

RBC

Número 52 - dezembro 2000

Revista Brasileira de Cartografia

NESTA EDIÇÃO

Modelagem das fontes de dados de altimetria versus altitude do terreno. E. S. de Sá

Investigação sobre integração de geotecnologias SIG e GPS em um estudo de caso

Determinação do fator de escala em estações totais e "MED" em observações de somas de ângulos

Fusion of colour and grayscale images airborne laser altimetry data for automatic classification of urban environments

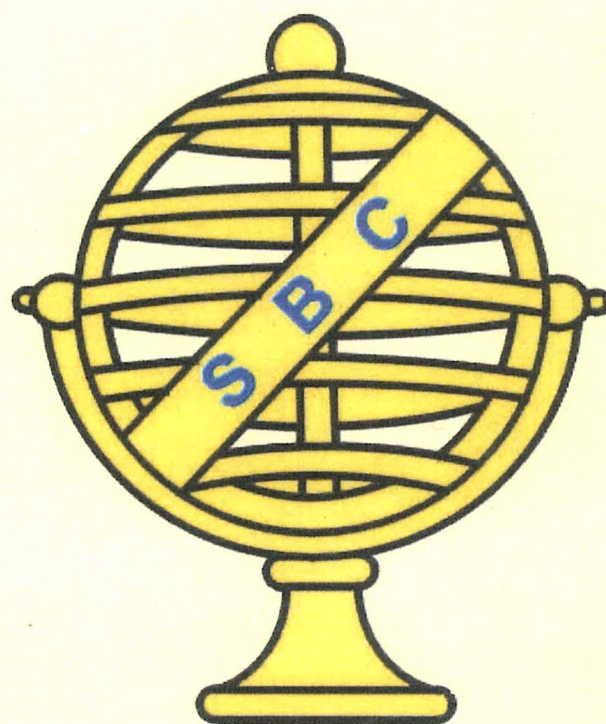
Análise espacial para determinação das propriedades pedológicas de solos

Resolução temática de imagens de alta resolução de sensores Landsat

Caracterização de MDT através de um pequeno formato

Movimento no setor de serviços cartográficos e produção cartográfica

Situação do Engenheiro Cartógrafo no mercado de trabalho



**Sociedade Brasileira de Cartografia,
Geodésia, Fotogrametria e
Sensoriamento Remoto**

EDITORIAL

Caros Associados:

Como Presidente da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - SBC, aprez-me poder em nome da Comunidade Cartográfica Brasileira, apresentar o novo número da RBC, agora organizada pelos nossos brilhantes colegas da Universidade Federal do Paraná.

As etapas para cumprir os objetivos de apresentar a essa comunidade, trabalhos técnicos do mais alto nível, não foram fáceis de serem conseguidas. O esforço e desprendimento de várias pessoas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR foram dignos dos maiores elogios. A tenacidade, competência, dedicação e o entusiasmo da equipe contagiou a todos. A SBC tem orgulho de possuir em seus quadros, tão brilhantes e dedicados profissionais; declinar nomes é desnecessário. A comunidade os conhece.

Apesar de já ter sido amplamente divulgado, é mister que se faça nova citação, sobre um fato merecedor de atenção de todos os nossos associados: a criação da Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR. O Diário Oficial da União, do dia 11 de maio de 2.000 publicou, na íntegra, o decreto de sua criação, que segue anexo a este editorial. Foi uma grande vitória obtida pela SBC, que se iniciou durante o III ENDECART, realizado no IME, em maio de 1999, através de inúmeros desdobramentos políticos que culminaram com o decreto assinado pelo Sr. Presidente da República.

Conseguimos, portanto, após vários anos de luta reativar o Sistema Cartográfico Nacional, que se encontrava totalmente desativado. Há mais de quinze anos não havia investimentos governamentais neste setor. Resta-nos, agora, realizar uma ação efetiva para que a CONCAR possa vir a receber recursos orçamentários, que permitam aos diversos segmentos integrantes de seu diversificado colegiado, proceder às suas múltiplas tarefas cartográficas específicas dos

seus 17 componentes.

Foi árdua a luta para convencer as autoridades federais de que, um país de dimensões continentais e em fase de desenvolvimento, não pode em hipótese alguma, prescindir do seu elemento fundamental de planejamento: O MAPA.

Estamos nos preparando para o nosso encontro mor, o XX Congresso Brasileiro de Cartografia, que será realizado, na cidade de Porto Alegre/RS, no período de 7 a 12 de outubro de 2001. Conclamamos a todos os nossos associados a comparecerem para abrilhantar este congresso, através de trabalhos técnicos ou mesmo como assistentes. Este evento promete ser um enorme sucesso técnico e de público. Os detalhes iniciais já estão em nossa 'home-page', mas não custa lembrar o endereço: (<http://www.rio.com.br/sbcgfsr>)

Finalizando, quero transmitir aos colegas a confiança inabalável nos destinos da Cartografia do Brasil. Havemos de continuar no 'RUMO CERTO', para dotarmos esta nação de instrumentos fundamentais ao apoio às decisões, de forma precisa e profissional buscando sempre diminuir as desigualdades sociais, ainda tão presentes, hoje, no Brasil. Lembrem-se! Agora Porto Alegre é o lugar.

Até breve.

Prof. Camillo José Martins Gomes -
Presidente da SBC

SUMÁRIO

MODELAGEM DAS FORÇAS DE RADIAÇÃO VERSUS ATITUDE DO SATÉLITE GPS. Jânia Duha	01
INVESTIGAÇÃO SOBRE INTEGRAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS SIG E GPS ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO. Silvana Cândida de Araújo, Nilton Nobuhiro Imai, João Francisco Galera Mônico	11
DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ESCALA EM ESTAÇÕES TOTAIS E MED UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE CAMPO E LABORATÓRIO. Pedro Luis Faggion, Rafael Correia de Freitas.....	20
FUSION OF COLOUR INFRARED IMAGERY AND AIRBORNE LASER SCANNING DATA IN THE AUTOMATIC CLASSIFICATION OF URBAN ENVIRONMENTS. J. B. K. Kiema, H.-P. Bähr.....	29
ANÁLISE ESPACIAL PARA A INTEGRAÇÃO DE PROPRIEDADES PEDOLÓGICAS E CLIMÁTICAS. Simone Bönisch , Gilberto Câmara, Antônio Miguel Vieira Monteiro	37
RESOLUÇÃO TEMÁTICA DE IMAGEM HÍBRIDA RESULTANTE DA FUSÃO SPOT-LANDSAT. Alzir Felipe Buffara Antunes	48
GERAÇÃO DE MDT USANDO FOTOS DE PEQUENO FORMATO. Ricardo Luis Barbosa João Fernando C. da Silva.....	57
MAPEAMENTO NA BACIA DO ALTO PARAGUAI: PROJETO E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA. Mônica M. S. Decanini, Nilton N. Imai.....	65
SITUAÇÃO DO ENGENHEIRO CARTÓGRAFO NO MERCADO DE TRABALHO. João Fernando Custódio da Silva, Alfredo Spinelli Neto	76

Diretora Executiva

Presidente: Camillo José Martins Gomes

Vice-Presidente:

Assuntos Técnico-Científicos: Alexandre Benevento Marques

Assuntos Internacionais: Walter Humberto Subiza Pina

Assuntos Estaduais: Roberto Andrade Fernandes

Administração e Finanças: Celcio de Oliveira Moreira

Secretário Geral: Cláudio Augusto Barreto Saunders

Conselho Deliberativo

Alison Vieira de Vasconcelos
Ângelo José Pavan
Cristóvão Dias de Ávila Pires Junior
Isabel de Fátima Teixeira Silva
Jacaono Batista de Lima
José Carlos Penna de Vasconcellos
Leonardo Castro de Oliveira
Luis Antônio de Andrade
Luis Henrique G. Gastiglione
Nilo Garcia Junior
Paulo Márcio Leal de Menezes
Raimundo Orlor Nunes

Conselho Fiscal

Antônio Pires de Castro
Antônio José Ferreira Machado Silva
Hanns Juergen Carl Von Studnitz
Herbert Erwes
Walter da Silva Prado
Jorge Luís Nunes e Silva Brito

COMISSÕES TÉCNICO -CIEN TÍFICAS

Hidrografia:

CMG Jair Alberto Ribas Marques
CMG Roberto Figueira Carvalho

Geodésia, Astronomia, Topografia e Agrimensura:

Eng. Cart. MSe. Nilo César Coelho
Eng^a. Cart. MSe. Kátia Duarte Pereira

Cartografia:

Ten Cel Eng. Cart. José Donizzeti Lopes Telles
1º Ten Eng. Cart. Marcos Menezes da Rocha

Fotogrametria:

Prof. Dr. Antônio Maria Garcia Tomasselli
Prof. Dr. Aluir Porfírio Dal Poz

Sensoriamento Remoto e Interpretação de Imagens:

Prof^a. Dr^a. Thelma Krug
Prof^a. Dr^a. Tânia Maria Sausen

Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial:

Prof. Dr. Juergen Philips
Prof. Dr. Jucilei Cordini

Sistemas de Informações Geográficas:

Prof. MSe. Gilberto Pessanha Ribeiro
Prof^a. Doutoranda Marli Cigagna

Formação Profissional, Ensino e Pesquisa:

Prof. Dr. Jorge Luis Nunes e Silva Brito
Prof. Dr. Íris Pereira Escobar

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA,
GEODÉSIA, FOTOGRAMETRIA E
SENSORIAMENTO REMOTO
SOCIEDADE TÉCNICA CIENTÍFICA
RECONHECIDA DE UTILIDADE PÚBLICA, SEM
FINS LUCRATIVOS

Av. Presidente Wilson, 210/7E andar
CEP 20030-021 – Rio de Janeiro/RJ – Brasil
Tel: (0 xx 21) 240-6901 Fax: (0 xx 21) 262-2823
e-mail: sbc@rio.com.br
<http://www.rio.com.br/sbcgfsr>

APRESENTAÇÃO

Com um grande e salutar orgulho, como integrantes do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, recebemos em março de 2000 o convite oficial da Sociedade Brasileira de Cartografia – SBC, para a editoração científica da Revista Brasileira de Cartografia - RBC. Uma grande responsabilidade. Porém de pronto aceitamos, condicionando a editoração à formatação e padrão de qualidade implantados pelos colegas da UNESP – Presidente Prudente, tanto que pleiteamos a permanência de um representante desta Instituição no Comitê Editorial.

Entendemos que a SBC é grande, em primeiro lugar pelo seu quadro de associados e sua história. Mas também devem ser considerados os seus meios de comunicação e intercâmbio científicos nos eventos e na RBC. Nos permitimos a expressar que esta Revista é um patrimônio inestimável da nossa comunidade e daí merecer todo nosso apreço e esforços para sua manutenção e crescimento. É clara a nossa responsabilidade.

Cabe ser ressaltado que a RBC recebeu qualificação dentro do Qualis/CAPES, a mais ampla classificação qualitativa de periódicos no Brasil, com um dos bons veículos da produção científica brasileira. Esta qualidade deve em grande parte tributada às contribuições recebidas e ao quadro de revisores altamente qualificados, em muito ampliado nesta edição, que subsidiaram os editores para a seleção e adequação dos artigos científicos a serem publicados. A todos nossos mais sinceros agradecimentos.

Destacamos que a RBC já está assumindo uma conotação internacional, conforme pode ser percebido no conteúdo das últimas edições. Entendemos ser agora necessária a ampliação do seu comitê editorial e do seu quadro de revisores com a inclusão de nomes do exterior para este passo qualitativo.

De forma marcante as dificuldades econômicas atingiram a nossa SBC. Ao par de grandes esforços da sua diretoria no sentido de reformulação da Sociedade e racionalização da aplicação de seus recursos, em vista da necessidade de honrar compromissos assumidos e manutenção de suas atividades. Assim, foi fundamental para esta edição a participação da comunidade empresarial e da UFPR no patrocínio da edição. A estas entidades a nossa sincera expressão de gratidão.

Os Editores:

Sílvio Rogério Correia de Freitas – UFPR
Edson Aparecido Mitishita – UFPR
João Francisco Galera Monico – UNESP – PP
Jorge Silva Centeno – UFPR
Luís Augusto Koenig Veiga - UFPR

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

30 Anos Dedicados à Pesquisa, Ensino e Formação Profissional em Ciências Geodésicas

Em seus trinta anos de existência, o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas formou, até o ano de 2000, 151 Mestres e 19 Doutores. Os seus egressos, atuam em todas as Instituições de Ensino de Ciências Geodésicas e nas mais diversas empresas públicas e privadas da área no País.

DOUTORADO: Geodésia e Fotogrametria/Sensoriamento Remoto

MESTRADO: Geodésia, Fotogrametria e Cartografia/SIG*

* Previsão de implantação do Doutorado em 2003

PROJETOS DE PESQUISAS

Base de dados geodésicos; Otimização de levantamentos geodésicos; Posicionamento e navegação baseada em técnicas espaciais; Controle de qualidade nas medidas e levantamentos fotogramétricos e remotos, Desenvolvimento de técnicas de levantamentos aerofotogramétricos de baixo custo a partir de imagens digitais, Processamento digital de imagens de sensores remotos de alta resolução e aplicações, Desenvolvimento de sistemas especialistas para a cartografia, visualização cartográfica e sistemas de informações geográficas.

Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências da Terra – Departamento de Geomática -
Centro Politécnico – Bloco VI – Caixa Postal 19001 – Curitiba – Pr
CEP: 81531-990 - Fones: 41-361-3153/361-3150 - Fax: 41-361-3164
e-mail: cpgcg@geoc.ufpr.br
<http://www.geoc.ufpr.br>

O Espaço sem Fronteiras

XX Congresso Brasileiro de Cartografia

IX Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura

VIII Conferência Íbero-Americana de SIG

ISPRS – WG 1 & 3 Seminário Latino-Americano em Educação e Transferência de Tecnologia em Fotogrametria, SR e SIE

*Centro de Eventos
da PUCRS –
CEPUC*

*De 7 a 12 de
outubro de 2001*

Porto Alegre

Rio Grande do Sul

Brasil

MODELAGEM DAS FORÇAS DE RADIAÇÃO *VERSUS* ATITUDE DO SATÉLITE GPS

Jânia Duha

Universidade Federal do Paraná,
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática,
CEP 81531-990 Caixa Postal 19011 - Curitiba, Brasil
jduha@geoc.ufpr.br

RESUMO

As efemérides altamente precisas dos satélites do Sistema Global de Posicionamento (GPS), necessárias para as modernas aplicações geodésicas, são obtidas a partir de modelos de força acurados que incluem todas as forças não-gravitacionais significativas para os satélites GPS. Com o aumento das altitudes orbitais e o progresso da tecnologia de satélites artificiais, que possibilitou a construção de satélites com sistemas ativos de controle de atitude, perturbações orbitais devidas a forças de radiação, como a pressão de radiação e a re-emissão térmica tem sido incluídas no cálculo das órbitas de satélites GPS. Este trabalho apresenta um estudo das forças de radiação solar dentro do contexto do GPS. As forças de radiação solar direta resultam da interação da radiação solar com o satélite GPS: pressão de radiação, re-emissão térmica e Poynting-Robertson. O efeito Poynting-Robertson surge quando o efeito Doppler é levado em consideração na análise da absorção-re-emissão de radiação pelo satélite. Trata-se de uma correção relativística para a força de re-emissão térmica, e não deve ser associado com a pressão de radiação porque quando trabalha-se com esta última lida-se apenas com a porção da energia radiante que é refletida. Os modelos ROCK4 e ROCK42 são comparados com o modelo PE (plano-esférico) que assume propriedades uniformes na superfície do satélite. Obtêm-se as forças de pressão de radiação solar, re-emissão térmica e Poynting-Robertson em função do ângulo B entre o Sol e o eixo $+Z$ ao longo das antenas do satélite GPS.

ABSTRACT

To generate the highly precise ephemerides of Global Positioning System (GPS) satellites necessary for modern geodetic applications, one must have an accurate force model that includes all the non-gravitational forces significant for the GPS satellites. With increasing orbital altitudes and progressive satellite technology, that provides active satellite systems of attitude control, radiation disturbing forces such as radiation pressure and thermal reemission has been included on GPS satellites orbits. This work takes into account the direct radiation forces for the GPS satellites. The direct radiation forces results from the interaction of the solar radiation with the spacecraft: radiation pressure, thermal reemission and Poynting-Robertson. The Poynting-Robertson effect appears when one takes into account the Doppler effect in the analysis of the absorption-reemission of radiation by the satellite. It is a relativistic correction for the thermal reemission force, and should not be associated with the radiation pressure because this last one deals only with the reflected radiation. The ROCK4 and ROCK42 models are compared with the PE model (plane-spherical) that assumes uniform surface properties over the satellite. WE obtain the radiation solar pressure, thermal reemission and Poynting-Robertson forces as a function of the angle B between the Sun and the $+Z$ axis along the GPS satellite's antenna.

Palavras chaves: Pressão de Radiação, Reemissão Térmica, Poynting-Robertson, GPS.

1. INTRODUÇÃO

A primeira força não-gravitacional a ser observada foi o efeito do arrasto atmosférico, o qual influenciou consideravelmente a órbita dos primeiros satélites de baixa altitude. Atualmente cresce o número de satélites com altitudes orbitais muito acima dos 1.000 km (6.000 km para os LAGEOS; e 20.000 km para o GPS) e torna-se cada vez mais necessário levar em consideração as forças de perturbação associadas à radiação solar (radiação direta) assim como, as forças de radiação indiretas associadas a energia radiante refletida pela Terra (*albedo*).

Para os satélites GPS, que possuem um formato irregular, a modelagem das forças de pressão de radiação e re-emissão térmica torna-se complicada. O satélite GPS é um satélite estabilizado em três eixos com formato complexo possuindo reflexão e absorção características diferentes para cada superfície. Em geral, um sistema de coordenadas fixo no corpo do satélite é introduzido. O eixo + Z encontra-se ao longo das antenas do satélite GPS e está orientado em direção a Terra. O eixo Y encontra-se ao longo do eixo dos painéis solares e, é perpendicular ao plano Terra-Sol-satélite; seu lado positivo é escolhido de forma que o sistema seja destrógiro. O eixo X completa o sistema de coordenadas e, + X encontra-se orientado sempre, ao longo do semi-plano que contém o Sol, conforme a Figura 1.

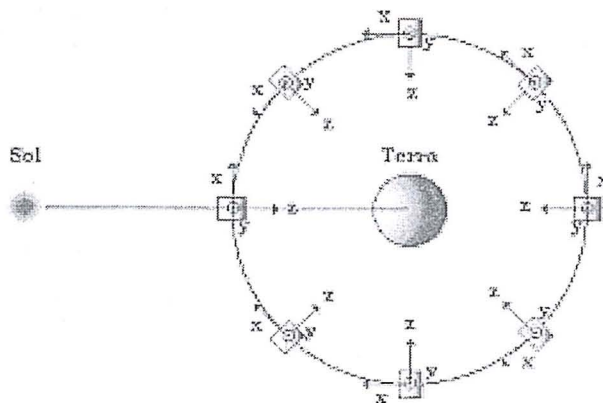


Fig. 1 – Sistema de coordenadas cartesianas fixo no satélite GPS.

As forças de radiação, de forma geral, dependem fundamentalmente, da área da seção reta do satélite em relação a direção de incidência dos raios solares. Esta área sofre alterações constantes durante a revolução do satélite em torno da Terra.

O ângulo de incidência da radiação nas diferentes superfícies que compõe o satélite, também, é alterado. Algumas partes do veículo serão sombreadas

por outras partes, etc. Portanto, o cálculo das forças de perturbação no satélite costuma ser realizado separadamente para cada uma das superfícies do satélite (plana ou cilíndrica).

Atualmente, a modelagem da pressão de radiação solar é realizada utilizando como base o modelo Porter (1976) fornecido pela Rockwell International companhia responsável pelos satélites GPS dos Blocos I e II. Os programas que utilizam este modelo são chamados de ROCK4 (Fliegel *et al.*, 1985) para o Bloco I e ROCK42 (Fliegel and Gallini, 1989) para o Bloco II.

Os modelos Rockwell tratam a pressão de radiação no sistema de coordenadas do próprio satélite descrito acima. A atitude do satélite é controlada de forma que o satélite seja manobrado cada vez que esta configuração sofre alterações.

Devido a condição, de que o Sol deve estar no plano de simetria do satélite GPS (condição de posicionamento do eixo Y) a pressão de radiação terá componentes apenas nas direções X e Z. Porém, pode ser comprovada através de observação a existência de uma força na direção Y, conhecida como “Y-bias”. São apontadas três possíveis causas para o Y bias:

- 1) os painéis solares não se encontram alinhados em relação ao corpo do satélite e ao eixo Y de forma que, o ângulo de incidência dos raios solares não é igual a zero;
- 2) os sensores solares não estão perfeitamente alinhados com o eixo Z. Desvios angulares de 0,5° a 1° podem explicar as acelerações transversais associadas ao Y-bias (Fliegel *et al.*, 1985);
- 3) o calor gerado pelo corpo do satélite é irradiado preferencialmente do lado + Y.

Para o Bloco I e II os lados anterior (+ Z) e posterior (- Z) do satélite são “planos”. O lado + X e os painéis solares são tratados como planos apesar de serem na verdade, superfícies curvas. Alguns componentes são tratados como cilíndricos embora na verdade sejam superfícies cônicas, como por exemplo a antena (TT&C). Os adaptadores das antenas de navegação são considerados cilíndricos e as antenas são tubos transparentes contendo elementos helicoidais e seu efeito pode ser negligenciado.

Desta forma a modelagem das forças de radiação, em geral, é complexa e exige o conhecimento não apenas de dados referentes a área e coeficientes de refletividade e especularidade (pressão de radiação) mas, também, dados precisos de: orientação de cada um destes componentes na superfície do satélite; temperatura, densidade, calor específico, condutividade térmica, emissividade, etc. (re-emissão térmica).

TABELA 1. DIMENSÕES E PARÂMETROS ÓTICOS
BLOCO I – CORPO

Componentes	Área (m ²)	μ	ν	α
Lateral-body + X	1,055	0,80	0,50	0,50
Posterior-body (-Z)	0,816	0,80	0,86	0,14
Lateral-engine	0,570	0,75	0,86	0,14
Posterior-engine (-Z)	0,694	0	0	1
TT&C Lateral-antena	0,055	0,05	0,28	0,72
TT&C Ponta-antena	0,019	0,85	0,28	0,72
Adaptador-antena	0,029	0,75	0,36	0,64
Anterior-body (+Z)	1,510	0,75	0,86	0,14
Média proporcional	4,748	0,652	0,642	0,358

TABELA 2. DIMENSÕES E PARÂMETROS ÓTICOS
BLOCO I – PAÍNÉIS

Componentes	Área (m ²)	μ	ν	α
Painéis solares	5,583	0,85	0,23	0,77
Mastros	0,470	0,85	0,85	0,15
Média proporcional	6,053	0,85	0,278	0,722

TABELA 3. DIMENSÕES E PARÂMETROS ÓTICOS
BLOCO II – CORPO

Componentes	Área (m ²)	μ	ν	α
Lado + X	1,553	0,20	0,56	0,44
Posterior-body (-Z)	2,152	0,20	0,56	0,44
Lateral-engine	0,649	0,20	0,56	0,44
Posterior-engine (-Z)	0,729	0	0	1
TT&C antena	0,105	0,20	0,28	0,72
Adaptador-antena	0,181	0,20	0,36	0,64
Anterior-body (+Z)	2,881	0,20	0,56	0,44
Média proporcional	7,521	0,20	0,551	0,449

TABELA 4. DIMENSÕES E PARÂMETROS ÓTICOS
BLOCO II - PAÍNÉIS

Componentes	Área (m ²)	μ	ν	α
Painéis solares	10,866	0,85	0,23	0,77
Mastros	0,985	0,41	0,52	0,48
Média proporcional	11,851	0,813	0,254	0,746

Neste trabalho propomos uma modelagem plano-esférica (PE) que trata o problema de forma simplificada. Os painéis são planos e o corpo do satélite é uma esfera. O raio R da esfera é igual a área média da seção reta do satélite GPS. Para os coeficientes de refletividade (ν), especularidade (μ) e absorvidade (α) obtêm-se uma média proporcional a área de cada um dos componentes do satélite listados nas Tabelas 1,2,3 e 4, com exceção das antenas (destacadas em cinza) que não foram consideradas para este cálculo.

2. PRESSÃO DE RADIAÇÃO SOLAR

A pressão de radiação solar é definida completamente ao associar-se a cada superfície do satélite um formato (plano, cilíndrico ou esférico), uma área e dois parâmetros óticos: a refletividade (ν), cujos valores estão entre 0 (preto) e 1 (branco); e a especularidade (μ), com valores de 0 (difuso) a 1 (especular).

A força de pressão de radiação solar pode ser decomposta em três componentes: “normal”, “tangencial” e “difusa”, conforme o modelo matemático oficial para os satélites GPS (Porter, 1976, Rockwell International, 1983) dadas pelas equações abaixo:

$$\mathbf{F}_N = -f \frac{I}{c} \int_{A_{ef}} (1 + \mu_i \nu_i) \cos^2 \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_A \quad (1)$$

$$\mathbf{F}_T = -f \frac{I}{c} \int_{A_{ef}} (1 - \mu_i \nu_i) \sin \beta_i \cos \beta_i dA_i \cdot \mathbf{n}_i \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_D = -f \frac{I}{c} \int_{A_{ef}} \frac{2}{3} \nu_i (1 - \mu_i) \cos \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_A \quad (3)$$

Onde

- i índice da superfície
- f função sombra
- I irradiância da fonte de energia (fluxo de energia)
- c velocidade da luz
- μ coeficiente de especularidade

v	coeficiente de refletividade
β	ângulo de incidência da radiação solar
\mathbf{n}_A	versor normal ao elemento de superfície dA_i
\mathbf{n}_t	versor tangente ao elemento de superfície dA_i
dA	elemento de superfície
A_{ef}	área efetiva

A componente "normal" é perpendicular à superfície. Ela é produzida pela componente normal da radiação incidente somada à força de recuo produzida pela parte do feixe que é refletida especularmente.

A componente "tangencial" é tangente à superfície e aponta na direção contrária a do Sol. É produzida pela componente tangencial da radiação incidente subtraída da componente refletida especularmente. E a componente "difusa" aponta para a direção normal, porém seu efeito é apenas dois-terços da componente "normal" (refletida especularmente).

Assumindo que é possível associar ao satélite GPS uma esfera (esfera equivalente) com área de seção reta igual a área média da seção reta do corpo do satélite GPS, integra-se as equações (1), (2) e (3) para uma superfície esférica, iluminada por uma fonte de radiação pontual no infinito (raios incidentes paralelos), com ângulo de incidência da radiação solar igual à β , tem-se que

$$\cos \beta = p \cdot p' \quad (4)$$

onde \mathbf{p} é o versor-direção do ponto $P(\theta, \phi)$ na superfície da esfera, e \mathbf{p}' o versor-direção da fonte de energia radiante no ponto $P'(\theta', \phi')$:

$$\mathbf{p} = \sin \theta \sin \phi \mathbf{x} + \cos \theta \mathbf{y} + \sin \theta \cos \phi \mathbf{z} \quad (5)$$

$$\mathbf{p}' = \sin \theta' \sin \phi' \mathbf{x} + \cos \theta' \mathbf{y} + \sin \theta' \cos \phi' \mathbf{z} \quad (6)$$

O elemento de área dA e o versor \mathbf{n}_A normal à superfície A são dados por:

$$dA = R^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (7)$$

$$\mathbf{n}_A = \sin \theta \sin \phi \mathbf{x} + \cos \theta \mathbf{y} + \sin \theta \cos \phi \mathbf{z} \quad (8)$$

Da condição de simetria do eixo Y em relação ao Sol tem-se que $\theta' = \pi/2$. Pode-se atribuir um valor qualquer a coordenada ϕ' sem perda de generalidade uma vez que a esfera é um corpo perfeitamente simétrico. Assume-se que $\phi' = \pi/2$ de tal forma que

$$\cos \beta = \sin \theta \sin \phi \quad (9)$$

Os coeficientes de refletividade e especularidade serão iguais em todos os pontos da superfície e as equações (1) (2) e (3) se transformam em:

$$\mathbf{F}_{1,N} = -f \frac{I}{c} (1 + \mu v) \int_{A_{ef}} \cos^2 \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_A \quad (10)$$

$$\mathbf{F}_{1,T} = -f \frac{I}{c} (1 - \mu v) \int_{A_{ef}} \sin \beta_i \cos \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_t \quad (11)$$

$$\mathbf{F}_{1,D} = -f \frac{I}{c} \frac{2}{3} v (1 - \mu) \int_{A_{ef}} \cos \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_S \quad (12)$$

A componente "tangencial" da pressão de radiação se anula quando integrada sobre a superfície efetiva (iluminada). Para as componentes "normal" e "difusa" tem-se:

$$\int_{A_{ef}} \cos^2 \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_A = \int_0^\pi \int_0^\pi \sin^2 \theta \sin^2 \phi \cdot R^2 \sin \theta \cdot d\theta \, d\phi (\sin \theta \sin \phi \mathbf{x} + \cos \theta \mathbf{y} + \sin \theta \cos \phi \mathbf{z}) \quad (13)$$

Onde as componentes \mathbf{y} e \mathbf{z} se anulam, restando apenas a componente \mathbf{x} :

$$\int_{A_{ef}} \cos^2 \beta_i \cdot dA_i \cdot \mathbf{n}_A = \left(\frac{\pi R^2}{2} \right) \mathbf{x} \quad (14)$$

Dadas as condições iniciais para a posição do Sol ($\theta' = \pi/2$ e $\phi' = \pi/2$), tem-se que $\mathbf{x} = \mathbf{n}_\Theta$, e portanto:

$$\mathbf{F}_{1,N} = -f \frac{AI}{c} (1 + \mu v) \mathbf{n}_\Theta \quad (15)$$

Através de procedimento semelhante obtém-se a componente "difusa":

$$\mathbf{F}_{1,D} = -f \frac{4}{9} \frac{AI}{c} v (1 - \mu) \mathbf{n}_\Theta \quad (16)$$

onde A é a área da seção reta da esfera e \mathbf{n}_Θ é o versor que aponta do satélite na direção do Sol. Para superfícies planas a pressão de radiação é dada por:

$$\mathbf{F}_{2,N} = -\frac{AI}{c} (1 + \mu v) \cos^2 \beta \mathbf{n}_A \quad (17)$$

$$\mathbf{F}_{2,T} = -\frac{AI}{c} (1 - \mu v) \sin \beta \cos \beta \mathbf{n}_t \quad (18)$$

$$\mathbf{F}_{2,D} = -\frac{2}{3} \frac{AI}{c} v (1 - \mu) \cos \beta \mathbf{n}_A \quad (19)$$

onde

A área da superfície plana

Para o caso particular dos painéis do satélite GPS o ângulo de incidência β_i é igual a zero para todos os pontos, uma vez que os painéis encontram-se sempre voltados para o Sol, e portanto, as componentes da força de pressão de radiação nos painéis são dadas por:

$$F_{2,N} = -\frac{AI}{c}(1 + \mu\nu) \mathbf{n}\Theta \quad (20)$$

$$F_{2,D} = -\frac{2AI}{3c}\nu(1 - \mu) \mathbf{n}\Theta \quad (21)$$

onde, $F_{2,T} = 0$.

2.1 CÁLCULO DAS COMPONENTES X E Z DA FORÇA DE PRESSÃO DE RADIAÇÃO

A força total (corpo + painéis) da pressão de Radiação Solar (RS) que atua no satélite GPS é dada por:

$$F_{RS} = F_{1,N} + F_{1,D} + F_{2,N} + F_{2,D} \quad (22)$$

As componentes F_X e F_Z no referencial do satélite GPS são:

$$F_X = -F_{RS} \sin B \quad (23)$$

$$F_Z = -F_{RS} \cos B \quad (24)$$

onde

- B arcos $(\mathbf{z} \cdot \mathbf{r}_{S_s})$, com $\mathbf{r}_{S_s} = -\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}_S$
- \mathbf{z} versor na direção + Z
- \mathbf{r} versor-posição do satélite (sistema de referência centrado na Terra)
- \mathbf{r}_S versor-posição do Sol
- \mathbf{r}_{S_s} Versor-posição que aponta do satélite para o Sol

2.2 FUNÇÕES APROXIMADAS PARA A FORÇA DE PRESSÃO DE RADIAÇÃO

As forças F_X e F_Z podem ser representadas de forma aproximada em função do ângulo B entre o Sol e o eixo + Z. Para os modelos ROCK4 e ROCK42 onde todas as componentes do corpo e dos painéis são consideradas separadamente, as fórmulas seguintes são conhecidas como "versão S" (modelo "Standart", sem re-emissão térmica) e fornecem a força em unidades de 10^{-5} N (Fliegel & Gallini, 1989):

Modelo S10 - Bloco I

$$F_X = -4,34 \sin(B) + 0,1 \sin(2B + 1,1) - 0,05 \cos(4B) + 0,06 \quad (25)$$

$$F_Z = -4,34 \cos(B) + 0,17 \sin(2B - 0,4) - 0,05 \sin(4B) - 0,06 \quad (26)$$

Modelo S20 - Bloco II

$$F_X = -8,10 \sin(B) + 0,05 \cos(2B) - 0,056 \sin(4B + 1,4) + 0,07 \quad (27)$$

$$F_Z = -7,80 \cos(B) + 0,024 \sin(2B - 0,8) - 0,047 \sin(4B + 0,9) + 0,02 \quad (28)$$

onde, o ângulo B é dado em radianos.

No item 3 é feita uma comparação entre as componentes F_X e F_Z , da força de pressão de radiação solar direta, dadas pelas funções aproximadas do modelo ROCK4 e ROCK42 e os valores obtidos através do modelo plano-esférico.

3. RE-EMISSÃO TÉRMICA

A Figura (2) mostra esquematicamente a absorção e posterior re-emissão da energia radiante incidente em um corpo esférico. A temperatura na superfície do satélite não é a mesma para todos os pontos, gerando uma perda de momento maior no "lado quente" do satélite e como consequência surge uma força F conhecida como força de Re-emissão Térmica.

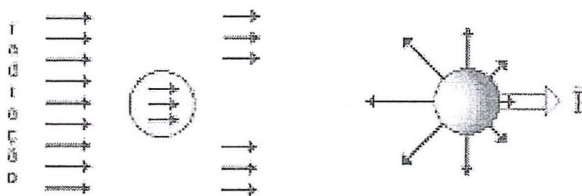


Fig. 2 - Força de re-emissão térmica.

Quando o satélite se encontra em movimento com relação a fonte de energia, seja de rotação ou de translação, a direção da força térmica será desviada de um certo ângulo δ conhecido como ângulo de atraso. O ângulo de atraso está relacionado à inércia térmica do corpo que faz com que a energia absorvida não seja reemitida instantaneamente, mas após um certo lapso de tempo. Costuma-se utilizar um referencial cartesiano centrado no satélite para a análise das componentes da força térmica e ângulo de atraso. Neste referencial o eixo Z coincide com o eixo de rotação do satélite e os eixos X e Y com direções arbitrárias, conforme a Figura (3).

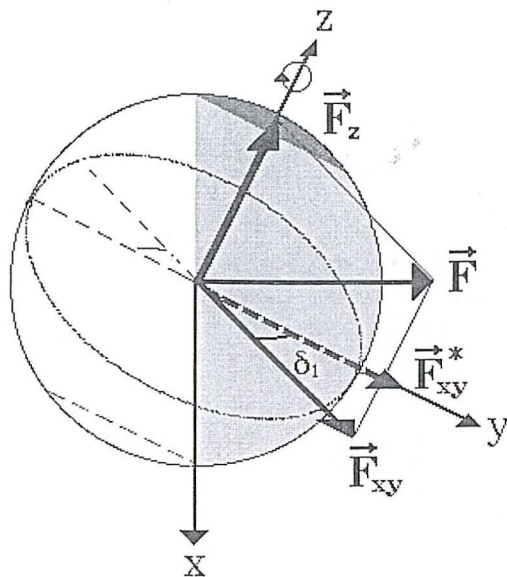


Fig. 3 - Componentes da força de re-emissão térmica no referencial cartesiano associado ao eixo de rotação do satélite. Neste referencial o eixo Z é o eixo de rotação. O movimento de rotação e a inércia térmica do satélite geram um ângulo de atraso δ_1 que altera a direção da força F_{xy}^* para F_{xy} .

O efeito térmico tem recebido vários nomes na literatura, entre eles: "photon thrust", "thermal drag", efeito Yarkovsky (Afonso *et al.*, 1989; Rubincam *et al.*, 1997; Rubincam, 1990), etc. E sua componente equatorial F_{xy} é conhecida por efeito noite-dia, "diurnal effect", etc.; e a componente ao longo do eixo de rotação F_z é conhecida como efeito inverno-verão, "seasonal effect", etc. A terminologia "efeito diurno" e "efeito sazonal" não é adequada pois ela implica num efeito sensível apenas durante o dia, ou durante certas estações, o que não ocorre. A componente F_{xy} da força de re-emissão é chamada de componente "noite-dia" pois está associada a diferença de temperaturas entre a noite e o dia, e de forma semelhante a componente F_z é chamada de componente "inverno-verão" pois está associada a diferença de temperaturas que surge na superfície de um corpo quando seu eixo de rotação se encontra inclinado (ou seja, não é perpendicular) em relação a fonte de calor, resultando na existência de estações que se repetem durante um ciclo orbital.

Para o caso do satélite GPS cuja atitude é mantida aproximadamente constante, é necessário analisar a atitude do corpo e dos painéis separadamente, e a análise do problema deverá ser realizada no sistema cartesiano de referência do próprio GPS. A condição de que o eixo + Z deve apontar sempre em direção à Terra estabelece a existência de uma rotação do corpo do satélite no mesmo sentido e com mesmo período de seu movimento orbital. Esta rotação se dá em torno do eixo W do sistema de referência RSW (radial, transversal e normal a órbita), porém com o objetivo de simplificar a

análise assume-se que $+Y = +W$ (ou seja, o Sol no plano orbital do satélite) de tal forma que, o eixo de rotação do corpo em relação ao Sol é o eixo Y. Neste caso, o módulo da aceleração é dado por (Duha, J., 1996; 2000):

$$a_1 = - \frac{\alpha_1 I_0}{6 c \rho_l R \left(1 + \frac{k_1 X}{4 \epsilon_1 \sigma T_0^3} \right) \left(1 + \xi^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (29)$$

onde

α	absorvidade de radiação na superfície do satélite
ρ	densidade
R	raio da esfera equivalente
k	condutividade térmica
ϵ	emissividade de radiação na superfície
σ	constante de Stefan-Boltzmann
T_0	temperatura média na superfície associada à irradiação I_0
ξ	tangente do ângulo de atraso δ

As componentes a_x e a_z da aceleração de re-emissão térmica no sistema de referência (XYZ) do satélite GPS são dadas por:

$$\begin{aligned} a_{1,x} &= a_1 \sin(B - \delta), \\ a_{1,z} &= a_1 \cos(B - \delta), \end{aligned} \quad (30)$$

onde, δ é o ângulo de atraso dado pela seguinte expressão:

$$\delta = \arctan \left(- \frac{k_1 Y}{4 \epsilon_1 \sigma T_0^3 + k_1 X} \right) \quad (31)$$

onde, X e Y são, respectivamente, a parte real e imaginária do número complexo $X + iY$ dado pela Equação abaixo:

$$X + iY = \frac{1}{j_l(KR)} \left. \frac{\partial j_l(KR)}{\partial R} \right|_{R=R_s} \quad (32)$$

Para os painéis a força de re-emissão térmica é obtida integrando-se a Equação (33) sobre a superfície plana do painel (anterior e posterior):

$$\int_{\text{área}} d\mathbf{F} = - \frac{2 \epsilon \sigma}{3c} T^4 \int_{\text{área}} d\mathbf{A} \quad (33)$$

$$\mathbf{F} = - \frac{2 \epsilon_2 \sigma}{3c} \Delta T^4 A_2 \mathbf{n}_\Theta \quad (34)$$

onde

ε_2	emissividade na superfície do painel
T	temperatura na superfície do painel
ΔT	diferença de temperatura entre o lado frontal e posterior do painel
dA	vetor elemento de área
dF	elemento de força associado a dA
A_2	área do painel

A aceleração devida à re-emissão térmica nos painéis é dada por:

$$a_2 = F_2 / M \quad (35)$$

onde, M é a massa do satélite.

As componentes a_x e a_z da aceleração de re-emissão térmica no sistema de referência (XYZ) do satélite GPS são dadas por:

$$\begin{aligned} a_{2,x} &= \pm a_2 \sin B \\ a_{2,z} &= -a_2 \cos B \end{aligned} \quad (36)$$

A aceleração total resultante é obtida através da adição das acelerações devidas ao corpo e aos painéis do satélite:

$$a_x = a_{1x} + a_{2,x} \quad (37)$$

$$a_z = a_{1,z} + a_{2,z} \quad (38)$$

4. POYNTING-ROBERTSON

A Figura (4) mostra como a energia radiante incidente é absorvida por um corpo esférico (caso ideal: $\alpha = \varepsilon = 1$) e a seguir é reemitida. No caso a) o corpo não se encontra em movimento e a re-emissão da energia gera uma perda de momento igual em todas as direções. Neste caso, a força resultante é nula. No caso b) o corpo está em movimento e a perda de momento é mais intensa na direção em que o corpo se desloca devido ao efeito Doppler que aumenta a frequência dos fótons emitidos no sentido do movimento e diminui no sentido contrário, gerando uma força resultante diferente de zero. O efeito desta força, é dissipativo, pois seu sentido é sempre contrário a velocidade orbital do satélite, e ele é conhecido como efeito Poynting-Robertson:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = -\frac{dm}{dt} \mathbf{v} \quad (39)$$

Na Figura (4) não são feitas considerações à respeito da distribuição de temperaturas na superfície do corpo. Para facilitar a compreensão do efeito é feita a suposição de que a temperatura é igual em todos os pontos na esfera no momento da re-emissão, ou seja, a

assimetria na perda de momento se deve apenas ao efeito Doppler. É evidente, que numa situação real de absorção e re-emissão de energia, haverá duas assimetrias sobrepostas: uma devida a anisotropia na distribuição de temperaturas na superfície, e outra devida ao efeito Doppler.

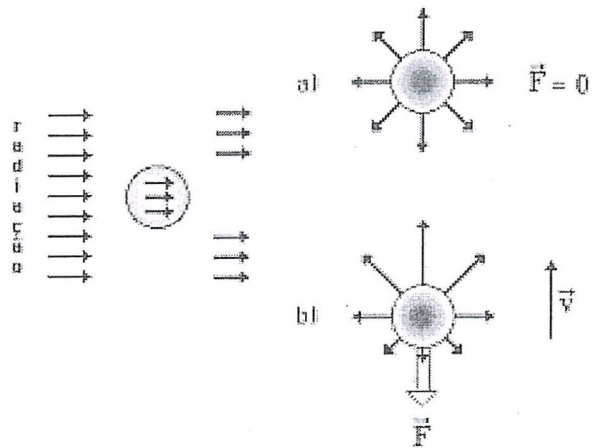


Fig. 4 – Força Poynting-Robertson.

A perda de momento equivale a uma perda de massa que é proporcional a energia absorvida pelo satélite conforme a Figura (5):

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= I A = \frac{dm}{dt} c^2 \\ \frac{dm}{dt} &= \frac{I A}{c^2} \end{aligned} \quad (40)$$

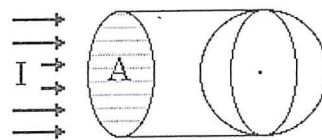


Fig. 5 - Fluxo de energia absorvido por um corpo com área de seção reta igual a A .

E portanto, a força é dada pela seguinte expressão:

$$\mathbf{F} = -\left(\frac{I A}{c^2}\right) \mathbf{v} \quad (41)$$

No entanto, se a velocidade radial do satélite em relação à fonte de energia (velocidade de afastamento ou

de aproximação entre o satélite e o Sol) for diferente de zero o fluxo de energia incidente sofrerá um decréscimo proporcional à razão da velocidade radial do satélite e a velocidade da luz, e I deverá ser substituído por I' , dado por:

$$I' = I \left(1 - \frac{v_{rad}}{c} \right) \quad (42)$$

Para o satélite GPS a aceleração Poynting-Robertson é dada por:

$$a = - \left(\frac{I (A_1 + A_2)}{c^2 M} \right) v \quad (43)$$

$$a_x = \pm a \quad (44)$$

$$a_z = 0 \quad (45)$$

5. COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS STANDART (S10) E PLANO-ESFÉRICO (PE) PARA A PRESSÃO DE RADIÇÃO

O modelo Porter (S10) utilizado por Fliegel (1992) leva em consideração todas as superfícies do satélite GPS dadas pelas Tabelas 1,2,3 e 4. As componentes F_x e F_z da força de pressão de radiação solar, no sistema de referência do GPS, dadas pelas Equações (25) e (26) para o Bloco I (ROCK4) e, (27) e (28) para o Bloco II (ROCK42), são mostradas graficamente em função do ângulo B , onde foram acrescentado os resultados obtidos para essas componentes com o modelo PE.

