



Processamento e restituição digital de fotografias aéreas coloridas para estudo da cobertura vegetal

Processing and Digital processing of colored aerial photography for study of the vegetable covering

Sara Alves de Souza¹, Zacarias Xavier de Barros¹, João Bosco¹, Bruna Soares Xavier de Barros¹, Sérgio Campos¹, Lincoln Gehring Cardoso¹

¹ Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, E-mail: zacariasxb@fca.unesp.br

Recebido em: 13/02/2009

Aceito em: 25/09/2009

Resumo. O presente estudo utilizou técnicas de geoprocessamento para identificar, verificar a qualidade posicional da área e quantificar a cobertura vegetal encontrada em parte do município de Botucatu – SP, desta forma o mesmo foi dividido em três fases: aquisição dos dados, georreferenciamento baseado em cartas planialtimétricas no formato digital escala 1:50000 e confecção das cartas temáticas. A metodologia utilizada para o georreferenciamento das fotografias aéreas analógicas mostrou-se eficiente uma vez que a mesma foi baseada em fundamentos científicos de análise de resíduos e o controle posicional foi classificado como A, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica.

Palavras-chave. Geoprocessamento, imagens aéreas, cartas temáticas.

Abstract. This work aimed to apply geoprocessing techniques to identify and to quantify the types of vegetal coverings in part of the county Botucatu – SP, having been divided into three phases: acquisition of data; georeferencing based on the digital topographic maps in 1:50000 scale and finally the thematic maps were generated. The methodology used to the analogical aerial photographics georeferencing showed efficient, considering that it was based on scientific procedures of residues analysis and the positioning central was classified as A, according to the Cartographic Precision Pattern.

Key-words. Geoprocessing, aerial images, thematic maps.

Introdução

A determinação da cobertura vegetal de uma região deve ser considerada como instrumento de grande importância para planejamentos de um modo geral, uma vez que determinado tipo de cobertura do solo pode influenciar no surgimento de fenômenos como, erosão, redução da fertilidade do solo e até desertificação.

O homem durante muitas décadas gerenciou os recursos naturais de maneira inadequada o que acarretou sérios problemas ambientais e socioeconômicos. Desde o final do século XX, questões ligadas ao meio ambiente têm proporcionado várias discussões entre os diferentes segmentos da sociedade. Profissionais de diversas áreas têm se empenhado em desenvolver um planejamento adequado e diferenciado que vá ao encontro das necessidades de uso dos recursos naturais de maneira racional.

Dentre as tecnologias desenvolvidas e utilizadas para a manipulação de informações pode-se citar o uso da informática e técnicas computacionais que propiciam melhor gerenciamento e análise de dados, além de agilizar e reduzir custos.

Dentre os produtos do sensoriamento remoto, o uso de fotografias aéreas verticais tornou-se frequente em projetos de levantamento, planejamento e uso do solo, principalmente porque substitui com vantagens outras bases cartográficas, além de apresentar riqueza de detalhes. Elimina-se assim, as dificuldades de acesso em determinadas áreas, proporcionando uma visão tridimensional, além de aumentar o rendimento e a precisão do mapeamento (Wolf, 1983).

Segundo Ricci e Petri (1965), o uso de fotografias aéreas como instrumento enriquecido do conhecimento humano nasceu da necessidade de mapear grandes áreas com economia de tempo



e recursos financeiros. A utilização dessa técnica teve início durante a 1ª guerra mundial e seus princípios foram largamente desenvolvidos em decorrência de dois grandes conflitos armados que flagelaram a humanidade.

Na atualidade, a fotografia aérea tem sido usada intensivamente como um sensor remoto na identificação e mapeamento dos recursos naturais. Pelo potencial de utilização, as fotografias aéreas prestam-se como ferramenta de trabalho nas diversas áreas do conhecimento, tais como Geografia, Geologia, Hidrologia, Ecologia, dentre outras (Garcia, 1982).

O objetivo deste estudo foi o processamento digital de fotografias aéreas visando avaliar a cobertura vegetal de uma área no Município de Botucatu – SP, bem como determinar estatisticamente a precisão do produto cartográfico gerado.

Material e Métodos

Foram utilizadas seis fotografias aéreas coloridas de parte do município de Botucatu - SP, na escala 1:30000, referente ao ano de 2000; carta

em formato matricial do município de Barra Bonita - SP na escala 1:50000 do IBGE; equipamentos e *softwares* para entrada de dados e geoprocessamento.

