessa forma, o experimento estava preparado para ser realizado, isto é o banco de conhecimento a respeito de análise temporal podia ser criado e avaliado. No próximo item, será descrito o conhecimento adquirido e formalizado para constituir a base de conhecimento, assim como os resultados de sua aplicação na atualização das informações da base de dados do experimento.

7.3. Aquisição e representação do conhecimento

Detecção de alteração e identificação dos fenômenos

Descreve-se, neste item, a fase de aquisição do conhecimento aplicado pelos especialistas em interpretação de imagens na identificação dos fenômenos ocorridos na superfície em uma análise temporal de dados de Sensoriamento Remoto, bem como sua representação lógica por meio da linguagem ARITY/PROLOG.

A experiência do especialista em interpretação vem demonstrando que a identificação de fenômenos previamente previstos, em processos de análise temporal, possui grande chance de sucesso. Adotando essa heurística, o protótipo deste trabalho deve iniciar a atualização através da identificação de fenômenos já previstos no reflorestamento. Assim, antes da atualização de cada talhão, deve estabelecer uma previsão para a evolução do talhão considerado.

No presente estudo de caso, uma previsão deste tipo foi feita a partir do conhecimento sobre as relações entre tempo e evolução do estágio de desenvolvimento dos talhões da produção de eucaliptos. O conhecimento codificado na forma de fatos e predicados está armazenado no arquivo "estágios.ari", apresentado no quadro 7.11. Sendo que os fatos conhecidos a respeito do processo de evolução dos talhões e declarados no início do arquivo reunidos nos quadros 7.12 e 7.13.

Quadro 7.11: Conhecimento sobre as relações entre tempo e evolução do estágio de desenvolvimento dos talhões de eucaliptos da produção considerada no estudo de caso

```
estagio(rj,des,[equal,greater,greater]).
estagio(des,ad,[greater,lesseq,greater]).
estagio(ad,cr,[greater,lesseq,greater]).
estagio(cr,rj,[less,greater,less]).
intervalos(des,4).
intervalos(rj,2).
intervalos(ad,1).
intervalos(cr,0.5).
determinaprev(Edf,Edfprev,Inicial,Ano):-
    Tempo is Ano - Inicial,
    intervalos(Edf,Time),
    ifthenelse(Tempo @=< Time,
        (% then
            ifthenelse(Tempo = Time,
                (% then
                    estagio(Edf,Edfprev,_)
                )
            ,
            (% else
                Edfprev = Edf
            )
        )
    )
    ,
    (% else
        Inicial2 is Inicial + Time,
        estagio(Edf,Edfintermed,_),
        determinaprev(Edfintermed,Edfprev,Inicial2,Ano)
    )
    ).
detertend(Edf,Edfprev,Lista):-
    ifthenelse(Edf \== Edfprev,
        (% then
            ifthenelse(estagio(Edf,Edfprev,Lista),
                (% then
                    write(' instanciada Lista de tendencias'),nl,
                )
            ,
            (% else
                estagio(Edf,Edfintermed,_),
                detertend(Edfintermed,Edfprev,Lista)
            )
        )
    )
    ,
    (% else
        Lista = [equal,equal,equal],
    )
    ).
```

Quadro 7.12: Fatos que relacionam mudança de estágio de desenvolvimento florestal com variação da resposta espectral.

estagio(rj,des,[equal,greater,greater]). estagio(des,ad,[greater,lesseq,greater]). estagio(ad,cr,[greater,lesseq,greater]). estagio(cr,rj,[less,greater,less]).
--

Quadro 7.13: Fatos que representam os intervalos de tempo previstos entre dois estágios consecutivos.

intervalos(des,4). intervalos(rj,1.7). intervalos(ad,1). intervalos(cr,0.3).

O conjunto do quadro 7.12 é formado por fatos que descrevem as tendências que o intérprete espera encontrar nas imagens, quando ocorre uma mudança entre um estágio de desenvolvimento e outro seguinte, sendo que a estrutura de cada um destes fatos é a seguinte: estágio(EDFanterior,EDFprevisto,[tendências]), com tendências de modificação dos padrões espectrais nas três bandas do sensor TM-Landsat disponíveis para o estudo de caso.

O segundo conjunto de fatos, quadro 7.13, refere-se ao intervalo de tempo, em número de anos, previsto entre dois estágios de desenvolvimento florestal consecutivos.

O conhecimento pode ser enriquecido e aprimorado após cada processo de atualização realizado, sendo que, em relação ao primeiro conjunto de fatos, há inclusive a possibilidade de tentar prever a evolução entre estágios de desenvolvimento que não sejam consecutivos, a evolução em um mesmo estágio e alterações dessas previsões devido a alguma modificação nos padrões do plantio ou na espécie, ou devido às condições sazonais do clima, etc. Para o segundo conjunto, é possível realizar um refinamento nos intervalos de tempo previstos.

O predicado `determinaprev(,_,_,_)`, do arquivo "estágios.ari" apresentado no quadro 7.11, calcula inicialmente o intervalo de tempo entre as datas de aquisição das imagens multiespectrais usadas como fonte de dados para a atualização. Em seguida, faz uma busca no fato `intervalo(Edf,Time)`, onde a variável `Edf` está instanciada com o estágio de desenvolvimento florestal de um talhão do mapa a ser atualizado. A variável `Time` deve ser instanciada com o intervalo de tempo esperado para a mudança do estágio em que o talhão se encontrava na primeira data, para o estágio de desenvolvimento consecutivo.

A partir dessas informações o predicado faz uma previsão do estágio de desenvolvimento florestal na segunda data, pois se o intervalo de tempo decorrido entre as duas aquisições for menor que o previsto para que ocorra a mudança de estágio de desenvolvimento, o talhão deverá manter-se na situação em que se encontrava no mapa a ser atualizado. Por outro lado, se o intervalo de tempo for maior ou igual àquele previsto entre os estágios, então a previsão é de que o talhão encontra-se no desenvolvimento que sucede àquele do mapa a ser atualizado. A estrutura lógica desta busca é apresentada na fig. 7.4.

O predicado `detertend(Edf,Edfprev,Lista)` com as variáveis `Edf` e `Edfprev` instanciadas com o estágio de desenvolvimento florestal da data de aquisição mais antiga e com o estágio previsto de acordo com a lógica exposta no parágrafo anterior, realiza uma busca de forma que venha a instanciar a variável `Lista` com as tendências normais de variação da resposta espectral entre os dados adquiridos nas duas datas.

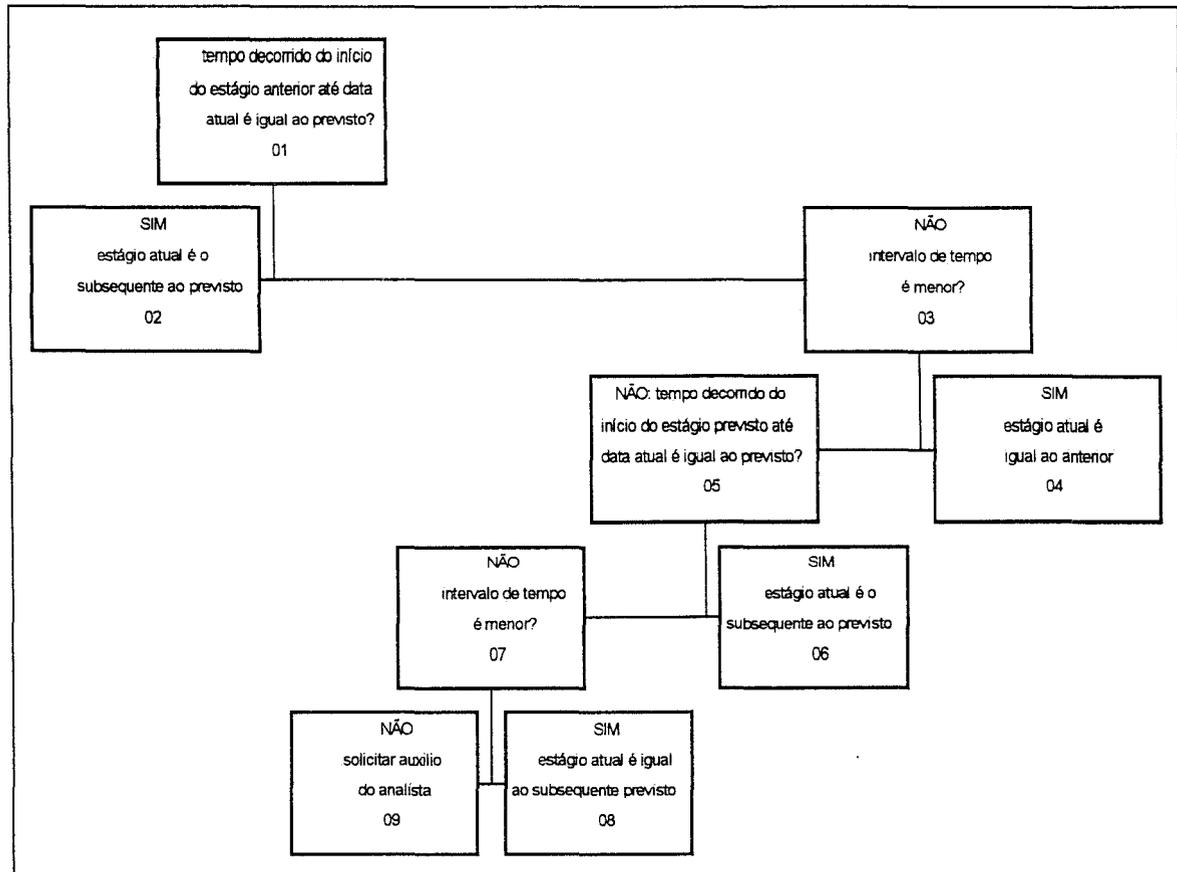


Figura 7.4: Estrutura lógica da busca pelo estágio de desenvolvimento florestal em que o talhão deve se encontrar. IMAI, N. N.

Com o conhecimento necessário para obter uma previsão de mudança nos padrões espectrais de um talhão formalizado na base de conhecimento, é possível discutir o processo de identificação dos fenômenos de interesse à atualização. Mas antes de examinar cada um deles deve-se contar seu número de células para que se possa estabelecer um número máximo delas que não sigam a tendência de modificação do padrão espectral previsto para o talhão ao qual pertencam. O limiar é estabelecido como um percentual do número total de células do talhão que está sendo considerado, havendo a possibilidade desse percentual ser modificado pelo analista que estiver usando o sistema.

O processo de comparação entre os dados espectrais de dois conjuntos de dados multiespectrais com finalidade de identificar os fenômenos de interesse à atualização está representado na fig. 7.5, e seus principais predicados no quadro 7.14.

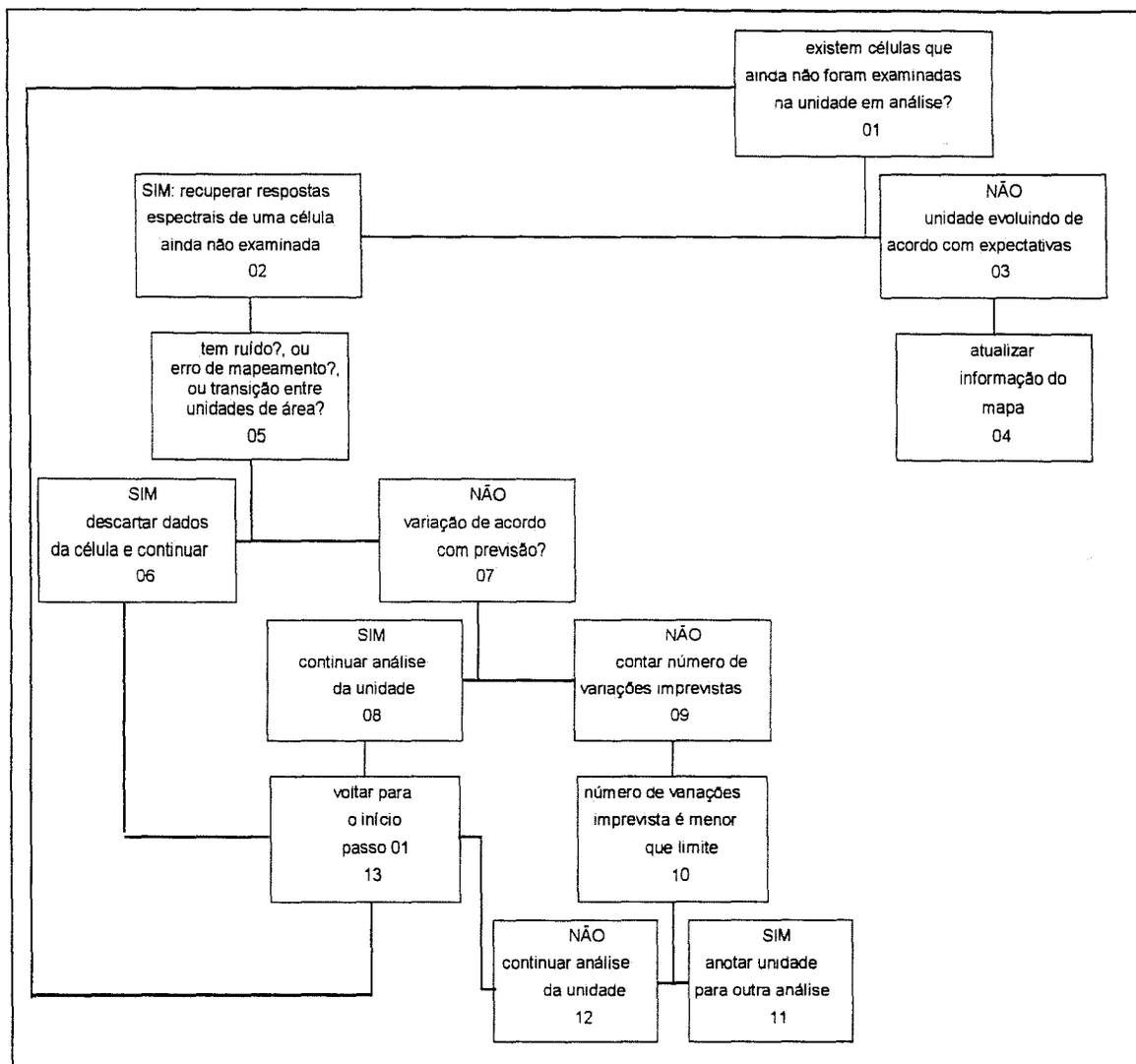


Figura 7.5: Representação da estrutura lógica do processo de tomada de decisão que verifica se um determinado talhão está evoluindo de acordo com as tendências previstas de modificação. IMAI, N. N.

Quadro 7.14: Principais predicados no exame inicial da tendência de uma célula de uma dada unidade

predicado	objetivo
buscaruido([X,Y],Unidad,Anterior,Ano)	verifica se os valores de resposta espectral da célula fazem parte da lista dos selecionados para serem descartados
avaliatend(Unidad,Ano,[X,Y],DifMax,Ltend,Lbrilhoant,Lbrilhoatual)	avalia tendência de variação da resposta espectral da célula, se for normal o predicado torna-se falso

De posse dos dados multiespectrais das duas datas de aquisição de cada talhão, das informações do mapa a ser atualizado, bem como da previsão de mudança de estágio de

desenvolvimento florestal procura-se, então, verificar se as tendências previstas de modificação dos padrões espectrais do talhão correspondem à realidade, indicando que o estágio de desenvolvimento florestal corresponde àquele previsto. Para realizar esta verificação, foi criado um predicado cuja codificação está apresentada nos quadros 7.15 e 7.16.

Quadro 7.15: Predicado que verifica se os dados multiespectrais das células de um talhão seguem tendência esperada

```
processacelulas(Map,Unidad,Anterior,Ano,Edf,Edfprox,Ltend,NumMax,DifMax):-
  retrieveb(uniarea,Unidad,NumRef),           % uniarea: nome da arvore b
  [!instance(NumRef,brilho(adress(X,Y),Unidad,Anterior,Lbrilhoant)),
  retrieveb(uniarea,Unidad,Numref),
  instance(Numref,brilho(adress(X,Y),Unidad,Ano,Lbrilhoatual)),
  contnot(NumEstranhos)!],
  ifthenelse(NumEstranhos > NumMax,
  (% then
    write(' Unidade nao parece estar evoluindo normalmente: ---> '),
    write(Unidad),nl,
    retract(contnot(NumEstranhos)),
    retract(desconhecidos(Ldesconhecidos)),
    assert(desconhecidos([Unidad|Ldesconhecidos])),
    assert(numestramax(Unidad,NumMax))
  )
  ,
  (% else
    [!ifthen(buscaruido([X,Y],Unidad,Anterior,Ano),
    (% then
      write(' ruido ou erro nas bordas'),nl,
      fail
    )
    ],*
    avaliarend(Unidad,Ano,[X,Y],DifMax,Ltend,Lbrilhoant,Lbrilhoatual)!],
  fail
  )
  ).
```

O predicado do quadro 7.15 recupera os valores de resposta espectral de cada célula de um talhão que esteja sendo examinado nas duas datas consideradas. Verifica também se houve interferência ruidosa na célula através do predicado buscaruido(_,_,_,_) , que também identifica se a célula pertence a uma unidade vizinha e foi mapeada erradamente, ou se faz parte de uma feição linear que está entre duas unidades de área, ou se é uma célula que pertence a uma região de transição. Ou seja, procura eliminar da

verificação as células que possam estar com valores de resposta que possam atrapalhar a análise. Se a célula não se enquadrar em nenhum dos casos citados acima, então será instanciada a cláusula que inicia o predicado `avaliatend(_____,_____)`, apresentado no quadro 7.16, responsável pela verificação da tendência de uma célula, isto é tenta tornar verdadeira a tendência esperada em casos normais.