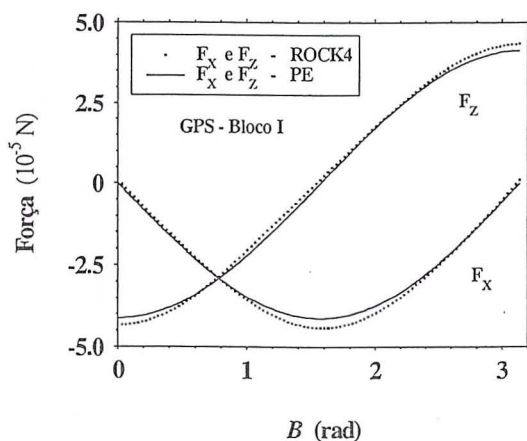


Fig. 6 – Comparação entre os modelos ROCK4 e PE para a Pressão de Radiação Solar Direta – Bloco I

Observe nas Figuras (6) e (7) que a discrepância entre o modelo S10 e o modelo PE é pequena, da ordem de 10% do valor máximo da força de pressão de radiação, e portanto concluiu-se que o modelo simplificado apresenta uma boa concordância com o modelo Porter.

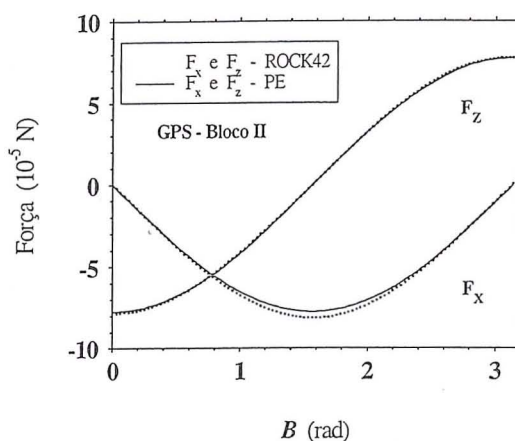


Fig. 7 – Comparação entre os modelos ROCK4 e PE para a Pressão de Radiação Solar Direta – Bloco II

A Figura (8) apresenta os resultados obtidos para a aceleração de pressão de radiação para os satélites do Bloco II em função de suas componentes a_x e a_z

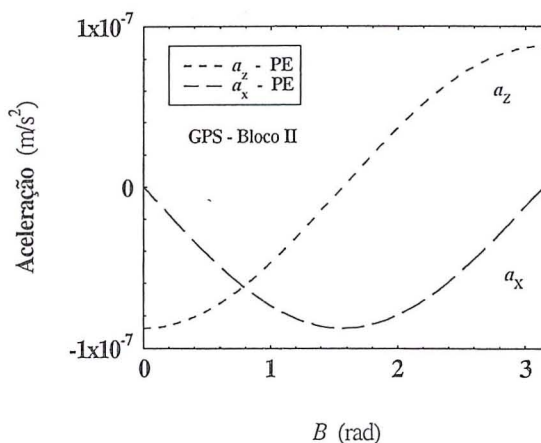


Fig. 8 – Componentes a_x e a_z da aceleração de Pressão de Radiação Solar Direta – Modelo PE

A ordem de grandeza (10^{-7} m/s^2) e o sinal das componentes da aceleração variam conforme o satélite se desloca em sua órbita em torno da Terra. São

considerados apenas valores de B que variam de 0 a π (meio período orbital).

6. RESULTADOS: RE-EMISSÃO TÉRMICA E POYNTING-ROBERTSON

Para o cálculo da aceleração devida a re-emissão térmica foram utilizados os parâmetros médios contidos nas Tabelas 1,2,3 e 4 e ainda, os seguintes valores para os satélites do Bloco I: massa $M = 440,89$ kg, raio da esfera aproximada $R = 0,75$ m, densidade $\rho = 2.700$ kg m^{-3} (densidade do alumínio), emissividade $\varepsilon = 0,25$; e para o Bloco II: massa $M = 814,80$ kg, raio da esfera aproximada $R = 0,90$ m, densidade $\rho = 2.700$ kg m^{-3} , emissividade $\varepsilon = 0,25$.

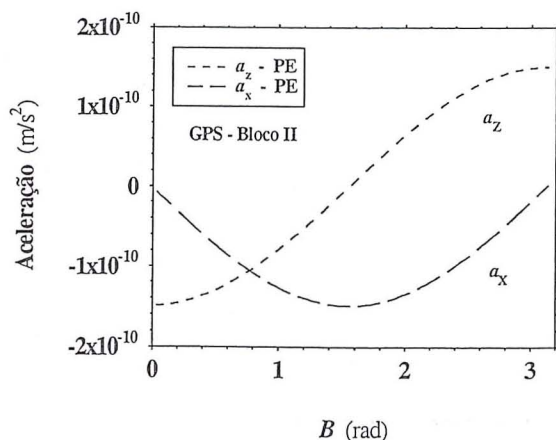


Fig. 9 – Componentes a_x e a_z da aceleração de Re-emissão Térmica – Modelo PE

O resultado para as componentes da aceleração de re-emissão térmica dadas pelas Equações (37) e (38) é mostrado na Figura (9), e sua magnitude está em torno de 10^{-10} m/s^2 .

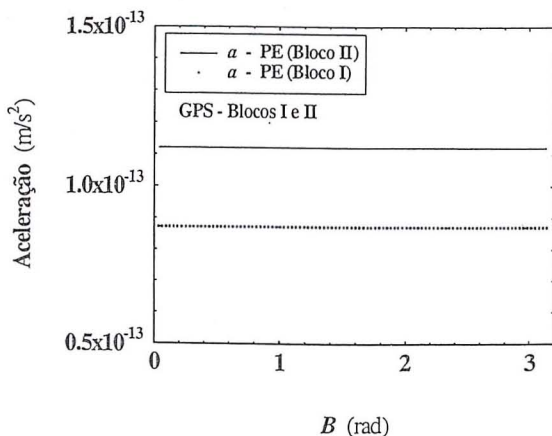


Fig. 10 – Aceleração Poynting-Robertson – Modelo PE

Para o efeito Poynting-Robertson a aceleração a_x para os Blocos I e II é apresentada nas Figuras (10) e (11). Quando a órbita é circular (ecentricidade $e=0$) a aceleração Poynting-Robertson não possui a componente a_z . Esse efeito torna-se mais significativo para satélites de baixa altitude, porém sua magnitude está sempre em torno de 10^{-13} m/s^2 .

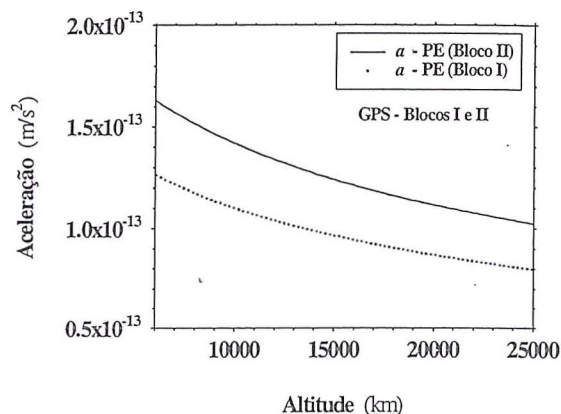


Fig. 11 – Aceleração Poynting-Robertson versus altitude - Modelo PE

Note que o efeito Poynting-Robertson não depende do ângulo B e portanto, mantém um valor constante a medida que o satélite se desloca em sua órbita.

7. CONCLUSÃO

A concordância entre os modelos Rockwell e a modelagem PE para a pressão de radiação é melhor do que poderia ser esperado para uma abordagem simplificada que assume apenas valores médios para os coeficientes de refletividade e absorvidade, área de seção reta, etc. O comportamento das componentes da força de pressão de radiação é, do ponto de vista qualitativo, o mesmo para os dois modelos. Os resultados obtidos indicam de que é possível trabalhar com esta modelagem simplificada (PE) desde que se façam algumas modificações no sentido de aumentar a acurácia dos resultados obtidos. Uma das possibilidades seria trabalhar com um modelo esférico para o corpo do satélite, porém considerando uma área de seção reta variável com dependência em B .

Para o efeito de re-emissão térmica, observa-se que a força de re-emissão nos painéis não possui ângulo de atraso uma vez que os painéis estão sempre orientados em direção ao Sol. A força neste caso depende basicamente da diferença de temperatura entre o lado “quente” (voltado para o Sol) e o lado oposto, ou lado “frio”. Para o corpo, existe um ângulo de atraso associado ao movimento orbital do satélite em torno da Terra, e desde que o Sol esteja no plano de simetria do satélite a força de re-emissão térmica terá somente componentes X e Z .

A re-emissão térmica tem comportamento qualitativo semelhante a pressão de radiação.

O efeito Poynting-Robertson apesar de sua pequena ordem de grandeza apresenta um comportamento interessante no que se refere a seu caráter dissipativo constante para todos os pontos da trajetória do satélite ao longo de sua órbita. Este efeito depende significativamente das dimensões do satélite e da velocidade orbital do mesmo. Satélites baixos tem maior velocidade orbital e conseqüentemente, mais efeito Poynting-Robertson.

Concluiu-se que a análise dos efeitos associados a radiação solar deve ser realizada levando em consideração todos os aspectos da radiação refletida ou absorvida pelo satélite, e portanto considerando além da pressão de radiação, efeitos como a re-emissão térmica e Poynting-Robertson.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO G.B., BARLIER F., CARPINO M., FARINELLA P., MIGNARD F., MILANI A., NOBILI AM. **Orbital effects of LAGEOS seasons and eclipses.** *Annales Geophysicae*, 7, 501-514, 1989.

DUHA, J. **Thermal Force Effects on Artificial Satellites.** *Brazilian Journal of Geophysics*, *aceito para publicação*, 2000.

DUHA, J. **Modelagem e Aplicação do Efeito Inverno-Verão.** Tese de Mestrado, Departamento de Física, Universidade Federal do Paraná, 1996.

FELTENS, J. **Several Aspects of Solar Radiation Pressure.** *GPS Techniques Applied to Geodesy and Surveying*, Proc. of the Int. GPS-Workshop, Darmstadt, Springer Verlag, 1990.

FLIEGEL H.F., FEES W.A., LAYTON W.C., RHODUS N.W. **The GPS Radiation Force Model.** *in Proceedings of the Fifth International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System*, 113-119, National Geodetic Survey, 1985.

FLIEGEL, H.F. & GALLINI, T.E. **Radiation Pressure Models for Block II GPS Satellites.** *in Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, 789-798, National Geodetic Survey, 1989.

FLIEGEL, H.F. & GALLINI, T.E. **Global Positioning System Radiation Force Model for Geodetic Applications.** *J. Geophys. Res.*, 97, 559-568, 1992.

PORTER, W.W. **Solar Force-Torque Model for the GPS Space Vehicle System.** Rockwell TOR 76 MA641, 2 (18 Fevereiro, 1976), *Opt. Model Rep.* CDRL 064^A14, F04701-78-C-0153, Rockwell Int., Seal Beach, Calif., 1976. (Reissued 1983).

RUBINCAM, DP. **Drag on the LAGEOS satellite.** *J. Geophys. Res.*, 95, 4881-4886, 1990.

RUBINCAM DP., CURRIE DG. & ROBBINS JW. **LAGEOS I once-per-revolution force due to solar heating.** *J. Geophys. Res.*, 102, 585-590, 1997.

INVESTIGAÇÃO SOBRE INTEGRAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS SIG E GPS ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO.

Silvana Cândida de Araújo¹

Nilton Nobuhiro Imai²

João Francisco Galera Monico³

Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus de Presidente Prudente

Departamento de Cartografia

Rua Roberto Simonsen, 305 - CP 957

19060-900, Presidente Prudente, SP

¹ scaraujo@eletropaulo.com.br. ² nnimai@prudente.unesp.br,

³ galera@prudente.unesp.br

Resumo

A falta de sistematização dos dados existentes dentro da maioria das companhias prestadoras de serviços públicos constitui-se em um obstáculo no processo de tomada de decisão realizado para gestão dos recursos dessas companhias. Para sanar esse problema necessita-se que esses dados sejam organizados de forma a agilizar sua utilização. Nesse trabalho apresenta-se uma proposta de sistematização de dados para integração de geotecnologias, de modo a suprir a demanda por informação de órgãos prestadores de serviço. Este trabalho foi realizado através de um estudo de caso, o qual mostrou que a integração SIG e GPS propicia uma solução bastante satisfatória para o problema.

Abstract

The lack of systematization of the existent database inside most the companies that provide public services is an obstacle in the decision process accomplished by the administration of the company resources. In order to solve this problem, it is needed that the database be organized in order to that facility utilization. In this paper a systematization process is proposed, which involves the integration of geotechnologies, aiming to supply the demand for information in such organization. This work was accomplished through a case study, from which one can conclude that the SIG/GPS integration provides a good solution to the problem.

Palavras chaves: SIG, GPS, Integração.

1. INTRODUÇÃO

Ao observar os ambientes das diversas companhias prestadoras de serviços públicos nota-se que essas possuem uma grande preocupação em obter dados pertinentes aos seus trabalhos. Isso ocorre, principalmente, quando se referem aos dados geográficos dos elementos de suas infra-estruturas implantadas sobre ou sob a superfície terrestre. Entretanto, esses dados nem sempre estão organizados de uma forma que atendam, satisfatoriamente, a demanda por informação. O que se encontra, na maioria dos casos, são dados localizados setorialmente, sem um elo de ligação entre esses, atendendo somente ao usuário proprietário do dado. Como conseqüência, as tomadas de decisões que necessitam integrar dados oriundos de outros setores, ou até mesmo de outras companhias prestadoras de serviços, tornam-se deficitárias.

Assim, a falta de sistematização dos dados conduz a processos de tomada de decisões inadequados,

ocasionando, por vezes, outro problema a ser solucionado. E, ainda, outras conseqüências podem surgir, como a dificuldade em simular situações diante da necessidade de planejar a implantação de novas estruturas, possível elevação dos custos sobre os serviços prestados e prejuízos na agilidade das intervenções, quando necessárias.

Possuir dados sistematizados garante a eficiência no processo de busca por informação. Assim, setores que possuem os seus dados organizados viabilizam a interação entre os mesmos, de forma a atender as demandas por informações internamente e externamente, proporcionando a integração de dados de forma coerente dentro da companhia, resultando em melhor performance de gestão.

Tratando-se de órgãos prestadores de serviços à comunidade, deve-se lembrar que a informação necessária para uma tomada de decisão não se refere apenas à informação convencional de um banco de dados, mas à realidade geográfica. Ou seja, torna-se necessário conhecer quais objetos são pertinentes para a

companhia, destacando sua posição e os atributos que o descrevem.

Assim, ao enfatizar as necessidades de informação de um usuário, essa estará disponibilizada em duas formas complementares entre si: posição (onde está?) e atributos (para que serve?).

Entretanto ao contrário do que é diagnosticado como necessidade, para os órgãos prestadores de serviço, a informação geográfica não recebe a devida importância, gerando problemas nos mais diversos momentos de tomada de decisão. Não conhecer “onde” e “o que” está locado torna-se um obstáculo para a continuação de qualquer processo envolvendo informação geográfica.

Essa deficiência alcança amplitudes maiores quando um determinado órgão ou setor necessita utilizar suas informações em conjunto com outro órgão ou setor. Não é possível encontrar os relacionamentos entre os dados, resultando em respostas inconsistentes para os questionamentos envolvidos em uma tomada de decisão.

Como exemplo, uma prestadora de serviços de telefonia que deseja implantar um sistema de cabos subterrâneos, em uma cidade que utiliza gás canalizado. A companhia telefônica necessita conhecer a localização da rede de gás, de forma a projetar a implantação de seu sistema em conformidade com as normas previstas. Caso, essa informação não esteja disponível de forma confiável, infortúnios podem ocorrer.

A adoção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), devidamente estruturado, garante subsídios para a tomada de decisões, viabilizando o fluxo das informações de forma a atender a demanda por informação interna e externa de um órgão ou setor prestador de serviços. Permite, ainda, que a comunidade seja satisfatoriamente atendida, disponibilizando os serviços com qualidade e baixo custo.

A carência por informação adequada ao suporte de processos de tomada de decisão agrava-se devido a falta de coerência entre as diversas fontes de dados vigentes. Assim, a implantação de um sistema de informações que atenda da melhor forma possível, as necessidades do usuário passa pela adequação dessas fontes de dados a fim de viabilizar a integração dos dados coletados.

O conceito de SIG explora o fato de possibilitar a introdução de dados oriundos de fontes diversas. Segundo GOODCHILD (1985), SIG “é um sistema integrado, para capturar, armazenar, manipular, analisar e exibir informações referentes às relações numa natureza geográfica”. Portanto, um SIG pode prever a introdução de dados capturados por diversas fontes de dados, desde que essas atendam as necessidades de informação geográfica do usuário.

As geotecnologias, geralmente, utilizadas como fontes de dados para um sistema de informação são as técnicas topográficas, fotogrametria, sensoriamento remoto, SIG's, e emergindo, atualmente, o uso de técnicas utilizando o sistema de posicionamento global (GPS). Porém, implantar um SIG requer mais que adquirir dados através de diversas fontes. Necessita de um modelo de dados condizente com a demanda por informação de modo a garantir seu bom funcionamento.

1.1. OBJETIVO

O trabalho aqui apresentado, tem por objetivo apresentar uma forma de sistematizar a integração de geotecnologias para suprir a demanda por informação de órgãos prestadores de serviços, tendo como foco principal a integração entre o SIG e o GPS.

1.2. CONTEÚDO DO TRABALHO

Esse trabalho está organizado da seguinte forma: abordagem metodológica, estudo de caso e conclusões.

2. ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS

A elaboração de uma linha de estudo para projetar um SIG cuja base de dados seja formada pela integração de diversas fontes de dados requer a definição de um método de trabalho.

O sistema deve atender às necessidades por informação do usuário, sendo esse o ponto inicial para o desenvolvimento de um método que viabilize a elaboração de um SIG.

Assim, a realização de um diagnóstico torna-se imprescindível, devendo-se destacar qual o tipo de informação é relevante ao usuário, os recursos disponíveis e quais as vantagens que podem ser visualizadas, como o retorno sobre o investimento. Os dois primeiros itens (informação e recursos) são instrumentos chaves para a elaboração do sistema. Em contrapartida, necessita-se que o usuário seja estimulado a implantar o sistema. Para tanto, deve-se interá-lo sobre as vantagens que poderão ser conquistadas.

Com a realização do diagnóstico sobre o ambiente do usuário, um modelo de dados pode ser estruturado. Deve-se ressaltar que esse modelo de dados representa a realidade geográfica, e não a realidade contábil ou de recursos humanos, entre outras que não possuem componente espacial. Isso não ocorre na maioria dos órgãos que necessitam de informação georreferenciada.

Uma forma de modelar essa realidade é com base no paradigma “dos quatro universos” (CÂMARA *et al.*, 1996).

Nesse paradigma, o processo de modelagem dos dados percorre níveis de abstração, os quais permitem que a realidade observada seja formalmente conceituada de forma a ser representada em um modelo computacional, abrangendo os quatro universos: real, conceitual, representação e implementação.

Elaborado o modelo conceitual transfere-se a outro nível de abstração, a modelagem de sua representação dentro do sistema computacional selecionado. O modelo de representação deverá ater-se aos sistemas de aquisição de dados disponíveis e a forma de manipulação e visualização do objeto geográfico através do dispositivo gerenciador, ou seja, observação das estruturas semânticas apresentadas pelos dispositivos.

Um produto gerado durante a modelagem da representação é a definição de um dicionário de dados, o qual deve ser fundamentado sobre as estruturas semânticas dos dispositivos de gerência e aquisição dos

dados. Deve-se observar que, através da análise das estruturas semânticas, torna-se possível investigar as formas de integração entre os sistemas.

A etapa de modelagem referente ao universo de implementação trata da realização do sistema, isto é, a aquisição e tratamento dos dados, disponibilização em formatos e sua posterior introdução na base de dados do SIG, executando as manipulações e análises previstas no diagnóstico. A modelagem do universo de implementação deve ser realizada de maneira que as técnicas de aquisição de dados sejam aplicadas de forma a garantir que a informação posicional e descritiva possuam a qualidade necessária ao usuário.

A etapa de integração de geotecnologias é obtida através da configuração das características dos dados, ou seja do modelo de dados elaborado, obedecendo as estruturas de representação dos sistemas ou fontes de dados geográficos e do sistema de informação.

A possibilidade de integrar tecnologias, sejam essas de qualquer espécie, tende a fornecer uma amplitude maior no campo de questionamentos e respostas, uma vez que várias espécies de fontes de dados podem ser agregadas em um meio gerenciador final desses dados. No caso específico dessa investigação, evidencia-se a aquisição de dados, através da tecnologia GPS e o gerenciamento desses dados em um SIG.

Para o entendimento da integração realizada é necessário compreender o sistema adotado, para a sua implantação, isto é, os *software* que serão utilizados pelas tecnologias em questão. São apresentados, aqui, o estudo sobre os modelos semânticos dos *software* Reliance da ASHTECH (GPS) e do PC ARC/INFO (SIG), as ferramentas computacionais utilizadas para a realização desse estudo de caso.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. ÁREA DO EXPERIMENTO

Á área selecionada para a realização da investigação da integração das tecnologias SIG e GPS está situada nos limites urbanos do município de Presidente Prudente, no Bairro Humberto Salvador (FOTO 1). As características apresentadas por essa área são encontradas em outras áreas, também situadas nos limites urbanos.

A dificuldade de cadastrar os elementos da infra-estrutura da SABESP, utilizando-se da norma cadastral da SABESP, decorre da inexistência de elementos físicos que possam servir para a realização da técnica de trilateração. Apesar da existência de posteamento em todas as ruas, o mesmo não pode ser utilizado confiantemente, devido à precariedade de sua posição, uma vez que a todo instante observa-se máquinas trabalhando na área, seja para compactação das ruas de terra, para abertura de valas e/ou alargamento das ruas. Assim, obter uma solução

alternativa para o cadastro das redes de abastecimento de água e coleta de esgoto, nessa área, é necessário à empresa

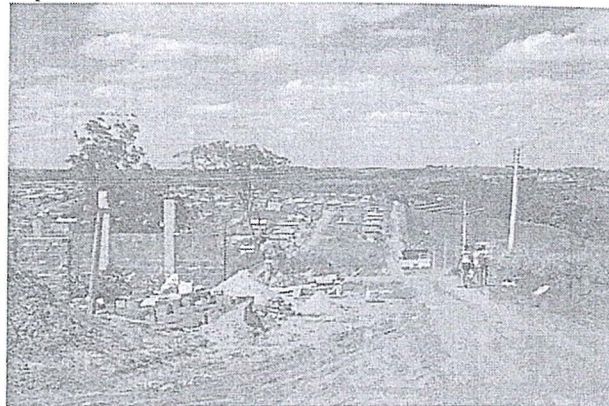


FOTO 1 - Área selecionada para o experimento.

A infra-estrutura de distribuição de água e coleta de esgoto da SABESP está dividida através de redes e ramais, os quais podem ser destinados para a distribuição de água, coleta de esgoto ou ligações domiciliares. Cada espécie de rede possui características distintas entre si.

O estudo destes elementos juntamente com os boletins de cadastro fornecem meios para a modelagem de dados geográficos e definição de um dicionário de atributos para ser introduzido na coletora do receptor GPS, viabilizando a coleta de dados.

3.2. MODELAGEM

Um modelo conceitual foi elaborado a partir da compreensão das necessidades da companhia, destacando os elementos constituintes das redes de distribuição de água e coleta de esgoto, em conjunto com os seus atributos.

A elaboração do modelo conceitual foi baseada na metodologia de análise e modelagem orientada a objetos (COUGO, 1997). Adotando como esquema o GMOD/UAPE (OLIVEIRA et al., 1997).

A elaboração de um modelo conceitual, para o trabalho em questão, abrange os relacionamentos existentes entre cada elemento abordado e auxilia a execução do projeto. O estudo sobre o ambiente cadastral da SABESP, resultou na elaboração do modelo conceitual de suas necessidades perante as atividades cadastrais. O modelo conceitual pode ser visualizado no esquema da FIGURA 1.

Discriminando no modelo conceitual os elementos a serem cadastrados, esses devem ser modelados através da elaboração de um dicionário de dados, conforme o modelo de representação disponível nos *software* destinados a coleta e gerência do dados.

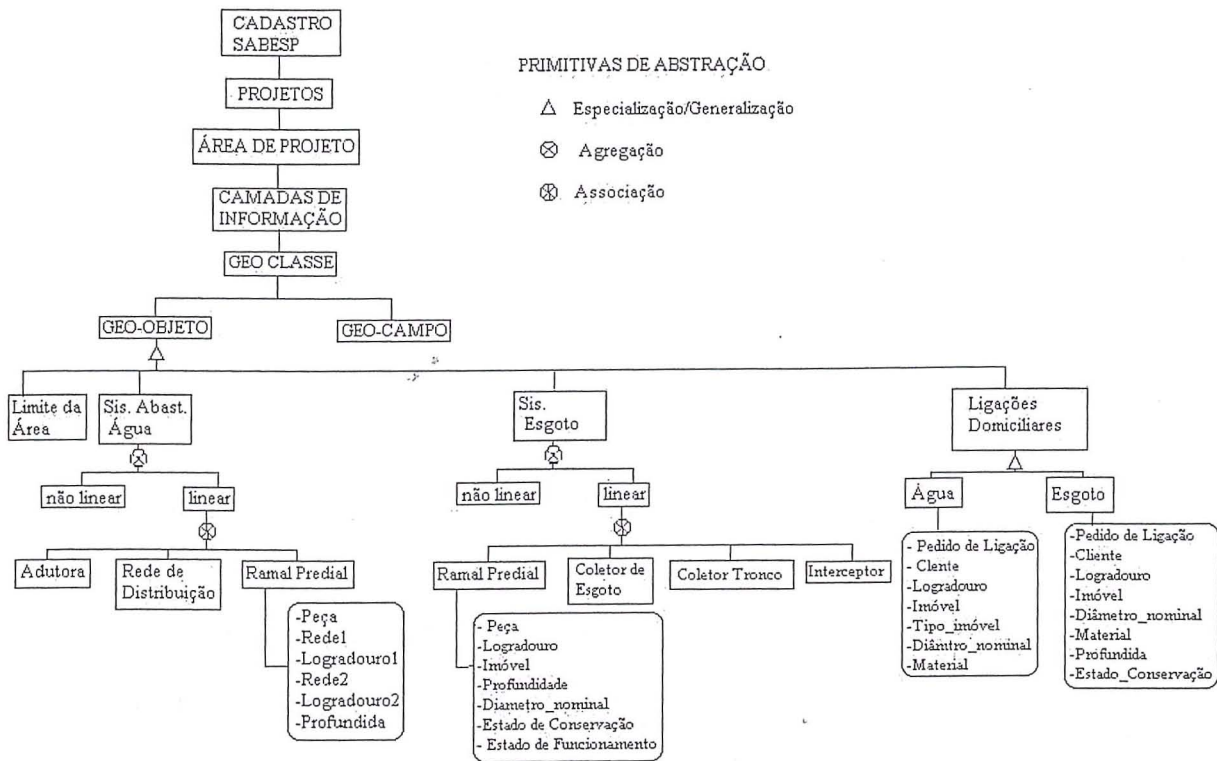


FIGURA 1- Esquema do Modelo Conceitual

3.3. MODELOS SEMÂNTICOS

A princípio, pode parecer que a integração de dados de diferentes fontes depende, unicamente, da compatibilidade entre formatos de exportação e importação. Entretanto, percebe-se logo a necessidade de utilizar padrões similares e, principalmente, modelos de dados que representem a mesma realidade, otimizando a integração. Para garantir a semelhança ou unicidade dos modelos foi necessário reconhecer semelhanças e distinções entre os modelos semânticos adotados pelos sistemas a serem integrados.

Modelos semânticos referem-se à estrutura de representação de sistemas que gerenciam informação. Assim, o conhecimento sobre as estruturas adotadas por cada sistema é essencial em processo de integração de geotecnologias.

RELIANCE

O *software* Reliance, utilizado no processamento de dados, retrata o mundo real através de feições, compostas, cada uma delas, por uma representação gráfica e outra descritiva, isto é, o armazenamento dos dados coletados é realizado em duas formas complementares entre si, a geométrica e a descritiva (representação dual).

Tipos diferentes de feições podem ser adquiridas em um único projeto, ou seja, pode-se coletar e disponibilizar, em um único projeto, tipos de dados distintos (ponto, linha e área).

Ao se tratar de formato de exportação destinado à introdução de dados em um SIG, exige-se o conhecimento das estruturas que serão geradas durante a exportação. Nesse estudo de caso o *software* selecionado é o PC ARC/INFO, utilizando, como meio de exportação, arquivos de dados no formato texto

(ASCII), os quais separam os dados geométricos dos dados descritivos, de modo a serem inteligíveis ao *software* destino, respeitando a sua característica de dualidade. E, ainda, esse arquivo de exportação discrimina as feições dispostas em um projeto do Reliance, para que as mesmas possam compor os planos de informações, os quais suportam somente um tipo de feição.

PC ARC/INFO

Um SIG possui características, como entrada de dados, tratamento, análises e saída de dados, através de relatórios ou mapeamentos. Para que ocorra o fluxo de trabalho, deve-se conhecer como o sistema escolhido organiza os dados. O PC ARC/INFO representa a realidade geográfica por meio da arquitetura dual, ou seja em duas partes: a descrição geométrica (posicionamento) e a descrição convencional (atributos). A utilização desse tipo de arquitetura requer que, na recuperação de um objeto, as duas partes sejam pesquisadas.

Os objetos geográficos podem ser representados no PC ARC/INFO através de três modelos: modelo de dados vetoriais, modelo de dados matriciais e modelo de dados de rede irregular triangular (TIN).

O modelo de representação selecionado é disposto em uma estrutura denominado plano de informação, o qual suporta o modelo geo-relacional vetorial, para a representação das feições geográficas. Trata-se de uma estrutura de armazenamento, representando um único conjunto de objetos geográficos, através de uma classe de feição (arco, nó, polígono ou anotação).

Deve-se observar, ainda, que esse *software* se utiliza de uma topologia arco-nó, com conectividade, definição de área e contiguidade. Através da construção da topologia, o ARC/INFO gerencia tabelas destinadas

ao armazenamento de atributos: PAT (tabela de atributos de polígono e pontos), AAT (tabela de atributos de área). A ligação entre os registros dispostos em uma tabela de atributos e a representação espacial através de feições é realizada por um identificador numérico.

3.4. MODELO DE REPRESENTAÇÃO

Um modelo de representação é dependente do *software* utilizado. Neste caso foram adotados o RELIANCE como *software* de tratamento dos dados coletados com os receptores GPS, e o PC ARC/INFO como *software* gerenciador para o SIG. Os modelos de representação devem abordar esses dois *software*,

usando as características comuns para viabilizar a integração entre ambientes.

Dicionários de dados foram elaborados para os geo-objetos dispostos no modelos conceitual (FIGURA 1). Um exemplo de dicionário de dados pode ser visualizado na FIGURA 2, para o geo-objeto R_esgoto, referente a rede de coleta de esgoto.

Para realizar o levantamento com receptores GPS, com coleta de atributos, houve a necessidade de adequar o dicionário de dados de cada geo-classe, à estrutura semântica apresentada pela coletora de atributos. Um exemplo de adequação do dicionário de dados para a coletora do receptor GPS pode ser vista na FIGURA 3, para o sistema de coleta de esgoto.

Dicionário de Dados				
Plano de Informação : <i>R_esgoto</i>				
Classe de feição : <i>label point</i>				
Restrição de Integridade Espacial: <i>deve representar pontualmente o posicionamento de um elemento de conexão entre arcos</i>				
Nome do campo	Tipo	dimensão	Domínio	Descrição
ID_Peça	numérico	4		identificador da peça
Peça	caracter	2	PV PI TL PS CP	Nome da peça existente na posição coletada Poço de Visita Poço de Inspeção Terminal de Limpeza Ponta Seca Caixa de Passagem
Logradouro	caracter	40		Nome do logradouro
Imóvel	Numérico	4	1-10000	Número do imóvel mais próximo a posição coleta
Diametro	Caracter	4		Diametro da rede
Profundidade	Numérico	4	0-10	Profundidade da peça
Estado_conservacao	caracter	10	Excelente Boa Razoável Ruim	Estado de conservação da rede
Estado_funcionamento	caracter	3	Sim Não (obstruído/rede seca)	Estado de funcionamento da rede

FIGURA 2 – Composição do plano de informação da rede de coleta de esgoto

Feição	Nome_feição	Nome_atributos	Tipo_atributo	Descrição
Ponto	SISTCOLESGOTO	Peça	menu	Nome da peça existente na posição coletada
		Logradouro	alfanumérico	Nome do logradouro
		Imóvel	numérico	Número do imóvel mais próximo a posição coleta
		Profundidade	numérico	Profundidade da peça
		Estado_conservacao	menu	Estado de conservação da rede
		Estado_funcionamento	menu	Estado de funcionamento da rede

FIGURA 3 - Elaboração do dicionário de atributos

Para cada tipo de atributo, foram especificadas suas características, as quais constam em ARAÚJO (1999). A estrutura para armazenar e processar os dados coletados no *software* RELIANCE foi definida com

base no fluxo de dados e no seu modelo semântico. A FIGURA 4 apresenta a proposta de estrutura de organização para o *software* RELIANCE.

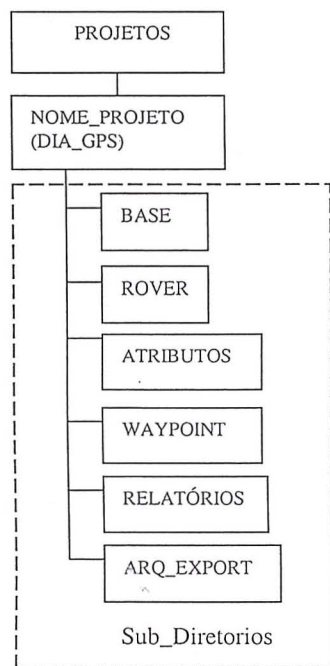


FIGURA 4- Proposta de estrutura de organização para o *software* RELIANCE

A FIGURA 5 apresenta um esquema para a proposta de estrutura de organização em diretório e subdiretórios para o gerenciamento dos dados no *software* ARC/INFO. Dessa forma, a proposta de estrutura de organização possui um diretório principal denominado de CADASTRO_SABESP, o qual conterá os projetos referentes a atividade cadastral. Os subdiretórios dos projetos serão compostos por planos de informações do *software* PC ARC/INFO, sendo cada classe de feições destinadas a um único plano de

informação. Cada projeto deverá se restringir aos seus limites geográficos.

3.5. LEVANTAMENTO COM RECEPTORES GPS

A técnica de aquisição para o posicionamento com GPS foi o relativo semi-cinemático. O erro posicional aceitável dos elementos da infra-estrutura da SABESP é de 50 cm, estipulado em acordo com a forma utilizada pela companhia para realização de manutenção desses elementos subterrâneos. Essa forma de manutenção utiliza-se de escavações na superfície sobre a possível localização do elemento de interesse, através de retroescavadeira e/ou pás manuseadas pela equipe de obras, de acordo com a profundidade de implantação das redes.

Através do reconhecimento e planejamento sobre os elementos a serem cadastrados e das características da região que os contém, definiu-se como técnica de levantamento o posicionamento relativo semi-cinemático pós-processado (MONICO, 1998), atendendo a precisão predeterminada, menor ou igual a 50 cm. Definiu-se, ainda, os parâmetros de personalização para o receptor, de acordo com a estação base utilizada (UEPP pertencente a RBMC), tais como: tempo e taxa de coleta de dados (2 minutos e 5 segundos, respectivamente), as observáveis (C/A e L1) e introdução do dicionário de dados.

A coleta de dados foi realizada após a adequação do dicionário de dados, definição da técnica de levantamento e precisão admissível. Os dados coletados foram processados através do *software* RELIANCE.

A precisão pré-estabelecida para o levantamento foi atendida. Os desvios padrão nas coordenadas foram: E entre 2-9 cm, N entre 2-10 cm e H entre 4-16 cm.

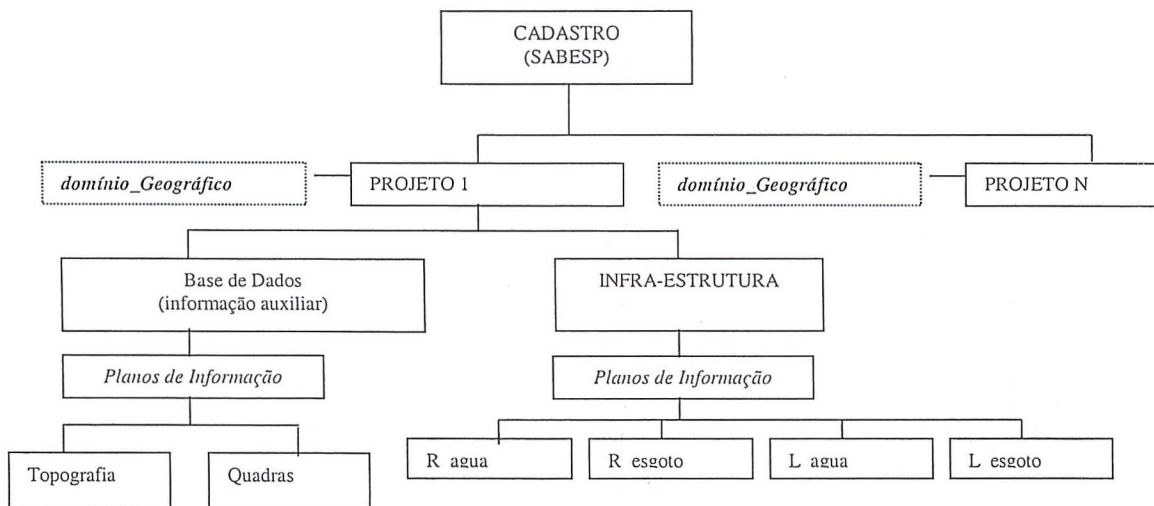


FIGURA 5 - Proposta de estrutura de organização para o *software* ARC/INFO.

3.6. INTEGRAÇÃO DE DADOS

Foram integrados tanto os dados geométricos quanto os dados descritivos, sem apresentar

dificuldades. Isto, se deve às estruturas semânticas dos *software* selecionados, RELIANCE e PC ARC/INFO.

Os tipos de feições gráficas que podem ser representadas pelos *software* são compatíveis entre si como pode ser visto no FIGURA 6.

<i>Software</i>	ARC/INFO	RELIANCE
FEIÇÃO	<i>label</i>	Ponto
	arco	Linha
	polígono	área
ATRIBUTOS	caracter	alfanumérico
	numérico	numérico
	domínio	menu/submenu

FIGURA 6 - Similaridade semântica entre *software* (RELIANCE E PC ARC/INFO).

Além, das similaridades apresentadas acima, o RELIANCE é capaz de gerar arquivos de exportação compatíveis com o PC ARC/INFO.

Nesse processo o RELIANCE extrai do projeto um conjunto de geo-objetos de uma classe e gera três arquivos de dados. Um deles contém as coordenadas que formam cada feição (ponto, linha ou polígono) e seu identificador, um outro arquivo contém os atributos dessas feições e, finalmente, um arquivo que descreve como o objeto geográfico é constituído a partir dos dados dos arquivos anteriores (tabela de ligação entre registro de atributos e feição espacial). Esses arquivos são gerados no formato ASC/II, compatíveis com a função "GENERATE" de importação de dados ASC/II do ARC/INFO.

Foram realizados testes de integração entre o dispositivo ARCVIEW e a fonte de dados vigente da SABESP, croquis de cadastro em formato CAD. Para a integração de alguns arquivos referentes aos croquis de cadastro foram disponibilizados como temas sobre um plano auxiliar (com quadras e logradouros). Os resultados gráficos obtidos podem ser visualizados na FIGURAS 7, 8 e 9.

3.7. BUSCA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Para a visualização e simulação de algumas consultas utilizou-se o *software* ARCVIEW, no qual pode-se observar a efetivação da integração entre o SIG e os dados coletados através do uso do receptor GPS (FIGURA 7).

A FIGURA 8 mostra uma simulação de consulta em dados coletados com receptores GPS.

Na FIGURA 9, pode-se observar a integração do SIG e outra fonte de dados utilizada pela SABESP, os dados em formato DWG, através de uma simulação de busca.

Observa-se diferenças entre os resultados obtidos nas simulações exemplificadas nas figuras anteriores. Quando a busca é realizada sobre elementos coletados através de receptores GPS com coleta de atributos o resultado é a feição representativa do elemento e suas coordenadas. Entretanto, ao realizar a busca sobre elementos oriundos da fonte de dados vigente na SABESP, em formato DWG, o resultado da busca será a apresentação do croqui de cadastro de localização do elemento constituinte da infra-estrutura implantada.

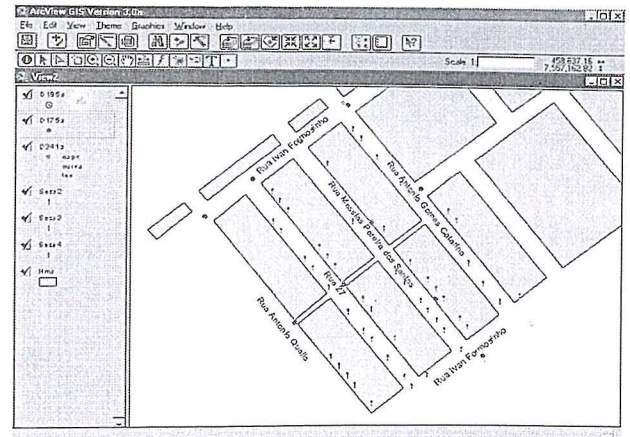


FIGURA 7 – visualização de elementos cadastrados com receptores GPS integrados ao SIG.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso integrado do SIG com o GPS garante o atendimento inicial da demanda por informação, tanto nas áreas cadastradas através das técnicas previstas na norma da SABESP, quanto nas áreas cadastradas pelo método alternativo com receptores GPS com coleta de atributos.

O diagnóstico do ambiente cadastral da SABESP, sua metodologia de execução das tarefas, a forma de recuperação das informações e as necessidades a serem supridas, formaram o "retrato" da companhia, o qual forneceu subsídios para a estruturação da presente investigação através da elaboração de modelos.

A modelagem deve visar as necessidades do usuário, bem como, o ambiente de armazenamento e as fontes de dados adotadas para garantir a integração harmônica de geotecnologias.

A integração de geotecnologias, principalmente do tipo estudado, não se realiza somente com a visão da aplicação das ferramentas dos sistemas. Mas, pelas visões das estruturas semânticas dos sistemas integrados.

A elaboração do modelo de dados considerando o uso de receptores GPS com coleta de atributos, garante o aproveitamento dos dados coletados. Isto se deve à modelagem da base de dados geográficos que considerou os sistemas a serem integrados.

O estabelecimento da qualidade posicional de dados a serem coletados deve ser feito com base na realidade do usuário, ou seja, na sua capacidade tecnológica e necessidade de exatidão.

Para o estudo de caso foram verificados, inicialmente, os tipos de fontes cadastrais existentes, sua forma de obtenção e qualidade. Concluindo que o material existente, na maioria das vezes, não representa adequadamente a realidade cadastral. Porém, a análise da forma prática de obtenção da informação (escavações utilizando retroescavadeira e/ou pá), conduziu a definição de um valor sobre a qualidade posicional de $\pm 50\text{cm}$, referente ao raio médio da área escavada para encontrar um elemento da infra-estrutura da SABESP.

