

O Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria Aplicados aos Estudos Ambientais

Geog. Eugenia Karnaukhova ¹
Prof. Dr. Carlos Loch ²

Universidade Federal de Santa Catarina
CTC Departamento de Engenharia Civil
PPGEC - LFSRG
Fone (0xx48) 3317049 - Fax (0xx48) 3319770
88036-330 Florianópolis SC

¹ ✉ genikar@bol.com.br

² ✉ loch@ecv.ufsc.br

| | |
|-----------------|--|
| Conteúdo | 1 Definição 2 Breves Considerações sobre a História da Utilização do Sensoriamento Remoto nos Estudos Ambientais 3 A Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto e as Representações Cartográficas para os Cadastros Temáticos 4 A Importância do Sensoriamento Remoto na Gestão Ambiental 5 Referências Bibliográficas |
|-----------------|--|

Resumo: Desde tempos mais remotos a humanidade mensura os aspectos-chaves do ambiente. As observações de eventos naturais, medições esporádicas e a necessidade de monitoramento de fenômenos naturais levaram a humanidade à invenção de vários instrumentos desde os mais simples termômetros na época da Renascença até às tecnologias contemporâneas mais complexas. Uma breve análise superficial do desenvolvimento histórico da metodologia dos estudos ambientais e das paisagens permite-nos afirmar que as técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas ainda no período pré-fotográfico. Contudo, o sensoriamento remoto é um conceito relativamente novo, conseqüentemente continua tendo muitas interpretações. O artigo em pauta visa uma breve análise da diferenciação das definições e a história de utilização das técnicas de sensoriamento remoto nos estudos ambientais, assim como realça a importância e a aplicabilidade de tecnologias modernas de aquisição da informação espacial.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto, Estudos Ambientais, História de Aplicação

1 Definição

O sensoriamento remoto é um conceito relativamente novo, conseqüentemente continua tendo muitas interpretações. Este fato é devido não somente à sua existência relativamente recente, mas também aos fatores seguintes:

1. as divergências na compreensão do tempo histórico do surgimento do método;
2. a interpretação do Sensoriamento Remoto como um método de investigação ou como um processo...;
3. a diferenciação, em alguns casos das áreas de aplicação dos resultados.

As definições menos precisas, como do Glossário - SIG (1995: 286), apresentam o Sensoriamento Remoto como : "(...) a aquisição de dados sobre a Terra (ou outros planetas), com auxílio de técnicas aérea, espacial e dos navios. O Sensoriamento Remoto executa-se com ajuda dos sistemas fotográficos, televisivos, sistemas - scanner e os acústicos, radiolocadores, magnetômetros, gravímetros e outra técnica que registra a radiação própria ou refletida dos objetos, ou as características físicas dos campos planetários".

Novo (1992:2) define o Sensoriamento Remoto como sendo "a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, naves espaciais, etc., com objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro das interações entre a radiação electromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações".

Campbell (1996:5) dá uma definição mais especificada segundo os propósitos do estudo pretendido e baseado na análise da evolução substancial do conceito, assim compreende: "**O Sensoriamento Remoto - é uma prática de aquisição da informação sobre a superfície terrestre e das águas, utilizando as imagens adquiridas a partir da perspectiva de cima, com emprego da radiação electromagnética numa ou em várias zonas do espectro electromagnético, refletido ou emitido pela superfície terrestre**". Campbell afirma que o Sensoriamento Remoto constitui um processo de investigação composto por quatro etapas principais: 1) identificação dos objetos físicos; 2) sensoriamento de dados; 3) transformação da informação adquirida; 4) aplicação prática da informação em diversas áreas científicas (por exemplo no funcionamento dos SIG's).

Entretanto, em todas as definições ocasionalmente analisadas prevalece o fato de o Sensoriamento Remoto consistir na aquisição de dados sobre os objetos sem o contato físico com eles através dos sensores que operam com os diversos tipos de energia ...

No presente trabalho, em função da aplicação específica do sensoriamento remoto no processo do desenvolvimento do método da avaliação da intensidade de transformação antrópica das paisagens, consideramos mais apropriada a definição discriminada por Campbell.

2 Breves Considerações sobre a História da Utilização do Sensoriamento Remoto nos Estudos Ambientais

Desde tempos mais remotos a humanidade mensura os aspectos-chaves do ambiente. As observações de eventos naturais, medições esporádicas e a necessidade de monitoramento de fenômenos naturais levaram a humanidade à invenção de vários instrumentos desde os mais simples termômetros na época da Renascença até às tecnologias contemporâneas mais complexas.

