METODOLOGIA PARA GEORREFERENCIAMENTO DE MAPAS DIGITAIS URBANOS BASEADA NA ATRIBUIÇÃO DE PESOS AOS PONTOS DE CONTROLE

ADRIANA GOULART DOS SANTOS
PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE
IRINEU DA SILVA

Universidade de São Paulo - USP
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Transportes
{agoulart, seganta}@sc.usp.br
leicabr@attglobal.net

ABSTRACT – This study intends to develop a methodology, validated through a case study that supplies through the attribution of weights to the control points used for the calculation of the transformation parameters in the mathematical model of georeferencing, a better result in the values of geographical coordinates obtained through the cartographic digital product when compared to the traditional methods, where is applied the same weight to all control points. We intended to improve the quality of the cartographic information, obtaining a better precision for the whole geographical coordinates instead of only in the region of the points used as of control.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos observados na computação, mais especificamente na computação gráfica, causaram alterações significativas na Cartografia. O processo cartográfico incorporado ao computador vem fazendo com que esta área do conhecimento passe por um processo de mudança do seu produto final, o de mapa impresso numa folha de papel, para uma nova forma, um arquivo digital, que contêm dados que representam as feições da área mapeada.

Um exemplo disto é que o uso do Geoprocessamento não é mais novidade para muitas das principais prefeituras brasileiras, que já sabem como a informação geográfica oferece a base para uma boa gestão municipal. Diversas áreas das prefeituras estão passando por processos de sistematização de informações, isto vem ocorrendo devido à necessidade de localizar falhas na administração e proporcionar suporte ao planejamento municipal com ênfase em setores como o de infra-estrutura, tributário, saúde, educação, transportes, moradia, etc.

Além da sistematização das informações, existe a grande necessidade de sua espacialização. Os mapas digitais georreferenciados propiciam suporte tanto para a detecção de problemas de forma localizada, quanto para eliminação destes, facilitando e auxiliando as tomadas de decisões.

Mesmo assim, muitas cidades ainda não têm acesso a dados essenciais que, além de garantirem, por exemplo, a eficácia na arrecadação tributária poderia melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Isto se deve ao fato que, dados geográficos, em formato digital, ainda não são facilmente encontrados no Brasil. A maioria dos mapas existentes nas prefeituras, além de desatualizados, encontra-se no formato analógico, requerendo atualização e conversão digital.

Cartas e mapas digitais, sejam em formato raster ou vetorial, proporcionam maior durabilidade e facilidade para consulta. O processo de digitalização, entretanto, é passivo de distorções que precisam ser avaliadas e corrigidas para não comprometer a qualidade de suas informações.

Partindo-se deste pressuposto, a maneira usual de promover a espacialização confiável das informações extraídas dos mapas digitais é a aplicação de modelos matemáticos de georreferenciamento. A correção geométrica ou georreferenciamento tem a finalidade de modelar os erros inerentes ao processo de aquisição dos dados e, assim, vinculá-lo ao sistema de projeção cartográfica de interesse. Esta correção é feita por meio de pontos de controle, onde através deles pode-se fazer uma comparação entre as coordenadas homólogas no terreno e no mapa.

O método convencional para o georreferenciamento de um mapa digital, de acordo com D´Alge (1997), utiliza basicamente funções polinomiais no espaço bidimensional para relacionar coordenadas do mapa às coordenadas planas do sistema de projeção cartográfica. Pontos de controle distribuídos sobre este mapa podem, por exemplo, modelar a translação que representa um erro de posicionamento. Ressalta-se que o

número mínimo de pontos irá variar conforme o polinômio adotado.

A estimativa da precisão geométrica é realizada através da estatística do RMS (resíduo médio quadrático). Adquirindo-se pontos de controle com qualidade e posicionando-os com precisão sobre o mapa é possível a indicação de um RMS baixo. Porém, na maioria dos municípios do Brasil, os mapas são antigos, desatualizados, dificultando a localização precisa dos pontos de controle.

Outra dificuldade é que na prática os modelos usuais de georreferenciamento não se mostram tão eficazes. Os polinômios apresentam maior precisão na própria vizinhança dos pontos de controle, porém podem conduzir a erros significativos e, consequentemente, a distorções naquelas regiões que estão fora dos limites definidos pelo conjunto desses pontos.

Ao se testar a correção utilizando-se pontos que não foram usados no processo, os deslocamentos são normalmente maiores do que os apresentados no RMS. Isto ocorre, segundo Dlugosz (2005), pelo fato que as transformações polinomiais tendem a se comportar adequadamente apenas nas regiões onde se encontram os pontos de controle.

