

Suporte cartográfico digital do Sistema de Informações geográficas da Rede de Distribuição de Energia (CELESC) com Emprego de Técnicas de Sensoriamento remoto

Dra. Eugenia Karnaukhova ¹
Dr. Carlos Loch ²
M.Eng. Dalton Luiz Lemos II ³
Geog. Kênya Naoe de Oliveira ⁴

¹UFSC - Depto. de Engenharia Civil
88036-330 Florianópolis SC
genikar@bol.com.br

²UFSC - Depto. de Engenharia Civil
88036-330 Florianópolis SC
loch@ecv.ufsc.br

³UFSC - Depto. de Engenharia Civil
88036-330 Florianópolis SC
dalton@ecv.ufsc.br

⁴UFSC - Depto. de Engenharia Civil
88036-330 Florianópolis SC
knaoe@pop.com.br

Resumo: O artigo apresenta a experiência de desenvolvimento do projeto que visa à complementação estratégica do módulo do SIG-CELESC, responsável pelo cadastro e manutenção de banco de dados digitais da rede de distribuição de energia elétrica, com dados cartográficos geoambientais. O projeto desenvolvido pela equipe do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – UFSC, visa a definição e implantação da metodologia de integração de dados cartográficos em formato *raster* ao SIG vetorial da rede de distribuição da CELESC, considerando as soluções tecnológicas adequadas aos dispositivos funcionais do sistema existente e às necessidades da empresa, quanto as suas atividades comerciais e estratégicas. No decorrer do desenvolvimento dos trabalhos foi definida metodologia de integração de dados cartográficos ao sistema de dados da rede na área piloto (Municípios do Estado de Santa Catarina: Alfredo Wagner, Rio Rufino e Bom Retiro); adotadas as soluções tecnológicas para formatação e catalogação das imagens classificadas; comparada à relação do custo/benefício entre a metodologia proposta com o levantamento aerofotogramétrico exclusivo para a Empresa.

Palavras chaves: SIG, Processamento Digital de Imagens, Imagem Landsat 7 ETM+, Georreferenciamento, Área Rural.

Abstract: This article portrays the development of the project that seeks the strategic complementation of the module of GIS-CELESC, responsible for the cadaster and digital database maintenance of the electric power distribution net with cartographic geo-environmental data. The developed project by LabFSG – UFSC, seeks the definition and implantation of the integration methodology of cartographic data in raster format to vectorial GIS of the CELESC distribution net, considering the appropriate technological solutions to the functional devices of the existent system and the needs of the Company, as your commercial activities. In elapsing of the works was defined the integration methodology of cartographic data to the net system data in the pilot area (Municipal districts of the State of Santa Catarina: Alfredo Wagner, Rio Rufino and Bom Retiro); adopted the technological solutions for format and cataloguing of the classified images; compared the cost/benefit relationship among the proposed methodology with the exclusive aerophotogrametic rising for the Company.

Keywords: SIG, Digital Processing of Images, Landsat Image 7 ETM+, Image registration, Agricultural Area.

1 Introdução

O processo de implantação do SIG-CELESC iniciou priorizando áreas urbanas, onde concentra-se o maior mercado de consumidores de energia elétrica. Nestas áreas a CELESC vem contratando a aquisição maciça dos dados da rede elétrica de distribuição, na qual um dos insumos básicos é a cartografia que vem sendo adquirida através de levantamentos aerofotogramétricos.

Na área rural do Estado de Santa Catarina, a Empresa dispõe somente das cartas adquiridas pelo Governo do Estado de Santa Catarina em 1963 na escala 1:50.000, até então nenhuma vez atualizado. O mapeamento sistemático não supre, deste modo, as necessidades atuais da Empresa devido a desatualização das informações. Considerando uma série de fatores, como a relação custo-benefício, facilidade de aquisição e de processamento, a fonte mais adequada de dados para atualização de informações cartográficas e estruturação do SIG para áreas rurais são as imagens de sensoriamento remoto de resolução médio-alta.

A integração das informações cartográficas (derivadas dos dados do sensoriamento remoto) com as informações da rede de distribuição de energia (dados GPS) representa a operação chave para que o SIG efetivamente venha cumprir as suas funções comerciais, isto é: gerenciar a rede, facilitar a realização das operações e apoio ao atendimento, localização de endereços de clientes e dispositivos; produção de mapas de consumo e de mercado, etc. A integração do mapeamento da rede com o mapeamento do uso e cobertura do solo permitem determinar a configuração ideal do sistema de distribuição e prevê as ações de otimização dos investimentos a serem realizados, a melhoria no atendimento e das operações. Para isto, é indispensável visualizar o enquadramento geo-espacial da rede, poder associar a sua expansão com padrão regional da paisagem (que predetermina o comportamento do ciclo vegetativo da cobertura florística, regime hidro-climático e a interferência antrópica) e, conseqüentemente, realizar análise das tendências e previsões da demanda dos serviços.