Com intuito de aplicar os conceitos sobre Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, propuseram-se um estudo de caso. Para tanto, foram utilizadas fotografias aéreas coloridas de parte do município de Botucatu – SP. Estas foram georreferenciadas utilizando-se como base a carta em formato matricial do município de Barra Bonita - SP, na qual está inserida a área de interesse. Este arquivo foi gerado por digitalização automática via *scanner* a partir da carta topográfica analógica na escala 1:50000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Nesta etapa do trabalho, executou-se primeiramente a geração de um *grid* em formato vetorial (Crosta, 1972), contendo as coordenadas UTM Córrego Alegre, dos cantos de quadrícula (Tabela 1), folha da carta de Barra Bonita - SP, da área de estudo no Município de Botucatu - SP.

Tabela 1. Coordenadas geodésicas e UTM utilizadas no georreferenciamento da carta topográfica da Barra Bonita (SP) e das fotografias aéreas.

Folha	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM (m)	
	Latitude	Longitude	E	N
Barra Bonita	-22° 30' 00"	-48° 30' 00"	757206.4906	7509647.7232
	-22° 30' 00"	-48° 15' 00"	782940.5662	7509196.2161
	-22° 45' 00"	-48° 15' 00"	782428.7706	7481499.5082
	-22° 45' 00"	-48° 30' 00"	756741.3508	7481954.9399

Para o georreferenciamento das fotografias aéreas, tornou-se necessário a obtenção de coordenadas de pontos de apoio bem definidos (obtidas da carta matricial). Tais pontos foram utilizados como referência para posteriormente atribuí-las aos seus homólogos nas fotos que foram consideradas como produto cartográfico disponível em escala adequada para a extração das respectivas coordenadas para o georreferenciamento.

A carta matricial gerada por digitalização automática via *scanner* foi georreferenciada, conforme Câmara et al. (1996), a partir de carta topográfica analógica na escala 1:50000 a qual possui as seguintes características: projeção UTM, referencial horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51° W Gr. e fuso 22°.

Como as coordenadas do canto de quadrícula da carta de referência são geodésicas, houve a necessidade de transformá-las em coordenadas UTM e *Datum* Córrego Alegre. Para isso utilizou-se o software *Data-GEOSIS 1.32*.

Utilizando-se do software *Microstation* da *Bentley Systems* procederam-se as etapas para a configuração do arquivo vetorial do gride gerado, por meio do aplicativo *MGE – Modular Giz Enviroment* da *Intergraph Corporation* em seu módulo *Coordinate System Operations* foram configuradas as opções do sistema de projeção para UTM e *Datum* Córrego Alegre bem como o Elipsóide adotado.

No georreferenciamento da carta em formato matricial a partir das coordenadas do gride gerado utilizou-se o aplicativo *Image Analyst* da *Intergraph Corporation*. Esse

aplicativo em questão foi escolhido uma vez que o mesmo gera um relatório de resíduos após o ajustamento dos pontos escolhidos para o georreferenciamento, permitindo a avaliação da qualidade do trabalho e, caso seja necessário, possibilita as alterações na posição ou inserção de novos pontos de referência, sendo que no mínimo quatro pontos devem ser selecionados, como por exemplo, cruzamentos de rodovias, cantos de cercas, cordões de calçadas, entre outros, podem ser considerados como sendo pontos bem definidos e devem ser escolhidos como pontos de referências para assegurar a correta atribuição dos valores das coordenadas. A escolha desses pontos, geralmente é um procedimento de difícil execução, uma vez que nem sempre é possível encontrar tais feições nos produtos cartográficos disponíveis em função de efeitos da temporalidade e principalmente da ação antrópica que podem afetar a correta identificação de tais referências.

O georreferenciamento destas fotografias aéreas propiciou a geração da carta temática da área a ser avaliada onde foram representados os tipos de cobertura. As fotografias aéreas foram transformadas do formato analógico para o digital, por meio de digitalização, via scanner, adotando-se a resolução de 400 dpi. Este produto teve suas características alteradas resultando em novas

imagens com tonalidade cinza, cuja escala variou de 0 a 255, permitindo o trabalho de classificação.

