

GEOTECNOLOGIAS

aplicadas à construção civil

ARISTEU ZENSABURO NAKAMURA* E PEDRO GUIDARA JÚNIOR**

O desenvolvimento tecnológico nos últimos 50/60 anos tem provocado alterações significativas em nossa sociedade, e principalmente em nossa forma de trabalhar.

Basicamente, em função do impacto que causou, podemos considerar a invenção do transistor como um marco para o desenvolvimento da eletrônica e da informática nas últimas décadas. O desenvolvimento do transistor possibilitou a criação dos circuitos integrados e posteriormente dos microprocessadores.

A fabricação de microprocessadores com capacidade de processamento cada vez maior, com dimensões cada vez mais reduzidas e a redução dos preços contribuíram para a disseminação no uso dos microprocessadores em uma infinidade de equipamentos e a popularização do uso do computador nas empresas e residências.

Nas áreas de engenharia o impacto do uso dos microprocessadores foi muito grande possibilitando aumento na produtividade através da utilização de softwares nas áreas de projeto, cálculo e planejamento, na robotização da produção e no desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo, a nanotecnologia e a geotecnologia.

No presente artigo, discutiremos os possíveis usos das geotecnologias nas diversas áreas da construção civil (rodovias, ferrovias, pontes e viadutos, barragens, infraestrutura e incorporação imobiliária) nas suas diversas fases (desde o anteprojeto até a manutenção), bem como conceitos e as vantagens decorrentes.

GEOTECNOLOGIAS

Geotecnologias ou geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de infraestrutura, gestão de recursos naturais, logística, transportes e segurança, comunicações, energia e planejamento urbano e regional, marketing, inteligência de negócios e mobilidade.

Dentre as geotecnologias destacam-se a cartografia digital, fotogrametria e sensoriamento remoto, *Global Positioning System* (GPS), automação da topografia e geodésia e os sistemas de informações geográficas (GIS), incorporando outras áreas do conhecimento para tratar, analisar e apresentar os

dados espaciais, como geoestatística, modelagem de dados 2d e 3d, topologia, análise de redes e teoria dos grafos, reconhecimento de padrões, geometria computacional e algoritmos, realidade virtual.

Cartografia digital

A facilidade de acesso, representação, edição e recuperação dos dados de um mapa fizeram desta tecnologia a pioneira e imprescindível em qualquer projeto de geoprocessamento. Esta tecnologia permite operações de mudança de escala, sistemas de projeção e datum, criação de legendas, quadriculados, reticulados e ainda alterações nos atributos de visualização das feições como cor, estilos e espessura de linha. Tudo isto pode ser encontrado em qualquer software tipo desktop mapping ou desktop GIS.

Fotogrametria e sensoriamento remoto

Fotogrametria e sensoriamento remoto é a

arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores imageadores e outros, sobre a Terra e seu meio-ambiente, e outros objetos físicos e processos através de gravação, medição, análise e representação (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing).

1) Sensores

São dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações passíveis de interpretação. Os dados registrados por sensores remotos são planimetria: localização (x e y), batimetria: elevação (z), cor de objetos, característica de absorção de REM pela clorofila na vegetação, biomassa da vegetação, conteúdo de umidade da vegetação, temperatura, textura ou rugosidade da superfície.

A resolução é um conceito importante quando se fala em sensores e se classifica em quatro tipos:



ENGENHARIA CONSTRUÇÃO CIVIL

resolução geométrica ou espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal.

Passivos – Os sensores que medem a radiação refletida e/ou emitidas pelos alvos, que provêm de uma fonte externa (exemplo, o sol), são denominados de sensores passivos, porque eles não possuem radiação própria, isto é, dependem de uma fonte de iluminação externa. Exemplos de sensores passivos encontram-se nas câmeras fotográficas (sem flash) e aerofotogramétricas, nos satélites Landsat, SPOT, Ikonos, Quickbird, GeoEye, Cbers etc.

Ativos – Por outro lado, se o sistema sensor possui uma fonte de radiação, isto é, não depende de uma fonte externa para irradiar o alvo, ele é dito ativo. Neste caso, o sensor emite um fluxo de radiação em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície da Terra e a parte que é refletida é, então, captada pelo sensor. Exemplos de sensores ativos têm-se os radares, o laser, radiômetros de microondas e câmaras fotográficas quando utilizam como fonte de radiação o flash.