Tal fato, dependendo da escala do trabalho, pode inviabilizar um projeto ou estudo que dependa de uma boa precisão cartográfica. Como exemplo, cita-se a atualização de cartas topográficas, mapeamento de áreas urbanas, levantamento de áreas agropastoris, identificação e localização de deslizamentos, levantamentos cadastrais a fim de determinar os limites de propriedades imobiliárias, etc.

Diante disto, uma maneira de atenuar estes problemas é através da atribuição de pesos aos pontos de controle usados nos modelos matemáticos de georreferenciamento, dispensando-se maior peso àqueles que merecem maior confiança.

Assim, é possível obter uma maior precisão nos valores das coordenadas geográficas obtidas a partir do produto cartográfico georreferenciado gerado quando comparado ao mesmo produto onde se dispensa, no processo, pesos iguais para todos os pontos de controle utilizados.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia, validada através de um estudo de caso, em que se determine, em função da confiabilidade dos pontos de controle usados no modelo matemático de georreferenciamento testado, um melhor resultado nos valores de precisão das coordenadas geográficas obtidas a partir do produto cartográfico georreferenciado gerado.

3 O PROCESSO DE GEORREFERENCIAMENTO DE UM PRODUTO DIGITAL

3.1 Aquisição dos pontos de controle

Os pontos de controle são feições com localização conhecida, e que devem ser precisamente identificados no produto digital. Algumas feições que constituem bons pontos de controle referem-se a cruzamento de ruas, bifurcação de estradas, arestas de piscinas e de quadras desportivas, etc, podendo ser obtido de diversas maneiras, ser coletado numa carta topográfica, obtido por medições GPS em campo, por medições fotogramétricas, etc. De modo geral, devem ser obtidos de modo a apresentarem um mínimo de erro possível.

No processo de georreferenciamento, numerosos pontos de controle são localizados em termos de suas coordenadas x e y no mapa digital, e em termos de coordenadas homólogas no terreno. Estes valores são então submetidos a uma análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados para determinar os coeficientes de duas equações de transformação que relacionem as coordenadas geometricamente corretas (no terreno) àquelas do mapa a ser georreferenciado. Uma vez determinados os coeficientes destas equações, podem-se obter as coordenadas do mapa digital georreferenciado, que estarão dentro de um intervalo de erro.

A qualidade do georreferenciamento dependerá da precisão na identificação, distribuição espacial e do número de pontos e do modelo de transformação utilizado.

3.2 Modelos matemáticos para a transformação de coordenadas

A transformação por polinômio obtido através de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados modela matematicamente quaisquer distorções de escala, deslocamento, rotação do mapa a ser georreferenciado para ajustar-se às coordenadas de referência. Se X e Y forem as coordenadas geográficas de um ponto de controle e x e y as coordenadas do mesmo ponto no mapa, uma relação matemática é estabelecida para a conversão de x e y em X e Y, que pode ser expressa por uma equação de 1°, 2° ou 3° ordem.

No entanto, uma transformação geométrica simples poderá subestimar os erros, enquanto uma transformação mais complexa tenderá a modelar alguns erros, introduzindo correlações que não se justificam.

De acordo com Prado (2006), quanto maior a ordem do polinômio obviamente mais próxima a curva de ajuste deve passar pelos pontos a serem ajustados. No entanto, a utilização de polinômios de grau elevado pode provocar algumas distorções no produto gerado e, por isso, algumas vezes, o ajuste linear é uma adaptação moderadamente aceitável. Esses polinômios apresentam maior precisão na própria vizinhança dos pontos de controle, porém podem conduzir a erros significativos e, consequentemente, a distorções naquelas regiões que estão fora dos limites definidos pelo conjunto desses pontos. Por isso, transformações mais complexas só fazem sentido se houver mais efeitos geométricos a serem modelados.

3.3 Determinação dos parâmetros de transformação

Para a determinação dos parâmetros da transformação geométrica no cálculo do georreferenciamento deve-se aplicar o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), o qual foi proposto por Legendre e Gauss há quase dois séculos e é o método aceito pela Geodésia como critério mais adequado para ajustamento de observações repetidas. Este método consiste em aceitar como melhor estimativa das observações redundantes o valor que torne mínima a soma dos quadrados dos resíduos.

4 O ESTUDO DE CASO

4.1 Área para o estudo

O Estudo de Caso será realizado na área urbana do município de São Carlos-SP, a qual está localizada na região central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 47°30’ e 48°30’ Longitude Oeste e 21°30’ e 22°30’ Latitude Sul.

4.2 Produto cartográfico digital

Utilizar-se-á um mapa digital urbano da cidade de São Carlos-SP, no formato *dwg*. Esta base cartográfica foi elaborada a partir de levantamento aerofotogramétrico realizado em junho de 1998, sendo a escala de vôo 1:8000 e a escala da restituição 1:2000.

