PKS

PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT

REVISTA DE GEOGRAFIA (UFPE)

www.ufpe.br/revistageografia

OJS OPEN

JOURNAL SYSTEMS

SENSORIAMENTO REMOTO: AVANÇOS E PERSPECTIVAS

Gustavo Marques Borges¹, Admilson da Penha Pachêco², Francisco Kennedy Silva dos Santos³

¹Mestrando do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEO – UFPE). Avenida Acadêmico Helio Ramos, S/N, Cidade Universitária, CEP: 50670-901 – Recife – PE. Bolsista da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE). gmborgers@yahoo.com.br

² Professor Associado IV — Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Avenida Acadêmico Helio Ramos, S/N, Cidade Universitária, CEP: 50670-901 — Recife — PF

admilpp@ufpe.br

³Professor Adjunto — Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Avenida Acadêmico Helio Ramos, S/N, Cidade Universitária, CEP: 50670-901 — Recife — PE. kennedyufpe@gmail.com

Artigo recebido em 19/03/2014 e aceito em 08/10/2014

RESUMO

Este trabalho é resultado de uma investigação que tem por objeto o sensoriamento remoto orbital, tendo como foco principal de análise os diferentes sistemas sensores e suas aplicações. A fundamentação teórica ampara-se em diversos estudos que buscam destacar as características e aplicações das imagens de satélite. O objetivo da pesquisa foi traçar um panorama sobre os avanços e perspectivas do sensoriamento remoto orbital, baseando-se em uma pesquisa de caráter bibliográfico. Os resultados obtidos evidenciam que nos últimos 15 anos (1999 a 2014) a evolução tecnológica do sensoriamento remoto, notadamente dos sensores orbitais de alta resolução espacial, com 19 deles tendo sido lançados no período, bem como dos sensores hiperespectrais que, com suas centenas de bandas espectrais, passam a discriminar mais classes de alvos na superfície da Terra, passou a oferecer uma quantidade, e qualidade, cada vez maior de imagens de satélite. O trabalho conclui que as perspectivas para o sensoriamento remoto são as de desenvolvimento de novos sensores com resolução temporal, espectral e espacial cada vez melhores e com produção de imagens mais baratas, mas que, no entanto, com alguns desafios que ainda necessitem de mais atenção, a fim de assegurar a evolução desta tecnologia.

Palavras-Chaves: Satélites; Sensores Multiespectrais; Resolução Espectral; Resolução Espacial.

REMOTE SENSING: PROGRESS AND PERSPECTIVES

ABSTRACT

This work is the result of an investigation whose objective is the orbital remote sensing, focusing mainly on the analysis of different sensors and their applications. The theoretical foundation sustains in many studies that seek to highlight the features and applications of satellite images. The objective of the research was to find out about the progress and prospects of remote sensing, based on a survey of bibliographical character. The results show that in the last 15 years (1999-2014) technological developments in remote sensing, especially of satellite sensors with high spatial resolution, with 19 of them having been launched in the period, as well as hyperspectral sensors, with its hundreds of spectral bands, shall discriminate more classes of targets on the surface of the Earth, has provided a quantity, and quality, increasing satellite images. The paper concludes that the perspectives to the remote sensing are the development of new sensors with better and better temporal, spectral and spatial resolution and cheaper production of images, but that, however, with some challenges that still need more attention in order to ensure the evolution of this technology.

Key-words: Satellites, Multispectral Sensors; Spectral Resolution; Spatial Resolution

INTRODUÇÃO

Embora muito controversa, a história do sensoriamento remoto pode ser dividida em dois períodos: o primeiro entre 1860 e 1960, no qual este era baseado na utilização de fotografias aéreas, e o período de 1960 até hoje, caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores (NOVO, 2010). O termo Sensoriamento Remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960, cunhado por Evelyn L. Pruit e colaboradores (MENESES e ALMEIDA, 2012). Desde então o Sensoriamento Remoto tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia.