2) Satélites

Os satélites cujas imagens mais se aplicam em mapeamento em grande e médias escalas para fins de construção civil são os seguintes:



Spot 5 – O lançamento do SPOT 5 agregou a possibilidade de aquisição de imagens orbitais tridimensionais por meio do seu instrumento ótico de pares estereoscópicos HRS (High Resolution Stereoscopic), melhorando também a resolução espacial do canal pancromático para 2,5 metros. As imagens do SPOT servem para estudos, monitoramento, previsão e gestão de recursos naturais e atividades humanas no planeta.

Cbers – É um programa conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) que se caracteriza pela carga útil de múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas. Os dados de múltiplos sensores são especialmente interessantes para acompanhar ecossistemas que requerem alta repetibilidade. Os três sensores imageadores a bordo são o Imageador de Visada Larga (WFI – Wide Field Imager) com resolução espacial de 260 m e cobre o planeta em menos de cinco dias; Varredor Multiespectral Infravermelho (IR-MSS – Infrared Multispectral Scanner), que fornece informações com resolução de espacial de 80 e 160 m; e Câmara de Alta Resolução CCD (Couple Charged Device) com alta resolução (20 m), que tem a capacidade adicional de apontamento lateral de $\pm 32^\circ$, que da frequência de observações aumentada ou visão estereoscópica para uma dada região. No CBERS2-B, último satélite lançado, a câmera IR-MSS foi substituída pela HRC (High Resolution Câmera), Câmara Pancromática de Alta Resolução, com resolução espacial de 2,70 m e faixa de cobertura de 27 km.

Ikonos II – Operado pela Space Imaging, que detém os direitos de comercialização em todo o mundo fora da Índia, as imagens Ikonos possuem alta resolução espacial (1m em preto e branco e 4m no colorido). Permite também obter imagens estereoscópicas.

GeoEye – Satélite GeoEye-1 é equipado com avançada tecnologia de sensoriamento remoto, capaz de imagear com resolução espacial de 41 cm no modo pancromático (preto e branco) e com 1,65 metros no modo multispectral. O satélite GeoEye-1 é capaz de visitar qualquer área de interesse na Terra a cada três dias ou menos.

Quickbird – É um satélite de alta precisão, coletando dados com 60 centímetros de resolução espacial na banda pancromática e 2,4 metros na multispectral.

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) – A National Imagery and Mapping Agency (Nima) e a National Aeronautics and Space Administration (Nasa) foram as instituições responsáveis pela missão SRTM, cujo propósito foi atuar na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo

Digital de Elevação (MDE) das terras continentais. Os dados foram produzidos para a região do planeta posicionada entre os paralelos 56°S e 60°N .

O método de coleta dos dados do SRTM é conhecido como interferometria SAR. Por esse método, duas antenas SAR, separadas por um braço extensor de 60 metros, coletaram dados de radar, e para geração de dados topográficos foi utilizado software interferométrico. Os dados são distribuídos em formato raster pelo EROS Data Center, controlado pelo United States Geological Survey (USGS) e podem ser acessados em formato HGT, com resolução radiométrica de 16 bits.

Os MDE, organizados em tiles de $1^\circ \times 1^\circ$, oferecem 30 m de resolução vertical (espacial) para os Estados Unidos e 90 m de resolução vertical para as outras localidades.

3) Levantamento aerofotogramétrico

Aerofotogrametria e a fotointerpretação são técnicas tradicionais de obtenção de dados quantitativos tendo como material base as fotografias aéreas. As informações estão registradas, como tons de cinza ou cores numa emulsão foto sensível, por meio de uma câmera métrica, devidamente equipada em uma aeronave, que capta a energia radiante eletromagneticamente refletida pelos objetos. A figura 1 mostra uma ortofotocarta na escala 1:5000, um produto final e tradicional da aerofotogrametria.

4) Sistema de Varredura a Laser Aerotransportado (Airborne Laser Scanning)

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) é um dispositivo eletro-óptico que emite radiação coerente baseada no princípio da emissão estimulada. O sistema adquire dados digitais de elevação do terreno com precisão equivalente ao GPS com o sensor principal do sistema localizado em uma aeronave cujo deslocamento, sobre uma área de interesse, é rápido quando comparado com os levantamentos convencionais citados no item anterior. As figuras 2, 3, 4 e 5 (*fonte citada no fim deste artigo*), mostram os produtos finais derivados das imagens deste sistema.