De forma semelhante ao georreferenciamento da carta matricial, procedeu-se o georreferenciamento das fotografias aéreas, sendo utilizado como fonte de referências às cartas matriciais para extração de coordenadas de pontos de controle, otimizando-se o processo, reduzindo-se tempo e custos, uma vez que se eliminou a necessidade de deslocamento até o campo para coleta de dados de coordenadas dos pontos de controle.

Um fator importante na escolha dos pontos de referências está no fato de que os mesmos devam ser bem definidos, conforme é mostrado na Figura 1 um ponto de controle de referência na carta matricial e seu homólogo na fotografia aérea.

Toda carta elaborada no Brasil deve ser classificada de acordo com as Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Estas normas estabelecem que os padrões de exatidão planimétricos ou horizontais são definidos em função do denominador da escala da carta, enquanto que para os padrões de exatidão altimétricos ou verticais são definidos em função da equidistância entre as curvas de níveis (Tabela 1).

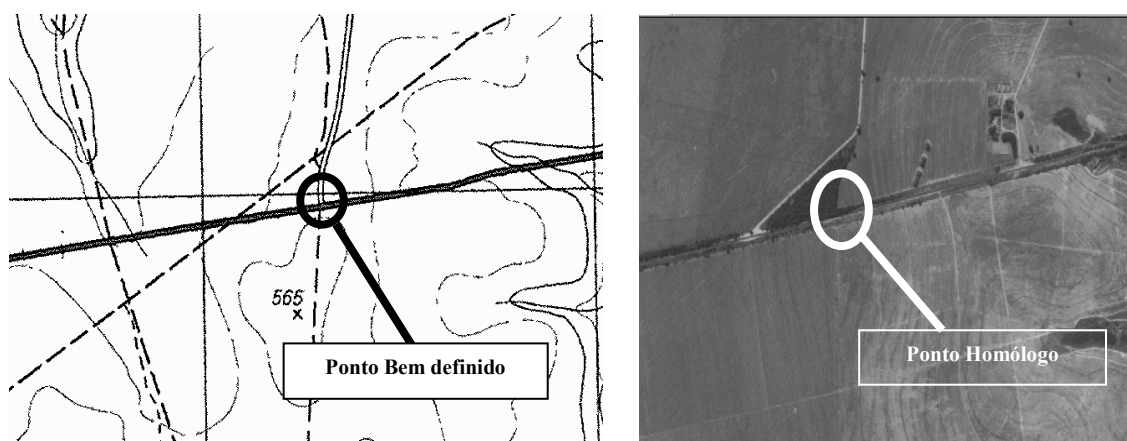


Figura 1. Detalhe de ponto bem-definido na carta e seu homólogo na fotografia aérea.

Entende-se por Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC um conjunto de critérios e normas estabelecidas e que norteiam os processos de determinação e quantificação da exatidão de

uma carta. As cartas, segundo a sua exatidão posicional e precisão, devem ser classificadas nas classes A, B e C (Tabelas 2).

Tabela 2. Padrões de exatidão planimétrica (BRASIL, 1984)

Classe	PEC (mm x DE)	EP (mm x DE)	PEC	EP
A	0,5	0,3	1/2 eq	1/3 eq
B	0,8	0,5	3/5 eq	2/5 eq
C	1,0	0,6	3/4 eq	1/2 eq

PEC = Padrão de exatidão cartográfica, DE = Denominador da escala da carta, eq = Equidistância entre as curvas de níveis e EP = Erro padrão

Para a análise da precisão do produto cartográfico, primeiramente foram calculadas e avaliadas estatisticamente as discrepâncias entre as coordenadas de referência (X_i) e as coordenadas observadas na carta (X_i^c), calculadas para cada ponto i por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^c \quad \text{Eq. (1)}$$

A média ($\overline{\Delta X}$), bem como a variância ($S_{\Delta X}^2$) das discrepâncias amostrais, foram calculadas, respectivamente, por:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad \text{Eq. (2)}$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde n é o tamanho da amostra.

A análise da precisão foi realizada por meio da comparação entre o desvio padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC (Tabela 2), esperado para a carta na classe que se deseja testar. O teste de hipótese a ser formulado foi o seguinte:

$$H_o : S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2 \quad \text{Eq. (4)}$$

$$H_1 : S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2 \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde σ_X corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado para a coordenada X em questão.

