# ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA INTEGRANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO, PROCESSAMENTO DE IMAGENS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

**Oscar Ricardo Vergara[1], Jorge Pimentel Cintra[2], Júlio César Lima d´Alge[3]**

**[1]Instituto Militar de Engenharia (IME)**
**Departamento de Engenharia Cartográfica (DE/6)**
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha
22290-270 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
vergara@epq.ime.eb.br
**[2]Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)**
**Departamento de Engenharia de Transportes (PTR)**
jpcintra@usp.br
**[3]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**
**Divisão de Processamento de Imagens (DPI)**
julio@dpi.inpe.br

**Palavras chave**: Atualização cartográfica, SIG, Sensoriamento Remoto, Rio Claro (SP, Brasil).

## RESUMO

O estado atual da cartografia mundial mostra a carência de cartas que forneçam informação atualizada para extensas regiões do planeta, em escalas maiores que 1:100.000. Há mais de uma década, a comunidade cartográfica vem direcionando esforços na procura de novas técnicas de atualização, visando reverter essa situação. Para esse fim, nos últimos anos foram realizados alguns estudos no Brasil, que testam o desempenho de imagens orbitais na atualização de cartas topográficas. Nessa linha de pesquisa, o objetivo deste trabalho é avaliar uma metodologia de atualização de cartas topográficas na escala 1:50.000 baseada na utilização de dados de Sensoriamento Remoto orbital, integrados através de um Sistema de Informação Geográfica. Para tanto, utilizando o programa SPRING desenvolvido no INPE, foram geradas três cartas atualizadas na escala 1:50.000, a partir de três diferentes grupos de dados (imagens HRV-SPOT e TM-Landsat, originais ou pouco processadas; imagens sintéticas geradas através da transformação *IHS* e da transformada *wavelet).* A seguir foi realizado um controle da qualidade dessas cartas, sendo avaliados o seu conteúdo de informação temática e a sua exatidão geométrica. Para averiguar os erros decorrentes do processo de impressão dos dados, o teste geométrico foi aplicado primeiro aos dados vetoriais, antes da plotagem, e depois foram avaliadas as cartas impressas. Os resultados indicaram que, tanto do ponto de vista do conteúdo informativo quanto da qualidade geométrica, a metodologia testada permite obter cartas atualizadas que se aproximam do padrão das cartas classe A definido pela legislação brasileira, sem chegar a satisfazê-lo totalmente, mas atendendo o padrão B de exatidão geométrica. A análise dos resultados revelou que nenhum dos grupos de imagens estudados tem primazia significativa sobre os outros.

## ABSTRACT

The present situation of worldwide cartography denotes the lack of updated maps for extensive regions of the planet. Since last decade, in an attempt to revert this situation, the cartographic community is conducting efforts to search new cartographic updating techniques. With this aim, some studies have been done in Brazil, which evaluate the performance of satellite images for cartographic maps updating. The aim of this work is to evaluate an updating methodology for 1:50,000 scale topographic maps using satellite Remote Sensing data and a 2nd generation GIS software. By using SPRING software developed at INPE (braziliam National Institute of Spatial Research), three 1:50,000 topographic maps are updated from three different data sets (HRV-SPOT and TM-Landsat original, slightly processed images; synthetic images produced through IHS transformation; synthetic images achieved by wavelet transform). After that, the information content and the geometric accuracy of those updated maps are assessed. The geometric evaluation is first applied to the vector data, before plotting, and then the printed maps are assessed. The results show that, with respect to both the information content and the geometric accuracy, this methodology allows to accomplish cartographic updating at 1:50,000 scale, achieving a quality close to class A topographic maps accuracy standards, although it does not completely meet those standards. However, it conforms to class B brazilian standards. The results analysis shows that there are no significant superiority among the three data sets.

## 1. INTRODUÇÃO

Documentos cartográficos em diferentes escalas são ferramentas fundamentais para conhecer o meio ambiente em escala local, regional e global, e ajudar na tomada de decisões necessárias para o planejamento ambiental e o gerenciamento de recursos, bem como na solução de problemas em áreas tão variadas como saúde, desmatamento, qualidade do ar e da água, demografia, etc. Entretanto, a situação atual da cartografia mundial indica que, para muitas regiões do planeta, não existem documentos cartográficos que forneçam informação com qualidade adequada, sendo este um problema comum tanto para nações desenvolvidas quanto para países em desenvolvimento (Estes; Mooneyhan, 1994). No Brasil, os índices atuais de mapeamento nas diferentes escalas evidenciam que a carência de cartas topográficas é mais grave para as escalas maiores: 76,54% (1:250.000), 75,39% (1:100.000), 13,9% (1:50.000), 1,01% (1:25.000) (Sierra F. e Huarajo C., 2001).

Com o intuito de reverter gradativamente essa situação, a comunidade cartográfica vem direcionando esforços na procura de metodologias alternativas de atualização cartográfica, mais rápidas e econômicas que as clássicas metodologias fotogramétricas. Por esse motivo, está sendo dada maior atenção às imagens de Sensoriamento Remoto orbital que, por serem mais econômicas do que as fotografias aéreas, terem maior resolução temporal e espectral e fornecerem uma visão sinóptica da área de estudo, apresentam-se como uma fonte de informação temática de interessantes características potenciais para fins cartográficos.