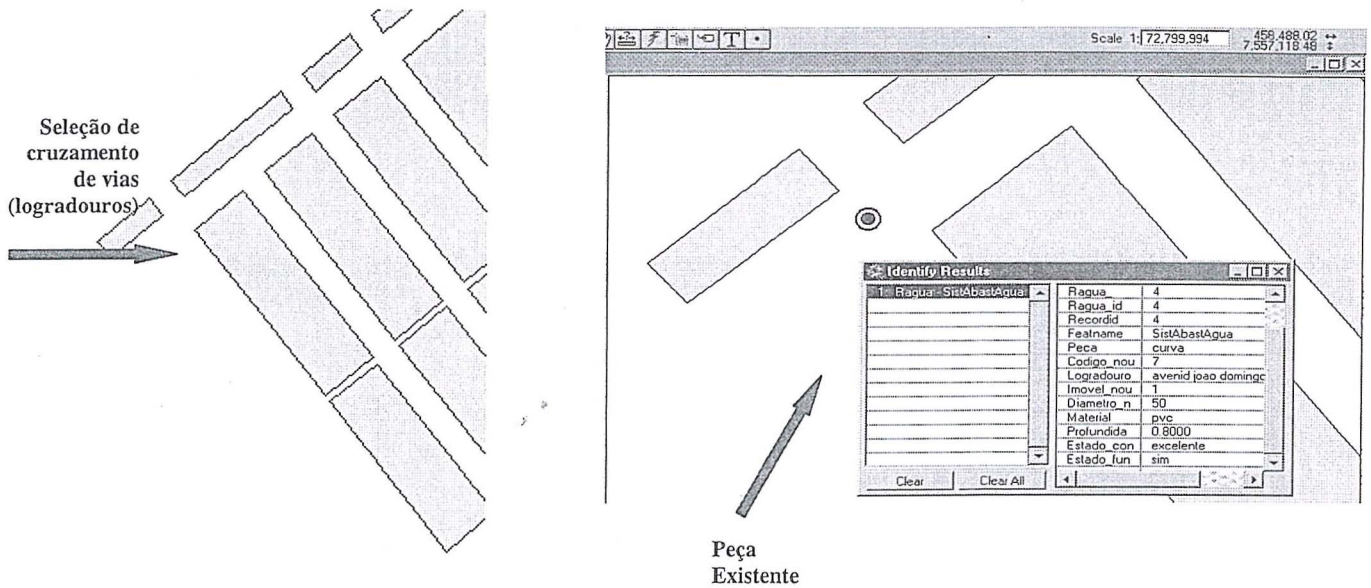


FIGURA 8 – Seleção e resultado de uma simulação de busca.

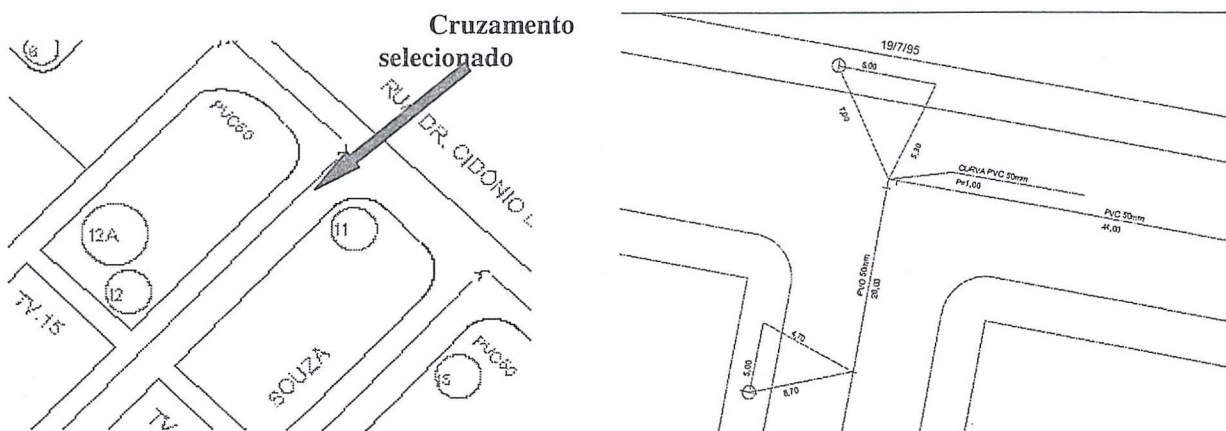


FIGURA 9 – Simulação e resultado de busca sobre elemento existente em um cruzamento de redes.

A qualidade do posicionamento obtido, através do uso dos receptores GPS, com a técnica de posicionamento relativo semi-cinemático pós-processado, foi verificada através da precisão de cada coordenada, após o processamento dos dados, utilizando como observáveis a pseudo-distância e a fase da portadora. Obteve-se posicionamentos com erros na coordenada E, entre 2-9 cm, na coordenada N, entre 2-10 cm e na coordenada h, entre 4-16 cm. Portanto, a localização de um elemento, a partir do uso de receptores GPS, utilizando a técnica de posicionamento, garante que esses elementos estarão posicionados com um erro menor que 50 cm.

O tempo disposto para a coleta do conjunto, posição/atributos, torna viável a utilização dos receptores GPS, sendo utilizado por ponto dois minutos para coletar a posição e registrar os atributos. Testes realizados com o técnico da SABESP mostram que após o treinamento, pode-se realizar as tarefas de cadastro disponibilizando, também, dois minutos por ponto. Ainda, o uso dos receptores GPS necessita de apenas uma pessoa para o manuseio do equipamento. Se comparado com o uso da topografia convencional, se fosse aplicável em qualquer situação, o tempo disposto

seria maior (entre 3 minutos e 5 minutos) e a equipe de campo deveria dispor de três pessoas (um anotador para os boletins de cadastro, e duas pessoas para executar as mensurações). Deve-se, porém, destacar que o tempo disponibilizado para a coleta do conjunto posição/atributo utilizando receptor GPS com coleta de atributos, somente é garantido devido a modelagem prévia dos dados a serem cadastrados.

Além da integração das tecnologias SIG/GPS, analisou-se a possibilidade de integrar as demais fontes cadastrais utilizadas pela SABESP. Concluiu-se que é possível integrar essas fontes, desde que as mesmas sejam analisadas e tratadas, para atender, através de um SIG, a demanda por informação.

A adoção de uma metodologia que enfatize a modelagem dos elementos envolvidos, permite que a integração de SIG e GPS seja devidamente utilizada, garantindo a execução de tarefas que conduzam a um resultado almejado. Assim, qualquer integração de geotecnologias que envolva a utilização de um banco de dados quaisquer tipos de geotecnologias, que se deseje integrar, necessitam de um modelo de dados geográficos requer que o modelo não só atenda às necessidades do

usuário, como também aos requisitos da integração de geotecnologias.

5. BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, Silvana Cândida de. *Investigação do Comportamento de Integração das Tecnologias SIG/GPS: Definição de Metodologia Cadastral para a SABESP de Presidente Prudente*. Presidente Prudente, S.P. Pós Graduação em Ciências Cartográficas, FCT/Unesp.1999. 146p.
- CÂMARA, Gilberto et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*.Campinas, São Paulo. Instituto de Computação, UNICAMP.1996. 197p.
- COUGO, Paulo Sérgio. *Modelagem Conceitual e Projetos de Banco de Dados*. Ed. Campus. 1997. Rio de Janeiro. p 281
- MONICO, J. F. G.. *Posicionamento Pelo Navistar – GPS : descrição, fundamentos e aplicações*. Presidente Prudente: FCT/unesp, 1998. (Notas de aula).
- OLIVEIRA, J. L.; PIRES, F. e MEDEIROS, C. B. *UAPE – Na enviroment for integrated modelling and analysis of geographic information*. Geoinformática, 1(1):1-32, 1997.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*.Oxford, Clarendon. 1986. 194p.
- CHUCK, Gilbert. Coleta de Atributos com GPS. *FATOR GIS -A Revista do Geoprocessamento*. Curitiba, PR. Anuário 1997. p 19 - 26.
- FOTHERINGHAM, Stewart, ROGERSON, Peter. *Spatial analysis and GIS*. Buffalo. Ed. Taylor & Francis. 1995. 281p.
- GARAFFA, Íria Margarida, IOCHPE, Cirano. *Análise da adequação de uma hierarquia de classes básicas para modelagem conceitual de SIG, através de um estudo de caso*. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- GOMES, Jonas, VELHO, Luiz. *Computação Gráfica: Imagem*. Rio de Janeiro, IMPA/SBM, 1994. 424p.
- HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J. *GPS : Theory and Practice*. 4 ed. New York. Ed. SpringerWienNewYork. 1997.389p.
- KENNEDY, Michael. *The Global Positining System and GIS: An Introduction*. Chelsea, Michigan. Ann Arbor Press, Inc. 268 p.
- LISBOA, Jugurta Filho, IOCHPE, Cirano. *Introdução a Sistema de Informações Geográficas com ênfase em Banco de Dados*. UFRGS. Porto Alegre, RS. 1996.
- THOMÉ, Rogério, CÂMARA, Gilberto.

Interoperabilidade em Geoprocessamento: e conversão entre modelos conceituais de sistemas de informação geográfica comparação com o padrão OPEN GIS. São José dos Campos: INPE, 1998.

AGRADECIMENTOS:

Este trabalho foi realizado com recursos financeiros da FAPESP (Processo 98/04303-6), mediante atribuição de uma bolsa de MS ao primeiro autor.

O apoio da SABESP de Presidente Prudente e da FCT/Unesp (Curso de Pós Graduação em Ciências Cartográficas) foi de grande valor.

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ESCALA EM ESTAÇÕES TOTAIS E MED UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE CAMPO E LABORATÓRIO

¹FAGGION, P. L;
²FREITAS, R. C.

Universidade Federal do Paraná,
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática,
CEP 81531-990 Caixa Postal 19011 - Curitiba, Brasil

¹pedrof@geoc.ufpr.br, ²rafael@setuva.geologia.ufpr.br

RESUMO

A calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED) consiste na determinação do erro de zero, fator de escala e elementos do erro cíclico. Para tal, são necessárias três etapas envolvendo operações de campo e de laboratório. São elas: determinação do erro de zero (não coincidência entre o centro mecânico e o centro eletrônico do MED); fator de escala (variação na frequência de medida do equipamento); elementos do erro cíclico (amplitude e fase). Suas determinações são efetuadas respectivamente através de: observações em uma base de campo, tal como a disponível no âmbito da UFPR; determinação do fator de escala em laboratório e determinação precisa dos elementos do erro cíclico através de observações em uma base em ambiente fechado. O presente trabalho aborda a determinação do fator de escala dos MEDs em laboratório e compara-os com o valor obtido em campo. Esse erro é diretamente relacionado com as variações produzidas pelo cristal, que modulam o sinal utilizado para determinar a distância entre o emissor e refletor e pela variação da temperatura de operação do mesmo. O presente estudo, pouco explorado a nível de Brasil, pretende apresentar a metodologia e os primeiros resultados alcançados na obtenção do fator de escala pelos métodos descritos e colocar tais recursos à disposição dos potenciais usuários no Brasil, como um recurso adicional para seus trabalhos.

ABSTRACT

The calibration of Electronic Distance Meters (EDM) consists in the determination the zero bias, scale factor and elements of the systematic error. For such, are necessary three stages that involve field and laboratory operations. Those stages are: Determination of the zero bias (non coincidence between the mechanical and the electronic centers of the EDM); scale factor from (the frequency variation of the equipment); elements of the systematic error (amplitude and phase). There determinations are made respectively through: observations in a field base, such that available in the ambit of UFPR; determination of the scale factor in laboratory the determination of the systematic errors in a thermal controlled base. The present work approaches the determination of EDM scale factor in laboratory and its comparison with the obtained value in field. This error is directly related to the bias in frequency produced by the crystal that defines the wave modulation, that is used to determine the distance between the EDM and the reflector sign. The present study, not very explored in Brazil, intends to compare the scale factor obtained by the described methods, and to place such resources to the Brazilian users, as an additional tool.

Palavras Chaves: Calibração/Aferição, Medidor Eletrônico de Distância, Fator de Escala

1. INTRODUÇÃO:

O presente trabalho tem como objetivo determinar o erro provocado pela variação da frequência de medida dos MEDs utilizando métodos de laboratório e observações de campo.

Atualmente no Brasil somente a Universidade Federal do Paraná e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo estão aptas a realizar calibração destes instrumentos, porém baseando-se apenas em observações campo.

Segundo RUGÜER (1990) o fator de escala é progressivo podendo acrescentar um erro de 0,2ppm a

Ippm, nas distâncias, por ano de utilização do instrumento de medida. Tal fato, estimulou o início dos trabalhos no sentido de viabilizar uma metodologia para a determinação deste fator em laboratório, tendo em vista que a única instituição brasileira capaz de determinar a frequência é o Observatório Nacional, através do Laboratório Nacional de Metrologia, porém sem relacioná-la com o fator de escala.

A metodologia consiste em comparar a frequência nominal do equipamento, fornecida pelo fabricante e a frequência de medida, observada em laboratório através da utilização de equipamentos próprios como o Osciloscópio, Freqüencímetro e Fotodetector, os quais encontram-se disponíveis no Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG). Já a determinação deste fator no campo baseia-se na observação sobre bases lineares Multipilares.

Para viabilizar o experimento, será necessário determinar a escala da base da fazenda Caungüiri, com um equipamento de alta precisão (TC2002), para posteriormente determinar-se o fator de escala de instrumentos de menor precisão. Este mesmo instrumento será submetido a calibração em laboratório. O fator de escala obtido, com observações de campo e laboratório, devem ser aproximadamente igual.

2. ERROS NA MEDIDA ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA:

Nas medidas eletrônicas de distância estão envolvidos os seguintes erros (CORDINI, 1991):

1. Erro na velocidade de propagação da onda eletromagnética;
2. Erro do índice de refração;
3. Erro provocado pela Influência das condições ambientais na onda portadora (Luz, Infravermelho);
4. Erro na medida da diferença de fase;
5. Erro na constante aditiva (Erro de zero);
6. Erro de fase ou erro cíclico;
7. Erro de frequência de modulação (tema deste seminário);

Tais erros são abordados, com propriedade em trabalhos escritos por diversos autores, tais como: (RÜEGER, 1977; GRIPP, 1986; KAHMEN & FAÍG, 1988; PACILÉO NETTO, 1990; RÜEGER, 1990; CORDINI, 1991).

No presente estudo será abordado apenas o erro provocado pela variação na frequência do sinal de medida.

2.1 – ERRO DE FREQUÊNCIA DE MODULAÇÃO:

A maioria dos erros de frequência, são causados por variações de temperatura e desgaste no cristal oscilador. Quase a totalidade dos distanciômetros de curta distância, trabalham com osciladores que têm compensador de temperatura do

tipo TCXO (temperature-compensated crystal oscillator), os quais garantem uma precisão de ± 1 ppm, quando trabalhando com temperaturas entre 0 e 50°, e uma precisão de ± 3 ppm quando trabalham em temperaturas de -20 a 50°. Nesse sistema, a compensação na temperatura é alcançada com um circuito usando capacitores sensíveis à temperatura, termistores e/ou resistores (RÜEGER, 1990).

Há mais dois outros tipos de compensadores, muito menos comuns, os OCXO (Oven-controlled crystal oscillator) e os do tipo RTXO (room temperature crystal oscillator), que garantem respectivamente maior e menor precisão que os distanciômetros que usam os TCXO como base de tempo.

Erros de frequência ocorrem principalmente por desgaste do cristal modulador do sinal de medida, provocando um acréscimo de 0,2 a 1 ppm, na distância medida, por ano de uso para distanciômetros que usam compensadores dos tipos TCXO e OCXO respectivamente (RÜEGER, 1982 e FRERKING, 1978). Os erros influenciados por temperatura, também podem ser muito significativos. Por estes motivos, faz-se necessária uma calibração periódica da frequência dos instrumentos.

3 - DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ESCALA UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE CAMPO:

3.1 - A BASE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ:

Tendo em vista a necessidade de calibração dos instrumentos MED em intervalos regulares, devido às variações das constantes instrumentais com o tempo, ou também devido ao manuseio grosseiro do equipamento, construiu-se nas dependências da fazenda experimental da UFPR uma base linear multipilares constituída de sete pilares devidamente espaçados numa linha de projeção reta num plano horizontal, onde o afastamento entre seus extremos é de aproximadamente 800 m.

Para determinar o espaçamento entre os pilares que constituem a linha base, dois critérios foram seguidos (GRIPP, 1986), São eles:

a) A implantação dos pilares foi feita de forma a proporcionar uma boa distribuição das distâncias ao longo da metade do comprimento de onda de modulação básica dos principais MED.

b) Implantou-se os pilares de forma que haja pares de distâncias que diferem entre si, apenas um ciclo da curva do erro cíclico. Assim, se para os equipamentos a serem utilizados, este ciclo é 10 m, o que é o mais comum, deverá haver um número par de observações, existindo sempre duas que diferem entre si apenas de 5 m.

Para determinar o local de implantação da linha de base multipilares da UFPR seguiu-se os

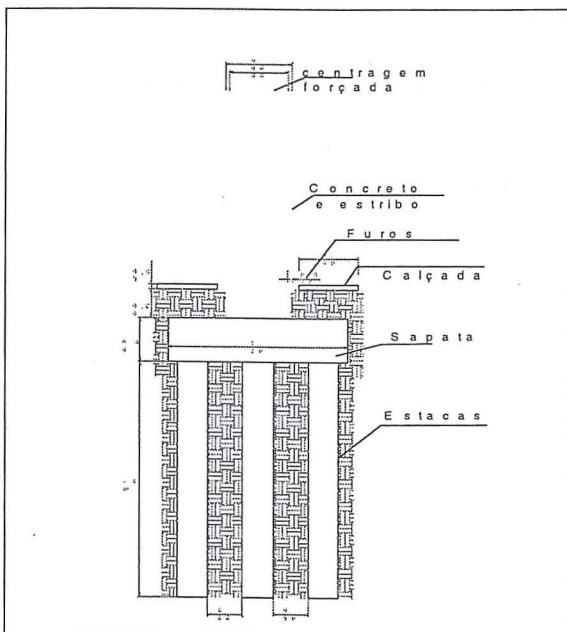
seguintes critérios citados por vários autores sobre o assunto, tal como RÜEGER (1977). São eles:

- a) O terreno deve ser plano ou ligeiramente côncavo para possibilitar a intervisibilidade entre os pilares;
 - b) a insolação da base deve ser a mesma durante todo o dia;
 - c) tanto quanto possível a vegetação deve ser rasteira ou de pequeno porte;
 - d) a orientação deve ser norte-sul, possibilitando leituras com ou sem sol;
 - e) localização de fácil acesso;
- de preferência orientar a linha base ao longo de um caminho para dar maior velocidade no transporte do refletor;
- g) o acesso não deve ser público para evitar, com isso atos de vandalismo.

Todos os critérios citados foram observados quando da implantação da base na UFPR. O local encontrado foi na Fazenda Experimental do Cangüiri na região metropolitana de Curitiba.

A estabilidade dos pilares é de fundamental importância, para tanto, com base em estudos geológicos da região, os mesmos foram construídos sobre uma sapata triangular apoiada em três estacas de 20 cm de diâmetro e comprimento aproximado de 4 m (Figura 01)

FIGURA 01 – Estrutura dos pilares



3.1.1- Implantação do Sistema de Centragem Forçada

O sistema de centragem forçada utilizado, quando da implantação da base, não mostrou-se muito eficiente tendo em vista a necessidade de centrar a base do teodolito com um pino, dotado de um nível esférico não muito preciso.

A dificuldade principal do sistema é manter a mesma vertical entre um posicionamento de equipamento e outro, isto representa perda de precisão na determinação das distâncias, logo deficiência na determinação dos parâmetros de Calibração.

Para sanar este problema, sem perder a origem já definida, desenvolveu-se uma nova base com um pino guia que encaixa-se perfeitamente no sistema chumbado nos pilares da base. Acoplado a esse pino guia, encontra-se uma peça de Alumínio com um parafuso, de rosca universal. Essa peça foi fixada nos pilares através de três parafusos, que estão afastados entre si de um ângulo de aproximadamente 120 graus, reproduzindo um sistema de calagem de um teodolito (Figura 02).

O sistema, descrito anteriormente, permite uma perfeita calagem da base quando da sua fixação no pilar. Desta forma, quando ocupa-se o mesmo com um instrumento e procede-se a calagem, esta é praticamente a mesma para todos os outros pilares, facilitando desta forma, a calibração dos instrumentos.

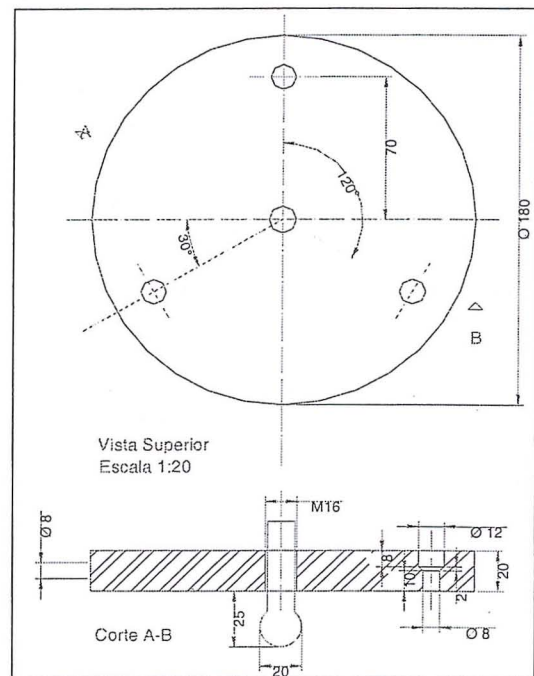


FIGURA 02 – Sistema de centragem Utilizado

3.1.2 - Determinação do desnível entre os Pilares:

O método utilizado para determinar o desnível entre os pilares foi o nivelamento geométrico de primeira ordem. Neste método, a diferença de nível entre dois pontos é determinada através da diferença de leituras feitas sobre réguas estacionadas nos pontos considerados, utilizando para isso uma luneta com eixo óptico horizontalizado. Esses equipamentos são denominados níveis de lunetas ou simplesmente níveis.

O equipamento utilizado neste trabalho foi o nível N3 da WILD, dotado de placa plano-paralela e

duas miras de ínvar WILD centimétricas compatíveis com o nível.

A obtenção do desnível entre os pilares foi com o propósito de horizontalizar as distâncias inclinadas obtidas com os MED.

3.1.2.1 - Procedimento de Campo:

Todas as prescrições do nivelamento geométrico de primeira ordem estabelecidas pela norma brasileira foram seguidas (IBGE 1983). Além disso, acrescentou-se alguns cuidados extras com o intuito de melhorar os resultados (DE FREITAS, et al,1996).

a) Utilização de distâncias aproximadamente iguais entre as visadas de ré e vante, ou seja, com variação máxima de 1,5m.

b) O comprimento máximo entre as 25 m.

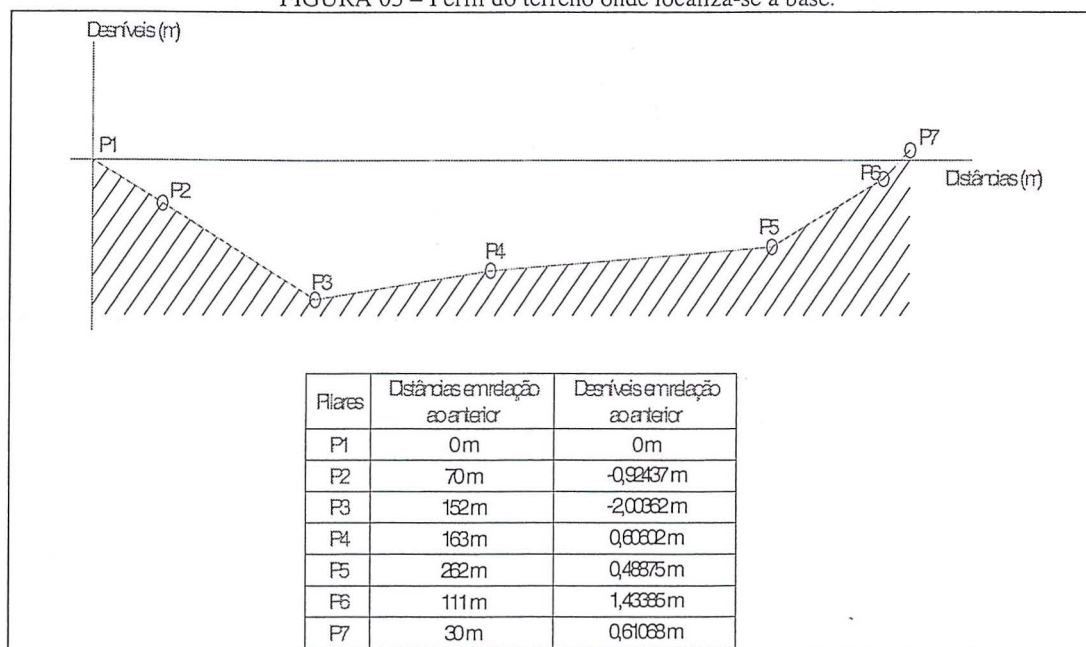
c) Lances pares entre Referências de Nível (RRNN).

A tabela 01 representa os desníveis médios obtidos entre os pilares e a figura 03 representa o perfil do terreno onde localiza-se a base.

TABELA 01 – Desníveis entre os pilares

Linha	P ₁ – P ₂	P ₂ – P ₃	P ₃ – P ₄	P ₄ – P ₅	P ₅ – P ₆	P ₆ – P ₇
Δh	-0,9244m	-2,0036m	0,6060m	0,4887m	1,4338m	0,6107m

FIGURA 03 – Perfil do terreno onde localiza-se a base.



3.2 – DETERMINAÇÃO DA ESCALA DA BASE:

A calibração de MED através de linhas base, pode ser realizado utilizando distância conhecida entre os pilares, ou seja, conhecendo a escala da base, e também sem o conhecimento destas distâncias. No caso da calibração sem o conhecimento da distância entre os pilares, somente é possível a determinação da constante aditiva ou erro de zero e uma estimativa das componentes do erro cíclico (RUGUER, 1977; GRIPP, 1986; PACILÉO NETTO, 1990; RÜGUER, 1990).

Como foi dito anteriormente, o objetivo deste trabalho é a determinação do fator de escala, assim sendo, nos deteremos a aspectos que envolvam bases lineares com escala conhecida.

Na determinação preliminar da escala da base, ou seja, considerando somente aspectos ¹lineares, utilizou-se uma estação total TC2002 WILD com precisão linear nominal de ± (1mm + 1ppm) (WILD 2002, 1994).

As distâncias, consideradas padrão, é a média de um conjunto de observações que vem sendo realizadas desde 1996 em épocas diferentes do ano procurando sempre realizar as medidas nas mais diversas condições ambientais.

¹Na segunda fase do trabalho, será acrescentado dois pilares excêntricos a base linear. Tal artifício, possibilitará a obtenção da distância, entre os pilares, considerando também observações angulares e com isto identificar possíveis variações nos pilares utilizando Análise Multivariada.

3.2.1 – Correção das condições ambientais:

Em todas as campanhas repetiu-se o mesmo procedimento para a obtenção da temperatura, pressão e humidade.

Os equipamentos utilizados para obter a pressão, foram dois aneróides Paulim, e para a determinação da temperatura, e humidade relativa do ar foram utilizados dois psicômetros digitais modelo 5105, cujas características técnicas são as seguintes:

Amplitude de trabalho:

- humidade: 10 a 100 %;

- temperatura: -25 a + 60 °C

Resolução:

humidade: de 1% a 0,1 %;

temperatura: 0,1 °C

Precisão nominal:

humidade: ± 2%

temperatura: ± 0,5 °C

A repetibilidade na medida da pressão atmosférica com o Aneróide, foi testada no Laboratório de Aferição, utilizando uma coluna de mercúrio, cuja precisão nominal é de 0,1 mmHg.

A metodologia baseou-se em medir esses parâmetros, em intervalos regulares de 5 minutos, nos dois extremos da base ou seja, junto aos pilares 1 e 7. Aplicando essas informações, na equação 06 determina-se as correções em ppm (WILD 2002, 1994).

$$\Delta = 281,8 - \left[0,29065p \div (1 + \alpha t) - 4,126 * 10^{-4} * h \div (1 + \alpha t) * 10^x \right]$$

onde:

Δ = correção atmosférica (ppm)

p = pressão atmosférica (mb)

t = temperatura (°c)

h = humidade relativa do ar (%)

$\alpha = 1 / 273,16$

$x = (7,5 * t / 237,3 + t) + 0,7857$

Desta forma determinou-se a correção para os instantes em que foram registrados os parâmetros ambientais, ou seja, de 5 em 5 minutos. Aplicando essas informações em um *software* adequado, gerou-se um polinômio de primeiro grau, cuja resposta é a correção, dos efeitos ambientais, em ppm para distâncias medidas em qualquer horário dentro do intervalo de observação das condições atmosféricas.

Os argumentos utilizados para gerar o polinômio foram a média das correções obtidas nos extremos e a dimensão da base. Com esse procedimento procurou-se determinar as correções com maior confiabilidade.

3.2.2 - Horizontalização das distâncias:

A horizontalização das distâncias é um processo bastante simples e conhecido. Embora a estação total TC2002 forneça o ângulo vertical com precisão nominal de 0,5", optou-se pela utilização do desnível entre os pilares tendo em vista que os mesmos foram obtidos com precisão de primeira ordem, ou seja, a baixo de $3\text{mm}\sqrt{k}$, (k distância média entre o nivelamento e contra nivelamento), como foi visto no item 3.2.1.

3.2.3. Valores preliminares para a escala da base:

A superabundância de observações, na definição da escala, permitiu o ajustamento pelo método paramétrico, tendo em vista que é possível expressar os valores observados ajustados em função dos parâmetros ajustados (GEMAEL, 1994).

$$L_a = F(X_a)$$

Como o modelo é linear, não é necessário determinar os valores aproximados para os parâmetros, logo o valor ajustado é dado pela seguinte expressão.

$$AX^{(a)} = L_b + V$$

$$X^{(a)} = (A^T P A)^{-1} (A^T P L_b)$$

Onde:

A: Coeficiente dos elementos das equações de observação;

P: Matriz dos pesos;

L_b : Vetor dos valores observados;

$X^{(a)}$ = Vetor dos valores ajustados.

V : Resíduo;

A solução do sistema de equações obtido aplicando-se as observações na equação 09, é demonstrada com propriedades por Gemael (1994). Não é objetivo deste trabalho detalhar tal metodologia. Cabe apenas ressaltar que a matriz dos pesos foi considerada como matriz identidade, nesta primeira fase do trabalho.

Uma consequência do ajustamento é a matriz variância-covariância dos valores ajustados. Tal matriz será utilizada na determinação dos fatores de calibração como peso.

Na tabela 02 constam as distâncias padrão para a base da Fazenda Cangüiri. Vale a pena lembrar que essas distâncias consideram apenas os aspectos lineares.

TABELA 02 – Escala da base da fazenda Cangüiri

PILARES	CAMPANHAS (M)				MÉDIA	σ (mm)
	01(96)	02(98)	03(98)	04(99)		
P1 – P2	70,869	70,868	70,868	70,867	70,868	0,200
P1 – P3	222,790	222,790	222,789	222,788	222,790	0,141
P1 – P4	385,845	385,848	385,847	385,844	385,847	0,250
P1 – P5	648,252	648,255	648,254	648,248	648,254	0,126
P1 – P6	759,681	759,685	759,683	759,678	759,684	0,258
P1 – P7	789,921	789,926	789,924	789,918	789,924	0,222
P2 – P3	151,920	151,921	151,920	151,919	151,921	0,126
P2 – P4	314,979	314,979	314,978	314,975	314,978	0,142
P2 – P5	577,382	577,387	577,385	577,380	577,385	0,245
P2 – P6	688,813	688,817	688,815	688,809	688,815	0,163
P2 – P7	719,052	719,057	719,055	719,050	719,057	0,289
P3 – P4	163,055	163,057	163,057	163,055	163,057	0,100
P3 – P5	425,461	425,464	425,463	425,460	425,464	0,250
P3 – P6	536,893	536,895	536,894	536,890	536,894	0,160
P3 – P7	567,130	567,135	567,133	567,130	567,133	0,259
P4 – P5	262,405	262,408	262,407	262,405	262,408	0,191
P4 – P6	373,836	373,839	373,838	373,835	373,838	0,096
P4 – P7	404,075	404,079	404,078	404,074	404,078	0,150
P5 – P6	111,429	111,432	111,432	111,430	111,432	0,216
P5 – P7	141,669	141,672	141,671	141,670	141,672	0,126
P6 – P7	30,240	30,241	30,241	30,241	30,242	0,050

3.3 – FORMULAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA NA DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ESCALA:

O modelo matemático aplicado para a determinação dos fatores de calibração de um MED, está muito bem descrito em (EMENIKE,1982; EMENIKE, 1982; GRIPP, 1986; PACILEO NETTO, 1990; RÜGUER, 1990). Como o objetivo do trabalho é determinar o fator de escala, é necessário tratar os erros nas medidas eletrônicas separadamente. Na primeira fase do ajustamento será determinado o Erro de Zero e o Fator de Escala. Os erros de observação juntamente com os elementos do erro cíclico, serão tratados na segunda fase deste trabalho.

Sendo assim o modelo matemático que será utilizado é:

$$D_{p_{ij}} - d_{o_{ij}} = V_{ij} + m \cdot d_{o_{ij}} + Z_0 \quad (01)$$

$$i = 1,2,\dots,6$$

$$j = 2,3,\dots,7, \text{ para } i < j \text{ e } i \neq j$$

onde:

m = Fator de Escala;

$d_{o_{ij}}$ = Distâncias medidas com o equipamento que será calibrado;

Z_0 = Erro de Zero;

$D_{p_{ij}}$ = Escala da Base;

V_{ij} = Resíduo.

Aplicando a equação 1, para $i = 1$ e $j = 2$ chega-se a seguinte equação para o primeiro intervalo.

$$D_{p_{12}} - d_{o_{12}} = V_{12} + m \cdot d_{o_{12}} + Z_0 \quad (02)$$

Sendo assim, para a configuração atual da base da UFPR, teremos um sistema com 21 equações a 2 incógnitas (Z_0 e m). O sistema de equações formado através da aplicação das observações na equação 08, foi resolvido aplicando o método paramétrico, da mesma forma que foi descrito no item 3.2.3. Tal solução, programada em linguagem FORTRAN, consta em (FAGGION, P. L.,1999)

4- DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ESCALA UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE LABORATÓRIO:

4.1.CALIBRAÇÃO DA FREQUÊNCIA MODULADA:

A calibração em laboratório deve seguir uma metodologia bastante rigorosa, em ambiente com controle rigoroso das condições ambientais, além de equipamentos específicos, tais como:

- Osciloscópio;
- Frequencímetro e
- Fotodetector

O laboratório onde são feitas as observações, deve ser mantido numa temperatura específica durante

todo o teste. O MED deve estar ligado durante cerca de 60 minutos, em um tipo de medida específico (ex: tracking mode) e em operação contínua. A medida é feita da seguinte forma: O MED deve estar apontado para o fotodetector, de forma que este capte o sinal da onda portadora e envie-a ao osciloscópio, que mostrará o comportamento da onda e na seqüência enviará ao freqüencímetro, para que este, por sua vez, faça uma leitura exata da freqüência do equipamento em testes. Alguns equipamentos dispõem de uma medida automática de freqüência, como é o caso da Estação Total Wild TC2002, disponível no Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG).

Tendo o valor real da freqüência (valor medido), faz-se uma relação com o valor nominal desta (valor fornecido pelo fabricante) e através da equação 03 é possível determinar a correção da variação da freqüência em ppm:

$$C = (f_{nom} - f_{med}) / f_{med} \quad (03)$$

ou ainda:

$$d_{corr} = d_{med} + [(f_{nom} - f_{med}) / f_{med}] \cdot d_{med} \quad (04)$$

d_{corr} : Distância corrigida do erro de escala;

f_{nom} : Freqüência nominal;

f_{med} : Freqüência medida;

d_{med} : Distância medida;

C : Correção dada em ppm.

4.2. CALIBRAÇÃO REALIZADA NO LAIG:

Para a calibração realizada com a Estação Total *Leica* TC403L, foram usados os seguintes equipamentos, (FIGURAS 4 e 5):

-FOTODETETOR C536 – THORN-EMI

-FREQUÊNCÍMETRO PM667

-OSCILOSCÓPIO PM3055 – PHILIPS

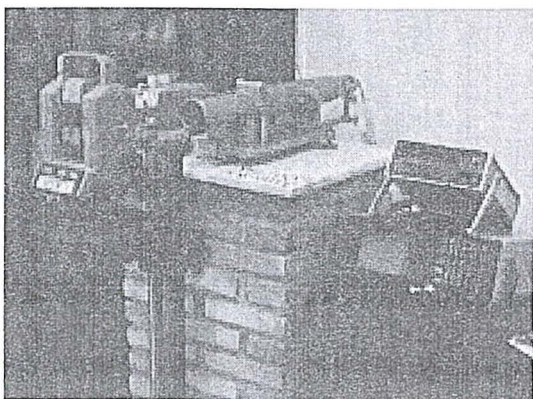


FIGURA-04 Conjunto de instrumentos utilizados no

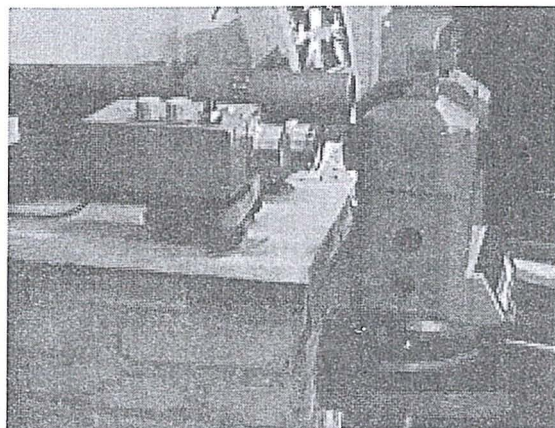


FIGURA-05 Detalhe do fotodetector.

5. RESULTADOS PRELIMINARES:

5.1. CAMPO:

Os experimentos de campo foram realizados com uma estação total TC403 *Leica*. As reduções das condições atmosféricas e a horizontalização da distância, obedeceram os mesmos critérios utilizados na determinação da escala da base.

As medições realizadas geraram um conjunto de dados que pode ser visto na tabela abaixo.

TABELA 03 – DISTÂNCIA ENTRE PILARES OBTIDAS COM A TC403L

PILARES	Distâncias (m)
P1 – P2	70,869
P1 – P3	222,790
P1 – P4	385,845
P1 – P5	648,249
P1 – P6	759,679
P1 – P7	789,921
P2 – P3	151,920
P2 – P4	314,976
P2 – P5	577,380
P2 – P6	688,810
P2 – P7	719,051
P3 – P4	163,055
P3 – P5	425,462
P3 – P6	536,891
P3 – P7	567,131
P4 – P5	262,405
P4 – P6	373,834
P4 – P7	404,075
P5 – P6	111,428
P5 – P7	141,668
P6 – P7	30,241

Resolvendo o sistema de equações gerado a partir das distâncias padrão e as distâncias medidas

com o equipamento sob calibração (TC403L), aplicadas na equação 11, chega-se aos seguintes valores para o Erro de Zero e Fator de Escala.

$$\text{Fator de Escala} = 5,56\text{ppm} \quad \sigma = 0,89 \text{ ppm}$$

$$\text{Erro de Zero} = 0,56 \text{ mm} \quad \sigma = 0,41 \text{ mm}$$

O resultado demonstra uma correção de 5,56 ppm, acima da precisão nominal do instrumento que é de (3mm + 3 ppm).

5.2. LABORATÓRIO

Após todos os procedimentos necessários, anteriormente descritos e uma estabilização da temperatura do laboratório em 21 C°, o resultado da frequência medida para a Estação Total Wild TC403L foi de 50,00056 MHz

Aplicando o valor nominal de 50 MHz e o valor medido de 50,00056MHz, na equação 13 do item anterior, chega-se ao seguinte valor para a correção:

$$C = (50 - 50,00056) / 50,00056, \quad \text{então:}$$

$$C = -11,4 \cdot 10^{-6}$$

ou

$$C = -11,4 \text{ ppm}$$

Agora utilizando a equação 14, para uma determinada distância por exemplo 1 km:

$$d_{\text{corr}} = 1000000 + [(50 - 50,00056) / 50,00056] \cdot 1000000$$

$$\text{ou } d_{\text{corr}} = 999988,60 \text{ mm} = 999,988 \text{ m}$$

O mesmo procedimento aplicou-se para a estação total TC2002, utilizada como padrão na determinação da escala da base. O valor obtido para a frequência, neste caso, foi de 49,99997 MHz. Aplicando respectivamente as equações 13 e 14, chega-se aos seguintes valores para a correção em ppm e para uma distância de 1000m corrigida.

$$C = 0,60 \text{ ppm e}$$

$$d_{\text{corr}} = 1000000,6 \text{ mm} = 1000,0006 \text{ m}$$

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:

6.1 - CONCLUSÕES

O presente trabalho, encontra-se em fase inicial, com um pequeno número de observações, porém a metodologia mostrou-se eficiente evidenciando uma necessidade de aferição periódica dos instrumentos.

As pequenas variações encontradas nas distâncias entre pilares, sugere uma investigação mais profunda no sentido de se determinar tais valores com maior rigor, e mesmo verificar possíveis efeitos de recalque.

A determinação da frequência em laboratório exige um controle rigoroso das condições ambientais, bem como uma orientação bastante rigorosa entre o fotodetector e o instrumento de medida.

A diferença entre os valores fatores de escala determinados em laboratório e campo, para a TC403L, sugerem uma investigação mais aprofunda tendo em vista que tal fato não se repetiu para a estação total TC2002.

6.2. – RECOMENDAÇÕES:

Acrescentar dois pilares excêntricos a base da fazenda Cangüiri introduzindo, desta forma, observações angulares e os conceitos de Análise multivariada para detectar possíveis variações nas distâncias padrão (já em fase de execução).

Realizar mais testes na fazenda Camgüiri, com outros e com o mesmo equipamentos para determinar com maior segurança e também, verificar a repetibilidade dos fatores de calibração obtidos.

Realizar a calibração do freqüencímetro utilizado para a medida da frequência, uma vez que o mesmo não dispõe de tal documento

Implementar a nível de laboratório e campo a metodologia para a determinação das componentes do erro cíclico.

Realizar medidas entre os pilares com outros equipamentos de maior precisão.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORDINI, J., 1991. Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos. Dissertação de mestrado, CPGCG, UFPR. 138p..

DE FREITAS, S. R. C.; MEDEIROS, Z. F. ; FAGGION, P. L.; JOHANSSON, A.; GONCHO, G. & MIRANDA, J.M.P., 1996. Otimização dos levantamentos altimétricos de precisão. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.: 479-488.

EMENIKE, E. N, 1982. On the Calibration of EDM instruments. Australian Surveyor, Sydney, V. 31 n. 03, Pag. 175 –185.

EMENIKE, E. N, 1982. A Simplified approach to Accurate EDM Instruments Calibration. Survey Review, London, V. 26, n. 204, Pag. 173 –178.