5) InSAR (Radar Interferométrico de Abertura Sintética)

Os imageamentos feitos com radar diferem dos imageamentos óticos, principalmente, por utilizarem sensores ativos, trabalhando com ondas na faixa de microondas.

O fato de trabalhar nessa região espectral atribui ao imageamento radar, características como:

- possibilidade de penetrar em nuvens;



Figura 1 - Fonte citada na Apresentação Geoinformação e Tendências do Eng. Nilson Clementino Ferreira- CEFET-Goiás

- imageamento noturno;
- possibilidade de penetração na vegetação, no solo etc.

A possibilidade de penetração no solo depende da característica granulométrica e do grau de umidade do solo, e do comprimento de onda, podendo atingir em alguns casos profundidades de até 20 m.

SAR (Synthetic Aperture Radar) - SAR é um equipamento de microondas que envia sinais pulsados para a Terra e processa os sinais refletidos pela superfície.

O princípio básico do SAR é aumentar a resolução em azimute da imagem, simulando uma antena muitas vezes maior que seu tamanho real através do uso do efeito Doppler.

Uma imagem interferométrica é formada pela interação dos sinais recebidos de duas antenas separadas por uma certa distância denominada Baseline.

A imagem interferométrica pode ser obtida de duas formas: **a)** interferometria de uma passagem, em que as duas antenas receptoras são colocadas em uma única plataforma e os sinais são recebidos simultaneamente (como representado na figura 6); **b)** interferometria de duas passagens, em que uma antena receptora imagea duas vezes a mesma área, fazendo dois percursos paralelos, separados por uma pequena distância - Baseline

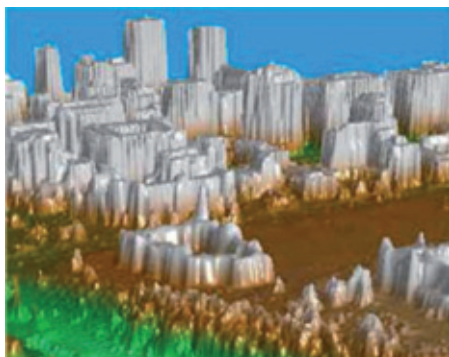


Figura 4 - Modelagem 3D de cidades para cálculo de volumes de feições artificiais, corredores urbanos formados por edifícios em vias preferenciais, estudos de microclima e propagação de ruídos e poluentes



Figura 2 - Aplicação em obras viárias para projeto ou para detecção rápida de interferências na faixa de domínio, cálculo de volumes de corte e aterro

- (como representado na figura 7).

Basicamente a utilização do método de interferometria possibilita a determinação do posicionamento do ponto Z (por exemplo: latitude, longitude e altitude) através do cálculo das distância (segmentos) r , $r+\Delta r$, da Baseline (B) e do posicionamento preciso da plataforma.

O SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), citado anteriormente, foi realizado por interferometria de uma passagem com equipamento embarcado na nave Endeavour.

InSAR aerotransportado - A grande vantagem na utilização do InSAR aerotransportado é a possibilidade de se conseguir dados com maior precisão, podendo atingir a precisão da escala 1:5000.

Normalmente nos equipamentos de radar aerotransportados são utilizadas a banda X, com comprimento de onda de 3,0 cm, coletando dados para a elaboração dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) e a banda P, com comprimento de onda de 70 cm, coletando dados para a elaboração dos Modelos Digitais de Terreno (MDT).

Topografia, geodésia e GPS

1) Conceitos

A topografia tem por finalidade mapear uma pequena porção daquela superfície (área de raio até 30 km). A geodésia tem por finalidade, mapear grandes porções desta mesma superfície, levando em consideração as deformações devido à sua esfericidade. A topografia, menos complexa e restrita, é apenas um capítulo da geodésia, ciência muito mais abrangente.