Quadro 7.16: Predicado que começa verificar se o comportamento dos valores de resposta espectral de uma célula de um talhão correspondem ao previsto

```
avaliatend(Area,Ano,[X,Y],K,[ ],[ ],[ ]).
avaliatend(Area,Ano,[X,Y],K,[Tend|Taitend],[Rant|Tant],[Ratual|Tatual]):
-
Delta is Ratual - Rant,
Deltabs is abs(Delta),
ifthenelse(notesperado([X,Y],Tend,K,Ratual,Rant,Deltabs),
  (% then
  write(' DETECTADA TENDENCIA ANORMAL'),nl
  )
  ,
  (% else
  avaliatend(Area,Ano,[X,Y],K,Taitend,Tant,Tatual)
  )
).
```

O predicado `avaliatend(_____,_____)`, cuja estrutura lógica está representada na fig. 7.6, tem as seguintes características.

Area é instanciada pela identificação da unidade de área que está sendo examinada.

Ano é o ano de aquisição dos dados multiespectrais usados na atualização.

[X,Y] instancia as coordenadas linha e coluna da célula examinada.

[Tend|Taitend] é a lista que armazena a tendência de variação esperada para os valores de resposta de cada banda espectral.

[Rant|Tant] é a lista com os valores das resposta espectrais adquiridas na data mais antiga. [Ratual|Tatual] é a lista cujos valores de resposta espectral foram adquiridos na data mais recente.

Note-se que ao instanciar esta cláusula, a máquina de inferência do ARITY/PROLOG instancia o predicado da primeira linha da figura, tornando o conjunto verdadeiro. Mas avaliatend(_,_,_,_,_,_) é uma cláusula do predicado processacelulas(_,_,_,_,_,_), que neste caso retorna verdadeiro, de forma a conduzir à próxima cláusula de processacelulas(_,_,_,_,_,_) que é **fail**, um predicado do PROLOG que torna **falso** o predicado e obriga o processo a retornar, por "*backtrack*", a um predicado que possa oferecer uma nova alternativa a ser avaliada.

Esse procedimento conduz ao predicado retrieveb(uniarea,Unidad,NumRef) enquanto houver um dado a ser recuperado da base e enquanto o número de células, cujo comportamento de resposta espectral não corresponda ao previsto, seja menor que o limite estabelecido para o talhão.

Se este número exceder o limite admitido, o predicado processacelulas(_,_,_,_,_,_) adiciona a identificação do talhão em uma lista daqueles que necessitam de investigação mais cuidadosa e retorna verdadeiro interrompendo o processo.

Caso o número considerado não exceda o limite admitido, as células da unidade de área são investigadas até que não tenha alguma que possa tornar o predicado responsável pela recuperação de dados, retrieveb(uniarea,Unidad,NumRef), verdadeiro, isto é até que não haja mais nenhuma célula da unidade de área para examinar.

Confirmada a lógica descrita no parágrafo anterior, inicia-se a atualização da informação da unidade de área considerada. A cláusula inicial do predicado responsável pela tarefa procura verificar se o estágio de desenvolvimento anterior é diferente do atual. Se isto ocorrer, as informações da unidade de área são atualizadas com o novo estágio de desenvolvimento Edfp, com o novo ano de início do estágio inicio(Ano), e com o ano da atualização. Mas se os estágios forem iguais, então outro conjunto de cláusulas é

instanciado, de forma que as informações da unidade mantêm-se iguais, com a única diferença no ano da atualização que sofre modificação. No quadro 7.17 encontra-se o código que representa a lógica descrita.

Quadro 7.17: Predicado que atualiza informações de um talhão quando as tendências são confirmadas

```
processacelulas(Map,Unidade,Ant,Ano,Edf,Edfp,_,_,_):-  
iffthenelse(Edf \== Edfp,  
  (% then  
    write(' EDF atual \== EDF antigo'),nl,  
    assert(unidade(Unidade,t,Edfp, inicio(Ano), Ano))  
  )  
,  
  (% else  
    unidade(Unidade,t,Edfp, inicio(Inicial),Ant),  
    assert(unidade(Unidade,t,Edfp, inicio(Inicial),Ano))  
  )  
,  
,  
retract(contnot(_)).
```

O predicado que cuida da avaliação da tendência dos valores de resposta espectral de uma célula em uma banda é notesperado(_,_,_,_,_,_). Utiliza-se de um predicado do PROLOG, no caso o case que, a partir da instanciação da variável Tend, escolhe um conjunto de cláusulas que devem ser instanciadas.

Assim, conforme a tendência da banda a ser examinada, será realizado o tipo de avaliação correspondente.

Por exemplo, o caso da tendência igual, ilustrado no quadro 7.18, onde se procura tornar verdadeira uma comparação entre o valor absoluto da diferença dos valores de resposta da banda considerada e um valor limite K.

Quadro 7.18: Avaliação da tendência de igualdade de resposta de uma banda espectral de uma célula

```
Tend = equal ->(
    Deltabs > K,
    retract(contnot(Not)),
    Notespera is Not + 1,
    assert(contnot(Notespera))
),
```

A comparação é feita pela cláusula

$$\text{Deltabs} > K,$$

a qual é verdadeira se o limite K é menor que o valor da diferença absoluta Deltabs. Assim, se os valores forem muito diferentes, o predicado será verdadeiro, detectando uma célula com valores que não obedecem a tendência de serem iguais. Conduzindo, desta maneira, às cláusulas seguintes que calculam o novo número de células, cuja variação de resposta espectral não corresponde à prevista.

Se o conjunto de cláusulas que avalia a tendência em notesperado(_,_,_,_,_,_) for verdadeiro, o predicado avaliatend(_,_,_,_,_,_) também torna-se verdadeiro dentro do predicado processacelulas(_,_,_,_,_,_,_), de forma a continuar a execução do predicado.

Como no outro caso, a cláusula instanciada em seguida é fail, tornando o predicado falso e obrigando, dessa forma que a busca retorne, pelo processo de *backtrack*, procurando uma outra solução que possa tornar verdadeiro o predicado.

Note-se que o restante da lógica aplicada é a mesma que já foi explicada para o caso do predicado notesperado(_,_,_,_,_,_) ser falso.

A fig. 7.7 mostra uma representação da estrutura lógica que permite realizar a escolha do conjunto de cláusulas que devem se instanciadas para avaliar a variação de resposta espectral de uma unidade de área com base em uma tendência que esteja sendo examinada.

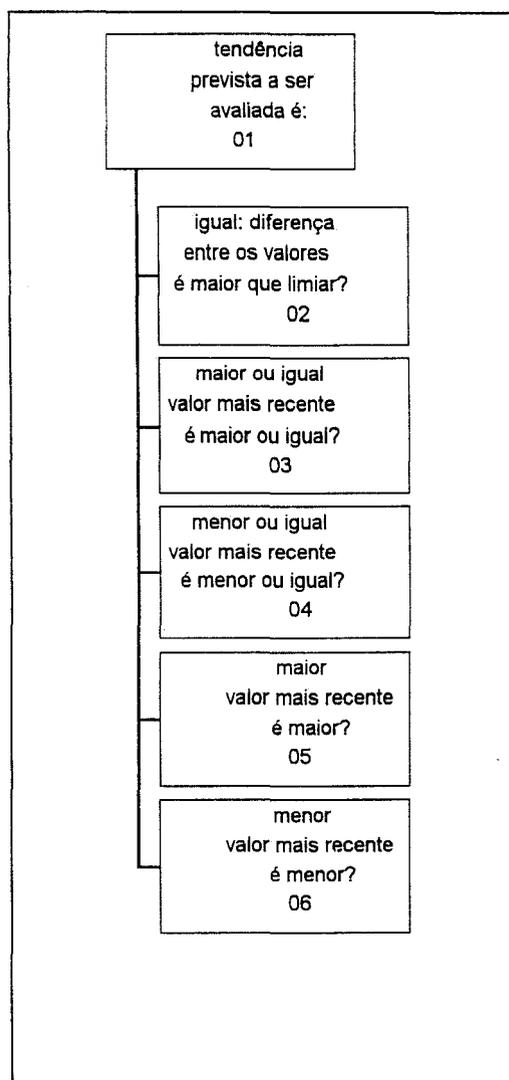


Figura 7.7: Estrutura lógica para avaliar valores de resposta espectral conforme sua tendência de variação. IMAI, N. N.

Um conjunto de cláusulas é testado de acordo com a tendência prevista para a variação da resposta espectral. A representação da lógica empregada para o caso da tendência igual é apresentada na fig. 7.8.

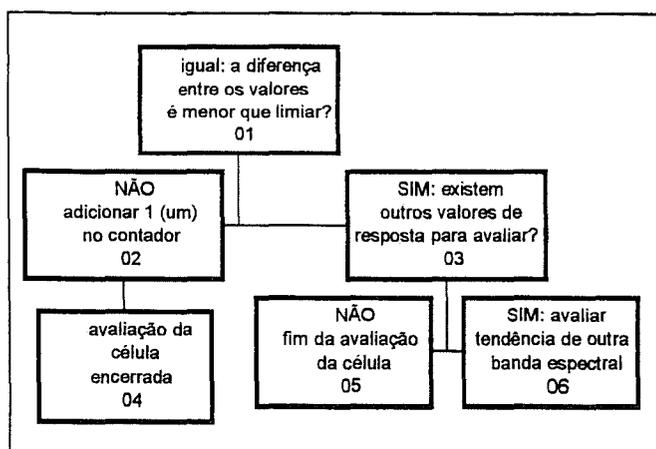


Figura 7.8: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: igual. IMAI, N. N.

Para a tendência de variação de respostas espectrais maior ou igual a estrutura lógica é mostrada na fig. 7.9, sendo que na seguinte, fig. 7.10, fica demonstrado o processo de tomada de decisão para as respostas espectrais que possuem tendência de variação prevista menor ou igual.

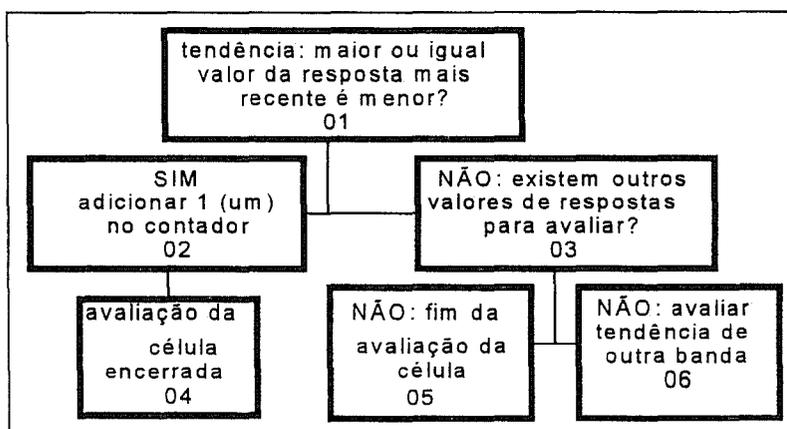


Figura 7.9: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: maior ou igual. IMAI, N. N.

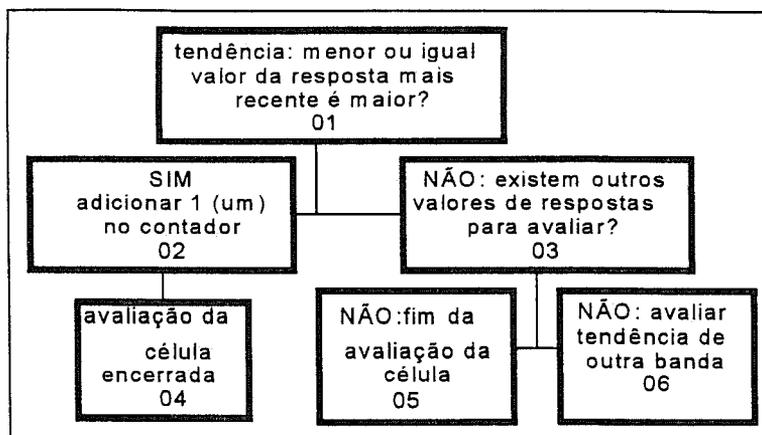


Figura 7.10: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: menor ou igual. IMAI, N. N.

Nas figuras 7.11 e 7.12 estão representadas as estruturas lógicas adotadas para realizar os processos de tomada de decisão para os casos de tendências de variação de resposta espectral: maior e menor.

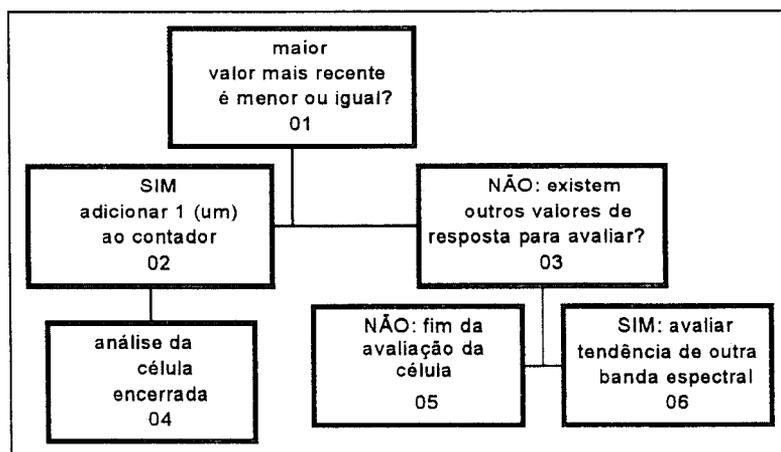


Figura 7.11: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: maior. IMAI, N. N.

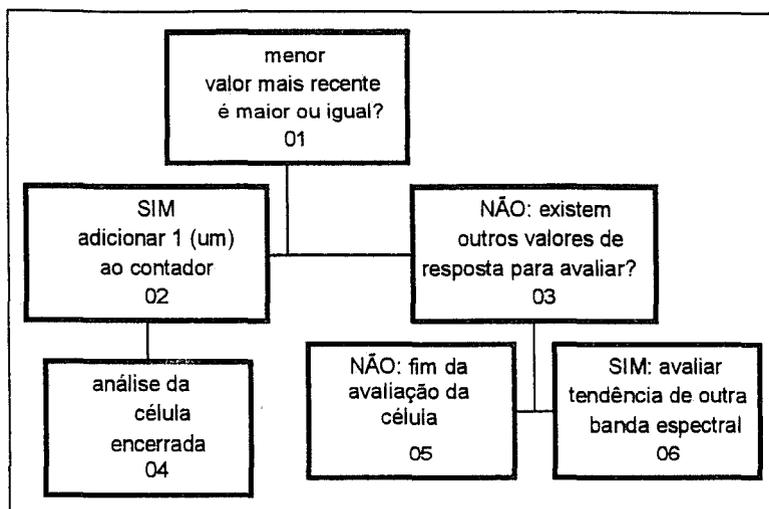


Figura 7.12: Representação do processo de tomada de decisão na avaliação de respostas espectrais com tendência prevista: menor. IMAI, N. N.

O predicado responsável pelo processo de avaliação das variações dos valores de resposta espectral de uma célula de uma unidade de área que esteja sendo examinada está no quadro 7.19, apresentado em seguida.

Quadro 7.19: Predicado que examina os valores de uma célula, para uma única banda espectral.

```
% nome do arquivo: NOTESPERADO.ARI
% objetivo: verificar se uma celula evolui de acordo com tendencia prevista

notesperado([X,Y],Tend,K,Ratual,Rant,Deltabs):-
  Offset is K/2,
  case([
Tend = equal ->(
      Deltabs > K,
      retract(contnot(Not)),
      Notespera is Not + 1,
      assert(contnot(Notespera))
    ),
Tend = less ->(
      Ratual @>= Rant,
      retract(contnot(Not)),
      Notespera is Not + 1,
      assert(contnot(Notespera))
    ),
Tend = greater ->(
      Ratual @=<= Rant,
      retract(contnot(Not)),
      Notespera is Not + 1,
      assert(contnot(Notespera))
    ),
Tend = lesseq ->(
      Rat is Ratual - Offset,
      (
        Rat > Rant,
        Deltabs > K
      ),
      retract(contnot(Not)),
      Notespera is Not + 1,
      assert(contnot(Notespera))
    ),
Tend = greatereq ->(
      Rat is Ratual + Offset,
      (
        Rant > Rat,
        Deltabs > K
      ),
      retract(contnot(Not)),
      Notespera is Not + 1,
      assert(contnot(Notespera))
    ),
    \ (
      write(' TENDENCIA INVALIDA'),nl
    )
  ])).
```

Como ficou demonstrado, a decisão de não aceitar a tendência prevista como verdadeira para um talhão é tomada a partir do número de células que tornarem o predicado notesperado(,_,_,_,_,_) verdadeiro. Isto é, a partir do número de células de um talhão

que não estiverem de acordo com as regras que especificam as variações de valores de resposta espectral para uma tendência.