O projeto desenvolvido pela equipe do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - Universidade Federal de Santa Catarina, visa à definição e implantação da metodologia de integração de dados cartográficos em formato *raster* ao SIG da rede de distribuição da CELESC, considerando as soluções tecnológicas adequadas aos dispositivos funcionais do sistema existente (*Vision*) e às necessidades da empresa, quanto as suas atividades comerciais e estratégicas.

2 Objetivos do projeto

Integrando as necessidades inter-institucionais da pesquisa foi determinado como objetivo principal:

Definir e implantar a metodologia de integração de dados Cartográficos ao SIG da rede de distribuição da CELESC, considerando as soluções tecnológicas adequadas aos dispositivos funcionais do sistema existente da empresa.

Em função deste entre outros objetivos específicos foram discriminados:

- a) Criação do suporte cartográfico digital de visualização *on-screen* das redes de distribuição de energia no ambiente do Sistema de Informações Geográficas – SIG.
- b) Definição da metodologia de integração dos dados cartográficos ao sistema de dados da rede na área piloto (Municípios Alfredo Wagner, Rio Rufino e Bom Retiro).
- c) Busca das soluções tecnológicas de formatação e arquitetura do catálogo de imagens para proporcionar a funcionalidade no SIG - CELESC.
- d) Identificação dos parâmetros da imagem satélite (resolução espectral, espacial, escala, requisitos de processamento, parâmetros físicos) e avaliar a sua adequação para os fins propostos, considerando a relação custo /benefício de distintos sensores.
- e) Capacitação e o treinamento especializado dos técnicos da empresa com vista a garantir a implementação contínua da metodologia desenvolvida.

3 Desenvolvimento

O processo de desenvolvimento dos trabalhos foi dividido, em essencialmente, sete etapas, cada uma atendendo às necessidades de realização dos objetivos específicos:

- 1) **Preparativa:** aquisição do material e equipamentos elaboração das principais hipóteses do trabalho; planejamento das atividades de pesquisa e avaliação das capacidades funcionais dos softwares a utilizar.
- 2) **Desenvolvimento-1:** processamento e classificação das imagens: Realização das classificações automática e supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (Maxver) das imagens de satélite Landsat-7, sensor ETM+, fusão das bandas 5, 4, 3 e 8 (pancromática) e apoio de campo para coleta de pontos de controle terrestre utilizando receptores GPS (Global Position System) .
- 3) **Desenvolvimento – 2:** realização e avaliação custo/benefício e da vetorização dos níveis de informação pertinente para banco de dados cartográficos do SIG.
- 4) **Trabalhos experimentais (fase - 1):** definição dos parâmetros adequados das imagens exploradas para os fins propostos e realização da primeira hipótese da arquitetura do banco de dados cartográficos.
- 5) **Trabalhos experimentais (fase - 2):** definição da arquitetura do banco de dados cartográficos; realização dos trabalhos de compilação e padronização dos arquivos cartográficos.
- 6) **Trabalhos experimentais (fase - 3):** descrição e finalização da metodologia de integração de dados cartográficos ao SIG da rede de distribuição de energia.
- 7) **Transferência e divulgação dos resultados:** realização dos cursos de capacitação na CELESC e publicações.

Alguns dos principais resultados da realização das respectivas etapas serão discutidos na seqüência.

Comparação custo/benefício entre a imagem de satélite Landsat-7 e CBERS

Para os fins do projeto foram adquiridas duas imagens de satélite: LANDSAT-7 e CBERS (Figura 1 e Figura 2). Cujas especificações, qualidades e custos constam nos Quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1 - Especificações dos Produtos Landsat-7 e Cbers