FAGGION, P. L. & DE FREITAS, S. R. C., 1996. Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil,

- Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.: 494-503.
- FAGGION, P. L., 1999. Determinação do fator de escala em Estações Totais e "MED" utilizando observações de campo Laboratório. Seminário II, CPGCG, Universidade Federal do Paraná, 41p.
- FRERKING, M. E., 1978. Crystal oscillator design and temperature compensation. Van Nostrand-Reinhold, New York,.
- GEMAEL, C., 1995. Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas. Editora UFPR, 319pp..
- GRIPP, J. Jr. 1986. Calibração de Distanciômetros Eletrônicos com medidas de campo: Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR,.
- IBGE, *Resolução - PR n°22*, Boletim de serviço, Rio de Janeiro, RJ 1983.
- KAHMEN, H. FAÍG, W. 1988. Surveyng -New York: editora: de Gruyter, 578pp.
- PACILÉO NETTO, N., 1990. Calibração de medidores eletrônicos de distância, construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição. Tese de doutorado, E.POLI/USP, 186p..
- RÜEGER, J.M., 1977. Designe and use of base lines for the calibration of EDM-Instruments, Australian Survey Congress, Darwin. Australian.
- RÜEGER, J.M., 1982. Quartz crystal oscillator and their effects on the scale stability and standardization of eletronic distance meters, Unisurv Report S-22, Scholl of Surveying, University of New South Wales, Sidnei, Australia,.
- RÜEGER, J. M., 1990. Electronic Distance Measurement. 3th ed., Springer-Verlag, Berlin. 266p..
- WILD TC2002, 1994. User manual. Heerbrungg, Suiza,

FUSION OF COLOUR INFRARED IMAGERY AND AIRBORNE LASER SCANNING DATA IN THE AUTOMATIC CLASSIFICATION OF URBAN ENVIRONMENTS

¹J. B. K. Kiema

²H.-P. Bähr

Institute for Photogrammetry and Remote Sensing (IPF)
University of Karlsruhe
Englerstr. 7, 76128 Karlsruhe, Germany
Tel.: +49-(0)721-608-6994, Fax: +49-(0)721-694-568
¹kiema@ipf.uni-karlsruhe.de
²baehr@ipf.uni-karlsruhe.de

ABSTRACT

The fusion of multi-sensor data is important in the automatic classification of urban environments. In this study, the additional channel concept is used to fuse airborne laser scanning (ALS) data with a colour infrared (CIR) image acquired for a typical urban scene. To facilitate the co-registration of the two data sets is generated a CIR ortho-image using the digital surface model derived from the ALS data. This effectively integrates the geometric and multi-spectral information sources. In order to incorporate context analysis in the feature extraction, the feature base is expanded to include both spectral and spatial features. A maximum likelihood classification approach is then applied after an initial clustering procedure. Shadow effects present in the fused imagery are subsequently eliminated. The error matrix method is then employed to assess the thematic accuracy of the classification results obtained. Kappa related measures as well as accuracy parameters derived from Kullback-Leibler information on multinormal distributions are estimated. For comparison purposes, use is made of Delaunay triangulation. It is demonstrated that the classification of urban scenes is significantly improved by fusing the multi-spectral and geometric data sets.

Key words: Data fusion, airborne laser-scanning, multisource classification .

1. INTRODUCTION

The future use of earth sensor data and through this, the future development of mapping sensors, will continue to be influenced by algorithmic progress in various fields including: automatic image understanding, data fusion and data compression. In this regard, the automatic classification of features from remotely sensed imagery is important for GIS database updating. This is of particular interest in urban environments, especially given the high concentration of man-made features in such areas. Indeed, that most of the research effort in the automatic segmentation of geo-spatial imagery is currently focused on man-made features in general, and buildings and roads in particular, testifies to this fact. Nonetheless, in view of their size, structure, spectral characteristics as well as simple diversity, the segmentation of man-made features poses a special challenge.

Spectral information is conventionally employed in the classification of multi-spectral imagery. However, results obtained from such methods are usually

unsatisfactory, particularly for applications involving the mapping of man-made structures and natural features in complex urban scenes. These are often characterised by limited accuracy and low reliability (Haala and Brenner, 1999). Furthermore, it is not possible to discriminate between object features that display similar spectral reflectance characteristics for instance, building roofs from pavements that are built using similar materials or trees from grass-covered areas.

Airborne laser scanning (ALS) is well suited for the production of digital surface models (DSMs). The geometric information contained in this data can be used to support the segmentation of objects that are projected higher than the terrain (e.g., buildings, trees etc.) from those that are basically at terrain level (e.g., pavements, gardens, parks etc.) (Haala and Walter, 1999). The use of this data alone is however, of limited applicability, especially in the segmentation of urban objects. This is essentially because of the restriction of surface geometry which limits the number of object types that can be discriminated within the DSM. In order to

enhance its usefulness and thereby exploit its full potential, it is often necessary to integrate this with other complementary data sources e.g., multi-spectral data.

From the foregoing, the main objectives of the study presented here are twofold. Firstly, to consider within the perspective of data fusion, the automatic classification of urban environments from colour infrared (CIR) imagery and ALS data. And secondly, to compare this with similar results obtained from Delaunay triangulation methods.

2. TEST AREA AND DATA USED

The selected test area for this study encompasses a typical urban scene in the city of Karlsruhe. This lies in the south-western part of the Federal Republic of Germany near the boundary with France and includes part of the main campus of the University of Karlsruhe. CIR imagery captured at a scale of 1:5 000 using a conventional aerial camera are scanned at $170\mu\text{m}$. A normalised DSM derived from ALS data is also employed. An ortho-image is generated from the CIR image by using the available DSM. This enables the co-registration of the different data sets while at the same time correcting for the relief displacement in the CIR image. Fig. 1 shows the generated CIR ortho-image.

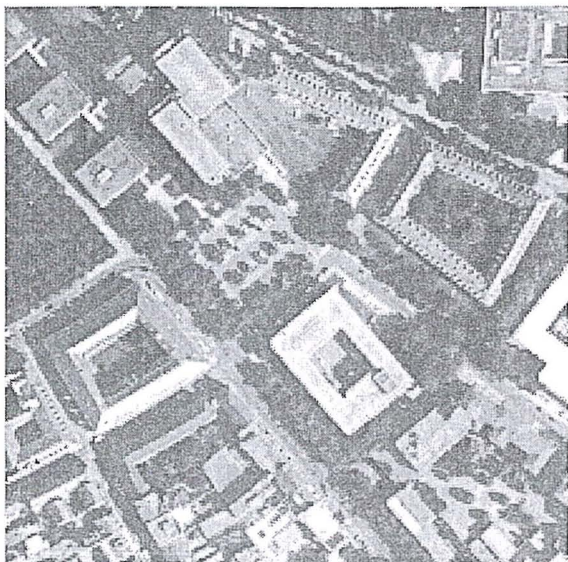


Figure 1: CIR ortho-image

In principle, two ALS sensor types can be distinguished: pulse and continuous wave (CW) laser systems. The operating principle of ALS is relatively simple. Basically, a laser beam is emitted from a sensor usually on-board an airborne platform. The signal as reflected from different objects or the terrain surface underneath is then recorded. For the pulse laser system, the range distance from the sensor to the reflecting objects/surface is estimated from the run-time between emission and reception of this signal. The same is

estimated for the CW laser system from phase difference measurements as articulated in (Wehr and Lohr, 1999).

Using this range distance together with the instantaneous sensor position and orientation obtained from integrated GPS/INS, it is possible to estimate the position and elevation of different object features. Object points can be measured for every $0.5 \times 0.5 \text{m}^2$ with accuracies of the order of about 0.3m (Lohr, 1997). Fig. 2 exemplifies a typical 3D view of a DSM obtained from the first pulse (echo) measurement for part of the ALS data used in this study.

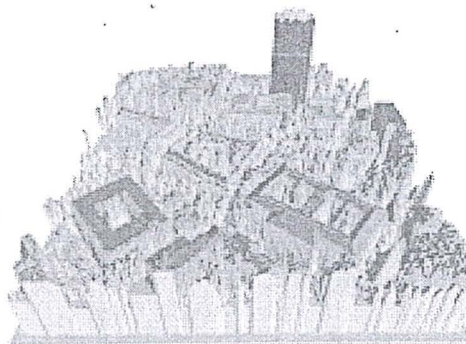


Figure 2: 3D illustration of a DSM derived from ALS data

3. DATA FUSION

3.1. Concept of data fusion

The quantity of geo-spatial data available for the study of the environment, the geosphere and the biosphere has grown significantly over the last couple of years, partly due to the increase in the number of space missions devoted to the observation of the earth. Faced with the scenario of an ever increasing amount of data, it is imperative that the best information for a particular application be extracted. In this regard, and in order to facilitate an optimal exploitation of the synergy of these data, data fusion techniques are of paramount importance. (Wald, 1998) defines data fusion as a formal framework in which are expressed means and tools for the alliance of data originating from different sources. Conceptually, this aims at obtaining information of greater quality. The phrase "greater quality" is used here in a generic sense and hence, its exact meaning will vary depending on the application under consideration.

Although the concept of data fusion is easy to understand, its exact meaning and use often varies from one scientist to another. In principle, this may be performed at different levels for example, at measurement, attribute, rule or even decision levels.

Different approaches to the fusion of geo-spatial data may theoretically be employed e.g., RGB colour composites, IHS transformation, Principal Component Substitution, wavelets etc. (Pohl, 1999). The particular method adopted is influenced by several factors including: the type of application under study, the structure of the data to be fused as well as the image characteristics that need to be enhanced or preserved.

3.2. Fusing the different data sources

The fundamental ideas behind the combination of multisource data for scene labelling are outlined in (Hahn and Statter, 1998). Similarly, the combination of image and range data in the reconstruction of buildings is discussed in (Haala, 1996). In the application considered in this study, the geometric information of the ALS data is fused with the multi-spectral information of the CIR. In this regard, several different approaches to data fusion can be adopted. For instance, it is possible to make use of the hierarchical classification approach, the additional channel concept or even, a knowledge-based strategy

The hierarchical or layered classification approach is basically a structured technique through which the different data sets to be fused are applied in such a way as to successively divide the working area into more detailed object classes (Savian and Landgrebe, 1991). In principle, this begins with basic object classes before progressively zeroing in on more detailed ones. On the other hand, in the additional channel method the different data sets are introduced as separate channels in an integrated fashion within an expanded data framework. This of course necessitates the co-registration of the different data sets to a uniform georeference system. For the knowledge-based procedure, the data to be fused needs to be appropriately modelled and structured with respect to the particular knowledge representation formalism adopted (e.g., rule-based systems, semantic networks etc.). An example of the use of semantic networks in the interpretation of digital aerial photographs using a map-supported approach is discussed in (Quint, 1997).

Comparing the above methods, the main disadvantage of the hierarchical classification approach is the propagation of the classification errors in the subsequent classification steps. Conversely, the main advantage of the additional channel procedure is its simplicity as well as the enhanced flexibility in the data processing. On the other hand, although knowledge-based methods for the integration of multi-source data are fairly rigorous, these are nevertheless, relatively complicated as the entire data system needs to be reorganised accordingly. This can be a fairly complex task depending on the intricacy of the particular problem under investigation and the structure of the different data sets that need to be integrated. Because of the above reasons, the additional channel concept is adopted for the data fusion in this study. Hence, the

normalised ALS data is integrated as an additional channel alongside the three multi-spectral bands of the generated CIR ortho-image.

3.3 Limitations in the fused data

Experience with the fused data has shown that it is desirable that the different data sets to be synergised be captured in more-or-less the same season, particularly if multi-spectral image data acquired from satellite sensors with sun synchronous orbits is employed. This is important in the selection of the training data as it avoids the imperative need to digitise new training areas with every different data set integrated. Normally, because of different spectral characteristics of different object features (e.g., vegetation) depending on the season of data acquisition, different spectral diffusions are often recorded. To overcome this problem, new training areas need to be ideally digitised for every fused data set. In practice, this translates to a very time consuming exercise. A more practical solution to this would be to procure the training data using automatic methods from an already existing GIS database as proposed in (Walter, 1998).



Figure 3: Occlusions near buildings affect the homogeneity of multi-spectral data

Besides the above drawback, another open issue remains the homogeneous quality of the different data sources employed. In order to fully exploit the integrated data, the homogeneity of all the fused data sets should ideally be maintained for the entire test area. In practice however, because of several reasons this is not always upheld. Inevitably, this leads to problems in the image segmentation. Several possible manifestations of this are noted. Firstly, as shown in Fig. 3 the homogeneity in the case of high-resolution multi-spectral data may be infringed by occlusions near buildings often as a result of nearby trees. This is particularly complicated in urban scenes where it is ordinarily difficult to distinguish between buildings and trees using their spectral characteristics, especially if

both exhibit similar height and texture. As discussed in (Centeno *et al.*, 1999), a possible solution to this lies in the introduction of threshold height values to the segmented candidates for the class *Building*. The obstruction of object features resulting purely from shadows which incidentally also affects the homogeneity of fused data, especially for high-resolution geo-spatial image data, is examined here separately from a post-processing perspective.

Geometric problems in the generated CIR ortho-image may also compromise the homogeneity of the fused data. Similarly, limitation in the ALS data may lead to certain areas in the object space being omitted. This manifests itself as gaps or "dead areas" within the DSM. Fig. 4 shows an example of this problem for the first laser pulse measurement with the dark regions denoting the "dead areas". In principle, these undesirable regions are the result of poor or no object reflection being recorded from those particular areas at the adopted wavelength of the laser beam. Certainly, this reiterates the importance of evaluating the backscattering properties of the object features of interest when considering the appropriate laser wavelength for a particular task (Wehr and Lohr, 1999). In general, specular surfaces (e.g., water bodies) often result in low reflectance values.

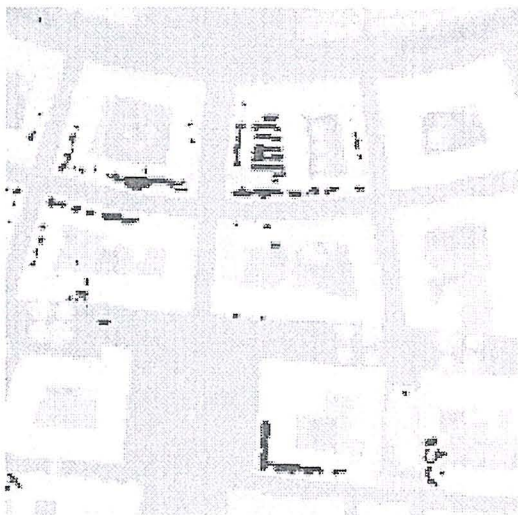


Figure 4: ALS data showing "dead areas"

4. CLASSIFICATION OF URBAN ENVIRONMENTS

4.1. **Integrated classification approach**

The inadequacy of conventional multi-spectral classification in urban areas has been acknowledged in many studies (e.g., (Fung and Chan, 1994); (Barnsley and Barr, 1996)); (Haala and Brenner, 1999) etc). In applications where high accuracies are required, it is imperative to enhance the feature base. This needs to be expanded to include both spectral and spatial parameters ((Schilling and Vögtle, 1996); (Kunz *et al.*, 1998)).

Table 1 shows some of the parameters that need to be considered. These may be included either explicitly through the introduction of complementary data sources or implicitly through the use of appropriate segmentation methods. For example, it is possible to implicitly incorporate topological information through the use of triangulation segmentation methods e.g., Delaunay triangulation.

Spectral features	Spectral Signature Texture
Spatial features	Structure Size Shape/Contour Topology

Table 1: Extended feature base

Different classifiers may be employed in the supervised classification of remotely sensed data, namely: maximum likelihood, minimum distance and parallelepiped classifiers (Lillesand and Kiefer, 1994). For the study presented here, a maximum likelihood classification approach, as opposed to contextual segmentation methods, is adopted after an initial clustering procedure. The selection of the training data is basically done using manual digitising. Five basic urban object classes are identified: *Buildings*, *Pavements*, *Trees*, *Grass-covered areas* and *Special*. The class *Special* is introduced in order to take care of the many miscellaneous urban objects of limited dimension (e.g., vehicles, water fountains, sculptures etc.) that otherwise exhibit a disturbing influence on the segmentation of other object classes. In order to circumvent this problem, these features are treated as a separate object category and their unique characteristics (e.g., size) exploited to enable their segmentation. Moreover, it is important to handle these objects separately since most of these are basically "non-permanent features" which can later on be re-classified into the more permanent object features that they obscure (e.g., pavements). The classification results obtained when only the CIR image is employed are shown in Fig. 5.

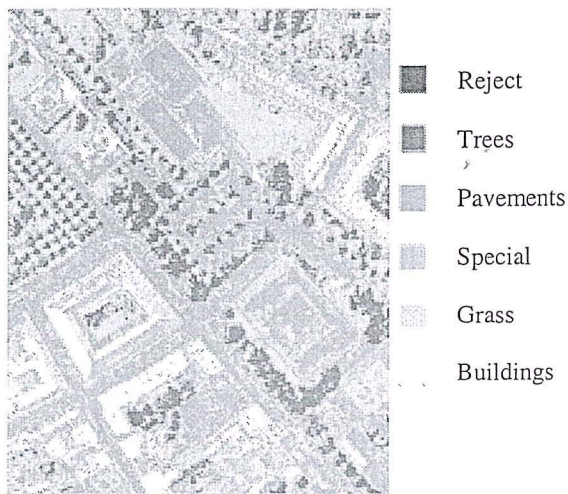


Figure 5: Classification results for multi-spectral data excluding ALS data

Prior to the final classification, the elimination of shadow effects is considered. In general, shadows constitute a major impediment to the successful segmentation of areas that are characterised by rough surfaces and steep slopes, as is often the case in urban scenes. Basically, these "falsify" the spectral response of the features that they obscure thereby distorting the overall image homogeneity. This effect is more apparent in high-resolution remotely sensed imagery than in corresponding low-resolution imagery. The elimination of shadow effects is therefore most desirable. For the purposes of this study, this is achieved using an approach similar to that described in (Haala and Walter, 1999).

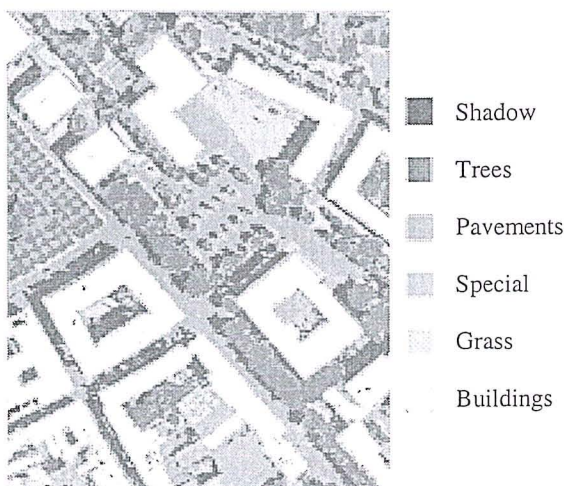


Figure 6: Classification results for fused CIR ortho-image and ALS data showing shadow effect

Firstly, the shadow areas on the imagery are automatically identified. A separate class *Shadow* is then introduced for each of the apriori defined object classes. This means that each object class is divided into

one separate subclass for shadow areas and another for non-shadow areas. Separate training data is digitised for each subclass. The classification is then carried out after which the shadow and non-shadow subclasses for each object class are combined. This results in one unique class for each apriori defined object class. Fig. 6 illustrates the classification results when predefined shadows are introduced as a separate class. The final classification results in the presence of both the multi-spectral and geometric data are shown in Fig. 7.

Normally, after classifying an image some quality measure is required in order to allow a degree of confidence to be attached to the results. This also serves to indicate whether the analysis objectives have been realised (Richards, 1993). Different quality aspects may be evaluated depending on the particular analysis domain considered for instance, accuracy, resolution, completeness, consistency etc. This study focuses on the thematic accuracy of the classification results. In general, different approaches to the assessment of this can be distinguished including: error matrix-based methods, spectral distance-based methods as well as quantitative methods.

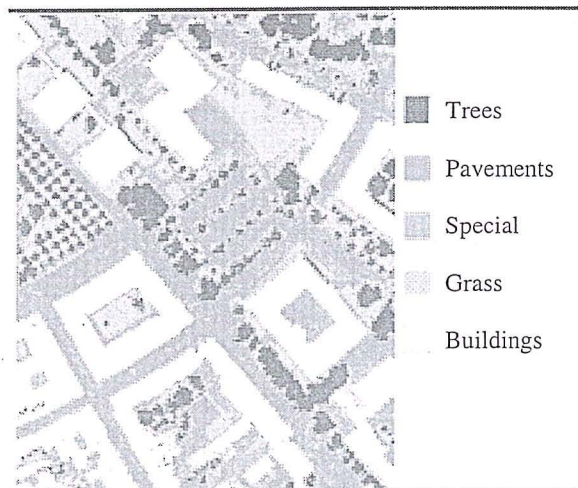


Figure 7: Classification results for fused CIR ortho-image and ALS data

The error matrix method is used to evaluate the thematic accuracy of the final classification results obtained. Ground truth methods complemented by existing topographic map sheets are employed as the reference basis for the evaluation. Stratified random sampling procedures are used to estimate the error (confusion) matrix. Various Kappa related measures as well as accuracy parameters derived from Kullback-Leibler information on multinormal distributions (Nishii, 1999) are then estimated as presented in Table 2. These results confirm that a fairly good image classification is realised.

Kappa statistic:	0.902
Class-averaged accuracy:	0.908
Overall accuracy:	0.902
Jpro:	0.901
Juni:	0.908
R_pro($X \Gamma$):	0.098

Table 2: Thematic classification accuracy

4.2. Delaunay Triangulation

Triangulation-based segmentation methods are generally employed in mid-level image processing procedures in order to combine structured image regions into semantically homogeneous clusters. The fundamental image segmentation primitive in triangulation schemes is the *Delaunay triangle* (Centeno and Weindorf, 1999). Through this, use is made of the topological relationship between the image segments. This is in contrast to conventional segmentation methods which rely on the spectral information of the image pixels. In principle, the image is first segmented using some low-level image analysis procedure. Thereafter, a Delaunay tessellation is developed from the extracted image segments. This in effect transforms the image pixels into the graph structure (Anders, 1999).

In general, a triangulation is defined as a subdivision of an area into triangle primitives. The Delaunay triangulation (DT) which is essentially a graph-based clustering method, has the intrinsic property that the circumcircles of every triangle are empty (Okabe *et al.*, 1992). The result of this is a set of polygons describing the semantically homogeneous region of the image that have a unique topological structure. In order to smoothen the extracted segments and minimise the level of noise in the segmentation results, use is made of mathematical morphology and connected components. A more comprehensive discussion of these is given in (Serra, 1986) and (Haralick and Shapiro 1992) respectively. As an example, segments are extracted for the object class *Buildings*. A Delaunay tessellation is then applied. Fusing the valid object segments as described in (Schilling and Vögtle, 1996) results in Fig. 8.

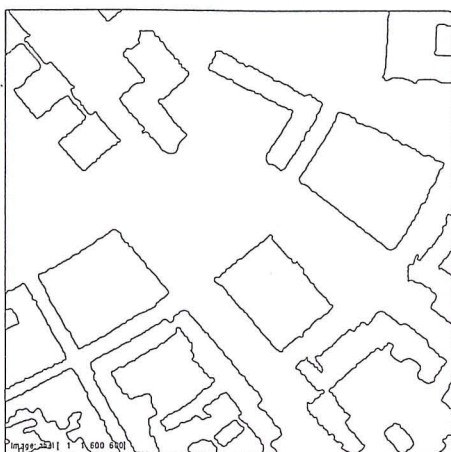


Figure 8: Selection and fusion of valid building segments

4.3. Discussion and Application of Results

A number of basic observations can be drawn from the above results. Firstly, it is virtually impossible to effectively classify CIR imagery covering urban scenes when only the spectral information is relied upon. A comparison of Figs. 5 and 7 clearly demonstrates the improvement realised in the classification results upon fusing the multi-spectral and geometric data sets. In particular, the enhanced ability to discriminate between low lying urban objects (e.g., pavements) from objects that are significantly above the terrain (e.g., buildings) is noted. In addition, the ability to distinguish pavements from buildings that are characterised by roofing material that exhibit similar spectral characteristics to pavements is also observed. The possible misclassifications that would result in the event that shadow effects are not adequately corrected for is demonstrated by comparing Figs. 6 and 7. This reaffirms the importance of correcting for shadow effects in high-resolution remotely sensed imagery. In general, the Delaunay triangulation results compare very well with similar results obtained using the integrated classification approach, particularly in as far as the building contours are concerned.

Although the classification results obtained are neither precise nor detailed enough to enable the automatic reconstruction of buildings or roads they can nevertheless, be employed in the automatic verification of objects defined in GIS databases. Through this, the spatial inconsistencies between the existing GIS database and the classified image can be automatically assessed. This can then be used to assist an operator-based updating of the GIS data. Another possible application of the classification results would be in the mapping of urban vegetation (e.g., tree coverage). Extracted trees could be used to support visualisation and simulation of urban environments using 3D city models or in forest management. In addition, these could also be used to provide context information in the automatic extraction of other urban objects as noted in (Baumgartner, 1998). Similarly, the Delaunay triangulation results may be used to support the automatic verification of GIS databases.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

This study underlines the importance of data fusion in the classification of complex urban scenes. In particular, the need to fuse multi-spectral and geometric data sets is underscored. This provides supplementary object information that facilitates the discrimination of the various man-made and natural objects. In this regard, it can be projected that, despite the high anticipation associated with the introduction of high-resolution commercial sensors, the importance of data

fusion in the classification of urban environments will probably remain. Nonetheless, it is imperative that the fusion of multi-source data be formulated and structured accordingly in order to enable users to fully rely on software to integrate their data.

The need to incorporate context information in the feature extraction is also articulated. This is achieved by expanding the feature base to incorporate both spectral (e.g., spectral signature, texture) and spatial features (e.g., size, structure, topology etc.). Further, it is postulated that as the spatial resolution of satellite sensor imagery continues to increase, the need to introduce local context analysis in the automatic recognition of urban objects is going to become even more necessary.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to acknowledge the support of the *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD) in the preparation of this paper.

7. REFERENCES

- ANDERS, K.-H., Sester, M. and Fritsch, D., 1999: Analysis of Settlement Structures by Graph-based Clustering, In: *Semantic Modelling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*, pp. 41-49.
- BARNESLEY, M.J., and Barr, S.L., 1996: Inferring Urban Land Use from Satellite Sensor Images using Kernel-based Spatial Reclassification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57(4), pp. 949-958.
- BAUMGARTNER, A., 1998: Extraction of Roads from Aerial Imagery based on grouping and local context, In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 3/1, pp. 196-201.
- CENTENO, J.A.S., Kishi, R.T. and Bähr, H.-P., 1999: Recognition of Buildings Using Scanned Maps and Laser Scanner Altitude Data, *Photogrammetrie. Fernerkundung. Geoinformation*. Vol. 1/99, pp. 19-28.
- CENTENO, J.A.S., and Weindorf, M., 1999: Spatial Information for Image Segmentation, XVII CIPA Symposium, 3-6 October, 1999, Olinda, Brasil.
- FUNG, T. and Chan, K.C., 1994: Spatial Composition of Spectral Classes: A Structural Approach for Image Analysis of Heterogeneous Land-use and Land-cover types, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 60(2), pp. 173-180.
- HAALA, N., 1996: Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendaten. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 460, München.
- HAALA, N. and Brenner, C., 1999: Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54(2-3), pp. 130-137.
- HAALA, N. and Walter, V., 1999: Automatic Classification of Urban Environments for Database Revision using Lidar and Colour Aerial Imagery, In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 3/1, pp. 76-82.
- HAHN, M. and Stätter, C., 1998: A Scene Labelling Strategy for Terrain Feature Extraction using Multisource Data, In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 3/1, pp. 435-441.
- HARALICK, R. and Shapiro, L., 1992: *Computer and Robot Vision*, Vol. 1, Addison-Wesley, Reading Massachusetts.
- KUNZ, D., Vögtle, T. and K.-J Schilling., 1998: Integrierte Verarbeitung von Satellitenbild- und vektorieller Karteninformation. In: *Digitale Bildverarbeitung*, Bähr, H.-P. and Vögtle, T. (eds.), Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- LILLESAND, T. and Kiefer, R., 1994: *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley and Sons, New York.
- LOHR, U., 1997: Digital Elevation Models by Laserscanning: Principle and Applications. In *Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, pp.174-180.
- NISHII, R. and Tanaka, S., 1999: Accuracy and Inaccuracy Assessment in Land-cover Classification. In *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol 37(1), pp. 491-498.
- OKABE, A., Boots, B. and Suguhara, K., 1992: *Spatial Tesselations: Concepts and Application of Voronoi Diagrams*. John Wiley and Sons, Chichester.
- POHL, C., 1999: Tools and Methods for Fusion of Images of Different Spatial Resolution, In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3, pp. 76-82.
- QUINT, 1997: Kartengestützte Interpretation monokuler Luftbilder, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 477, München.
- RICHARDS, B., 1993: *Remote Sensing and Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- SAVIAN, F. and Landgrebe, D., 1991: A Survey of Decision Tree Classifier Methodology, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 21, No. 3, pp. 660-674.
- SCHILLING, K.-J. and Vögtle, T., 1996: Satellite Image Analysis Using Integrated Knowledge Processing, In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XVIII Congress of the ISPRS*, Part B3, Commission III, pp. 752-757.
- SERRA, J., 1986: An Introduction to Mathematical Morphology, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol. 35, pp. 283-305.
- WALD, L., 1998: A European Proposal for Terms of Reference in Data Fusion, In *International*

- Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*,
Vol. 32, Part 7, pp. 651-654.
- WALTER, V., 1998: Automatic Classification of
Remote Sensing Data for GIS Database Revision,
In *International Archives of Photogrammetry and
Remote Sensing*, Vol. 32, Part 4, Commission IV,
pp. 641-648.
- WEHR, A. and Lohr, U., 1999: Airborne Laser
Scanning: An Introduction and Overview.
*Photogrammetric Engineering and Remote
Sensing*, Vol. 54

ANÁLISE ESPACIAL PARA A INTEGRAÇÃO DE PROPRIEDADES PEDOLÓGICAS E CLIMÁTICAS

Simone Bönisch
Gilberto Câmara
Antônio Miguel Vieira Monteiro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Av. dos Astronautas, 1758, Jd. Granja, São José dos Campos – São Paulo – Brasil

CEP: 12227-010, Fone: (12) 345-6444

sbonisch@cwmatrix.com.br

gilberto@dpi.inpe.br

miguel@dpi.inpe.br

RESUMO

O trabalho compara duas metodologias de análise espacial para projetos ambientais, que se utilizam de Sistemas de Informações Geográficas. O projeto em questão trata do zoneamento pedoclimático para a cultura de soja no estado de Santa Catarina. A primeira metodologia consiste em uma transposição mais ou menos direta das técnicas tradicionais de integração de dados nas mesas de luz, aplicando os operadores da Álgebra Booleana. A segunda, reclassifica as propriedades ambientais, de qualitativas para quantitativas, por uma operação de ponderação e, combina-as por Operadores Aritméticos. Os resultados obtidos são avaliados qualitativamente por dados de controle, que são relativos à produtividade de soja.

ABSTRACT

This paper compares two methodologies of space analysis for environmental projects, that are used of Systems of Geographical Information. The project in subject treats of the agricultural zoning for the soy culture in the state of Santa Catarina. The first methodology consists more or less of a conversion direct of the traditional techniques of integration of data in the light tables, applying Algebra Boolean's operators. The second, classify the environmental properties, of qualitative for quantitative, for a ponder operation and, it combines them for Arithmetic Operators. The obtained results are appraised in a qualitative way for control data, that are relative to the soy productivity.

Palavras chaves: geoprocessamento, análise espacial, modelagem ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade, com a chegada do século XXI, confronta-se com dois problemas globais: a deterioração ambiental e esgotamento dos recursos naturais, e a crescente pressão sobre a capacidade de alimentar uma população em rápido crescimento (Cusack, 1983 citado por Thomé et al., 1996). Estes problemas sugerem o desenvolvimento de uma agricultura moderna, ecologicamente equilibrada e rentável.

Essa premissa tem levado à crescente necessidade por projetos ambientais que estabeleçam uma política agrícola, a qual contemple as atividades e culturas agrícolas que estiverem integradas à vocação ecológica regional, dando-lhes a garantia de estabilidade e rentabilidade competitiva. Nestes projetos o emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é justificada pela sua capacidade de integrar e transformar dados referenciados espacialmente, fornecendo um suporte à tomada de decisões (Câmara e Medeiros, 1996).

Porém, é pouco comum encontrar na literatura formulações metodológicas de geoprocessamento para aplicações ambientais, de caráter abrangente. A tendência natural dos especialistas é trazer de suas disciplinas de origem as metodologias tradicionais adotadas e, realizar nos SIGs uma transposição mais ou menos direta destas técnicas (Câmara e Medeiros, 1996).

Neste panorama, o objetivo deste trabalho é o de comparar duas metodologias de geoprocessamento para projetos ambientais, analisando os resultados obtidos por medidas de controle. A primeira metodologia adota os operadores da Álgebra Booleana para a integração de dados temáticos de propriedades naturais, determinando se uma certa condição é verdadeira ou falsa. Esta técnica é semelhante à tradicional técnica de análise espacial empregada nas mesas de luz (Bonham-Carter, 1994), que não admite a possibilidade de uma relação parcial onde os temas compensam uns aos outros, caracterizando-se como conservadora em termos de risco. A segunda, chamada de Classificação Contínua, um novo atributo quantitativo é associado às classes temáticas por uma operação de ponderação, expressando uma relativa associação de cada propriedade natural com um determinado processo natural "P" (Berry, 1987). A combinação dos dados quantitativos é feita por operadores aritméticos da Álgebra de Mapas (Tomlin, 1991 e Câmara, 1995), permitindo a compensação plena dos temas, aceitando um risco médio.

O projeto em estudo neste trabalho trata do zoneamento pedoclimático para a cultura de soja, no estado de Santa Catarina. Combina classes de solo, clima, aptidão pedológica e climática, nas duas metodologias já citadas. Os resultados obtidos são avaliados qualitativamente por medidas de controle, que são relativos à produtividade de soja.

2. DADOS UTILIZADOS NO TRABALHO

Foram usados neste trabalho os seguintes dados referentes ao Estado de Santa Catarina:

Mapa de solos: originado do levantamento de solos do estado, pelo Centro Nacional de Pesquisas de Solo – Embrapa. As unidades taxonômicas de solos são distinguidas por características e propriedades que complementam a definição da classe, como: eutrófico, destrófico ou álico, além de números sequenciais que ordenam a identificação de classes que pertencem a mesma unidade taxonômica mas são distintas quanto a vegetação, relevo e fase de pedregosidade (Santos et al., 1998).

Mapa de unidades climáticas: as unidades climáticas ou regiões agroecológicas foram definidas com base nos levantamentos climáticos disponíveis, realizados pela Gerência de Recursos Naturais da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. (Epagri) e trabalhos sobre climatologia do Estado. Teve como finalidade reunir os municípios, em nível de macroclima, com características

climáticas (especialmente em relação ao regime térmico - pluviométrico); geomorfológicas; de capacidade de uso dos solos e uso atual; e mais homogêneas possíveis. O Estado foi dividido em cinco grandes regiões agroecológicas, com algumas delas subdivididas em duas ou mais sub-regiões (Thomé et al., 1996).

Aptidão pedológica para a cultura de soja: a avaliação pedológica foi realizada pela Embrapa, considerando os parâmetros de fertilidade, textura, classes de relevo, profundidade efetiva do solo, suscetibilidade à erosão, drenagem, pedregosidade e/ou rochoso. Para a cultura de soja, a avaliação considerou apenas o nível de manejo C (desenvolvido), visto ser a soja uma cultura altamente tecnificada. Cada unidade de solo foi enquadrada a uma classe de aptidão determinada pelo parâmetro de maior grau de limitação, com exceção da fertilidade, já que o uso de corretivos e fertilizantes é uma prática prevista no nível de manejo considerado. As classes de aptidão são: Boa, Regular, Restrita e Inapta (Embrapa, 1997).

Aptidão climática para a cultura de soja: a avaliação da aptidão climática foi realizada pela Epagri, considerando os seguintes índices climáticos: soma térmica no ciclo igual ou superior a 800°C, sendo a temperatura mínima basal igual a 15°C e a temperatura máxima basal igual a 40°C; deficiência hídrica no primeiro decêndio (semeadura - emergência) inferior a 10mm; somatório das deficiências hídricas do décimo ao décimo segundo decêndios (enchimento do grão) inferior a 20mm e ocorrência das últimas geadas de primavera e as primeiras geadas de outono. (Thomé et al., 1997 citado por Embrapa, 1997)

A partir desses índices, as unidades climáticas foram associadas as seguintes classes de aptidão climática: Preferencial, Tolerada e Cultivo não recomendado (CNR) (Embrapa, 1997).

Malha municipal: obtida da Malha Municipal Digital do Brasil, gerada pelo IBGE (IBGE, 1996).

Quantidade de soja produzida por município: obtida do banco de dados SIDRA-97 (IBGE, 1998), que contém o registro da quantidade de soja produzida em toneladas, para cada município do Brasil, referentes aos anos de 1990 à 1996 (IBGE, 1998).

3. MATERIAIS

Para recuperação, manipulação, interpretação e análise dos dados, foram usados os seguintes softwares:

SPRING 3.0 versão windows: manipulação dos dados espaciais;

IDRISI: determinação dos atributos numéricos associados às classes de solo e clima (segunda aplicação do método de Classificação Contínua) a partir da matriz de comparação;

Microsoft EXCEL: manipulação dos dados de quantidade de soja produzida por município.

4. METODOLOGIA

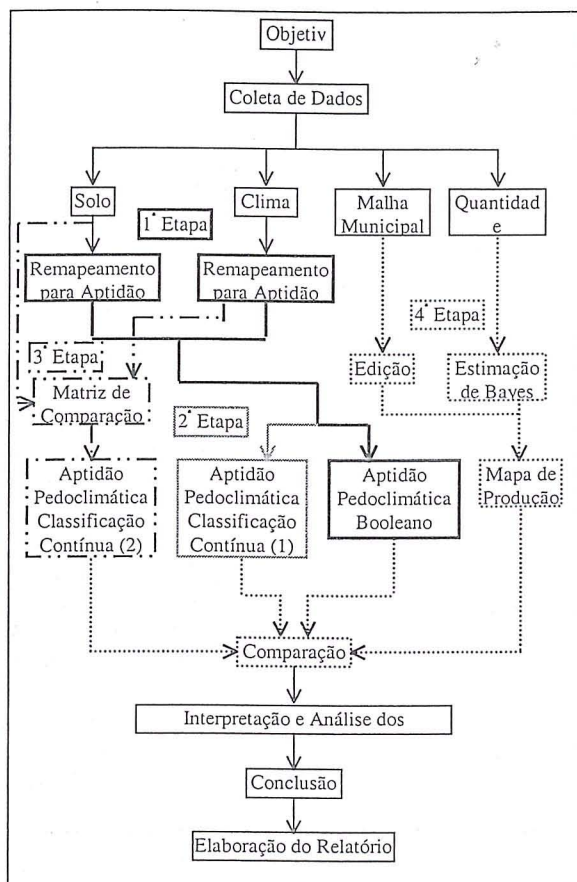


Fig. 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.

1ª Etapa

Nesta primeira etapa as classes de solo e clima foram remapeados para as correspondentes classes de aptidão pedológica e climática, como mostram as Figuras 2 e 3.

Em seguida, foram integradas por um conjunto de regras Booleanas, usando o operador lógico AND, segundo a Tabela 1:

TABELA 1 - POSSÍVEIS COMBINAÇÕES ENTRE AS CLASSES DE APTIDÃO PEDOLÓGICA E CLIMÁTICA.

Classe de aptidão pedológica	Classe de aptidão climática		
	Preferencial	Tolerada	CNR
Boa	Preferencial	Tolerada	CNR
Regular	Tolerada	Tolerada	CNR
Restrita	Marginal	Marginal	CNR
Inapta	CNR	CNR	CNR

Fonte: Embrapa (1997).

O mapa de aptidão pedoclimática resultante desta técnica é representado na Figura 4.

2ª Etapa

Se refere à primeira aplicação do método de Classificação Contínua. Foram atribuídos valores numéricos às classes de aptidão pedológica e climática

no range de 0 a 1, por uma operação de ponderação, com base nas características das classes, como mostra a Tabela 2:

TABELA 2 - VALORES NUMÉRICOS ATRIBUÍDOS ÀS CLASSES DE APTIDÃO PEDOLÓGICA E CLIMÁTICA.

Aptidão pedológica		Aptidão climática	
Classe	Valor	Classe	Valor
Boa	1	Preferencial	1
Regular	0,6	Tolerada	0,4
Restrita	0,4	CNR	0
Inapta	0		

Com a reclassificação para atributos numéricos, foram geradas duas grades regulares, com resolução em X e Y de 100m. Estas duas grades foram somadas, supondo-se que tanto a aptidão pedológica como a climática, têm iguais contribuições para a aptidão agrícola. A grade gerada da soma foi discretizada para quatro classes temáticas de aptidão pedoclimática que seguiram as mesmas denominações de Preferencial, Tolerada, Marginal e Cultivo não recomendado, gerando o mapa representado na Figura 5. Para determinar os valores numéricos correspondentes a estas classes, foi obtido o histograma da grade, que visualmente era muito semelhante a uma distribuição normal. Supõe-se então, que os valores da grade eram normalmente distribuídos e foram definidos quatro intervalos de igual probabilidade de ocorrência (25%). Os valores correspondentes a estes intervalos foram interpolados na grade delimitando as quatro classes de aptidão pedoclimática.

3ª Etapa

Esta etapa corresponde à segunda aplicação do método de Classificação Contínua, que teve a finalidade de atribuir valores numéricos, não mais às classes de aptidão pedológica e climática e sim às classes de solo e de clima, na tentativa de refinar a resolução espacial dos temas.

As classes de solo representadas no mapa foram separadas em quinze grupos de acordo com sua própria classificação e aptidão pedológica definida pela Embrapa. Os valores numéricos atribuídos a cada grupo foram determinados pelo módulo WEIGHT implementado no software IDRISI, que utiliza uma técnica de comparação pareada para definir um conjunto de pesos aos critérios (aqui, cada grupo). As comparações referem-se à importância relativa a cada dois critérios na determinação de sua aptidão para o objetivo determinado (aqui, aptidão agrícola), gerando

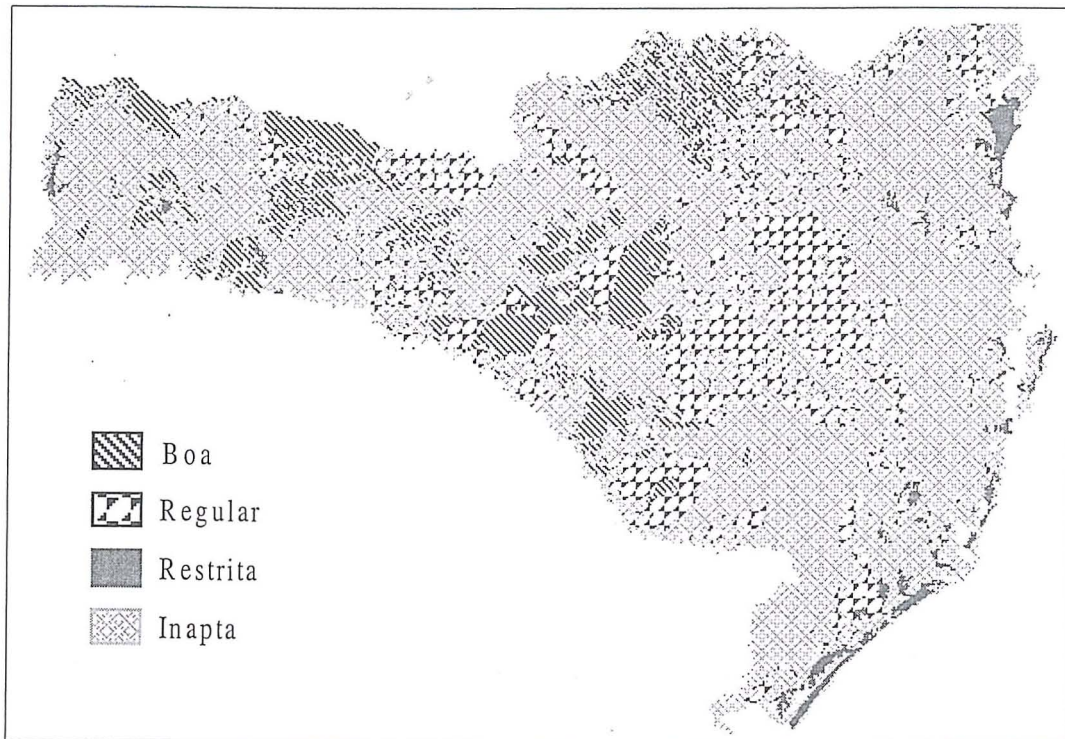


Fig. 2 – Mapa de Aptidão Pedológica para a Cultura de Soja.