Mas se ocorrer esse fato, não será possível atualizar a informação da unidade de área. Para tanto é preciso responder à questão:

- como identificar os talhões cuja alteração não tenha sido aquela prevista para a data da atualização ?

Os talhões que não forem atualizados devem continuar sendo examinados, a fim de realizar a identificação necessária à atualização.

Para tanto, foi criado um predicado, que representa o conhecimento utilizado pelo intérprete, para selecionar porções ou segmentos de cena da imagem multiespectral que representam áreas inseridas no talhão investigado e que não correspondam ao padrão espectral esperado. Assim, torna-se possível confrontar os valores de resposta espectral dessas células com outras hipóteses.

A meta do predicado é identificar o fenômeno que ocorreu no talhão e que resultou em uma variação não esperada da resposta espectral. Este predicado, que está representado na fig. 7.13, é interprete(.,.,.,.) e só é instanciado para os talhões que ainda não tenham sido atualizados e, portanto, necessitam de uma análise mais detalhada; seus predicados mais relevantes são apresentados no quadro 7.20.

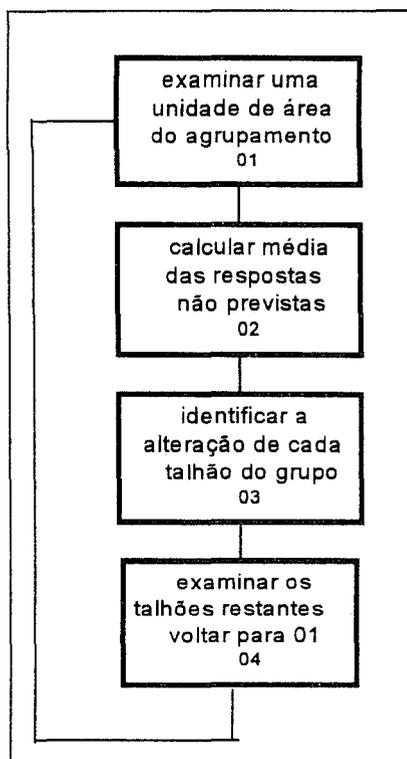


Figura 7.13: Esquema da lógica adotada para examinar os talhões não atualizados detalhadamente. IMAI, N. N.

Quadro 7.20: Predicados mais relevantes no processo de refinamento da identificação de fenômenos de interesse à atualização

predicado	objetivo
unineighb(Areadesconh,Listneighb)	fornecer lista de unidades de área vizinhas da unidade que está sendo examinada
processneighbors(Listneighb, Restareas,Mergeareas)	reunir, na lista Mergeareas, unidades de área vizinhas que não tenham sido atualizadas por apresentarem variações de valores de resposta espectral, entre as duas aquisições, diferentes das previstas
exame_unidade(Mapa,Anoanterior, Ano,Limiar, [Areadesconh|Mergeareas])	seleciona as células, de cada uma unidade de área da lista Mergeareas, cuja variação de resposta espectral não corresponda à previsão
calcmcd(Mapa,Ano, [Areadesconh|Mergeareas])	calcula a média das respostas espectrais, das células de unidades de área, cujos valores não correspondam ao previsto (selecionadas pelo predicado anterior)
procesinterpret(Mapa,Anoanterior,Ano, [Areadesconh|Mergeareas],Limiar)	escolhe entre uma busca de solução para uma única unidade de área ou para uma lista de unidades
eraseunidad(Mergeareas,Restareas, Resto)	coloca unidades de área da lista Restareas, que não estejam em Mergeareas para serem investigadas posteriormente

A formalização do predicado, a partir das regras da tabela anterior através da linguagem ARITY/PROLOG, é apresentada a seguir no quadro 7.21.

Quadro 7.21: Predicado que inicia identificação de talhões que aparentemente não obedecem a tendência esperada

```
interprete(Mapa,Anoanterior,Ano,[ ],Limite).  
  
interprete(Mapa,Anoanterior,Ano,[Areadesconh|Restareas],Limiar):-  
  unineighb(Areadesconh,Listneighb), % lista de unidades vizinhas  
  processneighbors(Listneighb,Restareas,Mergeareas),  
  exame_unidade(Mapa,Anoanterior,Ano,Limiar,[Areadesconh|Mergeareas]),  
  calcmed(Mapa,Ano,[Areadesconh|Mergeareas]),  
  procesinterpret(Mapa,Anoanterior,Ano,[Areadesconh|Mergeareas],Limiar),  
  eraseunidade(Mergeareas,Restareas,Resto),  
  interprete(Mapa,Anoanterior,Ano,Resto,Limiar).
```

A questão que se procura responder agora é:

- quais são as unidades de área vizinhas que ainda não foram atualizadas ?

Nesse predicado, o processo de inferência conduz à instanciação de processneighbors(.,.,.), cuja meta é agrupar unidades de área vizinhas a uma determinada unidade, que esteja sendo investigada por apresentar características de ter sofrido alteração inesperada. As unidades de área vizinhas que apresentem indícios de haverem sido alteradas de forma diferente daquela prevista para o talhão são incorporadas em um agrupamento desses. As unidades são acrescentadas em uma lista representada pela variável Mergeareas. Após investigar todas unidades vizinhas de uma determinada unidade de área, a lista Mergeareas estará carregada com a identificação de um grupo de unidades de áreas contíguas e que ainda não foram atualizadas. O esquema lógico do predicado é apresentado na fig. 7.14.

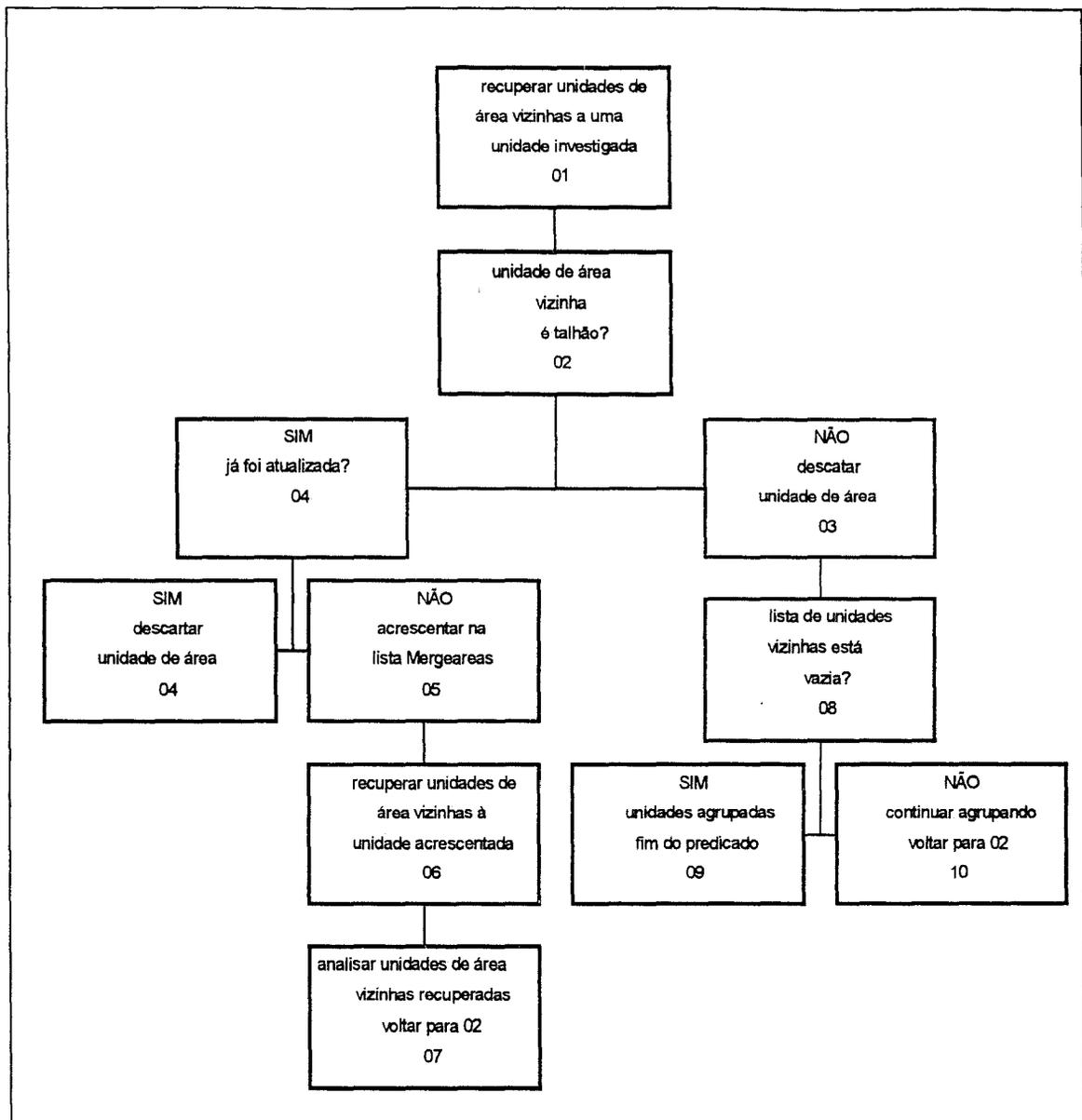


Figura 7.14: Estrutura lógica adotada para agrupar unidades de área vizinhas entre si que não foram atualizadas porque aparentemente sofreram alguma modificação inesperada.

IMAI, N. N.

Uma vez agrupados os talhões na lista Mergeareas, o predicado seguinte inicia a investigação deles. Para tanto, devem-se recuperar os valores de resposta espectral de cada célula, de cada talhão da lista Mergeareas, para submetê-los a um exame cuja finalidade é responder a questão:

- há unidades de área vizinhas cuja alteração seja similar ?

Nesse exame, são selecionadas as células cuja variação dos valores de resposta espectral for diferente daquela esperada, para uma análise posterior. Este processo é iniciado pelo predicado exame_unidade(, , , , ,) apresentado no quadro 7.22.

Quadro 7.22: Detecção de alterações em cada unidade com indícios de alteração parcial

```
exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,[ ] ).  
exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,[Head|Resto]):-  
  comportamento(Head,Anoant,Ano,Edf,Edfprev,Listatendencias),  
  changedetect(Mapa,Head,Anoant,Ano,Limiar,Listatendencias),  
  exame_unidade(Mapa,Anoant,Ano,Limiar,Resto).
```

Para iniciar o exame de uma unidade de área, o predicado faz uma busca a fim de encontrar a lista de tendências esperadas para a variação de resposta espectral da unidade. De posse das tendências, o predicado passa para a fase de análise da variação dos valores de resposta espectral de cada uma das células.

Assim, a partir da instanciação de changedetect(, , , , ,), recupera os valores de resposta espectral de uma das células e verifica se essa célula não está descartada da análise devido a alguma interferência indesejável nesta fase do processo (ruído ou efeito de borda).

Tratando-se de uma célula com valores de interesse ao processo, instancia-se o predicado detect(, , , , , , ,) que realiza uma investigação similar à do predicado notesperado(, , , , ,), com uma única diferença na ação resultante da detecção de

variação de resposta em desacordo com a tendência esperada. Enquanto notesperado(_,_,_,_,_) adiciona o valor um (1) no contador de células que não estejam de acordo com a previsão, neste caso, detect(_,_,_,_,_) adiciona uma identificação da própria célula na base de dados, para investigação posterior.

Os principais predicados implementados com a função de selecionar células cuja variação de resposta espectral não corresponde à tendência esperada estão relacionados no quadro 7.23, juntamente com uma breve explicação de suas metas.

Quadro 7.23: Predicados responsáveis pela seleção de segmentos da cena com alteração inesperada

predicado	meta
<u>comportamento</u> (_,_,_,_,_)	busca lista de tendências esperadas para um determinado talhão, a partir do estágio de desenvolvimento na data mais antiga e o intervalo de tempo entre essa data e a data da atualização
<u>changedetect</u> (_,_,_,_,_)	investiga cada uma das células de um talhão que ainda não tenha sido atualizado, anotando aqueles cuja variação da resposta espectral não corresponda ao esperado

A estrutura lógica deste predicado está representada na figura 7.15, a seguir.

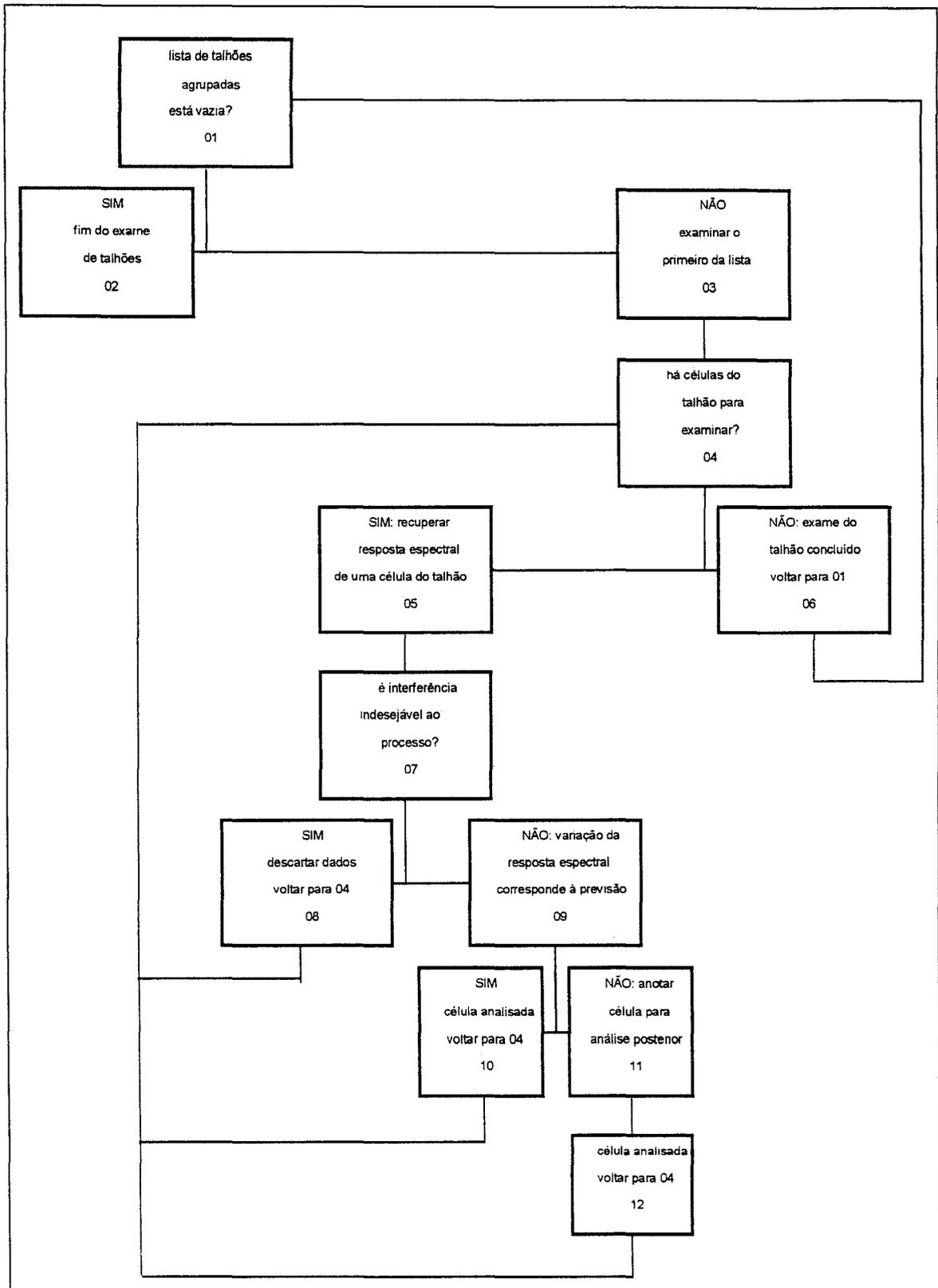


Figura 7.15: Representação da lógica usada para selecionar células cuja variação de resposta espectral não satisfaça às condições previstas para o talhão. IMAI, N. N.

O predicado `changedetect(,_,_,_,_,_)` é responsável pela investigação de cada talhão, sendo que todos da lista são examinados, pois a recorrência, que se pode notar na implementação em ARITY/PROLOG, permite que o predicado encerre somente quando se esvaziar a lista de talhões a serem investigados. A codificação deste predicado é apresentada a seguir no quadro 7.24.

Quadro 7.24: Predicado responsável pelo início da verificação de cada célula de uma unidade

```
changedetect(Map,Unidad,Anterior,Ano,Limiar,Ltendenc):-
% Recupera resposta espectral das celulas de uma unidade de area em uma data
retrieveb(uniarea,Unidad,Numrf),          % uniarea: nome da arvore b
[!instance(Numrf,brilho(adress(X,Y),Unidad,Anterior,Lbrilhoant)),
% onde Lbrilhoant: resposta espectral no ano anterior
retrieveb(uniarea,Unidad,NumRf),
instance(NumRf,brilho(adress(X,Y),Unidad,Ano,Lbrilhoat)),
% onde Lbrilhoat: resposta espectral usada na atualizaçao
ifthen(buscaruido([X,Y],Unidad,Anterior,Ano),
( % then
fail
)
),
detect(Unidad,Anterior,Ano,[X,Y],Limiar,Ltendenc,Lbrilhoant,Lbrilhoat!)],
fail.

changedetect(Map,Unidad,Anter,Ano,Limite,LTendencias):-
write(' celulas alteradas selecionadas para a unidade: '),
write(Unidad),nl.
```

Em seguida, calculam-se os valores médios das respostas espectrais das células selecionadas nas unidades de área. A tarefa é realizada pelo predicado `calcmcd(,_,_,_)`. Finalmente, é instanciada a cláusula `procesinterpret(,_,_,_,_)`, que é responsável pela escolha da forma como serão investigadas as unidades de área selecionadas. Sua codificação em linguagem ARITY / PROLOG é apresentada no quadro 7.25.