LANDSAT – 7	CBERS
CUSTO EM R\$	
1.000,00	200,00
RESOLUÇÃO ESPACIAL	
15m	20m
SENSOR	
ETM +	CCD XS
RESOLUÇÃO ESPECTRAL	
Banda 3: 0.63 0.69 μm	Banda 1: 0,45-0,52 μm
Banda 4: 0.76 0.90 μm	Banda 2: 0,52-0,59 μm
Banda 5: 1.55 1.75 μm	Banda 3: 0,63-0,69 μm
Banda 8: 0.52 - 0.90 μm (pancromática)	Banda 4: 0,77-0,89 μm
NÚMERO DE BANDAS	
4 (3, 4, 5 e Pancromática)	4 (1, 2, 3 e 4)
RESOLUÇÃO TEMPORAL	
16 dias	26 dias



Figura 1 : Imagem ETM+ - 7/LANDSAT referente ao mês de janeiro de 2002, Alfredo Wagner, SC

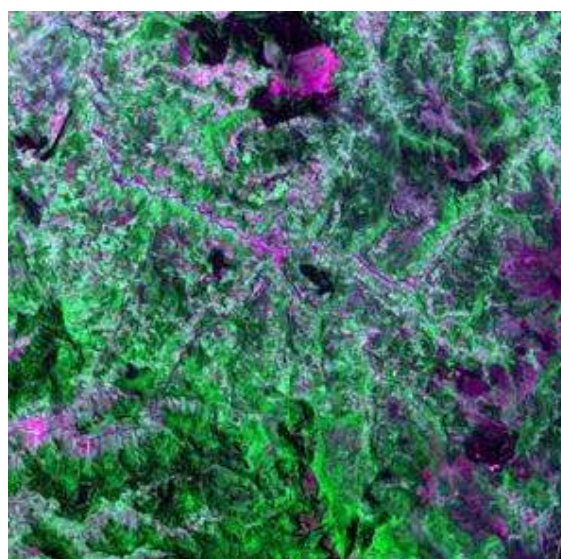


Figura 2 : Imagem CBERS: composição colorida (bandas 4, 3, 2), Alfredo Wagner, SC

Quadro 2 - Resolução Temática: adequação ao mapeamento do uso/cobertura do solo

RESOLUÇÃO TEMÁTICA*	LANDSAT-7	CBERS**
1:100 000	Adequada	Adequada
1:50 000	Adequada	Não adequada. Apesar da sua resolução espacial ser maior (20m), há menos distinção de classes, pois não dispõe de mais bandas.
1:25 000	Adequada. Apesar de ser uma escala média, com a fusão de bandas: PAN + 3 bandas, pode-se obter maior nº de classes.	Inadequada

* A resolução temática está relacionada com o número de classes que se permite diferenciar.

**Na imagem CBERS, há perda de classes quando trabalha-se com escalas de ampliação maior do que 1:100 000.

Quadro 3 - Qualidade Gráfica das Imagens

LANDSAT-7	CBERS
Maior regularidade na geometria dos pixels.	Foi observada a diferença na geometria dos pixels na imagem CBERS que, poderá, provavelmente, gerar dificuldades na vetorização temática exata.
Não apresenta ruídos na cena.	Apresentou ruídos

De um modo geral, a imagem LANDSAT-7 é de melhor qualidade com relação à imagem CBERS no que se refere à resolução temática (número de classes distintas), a qualidade gráfica (questão de ruídos e geometria dos pixels), a fusão de bandas (Pancromática + bandas).

Na etapa de composição de bandas, também se obteve um resultado melhor, referente ao número de classes que se pode diferenciar na imagem LANDSAT-7. Já na imagem CBERS o número de classes foi menor. Algumas classes misturaram-se, como por exemplo, as atividades agrícolas recentes confundiram-se com áreas urbanas e os reflorestamentos confundiram-se com sombras.

Como resultado do processamento digital das imagens pode-se constatar que, apesar da imagem CBERS (R\$ 200,00) ser menos onerosa do que a imagem LANDSAT-7 (R\$ 1000,00), os benefícios adquiridos por meio da LANDSAT-7 foram maiores em relação:

- a) à qualidade visual da imagem, pois a CBERS apresentou muitos ruídos ao longo da cena;
- b) a maior distinção entre os alvos de interesse, possibilitando um bom detalhamento sobre as áreas urbanas e rurais;
- c) a possibilidade de se trabalhar em escala maior (até 1:25 000);
- d) disponibilidade da banda 8 (Pancromática), permitindo a fusão das 4 bandas espectrais, disponibilizando um maior detalhamento sobre o uso e cobertura do solo.

5 Georeferenciamento e Correção Geométrica das Imagens

Os procedimentos de georeferenciamento consistiram na realização de trabalhos de coleta de pontos de controle terrestre utilizando receptores GPS, seleção de pontos a partir das fontes de mapeamento sistemático e teste de georeferenciamento no ambiente do software ENVI 3.5.