5. METODOLOGIA

Far-se-á a determinação de uma tabela de pesos que serão atribuídos aos pontos de controle utilizados para o cálculo dos parâmetros de transformação. As coordenadas dos pontos de controle serão determinadas a partir de dois métodos, sendo que o primeiro utiliza técnicas que servirão para identificar um ponto de controle que não existe no mapa digital. Este método é útil para mapas desatualizados ou que não ofereçam pontos de controle de confiança. O outro método consiste na coleta de pontos de controle diretamente no campo, pontos estes homólogos a elementos presentes no mapa digital a ser georreferenciado.

Os itens A, B e C abaixo descrevem as técnicas utilizadas para a execução do primeiro método e os itens D e E para a execução do segundo. Vale ressaltar que, cada um dos métodos utilizados irá gerar pontos de controle com um determinado nível de confiança;

A) Será utilizada uma imagem de satélite Ikonos PSM da região urbana da cidade, ano de 2004, ortorretificada e com resolução de 1m. Serão escolhidos pontos de controle que estejam bem identificados na imagem e que não aparecem no mapa digital, com o objetivo de transferi-los para o mesmo.

B) Fotos áreas do município do ano de 1998, na escala de vôo 1:8000. Através das fotos aéreas será aplicada uma técnica de fotogrametria geométrica chamada de relação harmônica, com o intuito de transferir um ponto bem identificado na foto e que não aparece no mapa digital. O princípio básico deste método é que o quociente das relações entre quatro pontos homólogos sobre uma reta é invariável, ou seja, a partir de quatro pontos homólogos pode-se transferir um ponto existente na foto e que não aparece no mapa;

C) Fotos tiradas de máquinas digitais comuns de pontos na cidade que possam servir como de controle. Cada foto passará por um processo de retificação, através do software Leica Photogrammetry Suíte da Leica Geosystem. Em seguida, cada uma será sobreposta no mapa digital a fim de ser localizado este ponto no mapa;

D) Pontos de controle obtidos diretamente a partir de levantamento de campo, utilizando a tecnologia GPS no método relativo estático. O processo de materialização dos pontos no terreno será feito através do prolongamento dos meios-fios da calçada, o encontro destas retas, num ângulo de 90°, representa o ponto a ser determinado. As medições serão realizadas com receptores GX1220 da LEICA Geosystem (dupla freqüência). O tempo de coleta dos dados será de 30 minutos, com uma taxa de observação de 10 segundos. A Figura 1 mostra um exemplo de localização de um ponto de controle a ser determinado por meio deste método;

Figura 1 – Localização de um ponto de controle no campo – com prolongamento do meio fio da calçada

D) O mesmo procedimento do item anterior, porém sem usar o prolongamento do meio-fio da calçada e com tempo de coleta dos dados de 1 hora. A Figura 2 demonstra a localização de um destes pontos em campo;

Figura 2 – Localização de um ponto de controle no campo – sem prolongamento do meio fio da calçada

De posse da tabela de pesos será realizado o georreferenciamento do mapa digital. Cada ponto de controle escolhido para ser usado no cálculo dos parâmetros da transformação terá um peso de acordo com a técnica utilizada para a sua determinação. Esta etapa da pesquisa que tem por finalidade verificar qual é o melhor produto cartográfico georreferenciado gerado a partir das várias combinações entre o número, distribuição e pesos atribuídos aos pontos de controle e o modelo matemático de georreferenciamento usado. A validação do resultado obtido será através de pontos que não foram usados no processo, pontos estes denominados de checagem, localizados nas regiões próximas e distantes daqueles usados como de controle.

Desse modo, almeja-se obter um melhor resultado nos valores de precisão das coordenadas geográficas obtidas a partir da metodologia proposta quando comparada ao método clássico, onde são atribuídos pesos iguais a todos os pontos de controle.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de uma bolsa de doutorado para o primeiro autor do trabalho.

REFERÊNCIAS

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information system**. Oxford, University Press, 1998.

D´ALGE, J.C.L. **Atualização cartográfica por imagem de satélite: considerações teóricas e possibilidades de implementação.** Texto Técnico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997. Disponível em http://www.dpi.inpe.br/~julio/consult1.pdf. Acesso: abril 2006.

DLUGOSZ, F. L. **Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologia da floresta ombrófila mista usando imagens orbitais IKONOS.** 2006**,** 135p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba Ed. Universidade Federal do Paraná, 1994, 319 páginas.

PRADO, F. A.; MENEGUETTE, A. A. C. **Georreferenciamento de imagens CBERS-2/CCD utilizando pontos de controle extraídos de cartas topográficas.** 7° Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, Florianópolis. Anais, CD-Room, 2004