Algumas pesquisas realizadas no Brasil para testar metodologias de atualização cartográfica na escala 1:50.000 com imagens orbitais de resolução média (por exemplo, Ferreira, 1988; Vergara et al., 2000) mostraram as vantagens e as limitações decorrentes da utilização de técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto para fins de mapeamento topográfico e indicaram também que essas metodologias e produtos são de utilidade para realizar atualizações expeditas. Levando em consideração esses antecedentes, a finalidade deste trabalho foi explorar ao máximo as possibilidades de utilizar imagens orbitais de resolução média para atualizar cartas topográficas na escala 1:50.000. Para isso, foi avaliada a qualidade de 3 produtos cartográficos obtidos através de uma metodologia de atualização baseada na utilização de dados HRV-SPOT e TM-Landsat, integrados através de um SIG de 2ª geração e submetidos a diversas técnicas de processamento digital de imagens.

A escolha da área de estudo foi motivada pelos seguintes fatores: a) As características principales da região estudada (variedade de tipos de uso do solo rural e presença de uma área urbana); b) Possibilidade de dispor de pontos de controle (PCs) precisos para avaliar a exatidão geométrica do trabalho; c) Facilidade relativa de acesso para idas a campo para colher amostras destinadas a avaliar a exatidão da classificação temática. Por considerar que satisfazia esses requisitos, foi escolhido um módulo de aproximadamente 10 km por 10 Km, dentro da carta topográfica "Rio Claro" (SP) na escala 1:50.000. Esta área tem as seguintes coordenadas limites, na projeção cartográfica mencionada: $E_1$ = 231.760, $N_1$ =7.513.760; $E_2$ = 242.000, $N_2$ = 7.524.000.

## 2. SISTEMAS, MATERIAIS E METODOLOGIA

### 2. 1 SISTEMAS

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado neste trabalho é o SPRING, desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este aplicativo é um SIG de 2ª geração que integra técnicas de Sensoriamento Remoto e de geoprocessamento e possue funções de análise espacial e de geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), entre outras (Câmara et al., 1996).

### 2. 2 MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes materiais:

**2.2.1 IMAGENS HRV-SPOT**. a) Banda pancromática (PAN) com visada oblíqua (15,5°); K/J: 714/394; b) Bandas multiespectrais (XS) com visada vertical (1,8 °); K/J: 714/395.

**2.2.2 IMAGENS TM-LANDSAT**. Bandas 1 a 5 e banda 7, multiespectrais; Base/Ponto: 220/75.

Tanto a imagem TM-Landsat quanto as bandas HRV-SPOT, foram geradas em níveis de pré-processamento em que não são aplicadas correções geométricas para qualquer projeção cartográfica. Portanto, o controle da qualidade geométrica dos produtos cartográficos atualizados teve por finalidade verificar também se, utilizando imagens com essas

características, é possível atualizar cartas com exatidão geométrica compatível com o padrão cartográfico. Cabe mencionar que, tanto no caso das bandas HRV-SPOT quanto no das TM-Landsat, procurou-se refinar a qualidade geométrica dos dados através de operações de registro muito precisas, para compensar o seu baixo nível de correção geométrica.

**2.2.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS**. Fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:25.000, de data próxima à das imagens, foram utilizadas na etapa da avaliação da qualidade temática dos documentos cartográficos atualizados.

**2.2.4 CARTAS TOPOGRÁFICAS**. Em diferentes etapas do trabalho foram utilizados os seguintes documentos cartográficos: a) A base de dados usada para digitalizar a informação antiga a ser incorporada no SIG foi constituida pelos litos da carta topográfica "Rio Claro", escala 1:50.000, na projeção UTM, datum Córrego Alegre, restituida com fotografias aéreas de 1965 e editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1969; b) Os PCs necessários para avaliar a exatidão geométrica dos produtos cartográficos atualizados foram tomados de 8 cartas topográficas na escala 1:10.000 e projeção UTM, datum Córrego Alegre, editadas em 1979 pelo Instituto Geográfico Cartográfico (IGC).

**2. 3 METODOLOGIA**

A metodologia de atualização foi desenvolvida nas etapas descritas a seguir:

**2.3.1 AQUISIÇÃO DA BASE DE DADOS DESATUALIZADOS**. Nesta primeira etapa, a carta antiga foi digitalizada para armazenar os dados desatualizados no SIG. Para isto, foram seguidos os seguintes passos:

a) **Criação de um projeto de trabalho**: O projeto de trabalho ficou identificado através de dados como escala, projeção cartográfica e coordenadas envolventes da área de estudo; b) **Digitalização da carta desatualizada**: Em primeiro lugar, foi realizada a calibração da carta com a mesa digitalizadora. A seguir foram criados planos de informação (PIs) para possibilitar a separação dos dados em grupos. Criaram-se 6 planos de informação: rede viária, ferrovias, áreas urbanas, linhas de alta tensão, hidrografia e vegetação. Dentro dos PIs foram criadas classes, para diferenciar distintas categorias de dados (p.ex., no plano de informação da hidrografia: rios principais, lagoas, represas). Através da digitalização o conteúdo informativo da carta desatualizada foi convertido para o formato digital e armazenado no SIG; c) **Edição dos dados**: Aplicaram-se as operações de edição, destinadas a corrigir os erros ocorridos durante a digitalização. Por último, foram criadas as relações topológicas entre os dados digitalizados. Deste modo foi obtida a base de dados desatualizados, referenciada ao sistema de coordenadas da carta (no caso, projeção UTM, datum Córrego Alegre).