Os trabalhos de coleta de pontos foram divididos em três etapas consecutivas: coleta de pontos dispersos na visita de reconhecimento para orientação da área como um todo; e duas coletas planejadas de pontos.

Foram coletados um total de 20 pontos de controle terrestre com uma média de 1m de precisão planimétrica – praticamente o máximo da precisão possível devido a distância até a antena utilizada como base.

A coleta dos pontos foi planejada previamente em gabinete visando a distribuição regular da malha das observações, visando melhor acuidade do modelo de georeferenciamento. Os trabalhos em campo revelaram que devem ser tomados cuidados especiais na identificação dos locais da coleta devido à posição periférica da área dos testes e completa ausência, em algumas áreas, das placas de identificação. Na maioria das vezes optou-se pelo rastreamento dos pontos localizados sobre pontes, vista sua fácil identificação na imagem e no mapa.

Na seqüência foram realizados três testes de georeferenciamento das imagens satélite:

1. Utilizando somente pontos do mapeamento sistemático:

- a) Foram definidos de 8 à 10 pontos por folha cartográfica (um total de 10 folhas do mapeamento sistemático).
- b) A correlação das informações para georeferenciamento apresentou problemas em função das diferenças do *datum* entre as folhas que englobam o Município Alfredo Wagner e o Rio Rufino; para superação do deslocamento sistemático recorreu-se aos procedimentos estabelecidos pelas Resolução Nº 23 de 21/02/89 do IBGE.
- c) Apesar dos cuidados tomados foi possível chegar somente ao RMS de 150 m, o que não atende as exigências de precisão do produto final na escala de 1:50 000 e 1: 25 000.

2. Utilizando pontos do mapeamento sistemático e seletivamente pontos GPS:

- a) Com vista a melhorar georeferenciamento da primeira tentativa foram adicionados ao modelo alguns pontos GPS (8 no total).
- b) Foram feitos vários testes de ajustamento da malha combinada dos pontos, porém não foi atingido o resultado esperado: o RMS não superou a marca de 100 m.

3. Utilizando somente pontos GPS:

- a) Foram utilizados para georeferenciamento inicialmente 18 pontos coletados em campo no período de janeiro – abril 2003, contudo o modelo final foi fechado somente com 12 pontos.

b) Chegou-se à uma precisão de 7,5 m de RMS o que constitui um resultado ótimo para escala de mapeamento de 1:25 000, objetivo final dos testes.

c) Devido à especificidade dos resultados alcançados com cada um dos procedimentos optou-se pela realização do georreferenciamento final com uso somente dos pontos coletados em campo com GPS.

6 COMPOSIÇÃO DO CATÁLOGO DE IMAGENS-BASE

Considerando os objetivos finais do projeto, optou-se pela construção de três níveis hierárquicos de imagens-base:

1) imagens com resolução de até 30m/pixel; correspondendo às escalas aproximadas de visualização de 1: 500 000 à 1:100 000; compreendendo as imagens-base com toda a área do projeto e com a área de cada município;

2) imagens com resolução de até 30m/pixel; correspondendo às escala aproximada de visualização de 1: 50 000; compreendendo as imagens-base recortadas segundo o padrão de articulação das folhas do mapeamento sistemático na respectiva escala;

3) imagens com resolução de até 15m/pixel, resultantes da fusão das bandas da imagem Landsat – 7 ETM+; correspondendo às escala aproximada de visualização de 1: 25 000; compreendendo as imagens-base recortadas segundo o padrão de articulação das folhas do mapeamento sistemático na respectiva escala (ou ¼ da folha de 1: 50 000).

A compilação dos três níveis das imagens-base acima assinalados visa otimizar no futuro a correlação “*volume*” da imagem/resolução espacial na construção de uma arquitetura (i.e. estrutura, organização do catálogo das imagens para sua visualização seqüencial em SIG ou em um visualizador).

7 Procedimentos de vetorização para compilação dos mapas-imagem

A imagem satélite representa uma representação fidedigna da superfície terrestre no momento da sua aquisição, porem são naturalmente desprovidas dos elementos da representação cartográfica que identificam o posicionamento geográfico, topônimos e propriedades dos objetos da superfície terrestre. Portanto, para uso das imagens satélite como fontes de informação cartográfica é imprescindível a complementação das imagens-base criada com elementos do layout cartográfico: topônimos, limites municipais, elementos hídricos e rodoviários mais importantes e/ou de difícil identificação na imagem, rede de coordenadas geográficas, etc.