Quadro 7.25: Predicado que instancia a regra responsável pela avaliação de hipóteses com os talhões vizinhos relacionados com um fenômeno de alteração semelhante.

```
procesinterpret(Mapa,Anoant,Ano,[ ],Limit).
procesinterpret(Mapa,Anoanterior,Ano,[Areadesconh|Mergeareas],Limiar):-
ifthenelse(Mergeareas \== [ ],
( % then
selectchange(Mapa,Ano,Areadesconh,Limiar,Mergeareas,Listun),
eraseunidad(Listun,Mergeareas,Resto)
),
( % else
Listun = [ ]
),
),
identifica(Mapa,Anoanterior,Ano,Limiar,[Areadesconh|Listun]),
procesinterpret(Mapa,Anoanterior,Ano,Resto,Limiar).
```

A escolha da maneira como o processo de atualização continua baseia-se na situação da lista de talhões que estejam instanciados na lista dos agrupados denominada Mergeareas.

Se ela estiver vazia, significa que o talhão a ser investigado não tem vizinhos em situação semelhante. Portanto, a identificação do fenômeno deve se basear nos dados e informações disponíveis para o próprio talhão.

Porém, se houver unidades de área na lista, então, é necessário investigar se as unidades de área vizinhas podem ter tido alteração semelhante.

Essa é uma investigação importante para uma atualização mais segura, pois alguns fenômenos de alteração como incêndios ou ataques de pragas ou de doenças podem ocorrer em mais de um talhão. Sendo, neste caso, mais provável que os que sofreram tal modificação sejam vizinhos entre si.

O predicado selectchange(_,_,_,_,_) é instanciado dentro de procesinterpret(_,_,_,_,_) se a lista que está instanciada na variável Mergeareas não estiver vazia.

A seleção de talhões vizinhos, cuja alteração desconhecida é semelhante entre si, baseia-se na média dos valores de resposta espectral das células que foram selecionadas anteriormente pelo predicado detect(_,_,_,_,_,_) que, como já foi colocado anteriormente, anota na base de dados as células, cuja variação de resposta espectral, não correspondem ao esperado para o talhão ao qual pertencem.

O predicado formalizado em linguagem ARITY/PROLOG é apresentado a seguir no quadro 7.26.

Quadro 7.26: Predicado que coloca em um grupo os talhões vizinhos que tenham sofrido fenômeno de alteração semelhante.

```
selectchange(Mapa,Year,Ancora,Folga,[ ],[ ]).

selectchange(Mapa,Year,Ancora,Folga,[Head|Tailunidades],[Head|Resto):-
  [!medalter(Mapa,Ancora,Year,Lmedia,Lvar), % recupera fato na base de
  dados
  medalter(Mapa,Head,Year,Lmedia1,Lvar1),
  igual(Folga,Lmedia,Lmedia1)!],
  selectchange(Mapa,Year,Ancora,Folga,Tailunidades,Resto).

selectchange(Mapa,Year,Ancora,Folga,[Head|Tail],Lista):-
  medalter(Mapa,Ancora,Year,Lmedia,Lvar),
  medalter(Mapa,Head,Year,Lmedia1,Lvar1),
  not igual(Folga,Lmedia,Lvar),
  selectchange(Mapa,Year,Ancora,Folga,Tail,Lista).
```

A fim de separar as unidades vizinhas que tenham alteração semelhante à de outras unidades de área, cuja modificação não seja similar, selectchange(_,_,_,_,_) possui dois conjuntos de cláusulas e uma cláusula de encerramento da recorrência, a qual só é instanciada quando a lista de unidades de área a serem selecionadas estiver vazia.

O segundo conjunto de cláusulas do predicado é verdadeiro, se a regra de igualdade dos valores espectrais médios das células com alteração desconhecida da unidade de referência e de sua vizinha forem iguais.

Finalmente, o terceiro conjunto é verdadeiro, se esses valores médios forem diferentes.

Ao final da recorrência, o processo de retorno carrega a última variável da lista de parâmetros de selectchange(,_,_,_,_,_) com a identificação das unidades de área selecionadas pelo predicado.

A regra de igualdade está formalizada pelo predicado igual(Folga,Lmedia,Lvar), o qual compara a diferença entre duas médias com um valor de tolerância, instanciado na variável Folga.

Se a diferença for menor que Folga, as médias são aceitas como sendo similares. Se for maior, as médias são consideradas diferentes. Assim, a unidade de área de referência para identificação do fenômeno de alteração ainda desconhecido é encaminhado para o processo de investigação de hipóteses de modificação juntamente com as unidades selecionadas.

Encerrada a fase descrita anteriormente, a investigação passa a ser:

- qual foi a alteração ocorrida nas unidades de área que ainda não foram atualizadas ?

Assim, finalmente, o processo de atualização inicia a verificação de hipóteses alternativas de alteração para os talhões do reflorestamento de eucaliptos do estudo de caso. A idéia básica consiste em comparar a tendência de variação da resposta espectral entre as duas datas de aquisição das imagens de Sensoriamento Remoto com as tendências esperadas para os fenômenos que poderiam interferir fisicamente no reflorestamento. Tais alterações se refletem na própria interação da radiação eletromagnética com os alvos monitorados e assim criam condições para a manifestação de um padrão conhecido de mudança da resposta espectral. No quadro 7.27 estão relacionadas as interferências que podem ocorrer no reflorestamento e que foram previstas na fase de aquisição de conhecimento.

Quadro 7.27: Fenômenos que podem interferir na variação das respostas espectrais de um talhão

Fenômenos	Resposta espectral
alteração insignificante da massa foliar	não ocorre variação significativa
incêndio	diminui a resposta em todas as bandas
ataque de pragas e/ou doenças	efeito pouco conhecido, pode ocorrer um aumento do valor da medida de dispersão em torno da média, devido ao seu padrão de distribuição espacial heterogêneo

Além disso, o manejo previsto para acontecer em um determinado momento da vida de um talhão pode ser adiantado ou atrasado devido às modificações no cronograma de atividades do setor de produção. Tais mudanças podem ocorrer devido a alguma alteração na demanda prevista de matéria prima para o setor de transformação, isto é, pela indústria. Ou mesmo, pela necessidade de priorizar a intervenção em outros talhões.

Todas atividades inerentes ao manejo do reflorestamento podem ser adiadas ou adiantadas. De forma que a base de conhecimento de um sistema de atualização de informações a respeito do desenvolvimento de talhões de reflorestamento de eucaliptos para produção de papel e celulose deve prever a possibilidade de haver ocorrido mudanças no cronograma das atividades de manejo.

A solução adotada para o problema foi realizar um exame das células cuja variação de resposta não concorda com as tendências esperadas. Tais células são examinadas com um conjunto de tendências que considera os fenômenos descritos no quadro 7.27.

O esquema lógico adotado para procurar uma hipótese que possa explicar e identificar o fenômeno que impediu a atualização de um determinado talhão pelos predicados até então instanciados é apresentado na figura 7.16.

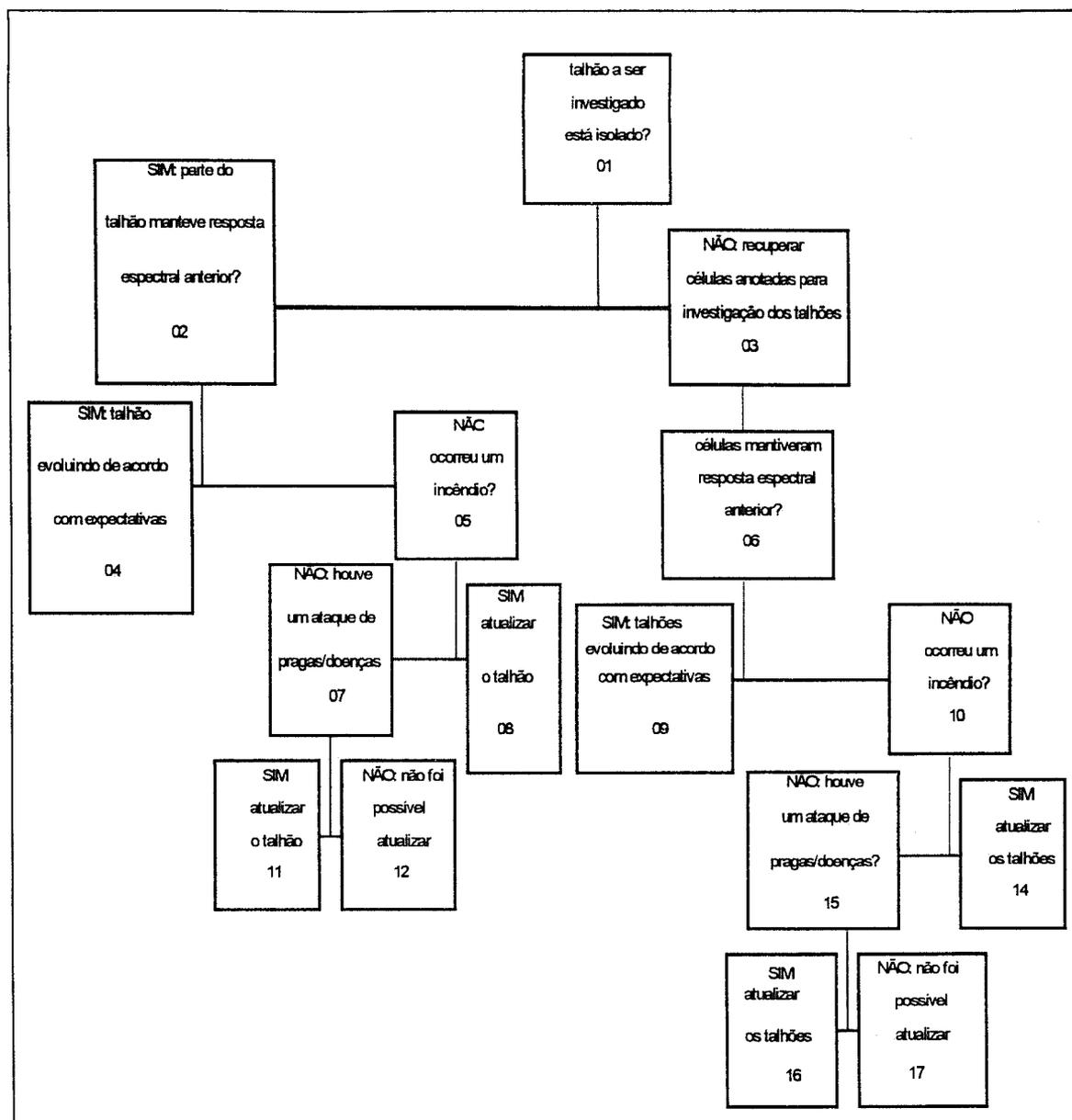


Figura 7.16: Representação esquemática da estrutura lógica adotada para examinar os fenômenos que não puderam ser identificados de acordo com as tendências esperadas.

IMAI, N. N.

Uma vez que as células, cuja variação de resposta espectral não corresponda ao que se espera para o caso do talhão no qual esteja inserido, estão selecionadas; que os talhões que não foram atualizados formam agrupamentos, com valores médios similares de resposta espectral das células selecionadas, inicia-se uma investigação das células selecionadas de um grupo de talhões, ou de um talhão que não possua vizinhos não atualizados com características espectrais semelhantes na data mais recente.

Além do atributo espectral, é possível utilizar ainda melhor o atributo espacial na tarefa de agrupar talhões vizinhos com alteração similar. Para tanto, basta que se procure verificar se as células selecionadas de todos os talhões vizinhos entre si podem formar uma superfície contínua no espaço. Esse esquema lógico não foi implementado, porque a avaliação do atributo espectral já poderia resolver o problema.

A investigação das células selecionadas de um talhão isolado ou de um conjunto de talhões é realizada de maneira semelhante. A primeira hipótese a ser verificada é de que o talhão, apesar de estar evoluindo de acordo com as expectativas, possui uma parcela na qual a alteração de sua cobertura foliar tenha sido insignificante para uma avaliação espectral, o que pode ocorrer entre os seguintes estágios:

reflorestamento jovem e desenvolvimento,	se o talhão não foi completamente desbastado;
desenvolvimento e adulto,	mudanças do atributo espectral não são, usualmente, muito significativas;
adulto e corte raso,	se a aquisição da imagem mais recente foi realizada depois de três meses do início corte raso;
corte raso e reflorestamento jovem,	se a aquisição da imagem mais antiga foi realizada depois de três meses do início do corte raso.

Descartada a possibilidade do talhão ter evoluído de acordo com o previsto, restam as hipóteses de ocorrência de incêndio ou de ataque de pragas ou doenças. No caso de incêndio, a resposta espectral das células correspondentes diminui para todo o espectro eletromagnético refletivo, mais especificamente para as três bandas consideradas neste estudo de caso. E, no caso de ataque de pragas ou doenças, deve ocorrer um aumento significativo das dispersões em torno dos valores médios de cada banda espectral analisada.

No entanto, podem ocorrer casos nos quais as regras apresentadas para a verificação de hipóteses sejam todas falsas, conduzindo o processo a uma indeterminação

do fenômeno de alteração. Nesses casos, o talhão ou conjunto de talhões não é atualizado, sendo solicitada a intervenção de um especialista em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto para solucionar o problema. A implementação do esquema lógico apresentado para realizar esta avaliação utiliza, principalmente, os seguintes predicados do quadro 7.28.

Quadro 7.28: Principais regras implementadas para identificar fenômeno de alteração não esperado

predicados	meta
identifica(____,____)	identificar alterações que, aparentemente, não estavam previstas
analisanidades(____,____,____,____,____,____)	investiga os valores das células de um conjunto de talhões
analisanic(____,____,____,____,____)	investiga os valores das células de um único talhão

O programa gerado em linguagem ARITY/ PROLOG para realizar a investigação responsável pela verificação de hipóteses final está apresentado no quadro 7.29.

Quadro 7.29: Predicado responsável pela avaliação, final, de hipóteses

```

identifica(Map, Anterior, Year, Limiar, [Unidad|RestUn]):-
media(Map, Unidad, Anterior, Medant, Varant),
comportamento(Unidad, Anterior, Year, Edf, Edfprev, Ltnd),
assert(flag(falso)),
ifthenelse(RestUn \== [ ],
( % then, grupo de unidades alteradas parcialmente semelhantemente
analisanidades(Map, Anterior, Year, Limiar, [Unidad|RestUn], Edf, Edfprev, Ltnd)
)
,
( % else, RestUn = [ ], unidade isolada
analisanic(Map, Anterior, Year, Limiar, [Unidad], Edf, Edfprev, Ltnd, Medant)
)
). % fim
=====
    
```

O predicado analisanidades(____,____,____,____,____,____) é responsável pela verificação de hipóteses das células de um conjunto de talhões vizinhos com características de alteração

semelhante. Os principais predicados para a tarefa são apresentados no quadro 7.30, a seguir.

Quadro 7.30: Principais predicados de *analisanalidades*(_,_,_,_,_,_)

predicados	meta
<code>calcnmax(.,.,.)</code>	calcula o número máximo de células, do conjunto de talhões, que podem falhar na avaliação
<code>conferetnd1(.,.,.,.,.)</code>	predicado responsável pela avaliação de cada talhão
<code>restunid(.,.,.,.,.)</code>	predicado responsável por uma confirmação de tendências das células não selecionadas
<code>exception(.,.,.,.,.)</code>	verifica se houve um incêndio ou se há indicadores de um ataque de pragas e ou doenças

O código que foi gerado está apresentado em seguida no quadro 7.31. Se uma parte do talhão possuir células, cuja variação de resposta espectral corresponda à tendência de mudança do estágio adulto para corte raso, então o restante das células cujas variações não estejam de acordo com esta tendência é investigado da seguinte forma: verifica se os valores de resposta espectral permaneceram como na imagem adquirida anteriormente, correspondendo a um talhão com células que ainda não foram modificadas. Ou seja, uma parte do talhão não havia sido colhido até o momento da aquisição da imagem de Sensoriamento Remoto, situação que caracteriza um corte raso parcial. O programa incorpora essa situação através de regras destinadas a investigar um caso mais geral, o qual é examinado por prever que algumas das células de um talhão poderiam ter seus valores de resposta espectral mantidos iguais, ou seja que uma parte do talhão não sofra alteração significativa de sua cobertura vegetal. Nesse caso, o índice de área foliar sofre pouca alteração e a resposta espectral permanece igual à anterior. Uma descrição da lógica usada na análise, a qual corresponde perfeitamente ao caso de talhões parcialmente colhidos, é apresentada a seguir.