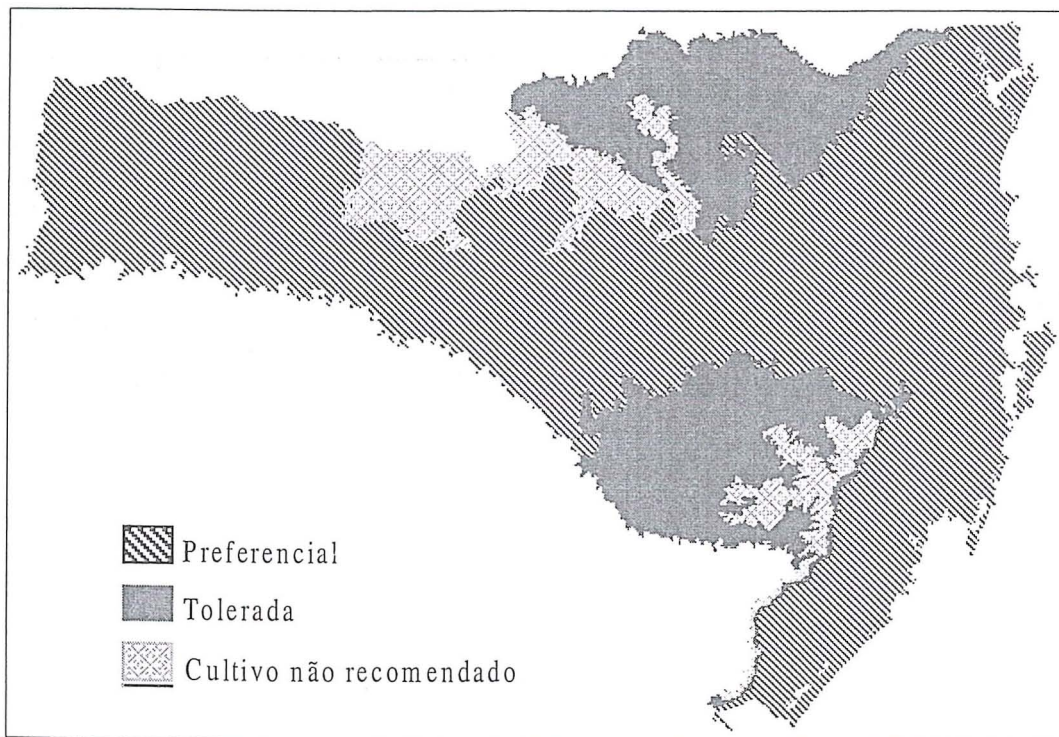


Fig. 3 – Mapa de Aptidão Climática para a Cultura de Soja.



Fig. 4 – Mapa de Aptidão Pedoclimática para a Cultura de Soja / Método Booleano.

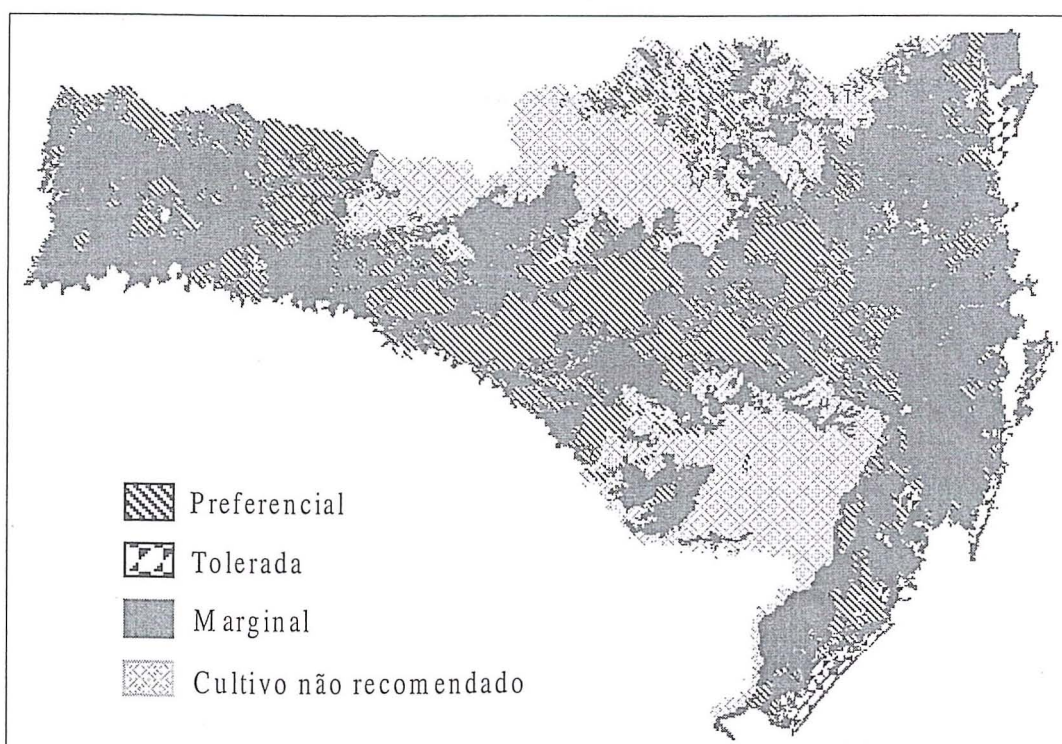


Fig. 5 – Mapa de Aptidão Pedoclimática para a Cultura de Soja / Método Classificação Contínua (para as classes de aptidão do solo e aptidão do clima – 1ª aplicação)..

uma matriz de comparação, cujo autovetor representa esses pesos (soma igual a 1) que então, indicam a importância relativa de cada critério em relação aos demais (Eastman, 1998).

Para as unidades climáticas, pretendia-se fazer o mesmo, mas não haviam informações sobre as características de cada unidade, além da sua aptidão. Então, foi aplicada a técnica de comparação pareada para as três classes de aptidão climática, cujos valores obtidos foram linearmente transformados, para que os valores máximo e mínimo fossem equivalentes aos valores máximo e mínimo atribuídos às classes de solo. A Tabela 3 apresenta os valores numéricos correspondentes aos critérios de solo e clima.

TABELA 3 - VALORES NUMÉRICOS ATRIBUÍDOS ÀS UNIDADES DE SOLO E ÀS CLASSES DE APTIDÃO CLIMÁTICA.

Unidade de solo			Aptidão climática	
Classes	Aptidão	Valor	Classe	Valor
TB, TBR	Boa	0.3387	Preferencial	0.3387
LR, LB, LBE, LBR	Boa	0.2506	Tolerada	0.0718
PV	Boa	0.1902	CNR	0.0007
TB, TBR	Regular	0.0825		
PE, PV	Regular	0.0459		
C	Regular	0.0331		
A	Regular	0.0220		
TR	Restrita	0.0149		
PV	Restrita	0.0068		
C	Restrita	0.0059		
A, AM, AQ	Restrita	0.0040		
TB, TBR, TR	Inapta	0.0025		
PE, PV	Inapta	0.0014		
C, P	Inapta	0.0010		
AR, D, HGH, HGP, HO, SM, R	Inapta	0.0007		

A integração das grades geradas do remapeamento numérico, foi por uma soma ponderada (peso 1 para os grupos de solo e 0,8 para as classes clima), supondo que as características do solo são mais importantes para a definição da aptidão pedoclimática, do que as características de clima, nesta proporção.

Para representar a grade final nas quatro classes temáticas de aptidão pedoclimática, supõe-se que seus valores eram normalmente distribuídos. Foram estimadas a média e a variância a partir dos possíveis valores gerados da combinação (independente da frequência) e determinados quatro intervalos com iguais probabilidades de ocorrência (25%), que interpolados na grade, delimitaram as classes, como mostra o mapa na Figura 6.

4ª Etapa

Consiste na espacialização dos dados de quantidade produzida de soja por município gerando um mapa com quatro classes de produção, e a comparação deste mapa com os três de aptidão pedoclimática já citados.

Dos dados de quantidade de soja produzida em toneladas por município, disponíveis para os anos de 1990 à 1996, foram excluídos os correspondentes ao

ano de 1991, por serem muito atípicos, podendo comprometer toda a análise. Dos demais dados foi obtida a média para cada município, que normalizada pela área do município, gerou um valor aqui denominado de índice de produção (tonelada/hectare). A espacialização deste índice foi feita pelo método de Estimção Impírica de Bayes, que parte da idéia geral de uma distribuição de probabilidade a priori não convencional, para os valores de um parâmetro de interesse, que é convertida para uma distribuição a posteriori usando os dados observados (probabilidade relativa). Este método supõe que o parâmetro normalizado θ_i (aqui, índice de produção) para cada área, tem uma distribuição de probabilidade a priori com média γ_i e variância ϕ_i . Para estimar essas médias e variâncias é feita a simplificação de que são iguais para todas as distribuições a priori, ou seja, $\gamma_i = \gamma$ e $\phi_i = \phi$. A partir desta simplificação assume-se que a então distribuição de probabilidade a priori é uma distribuição gamma, e γ e ϕ são estimados pelo método de máxima verossimilhança a partir dos dados observados normalizados. Estes estimadores são um tanto quanto complexos, e uma alternativa é aplicar o método dos momentos, onde:

$$\gamma = \frac{\sum \gamma_i}{\sum n_i} \quad \phi = \frac{\sum n_i (r_i - \gamma)^2}{\sum n_i} - \frac{\gamma^2}{n}$$

e o parâmetro normalizado estimado θ_i' :

$$\theta_i' = \gamma + \frac{\phi (r_i - \gamma)}{(\phi + \gamma/n_i)}$$

sendo:

- γ - média estimada;
- γ_i - parâmetro observado;
- n_i - parâmetro que normaliza;
- ϕ - variância estimada;
- r_i - γ_i/n_i ;
- n - média de n_i .

Os valores θ_i' correspondem à distribuição de probabilidade a posteriori (Bailey e Gatrell, 1995).

Com a aplicação do método de Estimção Impírica de Bayes (estimção feita pelo método dos momentos), foi então obtida a probabilidade relativa de produção de soja para cada município, que por sua vez foram divididas em quatro classes, conforme a Tabela 4.

TABELA 4 - INTERVALOS DE PROBABILIDADE DE PRODUÇÃO DE SOJA E RESPECTIVAS CLASSES.

Probabilidade (P)	Classe
$P < 1\%$	Não produz
$1\% < P < 5,5\%$	Produção baixa
$5,5\% < P < 10\%$	Produção média
$P > 10\%$	Produção alta

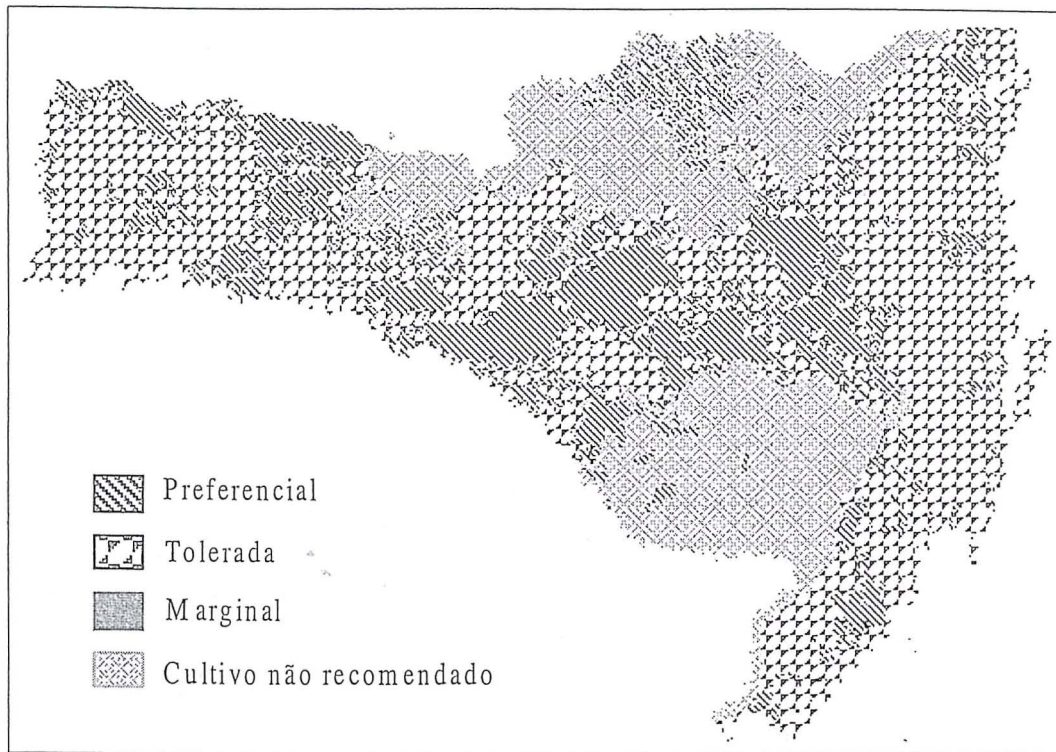


Fig. 6 – Mapa de Aptidão Pedoclimática para a Cultura de Soja / Método Classificação Contínua (para os grupos de solo e classes de aptidão climática – 2ª aplicação).

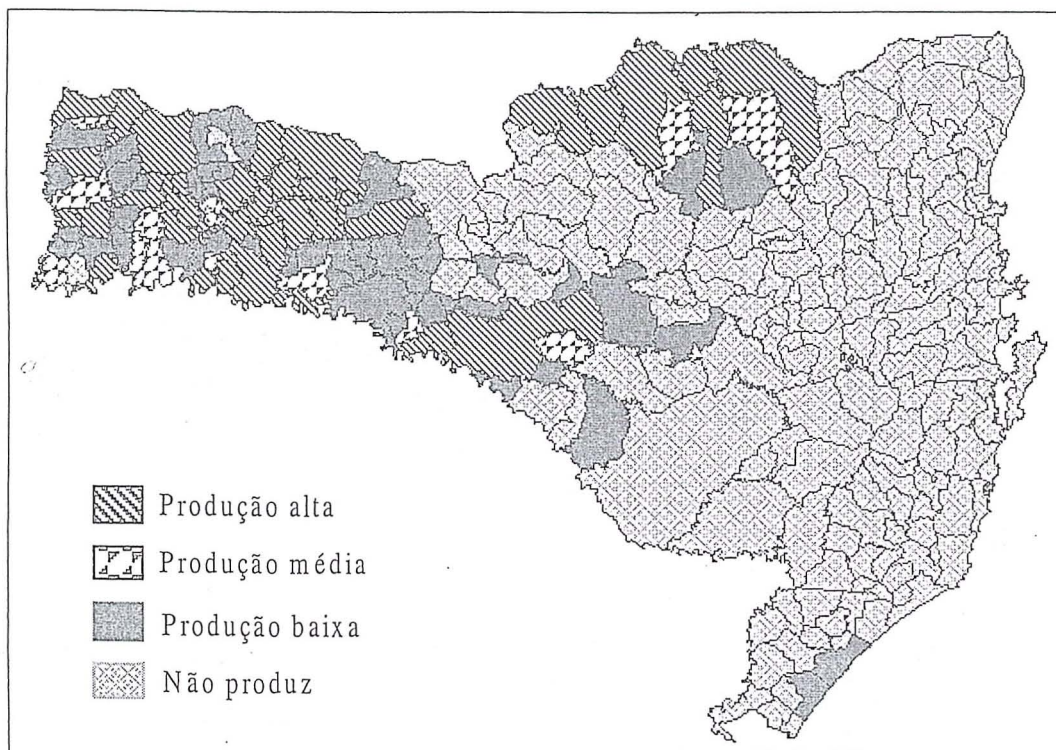


Fig. 7 - Mapa de Produção Relativa de Soja por Município.

O mapa de produção de soja por município é apresentado na Figura 7.

Para comparar este mapa com os de aptidão pedoclimática, também foi usado o método de Classificação Contínua, atribuindo valores iguais às classes de aptidão e às correspondentes de produção, como por exemplo: a classe Preferencial recebeu o mesmo valor que a classe de Produção Alta, etc.. Com as grades geradas, dividiu-se a de aptidão pela de produção e, dos valores obtidos, os iguais a 1 foram classificados como Equivalente, os maiores que 1, Superestimação e os menores, como Subestimação. Estas duas últimas classes ainda foram subdivididas em três grupos, conforme mostra a Tabela 5.

TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DO CRUZAMENTO APTIDÃO X PRODUÇÃO.

	Preferencia l	Tolerada	Marginal	CNR
Produção Alta	Equivalent e	Sub passo 1	Sub passo 2	Sub passo 3
Produção Média	Super passo 1	Equivalent e	Sub passo 1	Sub passo 2
Produção Baixa	Super passo 2	Super passo 1	Equivalent e	Sub passo 1
Não Produz	Super passo 3	Super passo 2	Super passo 1	Equivale nte

Nas Figuras 8, 9 e 10 estão apresentados os três mapas resultantes do cruzamento Aptidão X Produção.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os mapas de aptidão pedoclimática obtidos pelos métodos Booleano (Figura 4) e Classificação Contínua (Figura 5 - primeira aplicação), ambos sobre os dados de aptidão pedológica e climática, observa-se a abordagem de "risco", confirmando a característica de conservador do método Booleano e de risco médio do método de Classificação Contínua, com classes de aptidão mais otimistas.

Já o mapa obtido do método de Classificação Contínua sobre as classes de solo e classes de aptidão climática (Figura 6), com os valores dos critérios adquiridos por comparação pareada, um resultado interessante é a ausência da classe Marginal. Isto ocorreu porque haviam três classes referentes ao clima, que quando somadas aos quinze grupos de solo, definiu três conjuntos de valores bem distintos. Desta forma, a

predominância das classes Preferencial e Tolerada, se dá pela influência da aptidão climática Preferencial, dominante em todo o Estado. Este resultado sugere que para uma análise com resolução espacial dos temas mais refinada, o número de classes de solo e clima, deve ser aproximadamente o mesmo. O resultado do cruzamento entre o mapa de aptidão pedoclimática - método Booleano, e o de produção por município (Figura 8), mostra uma extensa área de domínio das classes de Subestimação, aqui considerado um grande problema, pois indicam áreas não aptas, ou não aptas o suficiente, para os índices de produção apresentados nos últimos anos.

Para o cruzamento com o mapa obtido do método de Classificação Contínua das classes de aptidão pedológica e climática (Figura 9), encontrou-se no geral o melhor resultado. As áreas de Subestimação, principalmente as de passo 3, reduziram bastante na região oeste do Estado, o que é muito positivo. A grande área de Superestimação de passo 1, presente próxima ao litoral, corresponde a classe de aptidão Marginal e não tem registro de produção, podendo então ser desconsiderada, já que pela própria experiência, a prática agrícola rentável nestas regiões deve ser outra. Uma outra área de domínio das classes de Superestimação correspondente às regiões agroecológicas Vale do Rio do Peixe e Planalto Central - 3A e Alto Vale do Rio Itajaí - 2A, provavelmente indica que essas regiões não estão sendo exploradas em toda a sua capacidade de produção de soja, pois apresentam aptidão pedoclimática favorável (também ocorre nos outros mapas gerados) e estão próximas às áreas altamente produtivas.

No último mapa de comparação (Figura 10), já era esperada a predominância das áreas de Superestimação pela influência da aptidão climática favorável, compensando as classes de Subestimação. Porém, como em todos os outros mapas, a região do Planalto Norte Catarinense se manteve altamente subestimada, e como este resultado foi induzido pelas características do clima, leva à suspeita de alguma problemática na caracterização ou classificação climática desta região.

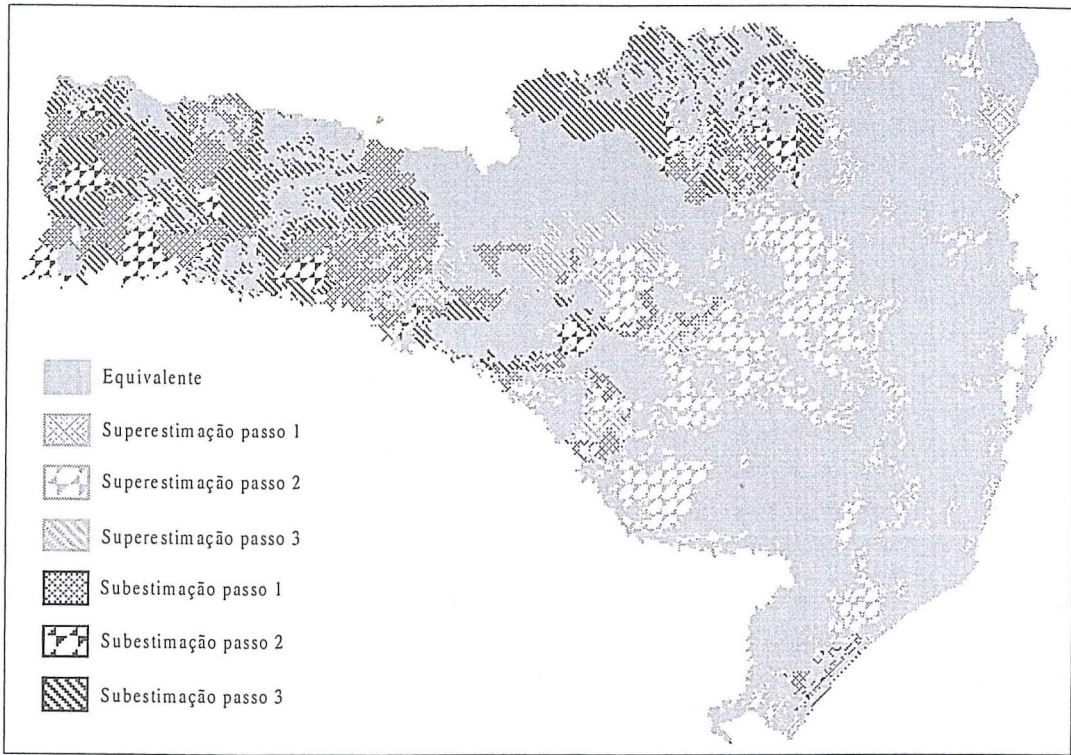


Fig. 8 – Mapa de Comparação: Produção de Soja X Aptidão Pedoclimática – Método Booleano.

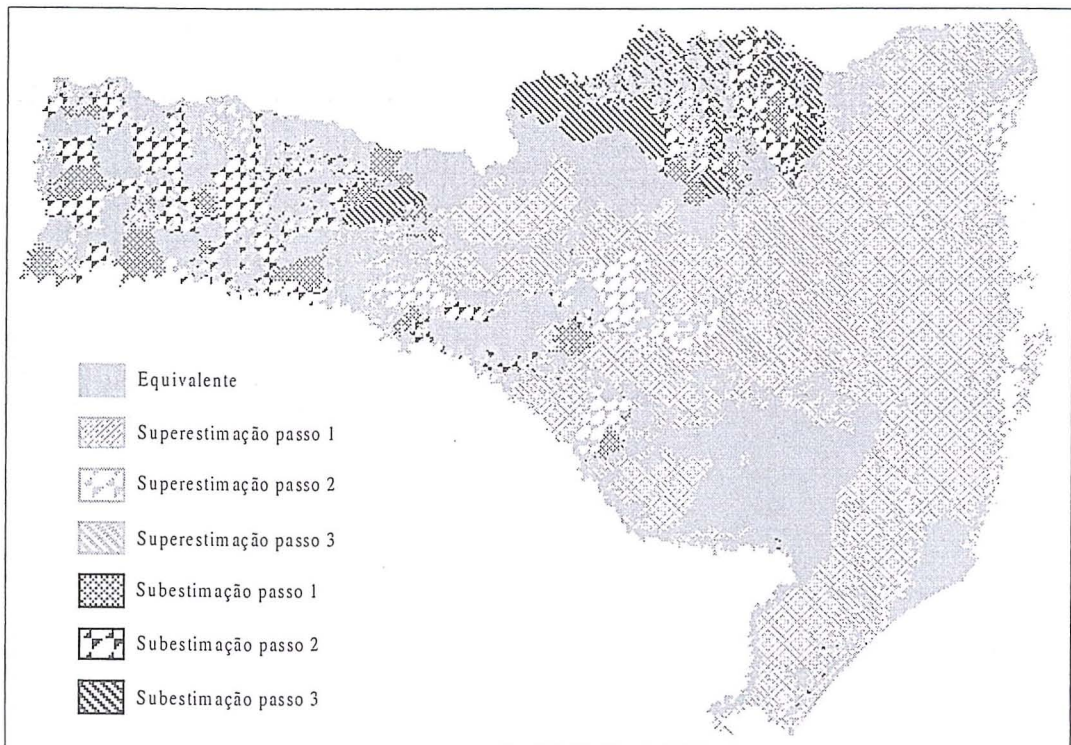


Fig. 9 – Mapa de Comparação: Produção de Soja X Aptidão Pedoclimática – Método Classificação Contínua (1ª aplicação).

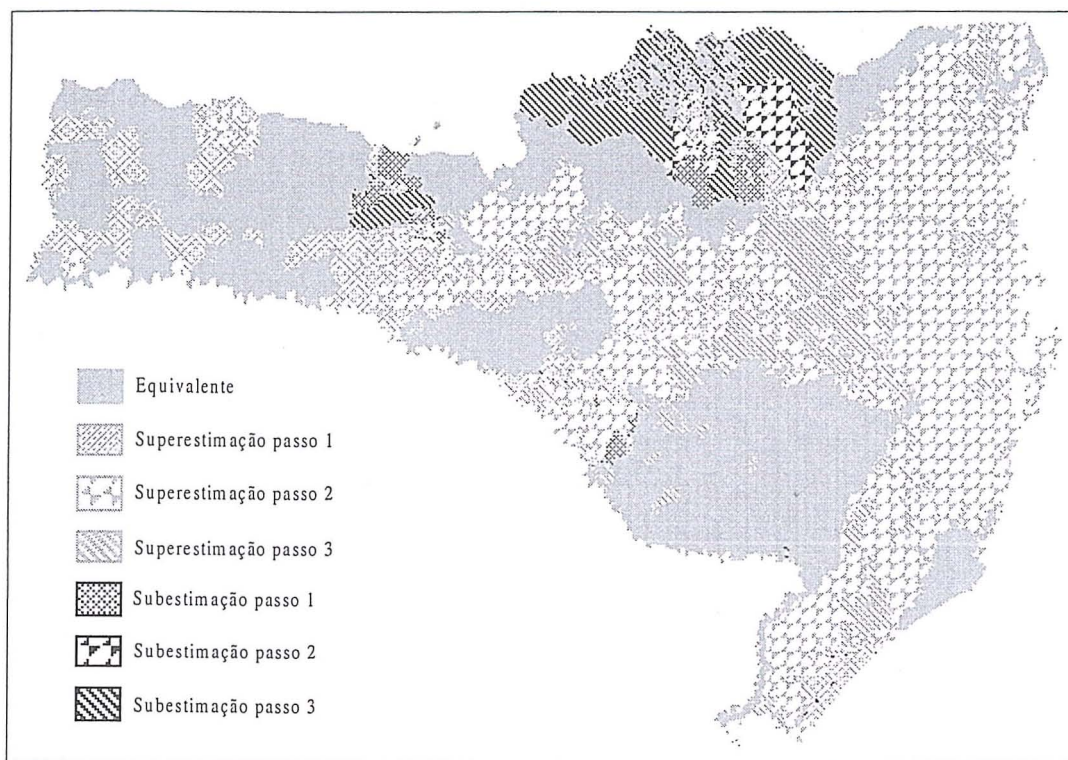


Fig. 10 – Mapa de Comparação: Produção de Soja X Aptidão Pedoclimática – Método Classificação Contínua (2ª aplicação).

6. CONCLUSÃO

O método de Classificação Contínua foi considerado de fácil implementação e muito interessante pela liberdade de combinar os dados por operações matemáticas. Entretanto, há a dificuldade da escolha dos atributos quantitativos que são associados aos mapas temáticos. A matriz de comparação implementada no software IDRISI é uma boa alternativa, mas assim mesmo o usuário tem que estabelecer uma relação de importância entre os critérios. Uma solução para este problema seria usar um outro critério quantitativo que caracterizasse a propriedade natural, como por exemplo, uma certa propriedade química do solo. Se isso não for possível, vale a experiência dos especialistas.

A escolha dos atributos numéricos neste trabalho foi subsidiada pela classificação de aptidão definida pela Embrapa e talvez um estudo mais exaustivo para essa escolha e para a escolha da operação matemática, trouxesse resultados melhores, mas não muito diferentes dos aqui obtidos. Mesmo assim, o trabalho foi considerado de grande valia, pois de uma maneira simples, prova a necessidade por uma investigação das possíveis metodologias de análise espacial, para a escolha daquela que melhor se enquadra aos dados trabalhados e que, as tradicionais metodologias de análise espacial empregadas nas mesas de luz, nem sempre são a melhor opção em meio digital.

Algumas sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho seriam: o refinamento dos dados climáticos; a desagregação dos dados de solo considerando cada

parâmetro, ou pelo menos os principais, como critérios particulares para a definição da aptidão; aplicar as abordagens Fuzzy (Burrough e McDonnell, 1998) e Inferência Bayesiana (Bonham-Carter, 1994) comparando os resultados; definir as áreas de cultivo de soja no últimos anos refinado o mapa de produção e determinar um índice ou uma representação espacial que indique uma informação de incerteza associada aos mapas de aptidão gerados permitindo uma avaliação objetiva dos resultados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C. **Interactive spatial data analysis**. Edinburgh Gate, Addison Wesley Longman, 1995.
- BERRY, J.K. Fundamental operations in computer-assisted map analysis. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 1, n. 2, p. 119-136, 1987.
- BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Kidlington, Elsevier Science, 1994.
- BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. New York, Oxford University Press, 1998.

- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996.
- EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows: Introdução e exercícios tutoriais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Centro de Recursos Idrisi, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA). **Zoneamento pedoclimático do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal digital do Brasil: situação em 1991 e 1994**. [CD-ROM]. Rio de Janeiro, IBGE, 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA 97)**. [online]. <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Sep, 1998.
- SANTOS, H.G.; LARACH, J.O.I.; MOTHCI, E.P. **Símbolos e convenções para identificação de classes de solos**. [online]. <<http://www.cnps.embrapa.br/frames/classif.html>>. Mai, 1998.
- TOMLIN, C.D. Cartographic modelling. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. ed. **Geographical information systems: principles and applications**. Harlow, Longman Scientific and Technical, 1991. v. 1, p. 361-374.
- Thomé, V. M. R.; Zampieri, S. L.; Braga, H. J. **Zoneamento agrícola para a cultura do trigo em Santa Catarina**. Florianópolis, Epagri, 1996. (Epagri - Documento n.171)

RESOLUÇÃO TEMÁTICA DE IMAGEM HÍBRIDA RESULTANTE DA FUSÃO SPOT-LANDSAT

Alzir Felipe Buffara Antunes

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geomática
felippe@cce.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho relata um estudo que teve por objetivo avaliar procedimento de integração ou fusão de imagem de alta resolução espacial com outra de alta resolução espectral imagem SPOT e LANDSAT respectivamente. Os métodos utilizados foram IHS(Intensidade, Matiz e Saturação) e Análise de Componente Principal. Compara-se ambos os métodos citados no melhoramento da resolução temática da imagem híbrida ou fundida. A análise temática sobre a imagem híbrida é realizada através de processo de segmentação, por meio do algoritmo *isodata* de classificação não supervisionada.

ABSTRACT

This paper presents image fusion procedures between high-resolution spot panchromatic and Landsat TM multispectral using IHS and PCA analysis. The aim of this paper is discuss the thematic resolution improvement using on generated hybrid images segmentation procedures. The aim is to assess the improvement of thematic resolution (pattern recognition) of classified images from those different hybrid images.

Palavras chaves: fusão de imagens, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens.

1-Introdução

Haja vista os mais diferentes tipos de dados de sensoriamento remoto hoje disponíveis cada vez mais cresce a necessidade de integração de diferentes tipos de imagens. A integração de dados é hoje um dos procedimentos mais importantes no estudo do espaço geográfico.

Muitas técnicas de integração estão disponíveis nos principais softwares de sensoriamento remoto, tais como: Transformação IHS, Principais Componentes, *wavelet*, normalização, dentre outros. No obstante nem sempre o produto final é de fácil interpretação, uma vez que a imagem resultante, possui sua estatística totalmente modificada.

É desejável em qualquer procedimento de integração ou fusão de imagem de alta resolução espacial com outra de alta resolução espectral, que seja preservado, dentro do possível, as características espectrais do dado original. Na verdade nenhum dos métodos citados preserva a integridade espectral na sua totalidade, porém, em geral apresentam um grande incremento na detecção de feições de difícil identificação nas imagens baixa resolução espacial.

A imagem fundida passa a possuir uma melhor resolução espacial e uma resolução espectral de certa maneira próxima à imagem multiespectral. Parece lógico afirmar que os resultados dependem do tipo de imagem a serem fundidas (Spot pancromático 10m e Landsat Multiespectral 30 m, Ikonos pancromático 1m Ikonos multiespectral 4m dentre outras combinações) e do método adotado.

Os conjuntos de dados (imagens) a serem fundidos devem ser analisados de acordo com suas resoluções-espacial e espectral, porém a imagem híbrida resultante pode ser avaliada em

relação a uma nova componente, que se denominada temática (resolução temática). Esta estaria ligada à capacidade do usuário de poder identificar padrões partir de imagens híbridas (CARPER et al: 1990; CHAVEZ et al: 1991; FONSECA & MANJUNATH: 1996).

2-Objetivos

Objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade de uma imagem híbrida (oriunda da fusão de dados de diferentes sensores) à classificação digital.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a)- Utilizar adequadamente a técnica de componentes principais e IHS na fusão de imagem;
- b)- Testar procedimento de segmentação sobre a imagem híbrida;
- c)- Comparar os resultados obtidos em termos de melhora na identificação de padrões ou resolução temática.

3- Dados e área de estudo

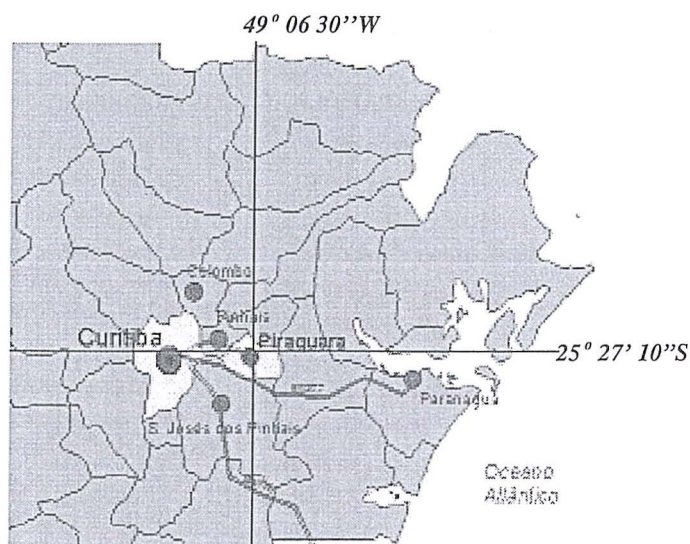
Para este estudo foram disponibilizadas as seguintes imagens:

Spot Pancromática, 1997, resolução 10 m, Região Metropolitana Curitiba-Pr.

Landsat Multiespectral, 1997, Bandas: TM7, TM5, TM4, TM3, resolução 30 m, da mesma região.

A área amostrada de 4Km², situa-se na porção leste da grande Curitiba e envolve parte da zona urbana e rural do Município de Piraquara (figura1).

Figura 1- Situação do Município de Piraquara na RMC.



A região está sobre a influência direta da grande crescimento urbano ocorrido RMC (Região Metropolitana de Curitiba), nos últimos sete anos. Como resultado observa-se uma grande diversidade de ocupações: floresta nativa (remanescente de Floresta Ombrófila Mista), capoeiras, reflorestamento e áreas urbanizadas. Quanto maior a diversidade de informação contida em uma imagem mais dificuldade ter-se-á no reconhecimento correto das feições, por mais que o usuário conheça a região imageada, o que justifica o processamento de fusão a fim de se obter uma possível melhora de resolução temática.

4-FUSÃO DE IMAGENS

4.1- Método IHS

A fusão de dados de multisensores através da transformação (IHS)-Intensidade, Matiz e Saturação - tem sido muito utilizada na obtenção de imagens híbridas com melhor resolução espacial. O método é baseado em parâmetros de percepção de cor pelo ser humano definido em termos de intensidade (brilho de uma cor), matiz (cor dominante: vermelho, verde, azul, etc) e saturação (pureza da cor). Cores vivas possuem alta saturação, cores pálidas baixa saturação.

Fundamentalmente, a transformação IHS permite a separação da informação espacial como componente intensidade da informação espectral contida nas componentes saturação e matiz de uma imagem colorida. No caso de fusão de imagem, determina-se I,H,S a partir de três bandas TM, aplica-se um aumento de contraste nas componentes H e S e substitui-se I pela banda pancromática. Efetua-se então a transformação IHS para RGB. A fim de assegurar a precisa combinação entre o sistema Landsat e o Spot pancromático são co-registradas usando a imagem de maior resolução como referência. A imagem Landsat é reamostrada para a mesma resolução do pixel da imagem pancromática (10 metros). A reamostragem é realizada pelo método da convolução cúbica, haja vista a alteração de resolução espacial.

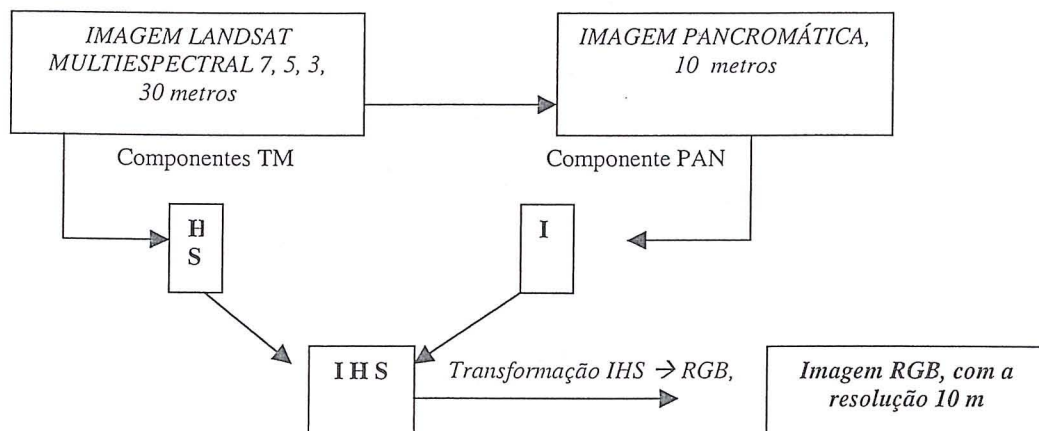
Assume-se que a componente I (intensidade) é equivalente a imagem pancromática (Spot), e a informação espectral estará contida nas componentes H (matiz) e S (saturação).

A imagem resultante dita híbrida, mantém a resolução espacial na imagem pancromática e a resolução espectral das bandas Landsat envolvidas. Pode-se resumir toda a transformação nas seguintes etapas (figura 2):

- As componentes IHS são derivadas das três bandas Landsat no espaço RGB e o dado pancromático é diretamente substituído pela Intensidade computada;

A transformação reversa para RGB é feita de forma que os dados multiespectrais são reamostrados para a resolução 10 m (figura 2).

Figura 2- Etapas da transformação do processo de fusão IHS



4.2- Método PCA: Análise de Componentes Principais

Este tipo de transformação apresenta-se como muito interessante por permitir que todas as bandas espectrais do sistema Landsat possam ser utilizadas (com exceção do TM6). O método das componentes principais assume que a primeira componente PC1 contém toda Intensidade ou brilho da cena.

Originalmente a PC1 (primeira componente), de uma imagem multiespectral provém de combinações lineares baseadas na matriz de covariância das bandas envolvidas. De forma que a primeira componente agregará grande parte dos dados comuns das bandas envolvidas, ou seja, a maior variância. As demais componentes terão os dados mais particularizados da cena. A soma da variância total das componentes deverá ser igual da variância total da imagem original (CARPER: 1990; CHAVEZ et al: 1991; MARDIA, 1996).

O procedimento de fusão é de certa forma similar ao IHS. Parte-se do princípio que o dado PAN possa ser realçado de forma a ter uma variância próxima a componente PC1. Justifica-se este procedimento por ser o dado PAN muito parecido espectralmente com a PC1 (alta correlação linear). Isto se deve ao fato que a PC1 concentra maior parte das informações das bandas TM envolvidas.

Neste método a imagem pancromática é realçada de forma a possuir uma variância similar a da primeira componente. O resultado do realce do dado PAN substituiu a PC1, antes da transformação inversa que permite que as outras componentes componham o espaço RGB com a resolução espacial da imagem PAN.

4.3- Comparação IHS/PCA

4.3.1- Análise Estatística

A fim de comparar estatisticamente os dois métodos descritos processou-se os seguintes conjuntos de imagens dispostas na tabela 1.

A suposição básica para este tipo de análise parte do princípio que em ambos dos métodos de fusão PCA e IHS, o dado pancromático é similar a primeira componente (PC1) e intensidade (I). Portanto, a partir deste pressuposto, o dado pancromático poderá substituir tanto a primeira componente quanto a intensidade na transformação inversa para o espaço original da imagem (RGB).

A eficácia do método irá depender de quão correlacionada é a imagem pancromática das imagens intensidade e primeira componente. Os coeficientes de correlação podem ser avaliados entre PAN e as resultantes I e PC1. Baseado nas combinações da tabela 1, observa-se os coeficientes de correlação da tabela 2.

A tabela 2 mostra que a primeira componente principal (PC1) é mais correlacionada com a imagem pancromática que as imagens intensidade (I1 e I2). Isto pode ser explicado pelo fato de que o método referido leve em conta um maior número de bandas, o que potencializa uma maior concentração de informação na primeira componente. Realizou-se como o método PCA uma fusão utilizando apenas três bandas (5,4,3), como resultado se observou que a correlação teve um leve decréscimo para 0,862.

Analisando as componentes intensidade oriundas das combinações I1(5,4,3) e I2(7,5,4), detecta-se que I1 possui uma maior correlação que I2, no que se refere ao dado PAN. Neste caso parece evidente que as combinações de bandas influem sobremaneira na similaridade entre o dado PAN e intensidade. Onde a banda 3 está presente a correlação é maior, haja vista que a banda 3 possui uma alta correlação com o dado PAN (banda 3/PAN= 0,83).

Neste caso de acordo com a tabela 2 a correlação entre a PAN e PC1 por ser maior (0,881) satisfaz mais ao pressuposto básico do processo de fusão. No obstante, deve-se ter em conta que algumas destas variações podem também ser oriundas da diferença de resolução espacial. Pode-se também atribuir a maior correlação da PC1 pelo fato de ter sido um maior

número de bandas no processamento o que a priori permite uma concentração maior de dados na PC1.

Tabela 1: Combinações utilizadas no processo de fusão

Método	Bandas TM, processadas com a PAN
PCA	7,5,4,3
IHS (I1)	5,4,3
IHS (I2)	7,5,4

Tabela 2: Coeficientes de correlação

PAN (pancromática)	PCA PC1	IHS I1	IHS I2
1	0,881	0,796	0,728

4.3.2- Análise Visual

A fim de continuar a mesma seqüência da análise estatística se apresenta a comparação entre a banda PAN e PC1, I1 e I2. De acordo com figura 3, nota-se diferenças entre a PAN e as outras imagens. É interessante lembrar que a imagem PAN substitui estas imagens (PC ou I) de acordo com o processo de fusão. Nota-se que PC1 apresenta maior similaridade com a banda pancromática (figura 3).

Observa-se que I2 oriunda da combinação das bandas 5,4,3 difere mais da imagem pancromática do PC1 e I1. Este resultado era esperado uma vez I2 possui a menor correlação com a imagem PAN.

4.3.3- Imagens Híbridas- Análise Estatística

As imagens híbridas resultantes do processo de fusão possuem três bandas por IHS e 4 bandas por PCA, possuindo ambas imagens a resolução espacial de 10m. Pode-se avaliar as características destas imagens oriundas do método PCA (imagem PCA, bandas 7,5,4,3) e IHS (imagem IHS, bandas 5,4,3). A observar visualmente as imagens da figura 3, nota-se uma similaridade de padrões entre as imagens IHS e PCA, contudo, a imagem PCA possui 4 bandas o que permite um maior número de combinações coloridas o que facilita a interpretação da mesma.

Algumas feições podem ser mais bem distinguidas na imagem PCA, uma vez

que combina em RGB bandas menos correlacionadas (tabela 3).

Figura 3: Imagem Pancromática com as imagens I (intensidade), e PC1, primeira componente principal.

