6. Comparação com um mapa de referência

"Nós cientistas precisamos especialmente da imaginação.
Não bastam a matemática e a lógica: necessitamos
algo de estética e poesia"
Maria Mitchell (1818-1889).

A aplicação da abordagem proposta neste trabalho (vide Capítulo 4) com o conhecimento modelado pelas regras da seção 5.4 deram como resultado a classificação final ilustrada na Figura 6.1 e, na Figura 6.2, estão as legendas da classificação. Pode-se verificar que as cores utilizadas na classificação visual são as mesmas utilizadas aqui para melhor visualização comparativa.

A classificação visual da Figura 5.3, conforme descrita na seção 5.2, é o mapa de referência utilizado para efeito de comparação. Deve-se salientar que a imagem de referência não serviu de base para a classificação apresentada na Figura 5.3. Na figura 6.3 pode-se observar as diferenças espaciais da classificação. Pode-se notar que boa parte dos erros ocorre nas fronteiras entre as classes. Uma provável causa para os erros de menor magnitude é a digitalização manual da imagem de referência. A digitalização manual é imprecisa e pode induzir aos erros nas fronteiras entre as classes. Erros pontuais são devidos ao fato que o fotointérprete mapeia áreas classificadas e não consegue observar a imagem pontualmente. Os erros de maior magnitude induzem a conclusão de que possivelmente, há a necessidade de regras mais específicas para resolver esse problema. No entanto, dependendo da(s) classes(s) de interesse, esse resultado já pode ser considerado plenamente satisfatório.

Segundo Hernandez Filho (1997), a classificação aqui obtida pelo sistema especialista pôde ser considerada bastante satisfatória, visualmente falando. No entanto, existem também as formas numéricas de comparação entre classificações e elas se constituem num importante instrumento de avaliação. Por esse motivo, a análise de resultados será realizada também sob a ótica de coeficientes de comparação existentes na literatura e apresentados a seguir.

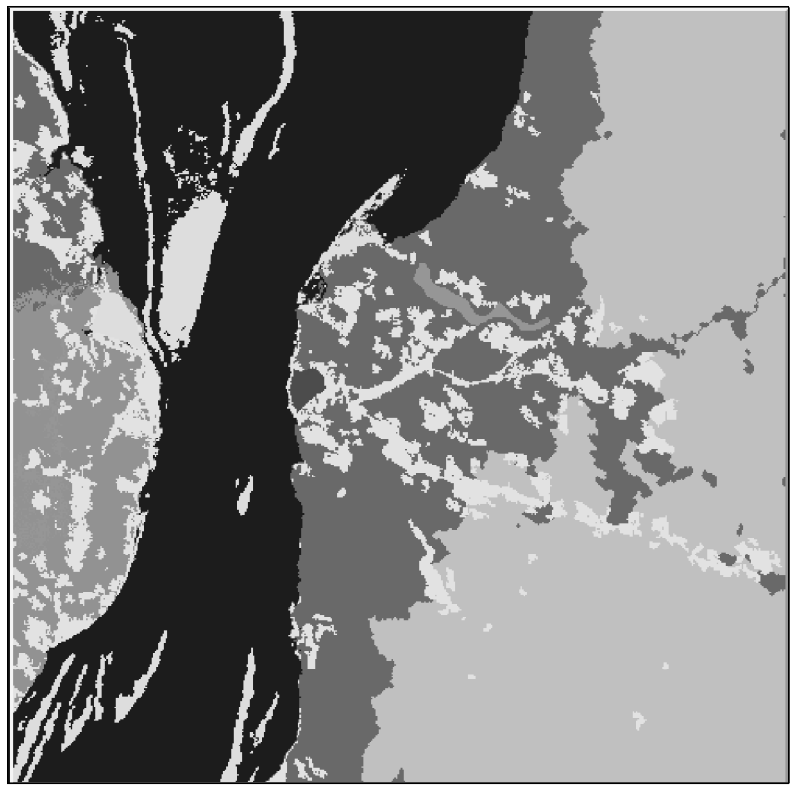

Fig. 6.1: Resultado final da classificação.

