5. Utilização da arquitetura proposta

"Um sutil pensamento errado pode dar lugar a uma indagação frutífera que revelará grandes verdades"
Isaac Asimov (1920-1992).

A arquitetura proposta foi utilizada na construção de um classificador para a área da Floresta Nacional do Tapajós, descrita em detalhes na seção seguinte.

Para essa implementação vale observar que: para $\top$ será utilizada a t-norma min; para $\perp$ será utilizada a t-conorma max; o operador de implicação $\triangledown$ utilizado é dado pelo operador min. Por questão de eficiência, as imagens trabalhadas são imagens com valores inteiros no conjunto {0,...,255} e não com valores reais no intervalo [0,1]. Os valores de m_{kj} são sempre unitários e portanto $g_{kj} = h_j$ para todos k e j. Como há uma única fonte de informação e cada regra refere-se sempre a apenas uma classe, o operador de agregação $\diamondsuit$ não se torna necessário.

5.1. A Floresta Nacional do Tapajós

A Floresta Nacional do Tapajós (Figura 5.1) está localizado geograficamente dentro de um retângulo imaginário de coordenadas, cujos vértices são: $02°43'27''$ S e $55°26'01''$ W e $04°07'39''$ S e $54°45'00''$ W, no estado brasileiro do Pará. Note-se a pequena cidade de Aveiro no interior da Floresta Nacional, a sudoeste da cidade de Santarém, também no estado do Pará. Aveiro é um município autônomo com 1714 habitantes (dados do Censo Demográfico Brasileiro de 1991), criado em 1961 e com uma área de 17157,9 km^2 (IBGE, 1995).

As imagens foram tomadas pelos sensores do satélite Landsat TM em 7 de agosto de 1995, através das bandas 3, 4, 5 e 7. Elas contém a cidade de Aveiro e uma extensa área que denota a presença humana na área. Está presente na imagem também uma pequena área na margem oposta do rio que não faz parte da floresta nacional. A Figura 5.2 é uma imagem em composição colorida RGB (banda 3 em B, banda 4 em G e banda 5 em R) processada da região.