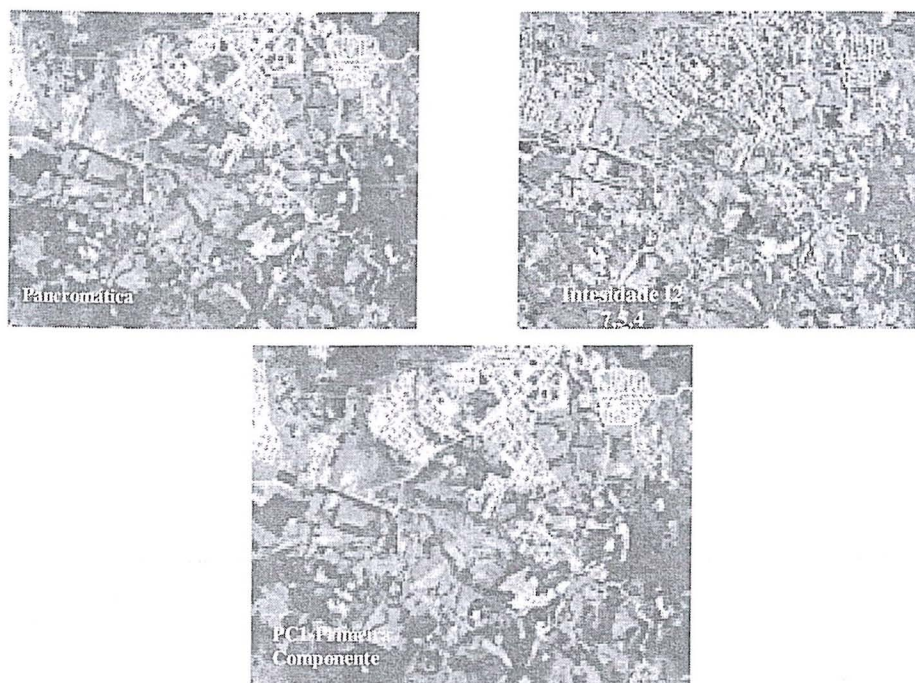


Tabela 3: Correlação das imagens híbridas IHS (com três bandas) e PCA (quatro bandas).

Bandas IHS	1	2	3
1	1	0,61	0,88
2	0,61	1	0,56
3	0,88	0,56	1

Bandas PCA	Pc 1	Pc 2	Pc 3	Pc 4
Pc 1	1	0,89	-0,02	0,86
Pc 2	0,89	1	0,17	0,83
Pc 3	-0,02	0,17	1	0,07
Pc 4	0,86	0,83	0,07	1

De acordo com a tabela 3, as bandas da imagem híbrida resultante das principais componentes possuem uma menor correlação que as 3 bandas da imagem IHS, o que pode apresentar alguma vantagem quando se deseja reconhecer padrões espectralmente próximos entre si.

5- Segmentação

Numa imagem com grande diversidade de padrões, em geral, existe dificuldade em reconhecer visualmente todas áreas que compõem uma mesma classe. Desta forma, julgou-se adequado aplicar sobre a imagem híbrida um algoritmo de segmentação, onde todas áreas de mesma variação espectrais seriam associadas à determinada classe. No caso em questão foi

aplicado o algoritmo de agrupamento (*Isodata*), para 6 grupos distintos de classes.

Para este caso, o processo de segmentação utilizado sobre a imagem híbrida é de agrupamento baseado na distância espectral. O método utiliza a mínima distância espectral para associar um *pixel*, dito candidato, a determinado segmento.

O método apresenta uma forma seqüencial, onde iterativamente associa-se *pixels* a determinada classe ou segmento, então, redefine critérios para cada segmento e recriam-se novas classes, de forma que distâncias espectrais são definidas gradualmente. Desta forma a imagem segmentada pode ser associada a determinado conjunto de classes.

Na primeira iteração do método a média para os 6 segmentos ou *clusters* pode arbitrariamente determinada. Na seqüência, uma nova média para cada *cluster* é calculada baseada na posição espectral dos *pixels* no *cluster*, ao invés da média arbitrária inicial. As iterações são processadas até atingir o limiar desejado.

Uma das vantagens deste tipo de segmentação é que a imagem temática resultante pode ser avaliada e manipulada antes de se proceder a uma classificação supervisionada. Em outras palavras o processo permite avaliar a potencialidade de discriminação de classes de uma determinada imagem.

As seis classes observadas nas imagens híbridas foram associadas de acordo com interpretação visual da imagem e levantamento de campo, apesar da defasagem temporal de 2,5 anos entre a tomada das imagens e o levantamento.

Reconheceram-se as seguintes classes:

Classe 1: Floresta Ombrófila Mista ou Floresta Nativa: *Floresta típica da região do 1º e segundo planalto do Paraná;*

Classe 2: Vegetação Alterada (capoeira): *Vegetação em processo sucessional já avançado;*

Classe 3: Solo Exposto ou Arado: *Solo nu ou preparado para plantio;*

Classe 4: Construções/Ruas/Estradas: *Solo com revestimento;*

Classe 5: Plantações: *Áreas de agricultura;*

Classe 6: Pastagem/Capoeirinha: *Vegetação rasteira e de primeira sucessão;*

A imagem segmentada a partir da imagem híbrida por IHS apresenta algumas diferenças em relação a imagem PCA da figura 4 A. Isto se deve ao fato das diferenças nos processos de fusão. Numa primeira análise a imagem da figura 4a apresenta um melhor resultado em relação a imagem congênere IHS (figura 4b).

Figura 4- Imagem segmentada a partir da imagem híbrida (PCA) e IHS.

4a- Imagem classificada (PCA)

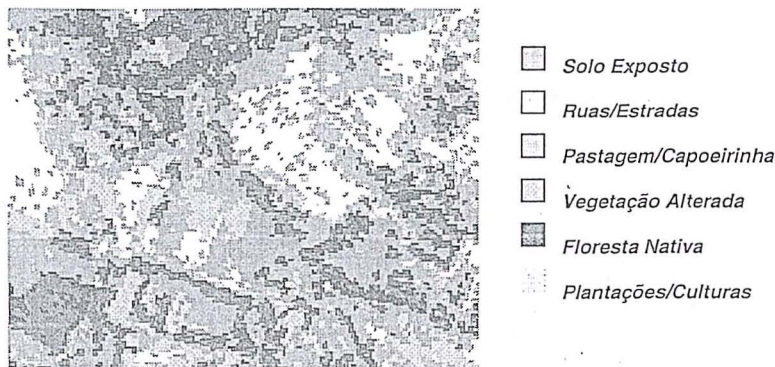
4b- Imagem Classificada (IHS)



- Solo Exposto
- Ruas/Estradas
- Pastagem/Capoeirinha
- Vegetação Alterada
- Floresta Nativa
- Plantações/Culturas



Figura 5- Imagem Landsat segmentada (isodata 6 classes). Nota-se uma menor homogeneidade entre as classes.



6- Avaliação da resolução temática

Denominou-se neste trabalho de resolução temática a capacidade de se reconhecer padrões na imagem baseado na característica espectral e espacial dos pixels da imagem híbrida. É esperado que o usuário tenha maior facilidade de interpretação visual de uma imagem híbrida do que diretamente nos dados originais. Contudo esta resolução deve ser analisada em termos de incremento na detecção de padrões por meio de procedimentos convencionais de classificação.

Se compararmos a imagem segmentada Landsat (figura 5) com 4 bandas com as imagens híbridas segmentadas (figuras 4a e 4b) observam-se nestas imagens um melhor contraste no que se relaciona a separação das seis classes citadas. As classes na imagem híbrida aparecem bem mais delineadas o que de certa forma seria previsível, vista a melhor resolução espacial da imagem híbrida em relação a Landsat. Isto mostra que a resolução temática possui grande dependência da resolução espacial. O ganho de informação espacial supera de certa forma a perda relativa de informação espectral no processo de fusão.

Tabela 4- Quadro comparativo de avaliação temática

IMAGENS HÍBRIDAS	Interpretação Visual da Imagem Temática
Landsat (7,5,4,3)	Maior confusão entre as classes. Segmentação mais generalizada- perda de detalhes.
PCA 4 bandas	Boa separação entre cidade e solo exposto; Melhor separabilidade entre as classes de vegetação (vegetação alterada e floresta). Boa detecção de bordas;
IHS 3 bandas	Boa separação entre cidade e solo exposto; Menor separabilidade entre as difetentes classes de vegetação (vegetação alterada e floresta). A imagem se apresenta mais generalizada.

7- Considerações Finais

Dos resultados acima observados pôde-se concluir o seguinte:

- a) A técnica de fusão de PCA- Principal componentes- apresenta melhor resultado no que se refere a segmentação da imagem da imagem híbrida do que a congênere IHS, uma vez que a imagem híbrida PCA apresenta um maior número de bandas o que potencializa uma melhor segmentação. CHAVEZ et al (1991) também verificaram as vantagens do método PCA em relação IHS no que se refere à estatística da imagem;
- b) A imagem segmentada oriunda da imagem híbrida possui uma melhor resolução temática que as imagens originais, Landsat e Pancromática, o que viabiliza o processo de fusão digital com fins de classificação.

Vale ressaltar que num estudo mais aprofundado seria interessante proceder sobre a imagem híbrida classificação supervisionada a partir de amostras coletadas em campo. Desta forma a comparação passaria a ter um aspecto mais quantitativo do que o qualitativo apresentado nesse trabalho. Poder-se-ia avaliar quais as classes que realmente tiveram uma melhora de acurácia em relação à realidade de campo e assim aferir um índice relativo de resolução temática.

Ademais, parte-se do pressuposto que com os novos sensores hoje disponíveis poderão ser feitas mais combinações e fusões de imagens o que permitirá desenvolver novos algoritmos de detecção de padrões baseados em análise de textura resultante de uma maior resolução espacial.

Referências Bibliográficas

- CARPER W. J; LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. 1990. *IHS transformation for Merging spot panchromatic and multispectral mage data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 56, n 4, pp 459-467.
- CHAVEZ, P. 1986. *Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24000 scale image mapping*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 52, n 10, pp 1637-1646.
- CHAVEZ P, SIDES, S & ANDERSON, A. 1991. *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and Spot panchromatic*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 57, n 3, pp 295-303.
- FONSECA, L & MANJUNATH, B. S. 1996. *Registration techniques for multisensor remotely sensed Imagery*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 62, n 9, pp 1049-1056.
- MARDIA, K.V. 1996. *Multivariate Analysis*. Academic.Press. New York.
- RICHARDS, J. 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag Second Ed. Budapest.

GERAÇÃO DE MDT USANDO FOTOS DE PEQUENO FORMATO

Ricardo Luis Barbosa¹
João Fernando C. da Silva²

¹ Curso de Pós Graduação em Ciências Cartográficas

ricardo@prudente.unesp.br

² Departamento de Cartografia

jfcsilva@prudente.unesp.br

FCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia

Unesp - Universidade Estadual Paulista

19060-900 Presidente Prudente SP

RESUMO

A proposta deste trabalho é testar uma metodologia iterativa e seqüencial para gerar o MDT, a partir de um par de fotos digitais (obtidas com câmaras digitais de pequeno formato) com superposição aproximada de 60% e conhecidos os elementos de orientação exterior e os pontos de Gruber. A estratégia de aproximação é iniciada com uma Resseção Espacial Dupla de um par de fotos digitais. É feita uma interpolação linear nos quadriláteros formados pelos pontos de referência (sinalizados). Com os pontos interpolados determinam-se as fotocoordenadas nas imagens da esquerda e da direita. Tomando-se as fotocoordenadas da esquerda como referência, busca-se uma melhor localização das fotocoordenadas da direita. Com as fotocoordenadas refinadas pela correspondência, é realizada a Interseção para corrigir a interpolação linear. Com este novo conjunto de pontos, é realizado um reajustamento da Resseção Dupla. Em seguida, o processo se repete, interpolando-se novos pontos nos quadriláteros formados pelos pontos interpolados no passo anterior, até atingir-se uma densidade definida. Os resultados mostraram que o tamanho da janela de referência e de busca influenciam tanto na parte interna (estatística) quanto na externa (erro médio com o modelo de referência) e em um dos experimentos realizados, esse erro foi de 0,0014m. A metodologia se mostrou funcional e futuros trabalhos podem contribuir para melhorar a acurácia.

ABSTRACT

The proposal of this work is to test an iterative and sequential methodology to generate a DTM from a pair of digital images with end overlap of about 60% and their exterior orientation and the points of Gruber known in the object reference system. The approximation strategy starts with a double resection of the image pair with both the (Gruber) signalized control points on 3D-model and the respective photocoordinates. It follows a linear interpolation in the quasi-squares figures formed by the reference points. The interpolated object points and the exterior orientation (double resection) in the collinearity equations determine left and right image photocoordinates. Then the photocoordinates in the image at left are taken as reference for the an correlation function to estimate the correspondent photocoordinates in the image at right. The refined photocoordinates are inserted in the inverse collinearity equations to return to the 3D-model points in order to update and improve the interpolated coordinates. From this new set of points it is performed a double resection readjustment. The process is repeated by interpolating new 3D-model points in the quasi-squares formed by the interpolated points in the previous step until the 3D-model point density reaches.

Palavras chaves: MDT, interpolação, resseção espacial.

Apoio : FAPESP – Processos 97/13890-0, 98/05392-2 e 98/02236-0

1. INTRODUÇÃO

A representação do relevo ou terreno é uma componente fundamental no processo cartográfico que, em formato digital, recebe o nome de Modelo Digital do Terreno (MDT) e consiste de um conjunto de dados que explicitam as coordenadas (X, Y, Z) do terreno e a forma como os mesmos estão relacionados.

Existem vários métodos para se obter os dados do MDT; os principais são (Petrie & Kennie, 1990) o levantamento topográfico, técnicas fotogramétricas e técnicas cartográficas.

Os dados obtidos através destas técnicas de aquisição constituem o Modelo Digital do Terreno, ou se for o caso, uma base sobre a qual poderá ser realizada uma densificação (interpolação).

O MDT pode ser classificado quanto à forma como os dados estão distribuídos (Burrough, 1986) em regular ou irregularmente espaçados. A distribuição regular faz uso de malhas (ou grades) que em geral são retangulares, hexagonais ou triangulares.

A forma mais comum de se representar pontos irregularmente espaçados é a triangulação, pois triângulos oferecem uma maneira relativamente fácil de incorporar as linhas notáveis ou *breaklines* - feições lineares onde ocorrem mudanças na suavidade ou continuidade da superfície (Maune, 1996) - como por exemplo em um fundo de vale. Na malha triangular, os pontos amostrados devem pertencer aos vértices dos triângulos. Uma das triangulações mais utilizadas é a Triangulação de Delaunay.

Tanto nas malhas regulares quanto nas irregulares, se for necessário realizar uma densificação, esta é feita através de uma interpolação na malha regular, ou com a colocação de uma malha regular sobre a irregular.

Os requisitos desejáveis para uma função interpoladora são (McCullagh, 1988) : que ela reproduza uma superfície contínua; que o tempo de computação não seja proibitivo; que tenha propriedades matemáticas de interesse para a aplicação.

Em geral são utilizados dois métodos de interpolação : global e local. Os métodos globais levam em consideração todos os pontos que foram amostrados, ajustando alguma função que passe por todos esses pontos. Os métodos locais são influenciados por pontos que estejam em uma certa vizinhança, diminuindo sua contribuição à medida em que a distância ao ponto interpolado aumenta.

Uma variedade muito grande de formas de interpolação podem ser utilizadas para a densificação do MDT: polinômios, *splines*, krigagem etc. Lancaster & Salkauskas (1990) mostram a fundamentação matemática para estas formas de interpolação e Yamamoto (1998) detalha formas de interpolação para dados geológicos e particularmente para o MDT.

O presente trabalho apresenta um novo método para a geração do MDT a partir dos pontos de Gruber, utilizando uma câmara digital de pequeno formato e com conhecimento dos parâmetros de

orientação exterior de cada foto e dos parâmetros de orientação interior da câmara digital. Uma maquete de superfície irregular foi construída para permitir o controle dos experimentos.

2. PROPOSIÇÃO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e testar um algoritmo automático para geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), com base em aproximações e interpolações sucessivas, a partir de um par de fotos digitais (obtidas com uma câmara digital de pequeno formato), com conhecimento dos parâmetros de orientação exterior e dos pontos de Gruber.

Com um par de fotos digitais de superposição longitudinal de aproximadamente 60%, é realizada a resseção espacial dupla com autocalibração, utilizando injunções nos parâmetros de calibração interior e nos pontos de terreno, que são modelados como se fossem pseudo-observações. A resseção espacial dupla tem por objetivo (Wolf, 1983) ajustar os seis parâmetros de orientação exterior de cada foto: a orientação angular (ω , ϕ , κ) e a posição espacial (X^C , Y^C , Z^C). Neste trabalho também são ajustados pela resseção espacial dupla, três parâmetros de orientação interior da câmara: distância focal (f) e as coordenadas do ponto principal (x_0 , y_0). As coordenadas dos pontos no terreno, na maquete no caso, também são ponderadas, sendo portanto ajustadas como as demais variáveis do projeto.

Inicialmente são tomadas 24 observações, que são as fotocoordenadas da direita e da esquerda dos seis pontos de Gruber. Os parâmetros a serem ajustados são: 12 parâmetros de orientação exterior para as fotos da esquerda e da direita, 3 parâmetros de calibração da orientação interior e as 18 coordenadas no terreno (X, Y, Z), totalizando 33 parâmetros. A tabela 1 mostra o total de parâmetros que são ajustados em cada passo da interpolação.

Tabela 1 – Total de parâmetros a serem ajustados em função do passo da interpolação.

Passo	[1]	[2]	[3]	[4]
0	24	33	57	33
1	60	60	120	60
2	180	150	330	150
3	612	474	1086	474
4	2244	1698	3942	1698
5	8580	6450	15030	6450

[1]: total de equações de observação (4^* npt)

[2]: total de equações de injunção

[3]: total de equações [$= (1) + (2)$]

[4]: total de parâmetros ($12+3+3^* \text{ npt}$)

npt : número de pontos no terreno (maquete).

O processo de aproximação se inicia após uma resseção espacial dupla inicial, com a interpolação nos quadriláteros formados pelos pontos de Gruber. No

terreno, a interpolação pode assumir a seguinte configuração, por exemplo:

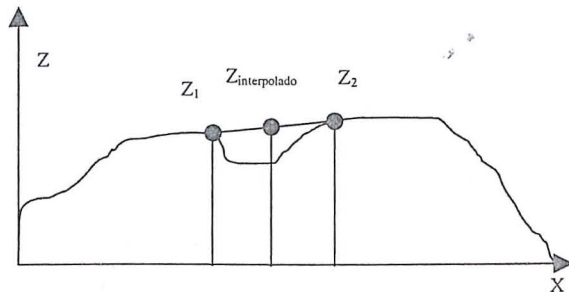


Figura 1: Interpolação linear no terreno.

No primeiro passo da interpolação são interpolados 9 pontos. A tabela 1 mostra o aumento (A) do número de pontos no MDT e o total de quadriláteros (Q) em cada passo da interpolação (n):

Tabela 2 - Crescimento do número de pontos e quadriláteros em função do número da interpolação.

n	A	Total de pontos	Q
1	9	15	8
2	30	45	32
3	108	153	128
4	408	561	512
5	1584	2145	2048

O aumento de pontos em cada etapa da interpolação é dado pela seguinte equação :

$$A = 2^n(2^n + 2^{n-1} + 15) \quad (1)$$

A quantidade de quadriláteros em cada etapa é dado por:

$$Q = 2^{2n+1} \quad (2)$$

onde n é o passo da interpolação.

Em cada etapa da interpolação, novos pontos no terreno vão sendo obtidos e novos quadriláteros vão sendo criados. À medida que os pontos no terreno vão sendo interpolados, suas fotocoordenadas são obtidas utilizando-se as equações de colinearidade (equação 3), ou seja, resolvendo-se o problema da intersecção, já que se conhecem os parâmetros de orientação exterior da foto da direita e da esquerda e os parâmetros de orientação interior.

As equações de colinearidade usadas são (Krauss, 1992) :

$$x = x_0 - f \frac{N_x}{D} \quad (3)$$

$$y = y_0 - f \frac{N_y}{r}$$

com

$$N_x = m_{11}(xf - x_0) + m_{12}(yf - y_0) - m_{13}f$$

$$N_y = m_{21}(xf - x_0) + m_{22}(yf - y_0) - m_{23}f$$

$$D = m_{31}(xf - x_0) + m_{32}(yf - y_0) - m_{33}f \quad (4)$$

onde (x_0, y_0) são as coordenadas do centro principal em relação ao centro da imagem; f é a distância focal e m_{ij} são os elementos da matriz de rotação R (5).

$$R = R_\omega R_\phi R_\kappa = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Em torno das fotocoordenadas da esquerda, é tomada uma janela de referência, para se buscar uma correspondência na imagem da direita, na tentativa de se melhorar o resultado da interpolação linear. As fotocoordenadas na imagem da direita são utilizadas como o centro da janela de busca.

A correspondência baseada em área para duas imagens com superposição, consiste em buscar na imagem da direita (busca) a região que tenha a melhor correspondência com uma dada região na imagem da esquerda (referência).

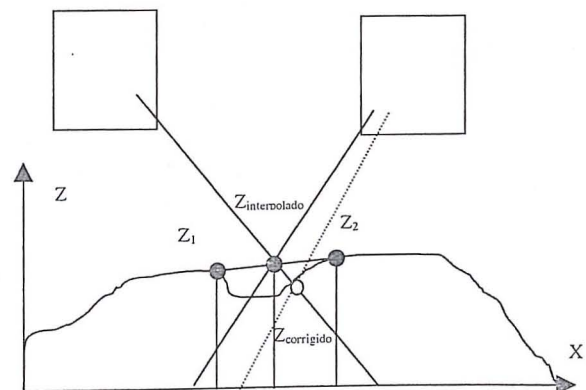


Figura 2: Interpolação corrigida pela correspondência.

A função de correspondência usada para medir a similaridade foi o erro quadrático (Gonzalez, 1993):

$$eq(s, t) = \frac{\sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} [f(x, y) - g(x+s, y+t)]^2}{\sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} [f(x, y)]^2} \quad (6)$$

onde:

eq(s,t) : erro quadrático na posição (s,t) na imagem da direita

f(x,y): é o valor do nível de cinza na posição (x,y) na janela da esquerda (referência)

g(x + s, y + t) : é o valor do nível de cinza na posição (x+s, y+t) na janela de busca

r_x, r_y : quantidade de pixels na horizontal e vertical respectivamente.

Com a função (6), a posição (s, t) onde ocorrer o menor valor é a posição que contém a melhor correspondência. Esta posição então é tomada como sendo a das fotocoordenadas da direita corrigidas, melhorando a interpolação linear feita no terreno, quando da intersecção (figura 2).

Na etapa seguinte, calculam-se novamente os pontos no terreno, utilizando-se as equações de colinearidade na forma inversa, já que os elementos de orientação exterior e interior estão disponíveis. Dada as fotocoordenadas da esquerda e da direita, as equações para a resolução do problema da intersecção são (Krauss, 1992), para as fotocoordenadas da esquerda:

$$X = X_e^c + (Z - Z_e^c) \frac{N_{xe}}{D_e} \quad (7)$$

$$Y = Y_e^c + (Z - Z_e^c) \frac{N_{ye}}{D_e}$$

para as fotocoordenadas da direita :

$$X = X_d^c + (Z - Z_d^c) \frac{N_{xd}}{D_d} \quad (8)$$

$$Y = Y_d^c + (Z - Z_d^c) \frac{N_{yd}}{D_d}$$

Como é necessário determinar 3 incógnitas (X, Y, Z) com 4 equações, o Z é isolado fazendo-se uso de (7) e (8):

$$Z = \frac{X_d^c - Z_d^c k_2 + Z_e^c k_1 - X_e^c}{k_1 - k_2} \quad (9)$$

onde,

$$k_1 = \frac{N_{xe}}{D_e} \quad k_2 = \frac{N_{xd}}{D_d} \quad (10)$$

As coordenadas X e Y podem ser computadas a partir da média aritmética entre (7) e (8). De posse das coordenadas do terreno "corrigidas", faz-se necessário o reajustamento dos parâmetros de orientação exterior, interior e dos pontos no terreno. Este processo se repete até atingir uma densidade de pontos previamente definida. Ao final do processo, são gerados relatórios que contém as informações do

ajustamento, do controle de qualidade e dos pontos interpolados no terreno e uma visualização em perspectiva do MDT resultante.

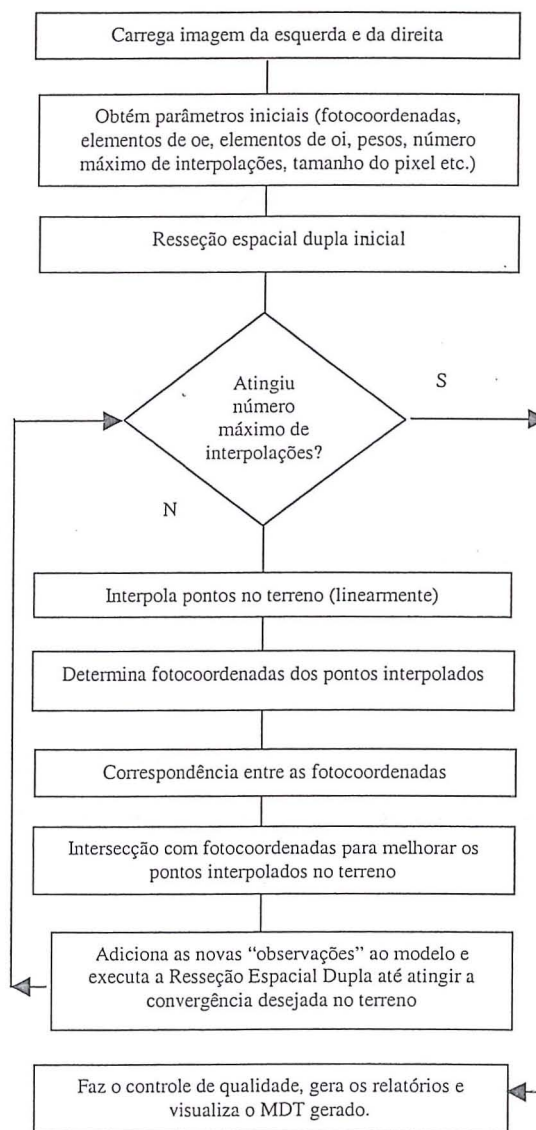


Figura 3: Fluxograma do método proposto.

3. MATERIAL E MÉTODO

Para testar a metodologia proposta, foi construída uma maquete representando uma porção de terreno, com dimensões 2,0 m x 1,0 m. Na maquete há um conjunto de 15 pontos sinalizados e com suas respectivas posições (X, Y, Z) conhecidas.

Para a simulação do voo, foi também construída uma trave com largura de 2,20 m e altura de 2,10 m. A câmara digital Fujix DS 300 foi fixada nesta trave, de onde foram tomadas as fotos de uma altura de 2 m. Após a tomada das fotos, as mesmas foram transferidas para o computador. Estas fotos estão no

formato Windows BMP com 24 bits de resolução radiométrica e resolução geométrica de 1280 x 1000 pixels. O software GA_MDT (Geração Automática de Modelo Digital do Terreno) implementado em linguagem C++, ambiente Builder 3.0, realiza os processos descritos na figura 3.

Modelo matemático

As equações de colinearidade (3) constituem o modelo matemático funcional que relaciona as variáveis do problema, a saber: fotocoordenadas (observações), parâmetros de orientação exterior, parâmetros de orientação interior e coordenadas do espaço objeto (pontos no terreno):

$$\{x, y\} = F\{f, x_0, y_0, \omega, \varphi, \kappa, \dots\} \quad (11)$$

O modelo de ajustamento (de observações) a ser utilizado com o propósito de estimar a solução única é o paramétrico sob a condição dos mínimos quadrados (MMQ). Além disso, um conjunto de injunções aos parâmetros complementa o modelo (Gemael, 1994; Uotila, 1986):

$$\begin{cases} L_a = F(X_a) \\ L_x = G(X_x) \end{cases} \quad (12)$$

L_a : vetor das observações ajustadas

X_a : vetor dos parâmetros ajustados

L_x : vetor do "erro de fechamento" do modelo injuncional

O modelo matemático funcional é não linear e portanto requer a linearização por série de Taylor:

$$\begin{cases} V = AX + L \\ V_x = X_0^0 - X_b + \hat{X} \end{cases} \quad (13)$$

onde,

$$L = L_a - L_b$$

V : vetor dos resíduos das fotocoordenadas

V_x : vetor dos resíduos das injunções

\hat{X} : vetor das correções aos parâmetros

X_0^0 : vetor das aproximações iniciais dos parâmetros

X_b : vetor das pseudo-observações

L_b : vetor das fotocoordenadas observadas

A : matriz das derivadas parciais em relação aos parâmetros de orientação exterior, interior e coordenadas dos pontos no terreno

Após a aplicação do MMQ com o uso de pesos, a equação matricial (14) é a solução para as equações (13):

$$X = -(A'PA + P_x)^{-1}(A'PL + P_xL_x) \quad (14)$$

onde

P : peso relativo das observações

P_x : peso relativo das injunções

A solução da equação (14) requer iterações por causa da não linearidade do modelo matemático funcional. A variância *a posteriori* é dada por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V'PV + V_x'P_xV_x}{n + n_x - u} \quad (15)$$

onde n é o número de equações de observações, n_x o número de equações de injunções e u o total de parâmetros. Neste modelo, $n_x = u$ em todos os passos da interpolação.

Controle de qualidade

Para a verificação da qualidade do MDT, foi realizada uma fototriangulação com o programa FOTRAC (Silva, 1987), que fornece uma relação dos pontos fototriangulados e respectivas coordenadas. Este programa foi escolhido porque já foi amplamente testado em simulações e projetos de fototriangulação. O controle de qualidade por meio do método de triangulação foi motivado por causa da dificuldade de medição direta de pontos na maquete. Em trabalhos futuros, pretende-se utilizar fotos aéreas e pontos sinalizados no terreno com posições determinadas por GPS (Sistema de Posicionamento Global).

O projeto desta fototriangulação é composto de 3 fotos, 4 pontos de apoio HV (horizontal-vertical), 5 pontos de checagem e 215 pontos fototriangulados. Os resultados obtidos pelo FOTRAC são tomados como referência, ou seja, considerados como sendo o terreno "real", representado na figura 4 como sendo a região entre as retas. O procedimento do controle de qualidade é feito da seguinte forma: a) para cada ponto fototriangulado, determina-se a qual quadrilátero ele pertence, utilizando as coordenadas (X, Y); b) com as coordenadas (X, Y, Z) dos 4 vértices do

quadrilátero, é realizada uma interpolação bilinear para obtenção da cota Z no ponto em questão; c) esta cota é comparada com a de referência e o erro calculado.

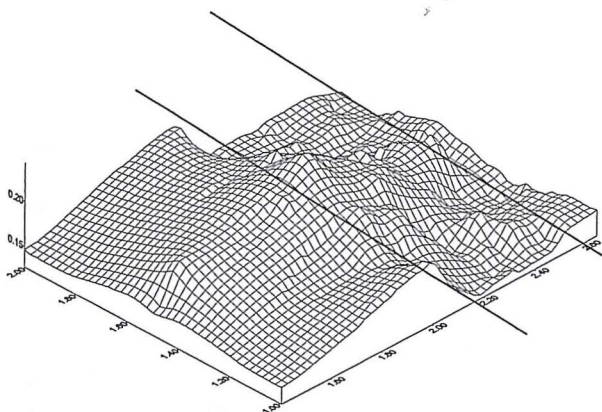


Figura 4: Terreno tomado como referência.

É possível que o ponto a ser verificado esteja dentro dos limites estabelecidos, mas não pertença ao quadrilátero, pois este pode não ser regular. Para verificar se um ponto pertence ou não a um dado quadrilátero, é utilizado o produto vetorial no plano, pois através dele consegue-se determinar a posição de um ponto em relação a um vetor (figura 5).

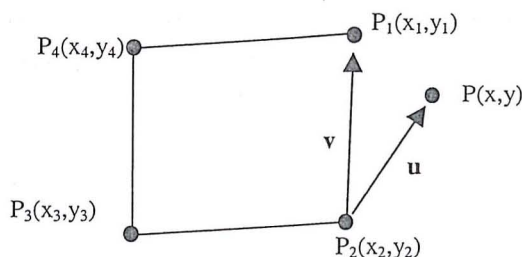


Figura 5: Produto vetorial no plano.

O produto vetorial no plano é definido por (Figueiredo & Carvalho, 1991):

$$u \wedge v = \begin{vmatrix} x-x_2 & y-y_2 \\ x_1-x_2 & y_1-y_2 \end{vmatrix} = (x-x_2)(y_1-y_2) - (y-y_2)(x_1-x_2) \quad (16)$$

onde, $u = (x - x_2, y - y_2)$ e $v = (x_1 - x_2, y_1 - y_2)$.

Através de uma inspeção nos vetores formados com os lados dos quadriláteros P_1, P_2, P_3 e P_4 e o ponto a ser testado P , se o produto vetorial for positivo (equação 16), P está à direita do vetor v . Como os vértices do quadrilátero estão ordenados em sentido anti-horário, para o ponto ser interior é necessário que o produto vetorial seja negativo em todos os lados do quadrilátero. Se for positivo em algum lado, basta trocar

o quadrilátero atual com o quadrilátero vizinho. Se não houver quadriláteros na vizinhança, o ponto não é testado pois neste caso ele não pertence a nenhum quadrilátero e não é possível fazer a interpolação.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A seguir são detalhados os resultados obtidos com a metodologia aqui apresentada. Os resultados são referentes a três passos da interpolação, ou seja, quando a quantidade de pontos interpolados e aproximados é de 147, para que se possa comparar com o resultado da fototriangulação, que foi realizada com 215 pontos.

A variância *a priori* de todos os experimentos relatadas abaixo foi igual a 1. O tamanho da janela de referência e de busca influenciam no resultado da correspondência baseada em área e desta forma foram feitos experimentos variando-se tanto a janela de referência quanto a de busca. Outro ponto a destacar é a redução dos pesos das fotocoordenadas e dos pontos no terreno que são obtidos pela interpolação. Estes pesos vão sendo reduzidos empiricamente em cada etapa da interpolação:

$$P_{i+1} = \frac{P_i}{2} \quad (17)$$

Como os pontos iniciais (de Gruber) têm a mesma variância, a estratégia de redução diferenciada de pesos, como descrito abaixo, se refere à diminuição dos pesos das fotocoordenadas da direita no primeiro passo da interpolação, visando diminuir a influência dos erros cometidos durante a correspondência. As tabelas 3 a 6 sintetizam os resultados obtidos em vários experimentos.

Tabela 3 – Janela 3 x 3 sem redução diferenciada dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
5 x 5	1.2287	-0.0298
7 x 7	2.0935	-0.0230
9 x 9	3.2675	-0.0201
11 x 11	4.8879	-0.0108
13 x 13	7.0939	0.0011
15 x 15	8.9206	0.0106

Pode-se constatar na tabela 3 que o menor erro médio aritmético entre a superfície gerada e a de controle ocorre quando a janela de busca têm dimensões 13 x 13, mas a variância *a posteriori* cresce com o tamanho da janela.

Tabela 4 – Janela 3 x 3 com redução diferenciada dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
5 x 5	0.8017	-0.0306
7 x 7	0.8254	-0.0235
9 x 9	0.8598	-0.0196
11 x 11	0.9018	-0.0090
13 x 13	0.9721	0.0014

A redução diferenciada dos pesos (tabela 4) para as fotocoordenadas e para os pontos no terreno provenientes do processo de interpolação mostra que com esta estratégia a variância *a posteriori* se aproxima do valor 1. Nesta situação, o menor erro médio ocorre na janela 13 x 13.

Tabela 5 – Janela 5 x 5 sem redução diferenciada dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
7 x 7	1.2822	-0.0337
9 x 9	2.1121	-0.0263
11 x 11	3.3812	-0.0202
13 x 13	5.5004	-0.0113
15 x 15	7.0721	-0.0034

Conforme pode ser visto na tabela 5, os resultados são semelhantes aos da tabela 3, ou seja, o erro médio diminui à medida que a janela de busca aumenta, mas a variância *a posteriori* aumenta consideravelmente. O menor erro ocorre na janela 15 x 15.

Tabela 6 – Janela 5 x 5 com a estratégia de redução dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
7 x 7	0.8026	-0.0345
9 x 9	0.8256	-0.0277
11 x 11	0.8619	-0.0212
13 x 13	0.9111	-0.0125
15 x 15	0.9488	-0.0024

Mais uma vez, o erro médio entre o modelo gerado e o de controle diminui com o crescimento da janela de busca e, como ocorreu nos resultados mostrados na tabela 4, a variância *a posteriori* se aproxima de 1.

A figura 6 resume as informações das tabelas 3 a 6, no que se tange ao desvio médio aritmético encontrado, e a figura 7 refere-se à variância *a posteriori*.

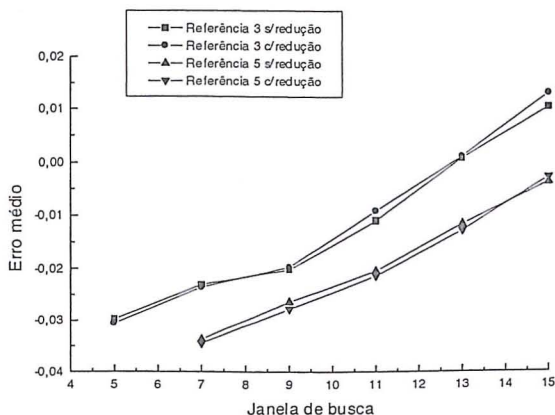


Figura 6: Erro médio aritmético em função da janela de busca.

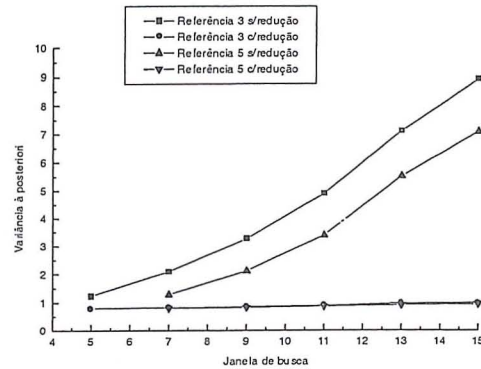


Figura 7: Variância *a posteriori* em função da janela de busca.

Combinando-se um bom resultado estatístico, dado pela variância *a posteriori* próxima de 1, e o menor erro médio aritmético, a melhor estimativa do modelo digital foi obtida com a janela de referência igual a 3 x 3 e a janela de busca 13 x 13, com a estratégia de redução diferenciada dos pesos.

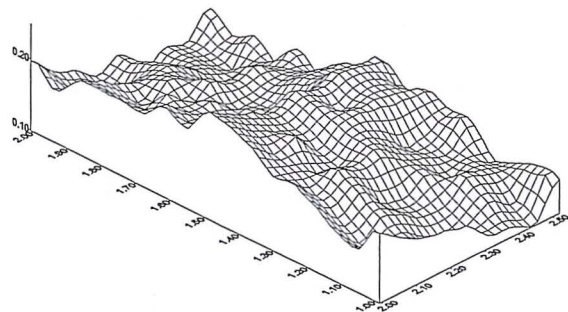


Figura 8: Perspectiva do MDT com o menor erro médio aritmético.

Fazendo-se a relação entre o erro médio aritmético calculado (0,0014m) e a altura de voo (2,0m), obtém-se 0,0007, ou seja, 0,7‰ (sete décimos por mil) da altura de voo.

Em consequência dos resultados apresentados, pode-se afirmar que a metodologia aqui apresentada mostra um bom desempenho, tendo em vista que o MDT é gerado automaticamente a partir do conhecimento de apenas seis pontos no terreno e com fotos obtidas com uma câmara digital de pequeno formato. Para colocá-la em uma escala comercial ou de produção, são necessários alguns aprimoramentos, tais como:

- Técnicas de correspondência: um dos grandes problemas da automação na fotogrametria digital é o estabelecimento da correspondência de

15 x 15 0.9966 0.0133

A redução diferenciada dos pesos (tabela 4) para as fotocoordenadas e para os pontos no terreno provenientes do processo de interpolação mostra que com esta estratégia a variância *a posteriori* se aproxima do valor 1. Nesta situação, o menor erro médio ocorre na janela 13 x 13.

Tabela 5 – Janela 5 x 5 sem redução diferenciada dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
7 x 7	1.2822	-0.0337
9 x 9	2.1121	-0.0263
11 x 11	3.3812	-0.0202
13 x 13	5.5004	-0.0113
15 x 15	7.0721	-0.0034

Conforme pode ser visto na tabela 5, os resultados são semelhantes aos da tabela 3, ou seja, o erro médio diminui à medida que a janela de busca aumenta, mas a variância *a posteriori* aumenta consideravelmente. O menor erro ocorre na janela 15 x 15.

Tabela 6 – Janela 5 x 5 com a estratégia de redução dos pesos

Busca	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio
7 x 7	0.8026	-0.0345
9 x 9	0.8256	-0.0277
11 x 11	0.8619	-0.0212
13 x 13	0.9111	-0.0125
15 x 15	0.9488	-0.0024

Mais uma vez, o erro médio entre o modelo gerado e o de controle diminui com o crescimento da janela de busca e, como ocorreu nos resultados mostrados na tabela 4, a variância *a posteriori* se aproxima de 1.

A figura 6 resume as informações das tabelas 3 a 6, no que se tange ao desvio médio aritmético encontrado, e a figura 7 refere-se à variância *a posteriori*.

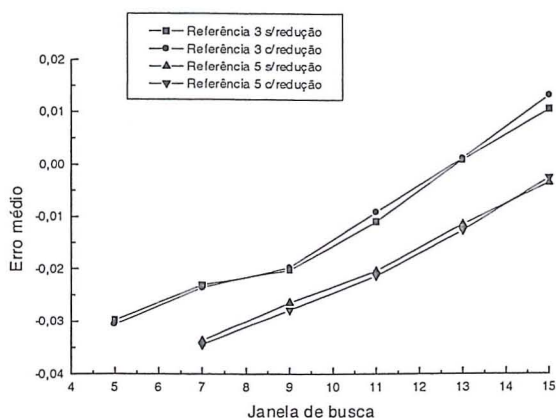


Figura 6: Erro médio aritmético em função da janela de busca.

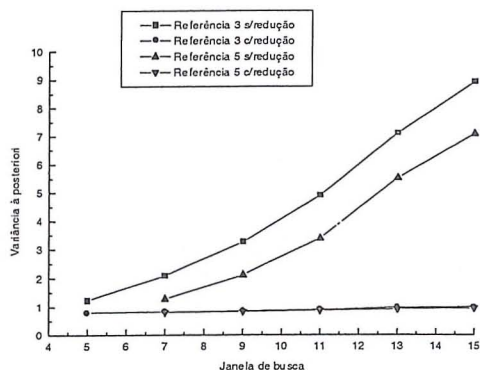


Figura 7: Variância *a posteriori* em função da janela de busca.

Combinando-se um bom resultado estatístico, dado pela variância *a posteriori* próxima de 1, e o menor erro médio aritmético, a melhor estimativa do modelo digital foi obtida com a janela de referência igual a 3 x 3 e a janela de busca 13 x 13, com a estratégia de redução diferenciada dos pesos.

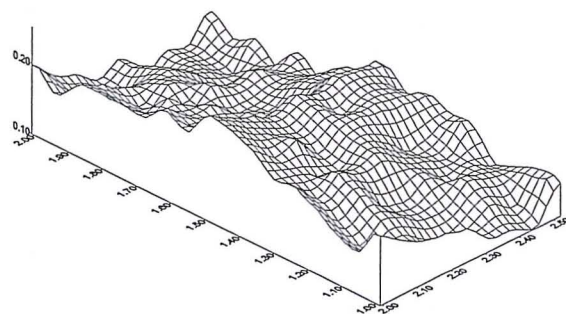


Figura 8: Perspectiva do MDT com o menor erro médio aritmético.

Fazendo-se a relação entre o erro médio aritmético calculado (0,0014m) e a altura de vôo (2,0m), obtém-se 0,0007, ou seja, 0,7% (sete décimos por mil) da altura de vôo.