Considerando o valor correspondente da resultante EP, assumindo que esta tenha sido igual para cada uma das componentes horizontais teve-se:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad \text{Eq. (6)}$$

A próxima etapa consistiu na aplicação do teste Qui-quadrado amostral:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad \text{Eq. (7)}$$

A hipótese nula foi aceita quando o valor calculado por meio da expressão (7) satisfizes a seguinte condição:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

Nos casos, para os quais a expressão anterior foi atendida, ou seja, quando o valor de Qui-quadrado calculado for maior que o valor de Qui-quadrado tabelado para $n-1$ graus de liberdade a um intervalo de confiança α , então se rejeita a hipótese nula de que a carta atende a precisão preestabelecida. Para obter maior confiabilidade em todo processo de georreferenciamento das fotografias aéreas, efetuou-se a análise de Distribuição Qui-Quadrado χ^2 .

Resultados e Discussão

O processo de atribuição de coordenadas de pontos de controle selecionados de um produto georreferenciado permitiu solucionar eventuais problemas de distorções geométricas provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes de seu movimento durante a captação da imagem, ou seja, efetuou-se a correção geométrica das fotografias.

Posteriormente, os *pixels* de cada fotografia foram reorganizados em relação ao sistema de projeção UTM da carta de referência, permitindo o ajuste dos níveis de cinza de cada imagem para alocação do vizinho mais próximo.

O georreferenciamento das fotografias proporcionou a geração de um mosaico e um histograma da área de estudo (Figura 2), propiciando assim o seu processamento e classificação. Os histogramas são gráficos que representam a frequência de ocorrência de *pixels*

para cada valor possível de número digital, ou seja, fornecem a informação sobre quantos *pixels*

na imagem possui cada nível de cinza.

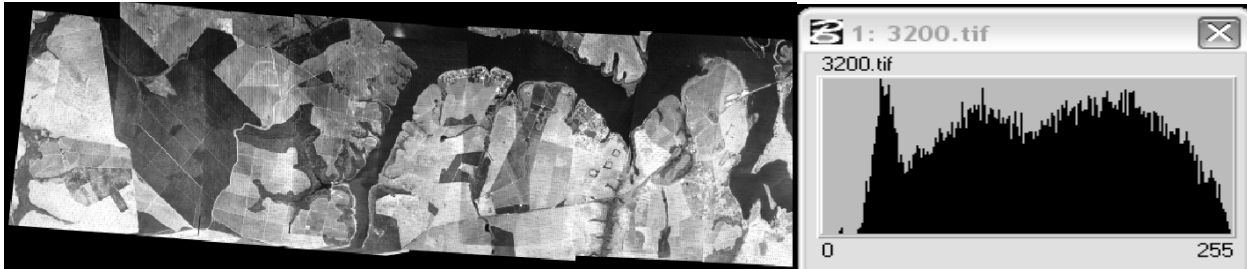


Figura 2. Mosaico e histograma da área de estudo em 2000.

Como os histogramas (Figura 3) gerados não apresentaram uma boa tonalidade de cinza, pois os *pixels* não apresentaram uma distribuição de níveis de cinza em todo o intervalo de 0 a 255,

foi necessário melhorar o contraste para aumentar a qualidade da visualização das informações (Figura 3).

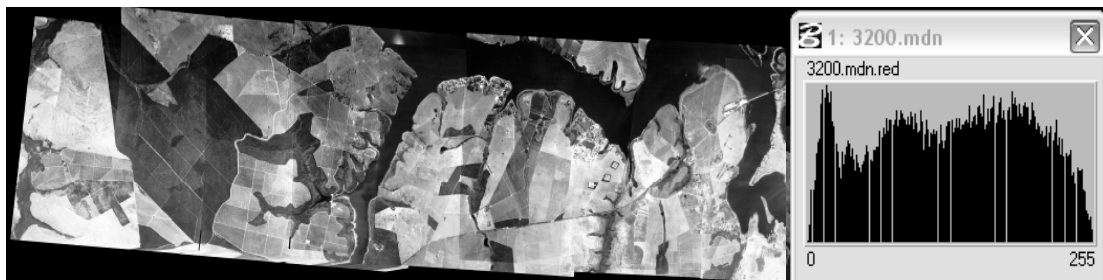


Figura 3. Mosaico e histograma com manipulação do contraste para o ano 2000.