**2.3.2 GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS**. Através da operação de registro, as imagens digitais foram georreferenciadas ao mesmo sistema de coordenadas da carta digitalizada na etapa anterior. Deste modo foi estabelecida uma correspondência entre a base de dados atualizados (imagens digitais) e a base de dados antigos (PIs digitalizados da carta), operação necessária para viabilizar sua posterior sobreposição.

O registro das imagens foi realizado com cerca de 22 PCs retirados do lito da rede viária da carta 1:50.000, por não se dispor nesse momento das cartas na escala 1:10.000. Apesar do seu importante grau de desatualização, a carta 1:50.000 forneceu considerável quantidade de feições que também apareciam bem definidas na imagem, tais como cruzamentos de estradas e pontes, com adequada distribuição espacial na área de trabalho. Tanto nas operações de registro das imagens HRV-SPOT (PAN e XS) quanto na correspondente às bandas TM-Landsat foram obtidas exatidões muito satisfatórias para a escala do trabalho (erros iguais ou menores que 2,5 m).

**2.3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS**. Após serem georreferenciadas, as imagens foram submetidas a diferentes técnicas de processamento digital, destinadas a refinar sua qualidade visual para facilitar a extração de informação temática no processo de fotointerpretação. As técnicas de processamento digital foram aplicadas com a finalidade principal de obter diversos produtos sintéticos a partir da fusão da imagem SPOT pancromática com os dados SPOT multiespectrais e com composições coloridas geradas com bandas do TM-Landsat. No decorrer desta etapa foram aplicadas as operações mencionadas a seguir:

a) **Filtragem espacial**. Foi aplicado um filtro passa-altas para realçar as feições lineares da imagem SPOT-PAN original; b) **Fusão de dados:** Com o intuito de obter produtos que reunissem a informação espectral da imagem SPOT-XS e das composições coloridas das bandas TM, conservando a resolução espacial da banda SPOT-PAN, no decorrer desta etapa foram testadas algumas técnicas de fusão de dados. Dentre as imagens resultantes, foram selecionados os produtos considerados mais adequados para servir à finalidade deste trabalho. As imagens escolhidas foram agrupadas em função da técnica de processamento digital aplicada para gerá-las, formando-se também um grupo com imagens originais ou pouco processadas. Assim, foram definidos três grupos de imagens:

a) **Imagens originais ou pouco processadas (Grupo A)**. Constituído pelas imagens: i) SPOT-PAN filtrada, ii) SPOT-XS original; iii) bandas originais TM-Landsat; b) **Imagens geradas através da transformação IHS (Grupo B)**. Formado pelos produtos sintéticos gerados através dos seguintes procedimentos: i) Transformação IHS com equalização de médias; ii) Transformação IHS com equalização de médias e variâncias; (em ambos os casos, as componentes foram as imagens SPOT-PAN filtrada e SPOT-XS original); c) **Imagens obtidas através da transformada wavelet (Grupo C)**. Foi constituído pelos quatro produtos sintéticos gerados aplicando essa transformada nos níveis 1 a 4 de decomposição; (em todos os casos, as componentes foram os dados SPOT-PAN e SPOT-XS originais),. Todas essas imagens foram usadas num processo de fotointerpretação visual na tela do computador, para realizar a atualização cartográfica.

**2.3.4 ATUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS**. A atualização dos dados cartográficos foi realizada, para cada um dos grupos formados, sobrepondo a cada imagem os dados vetoriais provenientes da carta antiga digitalizada. Assim foi possível realizar uma análise visual comparativa entre os dados desatualizados e a informação atualizada fornecida pelas imagens. Essa comparação permitiu detectar e incorporar, através de um processo de edição vetorial, as mudanças ocorridas nas diferentes classes de feições. Para isto, em primeiro lugar foram suprimidas as feições que deixaram de existir (p.ex. estradas abandonadas) e posteriormente foram incorporadas as novas feições (novas estradas, p.ex.) através de digitalização na tela. A seguir são descritos resumidamente os aspectos mais importantes da etapa de atualização:

a) **Fotointerpretação e digitalização na tela**. Como no SPRING é possível carregar simultaneamente até 5 imagens na unidade visualizadora, pôde ser feita uma análise comparativa de diversas feições ou grupos delas através do seu estudo simultâneo em várias imagens, melhoradas através das técnicas de processamento digital já mencionadas. Algumas dúvidas de fotointerpretação aparecidas durante esta etapa, foram elucidadas utiliziando fotografias aéreas na escala 1:25.000. Metodologicamente, nos casos em que não se disponha de fotos aéreas será necessário um trabalho de campo mais exaustivo e demorado, na etapa seguinte; b) **Levantamento de campo**. Posteriormente, considerando ter-se aproveitado ao máximo as possibilidades de extrair informação temática das imagens orbitais e das aerofotos através da fotointerpretação, foi realizado um levantamento de campo para conferir a natureza das feições cuja classificação ainda não estava definida com certeza. A informação obtida no campo foi integrada com aquela já extraida da carta desatualizada, das imagens e das fotografias aéreas, com o que completou-se a atualização da base de dados;

c) **Ajuste e poligonalização dos dados vetoriais atualizados**. Depois de terminado o processo de digitalização da informação temática atualizada foram realizadas as operações de ajuste de linhas e a poligonalização dos dados vetoriais, necessárias para definir a topologia e viabilizar que cada polígono representado seja associado à sua correspondente classe temática; d) **Criação da moldura das cartas**. Após terminada a edição vetorial foi criada a moldura das cartas, utilizando o módulo SCARTA disponível no ambiente do SPRING. e) **Impressão das cartas**. Com os dados vetoriais e as molduras, no módulo SCARTA foram criados os arquivos correspondentes a cada uma das 3 cartas, que foram finalmente impressas; a Figura 1 mostra a carta atualizada com as imagens do Grupo A (imagens originais ou pouco processadas).