Numa breve análise superficial do desenvolvimento histórico da metodologia dos estudos ambientais e das paisagens permite-nos afirmar que as técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas ainda no período pré-fotográfico. Por exemplo, o estudo das paisagens através de duas imagens perspectivas foi conhecido na cartografia desde tempos mais remotos. Ainda, Leonardo Da Vinci (1500) colocou a questão sobre as possibilidades de determinação de parâmetros e da posição dos objetos a partir de duas imagens desenhadas em perspectiva. Mais tarde vários investigadores entre os quais Lomonosov M. V. (1764) e Botan-Bopre (1791) empenharam-se na realização prática desta idéia. Contudo, somente com o aparecimento da fotografia surgiram as perspectivas modernas de desenvolvimento do sensoriamento remoto e do estudo da Terra à base das suas imagens fotográficas.

Desde os tempos da sua invenção pelos franceses Daguerre e Nieps (1839) e pelo inglês Talloft (1840-1841), e pouco mais tarde do desenvolvimento do método de aquisição das imagens coloridas por Duco de Oreon (1868-69) a fotografia teve a utilização no estudo da paisagem através das imagens terrestres. Os mapas dos Alpes e dos Montes Rochosos foram criados por Gubl e Devil com auxílio de métodos de levantamento com fototeodolito.

Os instrumentos como telescópios foram inventados muito antes, porém não permitiam medições e neste contexto as vantagens das fotografias foram rapidamente apreciadas. A ciência de sensoriamento remoto firmava assim os seus passos. O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a ciência de observação e mensuração a distância. Como tal diferencia-se das observações *in situ*, e exatamente por isso se atribui o fato do seu nascimento ao momento da invenção da fotografia em 1826, apesar de até então já existirem vastas experiências de medições e observações a distância. Contudo, o termo "**remote sensing**" foi empregue pela primeira vez somente no período entre 1960-70 (Campbell, 1996: 6).

As novas câmaras fotográficas e os novos tipos de filmes instigaram as pesquisas, que se tornavam cada vez mais sistemáticas, incluindo as investigações em mais amplos intervalos do espectro electromagnético, apoiados e completados pelas pesquisas acústicas, químicas, gravitacionais e de energia radioativa, revelando vários outros aspectos do ambiente. Estas pesquisas tiveram a sua origem e por várias décadas foram estimuladas pelas demandas militares, sobretudo depois da Segunda Guerra Mundial.

Ao mesmo tempo desenvolviam-se experiências de cobertura fotográfica da superfície terrestre a partir dos balões (Nadar – 1856; Kovanko e Sreznovsky – 1888; Wilbur Wrigth (*italian lanscape*) - 1910), como também a partir dos "*papagaios*" e *aerostatos* estacionários (Tile –1898, Uliani– 1905). As referidas experiências não deram resultados significativos, enquanto as fotografias feitas de avião revolucionaram o desenvolvimento posterior do método.

Em vários países a cobertura fotográfica aérea realiza-se regularmente a partir dos anos 30 do século XX, e até presentemente existe um fundo de fotografias de meio século, cobrindo e recobrando todo o território nacional desses países, o que tem uma importância enorme do ponto de vista da avaliação da dinâmica dos objetos ambientais.

Com a utilização da foto aérea as técnicas fotogramétricas foram-se aperfeiçoando e surgiu a necessidade de imagens de escalas cada vez menores, que eram limitadas pelas possibilidades técnicas. As tentativas realizadas no fim dos anos 50 – início dos 60 de montar as imagens de grande escala e generalizá-las até às escalas menores não deram resultados desejados. Para a aquisição da resolução aspirada era importante aumentar o tecto de vôo, e já no fim dos anos 50 os aviões americanos "U-2" começaram a fotografar a partir de 2 km de altura, que porém não se diferenciava muito da altitude dos balões. O surgimento dos foguetes balísticos e a sua utilização quanto a fotografia da superfície terrestre mudou radicalmente o tecto de imageamento aéreo. Já em 1945 o foguete balístico "U-2", lançado do polígono Wait-Sands no Estado de Novo México (EUA), permitiu adquirir fotografias desde o espaço com uma altitude de 120 km. Este lançamento seguiu-se de uma série de experimentos com os foguetes tipo "Viking" e "Aerobee", permitindo o imageamento a partir de 100-150 km de altitude, e por exemplo em 1954 os balísticos atingiram o tecto de 250 km. No início dos anos 70 realizou-se com a mesma altitude a cobertura fotográfica dos territórios da Austrália e Argentina com o foguete balístico inglês "Skylark".

Apesar da imperfeição da metodologia de aquisição das imagens fotográficas a partir dos foguetes balísticos os mesmos tiveram uma ampla utilização nos anos 60-70 e utilizam-se até hoje essencialmente por causa dos custos relativamente baixos e para a cobertura das áreas de pequenas extensões. Existem diversos exemplos do seu uso no estudo da vegetação, do uso do solo, na geologia e hidrometeorologia, como também para os estudos complexos do ambiente.