Quadro 7.31: Predicado responsável pela investigação das células selecionadas por changedetect(_,_,_,_,_,_).

```

analisunidades(Map,Anterior,Year,Limiar,[Unidad|RestUn],Edf,Edfprev,Ltnd):-
conferetnd1(Limiar,Mx,Year,Anterior,[Unidad|RestUn],[equal,equal,equal]),
retract(semaforo1(Sinal1)),
ifthenelse(Sinal1 = verde,
( % then
assert(semaforo2(verde)),
restunid(Limiar,Mx,Map,[Unidad|RestUn],Ltnd,Anterior,Year),
retract(semaforo2(Sinal2))
)
,
( % else
Sinal2 = vermelho
)
),
ifthen(
(
Sinal1 = verde,
Sinal2 = verde
),
( % then, de acordo com a tendencia prevista
write(' UNIDADES SOFREND O ALTERACAO PREVISTA NA
ATUALIZACAO'),nl,
atualprevisto(Map,Anterior,Year,[Unidad|RestUn],Edf,Edfprev),
retract(flag(falso)),
assert(flag(verdadeiro))
)
),
flag(Indicador0),
ifthen(Indicador0 = falso,
( % then examine possiveis alteracoes excepcionais
exception(Map,Limiar,[Unidad|RestUn],Anterior,Year,MedGeral,Lvgeral)
)
),
flag(Indicador1),
ifthenelse(Indicador1 = verdadeiro,
( % then
retract(flag(verdadeiro))
)
,
( % else
write(' Nao foi possivel identificar a alteracao'),nl,
write(' Necessario que mais dados e informacoes sejam analisadas'),nl
)
),
identifica(Map,Anterior,Year,Limiar,[ ]). %
=====

```

O predicado conferetnd1(_,_,_,_,_,_) tem por finalidade verificar a possibilidade dos valores de resposta espectral de algumas células do talhão examinado não terem sido modificados devido as razões apresentadas no parágrafo anterior. Para realizar a investigação, seleciona a unidade de área da cabeça da lista, representado no predicado pela

variável Unidad e instancia o predicado confereunidades(_,_,_,_,_) o qual examina a variação de resposta espectral de cada célula selecionada. Este exame é realizado de acordo com uma estrutura lógica semelhante daquela utilizada para verificar a hipótese de variação inicial, ou seja, da tendência esperada para a mudança de estágios prevista para o talhão.

A implementação deste predicado em linguagem ARITY/PROLOG aproveita as mesmas regras usadas por processacelulas(_,_,_,_,_,_) e a mesma estrutura lógica. A única diferença de confereunidades(_,_,_,_,_) reside no fato de que as células, cujos valores de resposta espectral recuperados para análise, são aquelas anotadas anteriormente pelo predicado changedetect(_,_,_,_,_), ou seja, as células com variação de resposta espectral diferente da tendência esperada para o talhão. Sendo que nesse caso avalia a possibilidade de não ter ocorrido mudança significativa na resposta espectral.

O predicado restunid(_,_,_,_,_) tem uma tarefa complementar, sendo tanto sua estrutura lógica, como também sua implementação idêntica ao do predicado confereunidades(_,_,_,_,_), com a única diferença de que o exame é das células restantes do talhão, avaliando-as de acordo com a tendência inicialmente prevista.

Finalmente o predicado exception(_,_,_,_,_), quadro 7.32, que é responsável pela verificação da hipótese de ocorrência de incêndio, bem como de ataque de pragas ou de doenças. Para que a hipótese de incêndio possa se confirmar é preciso que a resposta espectral na data de aquisição de dados mais recente seja quase igual para todas as bandas e ainda que sejam menores que os valores adquiridos na aquisição mais antiga.

No caso de ataque de pragas ou doenças, a verificação implementada baseia-se na variação da dispersão dos valores de resposta espectral em torno da média. Assim, a última hipótese é considerada verdadeira, se houver um aumento na variância dos valores de resposta em cada uma das bandas espectrais analisadas. Porém, a última verificação não é segura, pois se conhece muito pouco sobre o assunto.

Quadro 7.32: Predicado que avalia possibilidade de ter ocorrido incêndio, como também ataque de pragas ou doenças

```

exception(Map,Limit,[ ],Ant,Ano,M,V).

exception(Mapa,Limite,[Unid|Rest],Ant,Ano,MGer,VGer):-
media(Mapa,Unid,Ant,Mant,Vant),
% Verifica se ocorreu um incendio
ifthenelse(conferetend(Limite,Mant,MGer,[greater,less,less]),
( % then, hipotese de incendio pode ser aceita
igualdade(Limite,MGer), % valores espectrais devem ser quase iguais
atualize([Unid|Rest],Ano,incendio),
retract(flag(falso)),
assert(flag(verdadeiro))
)
,
( % else, verifica ocorrencia de pragas ou doencas
ifthen(conferetend(Limite,Mant,MGer,[greater,lesseq,greater]),
( % then, hipotese de ataque de pragas ou doencas pode ser aceita
dispersos(Mant,Vant,MGer,VGer), % variancia deve ter aumentado
assert(unidade(Unid,t,prag/doen,inicio(Ano),Ano)),
retract(flag(falso)),
assert(flag(verdadeiro))
)
)
),
),
exception(Mapa,Limite,Rest,Ant,Ano,MGer,VGer).
    
```

O predicado analisaunic(_,_,_,_,_,_,_) é responsável pela avaliação das mesmas hipóteses examinadas por analisanidades(_,_,_,_,_,_), sendo que a única diferença entre eles reside no fato de que o primeiro, diferentemente do segundo, avalia somente as células de um único talhão, cuja vizinhança tenha sido atualizada, ou tenha características espectrais diferentes da vizinhança na segunda data de aquisição. A investigação é realizada para o talhão isolado, por não haver indícios de ter ocorrido um fenômeno de alteração semelhante ao de seu talhão vizinho. Sua implementação em ARITY/PROLOG está apresentada no quadro 7.33, a seguir.

Quadro 7.33: Predicado responsável pela investigação das células selecionadas por changedetect(_,_,_,_,_,_)

```

analisaunic(Map,Anterior,Year,Limiar,[Unidad],Edf,Edfprev,Ltnd,Medant):-
write(' busca do vetor media das celulas alteradas'),nl,
assert(semaforo1(verde)),
Ltndencias0 = [equal,equal,lesseq],
conferetnd1(Limiar,Mx,Year,Anterior,[Unidad],Ltndencias0),
retract(semaforo1(Sinal1)),
    
```

```
ifthenelse(Sinal1 = verde,
( % then
  assert(semaforo2(verde)),
  restunid(Limiar,Mx,Map,[Unidad],Ltd,Anterior,Year),
  retract(semaforo2(Sinal2)),
)
,
( % else
  Sinal2 = vermelho
)
),
ifthen(
(
  Sinal1 = verde,
  Sinal2 = verde
)
,
( % then, de acordo com expectativas
  atualprevisto(Mapa,Anterior,Year,[Unidad],Edf,Edfprev),
  retract(flag(falso)),
  assert(flag(verdadeiro))
)
),
flag(Indicador2),
ifthen(Indicador2 = falso,
( % then examine possiveis alteracoes excepcionais
  exception(Map,Limiar,[Unidad],Anterior,Year,Matual,Vatual)
)
),
flag(Indicador3),
ifthenelse(Indicador3 = verdadeiro,
( % then
  retract(flag(verdadeiro))
)
,
( % else
  write(' Nao foi possivel identificar a alteracao'),nl,
  write('Necessario que mais dados e informacoes sejam analisadas'),nl,
  write(' Unidade deve ser atualizada pelo analista ----> '),
)
),
identifica(Map,Anterior,Year,Limiar,RestUn).
```

Nesse experimento, os parâmetros usados na avaliação das respostas espectrais são os seguintes:

- diferença máxima em relação ao esperado = 20;
- resposta espectral maior que 247 ou menor que 6 pode ser ruído;
- conjuntos menores que 20 (vinte) células adjacentes podem ser constituídos de ruídos.

7.4. Resultados

A primeira finalidade do experimento foi cumprida, pois foi possível utilizar a simulação tanto na aquisição de conhecimento, formalização e avaliação do banco de conhecimento implementado, a qual foi sendo feita ao longo do processo. Por outro lado, os resultados da aplicação do protótipo construído permite que se considere cumprido o segundo objetivo, o qual é reapresentado a seguir.

Deve emular um especialista em interpretação de imagens à realização das tarefas de detecção de alterações e identificação dos fenômenos de alteração, em um processo de atualização de mapas digitais que se destinem a fornecer informações de interesse à situação do estudo de caso deste trabalho.

A constatação de que, ao menos no caso simulado, um sistema especialista realize a tarefa apresentada deve-se aos resultados apresentados em seguida.

A verificação das hipóteses iniciais previstas para cada talhão, usando a abordagem de eliminação daquelas que os fatos tornem falsas, apresentou os resultados do quadro

7.34.

Quadro 7.34: Resultado da aplicação das regras de verificação de hipóteses iniciais previstas

unidade de área	Resultado da verificação da hipótese inicial prevista para o talhão
un1	evoluindo conforme previsto; atualizado para: unidade(un1,t,cr,inicio(94),94)
un2	não está evoluindo de acordo com a previsão; analisar melhor
un3	evoluindo conforme previsto; atualizado para: unidade(un3,t,rj,inicio(94),94)
un4	não está evoluindo de acordo com a previsão; analisar melhor
un5	área de preservação
un6	evoluindo conforme previsto; atualizado para: unidade(un6,t,des,inicio(92),94)
un7	não está evoluindo de acordo com a previsão; analisar melhor
un8	evoluindo conforme previsto; atualizado para: unidade(un8,t,des,inicio(94),94)

Assim, as unidades de área: un2, un4, e un7 continuaram sendo examinadas. As unidades un2 e un4 foram reunidas em um grupo, pois o valor médio das células selecionadas para exame mais detalhado é similar. O exame das células selecionadas das duas unidades tornou verdadeira a hipótese de incêndio, sendo que o restante estava com valores de resposta espectral que comprovam a hipótese inicial prevista para cada um dos talhões.

O exame da unidade de área un7 tornou verdadeira a hipótese de que o corte raso estava sendo realizado, portanto, o talhão foi atualizado de acordo com a previsão inicial.

A atualização das unidades de área foi feita de acordo com os resultados apresentados no quadro 7.35.

Quadro 7.35: Atualização das unidades de área que não foram atualizadas no exame inicial

unidade de área	Hipótese que explicou o fenômeno de alteração
un2	provável incêndio em parte do talhão
un4	provável incêndio em parte do talhão
un7	evoluindo conforme previsto; atualizado para: unidade(un7,t,cr,inicio(94),94)

Os resultados servem de subsídio para avaliar que a abordagem proposta foi pertinente ao campo de análise.

Do ajustamento do banco de conhecimento do sistema especialista

8.1. Introdução

O terceiro e último experimento realizado neste trabalho, consiste na avaliação e adaptação da estrutura lógica codificada em linguagem ARITY/PROLOG, nos dois experimentos anteriores. Desenvolvido a partir da aplicação do protótipo de sistema de atualização criado nos experimentos anteriores, os resultados propiciaram a chance de detectar algumas falhas tanto na codificação do conhecimento adquirido, como também no resultado da modelagem do conhecimento do especialista. Corrigiram-se ambos aspectos do protótipo, eliminando inicialmente as falhas decorrentes de erros de programação detectados e, em seguida, modificando-se sua estrutura lógica.

Foram seleccionadas 16 (dezesesseis) unidades de área da fazenda para o teste, compondo assim o mapa do estudo de caso que denominou-se "exp3". Essas unidades foram seleccionadas por apresentarem características de interesse para a avaliação da proposta, pois encontravam-se em estágios fenológicos diferentes, e além disso, serem vizinhas entre si. A diversidade de estágios em talhões próximos facilitou a decisão, por tornar o teste mais abrangente. A fig. 5.5 mostra as unidades de área do mapa adotado. Dessas são usadas como talhão de reflorestamento, as unidades: un1, un2, un3, un4, un5, un6, un7, un8, un9, un12 e un13; e as unidades de área un10; un11; un14 e un15 como áreas de preservação conforme demonstra o mapa da fig. 5.6. As unidades de área un10 e

un14 estão sendo preservadas, mantendo a cultura de pinus, que não fornece matéria prima para o setor industrial da produção.

O mapeamento das unidades de área do estudo de caso foi feito por segmentação manual baseada em interpretação visual dos dois conjuntos de imagens de Sensoriamento Remoto, já que o mapa fornecido pelo produtor, não fornecia as informações de posição geográfica, servindo apenas como indicador para a extração visual de feições.

Assim, as informações das unidades de área que constituem a base de dados espaciais e não espaciais foram geocodificadas através de coordenadas de imagem, no sistema de projeção das imagens obtidas pelo sistema sensor TM - Landsat, ou seja Projeção Oblíqua de Mercator, sendo, na verdade, uma projeção cilíndrica inclinada em relação aos meridianos devido à órbita do satélite.

As informações sobre o estágio fenológico, de cada unidade de área, deste estudo de caso, destinada à produção de eucaliptos, tanto na data de aquisição do conjunto de dados multiespectrais mais antigo, ou seja 10/10/1987, como também naquela obtida para a data de aquisição dos dados usados na atualização, 09/08/1988, estão no quadro 8.1 apresentado em seguida.

Quadro 8.1: Estágio de desenvolvimento florestal de cada unidade de área nas duas datas

unidade de área	estágio de desenvolvimento florestal	
	10/10/1987	09/08/1988
un1	cr - corte raso	rj - reflorestamento jovem
un2	ad - adulto	cr - corte raso
un3	cr - corte raso	rj - reflorestamento jovem
un4	ad - adulto	cr - corte raso
un5	ad - adulto	cr - corte raso
un6	ad - adulto	rj - reflorestamento jovem
un7	ad - adulto	cr - corte raso
un8	ad - adulto	cr - corte raso
un9	cr - corte raso	rj - reflorestamento jovem
un12	ad - adulto	cr - corte raso
un13	des - desenvolvimento	ad - adulto
un16	des - desenvolvimento	ad - adulto

8.2. Resultados da aplicação da versão inicial do protótipo

A versão inicial do protótipo, criada a partir dos dois experimentos realizados com dados simulados, foi aplicada na área de estudo para atualizar as informações do mapa para a segunda data de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto. Como era esperado, os erros de codificação do programa provocaram um colapso inicial que impediu a aplicação do protótipo em todas unidades de área. Alguns relacionavam-se à detecção de erros de mapeamento ou interferência de transições entre unidades de área.

No entanto, os principais problemas decorreram da dificuldade de realizar o processo de atualização propriamente dito, pois o número de células a serem examinadas é muito elevado, o que exige muita memória de armazenamento e o processamento de um número maior ainda de valores de resposta espectral.

No presente trabalho, adotado o uso de imagens de Sensoriamento Remoto em duas datas de aquisição, e três bandas espectrais das seis bandas do espectro refletivo

adquirido pelo sistema sensor TM - Landsat, obtêm-se seis valores de resposta para cada célula examinada.

Após a correção dos erros de programação detectados dos primeiros testes, percebeu-se também que o processo era inviável para ser executado uma única vez em todas unidades de área do estudo de caso.

Tais limitações são decorrentes da falta de eficiência tanto do *hardware* quanto do *software* empregados, sendo possível diminuir esses limites através da utilização de ferramentas mais adequadas para o processo.

Para viabilizar a aplicação do processo em todas unidades de área deste estudo de caso, dividiu-se o mapa em cinco partes contendo unidades de área vizinhas. Denominou-se cada parte com um novo nome de mapa, derivado de "exp3". No quadro 8.2 cada parte é descrita em função de seu nome e das unidades de área que a compõem.

Quadro 8.2: Sub-experimentos identificados pelo nome e unidades de área de cada mapa derivado

sub-experimento	Unidades de área
ex31	un4, un9, un13,un15
ex32	un1, un2, un6
ex33	un5, un7, un11
ex34	un8, un10, un14, un16
ex35	un3 e un12

O sub-experimento cujo mapa é ex35 foi criado devido aos problemas que ocorreram na delimitação dos limites de suas unidades de área.

Como as unidades de área foram delimitadas diretamente nos produtos TM - Landsat, e aquelas, denominadas neste estudo de caso de un3 e un12 estavam com seus limites mal definidos nessas imagens, portanto, já era previsto o fato de que o erro de

mapeamento poderia ser muito maior para estas, que no caso das outras destinadas à produção de eucaliptos.

Além disso, percebeu-se também que a falta de calibração do sistema sensor TM - Landsat estava afetando a análise dos dados multiespectrais. Portanto, optou-se, em um primeiro momento, pela aplicação de uma técnica de registro radiométrico baseado nos dois histogramas acumulados, ogivas, de duas imagens, em uma única banda espectral, de duas datas de passagem do satélite, para minimizar o problema.