**2.3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS CARTAS ATUALIZADAS**. Para averiguar o grau de qualidade que cabe esperar de documentos cartográficos obtidos através da metodologia alternativa aplicada, avaliaram-se tanto a geometria quanto o conteúdo informativo das cartas atualizadas:

a) **Avaliação geométrica**. Foi aplicada uma transformação de similaridade, utilizando pontos de controle obtidos de cartas topográficas na escala 1:10.000. Como pontos de controle selecionaram-se feições que, não tendo mudado desde a época de publicação dessas cartas, reunissem também os seguintes requisitos: i) **Qualidade**. Boa identificação no padrão (cartas 10.000) e nas 3 cartas a serem avaliadas; ii) **Distribuição espacial** o mais uniforme possível sobre toda a área de estudo; iii) **Quantidade** adequada para a obtenção de resultados representativos. Levando em consideração estas condições foram selecionados 35 pontos de controle com as características indicadas (feições como cruzamentos de estradas, pontes, viadutos), que foram utilizados para avaliar a geometria da carta atualizada a partir das imagens do grupo A, enquanto escolheram-se 32 PCs para avaliar a carta gerada com os produtos do grupo B e 30 PCs selecionaram-se para testar a carta elaborada com as imagens do grupo C.

b) **Avaliação temática**. Na avaliação da exatidão do conteúdo informativo das cartas atualizadas foi aplicado o teste de Ginevan (1979). Este autor propõe uma metodologia proveniente do ramo da estatística conhecido como *acceptance sampling* para determinar a quantidade ótima de amostras (N) de verdade terrestre e o número máximo de erros de classificação (X) que permitam satisfazer os seguintes requisitos ao avaliar a qualidade da classificação temática de um mapa: i) Que haja baixa probabilidade de aprovar um mapa de baixa exatidão (risco do usuário = $\beta$); ii) Que haja baixa probabilidade de recusar um mapa de alta exatidão (risco do produtor = $\alpha$); iii) Que na avaliação seja utilizado o menor número possível de amostras de verdade terrestre (N).

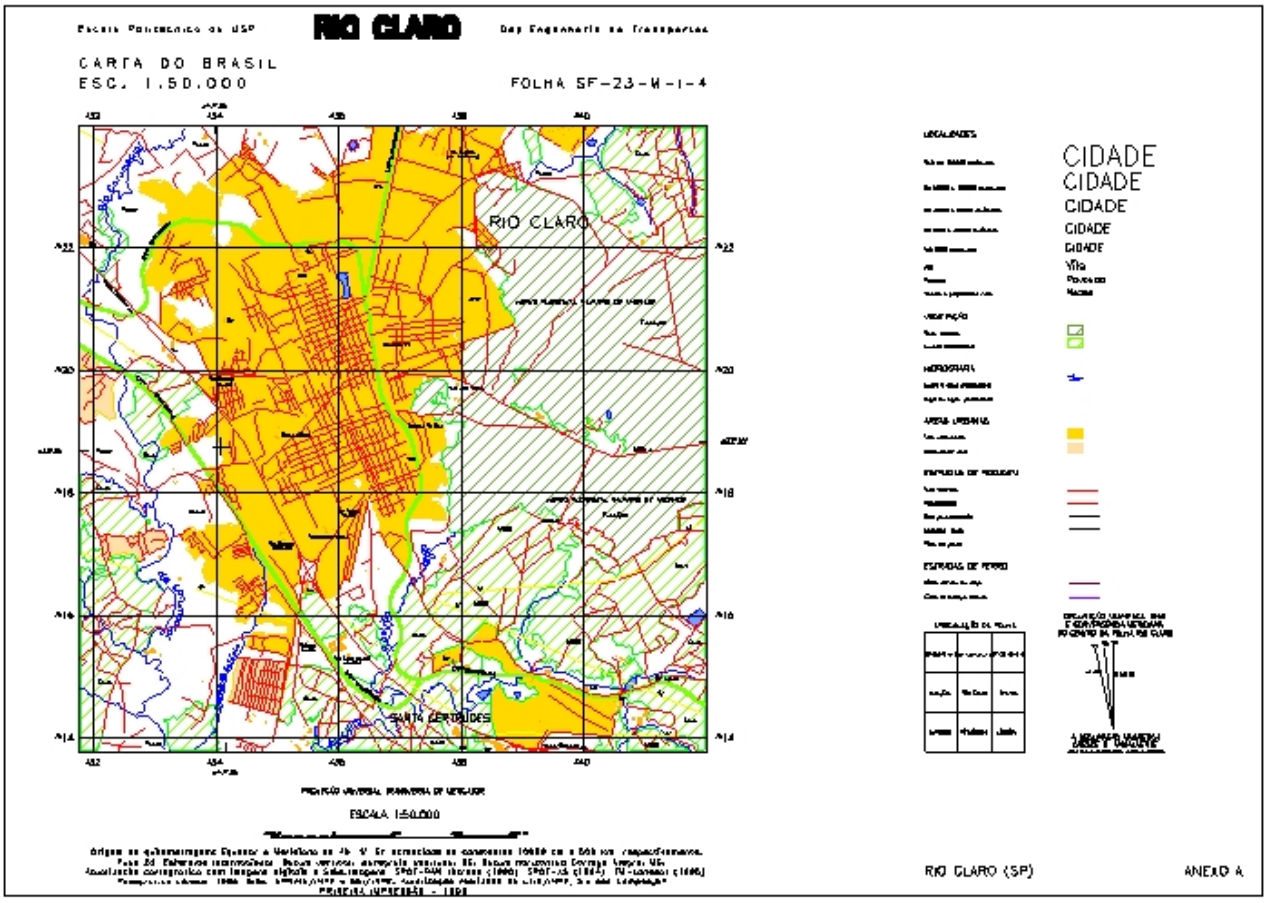


***Figura 1.*** *Carta atualizada com as imagens do grupo A (imagens HRV-SPOT e TM-Landsat originais ou pouco processadas). Área teste: Rio Claro, SP.*

## 3. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas avaliações da qualidade das cartas atualizadas, considerando os aspectos geométrico e temático.