O termo "sensoriamento" geralmente está associado a todo processo de aquisição de dados ou informação sobre algo (objeto ou entidade). A palavra "remoto" por sua vez, transmite a ideia de algo feito à distância, sem que haja contato direto com o objeto. Na literatura, encontram-se diversas definições sobre sensoriamento remoto, sendo algumas delas muito genéricas, como aquelas encontradas nos trabalhos de Colwell (1983), Lillesand & Kiefer (2000), Rosa (2001), Luchiari *et. al.* (2005), Loch (2008) e Moraes (2008), que o definem como "o processo de aquisição de dados sem que haja contato direto com o objeto".

Uma definição mais científica, e menos comercial, para sensoriamento remoto é a adotada por Menezes e Almeida (2012) que o caracterizam como "a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres". Para estes autores, nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto.

Em linhas gerais, nestes pouco mais de 40 anos, a evolução do sensoriamento remoto, marcada por sensores cada vez mais confiáveis e temáticos, se deu por quatro caminhos principais: o surgimento dos sensores orbitais de microondas, os sensores de resolução espacial sub-métrica, os sensores hiperespectrais e os sensores de alta resolução temporal

Atualmente, são muitos os sistemas sensores remotos orbitais em operação voltados para o estudo dos recursos naturais da superfície terrestre. Destacam-se os Satélites Mutiespectrais, a exemplo do Terra/Modis, Landsat 8, SPOT 6, Rapideye, Ikonos 2, QuickBird, Worldview 2 e o Pléaides 1A e 1B. Estes satélites tem possibilitado uma rápida atualização de mapas e bases cartográficas em diferentes escalas, bem como, graças aos seus aspectos multiespectral e multitemporal tem favorecido diversos estudos ambientais (desmatamento, análise de bacias

hidrográficas, degradação de solos, etc.) e de uso e ocupação do solo (expansão urbana, atualização cadastral e rodoviária, na prevenção de riscos em áreas de encosta). Estes sistemas sensores também tem sido utilizados como instrumentos didáticos em Áreas do Conhecimento tais como a Geografia, Biologia e Geologia a nível de ensino superior e médio.

Embora o sensoriamento remoto orbital seja antigo, tem origem na década de 60 do século XX, somente recentemente seus produtos começaram a se popularizar, sobretudo no Brasil, e em grande parte, graças ao advento do software Google Earth, desenvolvido e distribuído pela empresa norte-americana Google em 2005. O Google Earth é um programa cuja função é apresentar, a partir de um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de um mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas e GIS 3D (GOOGLE, 2013). Desta forma, o programa pode ser usado como um gerador de mapas bidimensionais e imagens de satélite ou como um simulador das diversas paisagens presentes no Planeta Terra.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo traçar um panorama sobre os avanços e perspectivas do sensoriamento remoto orbital, baseando-se em uma pesquisa de caráter bibliográfico, mais conhecidas como "estado da arte" ou "estado do conhecimento". Este tipo de pesquisa traz em seu objeto o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas certas dissertações de mestrado, teses de doutorado, publicações em periódicos e comunicações em anais de congressos e de seminários. Também são reconhecidas, segundo Ferreira (1999) por realizarem uma metodologia de caráter inventariante e descritivo da produção acadêmica e científica sobre o tema que busca investigar, à luz de categorias e facetas que se caracterizam enquanto tais em cada trabalho e no conjunto deles, sob os quais o fenômeno passa a ser analisado.

SISTEMAS SENSORES: AVANÇOS E PERSPECTIVAS

O início do sensoriamento remoto orbital remonta aos primeiros voos espaciais tripulados na década de 1960 e ao lançamento, em 1972, *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), posteriormente denominado Landsat 1, cuja série, hoje se encontra no seu oitavo satélite (MOREIRA, 2008 e USGS 2013). Nos anos de 1982 e 1984 foram lançados os satélites Landsat 4 e 5 respectivamente, com o programa entrando em sua segunda geração. Sua principal inovação foi o sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de aproximadamente 30 metros e bandas distribuídas nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho de

ondas curtas, período de revisita de 16 dias e imagens com 8 bit. Em 1999, foi lançado o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), a bordo do Landsat 7. Este trouxe poucas, mais significativas, inovações em relação ao sensor anterior, dentre estas uma banda pancromática de 15 m. Desde maio de 2003, em função de problemas técnicos, cerca de 24% das cenas ETM+ (principalmente em direção às bordas) apresentam falhas de recobrimento (FLORENZANO, 2011).