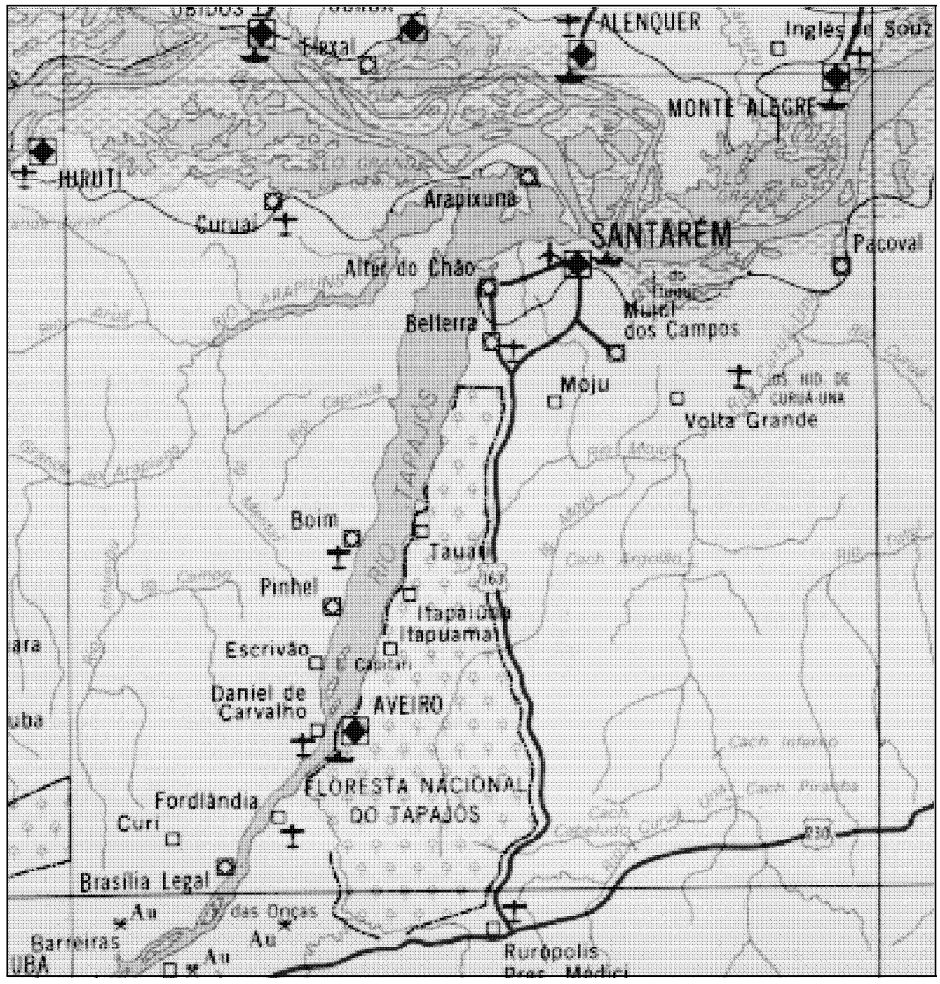

Fig. 5.1: Localização da Floresta Nacional do Tapajós no Pará (fonte: Projeto RADAMBRASIL, 1983).

Fig. 5.2: Composição colorida RGB (5-4-3) da imagem da Floresta Nacional do Tapajós sobre a cidade de Aveiro.

5.2. A Classificação Visual da Área

A área em questão foi classificada visualmente por Pedro Hernandez Filho da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE em setembro de 1997. Essa classificação será utilizada como referência ou mapa de referência para o sistema proposto. São oito as classes presentes nessa área. A nomenclatura dos tipos de vegetação seguiu a nomenclatura dada por IBGE (1992). Com referência a imagem da Figura 5.2, segue uma breve descrição de cada uma delas (essas descrições são as chaves de interpretação mencionadas na seção 2.4.1.):

- *Rio Tapajós*: atravessa a região e corta a imagem de norte a sul. É a área azul na Figura 5.2 com textura lisa.
- *Área Antropizada* (área que o homem ocupa ou ocupou recentemente): São as áreas mais claras nas margens do Rio que se extendem para o interior e algumas áreas maiores isoladas. Na Figura 5.2, são áreas em amarelo, rosa e branco.
- *Área Urbana da Cidade de Aveiro*: se encontra na margem direita ou margem leste do Rio, em forma aproximada de um triângulo perfurado. Na Figura 5.2, são áreas em amarelo, rosa e branco próximas ao Rio.
- *Vegetação Secundária*: é a área próxima às margens do Rio com pouca presença de drenagem. Sua maior área está nas proximidades da área antropizada. Na Figura 5.2, são áreas em verde com textura lisa.
- *Floresta Ombrófila Densa*: presente na área de maior presença de drenagem, esta área está mais distante do Rio e da cidade de Aveiro, na direção leste. Na Figura 5.2, são áreas em verde com textura rugosa.
- *Áreas de Contato: Floresta Ombrófila/Formações Pioneiras*: se encontra principalmente no interior do rio e em áreas próximas às margens, tanto à direita como à esquerda. Na Figura 5.2, são áreas em rosa e mistura de rosa e azul próximas às margens do Rio.
- *Floresta Aluvial*: são áreas particularmente verdes (na imagem composta em RGB) e estreitas nas proximidades das Áreas Antropizadas.
- *Área de mistura de Área Antropizada e Floresta Secundária*: são áreas presentes na margem esquerda do Rio. Não é possível distinguir com clareza uma classe da outra, tanto nas imagens em níveis de cinza quanto na composição. Na Figura 5.2, são áreas em amarelo, rosa e branco à esquerda do Rio.

A classificação visual pode ser observada na Figura 5.3. Note-se na Figura 5.4, as legendas correspondentes a classificação.

Fig. 5.3: Resultado da classificação visual.