### 3.1 QUALIDADE GEOMÉTRICA

É conveniente lembrar que os erros obtidos na avaliação geométrica devem ser confrontados com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Planimétrico instituido para as cartas topográficas nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Brasil, 1986). Essas normas indicam que 90% dos pontos de uma carta, quando testados, devem possuir erro que não ultrapasse o PEC Planimétrico, que, para as cartas **classe A**, é estabelecido em 0,5 mm na escala da carta; esta condição indica a medida da precisão exigida para esta classe. Por sua vez, as mesmas Normas Técnicas estabelecem que o Erro Padrão (EP) isolado não deverá ser superior a 0,3 mm na escala da carta, para a mesma classe; este valor indica a exatidão da classe A.

Para as restantes classes, os valores estabelecidos são: a) **Classe B**. i) PEC Planimétrico: 0,8 mm na escala da carta avaliada; ii) EP isolado: 0,5 mm na escala; c) **Classe C**. i) PEC Planimétrico: 1 mm na escala da carta; ii) EP isolado: 0,7 mm. Portanto, para a escala deste trabalho (1:50.000) e para cartas classe A, o erro máximo aceitável em 90% dos pontos de controle é de 25 m, enquanto o desvio padrão não deverá ultrapassar os 15 m. A comparação entre os resultados da avaliação geométrica e os valores acima, permitirá determinar a classe cartográfica a que pertencem os documentos atualizados neste trabalho.

Aqui é conveniente comentar que, com a finalidade de averiguar o grau em que o processo de impressão dos dados afeta a qualidade geométrica das cartas, antes de avaliar as folhas impressas foi testada também a geometria dos dados vetoriais atualizados, antes da sua plotagem.

**3.1.1 ERROS GEOMÉTRICOS ANTES DA PLOTAGEM**. Para realizar esta avaliação, as coordenadas dos pontos de controle de cada arquivo vetorial foram medidas na tela, utilizando-se, como padrão, os PCs extraídos das cartas 1:10.000. Nesta etapa foram encontrados os seguintes erros, nos dados vetoriais de cada grupo:

a) **Grupo A**. i) Precisão: erros inferiores a 25 m em 32 PC do total de 35; ii) Exatidão: Erro Médio Quadrático (desvio padrão) de 17,78 m; b) **Grupo B**. i) Precisão: erros menores que 25 m em 29 dos 32 PCs utilizados; ii) Exatidão: desvio padrão de 17,68 m; c) **Grupo C**. i) Precisão: erros menores que 25 m em 28 PCs, do total de 30; ii) Exatidão: desvio padrão de 16,77 m.

Esses valores mostram que os dados vetoriais atualizados com as imagens dos três grupos tinham, antes da plotagem, uma precisão correspondente à classe A, enquanto a sua exatidão mostrou-se bastante próxima da exigida para essa classe.

**3.1.2 ERROS GEOMÉTRICOS DAS FOLHAS IMPRESSAS**. A avaliação das folhas impressas foi realizada com os mesmos PCs utilizados na etapa anterior. Mostram-se a seguir os erros de cada folha:

a) **Grupo A**. i) Precisão: erros menores que 25 m em 29 dos 35 PCs utilizados, sendo que 6 PCs tiveram erros oscilando entre 25,6 m e 37,1 m; ii) Exatidão: desvio padrão de 20,12 m; b) **Grupo B**. i) Precisão: erros menores que a tolerância em 29 do total de 32 PCs; ii) Exatidão: desvio padrão de 18,10 m; c) **Grupo C**. i) Precisão: erros inferiores à tolerância em 25 pontos do total de 30 PCs; erros variando entre 25,6 m e 33,6 m em 5 PCs.; ii) Exatidão: desvio padrão de 18,83 m.

Os valores acima indicam que, das três cartas avaliadas, apenas a correspondente ao grupo B teve uma precisão compatível com a classe A, enquanto a sua exatidão chegou perto da estabelecida para essa classe. As outras duas cartas, entretanto, não satisfizeram totalmente os requisitos de qualidade da classe A, mas demonstraram ter níveis de precisão e exatidão próximos dos correspondentes a essa classe. Cabe destacar que estas duas cartas satisfizeram plenamente o padrão da classe B.

**3.2 QUALIDADE TEMÁTICA**

Ao se aplicar esta metodologia de atualização, durante o processo de fotointerpretação também foram utilizadas as informações complementares obtidas da carta antiga e do levantamento de campo, aproveitando, igualmente, o conhecimento prévio da área. A integração da informação fornecida por essas fontes com a obtida das imagens permitiu identificar a maior quantidade possível de classes definidas no padrão cartográfico. Quando, além disso, se dispõe de cartas e fotografias aéreas em escala maior e de data mais recente que as da carta a ser atualizada, como foi o caso do presente trabalho, estas outras fontes de informação também podem ser utilizadas para eliminar muitas das dúvidas que normalmente aparecem durante a etapa de fotointerpretação das imagens, o que permite reduzir substancialmente a informação a ser conferida no campo.