As atividades geodésicas têm experimentado uma verdadeira revolução com o advento do Sistema de Posicionamento Global (GPS). A capacidade que este sistema possui de permitir a determinação de posições, estáticas ou cinemáticas, aliando rapidez e precisão muito superiores aos métodos clás-

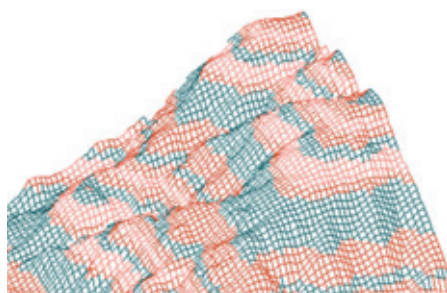


Figura 5 - Modelo digital do terreno

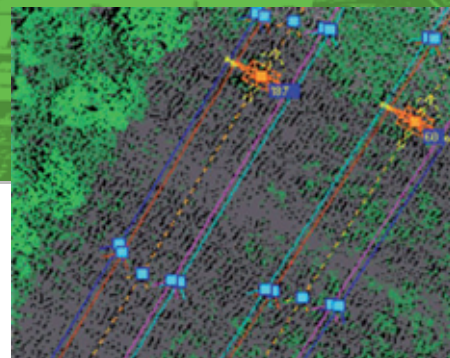


Figura 3 - Aplicação em linhas de transmissão para localização da interferência de árvores e outras estruturas na faixa de domínio, posicionamento de torres e modelagem da catenária dos cabos (talvez a mais distinta aplicação, pois a identificação de pequenos objetos como cabos é muito mais difícil na fotografia aérea)

sicos de levantamento. Com a criação do sistema NAVSTAR GPS (Navigation Satellite with Time and Ranging) em 1973 permitiu-se alcançar melhores precisões num menor tempo de rastreamento. Usado pelo IBGE a partir de 1991 e até 2004 implantados mais de 1 400 vértices. O sistema NAVSTAR GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte Americano, inicialmente para navegação com propósitos militares. O sistema GPS consiste de 29 satélites distribuídos em seis planos de órbita cada um com 55° com o plano do equador.

2) Tipos de posicionamento

Autônomo (ou absoluto) - O posicionamento autônomo é quando utilizamos apenas um receptor independente. Como a medição por fase é muito morosa quando utilizamos apenas 1 (um) receptor, este tipo de posicionamento é usado apenas com o código C/A. Muito utilizado para navegação, pois a precisão fica em torno de $\pm 15m$ com 95% de confiabilidade.

Diferencial (ou relativo) - O posicionamento diferencial consiste no uso de dois receptores medindo simultaneamente os mesmos satélites, onde os erros gerados num receptor serão os mesmos erros gerados no outro receptor num

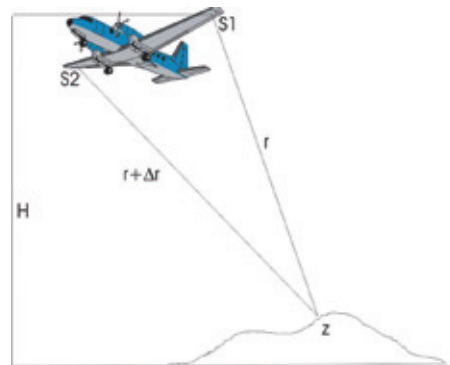


Figura 6 - Geometria de radar interferométrico, uma passagem



Figura 7 - Geometria de radar interferométrico, duas passagens

mesmo instante. Conhecendo-se as coordenadas do ponto BASE, podemos calcular as coordenadas do ROVER. Utilizando-se o Código C/A, a precisão pode ser melhor que 1m e utilizando a Fase da Portadora, pode chegar até poucos milímetros.

Sistema de Informação Geográfica (SIG)

É o sistema baseado em computador, que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georreferenciados. Um SIG pode ser visto como a combinação de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos, que operam de forma harmônica para produzir e analisar informação geográfica. Permite integrar dados espaciais como os cartográficos, cadastrais, de sensores remotos, de redes de infraestrutura, modelos numéricos do terreno e dados descritivos como os demográficos, socioeconômicos, corporativos entre outros, objetivando basicamente três funções: produção de mapas, armazenamento e recuperação da informação espacial e análise espacial.

Um Sistema de Informação Geográfica é formado por vários planos de informações sobrepostos, sendo cada plano composto por entidades representadas por pontos, linhas ou polígonos às quais são vinculados atributos.