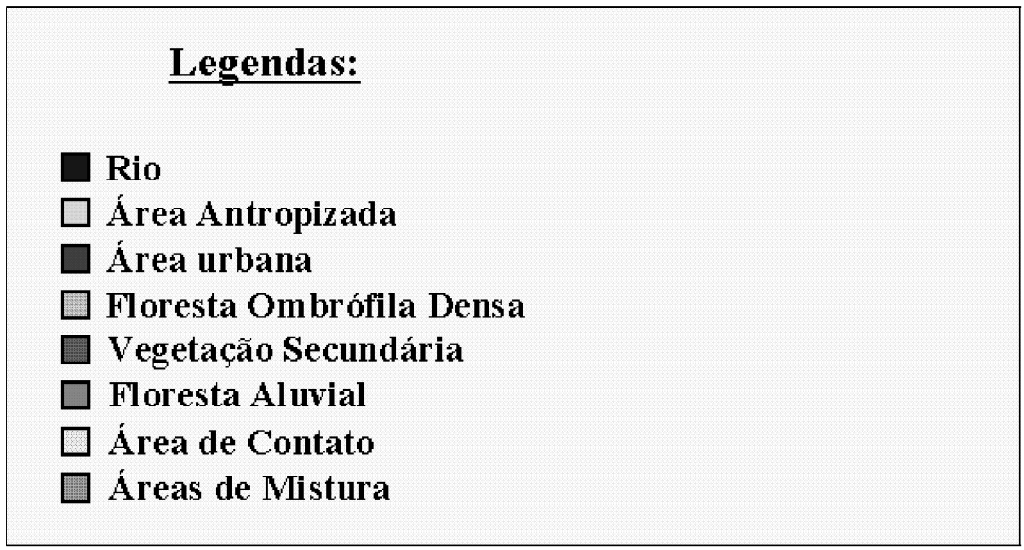

Fig. 5.4: Legenda da classificação visual da figura 5.3.

5.3. As Tabelas de Conhecimento

As regras para a classificação da área da Floresta Nacional do Tapajós foram obtidas a partir de informações e dados fornecidos pelo professor Pedro Hernandez Filho da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE. Essas regras estão resumidas na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - CONHECIMENTO DO ESPECIALISTA SOBRE UMA DETERMINADA CLASSE POR DADOS DE VEGETAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E DETECÇÃO.

Classes	Localização	Vegetação	Detecção	
			critérios	melhor forma
1. Rio Tapajós ou lâminas d'água	Corta a imagem de. Norte a Sul		Níveis de cinza escuros	Bandas 4 e 5
2. Área Antropizada	ambos os lados do Rio		Níveis de cinza escuros ou claros	Bandas 3 e 7 Banda 5
3. Área Urbana da Cidade de Aveiro	margem direita do Rio contida na Área Antrop.		Níveis de cinza médios	Bandas 3 e 7
4. Floresta Ombrófila Densa	lado direita longe do Rio	Floresta Ombrófila Densa	Níveis de cinza médios	Banda 5
5. Vegetação Secundária	ambos os lados do Rio	Vegetação Secundária	Níveis de cinza médios	Banda 5

(continua)

TABELA 5.1- Conclusão.

Classes	Localização	Vegetação	Detecção	
			critérios	melhor forma
6. Floresta Aluvial	áreas estreitas nas proximidades da Área Antropizada ambos os lados do Rio	Floresta Aluvial	verde bem definido em RGB ou níveis de cinza médio na Banda 5 e escuros na Banda 7	composição RGB(1) ou Bandas 5 e 7
7. Área de Contato: Floresta Ombrófila/ Formações Pioneiras	formações dentro do Rio e proximidades das margens	graminosas e florestas inundadas periodicamente	Níveis de cinza diferenciados dentro do Rio e às margens	Bandas 3, 4, 5 e 7
8. Área de Mistura	lado esquerdo do Rio	Vegetação Secundária		composição RGB(1) ou Bandas 3, 5 e 7

(1) A composição RGB é efetuada associando-se a banda 3 a B, a banda 4 a G e a banda 5 a R.

5.4. A Implementação das Regras

Nessa seção será dada uma explanação sobre cada regra e a forma de sua implementação valendo-se de operadores da Morfologia Matemática presentes na caixa de ferramentas MMach do Khoros.