De qualquer forma, cabe destacar que para determinar, do modo mais exato possível, qual o potencial das imagens de Sensoriamento Remoto orbital para um trabalho de atualização cartográfica, todas as outras fontes a que se recorreu neste estudo forneceram informação considerada complementar, isto é, destinada somente a esclarecer algumas dúvidas de classificação que apareceram durante a etapa de fotointerpretação visual das imagens. Assim, feições claramente visíveis nessas outras fontes não foram representadas nas cartas atualizadas se não tivessem sido, primeiro, detectadas nas imagens.

Na criação das classes para o agrupamento das feições identificadas nas imagens, foi tomado como base o padrão estabelecido pelo Manual Técnico de Convenções Cartográficas (Brasil, 1975), onde as feições são agrupadas como: a) Elementos planimétricos; b) Elementos da hidrografia costeira; c) Elementos hidrográficos; d) Elementos hipsográficos; e) Elementos de vegetação. Neste trabalho, foram analisados os elementos planimétricos, os rios principais e corpos d'água e os elementos de vegetação. Por sua vez, no decorrer da etapa de fotointerpretação esse padrão foi modificado em alguma medida, unificando algumas classes, por causa das limitações do nível de detalhamento da informação temática fornecida pelas imagens. A Tabela 1, restrita às classes aqui estudadas, permite comparar o padrão seguido com o indicado pelas normas cartográficas.

| CLASSES | PADRÃO DAS NORMAS CARTOGRÁFICAS | PADRÃO USADO NESTE TRABALHO |
|---|---|---|
| **Elementos planimétricos** | Rodovias, caminhos, trilhos, trevos rodoviários.<br>Ferrovias, oficinas e estações ferroviárias.<br>Passagens, pontes, viadutos, linhas de energia elétrica.<br>Zonas urbanas com arruamento intra-urbano, fábricas, edifícios, escolas, igrejas, estádios, hipódromos, aeroportos, cemitérios.<br>Represas, reservatórios d'água, piscinas, estações de tratamento d'água, torres.<br>Construções rurais. | Rodovias,alguns caminhos e trilhos, trevos rodoviários.<br>Ferrovias, oficinas e estações ferroviárias.<br>Pontes, viadutos, trechos de linhas de energia elétrica.<br>Zonas urbanas com arruamento intra-urbano incompleto, fábricas, alguns edifícios, universidade, estádios, pista de pouso.<br>Corpos d'água em área urbana, torres.<br>Áreas associadas a construções rurais. |
| **Elementos hidrográficos** | Lagos ou lagoas permanentes e transitórios. Cursos d'água permanentes. | Corpos d'água, cursos d'água permanentes (traçado aproximado). |
| **Cobertura vegetal** | Reflorestamento, culturas permanentes e temporárias, campo. | Reflorestamento,<br>Culturas, campo. |

***Tabela 1.*** *Classes temáticas identificadas nas imagens*

Seguem alguns comentários sobre o processo de identificação das diferentes feições, nas imagens utilizadas:

**3.2.1 ELEMENTOS PLANIMÉTRICOS**. Foi possível distinguir estradas, pontes, viadutos, mas uma classificação segura das categorias de estradas de rodagem só foi viável com informação de fontes adicionais. Caminhos, trilhas e alguns trechos de linhas de energia nem sempre foram visíveis. Quanto às áreas urbanas, identificou-se parte do arruamento interno, áreas industriais, alguns prédios, espaços públicos. Limites de áreas urbanas e estradas de ferro foram bem identificados. Quanto às construções rurais, no geral estas feições foram discriminadas por causa das áreas de solo exposto existentes ao seu redor. No geral, os elementos planimétricos foram melhor identificados nas imagens do grupo A, por causa da boa resolução espacial da imagem SPOT-PAN filtrada, pertencente a este grupo.

**3.2.2 ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS**. Para o mapeamento das feições da hidrografia (rios, lagoas) foi importante a informação proveniente de fontes complementares, por existirem trechos de rios pouco definidos nas imagens; nestes casos, usou-se a representação da feição na carta antiga para guiar a digitalização. Por outro lado, algunas dúvidas sobre corpos d'água, decorrentes do pequeno tamanho destes elementos, foram eliminadas consultando-se as fotografias aéreas na escala 1:25.000, sem precisar conferir a informação no campo. Quanto à facilidade para interpretar os elementos da hidrografia, não foram encontradas diferenças significativas entre as imagens dos 3 grupos.

**3.2.3 ELEMENTOS DE VEGETAÇÃO**. Foram bem diferenciáveis, nas imagens, as áreas de vegetação densa, das áreas de culturas e das de campo com pastagem. Porém, a classificação exata do tipo de cultura teve que ser realizada com informação adicional (informação prévia sobre a região, levantamento de campo). Na interpretação dos elementos de vegetação, os três grupos de imagens demonstraram desempenhos com poucas diferenças, o que é atribuido ao fato de ter-se conseguido gerar, através das técnicas empregadas para a fusão de dados, imagens sintéticas com características espectrais basante semelhantes aos produtos multiespectrais originais.