Uma nova etapa na evolução do sensoriamento remoto iniciou-se com o lançamento dos satélites em 1957 (URSS) e no ano seguinte pelo EUA. Apesar que os primeiros lançamentos não tiveram como objetivo o estudo da Terra com os meios espaciais. Os primeiros vôos em naves lançadas pela URSS e EUA –"Vostok-1" (cosmonauta Y. Gagarin – 1961) e "Mercury MH-4" (astronauta – D. Gallen – 1962) – também não perseguiam este objetivo. Porém, desde os primeiros vôos adquiram-se as fotografias com auxílio das câmaras manuais.

Se os primeiros vôos deram dezenas de fotografias, então já em meados dos anos 60 as naves "Gemini" proporcionavam mais que 1000 fotografias, sendo a maioria delas feita com filme colorido e com alta resolução (até 50 m). Entretanto, a cobertura da região limitava-se por razões técnicas às áreas equatoriais da Terra.

Além do progresso significativo na aquisição das fotografias que proporcionaram os vôos de "Apollo" (EUA), primeiramente no âmbito de otimização de seleção do material fotográfico e aperfeiçoamento dos métodos de orientação das câmaras relativamente à superfície terrestre, etc. As naves espaciais também desta série realizaram pela primeira vez (8-12.03.1969) o imageamento em distintos intervalos espectrais, que deu início à fotografia multiespectral. A primeira experiência realizou-se com quatro câmaras com filmes e filtros distintos fotografando sincronamente.

O programa "Soyz"(URSS) começa a dedicar-se ao imageamento fotográfico da Terra nos finais de 1969, ampliando significativamente o intervalo e a área de imageamento até então não muito ampla. O maior interesse representavam as experiências de imageamento sincronizado a partir das plataformas espaciais, aéreas e fotografias expedicionárias. Em 1973 foram feitas fotografias multiespectrais com a câmara de nove objetivas. A nave espacial "Soyz-7" (1969) realizou o imageamento espectrográfico da superfície terrestre, isto é a aquisição e o registro de assinaturas espectrais dos objetos.



Fig. 1 : Satélites ambientais e as naves de lançamento

As experiências paralelas semelhantes permitiram chegar à avaliação objetiva da informação proveniente de diversos tipos de cobertura fotográfica e formaram os fundamentos do sensoriamento remoto aplicado ao estudo da Terra, proporcionando as noções sobre a correlação ótima entre o imageamento espacial, aéreo e terrestre, quanto as investigações ambientais concretas.

Ao mesmo tempo as referidas experiências esclareceram e completaram os nossos conhecimentos sobre as funções adicionais da atmosfera; sobre as regularidades da generalização das imagens em função da diminuição das escalas; sobre as propriedades óticas dos objetos da superfície terrestre; sobre a estrutura espacial das paisagens, etc.

As imagens de alta resolução (na ordem de 10-12 m) foram feitas pela primeira vez desde as plataformas orbitais "Salut" (URSS) e "Skylab" (GB) com auxílio de imagens multiespectrais e das novas câmaras fotográficas (MK F-6), como também dos equipamentos avançados de processamento de filmes.

Entretanto, apesar da alta qualidade das imagens as fotografias não executavam-se sistematicamente. Somente em casos excepcionais era possível a aquisição de imagens fotográficas espaciais para o mesmo território. A cobertura regular de um território com este tipo de imageamento por enquanto é impossível, devido às dificuldades técnicas (relacionadas com a nebulosidade) e à esporadicidade da cobertura. Por isso o imageamento televisivo e os sistemas CCD (scanner) obtiveram conseqüentemente uma ampla utilização, obtendo vantagens, comparadas com a fotografia convencional, a possibilidade de cobertura contínua e regular, como também a recepção dos sinais e o seu registro computadorizado on-line na Terra sem necessidade de retorno das cassetes de filmes.

O primeiro imageamento televisivo foi realizado dos satélites meteorológicos "Tiros" no início dos anos 60. E, praticamente, no mesmo período com os satélites "Cosmos" (URSS), que posteriormente evoluíram num sistema meteorológico "Meteor", que hoje forma o serviço espacial de previsão de tempo.

O imageamento televisivo global da Terra foi executado pelos satélites "ESSA" (EUA). A cobertura de grandes superfícies (até 6 mil km) revelou uma quantidade de dificuldades ligadas à baixa resolução e transformações da superfície devidas à curvatura da Terra. Apesar dessas insuficiências as referidas imagens encontraram ampla utilização nos estudos geográficos, nos da cobertura glacial, nos da umidade dos solos, nos dos processos atmosféricos, etc. . O imageamento televisivo realizava-se pelos satélites dos recursos, entre os quais os do programa "Meteor – Priroda" (URSS) e os de "Landsat" (EUA), a partir de 1972. As imagens recebidas através dos equipamentos "Fragment" (Meteor) e MSS (Landsat), caracterizavam-se pela revolução espacial de aproximadamente 100 m e pela possibilidade de aquisição de imagens coloridas, devido ao imageamento em quatro intervalos do espectro eletromagnético.