Em consequência dos resultados apresentados, pode-se afirmar que a metodologia aqui apresentada mostra um bom desempenho, tendo em vista que o MDT é gerado automaticamente a partir do conhecimento de apenas seis pontos no terreno e com fotos obtidas com uma câmara digital de pequeno formato. Para colocá-la em uma escala comercial ou de produção, são necessários alguns aprimoramentos, tais como:

- Técnicas de correspondência: um dos grandes problemas da automação na fotogrametria digital é o estabelecimento da correspondência de

pontos homólogos. Existem inúmeras técnicas que apresentam uma melhor acurácia do que a correspondência aqui testada e que poderiam ser usadas, bem como o ajustamento por Mínimos Quadrados quando do estabelecimento da correspondência em nível de pixel;

- Técnicas de interpolação: com a interpolação linear, vimos que o ponto interpolado pode ficar muito acima ou abaixo do terreno, o que pode acarretar paralaxes residuais em x e em y, as quais a correspondência visa diminuir. Técnicas de interpolação que levam em consideração a inclinação do terreno podem ser usadas e com isso poderiam diminuir estas paralaxes;

- Visualização: existem atualmente técnicas de realidade virtual sendo aplicadas à visualização de MDT, que fazem uso de ferramentas para renderização, técnicas de sombreado, passeios pelo modelo, mudança de ângulo de vista etc., ou então implementar algoritmos dentro do sistema para eliminação de linhas ocultas, iluminação entre outras;

Uma extensão desta metodologia para que possa ser usada com múltiplas imagens também é importante, visto que daí, poderia resultar em um mosaico e posteriormente a produção de uma ortofotodigital.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi mostrada a geração automática de uma superfície materializada por uma maquete, com imagens obtidas com uma câmara digital de pequeno formato, a partir de apenas 6 pontos (Gruber) conhecidos e sinalizados no terreno, utilizando uma interpolação linear e uma estratégia de correspondência baseada em área para corrigir esta interpolação.

Os resultados mostraram que o menor erro ocorre quando se usa uma janela alvo de 3 x 3 pixels e janela de busca 13 x 13 pixels na correspondência, com redução dos pesos das fotocoordenadas da direita e dos pontos no terreno que vão sendo interpolados. Estes resultados indicam que o método funciona a contento (0,7 / 1000 da altura de vôo) e futuros aprimoramentos ao método sugerem que se pode atingir uma acurácia maior.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURROUGH, P. A. **Digital Elevation Models: principles of geographical information system for land resources assesment monographs on soil and resources survey.** Oxford, 1986.

FIGUEIREDO, L. H. & CARVALHO, P. C. P. **Introdução à Geometria Computacional.** Rio de Janeiro, IMPA, 1991.

GONZALEZ, R. C. & WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** Addison-Wesley, 1993.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas.** Curitiba, UFPR, 1994.

LANCASTER, P. & SALKAUSKAS, K. **Curve and Surface Fitting: an introduction.** Academic Press, 1990.

KRAUSS, K. **Photogrammetry: fundamentals and standard processes,** v. 1. Dummler Verlag, 1992.

MAUNE, D. F. DEM extraction, editing, mathing and quality control techniques. **Digital photogrammetry: in addendum to the manual of photogrammetry.** Amer. Soc. Photogramm. & Remote Sensing, p. 131-134, 1996.

McCULLAGH, M. J. Terrain and surface modelling systems: theory and practice. **Photogrammetric Record,** v.72, n. 12, p. 747-779. 1988.

MERCHANT, D. C. **Analytical photogrammetry: Theory and practice.** (unpublished notes). Department of Geodetic Science and Surveying. Columbus: The Ohio State University. 1979.

PETRIE, G. & KENNIE, T. J. M. **Terrain modelling in surveying and civil engineering.** Caithness: Whittles, 1990.

SILVA, J. F. C. **A inferência bayesiana e a detecção de erros grosseiros em fototriangulação por feixes de raios.** Curitiba, 1987. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), UFPR, 1987.

UOTILA, U. **Notes on adjustment computations – part I.** (unpublished notes.) Department of Geodetic Science and Surveying. Columbus, Ohio State University, 1986.

YAMAMOTO, J. K. A review of numerical methods for the interpolation of geological data. **Anais Academia Brasileira de Ciências,** v. 70, n. 1, 1998.

WOLF, P. R. Elements of photogrammetry, with air photo interpretation and remote sensing. MacGraw-Hill, 1983.

MAPEAMENTO NA BACIA DO ALTO PARAGUAI: PROJETO E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

Mônica M. S. Decanini
Nilton N. Imai

Unesp - Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT)

Departamento de Cartografia

Rua Roberto Simonsen, 305

Presidente Prudente - SP CEP 19060-900

Tel. (0xx18) 2295325 r. 29 - Fax (0xx18) 2232227

e.mail: {nnimai, monca}@prudente.unesp.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é apresentar os procedimentos adotados na elaboração de um projeto cartográfico e na produção automatizada de dois mapas temáticos. A área mapeada foi a Bacia do Alto Paraguai (BAP), abrangendo porções do território brasileiro, paraguaio e boliviano. A produção cartográfica foi apoiada por aplicativos de cartografia automatizada. Os mapas foram produzidos a partir da compilação de informações existentes utilizando os sistemas REMAP-Plus e PC-Arc/Info. Portanto, foi necessário compatibilizar dados de fontes diversas. O projeto de símbolos proposto para os dois mapas resultou de uma análise das características da informação geográfica e de suas dimensões na escala proposta, dentro da abordagem da semiologia gráfica.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the approach adopted for the cartographic design and automated production of two thematic maps. High Paraguay Basin (BAP) was the mapped area, which contains parts of Brazilian, Paraguayan and Bolivian territory. The cartographic production was computer supported. The maps were made from compilation of existing information by using REMAP-Plus and PC-Arc/Info software package. As data came from several sources, it was necessary to make them compatible. Symbol design resulted from the analysis of geographic information characteristics and its dimensional extent in a chosen scale, by approaching principles of graphic semiology.

Palavras chaves: projeto cartográfico, cartografia automatizada, carta temática, semiologia gráfica, integração de dados, generalização cartográfica.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é descrever os procedimentos adotados na elaboração do projeto e na produção de dois mapas temáticos: "Territorios Indigenas, Actividades Tradicionales y Sitios Arqueologicos en la Cuenca del Rio Paraguay" e "Grandes Proyetos en la Cuenca del Rio Paraguay".

A área mapeada inclui partes localizadas em território do Paraguai, do Brasil e da Bolívia (Área Total = 496000 km²). Conseqüentemente, foi necessário buscar soluções que conduzissem à

homogeneização da informação cartográfica, porém, procurando resguardar as particularidades dos aspectos físicos e culturais de cada país.

Através desses mapas, as entidades ambientalistas dos três países (ECO-A-Brasil, Sobrevivência-Paraguai e ASEO-Bolívia) têm por objetivo ampliar os conhecimentos dos financiadores e da opinião pública sobre os potenciais riscos envolvidos na implementação de grandes projetos de desenvolvimento na área da BAP.

Uma vez selecionados o conteúdo, a escala e o tamanho do papel, de acordo com a conveniência do

usuário, fez-se a compilação dos dados existentes (documentos cartográficos convencionais, dados digitais georreferenciados, e relatórios técnicos fornecidos pelas ONGs). O projeto de símbolos foi realizado com base nos princípios da semiologia gráfica, buscando utilizar variáveis visuais pertinentes à natureza da informação geográfica.

A produção dos mapas foi realizada com suporte de aplicativos da cartografia automatizada, sem a qual esse processo seria mais lento.

2. ELEMENTOS DO PROJETO CARTOGRÁFICO

O processo de elaboração do projeto cartográfico orientou-se pela abordagem preconizada por Salichtchev (1978). Um mapa concebido e utilizado como modelo da realidade pode ser um instrumento de análise da realidade o qual permite a ampliação do conhecimento do usuário, a respeito do universo considerado. Para que o mapa, enquanto modelo abstrato do mundo real, cumpra sua finalidade no processo de comunicação cartográfica deve passar por um processo de generalização balizada pela sua finalidade e transcrição gráfica baseada nos princípios da Semiologia Gráfica. O processo de comunicação cartográfica deve obedecer a um sistema semiológico monossêmico, no qual o redator gráfico e o usuário se colocam diante da mesma situação perceptiva, sendo assim a representação gráfica é universal (Bertin, 1977, 1978 apud Martinelli, 1991). Dentro dessa abordagem, a realização do projeto de símbolos cartográficos considera que a informação geográfica deve ser representada por variáveis visuais com propriedades perceptivas pertinentes à natureza do fenômeno geográfico observado.

A partir dessas premissas, o projeto foi desenvolvido para transmitir conhecimento sobre a realidade sócio-ambiental da BAP e suas relações com os grandes projetos de desenvolvimento na área, como por exemplo, a Hidrovia Paraguai-Paraná e, assim, sensibilizar tanto os seus financiadores internacionais, como a opinião pública dos riscos desses projetos. Note-se, portanto, que esse projeto caracteriza-se pela necessidade de representar a realidade de uma forma acessível a uma comunidade heterogênea formada por profissionais ativistas da área ambiental, estudantes, comunidades indígenas e técnicos de organizações financiadoras dos grandes projetos e das ONGs

Vale lembrar que esses mapas estão inseridos em um conjunto de documentos que compõem um relatório

a respeito da situação sócio-ambiental da BAP. Nesse contexto, os mapas devem contribuir para a compreensão da importância da manutenção da integridade de um ambiente caracterizado por sua grande diversidade e fragilidade, no qual vivem comunidades tradicionais integradas ao meio.

Uma vez definidos o propósito dos mapas e a área geográfica (BAP) outras variáveis interdependentes (Fig. 1) foram selecionadas: o nível de informação, a escala e o formato. Esses elementos estão intrinsecamente ligados, ou seja, a decisão sobre um afeta o outro e devem ser definidos no início do projeto (Keates, 1989).

A escala 1:1.500.000 foi selecionada para responder às demandas por informação do usuário e para abranger o território da BAP em uma única folha de forma a facilitar a utilização junto à comunidade em questão. O usuário solicitou a construção dos dois tipos de mapas com a seguinte classificação

- Um que mapeasse os grandes projetos: Mineração, Agro-industrial, de Integração econômica (fluvial, rodoviário, ferroviário e aéreo) e de Integração energética (gasoduto, oleoduto e energia elétrica). Além da localização foi necessário representar o grau de impacto desses projetos (*alto, médio e baixo*), bem como a representação do estágio de implantação (*aprovado, em estudo, em execução e concluído*).
- Outro, representando informações sobre a localização, grupo étnico, concentração de população e tipo de atividade produtiva das comunidades indígenas (*extrativismo, caça, agricultura, criação de gado, arrendamento de terra e trabalho assalariado*) e tradicionais (*pesca, artesanato e extrativismo*). Foi, também, mapeada a situação legal dos territórios indígenas (*titulado, não titulado porém, delimitado e não titulado e não delimitado*), bem como a localização dos sítios arqueológicos.

Os símbolos e letras formam o corpo da representação gráfica do assunto mapeado. Portanto, na fase seguinte elaborou-se o projeto de símbolos e de letras para cada um dos dois mapas, bem como se definiu o *lay-out* (Fig. 2). O projeto gráfico foi precedido por uma análise das características da informação geográfica (níveis de medida e propriedades dimensionais), detalhado na seção 3.

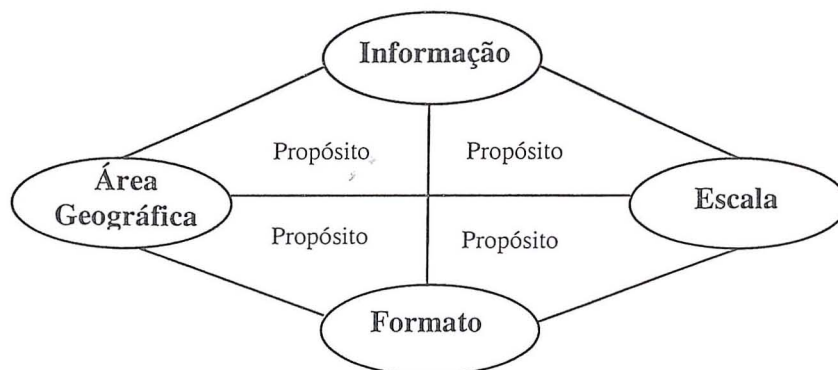


Fig. 1 - Variáveis interdependentes do projeto cartográfico
 Fonte: adaptado de Keates, 1989 e Oxtoby & Van den Worm, 1986

3. PROJETO E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA NA BAP

Dentre as vantagens da cartografia automatizada se destacam a rapidez, eficiência e acurácia na atualização e produção cartográfica, permitindo, por exemplo, experimentar com diferentes formas de representação gráfica de um mesmo dado (Rhind, 1977). Robinson et. al. (1995) observam que os métodos digitais para construção de mapas são mais flexíveis do que os métodos manuais e foto-mecânicos.

O presente trabalho envolveu a produção de três mapas temáticos de uma grande extensão territorial (BAP) a qual utilizou um grande volume de dados de diversas fontes. Adotou-se um aplicativo de Cartografia Assistida por Computador (CAC) (Remap Plus), combinado a rotinas destinadas a transformações de projeções cartográficas a fim de compatibilizar a grande diversidade de fontes utilizadas. A conversão dos dados convencionais (documentos cartográficos) foi realizada através de mesa digitalizadora manual (A1) - *Summagraphics*. Para a reprodução dos mapas foi utilizado um dispositivo de impressão - *plotter* jato de tinta colorida (A0) - HP com 40MBytes. Em função do número reduzido de cópias requeridas (16 cópias de cada mapa) e da disponibilidade de equipamentos, optou-se pela reprodução automatizada.

O procedimento para conhecer as demandas do usuário e elaborar o projeto cartográfico, envolveu:

- longas entrevistas e reuniões com os membros das três ONGs mencionadas acima, bem como com outros membros da Coligação Rios Vivos e,
- a análise de documentos fornecidos por essas entidades.

3.1. ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

3.1.1. FONTE DE DADOS

A produção da base cartográfica utilizada nos dois mapas temáticos foi realizada através da compilação de dados de diversas fontes. No caso das áreas no território brasileiro, a BAP ocupa tanto parte do Estado do Mato Grosso quanto do Mato Grosso do Sul. Utilizou-se dois mapas como fonte de dados para aquisição das feições hidrografia, área urbana e via no Mato Grosso: o Mapa Político e Rodoviário (1989) na escala 1:1500000, projeção Cônica Conforme de Lambert e o Mapa de Hidrografia da BAP no Brasil, na escala 1:1000000, projeção UTM. O limite da BAP no Mato Grosso foi obtido desse Mapa de Hidrografia. Na área do Mato Grosso do Sul as feições mencionadas acima foram obtidas de arquivos magnéticos no formato IGDS (Microstation).

No caso da Bolívia, as feições da hidrografia, áreas urbanas e vias foram obtidas em arquivos magnéticos no formato Arc/Info. Esses dados digitais foram gerados a partir da digitalização de mapas topográficos na escala 1:250000. No entanto, as folhas que compõem o território da BAP na Bolívia já estavam reunidas e apresentavam um certo grau de generalização. O elipsóide de referência adotado na Bolívia é o internacional de 1909, na projeção UTM com meridiano central 63° W.

O Mapa del Paraguay, na escala 1:1000000, na projeção Gauss Krüger, foi adotado como fonte de dados cartográficos do território Paraguaio, da qual extraiu-se as feições referentes à hidrografia, área urbana e via.

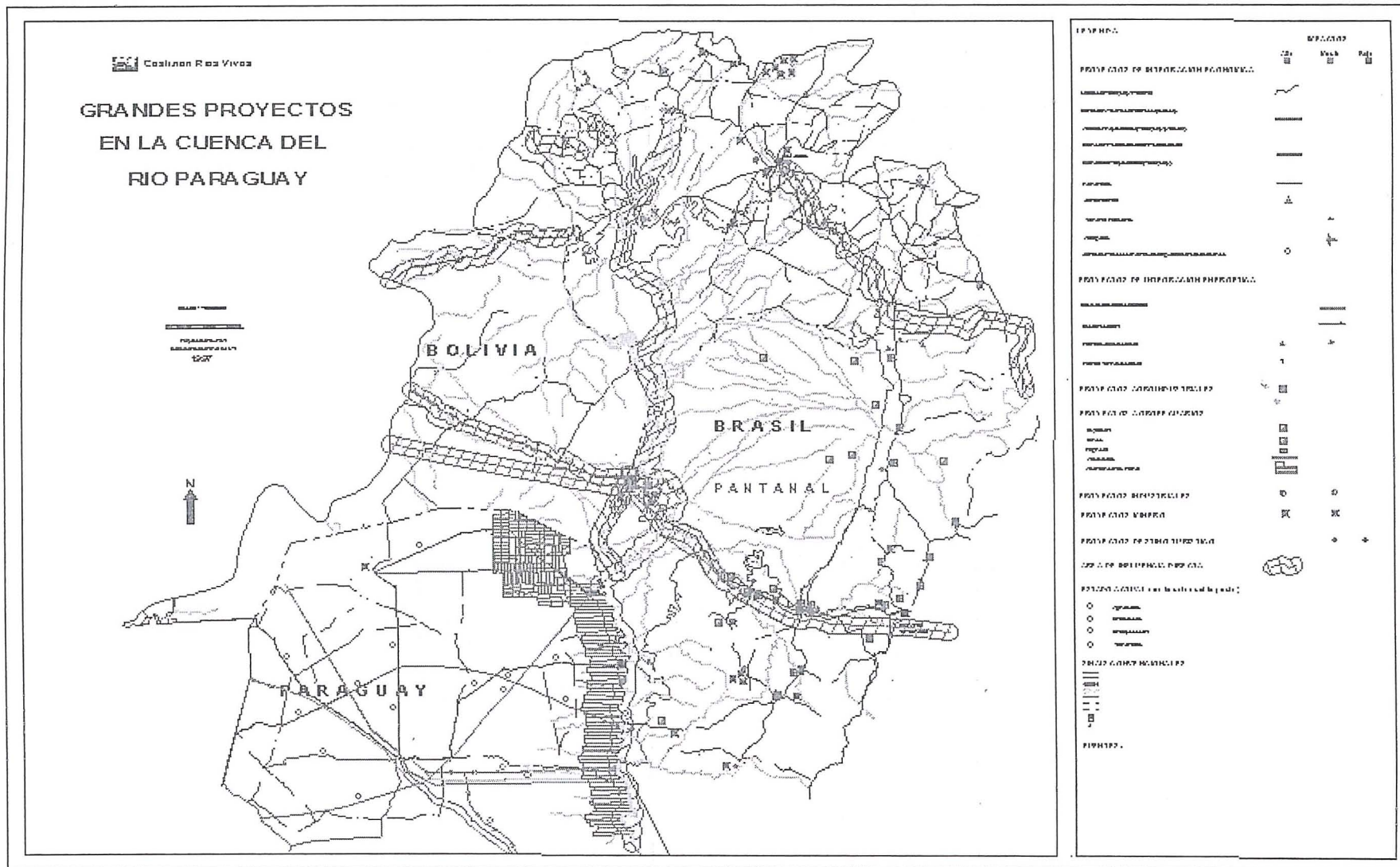


Fig. 2 - Exemplo de *lay-out* (Título: Grandes Proyectos en la Cuenca del Rio Paraguay)

3.1.2 CONVERSÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Foi realizada a digitalização manual dos documentos cartográficos para obter as feições planimétricas da BAP nos territórios brasileiro e paraguaio. Esses dados, bem como os dados adquiridos no formato digital (Mato Grosso do Sul e Bolívia), foram compatibilizados para o padrão cartográfico adotado (UTM - meridiano central 57° W - datum Córrego Alegre) através de rotinas de conversão de projeção e de sistema de referência geodésico disponíveis no PC-Arc/Info.

Os dados digitais foram convertidos para um formato público compatível com o recurso de importação de dados gráficos do aplicativo utilizado para gerar os mapas temáticos.

Os diversos graus de detalhamento, inerentes a cada fonte, foram tratados pelo processo de generalização cartográfica (procedimento convencional) para receber as informações temáticas na escala proposta.

A generalização da base cartográfica considerou a necessidade de diminuir a densidade dos elementos gráficos no mapa, para manter a legibilidade e a essência da característica geográfica da área, na escala reduzida. Entretanto, nem todos os canais de primeira ordem, bem como as cidades e vias secundárias puderam ser eliminadas genericamente. Alguns critérios pertinentes ao tema central foram estabelecidos; por exemplo, a presença de um *grande projeto de desenvolvimento* (a construção de uma Usina Hidroelétrica, o asfaltamento de uma via entre cidades, e assim por diante), definiu a importância e, portanto, a manutenção da feição correspondente.

TABELA 1 - ESPECIFICAÇÃO DAS LETRAS PARA AS FEIÇÕES DA BASE CARTOGRÁFICA QUE COMPÕEM OS MAPAS TEMÁTICOS

Feição	Forma	Tipo	Orientação	Cor	Espaçamento	Valor	Tamanho (pts)
País	caixa alta	arial	Normal	preto	expandido	negrito	32
Capital	caixa alta	arial	Normal	preto	normal	negrito	12
Cidade	caixa alta	arial	Normal	preto	normal	negrito	6
Pantanal	caixa alta	arial	Normal	verde	expandido	negrito	28
hidrografia	caixa baixa	arial	Itálico	ciano	expandido	negrito	5
Via	caixa alta	arial	Normal	marrom avermelhado	normal	negrito	4

Na seção seguinte descreve-se os procedimentos para elaboração dos mapas temáticos.

3.2. PROJETO TEMÁTICO 1: TERRITÓRIOS INDÍGENAS, ACTIVIDADES TRADICIONALES Y SITIOS ARQUEOLOGICOS EN LA CUENCA DEL RIO PARAGUAY

Quanto a *propriedade dimensional*, nesse projeto os territórios indígenas foram representados tanto por *símbolos pontuais* (dimensão = 5mm) como por *área* (Figura 4a). A representação por símbolos pontuais não foi adotada somente devido a relação entre a dimensão

3.1.3. PROJETO DE SÍMBOLOS E LETRAS DAS FEIÇÕES DA BASE CARTOGRÁFICA

O limite do Pantanal foi representado por uma linha de cor verde, sem preenchimento para evitar ruídos na informação principal (espessura = 0.5mm). As vias (ferrovia e rodovia) foram representadas na cor marrom. No caso da rodovia, foi classificada em *Pavimentada* (sólida) e *Não pavimentada* (tracejada). A Hidrografia em cor ciano, seguindo o padrão para símbolos cartográficos do DSG. Os limites, internacional e estadual, foram representados em preto (Fig. 3).

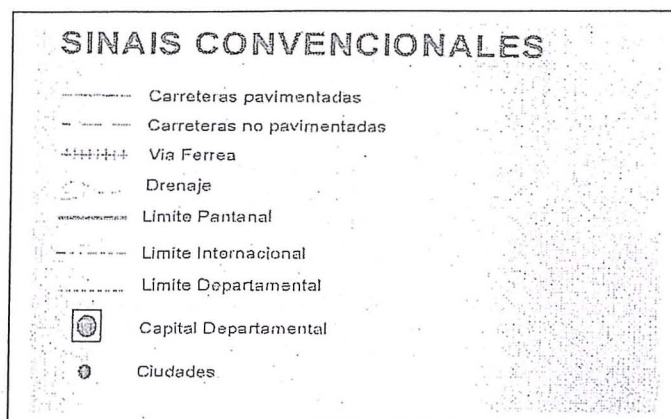


Fig. 3 - Símbolos das feições da base cartográfica

O projeto de letras para as feições da base cartográfica está especificado na Tabela 1.

do território e a escala adotada, mas quase sempre devido à falta de informação sobre a área dos territórios, particularmente no caso das áreas do Paraguai. Nesse mapa, a situação legal atual das terras indígenas foi representada pela variação de cores com uma ordem baseada em associação subjetiva (Bos, 1984). Como a informação tem uma natureza hierárquica, na qual a área com problema legal de titulação e delimitação representa uma zona de risco de conflitos, adotou-se a cor vermelha para o caso extremo (*azul* = titulado, *magenta* = delimitado e não titulado, *vermelho* = não titulado e não delimitado) (Fig. 4a). Utilizou-se *símbolo alfanumérico* (Fig. 4b) para associar essas terras, nos

três países, ao tipo de nação indígena correspondente, conforme exemplo apresentado na Tabela 4, com dimensão de 1,5mm. O número corresponde a numeração da nação e a letra ao País na qual está localizada.

TABELA 4 - SÍMBOLO ALFANUMÉRICO PARA REPRESENTAR OS TIPOS DE NAÇÕES INDÍGENAS

Nação Indígena	Símbolo alfanumérico	País
Paresi	1B	Brasil
Chiquino	1Bo	Bolívia
Chamacoco	1P	Paraguai

As atividades produtivas indígenas e tradicionais, dada à característica qualitativa dessa classe geográfica, foram representadas por símbolos com o mesmo peso visual (símbolos pontuais com dimensão = 5mm), vide Fig. 4a. Utilizou-se, basicamente, a forma pictórica para os símbolos, que por sua natureza descritiva e auto-explicativa facilita a comunicação da informação para uso público (Ostrowski e Ostrowski, 1975). Considerou-se que um dos objetivos desses mapas é sua utilização também pelas comunidades tradicionais e pelos meios de comunicação.

A localização das áreas indígenas foi proveniente de diversas fontes. Os dados sobre a posição dos territórios indígenas no Paraguai foram baseados em levantamentos aproximados realizados a partir de visitas de campo dos membros da ONG Sobrevivência a esses territórios. No caso da Bolívia, os dados (áreas indígenas e sítios arqueológicos) foram derivados do Mapa Etnológico e Etnográfico na escala 1:1000000 em projeção Cônica de Lambert, o qual incluiu dados de sítios arqueológicos.

No Brasil os dados sobre a posição dos territórios indígenas do Mato Grosso do Sul foram obtidos dos arquivos magnéticos da BAP, enquanto que os dados da parte do Estado do Mato Grosso foram digitalizados a partir de cópias de mapas em diversas escalas fornecidos pelas ONGs. Os dados referentes aos tipos de grupos indígenas foram extraídos de relatórios técnicos e científicos. Os dados de arqueologia do Mato Grosso do Sul foram digitalizados de dados plotados em mapas topográficos na escala 1:250000, fornecidos pela ONG ECOA, os quais foram generalizados.

3.3 PROJETO TEMÁTICO 2: Grandes Projectos en la Cuenca del Rio Paraguay

O projeto de símbolos proposto para esse mapa resultou de uma análise da natureza da informação

geográfica para determinar o *nível de medida*. Os diferentes tipos de *Grandes Projectos*, por sua natureza qualitativa, foram representados por símbolos de mesma dimensão. Entretanto, a variação do grau de impacto dos grandes projetos propostos na BAP, tem uma característica ordinal. Utilizou-se a cor de uma forma ordenada, mas por associação subjetiva, na qual o matiz *vermelho* foi associado a uma situação de risco (Bos, 1984), no caso a classe *Alto Impacto*, o *magenta* (contem vermelho) a classe *Médio Impacto* e o *azul* a *Baixo Impacto* (Figs. 5a e 5b). Pretendia-se utilizar a seqüência espectral que cria uma ordem visual (Martinelli, 1991), a partir do *amarelo, laranja e vermelho*, entretanto o resultado impresso da cor *laranja* e *amarelo*, para feições pontuais e lineares, ficou ruim. O matiz *laranja* apresentou ruídos, afetando a qualidade gráfica dos símbolos, e o *amarelo* ficou com baixíssimo contraste em fundo branco, adotado para evitar custos e demora na impressão, particularmente para as feições lineares. A Tabela 5 apresenta as classes de grandes projetos, sua propriedade dimensional e a forma dos símbolos na escala em questão, vide as Figuras 5a e 5b. O símbolos pontuais foram representados com dimensão 5 mm.










TABELA 5 - DIMENSÃO E FORMA DOS SÍMBOLOS QUE REPRESENTAM OS GRANDES PROJETOS DA BAP

Feições	Propriedade Dimensional	Forma
Mineração	Símbolo Pontual	Geométrica
Agropecuário Industrial		Pictórica
Hidroelétrica		
Porto		
Aeroporto	Alfanumérica	
Termelétrica		
Gasoduto	Símbolo Linear	Geométrica
Hidrovia		
Rodovia		
Eletrificação		
Aquedutos		Pictórica
Ferrovia		
Assentamento rural	Símbolo Área	Geométrica

O estágio atual dos grandes projetos (*Aprovado, Em Estudo, Em execução e Concluído*) foi representado por *Símbolo Alfanumérico* (comprimento = 2 mm e círculo = 5mm), conforme padronizado no relatório de Impacto, pelas três ONGs.

LEYENDA







TERRITORIOS INDIGENAS

-   Territorios Titulados'
-   Territorios No Titulados, Delimitados
-   Territorios No Titulados, No Delimitados
-  Mayor concentracion de poblacion²
-  Menor concentracion de poblacion²
-  Nomades sin contacto Nacional

ACTIVIDADES TRADICIONALES

-  Pesca
-  Artesanato
-  Recolectores

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS INDIGENAS

-  Ganaderia
-  Arrendamento
-  Trabalho Assalariado
-  Agricultura
-  Caza
-  Extrativismo

SITIOS ARQUEOLOGICOS²

Fig. 4a - Legenda do Projeto Temático1: Territorios Indigenas, Actividades Tradicionales y Sitios Arqueologicos en la Cuenca del Rio Paraguay.

GRUPOS ETNICOS

BRASIL

Simbolo	Naciones	Comunidad	Area (Ha)
1B	Paresi	Figueiras	10000
2B	Paresi	Estivadinho	2031,94
3B	Paresi	Rio Formoso	19749,47
4B	Umutina	Umutina	25000
5B	Bororo	Jarudori	4706
6B	Bororo	Tadamarina	9786
7B	Bororo	Teresa Cristina	25694
8B	Bororo	Perigara	10000
9B	Guató	Guató	12718
10B	Terena	Água Limpa	12
11B	Terena	Lima Verde	1581
12B	Terena	Taunay-Ipegue	7200
13B	Terena	Cachoeirinha	2648
14B	Terena	Pilad Rebuá	171
15B	Terena	Lalima	3001
16B	Terena	Guaicuru	15
17B	Kadiweu	Bodoquena	538536
	Kadiweu	Sao Joao	
18B	Terena	Buriti	2096
19B	Terena	Buritzinho	10
20B	Terena	Nioaque	3029
21B	Guarani-Kaiowá	Cerro Marangatu	
22B	Guarani-Kaiowá	Campestre	11
23B	Guarani-Kaiowá	Piraicuá	2364

BOLIVIA

Simbolo	Naciones
1Bo	Chiquino
2Bo	Ayoreode
3Bo	Toromonas

PARAGUAY

Simbolo	Naciones	Comunidad	Area (Ha) ^a
1P	Chamacoco	Pto. Caballo	13500
	Tomaraho		
2P	Chamacoco	Pto. Diana	1800
	Yuytoso		
3P	Chamacoco	Pto. 14 de Mayo	sin dato
	Yuytoso	Carcha Valut	
4P	Chamacoco	Pto. Esperanza	21300
	Yuytoso	Onhichta	
5P	Chamacoco	Pto. Maria Helena	3800
	Tomaraho	Pitiantuta	
6P	Chamacoco	Fuerte Olimpo	1800
	Yuytoso	Yiyhyrrta	
7P	Guana	Pueblito	
	Sanapana	Pto. La Victoria	
	Toba Maskoy		
	Angaite	(Ex-casado)	
	Lengua Enhleth		
8P	Toba Maskoy	Riacho Mosquito	30000
9P	Ayoreo	Pto. Ma Auxiliadore	
10P	Guana	Rio Apa	1000
11P	Ayoreo	Chororeka	20000
12P	AyoreoTotobiegosoode	Zona Carlos A. Lopes	600000
13P	Ayoreo	Lesudi	
14P	Angaite	Santo Domingo	20000 ^b
15P	Angaite	San Martin	
16P	Ayoreo	Ebetogue	1800
17P	Ayoreo	Campo Loro	30000
18P	Guarani Occidental - Chiriguano	Sta. Teresita	
19P	Guarani Nandeva	Nueva Asuncion	
20P	Chamacoco	Pykasu	

Fig. 4b - Legenda do Projeto Temático 1: Territorios Indigenas, Actividades Tradicionales y Sitios Arqueologicos en la Cuenca del Rio Paraguay.

LEYENDA

IMPACTOS

Alto



Medio



Bajo



PROYECTOS DE INTEGRACION ECONOMICA

Hidrovia Paraguay-Parana



Corredor Atlantico-Pacifico (Bolivia)



Asfalto Proyectado (Paraguay y Brasil)



Corredor Puerto Suarez-Puerto Bush



Carretera Proyectada (Paraguay)

Ferronorte

Zona Franca



Terminal Portuario



Aeroporto



Zona de Processamento de Exportacion de Cáceres



PROYECTOS DE INTEGRACION ENERGETICA

Gasoducto Bolivia-Brasil



Electrificacion



Planta Hidroelectrica



Planta Termoelectrica



PROYECTOS AGROINDUSTRIALES



Fig. 5a - Legenda do Projeto Temático 2: Grandes Proyectos en la Cuenca del Rio Paraguay.

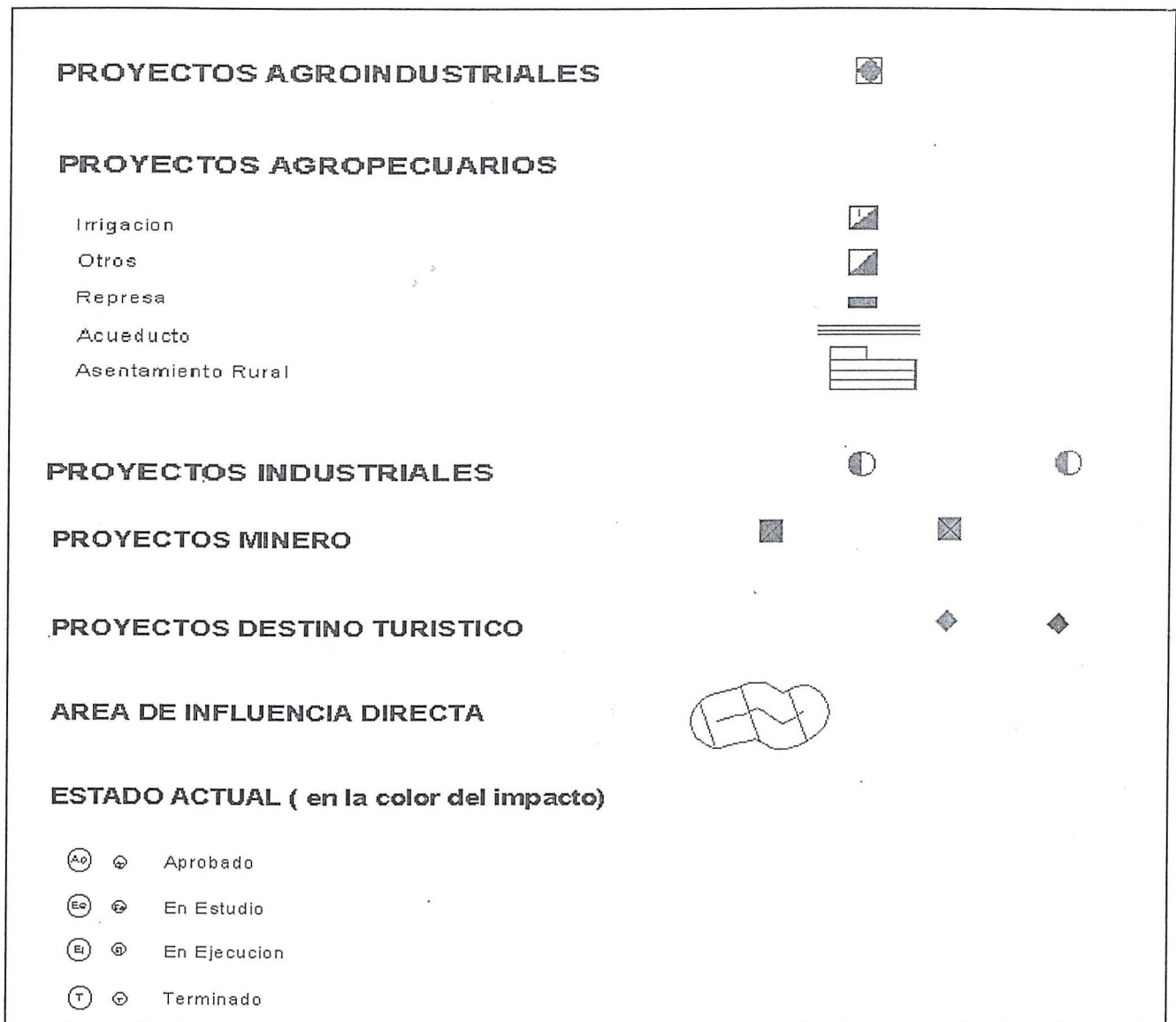


Fig. 5b - Legenda do Projeto Temático 2: Grandes Proyectos en la Cuenca del Rio Paraguay.

Os assentamentos rurais foram representados na sua forma de área com contorno (espessura = 0.5mm) em cor vermelha por serem classificados como projetos de alto impacto.

Os dados para esse mapa, da parte do Paraguai, foram obtidos por visitas no campo e levantamentos aproximados realizados pela ONG Sobrevivência. A ONG ASEO da Bolívia também apresentou dados de localização aproximados. A posição (coordenadas geográficas) das hidrelétricas do Mato Grosso foi obtida de relatórios técnicos fornecidos pela ONG ICV e ECOA. As feições do Gasoduto Brasil-Bolívia, no Mato Grosso do Sul, e da Ferronorte, no Mato Grosso, foram digitalizadas de cópias reduzidas de mapas na escala 1:250000. Parte dos dados pontuais (coordenadas geográficas) foram obtidos de relatórios da ECOA e parte dos arquivos da BAP no formato DGN. Todas coordenadas geográficas desses dados pontuais foram

convertidas em coordenadas UTM através de uma rotina da biblioteca do CEMAP¹.

Aos símbolos lineares representando os grandes projetos, por exemplo, o Gasoduto Brasil - Bolívia, foram delimitadas áreas de influência de 10 Km definidos pelas ONGs e representados por símbolos de área (*variável visua orientação*) com cores associadas aos respectivos graus de impacto.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As facilidades oferecidas pelos aplicativos utilizados tornaram possível desenvolver os dois projetos cartográficos em um curto período de tempo, considerando o número limitado de pessoas envolvidas no processo de produção cartográfica e o grande volume

¹ Rotina implementada pelo Prof. Msc. Maurício Galo do Departamento de Cartografia da FCT/UNESP

de informações manipuladas. Abaixo, apresentam-se algumas considerações sobre as vantagens e, também, limitações encontradas.

- A compatibilização das características dos dados das diversas fontes foi facilitada pela utilização de recursos da cartografia automatizada.

- Os símbolos foram definidos de forma iterativa, permitindo variadas experimentações em muito facilitada pelo ambiente digital.

- Agilizou-se o procedimento de atualização de informações existentes.

- A escolha de cores foi limitada pelo processo de conversão entre os sistemas de formação de cor dos diferentes dispositivos utilizados, particularmente pela ausência de uma ferramenta, no aplicativo utilizado, que controle a especificação da cor (CMYB) para a impressão do produto final, bem como de um catálogo de cores do dispositivo de impressão.

- Algumas tarefas foram realizadas no meio analógico por envolver um processo de tomada de decisão baseado na experiência de um cartógrafo, como por exemplo, a generalização. O aplicativo utilizado não dispõe de ferramenta para generalização automática.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BOS, E. S. Cartographic Symbol Design. ITC. The Netherlands, 1984.

MARTINELLI, M. Curso de Cartografia Temática. Contexto. São Paulo, 1991.

OSTROWSKI, J. e W. Cartographic Conception of Tourist Maps of Towns. International Yearbook of Cartography. Koblenz-Germany, 1975.

OXTOBY, P. & VAN DEN WORM, J. The application of types in Cartography. ITC. The Netherlands. 1986.

KEATES, J. S. Cartographic Design & Production. Longman. 1989.

RHIND, D. Computer-aided cartography. Trans. Inst. Br. Geogr., 2: 71-96, 1977.

ROBINSON, A. H., et. al. Elements of Cartography. John Wiley and sons. New York, 1995. 674p.

SALICHTCHEV, K. A. Cartographic Communication: its place in the theory of science. The Canadian Cartographer, Ontario, 15(2): 93-99, 1978.

5. AGRADECIMENTO

Agradecemos a valiosa contribuição dos alunos do curso de Engenharia Cartográfica – FCT/UNESP, Cristiane M. Isogai, Everton L. Nubiato, Rogério Gimenez e Rogério G. Guimarães.

SITUAÇÃO DO ENGENHEIRO CARTÓGRAFO NO MERCADO DE TRABALHO

João Fernando Custódio da Silva¹
Alfredo Spinelli Neto²

¹Departamento de Cartografia
jfcsilva@prudente.unesp.br

²Curso de Engenharia Cartográfica

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia
Unesp – Universidade Estadual Paulista
19060-900 Presidente Prudente SP
<http://www.prudente.unesp.br/dcartog/dcartog.htm>

RESUMO

É amplamente reconhecido que a Cartografia é uma das ciências mais antigas da Humanidade. Depois da epopéia das grandes navegações, sua presença nas sociedades só tem crescido a ponto de assistir-se ao desenvolvimento e à operação de sistemas orbitais de mapeamento. Muitos profissionais militam na seara cartográfica, notadamente aqueles que se utilizam da Cartografia como ferramenta de trabalho. Poucos, como os engenheiros cartógrafos, são talhados para conceber planos e realizar projetos de mapeamento fundamental para o conhecimento do espaço geográfico. Profissão antiga na história e também no País, a Engenharia Cartográfica, contudo, tem pouquíssima visibilidade social. São raros os trabalhos que procuram demonstrar a utilidade social da profissão. O presente trabalho divulga a metodologia e os resultados comparados de dois levantamentos realizados junto a engenheiros cartógrafos brasileiros. Conclui-se que a Engenharia Cartográfica firma-se lentamente no rol das profissões no Brasil.

Palavras chaves: Engenharia Cartográfica, Mercado de Trabalho.

ABSTRACT

It is well recognized that Cartography is one of the most ancient disciplines in Humankind. After the Great Navigation epoch its presence in societies has grown up to the development and operation of mapping orbital systems. Many professionals rely on the cartographic field mainly those who use Cartography as a working tool. Few professionals, like cartographic engineers, are prepared to conceive plans and perform fundamental mapping projects in order to realize the geographic space. Although ancient in history and in the country, Cartographic Engineering has a tiny social visibility. This article intends to present the methodology and the compared results of two surveys performed among the Brazilian cartographic engineers. A reasonable conclusion is that Cartographic Engineering stands but slowly in the professional world in Brazil.

Key words: Cartographic Engineering, Work Market.

1 – INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta novos dados sobre o mercado de trabalho da Engenharia Cartográfica no Brasil. Desta feita, a contribuição é trazida pelo terceiro levantamento de dados, realizado durante o segundo semestre de 1998 e analisado ao longo de 1999. Tem por objetivo principal dar continuidade ao conhecimento

do perfil do profissional, possivelmente afetado pela evolução tecnológica, e também com o propósito de melhorar o parco conhecimento acerca do tema. Os resultados são úteis aos estudantes, aos profissionais e às organizações que necessitam destes recursos humanos, bem como às instituições acadêmicas que educam e pesquisam na seara cartográfica.

O primeiro levantamento foi realizado em 1995-96, baseado em uma amostra de questionários respondidos apenas por engenheiros cartógrafos (Silva, 1996). O segundo levantamento (Silva & Guilherme, 1998) foi realizado dentre os sócios da SBC (Sociedade Brasileira de Cartografia), nos quais incluem-se engenheiros cartógrafos e outros profissionais, como geógrafos, geólogos, agrônomos, engenheiros civis, etc.

O levantamento recente voltou a entrevistar somente engenheiros cartógrafos atuantes, na área cartográfica. Repetiu-se a metodologia do primeiro estudo para o levantamento e análise dos dados. A situação dos parâmetros do mercado de trabalho e a metodologia utilizada nos levantamentos serão apresentadas resumidamente com as informações referentes aos engenheiros cartógrafos obtidas nos levantamentos de 1995 e 1998. Os números do levantamento recente foram apresentados no último congresso brasileiro de Cartografia, ocorrido em outubro de 1999, em Recife, e publicados nos respectivos anais (Silva & Spinelli Neto, 1999).

Os dados obtidos nos levantamentos são armazenados no Banco de Dados do Mercado da Engenharia Cartográfica (BD-MEC). Os resultados das análises estão também disponíveis no seguinte endereço eletrônico: <http://www.pruudente.unesp.br/dcartog/ec/bdmec/index.htm>.

2 - LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Primeiramente, foi solicitado a cada CREA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) os endereços de todos os engenheiros cartógrafos registrados: 21 CREA atenderam ao pedido e apenas 6 não o fizeram.

Foi criado um banco de dados utilizando o Microsoft Access com 974 nomes e respectivos endereços. Para cada endereço foi enviado um envelope contendo uma carta de apresentação, o questionário e um outro envelope já selado para resposta. Conforme os questionários retornavam já respondidos, foram sendo arquivados no BD-MEC, e em seguida, foram digitadas todas as informações dos questionários no banco de dados. Para melhor organização, os dados foram introduzidos em três tabelas denominadas: "Identidade Profissional", "Atuação Profissional", e "Disciplinas Profissionais". Com base nessas três grandes tabelas, foi possível extrair todas as informações relevantes, que foram tabuladas convenientemente.