Em seguida, foi realizada a classificação não supervisionada uma vez que não se tinha um prévio conhecimento de algumas áreas a serem avaliadas, utilizando-se do aplicativo *Image Analyst* da *Intergraph Corporation* para fazer a

estratificação da cena, sem a interferência do usuário, atribuindo a cada *pixel* uma determinada classe através da análise de agrupamentos de *pixels* com características espectrais similares (Figura 4).

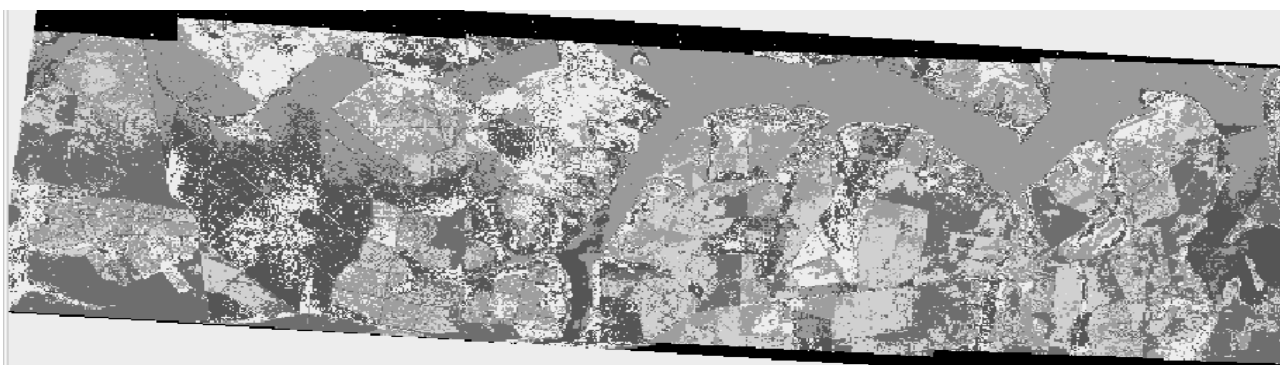


Figura 4. Classificação não-supervisionada da área de estudo, em 2000.

Para verificação da qualidade da classificação utilizou-se de métodos estatísticos nos quais são quantificadas as porcentagens do número total de *pixels* corretamente e erroneamente classificados bem como as

porcentagens dos erros de inclusão e omissão para cada classe.

Os resultados obtidos mostraram (Figura 5) que nas imagens diversos *pixels* foram erroneamente classificados em determinadas

classes, quando na verdade pertenciam à mesma classe, isto acarreta numa quantificação de áreas de forma incorreta e imprecisa fazendo com que qualquer conclusão acerca de aumento ou diminuição da cobertura vegetal de uma determinada região possa estar sendo

erroneamente interpretada. Assim, por exemplo, foi constatado que a classe corpo d'água, pertencente à represa da Barra Bonita, foi classificada como plantas aquáticas erroneamente pelo programa.

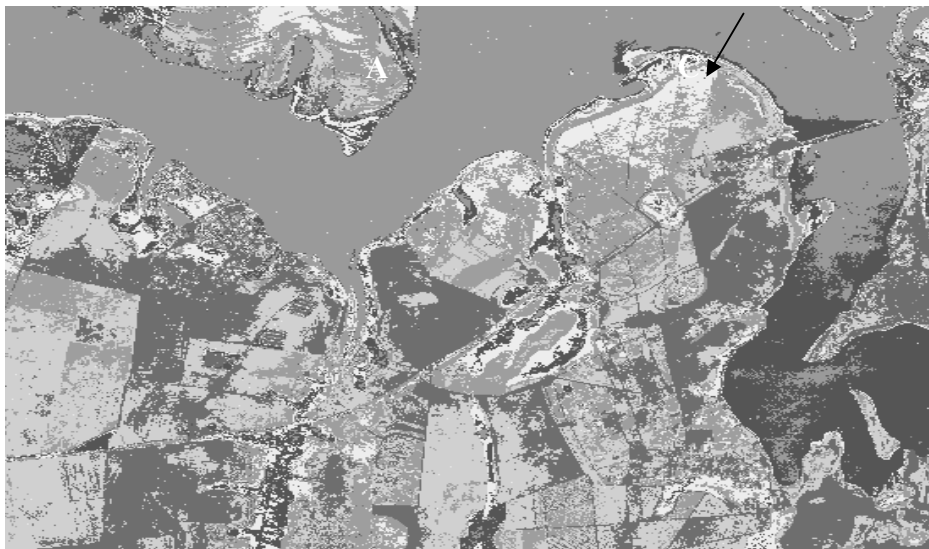


Figura 5. Pixels classificados erroneamente.