As imagens do scanner de boa qualidade principalmente as coloridas permitem observar a totalidade dos mesmos objetos, que apresentam as imagens fotográficas. Porém garantem uma certa regularidade de cobertura e comodidade de processamento automático das imagens recebidas em forma de matriz numérica. Por isso, entre outros, os objetivos de controle operativo das condições naturais e as alterações tecnogênicas dos recursos ocupam o primeiro lugar quanto ao uso desta ferramenta científica.

A partir de 1972 iniciou-se um período mais produtivo da aplicação do sensoriamento remoto para fins científicos e práticos em vários países. O primeiro satélite orientado ao estudo dos recursos naturais foi o "ERTS" (1972) com resoluções espaciais de 50-100 m. Já o Landsat-4 equipado com "Thematic Cartographer" permitiu uma resolução de 30 m e o aumento do número de canais espectrais até 6. O satélite Spot (França) aumenta a resolução até 10 m e permitiu a aquisição do stereopar. O satélite "Rekurs – 7" (URSS) permite o imageamento fotográfico e o multiespectral, e de diversas escalas da superfície terrestre com resolução de 30 m (1:1 000 000) e de 10 m (1:200 000).

É importante sublinhar que a Terra não é o único objeto de imageamento fotográfico ou televisivo. Os outros planetas também fazem parte dos objetos de investigação pelo sensoriamento remoto: as estações espaciais "Luna", "Surveyor", "Ranger" (Lua); "Venera", "Mariner", "Viking" (Vênus, Marte, Mercúrio, Cometa Halley).

Atualmente as pesquisas ambientais de sensoriamento remoto sentem contínuas transformações em função duma rápida evolução das tecnologias espacial e fotográfica e o barateamento cada vez maior do imageamento com relação aos trabalhos de campo. As perspectivas do uso futuro são muito mais amplas e promissoras sobretudo porque as limitações técnicas de resolução espacial e espectral são somente e infelizmente questões políticas e militares, sendo que as atuais tecnologias militares já dispõem de resoluções espaciais superiores à 5 cm a partir de altitudes de 250 km (KH-II; KH-12 - EUA satélite espião, que imagea no visível e com IVP - *Digital Imaging System*), enquanto os sistemas CCD (scanner) chegam a resolução de 1 m (SAMRO-satélite)(Drury, 1990:160).

De maneira geral podemos evidenciar seis períodos principais no desenvolvimento do sensoriamento remoto (Barrett et al., 1992; Campbell, 1996):

1. Pré - 1925 - o período de estudos crescentes do uso da fotografia aérea para o mapeamento topográfico; o desenvolvimento da teoria da energia electromagnética (Clerk Maxwell) e as experiências químicas de L. Daguerre; as experiências com balões e o amplo uso da fotografia aérea na espionagem durante a Primeira Guerra Mundial;
2. 1925-1945 - a ampla utilização das fotografias aéreas e o aprimoramento da fotogrametria (instigado pelos propósitos militares); o desenvolvimento do Radar (Alemanha, EUA, GB, URSS);
3. 1945-1955 - o desenvolvimento intensivo das técnicas de interpretação e tecnologias fotogramétricas e da foto-análise;
4. 1955-60 - a aplicação extensiva da foto aérea em diversas áreas científicas e práticas associadas ao mapeamento e monitoramento da superfície terrestre, inclusive na área ambiental; as pesquisas do Colwell na área de fotografia infravermelha (1956);
5. 1960-1980 - o período de desenvolvimento de tecnologias espaciais e os novos sensores não-fotográficos; é utilizado pela primeira vez o termo de sensoriamento remoto; o desenvolvimento rápido da produção e do processamento de imagens digitais;
6. 1980 - *hoje* - a explosão de tecnologias espaciais e fotogramétricas; o lançamento de satélites; o desenvolvimento de sensores multispectrais; o desenvolvimento de programas de monitoramento global e local por satélite; a análise computacional e o processamento digital avançado com recepção on-line; SIG e DBMS (*Data Base Manager System*).