Numa primeira fase da classificação, extrai-se os atributos (características presentes na imagem que podem se tornar referências para a utilização do conhecimento) que são relacionados às classes (conjunto de "pixels" que são admitidos pertencer a um mesmo grupo). Porém, podem ocorrer casos onde atributo e classe sejam únicos. Por exemplo, o Rio presente na imagem da Figura 5.2, é um atributo e pode ser usado como referência para encontrarmos uma classe que esteja próximo ou mesmo distante dele. Mas, o Rio também é uma classe presente na imagem. Nesse caso, Rio é um atributo e também uma classe.

É importante salientar que nessa fase de extração de atributos, as definições de níveis de cinza claro, médio e escuro presentes na Tabela 5.1 (pertinentes à radiometria da imagem) para alguns atributos, é resolvida manualmente, ou seja, buscando-se nas próprias bandas da imagem os valores correspondentes.

A Figura 5.5 mostra a implementação do classificador no ambiente Cantata do Khoros. Essa figura reflete a estrutura do conhecimento fornecido pelo especialista para a classificação da área. À esquerda, podem ser vistas as quatro bandas utilizadas: 3, 4, 5 e 7. Na seqüência, os extratores de atributos são rio, ocupação humana ou área antropizada, drenagem densa, margem direita do rio, a cidade de Aveiro, floresta aluvial, áreas de contato e áreas de mistura (área antropizada e vegetação secundária). A drenagem densa ainda é processada em conjunto com o rio e uma de suas margens gerando um marcador para uma segmentação e rotulação para gerar a classe Floresta Ombrófila Densa. A seguir as áreas classificadas são reunidas e visualizadas no final. Deve-se ressaltar que essa não necessariamente seja a única forma de se resolver o problema, mas dentro da ótica da Morfologia Matemática, acredita-se ser a mais eficiente encontrada.

O restante deste capítulo será dedicado a mostrar como as regras foram implementadas em termos dos operadores morfológicos para se constituirem no classificador observado na Figura 5.5.

5.4.1. Isolando Atributos da Imagem

Pelas descrições das classes dadas em 5.2 e pela Tabela 5.1, já fica evidente algumas das regras que serão utilizadas. Já se nota também alguns dos *atributos* que serão referências para a utilização do conhecimento, como o Rio e a Área