**3.2.4 ERROS DE CLASSIFICAÇÃO DAS CARTAS ATUALIZADAS**. Para aplicar o teste de Ginevam (1979) para avaliar a exatidão da classificação temática das cartas atualizadas, foram adotados os seguintes valores de parâmetros, necessários para aplicar o teste: i) Mínima exatidão esperada dos mapas: $Q_2 = 0,85$; b) Risco do usuário: $\beta = 0,05$; estes valores são comumente usados na avaliação de mapeamentos realizados através de técnicas de Sensoriamento Remoto, e correspondem a um risco de 5% do usuário aceitar um mapa com proporção de exatidão inferior a 85%. Por motivo

semelhante ao que motivou a escolha de $Q_2$ e $\beta$, o valor de alta exatidão esperada para o mapa foi fixado em $Q_1 = 0,90$. Quanto ao risco do produtor, considerou-se razoável assumir $\alpha = 0,25$; isto significa uma probabilidade de 25% do produtor ver rejeitado um mapa seu produzido com qualidade igual ou superior a 90%. Com esses parâmetros foram encontrados os valores de N = 243 (número de amostras necessárias para realizar o teste) e X = 27 (número de erros de classificação admissíveis). Para a aplicação prática do teste foi realizada a escolha aleatória das 243 amostras de verdade terrestre a serem conferidas com a classificação feita a partir das imagens. Como dados de verdade terrestre foram utilizadas as fotografias aéreas na escala 1:25.000, não sendo necessário recorrer a qualquer trabalho de campo complementar.

A aplicação do teste de Ginevan (1979) revelou os seguintes erros de classificação. a) **Carta do grupo A** (imagens originais): 10 erros; b) **Carta do grupo B** (transformação *IHS*)**:** 8 erros; c) **Carta do grupo C** (transformada *wavelet*): 10 erros.

Todos esses valores, sendo inferiores à tolerância permitida pelo teste (X = 27) mostram o grau de eficiência das imagens escolhidas para atualizar as classes definidas no padrão adotado para o mapeamento. Entretanto, para analisar adequadamente esses resultados é necessário levar em conta que esse padrão não coincide rigorosamente com o estabelecido pelo Manual Técnico de Convenções Cartográficas (Brasil, 1975).

A seguir é realizada a análise dos resultados aqui expostos, sendo apontadas também as conclusões.

## 4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A comparação dos resultados obtidos é necessária não só para analisar qual carta atualizada atende melhor às exigências impostas pelas normas cartográficas, em termos de conteúdo informativo e de exatidão geométrica, mas também para determinar o grau de contribuição que cabe esperar da metodologia e dos materiais utilizados na procura de procedimentos alternativos que ajudem a resolver o problema da desatualização cartográfica.

### 4.1 CONTEÚDO INFORMATIVO

A respeito do conteúdo informativo, a comparação das cartas atualizadas mostra que os três grupos de imagens forneceram informação muito semelhante quanto aos elementos de cobertura vegetal predominantes na área de trabalho: reflorestamento (horto florestal com eucaliptos), cultura (cana) e campo com pastagem. Considerando que esses elementos puderam ser representados de forma completa, embora tenha sido necessário confirmar com informação adicional a natureza de algumas áreas com culturas, pode se concluir que os três grupos resultaram igualmente idôneos para separar as classes de vegetação que deviam ser reproduzidas nessas cartas.

Quanto aos elementos da hidrografia, pode-se dizer que os três grupos de imagens permitiram, de modo bastante semelhante, reconhecer e mapear os rios e corpos d'água da área de estudo, mas com fortes limitações em relação às formas dos rios principais, resultando muito importante, para o desenho aproximado destas feições, a contribuição das fontes adicionais de informação (fotografias aéreas, carta antiga).

Sobre os elementos planimétricos, em primeiro lugar cabe mencionar que a identificação e a delimitação das áreas urbanizadas foram feitas de forma bastante satisfatória a partir da informação fornecida pelos três grupos de imagens, sem que fossem encontradas grandes diferenças nos resultados obtidos. Já a identificação e a classificação de outras feições planimétricas (rede viária, linhas de alta tensão, arruamento intra-urbano, construções rurais) não puderam ser realizadas de modo completo em qualquer grupo de imagens, apesar de muitas destas classes terem sido melhor reconhecidas na imagem SPOT-PAN filtrada (grupo A).

Com respeito às avaliações da exatidão da classificação temática realizada, a quantidade de erros de classificação revelados pelo teste de Ginevan (1979) (10, 8 e 10 erros para as cartas A, B e C respectivamente frente a uma tolerância X = 27 erros) permite afirmar que as imagens de todos os grupos tiveram desempenhos altamente eficientes na detecção e representação das classes do padrão adotado para a atualização, cuja principal diferença com o padrão das normas cartográficas reside na unificação de algumas classes, realizada para adaptá-lo às limitações das imagens. Entretanto, deve-se fazer notar que o teste de Ginevan (1979) resulta mais apropriado para avaliar a classificação de feições representadas como áreas (p.ex. culturas, lagoas, áreas urbanas), sendo menos adequado para feições lineares e pontuais (rede viária, linhas de energia, construções rurais).