Tabela 1 : Lançamentos mundiais de satélites no ano 2000

| Nº | Data | Nome da Missão | Veículo do Satélite | País | Tipo | Notas |
|-----|---------|---|---------------------|-------------|--|---------------|
| 1. | Jan. 21 | DSCS-III B-8 | Atlas 2A | US/Mil. | Comsat | |
| 2. | Jan. 24 | Galaxy 10-R | Ariane 4 (V125) | Europe | Comsat | |
| 3. | Jan. 26 | Zhongxing-22 | Long March-3A | China | Comsat | |
| 4. | Jan. 26 | JAWSAT ASUSAT OPAL OCSE FalconSat-I Artemis STENSAT MEMS-1 MEMS-2 | Minotaur (OSP-1) | US/Mil. | Techn. ImagCom. Techn. Calib.(balloon) Techn. Science Comsat Techn. Techn. | |
| 5. | Feb. 1 | Progress M1-1 | Soyuz-U | Russia | Mir Cargo | |
| 6. | Feb. 3 | Kosmos-2369 (Tselina) | Zenit-2 | Russia/Mil. | SigInt. | |
| 7. | Feb. 3 | Hispasat 1C (Spain) | Atlas 2A | US/Com. | Comsat | |
| 8. | Feb. 8 | Globalstar Globalstar Globalstar Globalstar | Delta 2 | US/Com. | Comsat Comsat Comsat Comsat | |
| 9. | Feb. 8 | IRDT (entry shields) Dummy satellite Fregat (stage) | Soyuz-U | Russia/Com. | TechTest TechTest TechTest | |
| 10. | Feb. 10 | ASTRO-E | M5 | Japan | Astronomy | <i>failed</i> |
| 11. | Feb. 11 | STS-99/Endeavour | Shuttle | US/NASA | Crewed (6) | |
| 12. | Feb. 12 | Garuda-1 (Indonesia) | Proton K | Russia/Com. | Comsat | |
| 13. | Feb. 18 | Superbird 4 | Ariane 4 (V126) | Europa/Com. | Comsat | |
| 14. | Mar. 12 | Ekspress A2 | Proton | Russia/Gov. | Comsat | |
| 15. | Mar. 12 | MTI (Multisp.Th.Imag.) | Taurus | US/Mil. | Techn. | |

| | | | | | | |
|-----|---------|---------------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|
| 16. | Mar. 12 | ICO | Zenit-3SL (Ukr.) | US/Com. SeaLaunch | Comsat | <i>failed</i> |
| 17. | Mar. 20 | Dumsat | Soyuz/Fregat | Russia/Com. | TechRes | |
| 18. | Mar. 21 | Asiastar Insat 3B (India) | Ariane 5 | Europe/Com. | Comsat Comsat | |
| 19. | Mar. 25 | IMAGE | Delta 2 | US/NASA | Science | |
| 20. | Apr. 4 | Soyuz TM-30 | Soyuz-U | Russia | Mir Crew (2) | |
| 21. | Apr. 17 | SESAT (Eutelsat) | Proton K | Russia/Com. | Comsat | |
| 22. | Apr. 19 | Galaxy IVR (PanAmSat) | Ariane 4 | Europe/Com. | Comsat | |
| 23. | Apr. 25 | Progress M1-2 | Soyuz-U | Russia | Mir Cargo | |
| 24. | May 3 | GOES 11 | Atlas 2A | US/NASA | WeatherSat | |
| 25. | May 3 | Kosmos-2370 | Soyuz-U | Russia/Mil. | Imaging | |
| 26. | May 8 | DSP-20 | Titan 4B | US/Mil. | MissIWarn | |
| 27. | May 11 | GPS SVN 51 | Delta 2 | US/Mil. | Navsat | |
| 28. | May 16 | Simsat-1 Simsat-2 | Rokot | Russia/Com. | Test | |
| 29. | May 19 | STS-101/Atlantis | Shuttle | US/NASA | Crewed (7) | |
| 30. | May 24 | Eutelsat W4 | Atlas 3A (new) | US/Com. | Comsat | |
| 31. | June 6 | Gorizont-45 | Proton/Breeze M | Russia | Comsat | |

Os últimos anos marcados sobretudo pela aderência de mais variados países ao clube de potências espaciais e desenvolvimento de técnicas de navegação por satélite, que revolucionaram o processamento e edição cartográfica, indicam alta intensidade de lançamentos (Tabela 1) e acusam uma corrida espacial pelo domínio e controle da informação não só estratégica como também cada vez mais ambiental.

3 A Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto e as Representações Cartográficas para os Cadastros Temáticos

O Cadastro Técnico Multifinalitário é um complexo sistema de integração e de gestão de informações sobre o território, que contempla por consequência diversas faixas de informações temáticas restritas aos cadastros específicos (Cadastro Ambiental, Cadastro Sócioeconômico, etc.) em diferentes escalas territoriais.

Todos os dados de um CTM são extraídos e posteriormente representados no mapa sendo este um documento gráfico elaborado segundo as normas cartográficas. Os cadastros específicos requerem quando a sua execução diversos dados temáticos e em escalas diferentes, cuja aquisição hoje é bastante facilitada pelos métodos fotogramétricos e do sensoriamento remoto, que oferecem diversas vantagens para tal (Loch, 1993):

1. o custo-benefício mais vantajoso comparado com os trabalhos do campo;
2. o reduzido tempo de aquisição das imagens e consequente a atualização rápida do cadastro;
3. possuem alto rendimento, produzindo mapas à baixos custos;
4. têm utilização complexa, isto é fornecem a informação métrica e temática que serve para os vários tipo de mapeamento;
5. fornecem as séries históricas de imagens, permitindo a análise regressiva;
6. permitem o monitoramento das áreas devido a frequência minimamente regular dos imageamentos.