De maneira resumida, a técnica de registro de ogivas é realizada da seguinte forma:

1. calculam-se os histogramas acumulados das duas imagens obtendo-se $h_1(x)$ e $h_2(x)$, ogiva da imagem 1 e 2 respectivamente;
2. aplica-se a técnica de equalização em cada um dos histogramas resultando os histogramas equalizados $e_1(x)$ e $e_2(x)$ das imagens 1 e 2 respectivamente;
3. aplica-se a inversa da função que gerou $e_1(x)$ a partir de $h_1(x)$ em $e_2(x)$, ou seja no histograma equalizado da segunda imagem gerando o histograma acumulado da segunda imagem $h_{2t}(x)$, registrado ao histograma da primeira imagem;
4. extrair uma tabela de conversão dos valores digitais (LUT - "Look up table") a partir das modificações realizadas na ogiva, ou seja x_t em função de x a partir da transformação de $h_2(x)$ em $h_{2t}(x)$. (Richards, 1986).

Conseqüentemente, a segunda imagem será modificada de tal forma que esteja radiometricamente registrada à primeira.

Os limites estabelecidos para a aplicação deste protótipo foram as seguintes:

- diferença máxima da média da unidade de área = 30;
- ruídos: igual a zero ou maior que 251 (duzentos e cinquenta e um);
- número máximo de células adjacentes consideradas como ruído = 20;

- erro máximo de variação dos valores de resposta espectral = 10;
- porcentual de erros admitidos em um talhão = 10%. Os resultados da aplicação da versão inicial do protótipo estão apresentados no quadro 8.3.

Quadro 8.3: Resultados da aplicação da versão inicial do protótipo desenvolvido

MAPA	unidade de área	Resultado do processo de atualização
ex31	un4	corte raso executado em 1988
	un9	reflorestamento jovem com início do estágio em 1988
	un13	adulto com início do estágio em 1988
	un15	área de preservação
ex32	un1	reflorestamento jovem com início do estágio em 1988
	un2	corte raso executado em 1988
	un6	não foi possível atualizar
ex33	un5	corte raso executado em 1988
	un7	corte raso executado em 1988
	un11	área de preservação
ex34	un8	corte raso executado em 1988
	un10	área de preservação
	un14	área de preservação
	un16	não foi possível atualizar
ex35	un3	não foi possível atualizar
	un12	não foi possível atualizar

Portanto, as unidades de área un3, un6, un12 e un16 deixaram de ser atualizadas pelo protótipo. As unidades de área un3 e un12 provavelmente não foram atualizadas devido aos erros grosseiros no seu mapeamento. No entanto, as unidades un6 e un16 têm suas próprias causas. A unidade un16 permaneceu adulta, mas a base de conhecimento do protótipo testado não modela adequadamente essa possibilidade. No caso da unidade un6, o talhão foi colhido entre outubro e novembro de 1987, logo após a aquisição mais antiga da imagem multiespectral, encontrando-se no estágio reflorestamento jovem. Essa possibilidade não consta da primeira versão do banco de conhecimento.

8.3. Aprimoramento do banco de conhecimento

O banco de conhecimento implementado na versão inicial do protótipo, foi criado para avaliar a hipótese de que o conhecimento codificado do especialista em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto, pode dar suporte ao sistema de atualização de informações de bases de dados espaciais e não espaciais. Pretende-se também identificar se a abordagem permite usar a máquina aliada ao homem para aumentar a capacidade de produção deste último.

Assim sendo, procurou-se verificar como poderia ser melhorado o conteúdo até então formalizado. A influência do conteúdo de umidade da vegetação no comportamento espectral foi discutida e modelada inicialmente, mas não faz parte da versão inicial do protótipo. Além disso, a falta de calibração dos dados multiespectrais coletados pelo sistema sensor TM - Landsat, foi parcialmente contornada através de um registro radiométrico realizado com base no histograma acumulado de imagens coletadas na mesma banda espectral, em datas diferentes.

No entanto, o resultado da modelagem feita para o índice NDVI não foi aproveitado na versão inicial do protótipo.

Portanto, todo o conhecimento deve ser incorporado à base de conhecimento a fim de aumentar a confiança no processo de tomada de decisão. Em função de essa decisão de usar os valores do índice de vegetação NDVI no lugar de uma banda pura, em conjunto com a necessidade de aproveitar a maioria do programa implementado na versão inicial, decidiu-se substituir a banda TM - 3, e manter a banda TM - 4. Sendo que as tendências previstas para a banda pura devem ser mais flexíveis que no caso do índice NDVI. As figuras 8.1: a. e b. mostram o resultado da combinação das bandas TM - 3 e TM - 4 através do índice de vegetação NDVI.

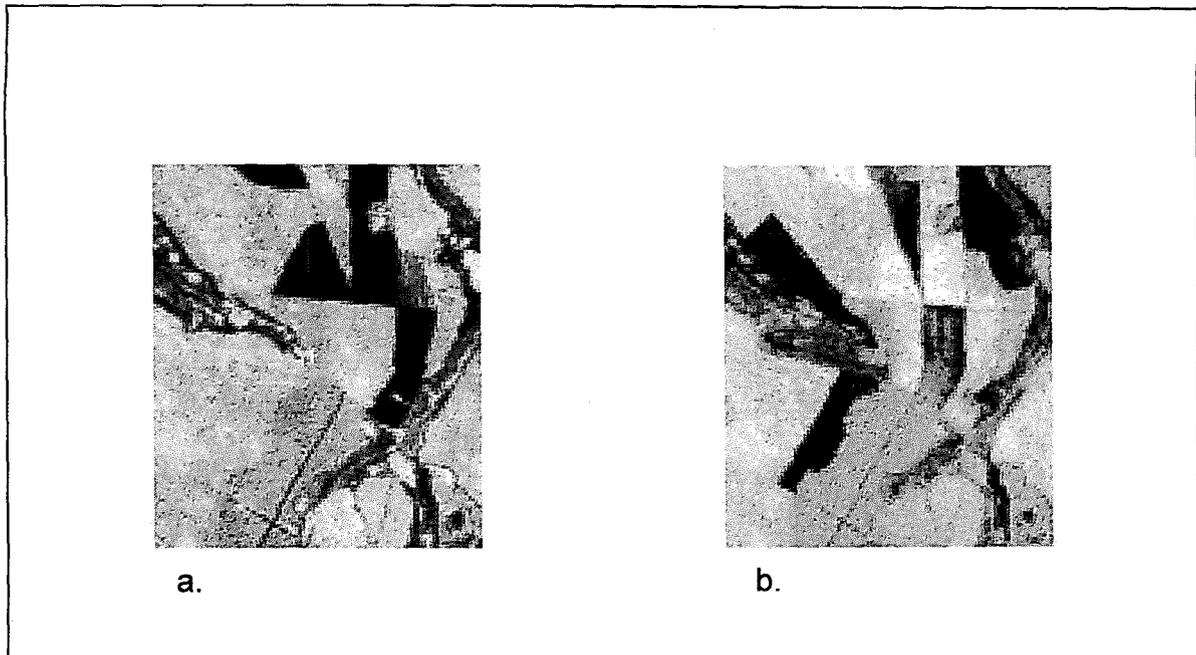


Figura 8.1: Índice de vegetação NDVI obtido das bandas TM-3 e TM-4: a. 10/10/87 e b. 9/08/88.

Finalmente, analisar-se-á o caso de talhões adultos o qual causou algum problema devido a um modelamento que deixou de prever adequadamente as possibilidades de evolução deste caso específico.

Como não é possível adquirir dados de Sensoriamento Remoto continuamente, e como sua aquisição entre intervalos de tempo muito pequenos aumenta muito os custos da atualização, adotou-se uma aquisição anual de imagens, a qual pode dificultar o processo de atualização. O estágio de um talhão que era adulto, ou seja que estivesse pronto para ser colhido, pode ser tanto o estágio subsequente, isto é o corte raso, como também o estágio seguinte no qual o talhão já se encontra como um reflorestamento jovem, pois a colheita pode ter sido realizada pouco depois da última atualização e a rebrota de um talhão ocorre em cerca de três a quatro meses após a colheita. Entretanto, pode ser que um determinado talhão adulto deixe de ser colhido porque não houve a demanda esperada. Assim, um talhão que esteja pronto para ser colhido pode ter seu estágio adulto modificado para corte raso, ou reflorestamento jovem, assim como permanecer no estágio adulto.

Uma busca heurística, que pode diminuir o caminho a ser percorrido e aumentar a confiança na tomada de decisão, deve melhorar o protótipo evitando problemas semelhantes aos ocorridos com a aplicação da versão inicial. Para tanto, a base de conhecimento deve incorporar aquele relativo às possíveis formas de evolução de um talhão adulto, as quais assim se apresentam:

Quadro 8.4: Possíveis formas de evolução de um talhão, a partir do estágio "adulto".

estágio anterior	estágio posterior
adulto	corte raso
adulto	reflorestamento jovem
adulto	adulto.

Poderá também ocorrer a combinação de adulto e corte raso prevista, modelada e programada para ser detectada ao se investigar células que não tenham tido suas respostas espectrais modificadas, além da combinação de corte raso e reflorestamento jovem que não havia sido prevista até então.

Como a colheita das árvores de um talhão pode não ter sido realizada em poucos dias, o desenvolvimento também pode ocorrer de forma desigual. Então, esse pode encontrar-se com uma parte cuja resposta espectral seja muito próxima daquele correspondente a um corte raso, e outra parte com uma resposta mais próxima de um reflorestamento jovem.

Um talhão cujo estágio de desenvolvimento no mapa a ser atualizado seja adulto deve ser avaliado de forma que todas as possibilidades apresentadas possam ser examinadas, sendo que a primeira, mais provável, é de que o corte raso tenha ocorrido.

A segunda e terceira hipóteses são relacionadas com a rebrota parcial e total no talhão. A investigação da hipótese de que um talhão que estava no estágio adulto pode estar sendo colhido no momento da aquisição da imagem de Sensoriamento Remoto,

caracterizando uma colheita parcial, continua sendo avaliada da mesma forma em que havia sido programada na versão anterior.

Se a probabilidade de que o talhão foi colhido não for confirmada, então restará a possibilidade de que esse permaneça no estágio adulto, pronto para ser colhido a qualquer momento.

A hipótese de que o talhão colhido esteja parcialmente ou totalmente com rebrota é examinada pelo predicado processacorte(_,_,_,_,_), apresentado no quadro 8.5.

Quadro 8.5: Formalização, em linguagem ARITY/PROLOG, do esquema lógico adotado para verificar a possibilidade de um talhão adulto ter sido colhido.

```

processacorte(Map,Area,Past,Ano,Max,DifMax):-
  retrieveb(uniarea,Area,NumRef),           % uniarea: nome da árvore b
  [!instance(NumRef,brilho(adress(X,Y),Area,Past,Lbrilhoant)),
  retrieveb(uniarea,Area,Numref),
  instance(Numref,brilho(adress(X,Y),Area,Ano,Lbrilhoatual)),
  contnot(NumEstranhos)!],
  ifthenelse(NumEstranhos > Max,
    ( % then
      retract(contnot(NumEstranhos)),
    )
  ,
  ( % else
    [!ifthen(buscaruido([X,Y],Area,Past,Ano),
      ( % then
        fail
      )
    ),
    estagio(ad,cr,Tende0),
    umidade(Variation),
    case([
      Variation = igual -> estagio0(ad,rj,Tende1),
      Variation = menor -> estagio(ad,rj,Tende1),
      Variation = maior -> estagio1(ad,rj,Tende1),
      \
      write(' variacao de umidade invalida')
    ])
  ],
  avalidesp(Area,Ano,[X,Y],DifMax,Tende0,Tende1,Lbrilhoant,Lbrilhoatual)!],
  fail
)
).

processacorte(Map,Unidade,Ant,Ano,_,_):-
  write(' Unidade evoluindo de acordo com as expectativas '),nl,
  assert(unidade(Unidade,t,cr,inicio(Ano),Ano)),
  retract(contnot(_)).

avaltesp(Area,Ano,[X,Y],K,[ ],[ ],[ ],[ ]).

avaltesp(Area,Ano,[X,Y],K,[T0|Tailt0],[T1|Tailt1],[Rant|Tant],[Rat|Tat]):-
  Delta is Rat - Rant,
  Deltabs is abs(Delta),
  ifthenelse(
    (
      notespera([X,Y],T0,K,Rat,Rant,Deltabs),
      notespera([X,Y],T1,K,Rat,Rant,Deltabs)
    ),
    ( % then
      retract(contnot(Conta0)),
      Conta is Conta0 + 1,
      assert(contnot(Conta))
    )
  ,
  ( % else
    avaltesp(Area,Ano,[X,Y],K,Tailt0,Tailt1,Tant,Tat)
  )
).

```

O predicado inicia sua inferência verificando a existência de célula do talhão a ser examinada. Se houver uma célula para ser examinada, o processo recupera os valores de resposta espectral de uma dessas células, e em seguida verifica as seguintes características:

1. se a célula possui algum valor de resposta espectral que foi substituído por ruído,
2. se os valores são resultantes de áreas de transição entre unidades de área,
3. se os valores são de uma célula de unidade vizinha mapeada em posição errada.

Caso a célula se enquadre em um dos casos apresentados, os valores de resposta espectral são descartados da análise. Do contrário, verifica-se o número de células cuja variação de resposta não esteja de acordo com as tendências previstas em caso de colheita.

Se o número de células for maior que 10% do total de células da unidade de área, então a investigação da unidade é encerrada sem atualizar o talhão, que deve ser encaminhado para outro predicado, continuando a busca por uma solução.

Caso contrário, compara-se a variação de resposta espectral às tendências esperadas para o corte raso executado. Se a variação estiver de acordo com a tendência prevista, retorna-se ao início do processo de inferência em busca de nova célula a ser investigada.

Não se evidenciando esse processo, a variação é comparada à tendência prevista para o reflorestamento jovem, sendo que nos casos em que a hipótese confirmar-se, isto é, variação de resposta de acordo com a tendência, o processo realiza nova busca por célula que ainda não tenha sido investigada, reiniciando o processo de investigação de uma célula.

Se a última comparação mostrar que a variação também não corresponde a essa segunda tendência, adiciona-se 1 (um) ao contador de erros ou de variações discordantes, e o processo é reiniciado para análise de nova célula. Se o processo de inferência investigar todas as células e o número de células cujas variações de resposta não esteja de acordo com ambas as tendências, corte raso e reflorestamento jovem, for menor que 10% das células da

unidade de área, o predicado decide que o talhão foi colhido e atualiza a informação da unidade de área. Essa estrutura está representada na figura 8.2.

Note-se que a investigação da possibilidade de um talhão adulto ter sido colhido utiliza o conhecimento sobre a tendência de variação de sua resposta espectral entre o estágio adulto e o de reflorestamento jovem, que ainda não havia sido colocada na base de conhecimento, apesar de ter sido modelada e apresentada no início deste capítulo. Assim, adicionaram-se as tendências relativas a esta mudança de estágio na base de conhecimento.

Além disso, percebe-se que a variação de conteúdo de umidade também é considerada na nova versão, sendo possível observá-la no programa, dentro do predicado processacorte(_,_,_,_,_,_), ao realizar a busca de tendências.

A lógica empregada para investigar essas probabilidades é similar à adotada para verificação de hipóteses a qual foi descrita para outros estágios fenológicos de um talhão. A diferença básica encontra-se no fato de que a verificação da possibilidade de corte raso deve permitir que se verifiquem as hipóteses de variação do estágio adulto para corte raso e reflorestamento jovem simultaneamente.

O primeiro conjunto de estágios, isto é, corte raso e reflorestamento jovem, é verificado na fase de investigação de estágios previstos para um talhão através do predicado processacorte(_,_,_,_,_,_).

As regras usadas são as mesmas do caso de outros estágios no predicado processacelulas(_,_,_,_,_,_,_,_,_,_,_), com a diferença de que os valores de resposta espectral de uma célula são avaliados pelo predicado avaltesp(_,_,_,_,_,_,_) no lugar de avaliatend(_,_,_,_,_,_). A formalização do predicado que examina um talhão que se encontrava na data mais antiga no estágio adulto através da linguagem PROLOG é apresentada a seguir.

Na figura seguinte, 8.2, está representada a estrutura lógica adotada nesta avaliação.