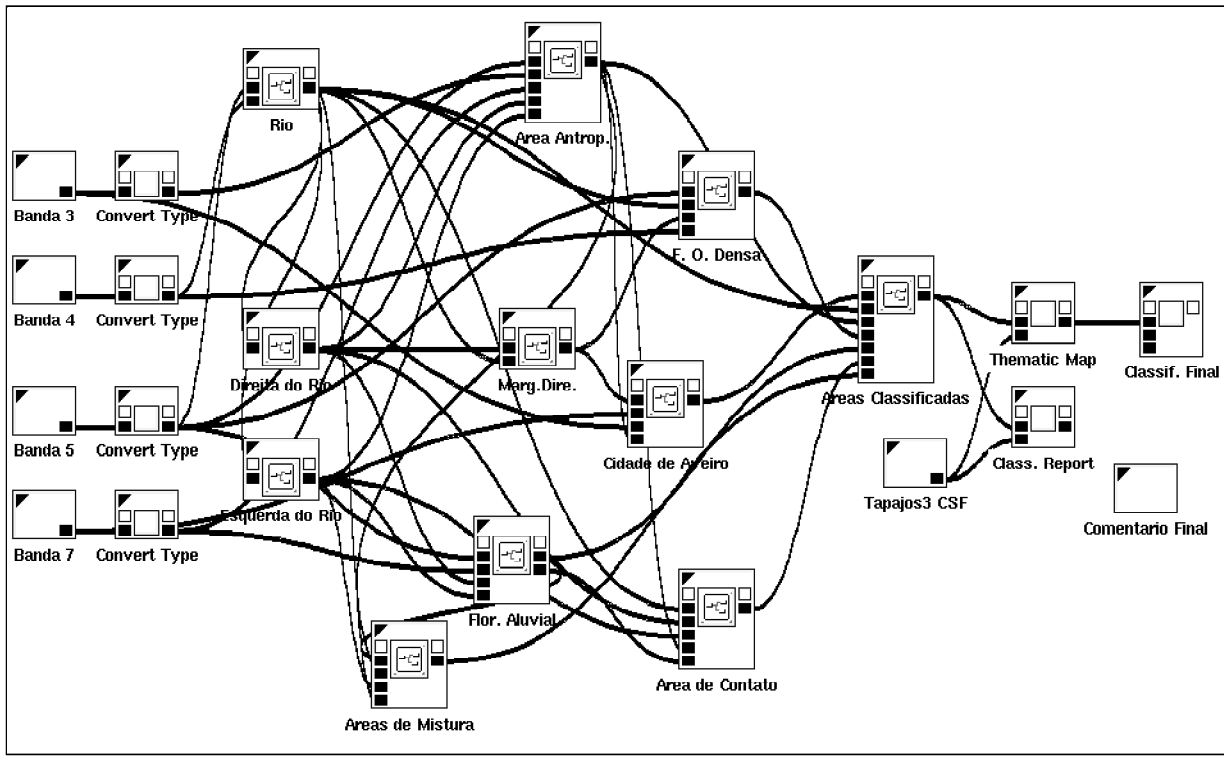

Fig. 5.5: "Workspace" que gera a classificação para uma imagem com quatro bandas.

Antropizada (que também são classes) e a drenagem densa (ou textura - que não se constitui como classe).

Três são os atributos principais presentes na imagem: o rio Tapajós, a Área Antropizada com suas estradas de ligação e caminhos ou pequenas estradas na mata (por vezes também denominada ocupação humana) e a drenagem densa (textura). Esses atributos são usados como referência para a extração de outros atributos. Pode-se pensar em dois atributos desse tipo que são a cidade de Aveiro e as margens do rio que serão úteis como referência. No caso, as margens do Rio são atributos que serão obtidos a partir do próprio Rio e a Cidade de Aveiro, a partir da Área Antropizada.

Antes de iniciar a discussão sobre as regras, cabe algumas importantes observações sobre os conjuntos nebulosos utilizados:

a) Para todo $c \in C$, o conjunto nebuloso $\widetilde{c_k}$ (por exemplo, $\widetilde{c_{rio}}$) será definido por $\mu_{\widetilde{c_k}} : C \longrightarrow \{0, 255\}$, onde $C = \{c_{rio}, c_{área_antropizada}, c_{área_urbana_da_cidade_de_Aveiro}, c_{floresta_ombrófila_densa}, c_{floresta_aluvial}, c_{áreas_de_contato}, c_{áereas_de_mistura}, c_{vegetação_secundária}\}$ tal que:

$$\mu_{\widetilde{c_k}}(c) = \begin{cases} 255, & \text{se } c = c_k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} .$$

b) Os conjuntos nebulosos $\widetilde{b_{XXX}}$ são definidos como $\mu_{\widetilde{b_{XXX}}} : Y \longrightarrow \{0, 255\}$, onde $Y = \{sim, não\}$, tais que:

$$\mu_{\widetilde{b_{XXX}}}(y) = \begin{cases} 255, & \text{se } y = sim \\ 0, & \text{se } y = não \end{cases} .$$

c) Os conjuntos nebulosos $\widetilde{componente_conexa_i}$ onde $i \in Z$ são definidos como $\mu_{\widetilde{componente_conexa_i}} : E \longrightarrow \{0, 255\}$, tal que:

$$\mu_{\widetilde{componente_conexa_i}}(x) = \begin{cases} 255, & \text{se } x \in \gamma_g(f) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} ,$$

onde γ é o operador abertura por reconstrução que reconstrói uma componente conexa da imagem f dado um marcador definido pela imagem g.

d) Os conjuntos nebulosos que possuem referência à distância de uma região (por exemplo: $\widetilde{perto_do_rio}$, $\widetilde{longe_da_área_antropizada}$, $\widetilde{na_região_da_cidade_de_Aveiro}$, etc) são definidos por $\mu_{\widetilde{distância}} : E \longrightarrow \{0, 255\}$, tal que:

$$\mu_{\widetilde{distância}}(x) = \begin{cases} 255, & \text{se } x \in \text{limiarização}_{[a,b]}\Psi_d(f)(x) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} ,$$