Os mapas concebidos no seio dos cadastros específicos constituem a classe de mapas temáticos, pois representam as variações espaciais de um fenômeno ou as relações entre os fenômenos. Os mapas temáticos são usualmente de escalas pequenas (e/ou médias) e a sua precisão deve corresponder às normas estabelecidas pela precisão cartográfica. O mapeamento temático porém é possível somente quando existe uma base cartográfica viável de grande escala (Lo, 1987). Esta última têm exigências de alta precisão planimétrica e altimétrica estabelecidas pela legislação cartográfica. A utilização deste ou doutro método fotogramétrico ou de sensoriamento remoto em função das suas propriedades técnicas para os fins de mapeamento é limitado por este tipo de exigências.

Algumas considerações sobre a especificidade do uso da Fotogrametria e do Sensoriamento Remoto para fins cartográficos cadastrais poderão ser feitos:

Fotogrametria. A alta qualidade da imagem e a geometria simples da projeção central da foto aérea permite o mapeamento topográfico em várias escalas com alta precisão e qualidade geométrica. A fotogrametria, deste modo, apresenta-se como um método ideal na execução dos mapas cadastrais (Cadastro Rural e com algumas restrições para o Cadastro Urbano vistos os problemas de altimetria e das sombras) e os mapas temáticos (onde as restrições radiométricas são cada vez mais insignificantes com o emprego da foto colorida e infravermelha)(Loch, 1993; Lo, 1987).

Sistema scanner e o imageamento infravermelho termal produzem imagens desprovidas de alta precisão geométrica, porém com diversas vantagens no que diz respeito as informações temáticas. Não são aceitáveis para o mapeamento topográfico, exigem dados auxiliares na correção da precisão métrica do imageamento infravermelho. Mas, o seu uso no mapeamento temático é justificado devido a alta resolução radiométrica.

SLAR (sistema radar) é um sistema ativo de imageamento com boas potencialidades para o mapeamento topográfico e como fonte de dados cartográficos a sua capacidade de penetração através das nuvens apresenta as maiores vantagens nas áreas com nebulosidade constante. Contudo, o seu uso no mapeamento topográfico é limitado pela baixa resolução espacial e a geometria complicada da imagem que tem melhores soluções na restituição analítica (Lo, 1987). As experiências mostram o grande potencial do SLAR como complemento da foto aérea no mapeamento em escalas pequenas nas regiões com nebulosidade intensa.

Imageadores multispectrais e pancromáticos orbitais apresentam várias vantagens na aquisição da informação temática devido a alta resolução radiométrica e a abrangência espacial das imagens (na ordem de 100x100 km). Contudo, os mapeamentos limitam-se às escalas de 1: 50 000 e menores em função da baixa resolução espacial (10 -30 m). Não é admissível o seu uso para o mapeamento topográfico. As imagens orbitais têm porém grande utilidade na atualização dos cadastros temáticos e o monitoramento ambiental, como também no controle das propriedades rurais (Loch, 1993).

Os imageadores de ultima geração de alta resolução espacial (de 1 à 5 m), como os dos sistemas SPLIN-2, Orbview 5-7 (Embrapa, 1999) e outros, apresentam maiores perspectivas quanto as fontes de dados cartográficos precisos (permitem o mapeamento topográfico até 1 : 25 000 no pancromático), contudo a sua acessibilidade comercial ainda é limitada (Khuen, 1997).

Podemos concluir assim que a Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto e a Cartografia, apresentam três vínculos funcionais interligados e indispensáveis na execução do CTM. Os mesmos formam a base de dados gráficos do cadastro técnico e são as fontes de informação mais diversa para os bancos de dados cadastrais.

4 A Importância do Sensoriamento Remoto na Gestão Ambiental

As imagens adquiridas através das técnicas do sensoriamento remoto representam os modelos da superfície terrestre, que refletem a situação geográfica real no momento da aquisição da imagem. As principais características destas imagens, das que oferecem as maiores vantagens no seu uso para o mapeamento sistemático de uma região são as seguintes:

1. A possibilidade de imageamento complexo da paisagem, incluindo os componentes naturais e antropogênicos;
2. A vasta região espectral e a possibilidade da variação das combinações espectrais para os estudos específicos;
3. As propriedades da abrangência panorâmica das imagens (de 10 mil km² até um hemisfério) e as possibilidades de composição de mosaicos;
4. A variação de escalas e a resolução espacial adequada aos trabalhos de monitoramento ambiental e atualização do Cadastro Técnico;
5. A periodização do imageamento – de dezenas de minutos até dezenas de anos – que permite a continuidade do processo e a revelação das regularidades da vida das paisagens;
6. A cobertura múltipla e contínua da superfície terrestre como a condição indispensável de monitoramento das áreas. Possibilita a cobertura das áreas inacessíveis pelas vias terrestres ou fluviais;
7. A complementaridade dos imagens de sensores distintos diminui a vulnerabilidade da qualidade das imagens em função das condições atmosféricas;
8. A disponibilidade de tecnologias de interpretação e a edição e impressão computadorizada da informação em diversas formas (numérica, gráfica, televisiva, fotográfica, digital, etc.), a compatibilização de diversos sensores com os parâmetros digitais;
9. A relativa rapidez e facilidade da sua aquisição que inclui as vantagens de ordem econômica comparado com os trabalhos de campo.