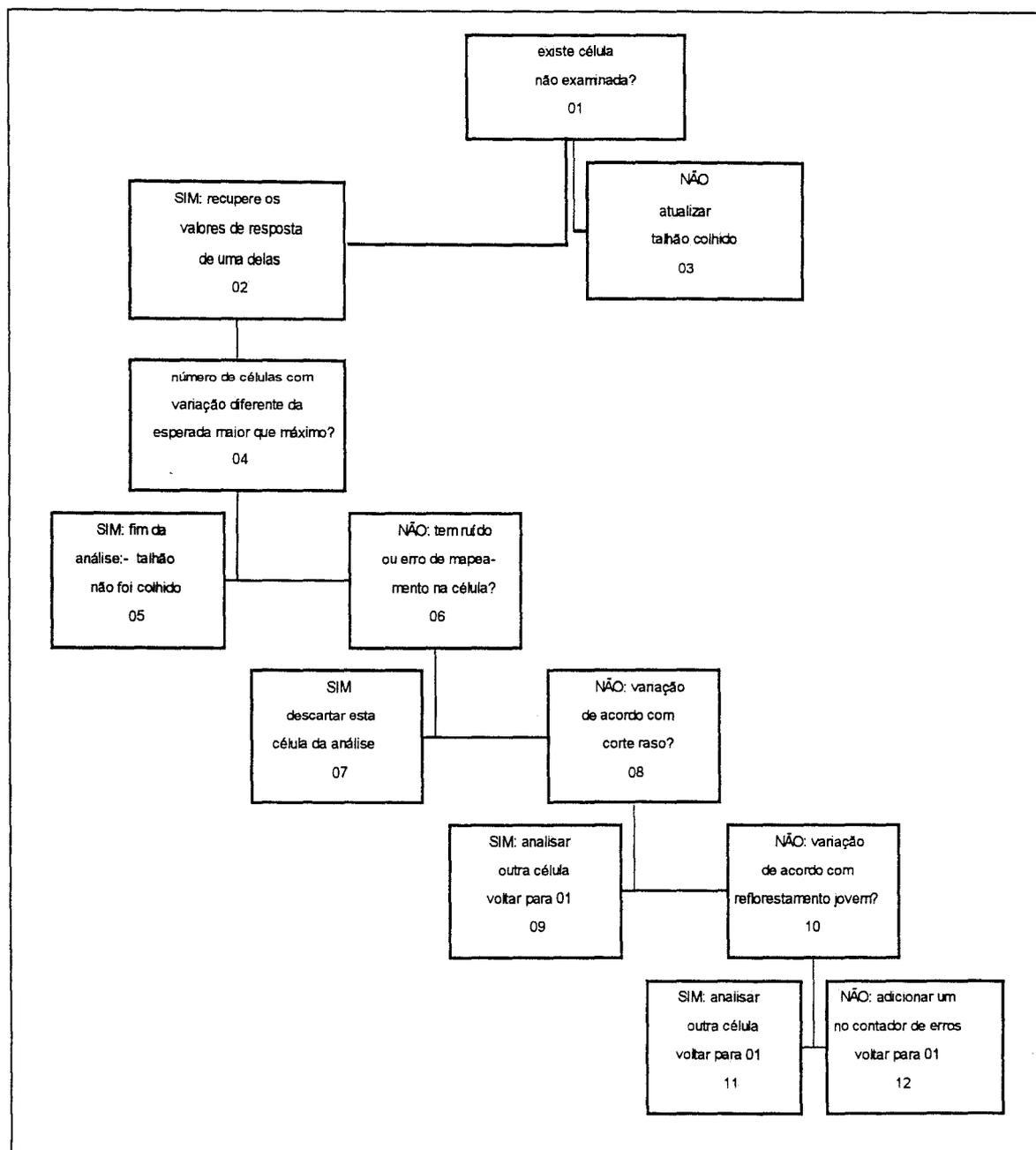


Figura 8.2: Representação gráfica do esquema lógico adotado para verificar se um talhão adulto foi colhido IMAI, N. N.

Note-se ainda que a verificação de variação da resposta espectral é feita para as tendências esperadas para as seguintes mudanças de estágio: estagio(ad.cr,Tende0) e estagio(ad.rj,Tende1), ou estagio0(ad,rj,Tende1), ou estagio1(ad,rj,Tende1) conforme a

variação de conteúdo de unidade ocorrida no talhão. Portanto, cada célula deve ter seus valores de resposta espectral sendo instanciados na regra notespera(_,_,_,_,_) para ambas as tendências previstas, na verificação realizada por avaltesp(_,_,_,_,_).

A última hipótese a ser examinada no caso do talhão adulto é de ter sido adiada a colheita e esse permanecer com as árvores no estágio de desenvolvimento adulto, ou seja pronto para o corte. A colheita de um talhão do reflorestamento de eucaliptos deste estudo de caso é realizada, usualmente, no sétimo ano do talhão.

A partir do sexto ano, um talhão encontra-se pronto para o corte raso, sendo que a idade em que vem sendo realizada a colheita tem variado entre seis e oito anos. No entanto, há casos em que um talhão é colhido com mais de oito anos.

O predicado responsável pela verificação da hipótese de um talhão no estágio adulto, na data de aquisição mais antiga, não ter sido colhido é permanece(_,_,_,_) o qual instancia a regra processacelulas(_,_,_,_ad,ad,_,_) com a lista de tendências Ltendenc. O código desse predicado é apresentado no quadro 8.6.

Então, se o predicado enquadrar a variação dos valores de resposta espectral da maioria das células do talhão de acordo com Ltendenc, a unidade de área terá sua informação de estágio atualizada, isto é, seu estágio para a data mais recente permanece sendo adulto.

Quadro 8.6: Verifica hipótese de um determinado talhão ter permanecido no estágio adulto.

```

permanece(Map,Area,Anterior,Ano,Maximo,Limiar):-
comportamento(Area,Anterior,Ano,Edf,Edfprev,_)
Edf = ad,
Edfprev = cr,
umidade(Indicador),      % ou seja, fase adulta
assert(contnot(0)),
case([
Indicador = igual -> Ltendenc = [lesseq,equal,lesseq],
Indicador = menor -> Ltendenc = [lesseq,equal,lesseq],
Indicador = maior -> Ltendenc = [lesseq,equal,less],
\
write(' indicador de umidade invalido')
)
]).
processacelulas(Map,Area,Anterior,Ano,ad,ad,Ltendenc,Maximo,Limiar).
    
```

No entanto, se ocorreu uma associação de corte raso e reflorestamento jovem ou de adulto com o corte raso na data mais antiga pode ocorrer, conseqüentemente, uma variação de resposta, que corresponde à tendência prevista para cada um dos estágios que compõem a associação, no estágio do ano seguinte, ou seja no reflorestamento jovem. Assim, a avaliação da variação de tendência de um talhão cujo estágio anterior é corte raso e, conseqüentemente, deve encontrar-se um ano depois no estágio reflorestamento jovem, deve prever as seguintes possibilidades:

Quadro 8.7: Previsão de estágio para alguns casos nos quais possa ocorrer combinação

estágio anterior	estágio atual
corte raso	reflorestamento jovem
adulto	reflorestamento jovem
reflorestamento jovem	desenvolvimento

com as combinações de adulto com corte raso para reflorestamento jovem e corte raso e reflorestamento jovem para reflorestamento jovem e desenvolvimento para cada talhão.

Caso um talhão esteja no estágio de corte raso no mapa a ser atualizado, então pode ser que ele tivesse sido colhido em um período de tempo mais longo, como, por exemplo, em duas fases. Assim sendo, parte do talhão poderia ter resposta espectral

característica da rebrota e a outra parte com as características de áreas colhidas, na aquisição mais antiga.

Este tipo de situação pode dificultar a atualização, pois a resposta espectral característica da rebrota não se modifica tanto, depois de um ano, como a resposta da área que tinha sido colhida mais recentemente.

Nesse caso, a tendência de variação dos valores de resposta espectral de uma parcela do talhão, que na data mais antiga de aquisição de dados refletiam uma rebrota significativa, foi incorporada na base de conhecimento. A investigação foi adicionada nos predicados analisunidades(, , , , , , , , , ,) e analisunic(, , , , , , , , , ,). Incorporou-se, nestes predicados, uma avaliação de tendência para variação de resposta espectral de células de talhões que, no mapa a ser atualizado, estavam no estágio de corte raso executado.

A avaliação que verifica esse tipo de situação utiliza as tendências do quadro 8.8.

Quadro 8.8: Tendência esperada para um talhão cujo estágio é corte raso executado no mapa mais antigo

variação de umidade	NDVI	TM - 4	TM - 5
igual	menor ou igual	igual	maior ou igual
menor	menor ou igual	igual	maior ou igual
maior	menor ou igual	igual	menor ou igual

Finalmente, o caso do corte raso parcial, mapeado como corte raso no mapa a ser atualizado, é tratado a partir de conhecimento que já foi adquirido.

O predicado deve investigar as células, selecionadas para análise mais detalhada, comparando a variação dos seus valores de resposta espectral com a tendência prevista para a mudança do estágio de desenvolvimento adulto para o estágio reflorestamento jovem, que foi incorporado nesta nova versão do protótipo.

Como já foi descrito anteriormente, adicionou-se na base de conhecimento as tendências de variação para as situações de mudança de conteúdo de umidade:

- maior: caso em que a segunda data de aquisição de imagens multiespectrais encontra-se em período mais úmido que a primeira;
- menor: quando a data mais antiga de aquisição de dados, ou seja, a data do mapa a ser atualizado encontra-se em período mais úmido que a data da mais recente aquisição de dados;
- igual: tendência prevista anteriormente, ou seja, o conteúdo de umidade da vegetação é aproximadamente igual nas duas datas de aquisição de imagens multiespectrais.

O código contendo os predicados que representam o conhecimento a respeito de tendências de variação incorporando:

- . diferentes graus de conteúdo de umidade,
- . substituição da tendência prevista anteriormente para a banda TM - 3 pela previsão para o índice de vegetação NDVI, discutido anteriormente,
- . e com a adição de uma previsão de variação entre os estágios de desenvolvimento florestal: adulto e reflorestamento jovem

é apresentado no quadro 8.9.

Quadro 8.9: Objetos representando os fatos estágio(..., para cada tipo de variação de umidade, em uma das possíveis mudanças de estágio, previsto pelo especialista

<pre> % Para casos de umidade, temperatura e pressão similares estagio0(rj,des,[lesseq,lesseq,greatereq]). estagio0(des,ad,[equal,equal,greatereq]). estagio0(ad,cr,[less,less,greater]). estagio0(ad,rj,[greatereq,greatereq,greatereq]). estagio0(cr,rj,[greater,greatereq,less]). % Para casos em que a umidade diminuiu, efeito na banda 5 estagio(rj,des,[less,lesseq,greater]). % a maior quantidade de folhas compensa a perda de umidade estagio(des,ad,[lesseq,equal,greater]). estagio(ad,cr,[less,less,greater]). estagio(ad,rj,[greatereq,greatereq,greater]). estagio(cr,rj,[greater,greatereq,less]). % Para casos em que a umidade aumentou, efeito na banda 5 estagio1(rj,des,[less,lesseq,lesseq]). estagio1(des,ad,[equal,equal,lesseq]). estagio1(ad,cr,[less,less,greater]). estagio1(ad,rj,[greatereq,greatereq,lesseq]). estagio1(cr,rj,[greater,greatereq,less]). </pre>

O predicado que busca a tendência prevista também sofreu algumas modificações, a fim de adequar-se à nova situação, já que a estação do ano na qual foi adquirida a imagem pode indicar a variação no grau de conteúdo de umidade da vegetação através da lógica do quadro 8.10, apresentada a seguir.

Quadro 8.10: Variação de conteúdo de umidade da vegetação a partir da data de aquisição de imagens de Sensoriamento Remoto

variação de conteúdo de umidade	característica da estação da data de aquisição	
	aquisição mais antiga	aquisição mais recente
igual	seco	seco
igual	chuvoso	chuvoso
maior	seco	chuvoso
menor	chuvoso	seco

No presente estudo de caso ocorreu uma incidência de chuvas excepcional no ano de 1987, de forma a acentuar a variação de umidade prevista. O quadro 8.11 demonstra a situação.

Quadro 8.11: Incidência de chuvas no município de Itararé - SP

mês	pluviometria (mm)
setembro de 1987	114,0
outubro de 1987	167,6
julho de 1988	11,4
agosto de 1988	0,0

A partir da variação de conteúdo de umidade juntamente com os estágios de desenvolvimento inicial e final obtém-se a lista de tendências desejada através da utilização do predicado **case([....])**, do ARITY/PROLOG, que escolhe o **estagio0(.,.,.)** para variação de umidade igual, o **estagio(.,.,.)** para a variação menor e o **estagio1(.,.,.)** para a variação maior.

8.4. Resultados finais do experimento

Os limites estabelecidos para a aplicação deste protótipo foram as seguintes:

- diferença máxima da média da unidade de área = 30;
- ruídos: igual a zero ou maior que 251 (duzentos e cinquenta e um);
- número máximo de células adjacentes consideradas como ruído = 20;
- erro máximo de variação dos valores de resposta espectral = 10;
- percentual de erros admitidos em um talhão = 10%.

Os resultados da aplicação da versão final do protótipo estão apresentados no quadro 8.12.

Quadro 8.12: Resultados da aplicação da versão final do protótipo desenvolvido

MAPA	unidade de área	Resultado do processo de atualização
ex31	un4	corte raso executado em 1988
	un9	reflorestamento jovem com início do estágio em 1988
	un13	adulto com início do estágio em 1988
	un15	área de preservação
ex32	un1	reflorestamento jovem com início do estágio em 1988
	un2	corte raso executado em 1988
	un6	reflorestamento jovem com início do estágio em 1988
ex33	un5	corte raso executado em 1988
	un7	corte raso executado em 1988
	un11	área de preservação
ex34	un8	corte raso executado em 1988
	un10	área de preservação
	un14	área de preservação
	un16	adulto com início do estágio em 1988
ex35	un3	não foi possível atualizar
	un12	não foi possível atualizar

As unidades de área un6 e un16 foram adicionadas à lista de unidades anteriormente atualizadas, pois a nova versão foi capaz de identificar o fenômeno e atualizar as informações desses talhões. No entanto, as unidades de área un3 e un12 permaneceram sem solução, solicitando de uma intervenção do especialista.

O pré-processamento realizado pela associação de duas bandas espectrais aumentou o nível de confiança do processo de tomada de decisão, contribuindo para melhorar a qualidade do resultado final.

Conclusões e recomendações finais

Projetos cartográficos são orientados para que as informações fornecidas sejam adequadas à finalidade do usuário. Por se tratar de uma importante característica, a precisão, de forma geral, deve ser considerada ao longo do período de uso do mapa. Como as feições da superfície terrestre são dinâmicas, atualizações são necessárias no decorrer do tempo para manter a qualidade das informações desse registro.

No entanto, os procedimentos de extração de informações não acompanham, nem o volume crescente de dados disponíveis, nem a grande necessidade de informações por parte dos usuários. Esse fato decorre tanto da baixa produtividade das interpretações visuais, com grande necessidade do envolvimento de especialistas "humanos", quanto das limitações dos algoritmos de classificação automática disponíveis nos dias de hoje.

Por outro lado, a atualização cartográfica caracteriza-se, quer pelo aproveitamento das informações do mapa a ser atualizado, quer pela detecção de alterações, através da qual evolui para a fase final com uma identificação dos fenômenos envolvidos. A definição de tal processo constitui, portanto, uma das questões mais importantes de projetos cartográficos. Com fundamentação nesses dados, propôs-se uma investigação da abordagem de atualização cartográfica através de um processo de extração de informações de imagens multiespectrais de duas datas, baseado em conhecimento de especialista em interpretação de imagens. Mais especificamente, em um sistema especialista cujo banco de conhecimento seja projetado a partir do conhecimento desse ser, sobre análise multitemporal. De forma que, no projeto cartográfico de um mapa atualizado segundo tal abordagem, o próprio

mapa possa funcionar tanto como uma fonte de informações antigas, quanto um receptáculo de outras mais recentes.

Assim, o mapa tratado segundo a presente proposta consistiu a base de dados espaciais e não espaciais. Esse mapa digital, cujo modelo é apresentado no item 5.3.2. e representado na fig. 5.14, foi usado, ao longo dos experimentos realizados, não apresentando inconsistências na recuperação de dados e informações e permitindo, dessa forma, a incorporação correta de outras informações geradas pela atualização. Além disso, dados e informações auxiliares foram acrescentados ou removidos, caracterizando uma certa facilidade em sua manutenção. Conseqüentemente, a base de dados espaciais e não espaciais cumpriu sua finalidade dentro do enfoque de uso analítico previsto inicialmente no projeto, tornando-se o mapa digital adequado para atualizações realizadas, segundo a abordagem proposta, como comprovam os resultados dos experimentos.

A abordagem de atualização cartográfica através da extração de informações por um sistema baseado em conhecimento de especialista em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto, por sua vez, foi avaliada por meio dos experimentos, os quais foram realizados em um protótipo projetado para atualizar informações de um reflorestamento de eucaliptos, cuja produção destina-se à indústria de papel e celulose.

A proposta investigada tem como fundamento a associação do homem com a máquina para a extração de informações, de maneira a aumentar a produtividade do especialista "humano" através de um processo apoiado em computador. Vale dizer que a abordagem é baseada no conhecimento do especialista em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto, com buscas heurísticas de solução as quais permitem uma diminuição gradativa da intervenção do homem após cada atualização.

Assim, a questão básica colocada na presente investigação refere-se às reais possibilidades de representar o conhecimento daqueles especialistas "humanos" em

Sensoriamento Remoto, de maneira que a grande diversidade de informações processadas por tais intérpretes, também possa ser aproveitada por um sistema especialista em atualização de informações cartográficas.

O protótipo construído para testar e avaliar as questões levantadas foi programado por meio da linguagem ARITY/PROLOG, a qual demonstrou possuir a versatilidade necessária para investigação ao permitir que modificações fossem implementadas com facilidade. A principal alteração realizada ao longo da prototipagem foi realizada na fase de teste usando dados e informações reais, conforme pode ser verificado no capítulo 8 item 8.3.

A avaliação, propriamente dita, da abordagem foi dividida em três fases.

Na primeira, a ênfase foi dirigida para investigar a possibilidade de codificar, na forma de regras e predicados, os critérios usualmente aplicados pelos especialistas em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto para detectar e eliminar dados indesejáveis fornecidos por essa fonte. Entretanto, o que se verificou é que o banco de conhecimento constituído realizou a tarefa de maneira satisfatória, não somente no primeiro experimento, mas em todos como pode ser comprovado principalmente pelos resultados apresentados nos itens 6.5 e 7.2. No experimento final, essa comprovação foi feita em tempo de execução, ou seja, ao longo do processo de análise dos segmentos de cena TM-LANDSAT. Os resultados não foram anotados devido ao grande número de pixels que geralmente são detectados e eliminados nos casos reais.