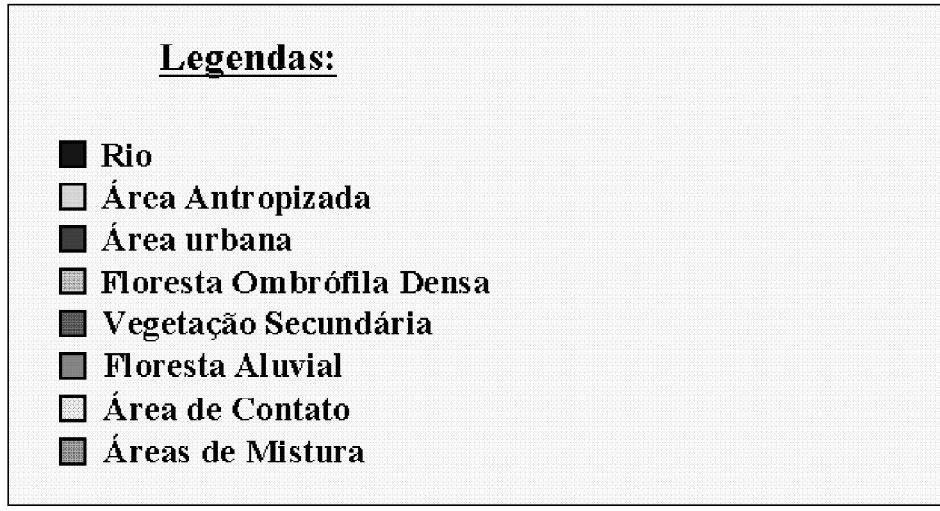

Fig. 6.2: Legendas da classificação da figura 6.1.

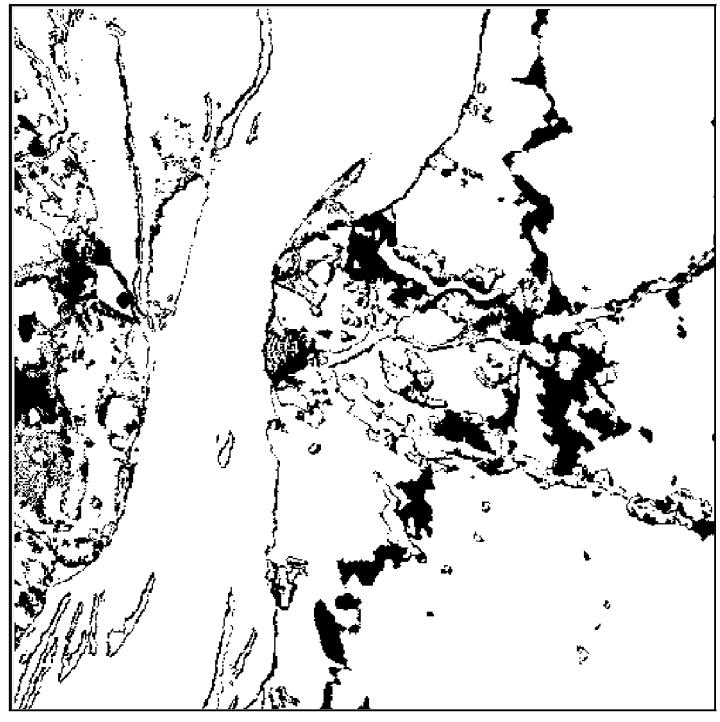

Fig. 6.3: Localizacao espacial dos erros de classificação.

6.1. Os coeficientes de comparação

"A boa fotointerpretação de uma imagem depende da experiência e da habilidade individual do fotointérprete" (Congalton e Mead, 1983). Como o intérprete atua sobre aspectos qualitativos da imagem, é inevitável que a subjetividade do fotointérprete atue sobre o seu julgamento. Também, por razões óbvias, o julgamento se dá em regiões da imagem e não pontualmente. Por essas razões, sempre existirão diferenças na fotointerpretação de uma mesma cena por dois fotointérpretes diferentes. Para medir estatisticamente essas diferenças ou verificar a consistência de um mesmo fotointérprete ao longo do tempo, surgiram índices ou coeficientes (Congalton e Mead, 1983).

Neste caso especificamente, para verificar numericamente as diferenças da classificação de um fotointérprete e do método apresentado, usaremos três desses coeficientes ou índices: Exatidão Global, Kappa e Tau (Brites et al., 1996). Todos são baseados na matriz de erros para cada classificação, tomando como referência a interpretação visual.

6.1.1. O Coeficiente de Exatidão Global

O Coeficiente de Exatidão Global leva em consideração a relação do número total de pontos coincidentes pelas duas classificações pelo número total de pontos da imagem. Seria a relação mais intuitiva de concordância.

Sejam, M o número de classes presentes na imagem, N o número total de pontos da imagem e n_{ij} os elementos da matriz de erros das duas classificações $(0 < i, j \leq M)$. O Coeficiente de Exatidão Global G é dado por:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}}{N},$$

com variância σ_G^2 dada por:

$$\sigma_G^2 = \frac{G(1-G)}{N}.$$

A crítica mais severa a esse coeficiente é o seu "otimismo". Por não observar as relações entre as classes, mesmo com acêrto muito pequeno em classes com um número pequeno de pontos, o coeficiente pode refletir valores acima do real. Isso se deve ao fato de analisar as informações apenas da diagonal principal da matriz de erros.