## 4.2 QUALIDADE GEOMÉTRICA

Em relação à qualidade geométrica conseguida, os resultados das avaliações das folhas impressas revelam que só a carta atualizada com o grupo B de imagens (produto sintético *IHS* com equalização de médias) satisfez o requisito de ter, no máximo, 10% dos pontos de controle com erros superiores à tolerância associada ao PEC Planimétrico das cartas classe A (25 m para a escala deste trabalho). Com efeito, essa carta apresentou erros maiores que 25 m em 3 pontos, sobre um total de 32. Entretanto, mesmo no caso das cartas A e C, tanto a porcentagem de pontos com erros superiores a esse valor (17,14% e 16,66%, respectivamente) quanto as magnitudes desses erros indicam uma qualidade geométrica que, correspondendo à classe B, está muito próxima do nível exigido pelas normas cartográficas para as cartas classe A. Por sua vez, convém ter presente que, antes da plotagem, os três grupos de dados vetoriais tinham uma qualidade geométrica compatível com as exigências cartográficas para a classe A, o que permite deduzir que o aumento dos erros nas folhas impressas é imputável tanto ao processo de impressão das cartas quanto às operações necessárias para obter pontos de controle sobre as folhas impressas (calibração das folhas, digitalização dos pontos).

Por outro lado, convém lembrar que as imagens utilizadas neste trabalho não tinham um nível de correção geométrica adequado para aplicações cartográficas, ao que se deve agregar, no caso da imagem SPOT-PAN, a fonte de erro representada pela visada oblíqua ($15{,}5^{o}$). Consequentemente, o nível de qualidade geométrica atingido nas três cartas pode ser atribuído à correção geométrica conseguida através das operações de registro aplicadas a essas imagens.

A análise dos resultados permite concluir que a metodologia e os materiais utilizados permitiram obter documentos cartográficos atualizados que, tanto no aspecto temático quanto no geométrico, se aproximam dos requisitos impostos pelas normas cartográficas para as cartas classe A, sem chegar a satisfazê-los totalmente. Neste sentido é importante destacar que, analisando os resultados obtidos com as avaliações realizadas, não se considera que algum dos grupos de imagens tenha primazia significativa sobre os outros. Esses resultados também confirmam que, no estágio atual, a escala 1:50.000 é, com algumas restrições nos aspectos geométrico e temático, o limite da utilidade, para fins de cartografia topográfica, das imagens orbitais de resolução média.

Para as presentes condições de trabalho, as principais vantagens decorrentes da utilização de imagens orbitais e SIGs para os fins propostos residem, então, no baixo custo (quando comparado com as fotos aéreas), na rapidez da metodologia de atualização, na alta resolução temporal das imagens e na brevidade do processo de obtenção de informação atualizada. Cabe refletir que numa época em que as mudanças se sucedem cada vez mais rapidamente essas qualidades também definem a eficiência de uma metodologia, e que a sua presença pode significar a possibilidade de realizar atualizações mais expeditas, porém mais frequentes que o permitido pela metodologia fotogramétrica tradicional. Também convém ter presente que uma carta que foi publicada há várias décadas pode induzir a enganos a usuários menos informados sobre questões cartográficas, pois tanto o conteúdo informativo como a localização das feições perdem exatidão por causa das mudanças, salvo no caso daqueles elementos que subsistiram sem ter sofrido modificação alguma.

Frente ao grave problema de desatualização que afeta a Cartografia de muitos países, cabe perguntar-se se não terá chegado o momento em que se deveria priorizar a produção rápida de cartas que forneçam informação atualizada, ainda que não se ajustem perfeitamente às exigências impostas pelas normas cartográficas para cartas topográficas classe A. Neste sentido e do ponto de vista da geometria, seria conveniente levar em conta que a legislação brasileira regulamenta também a exatidão geométrica exigida para as cartas das classes B e C (BRASIL, 1986) e como tal, prevê a produção e uso desses produtos, o qual é desejável em momentos em que não se dispõe dos recursos necessários para produzir cartas com maior padrão de qualidade. Sendo que o PEC planimétrico da classe B é fixado em 0,8 mm na escala da carta (40 m para a escala 1:50.000), resulta claro que os resultados das avaliações geométricas deste trabalho satisfazem a esse requisito de exatidão. Quanto ao conteúdo informativo, poderia ser de utilidade regulamentar normas para as cartas classe B que, sendo mais flexíveis do que as vigentes para a classe A, agrupando classes como se fez no presente trabalho, viabilizariam a aplicação de metodologias alternativas para pôr à disposição do usuário informação com menor grau de detalhe, porém atualizada com maior frequência.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro outorgado.

**BIBLIOGRAFIA**


Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia, 1986. **Cartografia e Aerolevantamento – Legislação**. Cap. II, p. 26-27. Brasília.

Brasil. Ministério do Exército. Estado Maior do Exército, 1975. **Convenções Cartográficas – Manual Técnico** 1 e 2 Parte. Brasília.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J., 1996. SPRING: Interacting Remote Sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics, 20** (3): 395-403.

Estes, J.E.; Mooneyhan, D.W., 1994. Of maps and myths. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60** (5): 517-524.

Ferreira, N.A., 1988. **Um sistema para atualização de documentos cartográficos em ambientes de microcomputadores**. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, IME. 63 p.

Ginevan, M.E., 1979. Testing land use accuracy; another look. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45** (10): 1371-1377.

Sierra F., C.; Huarajo C., E. , 2001. **Situação atual da cartografia topográfica na América do Sul**. (Relatório Final de Iniciação à Pesquisa do curso de graduação em Engenharia Cartográfica). Rio de Janeiro, IME, DE/6. 40 p.

Vergara, O.R.; Kurkdjian. M.L.N.O.; d'Alge, J.C.L.; Pereira, M.N., 2000. Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para atualização de cartas topográficas. In: **Simposio SELPER,** 9., Puerto Iguazú, Argentina. **Memorias**, Área B, Cartografia, p. 183-191.