Estas vantagens evidenciam a importância do sensoriamento remoto como um dos principais métodos para o monitoramento ambiental e a atualização das imagens cartográficas temáticas. É importante sublinhar que todos os métodos do sensoriamento remoto como também os métodos de levantamento terrestre são intercomplementares. A sua utilização conjunta proporciona a realização das investigações sincronizadas à todos níveis territoriais: local, regional e global.

O fato de que as imagens obtidas pelo sensoriamento remoto serem utilizados nas investigações aplicadas em diversas áreas científicas e econômico-produtivas amplia ainda mais os horizontes do seu aproveitamento para o monitoramento ambiental. Algumas das aplicações relevantes ao monitoramento ambiental abordam-se na Tabela 2. A interpretação das imagens e a modelagem dos fenômenos, a análise cartométrica e a transformação estatística de dados, o emprego dos métodos matemáticos para a descrição dos fenômenos geográficos e a revelação das suas regularidades, a visualização dos resultados em forma numérica, gráfica, fotográfica e cartográfica constituem parte integrante da metodologia do sensoriamento remoto. Com isto a área do monitoramento ambiental para o qual o sensoriamento remoto é a principal fonte de informação - é a área de aplicação mais plena das técnicas do sensoriamento remoto.

Tabela 2 : A importância do Sensoriamento Remoto em Algumas Áreas Científicas Relevantes ao Monitoramento e para a Gestão Ambiental

| ÁREAS DE PESQUISA | AS INFORMAÇÕES OBTIDAS PELOS SENSORES ORBITAIS E AÉREOS |
|-------------------|---|
| | |

| | |
|--|---|
| Geomorfologia Hidrologia Pedologia (solos) Biogeografia Controle ambiental (geografia das paisagens, meteorologia, glaciologia, etc.) Agricultura | A análise de morfoestruturas; análise e mapeamento do relevo, dinâmica anual do relevo; identificação dos processos naturais e antrópicos que afetam a evolução do relevo... As características morfológicas e morfométricas do relevo; o regime hidrológico dos corpos de água; a modelagem do esgoto fluvial; o mapeamento da rede hidrográfica... A diferenciação espacial dos solos e o seu mapeamento; a definição dos parâmetros físicos dos solos (húmus, mecânica, salinidade, umidade, temperatura, etc.); a avaliação da produtividade e da aptidão dos solos... A estrutura espacial de biofáceis, investigações médico-geográficas... - A dinâmica sazonal das paisagens, as modificações antrópicas, os complexos tecnogênicos, controle das áreas de desertificação, do desflorestamento, da poluição atmosférica e dos corpos de água, da erosão dos solos, da genese e da evolução histórica das paisagens... A diferenciação das propriedades rurais e das terras lavradas; as áreas em degradação; o cálculo da produtividade das colheitas; a produtividade dos pastos; o controle funcional dos sistemas de melhoração; o mapeamento do desenvolvimento agrícola, o controle das queimadas, secas, inundações, etc. |
| População e transporte | A dinâmica e estrutura populacional; o desenvolvimento dos assentamentos humanos; a distribuição e a dinâmica da rede de transportes e comunicações. |

As séries temporais de imagens são fotografias aéreas ou de imagens de satélite, que são estas um instrumento indispensável para a realização do monitoramento da paisagem ou da região como um todo. É uma ferramenta fundamental para a identificação das tendências da evolução dos fenômenos espaciais e como consequência para a realização de cenários e prognósticos do desenvolvimento. Segundo Bitencourt e Loch (1998) "*para o acompanhamento da evolução e expansão de um determinado fenômeno pode-se fazer uso da interpretação das séries históricas, ou seja, buscar informações através da disponibilidade de análise de uma área em diferentes épocas ou períodos*". Para os mesmos autores as imagens de satélite não superam as fotografias convencionais no que diz respeito a escala e o número de informações possíveis de obter.