No exemplo da figura 8 está representado um SIG com cinco planos de informações: jardins

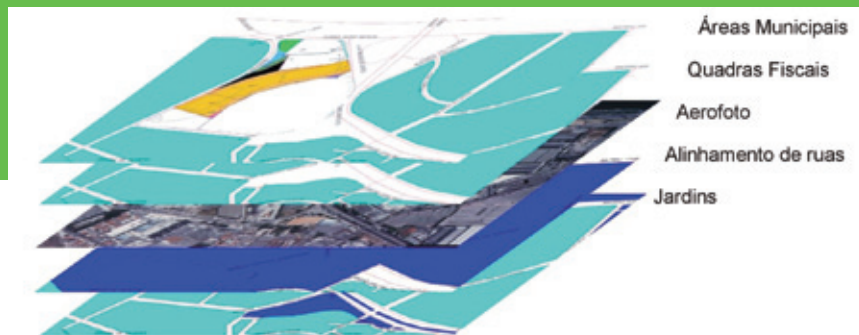


Figura 8 - Sistemas de informações geográficas, planos de informações

(polígonos), alinhamento de ruas (linhas), aerofoto (imagem raster), quadras fiscais (polígonos) e áreas municipais (polígonos).

Nas figuras 9, 10, 11, 12 e 13 são apresentados mapas temáticos resultados de análises espaciais processadas sobre dados de altimetria de Brasília (DF), com o programa SPRING 3.6 (dados e programa fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe).

APLICAÇÕES

Atualmente as geotecnologias são aplicadas mais intensamente em áreas como as de meio ambiente, urbanismo, geografia e cartografia. A utilização mais intensa na área da construção civil, ao longo de todo processo de uma obra, desde os estudos iniciais, passando pelo anteprojeto, projeto, planejamento, execução e posteriormente nos procedimentos de manutenção, pode produzir efeitos sensíveis com aumento na qualidade e produtividade, e consequente redução nos custos.

Em função de sua característica espacial as geotecnologias têm maior impacto quando aplicadas em áreas onde o aspecto - localização dos eventos - é mais importante, como no caso de obras de estradas, barragens etc.

Como exemplo típico, podemos citar a execução de uma estrada, em suas diversas fases, onde se podem usar nos estudos iniciais imagens

de satélite de baixa resolução para visualização das áreas (edificações, vegetação, corpos d'água etc.) e altimetria, tiradas de curvas de níveis de mapas ou de dados SRTM, gerando Modelos Digitais de Terreno, que, aliadas às ferramentas de softwares, dariam suporte às primeiras escolhas de traçado. Na fase de anteprojeto pode-se usar imagens de satélite de alta resolução (Ikonos, Quickbird, GeoEye) e levantamentos planialtimétricos obtidos por perfilamento a laser.

Na elaboração do projeto, tendo em vista a necessidade de uma maior precisão e alta resolução (maior grau de detalhe) dos dados, sugere-se a utilização de levantamentos aerofotogramétricos objetivando plantas na escala 1:1000 ou 1:500 e levantamentos com radar interferométrico aerotransportado, complementando com apoio de campo através de levantamento topográfico convencional. O levantamento com radar pode ser feito com duas frequências diferentes (bandas X e P), gerando dois modelos digitais, um da superfície do solo (Modelo Digital do Terreno - MDT) e outro da superfície do dossel (Modelo Digital de Superfície - MDS), possibilitando, por exemplo, a estimativa da quantidade de biomassa.

Em todas as fases acima citadas pode se utilizar, além da análise visual das imagens, softwares para tratamento, segmentação e classificação das imagens, automatizando, por exemplo,

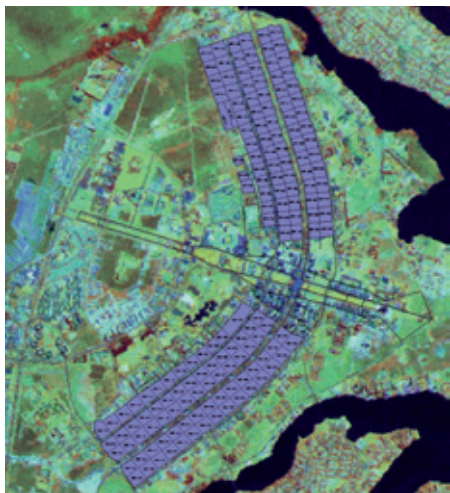


Figura 9 - Cadastro da cidade sobre imagem de satélite (R4G583)