6.1.2. O Coeficiente Kappa

O coeficiente Kappa K procura ponderar as concordâncias, levando em consideração as classes presentes na imagem. É dado por:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}}{N}; \quad P_c = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{i+} n_{+i}}{N^2};$$

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c},$$

onde n_{i+} é o total da linha i da matriz de erros e n_{+i} é o total da coluna i da mesma matriz. A variância σ_K^2 dada por:

$$\theta_3 = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}(n_{i+} + n_{+i})}{N^2}; \quad \theta_4 = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}(n_{i+} + n_{+i})^2}{N^3}$$

$$\sigma_G^2 = \frac{P_0(1 - P_0)}{N(1 - P_c)^2} + \frac{2(1 - P_0) + 2P_0P_c - \theta_3}{N(1 - P_c)^3} + \frac{(1 - P_0)^2\theta_4 - 4P_c^2}{N(1 - P_c)^4}.$$

Para efeito de cálculos, pode ser utilizada uma forma aproximada pela primeira parcela apenas. Mas, nos cálculos realizados nesse trabalho, foi utilizado a forma completa da variância. A crítica a esse coeficiente é o seu "pessimismo", que se deve ao fato de incorporar a informação da diagonal principal além do restante da matriz.

6.1.3. O Coeficiente Tau

O coeficiente Kappa T foi o último dos três a aparecer (Ma e Redmond, 1995) e foi uma tentativa de melhorar o teste Kappa. É dado por:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}}{N};$$

$$T = \frac{P_0 - 1/M}{1 - 1/M},$$

e variância σ_T^2 dada por:

$$\sigma_T^2 = \frac{P_0(1 - P_0)}{N(1 - 1/M)^2}.$$

Em análise comparativa, Brites et al. (1996) conclui que esse deva ser o índice que melhor reflete a exatidão dos processos de classificação.

6.2. Resultados

A matriz de erros é utilizada para verificar as atribuições de classes entre duas classificações, tomando-se uma delas como referência. A matriz de erros em termos absolutos entre as imagens classificada e de referência é apresentada na Tabela 6.1.

TABELA 6.1 - MATRIZ DE ERROS DA IMAGEM CLASSIFICADA EM RELAÇÃO À IMAGEM DE REFERÊNCIA.

Imagem	Classif.							
Referência	Á. Antr.	Fl. Om.	Vg. Sec.	Rio	C. Av.	Fl. Al.	Á. Cont.	Á. Mist
Á. Ant.	14499	1532	5673	201	201	200	99	2332
Fl. Om	367	73884	5170	0	0	0	0	0
Vg. Sec.	2326	4294	35396	16	38	55	17	0
Rio	547	0	1054	75035	0	3	2797	150
C. Av.	383	0	71	1	395	0	0	0
Fl. Al.	385	91	1584	0	0	1776	0	1153
Á. Cont.	120	0	331	1194	0	0	6091	167
Á. Mist	2070	0	6	75	0	247	19	8156

Os coeficientes de exatidão para cada classe isoladamente, em relação a imagem de referência são dados na Tabela 6.2.

TABELA 6.2 - COEFICIENTE DE EXATIDÃO PARA AS CLASSES NA IMAGEM CLASSIFICADA.

Classe	Exatidão(%)
Área Antropizada	59.0928
Flor. Omb. Densa	93.0283
Veg. Secundária	83.9922
Rio	94.2817
Cidade de Aveiro	46.4706
Flor. Aluvial	35.5983
Ár. de Contato	77.0720
Áreas de Mistura	77.1399

Segundo Brites et al. (1996), e como já mencionado, esses três coeficientes guardam entre si uma relação. Para efeito de comparação, utilizou-se os três coeficientes e os resultados são mostrados na Tabela 6.3.

TABELA 6.3 - VALORES PERCENTUAIS DOS COEFICIENTES E RESPECTIVAS VARIÂNCIAS POR COEFICIENTE.

Coeficientes	Valores (%)	Variância
Kappa	81.6150	$7.8613.10^{-7}$
Tau	84.1061	$6.2553.10^{-7}$
Exat. Global	86.0928	$4.7892.10^{-7}$

Observa-se a existência de uma diferença numérica entre os coeficientes, mas de uma maneira geral, pode-se concluir que a classificação alcançou padrões bastante aceitáveis, na casa dos 80%. Como em Brites et al. (1996) conclui-se que o coeficiente que melhor reflete a exatidão dos processos de classificação é o coeficiente Tau, pode-se concluir que a semelhança entre a imagem classificada e a imagem de referência seja na ordem de 84%.

É importante notar que essa classificação baseou-se exclusivamente no conhecimento do especialista modelado pelas regras e que a imagem de referência não serviu de base para a classificação apresentada na Figura 5.3