Com relação ao levantamento anterior (1995/6), a diferença na metodologia ocorreu na obtenção dos nomes dos profissionais (719), pois naquela oportunidade os contatos foram o correio, telefone, *teleimpressos*, correio eletrônico, listas de formados fornecidas por duas universidades, revistas e contatos pessoais. Não havia então uma lista de engenheiros cartógrafos atuantes disponível para uso imediato.

3 - O PERFIL DAS AMOSTRAS DE PROFISSIONAIS

As amostras de ambos os levantamentos têm características semelhantes, como se pode ver nas seções que seguem.

3.1 - Tamanho das amostras

As dificuldades começam na avaliação da quantidade de profissionais formados nos cinco cursos (IME, UERJ, UFPE, UFPr e Unesp). Um parêntese para lembrar que o curso da UFRGS, iniciado em 1998, ainda não concluiu a primeira turma. Supõem-se que a UERJ tenha formado um contingente entre 900 e 1000 profissionais. A UFPr e Unesp juntas ultrapassam 550. IME e UFPE completam os 1700 estimados.

Tabela 1: Resumo dos números do BD-MEC

Números	1995/6	1998/9
Formados Estimado	1500	1700
Atuantes Estimado	900	1200
Nomes no BD-MEC	719	974
Questionários Enviados	300	974
Questionários Devolvidos	152	131

Os números referentes aos atuantes são estimados na proporção de 60% (1995/6) e 70% (1998/9). A crescente participação da informática na Cartografia talvez justifique o aumento da expectativa de absorção de recém-formados nos anos recentes de 60 para 70%.

Percebe-se da tab. 1 que o índice de respostas foi maior no primeiro levantamento (pouco mais de 50%), enquanto que no levantamento recente cerca de apenas 13% retornaram os questionários. Este fato pode ser explicado pelo grande volume de questionários que não chegaram até as mãos de seus destinatários, devido principalmente à expressiva quantidade de endereços desatualizados fornecidos pelos CREA.

3.2 - Idade

Na distribuição das amostras por *idade* (fig. 1), vê-se que no levantamento de 98/9 não houve nenhum caso de cartógrafo com menos de 25 anos (abscissa); quatro casos ocorreram no levantamento 95/6, que por sua vez não apresentou nenhum caso de profissional acima de 60 anos de idade versus quatro casos do último estudo. Na figura, as ordenadas representam as percentagens. A média de idade calculada para a amostra anterior foi de 36,5 anos versus 38,5 anos do mais recente, ambas indicando uma certa maturidade do "profissional médio".

3.3 - Tempo de formatura

Por um lapso, as classes da tabela 2, referentes ao tempo de formatura, correspondem apenas aproximadamente uma à outra. Consta-se que o tempo médio que os profissionais entrevistados informam ter passado desde suas formaturas gira em torno de 14,1 anos (98/9), os quais deduzidos da média de idade (38,5 anos), indicam que a maioria se formou com aproximadamente 24,4 anos. A média encontrada para o tempo de experiência no levantamento anterior (95/6) foi de 11,9 anos, correspondente a 24,6 anos a idade de formatura. Portanto, pode-se afirmar que, de acordo com o tempo de formado (conclusão da graduação), as amostras são semelhantes, com um tempo de experiência entre 10 e 15 anos.

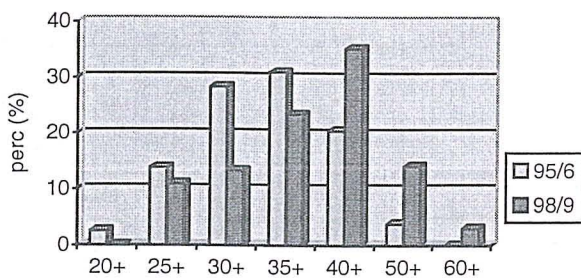


Figura 1 - Distribuição por classes de idade

Tabela 2: Distribuição das amostras por tempo de formatura

Tempo de formado 98/9	%	Tempo de formado 95/6	%
Até 3 anos	8,7	Até 2 anos	6,6
3 a 7 anos	11,9	2 a 5 anos	11,2
7 a 15 anos	34,1	5 a 10 anos	25,9
15 a 25 anos	37,3	10 a 20 anos	46,7
25 a 30 anos	7,9	20 a 30 anos	9,9
+ de 30 anos	0	+ de 30 anos	0
	99,9		99,9

3.4 - IES de origem

A figura 2 traz o número de ocorrências por instituição de ensino superior de origem. A presença dos egressos da UERJ tende a aumentar a média da idade e do tempo de formatura, porque é a instituição de ensino superior (IES) que forma engenheiros cartógrafos em quantidade significativa há mais tempo. A única surpresa foi a considerável diminuição na participação dos egressos da UFPr, na amostra 98/9, que caiu de 15,8 para 3,1%.

3.5 - Pós Graduação

No levantamento anterior, a quantidade de engenheiros cartógrafos com mestrado é praticamente o dobro do número verificado na levantamento de 98/9, como também era bem maior a quantidade de mestres comparada à especialização. No último levantamento estas duas opções de pós-graduação tenderam a entrar em equilíbrio, enquanto que os números do doutorado e de especialistas não apresentaram grandes variações. Este fato pode ser um indicativo de que as amostras dos levantamentos são qualitativamente diferentes.

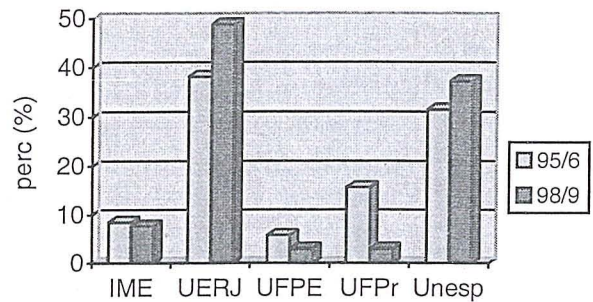


Figura 2 - Distribuição por IES

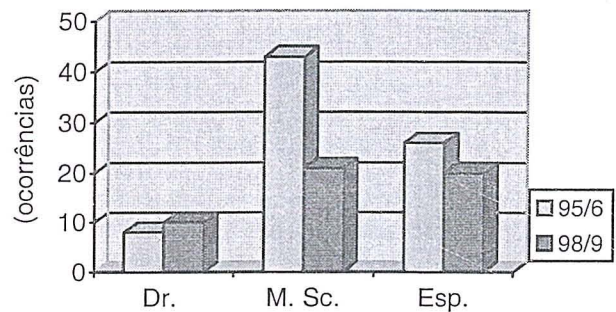


Figura 3 - Pós graduados nas amostras

Considerando os três níveis de pós-graduação, houve 77 ocorrências em 152 questionários (50,1%) e 51 em 131 (38,9%) no primeiro e último levantamentos, respectivamente. Estes números podem indicar que a amostra de 95/6 teve uma componente acadêmica maior do que a de 98/99.

3.6 - Perfil do Profissional

A julgar pelas informações extraídas das amostras, a maioria dos engenheiros cartógrafos atuantes no mercado de trabalho tem aproximadamente 40 anos de idade, com cerca de 14 anos de experiência profissional. Os egressos da UERJ e da Unesp têm maior presença no mercado de trabalho. Entre 40% e 50% dos profissionais têm interesse por estudos posteriores à graduação.

4 - ATUAÇÃO PROFISSIONAL

Objetivando a produção de informações relevantes, tanto para o recém formado, quanto para o profissional experiente, foram levantados dados referentes à primeira relação trabalhista e à relação de trabalho atual. Esta seção, além de útil ao estudante e ao profissional, auxilia também as IES, sobretudo na preparação de novos programas e revisão dos currículos.

Nunca é demais reafirmar que não se pretende fazer a apologia do mercado de trabalho como elemento norteador de programas acadêmicos de graduação. O mercado de trabalho é claro muito importante e deve estar presente nos estudos para a elaboração de currículos, mas não é o único e nem definitivo na composição de um programa acadêmico de sucesso.

4.1 - Primeira relação trabalhista

Tipo de organização

Como se depreende da tab. 3 e da fig. 4, o nível federal do setor público foi o tipo de organização que mais acolheu recém formados, de acordo com o levantamento de 95/6. No levantamento seguinte, observa-se que houve um pequeno declínio da participação do setor público, acompanhado de um pequeno aumento do setor privado e de outros tipos de organização (ONG, fundações e autônomos).

Tabela 3: Tipos de organizações referentes à 1ª relação trabalhista

Tipo de Organização	95/6 (%)	98/9 (%)
Pública municipal	1,5	9,1
Pública estadual	12,8	11,5
Pública federal	37,6	26,4
Estatual municipal	0,8	0
Estatual estadual	1,5	0
Estatual da União	0	2,4
Privada S/A	29,3	21,5
Privada Ltda	13,5	23,1
Autônoma	0	1,6
Outra	3,0	4,1
Total	99,9	99,7

Embora possa ser demasiado prematuro afirmar, este movimento pode ser um reflexo das mudanças econômicas introduzidas pelos governos federais, sobretudo no que tange às privatizações e legislação trabalhista.

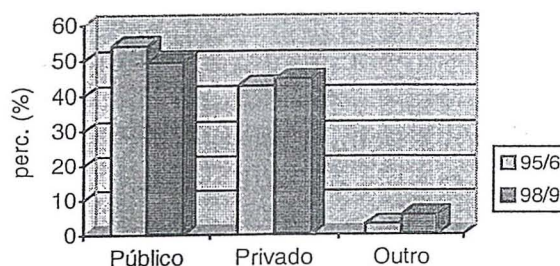


Figura 4 - Tipo de organização referente à primeira relação trabalhista

Houve também um aumento de recém formados absorvidos pelas organizações públicas municipais observado no levantamento atual em relação ao anterior. Isto pode ser explicado pela crescente participação dos sistemas de informação na Cartografia e a conseqüente diminuição de custos, de modo que as administrações municipais parecem dar sinais de maior interesse na área.

Área de atuação

A fig. 5 apresenta dados referentes às áreas de atuação profissional, a saber: administrativa e financeira (AdmFin); técnica e de produção (TecProd); vendas, consultoria, divulgação e marketing (VCDM) e acadêmica de ensino e pesquisa (Acad). A maioria dos recém formados ingressa no mercado de trabalho na área técnica ou de produção, seguida pela área administrativa e financeira. O levantamento de 98/9 indicou um aumento de ingressos de recém formados nas áreas de administração e vendas, em detrimento da absorção pelas áreas técnica e acadêmica.

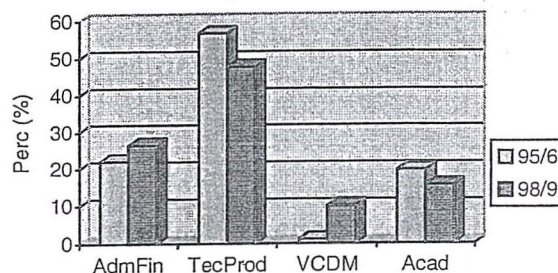


Figura 5 - Áreas de atuação

Novamente a crescente presença dos sistemas informatizados pode explicar este movimento.

Salários iniciais

A comparação dos salários máximos iniciais pagos aos recém formados (figura 6) revela um certo equilíbrio entre as amostras no que tange ao setor público. Nos três anos que separam os levantamentos não há acontecimento relevante que possa explicar as diferenças salariais no setor privado. É plausível desconfiar da correção das informações referentes ao primeiro emprego, pois é difícil explicar a ocorrência de

valores salariais iniciais tão altos, ainda que referentes aos seus valores máximos.

4.2 - Situação profissional atual

Tipo de organização

Comparando-se as figuras 4 e 7, pode-se avaliar a evolução dos profissionais do primeiro emprego ao atual. No levantamento de 95, o setor público detinha cerca de 54% dos recém-formados e o setor privado 43% (fig. 4). A figura 7 mostra que, em 1995, o setor público detinha 78% dos profissionais e o setor privado apenas 20%, sugerindo que pode ter ocorrido uma migração de posições do setor privado para o público. Este movimento pode ainda ser observado no levantamento de 1998, em proporções menores, quando o setor público mostrou 50% versus 43% do setor privado, referente ao primeiro emprego, e cerca de 58% versus 37%, respectivamente, referentes ao emprego atual.

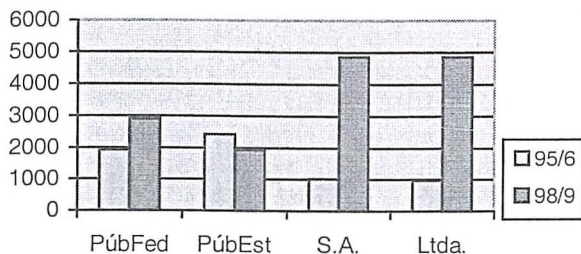


Figura 6 - Salários iniciais máximos (R\$) em relação ao tipo de organização

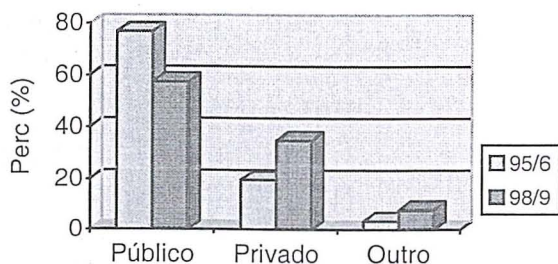


Figura 7 - Relação de trabalho atual por tipo de organização

Analisando-se ainda os números das figuras 4 e 7 ao longo do tempo, verifica-se que houve diminuição da participação do setor público de 54 (1995) para 50% (1998), no que concerne ao primeiro emprego, e de 78% para 58% referente ao emprego atual. Estes números corroboram a suspeita de que os efeitos da política econômica e trabalhista do governo federal já estão sendo passíveis de quantificação no mercado de trabalho da engenharia cartográfica.

Tempo de permanência no emprego atual

No levantamento de 1995/6, observou-se que 49% dos engenheiros cartógrafos da amostra declararam trabalhar em organizações públicas federais, de um total de 78% no setor público (federal, estadual e municipal). 16% afirmaram manter-se no mesmo emprego (atual) entre 10 e 20 anos. Entretanto, tomando-se toda a amostra (considerando-se portanto os setores público, privado e outros), a classe de 5 a 10 anos de permanência no emprego atual representou 31%.

No levantamento mais recente, a participação das instituições públicas federais desceu a cerca de 21% e as públicas estaduais e as privadas limitadas estão presentes com 18% cada. Da mesma forma, considerando-se todos os setores (público, privado e outros), isto é, toda a amostra, a classe de 10 a 20 anos de permanência no emprego atual representou 33%.

Áreas de atuação

A figura 8 indica que na amostra de 98/9 a participação dos profissionais nas áreas administrativa e financeira (AdmFin) e técnica e de produção (TécProd) aumentou em relação ao levantamento anterior.

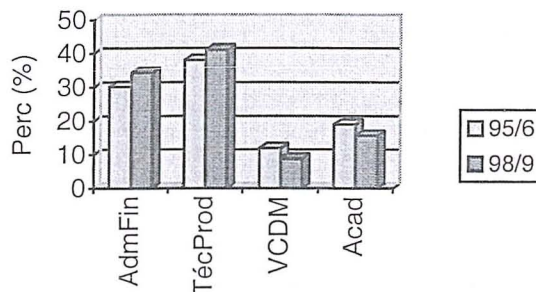


Figura 8 - Empregos atuais nas áreas de atuação

Entretanto, em relação à fig. 5, o percentual de engenheiros cartógrafos da área TécProd é menor na fig. 8 e o percentual da área AdmFin é maior. Estes números comprovam que, com o acúmulo de experiência, o profissional tende a ocupar funções administrativas. Ainda assim, ambos os levantamentos apresentam a mesma ordem, quanto à proporção das áreas de atuação (maior presença de engenheiros cartógrafos na área TécProd, menor presença na área VCDM).

Rendimentos da profissão

Os rendimentos consideram salários de empregados (mais de 95% em ambas as amostras) e retiradas de empregadores ou *pro-labore* de consultores. O rendimento mensal médio aproximado apurado referente ao levantamento 95/6 foi de R\$1963,60 mensais (US\$ 2,045.42; US\$1.00 = R\$ 0,96). Por sua vez, a amostra 98/9 fornece uma média de rendimentos mensais igual a R\$ 2477,40 (US\$ 2,083.60; US\$1.00 = R\$ 1,189). Este valor desconsidera duas ocorrências acima de R\$5999 (uma de R\$7000,00 e outra de

R\$10000,00 referentes a diretores de empresas privadas - tab. 5). As médias acima citadas foram ponderadas pelos pontos médios dos intervalos, daí aproximadas. A comparação dos levantamentos indica que os rendimentos médios são praticamente equivalentes em dólares americanos.

Observa-se que no levantamento de 95/96 a classe com o maior percentual era a de R\$ 1500,00 a R\$ 1999,00 e no levantamento de 98/99 o maior percentual corresponde à classe de R\$ 2000,00 a R\$ 2499,00 (fig. 9).

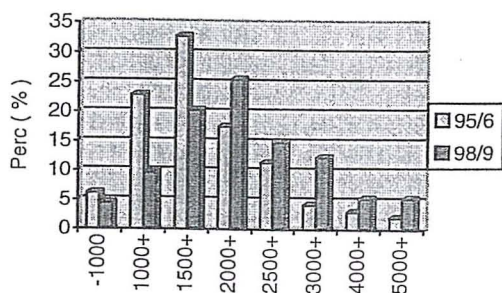


Figura 9 - Rendimentos da profissão

Tabela 4: Rendimentos (R\$) conforme tipo de organização, área e função (1995-96)

Tipo de Organização	Área de atuação	Função	Ano de início	Rendim. Mensais
Pública Municipal	Adm. Fin.	Chefe	1989	Min = 1313,54 Med = 1647,97
	Adm. Fin.	Outra	1990	Max = 2425,00
Pública Estadual	Acad.	Professor	1995	Min = 0546,91 Med = 1816,69
	Adm. Fin.	Outra	1994	Max = 4365,00
Pública Federal	Acad.	Outra	1994	Min = 745,68 Med = 1824,58
	Adm. Fin.	Coordenador	1992	Max = 3839,67
Estatual Munic.	Acad.	Cientista/Pesquisador	1989	Med = 970,00
Estatual Estadual	Téc. Prod.	Técnico superior	1984	Min = 1261,00 Med = 1948,43
	Adm. Fin.	Coordenador	1988	Max = 2635,86
Estatual da União	Téc. Prod.	Engenheiro	1987	Min = 1730,48 Med = 1873,84
	Adm. Fin.	Gerente	1980	Max = 2037,00
Privada S/A	Téc. Prod.	Engenheiro	1989	Min = 873,00 Med = 1741,00
	Adm. Fin.	Diretor	1993	Max = 4041,66
Privada Ltda.	Adm. Fin.	Diretor	1992	Min = 1237,72 Med = 2160,49
	Adm. Fin.	Gerente	1995	Max = 5105,26
Outras	Acad.	Professor	1990	Min = 2099,50 Med = 2480,50
	Adm. Fin.	Coordenador	1987	Max = 2861,50

A tabela 6 traz informações relacionadas à dispersão geográfica dos cartógrafos. É sabido que as regiões Sül e Sudeste são as mais economicamente desenvolvidas e, portanto, os profissionais se concentram justamente

Rendimentos por organização, área e função

As tabelas 4 e 5 relacionam os rendimentos mensais conforme o tipo de organização, área e função exercida. Os rendimentos médios de todos os tipos de organização tiveram aumento constatado no levantamento 98/9, exceto a categoria "outros". De acordo com a tab. 5, as organizações que apresentam os melhores rendimentos médios mensais, em ordem decrescente, são: as estatais da União, as privadas S/A e Ltda., as públicas estaduais e federais, as "outras" e as públicas municipais.

em maior número nessas regiões, principalmente no Rio de Janeiro e São Paulo. Ambas as amostras apresentam ocorrências em todas as regiões brasileiras, apesar dos poucos e mal distribuídos cursos de

graduação existentes (não há nenhum curso de Engenharia Cartográfica nas regiões Norte e Centro Oeste). Percebe-se também um crescimento do número de profissionais no interior de alguns estados, sobretudo no estado de São Paulo.

Rendimentos por distribuição geográfica

Da leitura das tabelas 6 e 7, depreende-se que o cálculo para o rendimento mensal médio por regiões

fica prejudicado, por causa principalmente da concentração dos profissionais nos estados do sudeste.

Ainda assim, optou-se por apresentar na tab. 7 os dados disponíveis. A simples comparação dos dois levantamentos revela o crescimento da média salarial no Sudeste da ordem de $[R\$ 2.681,67 (US\$ 2,255.40) / R\$ 1.906,20 (US\$ 1,985.62)] = 1,4068$ de 40% em reais e 13,6% em dólares.

Tabela 5: Rendimentos (R\$) relacionados com tipo de organização, área e função (1998-99)

Tipo de Organização	Área de atuação	Função	Ano de início	Rendim. Mensais
Pública Municipal	Adm. Fin.	Diretor	1983	Min = 717,51
	Adm. Fin.			Med = 1800,00
	Adm. Fin.	Diretor	1984	Max = 3000,00
Pública Estadual	Acad.	Professor	1982	Min = 500,00
	Acad.			Med = 2450,00
	Adm. Fin.	Gerente	1994	Max = 4100,00
Pública Federal	Acad.	Professor/Pesquisador	1993	Min = 1600,00
	Adm. Fin.			Med = 2282,00
	Téc. Prod.	Engenheiro	1996	Max = 3600,00
Estatal da União	Téc. Prod.	Geodesta	1984	Min = 1600,00
	Adm. Fin.			Med = 3420,00
	Adm. Fin.	Supervisor/ Coordenador	1985	Max = 5000,00
Privada S/A	Acad.	Professor	1997	Min = 450,00
	Téc. Prod.			Med = 2600,00
	Adm. Fin.	Diretor	1986	Max = 7000,00
Privada Ltda	Adm. Fin.	Responsável Técnico	1998	Min = 350,00
	Adm. Fin.			Med = 2595,00
	Adm. Fin.	Diretor	1994	Max = 10000,00
Outras	Téc. Prod.	Engenheiro	1998	Min = 1320,00
	Téc. Prod.			Med = 1825,00
	VCDM	Venda de serviços e proj.	1992	Max = 2000,00

Disciplinas profissionais

Com o intuito de conhecer a utilidade das disciplinas curriculares no cotidiano do profissional, construiu-se a fig. 10. Esta figura mostra as disciplinas mais votadas como as mais úteis para o desempenho das funções profissionais, em ambos os levantamentos. Optou-se por expressar a utilidade por um percentual em função da quantidade de citações. Em outras palavras, os votos na disciplina mais útil foram somados, multiplicados por 100 e divididos pelo total de votos de todas as disciplinas do elenco.

Antes de qualquer interpretação, é preciso reiterar que não há nenhuma intenção de sugerir que a aplicabilidade de uma disciplina no mercado de trabalho seja o parâmetro definitivo para sua inclusão ou exclusão dos currículos acadêmicos. Sobre este particular há vários enfoques que este artigo não tem a pretensão de tratar.

As disciplinas Cadastro Técnico; Computação, Computação Gráfica, Fotogrametria, GPS, SIG e Topografia, obtiveram índices superiores a 5% em

ambos os levantamentos. Outras tiveram o índice de utilidade reduzido abaixo dos 5%. Geodésia, em particular, merece uma explicação: a amostra de 95/6 contou com a participação de um contingente expressivo de cartógrafos do IBGE, órgão público federal de notória presença e importância na Geodésia e Cartografia brasileiras. A título de complemento desta informação, não apresentada na fig. 10, seguem as mais expressivas em nível de pós-graduação (referente apenas ao último levantamento): Sistemas de Informações Geográficas, Computação, Computação Gráfica, Processamento Digital de Imagens, Geodésia por Satélites e Planejamento.

Propositadamente, a disciplina Cartografia foi omitida da lista porque no levantamento anterior o seu índice de utilidade foi muito maior do que as demais. Entretanto, nos próximos levantamentos ela será reintegrada.

5 - INFORMAÇÕES POR UNIVERSIDADES

Entretanto, deve ser ressaltado que as comparações entre os dois levantamentos, no que tange aos egressos da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e UFPr (Universidade Federal do Paraná), ficam prejudicadas em função do baixíssimo número de seus egressos na amostra do último levantamento.

Com relação aos salários médios mensais correspondentes aos egressos de cada uma das IES, a tabela 8 mostra que os números referentes ao IME se mantiveram praticamente inalterados; os egressos da UFPE apresentaram pequena redução no rendimento médio; os da UERJ e da Unesp tiveram ganhos significativos. A UFPr foi a instituição que apresentou maior diferença entre os dois levantamentos, com um aumento exagerado de R\$1777,03 para R\$5333,33. Na verdade, isto foi causado por uma ocorrência de R\$10.000,00. A rigor, somente UERJ e Unesp têm números significativos, em função da quantidade de egressos que compõem as amostras. Os dados referentes ao IME também podem ser considerados relativamente confiáveis pela coerência em ambas as amostras.

Tabela 6: Distribuição dos engenheiros cartógrafos por estados e municípios

Estados	Municípios	Ocorrências	
		95/96	98/99
AM	Manaus	5	2
BA	Salvador	1	1
CE	Fortaleza	1	
DF	Brasília	3	4
ES	Vitória	2	
	Serra		1
GO	Goiânia	4	1
	Valparaíso de Goiás		1
MG	Belo Horizonte		3
	Jequitai		1
	Montes Claros		1
MS	Aquidauana	1	
	Campo Grande	5	6
PA	Belém	1	
PB	Cabevelo		1
PE	Recife	6	
	Curitiba	22	3
	Guarapuava	4	2
	Maringá	2	1
PR	Pato Branco	1	
	Cabo Frio		1
	Macaé	3	4
	Niterói	1	5
	Piraí		1
RJ	Rio de Janeiro	49	35
	Porto Alegre	6	
RS	Rio Grande		1
	Florianópolis	4	

SE	Aracaju	1	
SP	Embu		1
	Franca		2
	Jundiá	1	1
	Mauá		1
	Mirante do Paranapanema	1	
	Mogi-Guaçu	1	
	Pacaembu		1
	Piracicaba		1
	Pres. Prudente	11	13
	Rio Claro	1	1
	S. José dos Campos	4	3
	S. José do Rio Preto		1
	São Paulo	11	16
	São Sebastião		1
Suzano		1	
Total	-	152	118

Tabela 7: Rendimentos mensais por regiões e estados brasileiros (R\$).

Região	Estado	Salário Mensal Médio	
		1995/96	1998/99
N	AM	2109,79	1894,17
	PA	-	
NE	CE	-	
	PE	1467,12	
CO	SG	-	
	DF	3675,22	2450,00
	GO	2046,84	2130,00
	MS	1782,45	3800,00
SE	ES	1960,21	
	MG		2500,00
	RJ	1927,08	3000,00
S	SP	1831,32	2545,00
	PR	1478,25	4600,00
	RS	1459,31	
	SC	1183,76	

Pós graduados

Dos 131 questionários respondidos (1998/99), 128 informaram a universidade de origem. 51 profissionais, ou seja, 40% destes 128, fizeram pelo menos um estágio de pós-graduação: 20,3% correspondentes a egressos da UERJ e 15,0% da Unesp.

Rendimentos de egressos por tipo de organização

As tabelas 9 e 10 apresentam os rendimentos por IES (coluna 1) e por tipo de organização (coluna 2).

A terceira coluna mostra dois números na forma de uma razão: o numerador refere-se à quantidade de profissionais que trabalham em um dado tipo de organização (coluna anterior) e o denominador refere-se ao número total de profissionais egressos de uma dada IES (primeira coluna). Por exemplo, na tab. 9, lê-se que, dos 48 profissionais egressos da UERJ, 36 (a maior parcela da sub-amostra) trabalhavam em organizações públicas federais; os 12 restantes distribuíam-se pelos demais tipos de organização.

Continuando, a coluna 4 informa o rendimento mensal médio dos profissionais expressos pelo numerador da coluna anterior e a última coluna apresenta o rendimento médio dos egressos das IES. Concluindo a leitura das tabelas em tela, por exemplo, na tab. 10, lê-se que os 40 egressos da Unesp têm rendimento mensal médio de R\$2212,52 e que 13 deles, a maior parcela da sub-amostra, trabalham em instituições públicas estaduais com um salário médio de R\$2594,00 mensais; os 27 restantes distribuem-se pelos demais tipos de organização.

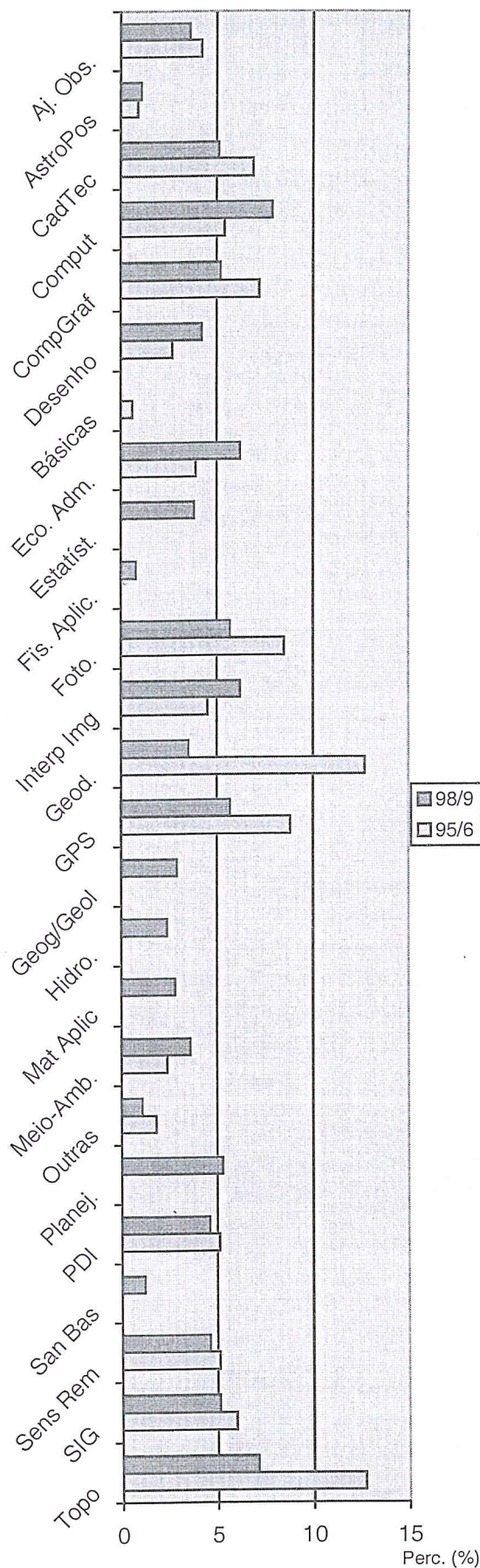


Figura 10 - Utilidade das disciplinas

Tabela 8: Rendimentos (R\$) por IES de origem

IES	1996/95		1998/99	
	Ocorrências	Média mensal	Ocorrências	Média mensal
IME	10	2354,67	10	2478,12
UERJ	48	1935,51	62	2498,50
UFPE	7	1757,86	4	1681,39
UFPR	22	1777,03	4	5333,33
UNESP	42	1703,81	48	2521,16
Totais e médias	129	1855,90	128	2568,45

Tabela 9: Rendimentos (R\$) dos egressos por tipo de organização (1995/96)

IES	Tipo	Amostra	Média da Amostra	Média da IES
IME	PúbFed	9/10	2167,23	2354,67
UERJ	PúbFed	36/48	1869,00	1935,51
UFPE	PúbFed	5/7	1845,05	1757,86
UFPr	S.A.	10/22	3462,00	1831,99
Unesp	PúbEst	15/42	1746,46	1703,81

Tabela 10: Rendimentos (R\$) dos egressos por tipo de organização (1998/99)

IES	Tipo	Amostra	Média da Amostra	Média da IES
IME	PúbFed	5/10	2150,00	2240,00
UERJ	PúbFed	16/53	2320,00	2625,26
UFPE	PúbFed	2/4	2294,17	1872,08
UFPr	S.A.	3/3	5333,33	5333,33
Unesp	PúbEst	13/40	2594,00	2212,52

Percebe-se que expressiva parcela dos egressos do IME, UFRJ e UFPE trabalham em organizações públicas federais; os egressos da UFPr em sua maioria trabalham em organizações privadas (S. A.) e um número significativo dos egressos da Unesp está em organizações públicas estaduais, particularmente a própria Unesp que os formou e os absorveu na área acadêmica e científica.

Uso das disciplinas por universidade de origem

As tabelas 11 e 12 omitem dados referentes a UFPE e UFPr, porque a última amostra (98/9) é pouco representativa no que tange aos egressos dessas IES. Estas tabelas foram construídas com base no total das citações, de modo que a mais citada recebe o número 1 e assim por diante. A repetição de números (2, por exemplo) significa igual quantidade de citações. Apenas as mais citadas são indicadas nas referidas tabelas.

Tabela 11: Uso das disciplinas por IES de origem em ordem decrescente de importância (1995-96)

Disciplinas	IME	UERJ	UNESP
Cadastro Técnico			1
Computação	3		
Comput. Gráfica			2
Fotogrametria	2	3	
Interpret. Imagens			
Geodésia	2	1	
GPS	3	2	
Proc. Dig. Imag.		4	3
SIG			2
Topografia	1	3	1

Extraíndo-se da tab. 11, referente ao levantamento de 1995/96, as cinco disciplinas mais "úteis" na opinião dos argüidos, em ordem decrescente, são: IME (Topografia; Fotogrametria e Geodésia; Computação e GPS); UERJ (Geodésia; GPS; Topografia e Fotogrametria; PDI); Unesp (Cadastro Técnico e Topografia; Computação Gráfica e SIG; PDI). Topografia é única presente entre as cinco mais citadas nas três IES.

Repetindo-se o mesmo procedimento com a tab. 12 (1998/99), as disciplinas mais "úteis" são: IME (Topografia; Computação; Computação Gráfica, Fotogrametria, GPS, Planejamento e SIG); UERJ (Computação; Topografia; GPS e Planejamento; Fotogrametria); Unesp (Computação e Interpretação de Imagens; Fotogrametria, Processamento Digital de Imagens e Topografia; Cadastro Técnico e SIG). Nesta amostra, as disciplinas comuns aos egressos das três IES são Computação, Fotogrametria, GPS e Topografia.

Tabela 12: Uso das disciplinas por IES de origem em ordem decrescente de importância (1998-99)

Disciplinas	IME	UERJ	UNESP
Administração		4	
Cadastro Técnico			3
Computação	2	1	1
Comput. Gráfica	3		
Fotogrametria	3	4	2
Interpret. Imagens			1
GPS	3	3	3
Planejamento	3	3	
Proc. Dig. Imag.			2
SIG	3		3
Topografia	1	2	2

6 - OUTRAS INFORMACÕES

Atualização profissional

É inegável a importância e a necessidade de, no presente e no futuro, continuar os estudos para o aprimoramento profissional. Alguns profissionais

acompanharão um tema ou um tópico apenas, atualizando-se com as informações mais recentes e isto poderá ser o bastante. Para outros, entretanto, suas funções poderão exigir um aprofundamento de conceitos, de métodos e de tecnologias.

Tabela 13: Meios de aperfeiçoamento profissional

Meio	95/6 %	98/9 %
Palestras e conferências	7,1	20,9
Ext. universit. (30 h-a)	21,3	27,6
Aperf./especial. (180 h-a)	25,5	23,8
Mestrado (tempo integral)	8,5	5,0
Mestrado (tempo parcial)	31,9	15,9
Outros meios	5,7	6,7
Total	100,0	99,9

A tab. 13 indica que a amostra mais recente tende a encaixar-se no primeiro caso e a primeira amostra (95/6) perfila-se melhor ao segundo tipo, que pode ser acadêmico ou um profissional que tenha necessidade de aprofundar-se para obter o domínio de métodos e técnicas em algum campo de sua atividade.

Maiores empregadores por tipo de organização

As tabelas 14 e 15 apresentam quatro empregadores que apareceram em ambos os levantamentos: Prefeitura Municipal de Guarapuava - PR, FCT/Unesp, IBGE e Petrobrás, todas ligadas ao poder público. A presença dos profissionais de organizações privadas variou muito. Tomando-se as S.A., estão presentes 18 empregadores na amostra recente com apenas uma ocorrência em cada. A intenção aqui é apenas a de apresentar ao leitor mais um dado sobre a composição das amostras.

Vivência Estudantil

Nesta seção, apresentam-se informações referentes à experiência acadêmica estudantil, obtidas somente no último levantamento. Com a inserção deste quesito, o intuito era o de apurar eventual correlação do sucesso profissional com a vivência estudantil do profissional. 31,2% dos 131 profissionais participantes do último levantamento são ex-bolsistas. A iniciação científica é o tipo de bolsa que apresenta menor ocorrência, talvez por ser mais rigorosa no processo de seleção dos alunos.

Foi possível perceber que os ex-bolsistas têm preferido o mestrado à especialização. A maioria deles está hoje trabalhando em organizações públicas, consoante com o perfil da profissão. Ao contrário do que se esperava, a bolsa de estudos na graduação não exerce influência no salário do futuro profissional. Foi calculada uma média para os salários dos ex-bolsistas, que ficou abaixo da média geral dos salários para todas as ocorrências. Qual será o grau de adequação da

provocação popular "quem estuda não tem tempo de ganhar dinheiro"?

Resumo comparativo

Ambas as médias de idade calculadas estão no intervalo de 35 a 40 anos. O período médio de experiência dos cartógrafos, tanto no primeiro, quanto no segundo levantamento, está entre 10 e 15 anos.

No levantamento anterior, a procura pelo mestrado era maior do que pela especialização. O levantamento atual mostra que essas duas opções de pós-graduação tenderam a entrar em equilíbrio. Percebe-se uma procura maior no levantamento recente por palestras e conferências.

Tabela 14: Maiores empregadores por tipo de organização (Amostra anterior - 95/96)

Tipos de Organização	Empregador	Ocorrências
Pública Municipal	Pref. Mun. de Guarapuava - PR	4
Pública Estadual	Unesp - Pres. Prudente	9
Pública Federal	IBGE	26
Estatal da União	Petrobrás S.A.	7
Privada S/A	Esteio	10
Privada Ltda.	Sisgraph	3
Outra	Autônomo	3

Tabela 15: Maiores empregadores por tipo de Organização (Amostra recente - 98/99)

Tipos de Organização	Empregador	Ocorrências
Pública Municipal	Pref. Mun. de Guarapuava - PR	2
	Pref. Mun. de Presidente Prudente	2
Pública Estadual	Unesp - Pres. Prudente	10
Pública Federal	IBGE	4
Estatal da União	Petrobrás S.A.	7
Privada S/A	18 empresas distintas	18
Privada Ltda.	Engemap Cartografia	3

As organizações públicas federais foram as que mais empregaram recém formados nos dois levantamentos. A maioria dos recém formados adentra o mercado de trabalho na área técnica ou de produção. Estas organizações dão indícios de que deixarão de ser as maiores empregadoras. Ambos os levantamentos apresentam a mesma ordem decrescente de participação de cartógrafos nas áreas de atuação: técnica e de

produção; administrativa e financeira; VCDM e acadêmica.

Os rendimentos dos profissionais, conforme indicado nos dois levantamentos, são praticamente equivalentes em dólares americanos.

O último levantamento confirma a tendência de interiorização da profissão, principalmente nos estados do Sudeste, sobretudo no estado de São Paulo. Quatro empregadores aparecem em ambos os levantamentos como os maiores empregadores em seus respectivos tipos de organização: Prefeitura Municipal de Guarapuava-PR (Pública Municipal), FCT/Unesp (Pública Estadual), IBGE (Pública Federal) e Petrobrás (Estatal da União).

No levantamento anterior, Topografia, Geodésia, GPS, Fotogrametria e Computação Gráfica foram as disciplinas mais citadas como as mais importantes no cotidiano do profissional. Computação, Topografia, Economia e Administração, Interpretação de Imagens e GPS foram as mais citadas no último levantamento. Em comum, apenas Topografia e GPS.

7 - CONCLUSÃO

O artigo apresentou informações obtidas de dois levantamentos de dados levados a efeito em 1995 e 1998 junto a engenheiros cartógrafos. As amostras constituídas, embora separadas por três anos, têm características semelhantes em alguns parâmetros e distintas em outros.

A maior dificuldade neste tipo de investigação é a obtenção de endereços atualizados e a motivação do entrevistado a responder.

A intenção do artigo é a de trazer números que auxiliem o profissional a conhecer o mercado de trabalho e situar-se nele. As pessoas motivadas pela discussão podem fazer as instituições moverem-se de modo a dinamizar a situação da Cartografia no Brasil.

Os resultados mostram que a profissão de Engenheiro Cartógrafo consolida-se no Brasil. Entretanto, a pequena quantidade e precária distribuição geográfica das IES que formam engenheiros cartógrafos é um fator de preocupação quanto ao futuro da profissão. É, pois, imperioso dinamizar a profissão e, por extensão, a Cartografia no Brasil, mediante a criação de novos cursos de Engenharia Cartográfica no País.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, J.F.C. *Caracterização do mercado de trabalho do engenheiro cartógrafo*. *Rev. Bras. Cart.*, 47:62-76. Rio de Janeiro: Soc. Bras. Cartografia, 1996.

_____. *Os egressos da Unesp no mercado de trabalho da Engenharia Cartográfica*. In: Engenharia Cartográfica - 20 anos na Unesp (Seminário sobre o Impacto das Novas Tecnologias na Engenharia Cartográfica). *Anais...* Departamento de Cartografia e Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente. p.120-6. 1997.

SILVA, J.F.C. & GUILHERME, A.D. *Percepção do mercado de trabalho da Cartografia no Brasil*. *Rev. Bras. Cart.*, 49:7-13. 1998.

SILVA, J.F.C. & SPINELLI NETO, A. *O mercado de trabalho da Engenharia Cartográfica*. XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, PE. *Anais* (CD-ROM)... Rio de Janeiro: SBC, 11 p. 1999.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (Proc. 98/12324-3) e à Administração da FCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, Câmpus de Presidente Prudente, pelo apoio.

FINANCIAMENTO PARA HABITACÃO

CAIXA

Aqui o seu imóvel acontece

A mais completa linha de financiamentos para você comprar, construir, reformar e valorizar o imóvel dos seus sonhos. Residencial ou comercial. Novo, usado, na planta, grande ou pequeno. Na Caixa, você escolhe o teto e a gente dá a cobertura. Para contratos individuais, com ou sem comprovação de renda. Cada caso tem uma opção de financiamento. Então, se você anda pensando no seu imóvel, fale com o gerente da Caixa. E comprove o que milhões de famílias brasileiras já sabem.

Carta de Crédito FGTS

Uma linha de crédito especial destinada a famílias com renda inferior a 12 salários mínimos, para compra de imóvel novo ou usado.

Carta de Crédito Caixa

Financiamento para comprar ou construir, destinado a famílias com qualquer faixa de renda.

Carta de Crédito para Imóvel na Planta

Os empreendimentos de construtoras aprovadas pela Caixa têm seguro de término de obra, que garante a entrega do imóvel. E durante a fase de construção o valor do financiamento rende uma poupança, para completar o valor da prestação.

Poupanção

Mais uma linha de crédito exclusiva da Caixa, para imóveis residenciais ou comerciais. Basta poupar o valor da prestação por 12 meses e depois pegar a carta de crédito.

Carta de Crédito para Material de Construção

Um financiamento para famílias com renda de até 12 salários mínimos comprarem material para construção, ampliação ou reforma.

ConstruCard

O cartão que facilita a compra de materiais de construção nos estabelecimentos credenciados pela Caixa, com pagamento em até 96 parcelas.

Caixa Condomínio

Uma linha de crédito exclusiva, que só precisa da adesão de 50% dos condôminos.

ConstruGiro

O Construção é a solução ideal para a empresa de construção civil que precisa de um reforço de capital de giro.

Renegociação de Contratos

Quando um mutuário quita ou renegocia o financiamento do seu imóvel com a Caixa, sabe o que acontece? Mais financiamentos. Por isso a Caixa está renegociando os contratos assinados até 93. Só este ano, nossa meta é renegociar 350 mil contratos. Na Caixa, o sonho de milhões de brasileiros acontece.