O software *AutoCAD Map* permitiu a criação de um arquivo vetorial com níveis de informações específicos para armazenamento dos polígonos resultantes das delimitações das áreas de interesse para uma determinada classe de cobertura do solo e suas quantificações (Tabela 3).

O controle de qualidade posicional consistiu no pré-planejamento, seleção e distribuição dos pontos de controle e a aplicação dos testes estatísticos das cartas avaliadas.

O controle de qualidade posicional do mosaico e da carta temática do uso e cobertura do solo obedeceu aos seguintes critérios: escolha de sete pontos bem definidos na carta de referência e no mosaico. Procurou-se tomar cuidado para que os pontos de referência ficassem distantes dos pontos de controle utilizados na fase de georreferenciamento do mosaico e distribuição homogênea dos pontos, de forma a recobrir toda área em questão.

Tabela 3. Uso da terra obtido pela classificação de 2000.

Classes de uso	Área	
	ha	%
Curso d'água principal	1242,7953	14,13
Cana de açúcar	921,7973	10,48
Pastagem	1866,4195	21,22
Mata ciliar	960,0215	10,91
Campo – cerrado	439,3244	4,99
Mancha urbana	212,1084	2,41
Eucalipto	3123,9181	35,51
Estradas	30,4798	0,35
TOTAL	8796,8643	100



A seguir, procedeu-se a coleta das coordenadas de cada ponto de controle na carta georreferenciada, em formato matricial, com o auxílio do *software AutoCAD*, utilizada como referência para os cálculos estatísticos do controle

de qualidade posicional, sendo as coordenadas dos pontos homólogos obtidas no mosaico com o auxílio do mesmo *software*. A partir dessas coordenadas foram determinadas as discrepâncias, médias e desvios-padrão (Tabela 4).

Tabela 4. Discrepâncias, médias e desvio-padrão para análise de precisão do mosaico de 2000.

Precisão	$\chi^2_{5;10\%}$	Classe A	Planimetria
			9,24
	$\chi^2_{Resultante}$	Classe B	6,44
		Classe C	2,32
			1,61
Classe obtida			A

Os resultados dos testes estatísticos de Análise de Precisão para o mosaico de 2000, considerando-se o intervalo de confiança de 90% e os sete pontos determinados pela distribuição homogênea.

A carta temática gerada a partir do mesmo enquadra-se na classe “A”, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para planimetria, uma vez que o valor de Qui-Quadrado calculado para a classe “A” é menor que o seu valor tabelado (9,24). Esta classificação mostrou que as informações obtidas no mosaico (Figuras 4 e 5) e da interpretação visual foram satisfatórias quanto às suas qualidades posicionais.

Conclusões

A fotografia aérea georreferenciadas a partir da carta matricial mostrou-se satisfatoriamente precisa, resguardados os corretos procedimentos e análises de resíduos, bem como a qualidade posicional foi satisfatória. A classificação não supervisionada não se mostrou satisfatório, uma vez que a avaliação conjunta dos mosaicos e da imagem gerada pelo classificador permitiu classificar um grande número de *pixels* erroneamente em outras classes.

A classificação com auxílio do *software AutoCAD* mostrou ser uma ferramenta de grande utilidade para o futuro, uma vez que por meio destes recursos computacionais, podem-se visualizar as feições de interesse com um elevado grau de detalhamento, resultando em uma interpretação mais perfeita do que as geradas pela classificação não supervisionada e com relação ao controle de qualidade posicional, sendo os

produtos obtidos classificados de acordo com o PEC nas classes A (2000) comprovando-se que os critérios para os seus georreferenciamentos foram rigorosamente efetuados.

Referências bibliográficas

CÂMARA, G., FREITAS, U.M., SOUZA, R.C.M, GARRIDO, J. *SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object – oriented data modelling computers and graphics*. v.15, n.6, 1996.

CROSTA, A.P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: GI/UNICAMP, 170p. 1972.

GARCIA, G.J. *Sensoriamento remoto: princípios de interpretação de imagens*. Editora Nobel, São Paulo, p.84. 1982.

RICCI, M., PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria*. Editora Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1965.

WOLF, P.R. *Elements of photogrammetry*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983. 628p.