Visto isso, o projeto compreende como uma das suas fases experimentais a composição dos níveis de informação vetorial, em formato *.dgn, para compilação das mapas-imagens na escala de 1:50.000 (maior escala possível vista a densidade de dados originais – mapeamento sistemático) (Figura 3 e 4). Os procedimentos de vetorização obedeceram às recomendações metodológicas do IBGE (2002 – Mapoteca e Normas para Validação dos arquivos vetoriais do mapeamento sistemático) e posteriormente foram adotados às normas internas da CELESC.

O Quando 4, a seguir, identifica os principais níveis de informação vetorizados a partir das folhas do mapeamento sistemático e a completude de trabalhos realizados até então:

Para compilação dos dados vetoriais, optou-se pelo procedimento de digitalização em tela: as folhas do mapeamento sistemático foram escanizadas com uma resolução de 400x400 dpi e posteriormente georreferenciadas segundo a malha de coordenadas geográficas. O processo exige cuidados especiais na escolha do equipamento de escanização e controle de georreferenciamento.

Quadro 4 – Principais níveis de informação vetorial

Dados vetorizados	Procedimentos realizados
Limites municipais	Foram extraídos a partir dos mapas fornecidos pela Secretaria do MECOSUL; posteriormente confrontados com os fornecidos pela CELESC já em formato digital o que facilitou identificação do erro sistemático de deslocamento que ocorre em função da diferença do datum;

Topônimos	Foram introduzidos todos os principais topônimos segundo as folhas do mapeamento sistemático;
Rodovias	Foram introduzidas principais rodovias e devidamente identificadas; foi constatada a necessidade de atualização e compatibilização dos vários dos seus trechos;
Hidrografia	Foram introduzidos principais rios e devidamente identificados; foi constatada a necessidade de atualização e compatibilização dos vários dos seus trechos;
Cotas altimétricas	Foram introduzidas cotas altimétricas que marcam os pontos mais altos e mais baixos do relevo da área, que facilitam a leitura da imagem, porém não sobrecarregá-la, visto que a imagem colorida já é bastante densa de ponto de vista informativo.
Curvas de nível	Estão sendo digitalizadas as curvas de nível com eqüidistância de 500m considerando a especificidade da evolução natural do relevo e qualidade de perceptibilidade do produto final