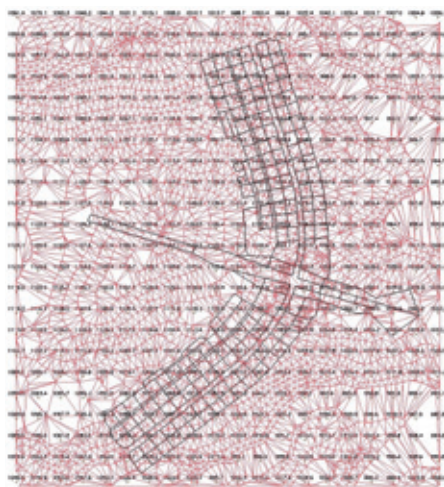


Figura 10 - Altimetria: curvas de nível, grade e TIN (Triangulated Irregular Net)

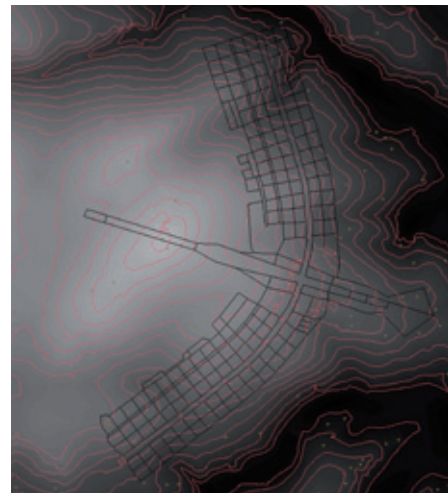


Figura 11 - Altimetria: Mapa temático onde as regiões mais altas são representadas em cinza claro

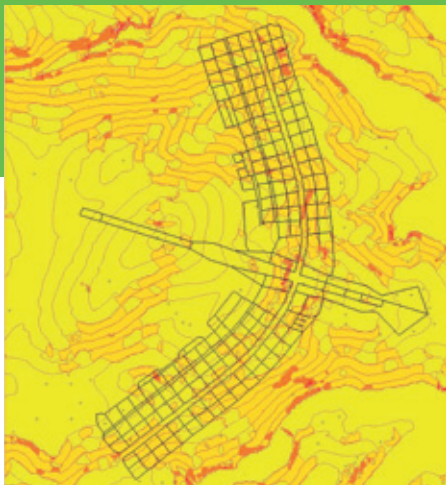


Figura 12 – Declividades: Mapa temático onde as regiões com maiores declividades são representadas em vermelho

a separação dos diversos tipos de vegetação de uma região, os corpos d'água etc., agilizando os procedimentos de análise de impacto ambiental e dos fatores interferentes com a obra.

Nas fases de planejamento, execução e manutenção, além das ferramentas já citadas, indica-se um software SIG (Sistema de Informação Geográfica), implementado de forma adequada à recuperação de informações necessárias à gestão mais eficiente da obra. A utilização do SIG promove uma visualização mais clara da obra, possibilitando o acesso rápido às informações e análise integrada dos dados.

Nas fases de manutenção, o SIG pode se tornar uma ferramenta crucial no processo de gerenciamento, não só pela facilidade na visualização dos dados (locais que precisam de manutenção, plantas, dados técnicos), mas principalmente pela possibilidade de análises espaciais, definindo, por exemplo, locais de maiores ocorrências de manutenção na pista, de acidentes diversos, de problemas de drenagem, podendo levar a conclusões sobre a existência de correlações espaciais e auxiliando não só nas decisões sobre a manutenção da via como para se determinar aspectos técnicos para melhorar o projeto da via.

A utilização eficiente de um SIG depende de vários fatores, sendo imprescindível que primeiro se defina quais as perguntas que serão feitas ao sistema, para, a partir desse dado, iniciar a modelagem do sistema, levando em consideração fatores como a precisão da base cartográfica, a granularidade dos dados, as diversas interfaces homem-máquina.