Na segunda, o conhecimento adquirido e representado refere-se àquele usado em interpretação visual de imagens multitemporais para atualização de informações cartográficas. Nesse caso, a simulação desenvolvida possibilitou a prototipagem de um banco de conhecimento que foi sendo testado ao longo do processo. Os resultados finais do

segundo experimento demonstram que as regras e predicados, as quais constituem o banco de conhecimento, são pertinentes ao campo de análise.

Finalmente, a terceira e última foi realizada sobre dados e informações reais da área de estudo. A aplicação da primeira versão do protótipo é relatada no capítulo 8 itens 8.1. e 8.2. Os erros de codificação presentes até aquele momento impediram a obtenção de resultados, sendo que alguns deles relacionavam-se com a detecção de erros de mapeamento, interferência de transições entre unidades de área ou com os ruídos.

Entretanto, a maior dificuldade para obter os resultados era o denso volume de dados a serem tratados, exigindo muita memória de acesso aleatório para armazenamento, além de busca e processamento de um número ainda maior de elementos.

A eliminação dos erros de codificação juntamente com a divisão do experimento em sub-experimentos permitiram a obtenção dos resultados apresentados no quadro 8.2. Note-se que quatro unidades de área deixaram de ser atualizadas, sendo que duas delas são vizinhas entre si e têm como causa principal a falta de precisão de suas coordenadas, a qual é explicada pelo fato de terem sido delimitadas manualmente sobre as imagens de Sensoriamento Remoto, por inspeção visual, juntamente com o baixo contraste apresentado.

As outras duas unidades de área não foram atualizadas, pois a primeira versão do protótipo carecia de conhecimento adequado para tratar de talhões adultos que não são colhidos apesar de ultrapassarem a idade prevista e daqueles colhidos logo após a última atualização, quando atingem o estágio reflorestamento jovem na atualização seguinte. Esse conhecimento, bem como outros, prevendo combinações de estágios de desenvolvimento que possam ocorrer devido a uma colheita mais demorada, foram adicionados ao banco de conhecimento da segunda versão do protótipo.

Acrescentou-se, também, conhecimento sobre o efeito da diferença de umidade entre as aquisições de dados por Sensoriamento Remoto. Finalmente, foram alteradas as imagens usadas na extração de informações pela troca de uma banda pura, TM-3, mais susceptível à descalibração dos sistema TM-LANDSAT por uma outra obtida pela combinação da TM-3 e TM-4 através do índice de vegetação NDVI.

Os resultados da aplicação da segunda versão do protótipo, o qual incorpora as modificações relacionadas, foi capaz de atualizar 10 (dez) dos 12 (doze) talhões do mapa da área de estudo, conforme quadro 8.3 demonstrando a importância do conhecimento adicionado e a capacidade do sistema de permitir alterações do banco de conhecimento e incorporação de outros que possam ser úteis.

Os resultados apresentados no item 8.4 demonstram que o conhecimento de um especialista "humano" em interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto codificado na forma de regras e predicados, constituindo um banco de conhecimento, é capaz de realizar uma atualização de informações cartográficas.

Assim, os experimentos realizados, comprovam a validade da hipótese de que a associação de um especialista "humano" em interpretação de imagens com um sistema especialista em atualização cartográfica baseado em conhecimento diminui a necessidade de intervenção daquele, ou seja aumenta sua capacidade de produção. Essa constatação é fundamentada no fato, demonstrado pelos experimentos, de que o processo de identificação de fenômenos de alteração da superfície podem ser modelados e codificados para criar um programa inteligente, capaz de buscar informações em uma mapa digital, analisar variações entre imagens de datas diferentes e aproveitar informações adicionais sobre a realidade física do contexto dos fenômenos de alteração analisados, para atualizar as informações deste mapa digital.

Apesar de não terem sido aplicadas muitas técnicas de pré-processamento, foi possível perceber que a introdução de algum tratamento dos dados de Sensoriamento Remoto, antes da análise, pode melhorar a qualidade dos resultados do processo de atualização. Esse fato pode ser comprovado principalmente pela alteração dos dados de entrada. A troca da banda “pura” TM-3 pela imagem resultante da combinação das bandas TM-3 E TM-4, através do índice de vegetação NDVI, conforme relatado no item 8.3 e produtos mostrados na figura 8.1: a e b, permitiu que a tomada de decisão fosse baseada em parâmetros mais seguros por diminuir o efeito da descalibração do sistema sensor TM-LANDSAT.

As dificuldades para implementar o processo de atualização em uma pequena área teste são contornáveis, ainda que seja necessário dividir a área de estudo em cinco sub experimentos devido às limitações do protótipo criado para esse fim. Pode-se afirmar que se trata de um reflexo dos poucos recursos que estavam disponíveis para a realização do trabalho.

Se as limitações decorrem da falta de eficiência tanto do *hardware* quanto *software* empregados, é possível diminuí-los através da utilização de ferramentas mais adequadas, as quais teriam uma estrutura de dados que contemplasse o processamento de dados e atributos simbólicos de forma a permitir uma recuperação rápida de dados e informações, a um sistema de atualização.

O protótipo foi testado para um caso específico. Além de possuir características de evolução muito bem conhecidas, tem também a posição das unidades de área fixadas, ou seja, possui uma descrição detalhada do cenário. Naturalmente, a criação de um sistema de atualização para culturas, que não tenham essa característica, necessitará de modelagem de conhecimento próprio para descrever o cenário dos eventos de interesse.

Essa é uma outra investigação, na qual podem estar envolvidas as técnicas de detecção de bordas e segmentação, de esqueletonização, de casamento (“matching”) de feições, associados à conhecimento de baixo nível (visão).

O aprimoramento desta proposta também pode ser obtido pela incorporação da análise de outros atributos que não foram implementados. A textura é um atributo que vem sendo extraído com algum sucesso e tem seu lugar cativo nas chaves de interpretação adotados nas aplicações de Sensoriamento Remoto em floresta.

Além disso, técnicas eficientes que forneçam indicadores de formas de feições podem auxiliar a identificação do fenômeno. É o caso de medidas que possam associar feições lineares (unidimensionais) detectadas em uma imagem, com objetos naturais (rede de drenagem, formações rochosas), ou com objetos produzidos pelo homem (rede viária, carreadores, entre outros).

O sucesso da abordagem do presente trabalho reside na modelagem tanto da realidade mapeada, quanto do conhecimento do especialista. Ou seja, o maior limite de sua implementação está na capacidade de representar o conhecimento do homem sobre a realidade, de forma estruturada, concisa e livre de erros. A maior fonte de erros provém do processo de aquisição de conhecimento, devido à dificuldade de se formalizarem esquemas lógicos que representem, adequadamente, um processo que, diversas vezes, é carregado de subjetividade.

Defronta-se com a mesma dificuldade no processo de modelamento da realidade a ser mapeada, pois muitas relações entre objetos e entre relações de objetos são utilizadas pelo usuário sem a necessidade de explicitar o raciocínio lógico utilizado.

Portanto, permanece forte o desafio para investigações tanto no campo da tecnologia de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital, como também nas áreas relacionadas com a aquisição e representação do conhecimento, seja na visão, considerando

os processos em baixo nível de conhecimento, seja na análise, com técnicas e conhecimento de alto nível dos especialistas.

Referências Bibliográficas

01. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of remote sensing**. Falls Church: ASP, 1975.
02. ANDERSON, et. al. A Land Use and Land Cover Classification System for use with Remote Sensor Data. **Geological Survey Prof. Paper** 964, 1976.
03. ARGIALAS, Demetre P. Computational image interpretation models: an overview and perspective. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v.56, n.6, p.871-86, jun. 1990.
04. ARITY CORPORATION. **The arity/prolog language reference manual**. Concord: Arity Corporation, 1988. 320p.
05. BOARD, C. Cartographic communication. **Cartographica**, Ontario, v.18, n.2, p.42-78, 1981.
06. _____. Higher order map-using tasks: geographical lessons in danger of being forgotten. **Cartographica**, Ontario, v.21, n.31, p.85-97, 1984.
07. _____. Map reading tasks appropriate in experimental studies in cartographic communication. **The Canadian Cartographer**, Ontario, v.15, n.1, p.1-12, 1978.
08. _____. **Os mapas como modelos: modelos físicos e de informação em geografia**. Rio de Janeiro: LTC, 1975. p.139-84.
09. BOLSTAD, Paul V. Rule-based classification models: flexible integration of satellite imagery and thematic spatial data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v.58, n.7, p.965-71, jul. 1992.
10. BOMMEL, P.V. et al. Semantics and verification of object-role models. **Information Systems**, New York, v.16, n.5, p.471-95, 1991.
11. BRATKO, Ivan **Prolog programming for artificial intelligence**. 2.ed. Wokingham: Addison-Wesley, 1990. 597p.
12. CASSETARI, S. et al. Cartography and geographical information systems. **The Cartographic Journal**, Sheffield, v.29, n.1, p.51-4, jun. 1992.
13. CLEYNENBREUGEL, J. Van et al. Knowledge-based improvement of automatic image interpretation for restrict scenes: two case studies. **Image and Vision Computing**, Oxford, v.6, n.4, p.238-46, nov. 1988.

14. CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
15. ESTES, J. et al. Applications of artificial intelligence techniques to remote sensing. **The Professional Geographer**, Washington, v.38, n.2, p.133-41, may 1986.
16. FIORELLA, M., RIPPLE, W. Determining successional stage of temperate coniferous forests with Landsat satellite data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v.59, n.2, p.239-46, feb. 1993.
17. GAHEGAN, M.N., ROBERTS, S.A. An intelligent, object-oriented geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v.2, n.2, p.101-10, 1988.
18. GOLDBERG, M. et al. A hierarchical expert system for updating forestry maps with landsat data. **Proceedings of IEEE**, New York, v.73, n.6, p.1054-1063, jun. 1985
19. _____. Monitoring and change detection with landsat imagery. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION, 1982, Munich. **Anais...** Munich: [S.n.], 1982. p.523-6.
20. GOODENOUGH, D.G. et al. An expert system for remote sensing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.25, n.3, p. 349-359, may 1987.
21. HARMON, P., KING, D. **Sistemas especialistas**. Rio de Janeiro: Campus, 1988.
22. _____ et al. **Expert systems tools and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1988.
23. HEAD, C. Grant. The map as natural language: a paradigm for understandig. **Cartographica**, Ontario, v.21, n.1, p.1-32, 1984.
24. JENSEN, L.M. Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in landsat-TM imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.56, n.6, p.899-904, 1990.
25. KEATES, J.S. **Understanding maps**. London: Longman, 1982.
26. KOLÁČNY, A. Cartographic information - a fundamental term in modern cartography. **Cartographic Journal**, London, v.6, p.47-49, 1969.
27. KONTOES, C. et al. An experimental system for the integration of GIS data in knowledge-based image analysis for remote sensing of agriculture. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v.7, n.3, p.247-62, 1993.
28. KUMAR, R. **Radiation from plants - reflection and emission: a review**. Lafayette: Purdue University, 1972. 88p. (AA & ES 72-2-2)
29. LAMM-WARBURG, C. Estratégias para a avaliação e planejamento do tratamento das deficiências da percepção. In: O'SULLIVAN, S.B., SCHMITZ, T.J. **Fisioterapia: avaliação e tratamento**. 2.ed. São Paulo: Manole, 1993. p.111.

30. LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 1987.
31. MANSON, D.C. et al. A knowledge-based segmentation of remotely sensed images. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MAPPING FROM MODERN IMAGERY**, 4., 1986, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: ISPR, 1986. p.501-10.
32. MCKEOWN JR., D.M., DENLINGER, J. Map-guided feature extraction from aerial imagery. In: **IEEE WORKSHOP ON COMPUTER VISION**, 1984, Annapolis. **Anais...** Annapolis: IEEE, 1984.
33. _____ et al. Rule-based interpretation of aerial imagery. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, New York, v.7, n.5, p.570-85, 1985.
34. MIDDELKOOP, H. et al. Knowledge engineering for image interpretation and classification: a trial run. **ITC Journal**, Enshede, n.1, p.27-36, 1989.
35. MILNE, P. et al. Geographical object-oriented databases: a case study. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v.7, n.1, p.39-55, 1993.
36. MOLENAAR, M. Status and problems of geographical information systems: the necessity of a geoinformation theory. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, n.46, p.85-103, 1991.
37. MORRISON, J. Towards a functional definition of the science of cartography. **The American Cartographer**, Falls Church, v.5, n.2, p.97-110, 1978.
38. MORTON, S.K., POPHAM, S.J. Algorithm design specification for interpreting segmented image data using schemas and support logic. **Image and Vision Computing**, Oxford, v.5, n.3, p.206-16, 1987.
39. MULDER, N. J. Decision making and classification. **Photogrammetria**, Amsterdam, n.40, p.95-116, 1985.
40. _____. What, where, when ..., why?: extracting information from remote sensing data. **ITC Journal**, Enshede, n.2, p.145-55, 1986.
41. NAGAO, M., MATSUYAMA, T. **A structural analysis of complex aerial photographs**. New York: Plenum, 1980. 199p.
42. NAZIF, A.M., LEVINE, M.D. Low level image segmentation: an expert system. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, New York, v.6, n.5, p.555-77, 1984.
43. NEWTON, W. et al. An approach to the automated identification of forests and forest change in remotely sensed images. In: **SIMPOSIUM IN SPATIAL INFORMATION FOR DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC AND COMPUTER VISION**, 3., 1994, Munich. **Anais...** Munich: ISPR, 1994. v.30, p.607-14.
44. NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308p.

45. NYERGES, Timothy L. Analytical map use. **Cartography and Geographic Information Systems**, Bethesda, v.18, n.1, p.11-22, 1991.
46. OLSON, Judy A coordinated approach to map communication improvement. **The American Cartographer**, Bethesda, v.3, n.2, p.151-9, 1976.
47. OOSTEROM, P. Van, BOS, J. Van Den. An object-oriented approach to the design of geographic information systems. **Computers & Graphics**, New York, v.13, n.4, p.409-18, 1989.
48. PETCHENIK, B.B. The nature of cartographic communication. **Cartographica**, Ontario, n.14, p.117-28, 1977.
49. PEUQUET, Donna J. A conceptual framework and comparison of spatial data models. **Cartographica**, Ontario, v.21, n.4, p.66-113, 1984.
50. PONZONI, F.J., DISPERATI, A.A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1995. 37p. (INPE - 5619 - PUD/065).
51. RICH, Elaine. **Inteligência artificial**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
52. RICHARDS, JOHN A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986.
53. ROBBI, C. Atualização cartográfica. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE CADASTRO TÉCNICO E PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 1., 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEC, 1990. p.65-73.
54. _____. Planejamento da atualização cartográfica: algumas questões. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE CADASTRO TÉCNICO E PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEC, 1991. p.8-16.
55. ROSENFELD, A. "Expert" vision systems: some issues. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, Orlando, n.34, p.99-117, 1986.
56. SALICHTCHEV, K.A. Cartographic communication: its place in the theory of science. **The Canadian Cartographer**, Ontario, v.15, n.2, p.93-9, 1978.
57. SCHOWENGERDT, Robert A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic Press, 1983.
58. SLATER, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Massachusetts: Addison Wesley, 1980. 575p.
59. SRINIVASAN, A., RICHARDS, J.A. Knowledge-based techniques for multi-source classification. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.11, n.3, p.505-25, 1990.
60. STONER, E.R. et al. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette: Purdue University, 1980. (Research Bulletin, 962)

61. STRUB, R.L., BLACK, F.W. **The mental status examination in neurology**. 2.ed. Philadelphia: FA Davis, 1985.
62. SWAIN, P.H., DAVIS, S.M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978.
63. TAILOR, A. et al. Knowledge-based interpretation of remotely sensed images. **Image and Vision Computing**, Oxford, v.4, n.2, p.67-83, may 1986.
64. VASILIEV, I. et al. What is a map? **The Cartographic Journal**, Sheffield, v.27, p.119-23, dec. 1990.
65. VISVALINGAM, M. Cartography, GIS and maps in perspective. **The Cartographic Journal**, Sheffield, v.26, p.26-32, jun. 1989.
66. WANG, F., NEWKIRK, R. Design and implementation of a knowledge based system for remotely sensed change detection. **Journal of Imaging Technology**, Springfield, v.13, n.4, p.116-22, 1987.
67. WILKINSON, G.G., MÉGIER, J. Evidential reasoning in a pixel classification hierarchy - a potential method for integrating image classifiers and expert system rules based on geographic context. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.11, n.10, p.1963-8, 1990.
68. WORBOYS, M.F. et al. Object-oriented data modelling for spatial databases. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v.4, n.4, p.369-83, 1990.

A digitalização deste documento foi possível graças ao investimento do Programa de Pós-graduação em Geografia Humana (PPGH-FFLCH-USP) e realizada com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Essa ação integra as atividades de comemoração dos 50 anos do PPGH no ano de 2021. Para mais informações sobre o PPGH e sua história, visite a página do programa: <http://ppgh.ffeilch.usp.br/>.