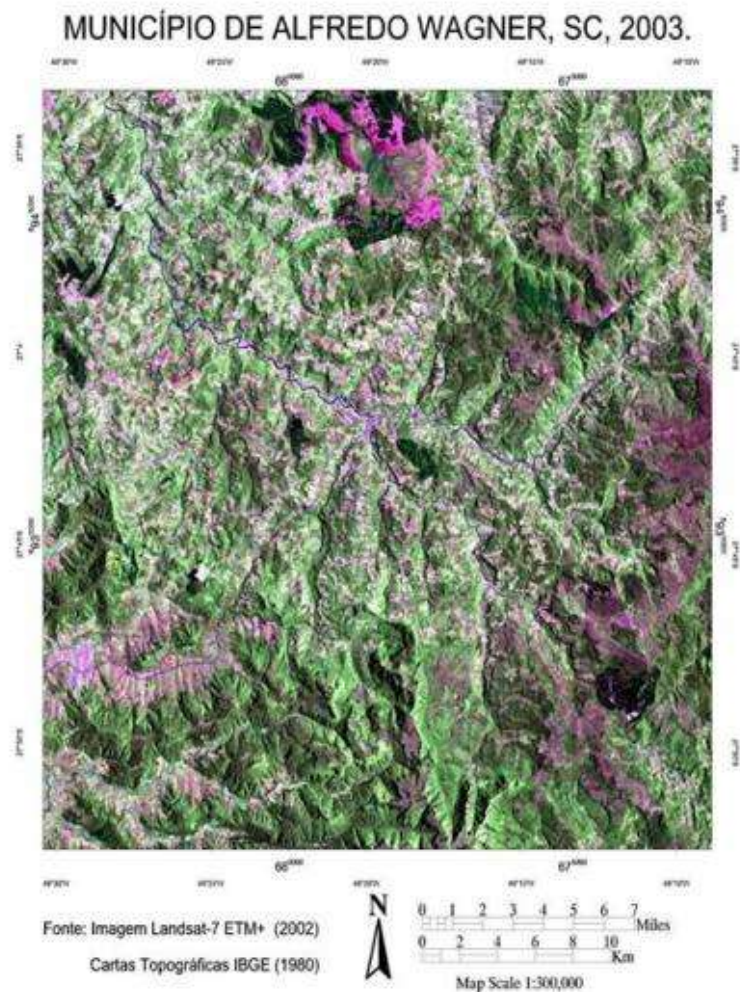


Figura 3 : Mapa Imagem

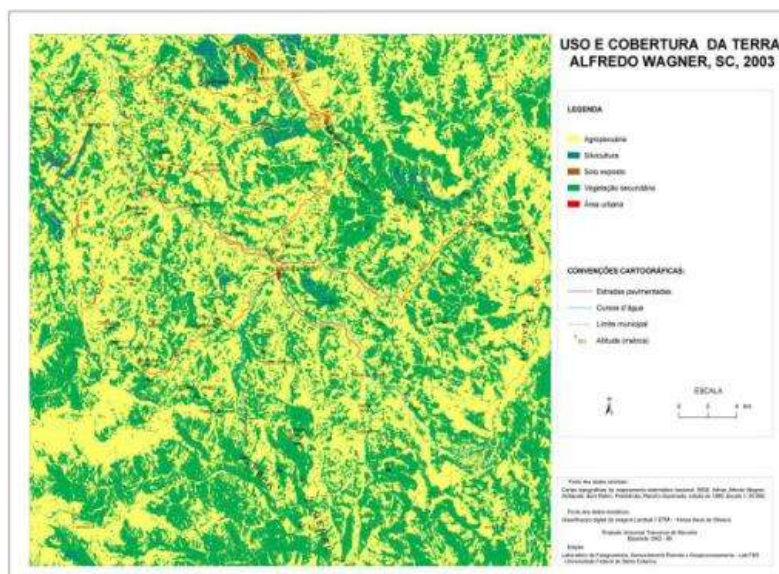


Figura 4 : Mapa Temático: Uso e cobertura da terra do Município de Alfredo Wagner

8 Conclusões e recomendações

A realização do projeto permitiu adquirir resultados benéficos do ponto de vista de integração inter-institucional e de experiência de compatibilização de resultados de processamento de produtos cartográficos digitais (em formato *raster* e vetor) em distintos sistemas de software.

O principal objetivo do projeto foi alcançado sendo definida a metodologia de integração de dados cartográficos (mapas - imagens) ao sistema de dados da rede de distribuição. Além disso, foram gerados mapeamentos digitais temáticos em formato *raster* para as demais áreas de atividades empresariais.

Terminadas as principais etapas do projeto devem ser ressaltadas seguintes recomendações para os trabalhos futuros:

- Recomenda-se que se exige o georreferenciamento das imagens satélite (quando se tratar das áreas predominantemente rurais) somente com pontos GPS, sendo excluída a possibilidade de georreferenciamento com os pontos do mapeamento sistemático, pois o último não proporciona o padrão de precisão exigido pela atual legislação.
- Recomenda-se que se presta a especial atenção ao controle de procedimentos de georreferenciamento, quanto à distribuição da malha dos pontos de controle e sua identificação exata.
- Recomenda-se que se exige como o mínimo necessário a introdução de dados vetoriais referentes à identificação das características do relevo e topônimos geográficos.
- São necessários ainda alguns testes específicos na articulação linear das imagens-base recortadas para escalas de 1:25 000, visto que foi impossível considerar nas respectivas cortes as coordenadas exatas da articulação segundo mapeamento sistemático (que compreendem a curvatura da terra); assim, em hipótese deve ser considerada a possibilidade de pequenas fendas no recobrimento contínuo, quando se tratar da respectiva escala, e a gravidade destas falhas deve ser avaliada.
- Foi observado que apesar dos recortes, que trazem a redução da abrangência espacial das imagens, o seu tamanho e MB permanece bastante elevado, o que leva à necessidade de testes com uso de computadores das imagens e/ou testes com redução da resolução gráfica das imagens, que devem revelar os impactos de tais procedimentos sobre a qualidade final das imagens.
- Os futuros testes da compatibilização dos níveis vetoriais com imagens-base e construção dos catálogos das imagens permitirão definir os requisitos metodológicos ótimos para licitação e controle de qualidade dos produtos futuros em outras áreas do Estado.

Para uma etapa final dos trabalhos ainda está prevista a realização de cursos de treinamento e capacitação dos técnicos e especialistas da empresa em metodologia desenvolvida e áreas afins.