Na execução da obra a utilização de Sistemas de Controle de Máquinas, associando a utilização de softwares apropriados, com sensores de medidas inerciais e GNSS embarcados em equipamentos de terraplenagem (trator de esteira, scraper, niveladoras etc.), equipamentos de pavimentação entre outros, pode proporcionar um aumento substancial da produtividade pela redução ou até a elimi-

nação da marcação da obra e pela possibilidade de um melhor aproveitamento dos equipamentos pela maior precisão, controle e eficiência. Essa técnica ainda não é atualmente muito utilizada no Brasil, necessitando de maiores pesquisas para se obter a máxima produtividade, através de um direcionamento adequado desde o projeto, planejamento e execução com a utilização de geotecnologias (georreferenciamento, GPS etc.) compatíveis com os níveis de precisão e qualidade da obra.

A INTEGRAÇÃO DAS DIVERSAS TECNOLOGIAS

Atualmente os Sistemas de Informação Geográfica permitem, além da disponibilização dos atributos das entidades contidas em um plano de informação, também a visualização de documentos digitais e imagens em diversos formatos. Em função desta característica a formação de uma biblioteca digital se faz necessária, através da transformação dos documentos analógicos da empresa para o formato digital.

A transformação dos documentos analógicos para o meio digital é feita através de escaneamento e o seu gerenciamento, assim como o gerenciamento dos documentos que já nascem digitais é realizado por softwares de Gerenciamento Eletrônico de Documentos (GED).

A utilização de sistemas de Gerenciamento Eletrônico de Documentos integrados a Sistemas de Informação Geográfica possibilita um controle maior da qualidade dos documentos digitais criados (indexação, armazenamento, histórico), diminuindo a redundância de documentos e consequentemente dos custos de armazenamento, proporcionando maior segurança e rapidez no acesso às informações.

A utilização com modelos de gestão corporativa, os Enterprise Resource Planning (ERP), incorporam os Sistemas de Informação Geográfica a gestão das empresas, disponibilizando ferramentas de análises espaciais como a geostatística e o geomarketing.

CONCLUSÕES

A velocidade do avanço tecnológico exige dos profissionais atualizações constantes, paradoxalmente impondo que os profissionais tenham conhecimentos multidisciplinares e, ao mesmo tempo, um alto grau de especialização o que implica, quando do desenvolvimento de um projeto, da necessidade da formação de equipes que tenham profissionais para o desenvolvimento estratégico e planejamento com visão multidisciplinar e para a execução, de profissionais de várias áreas, altamente especializados.

A formação de profissionais tecnologicamen-



Figura 13 – Drenagem: Mapa temático onde os rios e lagos são representados em azul

te atualizados exige das universidades a reformulação periódica dos cursos de graduação e principalmente os de educação continuada mudando o enfoque tradicional para um enfoque mais tecnológico, voltado às necessidades das empresas.

Nas empresas a necessidade de atualização exigirá maiores investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), voltados principalmente a pesquisas em ferramentas de produtividade.

Alcançar os ganhos de produtividade, os aumentos de qualidade e as reduções de custos nas obras de engenharia, dependerá, portanto, da integração entre as diversas tecnologias, da integração entre as universidades e as empresas, visando definir rumos nas pesquisas científicas – mas, principalmente, da integração entre profissionais de diversas áreas visando difundir conhecimento.

Nota

Imagens gentilmente cedidas pelo engº Amauri Brandalize da Esteio Engenharia e Aerolevantamento, artigo Perfilamento a LASER: Comparação com Métodos Fotogramétricos. 📷

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; DAVIS, C. – Introdução a Ciência da Geoinformação.
- [2] TEIXEIRA, A.L.A.; CHRISTOFOLETTI, A. – Sistemas de Informação Geográfica, Dicionário Ilustrado.
- [3] SANTOS, J.R.; NEEFF, T.; ARAÚJO, L.S.; GAMA, F.F.; DUTRA, L.V.; SOUSA JR., M.A. – Interferometria SAR (bandas X e P) na estimativa de biomassa florestal.

* **Aristeu Zensaburo Nakamura** é engenheiro civil do Departamento Patrimonial – Prefeitura do Município de São Paulo

E-mail: aristeu@prestonet.com.br

** **Pedro Guidara Júnior** é engenheiro cartógrafo, mestre em Engenharia de Informações Espaciais pela Escola Politécnica da USP, especialista em Engenharia de Geoinformação e diretor da Metalocation

E-mail: pedro@metalocation.com.br