Além disso as imagens de satélite tem uma escala temporal provável significativamente reduzida, que são o meio mais recente de imageamento, porém ganham em alguns casos nas regularidade e freqüência de imageamento numa determinada região. Como com toda a razão observa Luman at all (1997):

"As fotografias aéreas das décadas de 1920 e de 1930 são universalmente reconhecidas como memórias únicas de informação histórica. A aplicação das fotografias aéreas históricas inclui:

- a identificação da vegetação em perigo e as mudanças na cobertura da superfície terrestre;
- a evolução das atividades de uso da terra;
- as inundações;
- as escavações históricas, a exploração dos solos e outras atividades;
- o uso passado das terras em parcelas (lotes) individuais (ou privadas) próximas às melhorias das estradas, para a evidência da localização histórica das infra-estruturas subterrâneas, da indústria ou das instalações comerciais;";
- análise das séries temporais de imagens de satélite é mais apropriada para o monitoramento de grandes áreas ou regiões devido a escala das mesmas, permitindo a identificação de fenômenos e de objetos extensos, das feições generalizadas e das suas alterações drásticas ou substanciais, podendo-se comparar a correlação da mesma banda em diferentes datas e da distribuição espacial dos principais componentes na imagem.
- imagens de satélite apresentam vantagens perante as fotografias aéreas no que diz respeito as informações mais específicas possíveis de adquirir sobre os ecossistemas naturais e por consequência a serem monitorados. As imagens satélite como confirmam as experiências diversas dificultam as medições, porém permitem o estudo da variação relativa das áreas convergentes entre ecossistemas aquáticos e terrestres e dão uma visão sinóptica do geossistema como um todo, contribuem para a preparação dos trabalhos de campo (Lima e Novo, 1998). Podemos concluir que depois da interpretação e análise final das fotografias ou imagens digitais de cada época podem ser gerados mapas, que apresentarão com toda a veracidade a organização do espaço físico em cada uma das épocas, sendo possível verificar o tipo de uso do solo, a existência de propriedades e o caráter de loteamentos, a evolução da ocupação, a ocorrência de desmatamentos, o estado dos cursos das água, as estradas, as áreas agrícolas, enfim todos os tipos de fenômenos e objetos na sua evolução histórica (Bitencourt e Loch, 1998).
- Isto é extremamente importante quando se trata do planejamento da gestão ambiental da região, pois permite a realização do diagnóstico conforme no que se refere ao estágio da evolução dos sistemas ambientais, podendo-se projetar o prognóstico adequado do seu desenvolvimento, sendo uma estratégia eficaz de exploração e melhoria dos recursos e condições do ambiente.

5 Referências Bibliográficas

Brew, A.N.: *Aerial Photography* In: **Manual of Photogrammetry**, 4th ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980, pp.275-303

Barret, E. C., Curtis, L.F. *Introduction to environmental remote sensing*. Chapman & Hall, London 1992

Bitencourt, L.R.; Loch C.: *O Uso das séries históricas de fotografias aéreas para o monitoramento físico-espacial das propriedades rurais visando a avaliação da legalidade das posses*. In: COBRAC 98 (CD-ROM), UFSC, Florianópolis 1998

Campbel, J.B.: *Introduction to remote sensing*, Guilford, Nova Iorque 1996

Drury, S.H.: *A guide to remote sensing: interpreting images of the earth*. Oxford University Press, p. 5-177, Oxford 1990

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias: *Monitoramento por Satélite*, Ed.1998 [online], Disponível na Internet URL: <http://www.nma.embrapa.br/satelite/aplic.html>, Acessado em 30/08/1999

Glossário-Slg. Berliant (org.), p.286, Moscovo 1999, (em russo)

Gomes, A.R., Maldonado, F.D.: *Análise dos componentes principais em imagens multitemporais tm/landsat como subsídio para os estudos de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido*; In: *Simpósio Internacional do Sensoriamento Remoto*, CD-ROM, 1998

Khuen, C.A.: *Comercial application for high resolution geospatial imagery*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 63, nº 8, p. 933-941, 1997

Lima, I B T., Novo, E. M.L.M.: *Multitemporal tmimage analusis to assess the spacial and temporal dispersion of floating macrophytes in brasilian hidroelectric reservoirs* In: Simpósio Internacional dE Sensoriamento remoto. CD-ROM, 1998

Lo C.P.: (Chor Pang) *Applical remote sensing*, Longman Scientific & Technical, New York : 393 p., 1987

Loch, C.: *Monitoramento Global Integrado de Propriedades Rurais*, Séries Didáticas, UFSC, Florianópolis 1990

Loch, C.: *A interpretação de Imagens Aéreas*, ed. UFSC, p. 61-67, Florianópolis 1993

Luman, D.E.; Christopher, S.; Hunt, L.: *Digital reproduction of historical aerial photographic prints for preserving a deteriorating archive*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, ASPRS: Oregon-IL, v. 63, nº10, p.1171- 1179, 1997

Novo, E.M.L. de M.: *Sensoriamento Remoto; Princípios e Aplicações*. 2ª ed., Ed. EDGARD BLUCHER LTDA, São Paulo 1993

Sabins, F.F.: *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Company, p.133-494, New York 1997