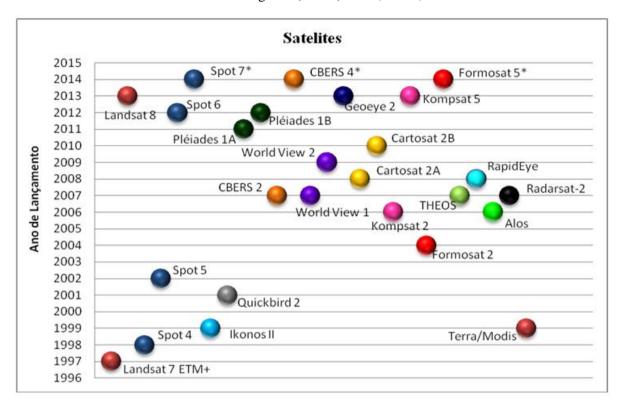
Em fevereiro de 2013 foi lançado o Landsat 8. Dentre as mudanças que este novo sensor traz estão dois novos sensores: o sensor espectral *Operacional Land Imager* (OLI) e o sensor termal *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (USGS, 2013). Além disto, foram adicionadas duas bandas espectrais: a *new coastal* (banda 1), projetada especificamente para os recursos hídricos e investigação da zona costeira, e um novo canal de infravermelho, o *Cirrus* (banda 9), para a detecção de nuvens cirros (KALAF *et.al.*, 2013). Tais adições provocaram mudanças nos intervalos dentro do espectro dos canais de todas as bandas (USGS, 2013).

Em relação a resolução espacial, esta foi a única com poucas inovações com relação às imagens anteriores. As bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 9 possuem uma resolução de 30 metros; as bandas termais 10 e 11 possuem uma resolução de 100 metros; e a banda 8 (pancromática) possuem uma resolução de 15 metros (NASA, 2013).

Com a continuidade do programa Landsat será possível cruzar dados de mais de 40 anos, possibilitando análises temporais de grande valia, principalmente, em estudos ambientais. Nesta linha deve-se ressaltar a continuidade, por mais de vinte anos, dos programas NOAA/AVHRR e SPOT.

A Figura 01 ilustra a evolução do Sensoriamento Remoto nos últimos 20 anos, marcada por sistemas sensores cada vez mais confiáveis e temáticos, o que coloca em evidência que as tendências atuais no processamento de informações contribuem para o constante aumento de geoinformações.

Figura 01: Satélites lançados nos últimos 20 anos.



SISTEMAS DE SATÉLITES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPECTRAL

Sistemas Multiespectrais

Segundo Ehlers (2002) os sistemas multiespectrais são caracterizados por trabalharem com um número de bandas que varia de 2 a 20 bandas espectrais. No entanto, atualmente existem sensores que trabalham com 36 bandas, como é o caso do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA e Aqua.

Uma das vantagens de um grande número de bandas espectrais é o fato de tonar mais preciso o registro de respostas espectrais referentes às feições dos mais distintos alvos pesquisados. Isso porque, segundo Lillesand e Kiefer (2000) as sobreposições de feições espectrais diagnósticas de origens diferentes são passíveis de ocorrer de forma mais intensa em bandas espectrais largas, reduzindo a precisão desses instrumentos no registro de feições de elementos mais específicos.

A maioria dos sensores multiespectrais com resolução espacial de 10 a 30 metros trabalha com resoluções radiométricas de 8 bits, isso é, possui capacidade de discriminar até 256 valores de radiância por banda espectral. Já os sensores com alta resolução espacial, com tamanho de pixel de 1 metro, possuem resoluções radiométricas de 10 ou 11 bits (1024 ou 2048 valores digitais) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Revista de Geografia (UFPE) V. 32, No. 2, 2015

Neste trabalho, a título de exemplo serão abordados os sistemas sensores operacionais que, atualmente, mais produzem dados de sensoriamento remoto para análise da superfície terrestre. A Tabela 01, a seguir, apresenta uma visão geral dos satélites Landsat (7 e 8 - EUA) e Spot (4 e 5 - França).

Tabela 01: Especificação Técnica dos Satélites Landsat (7 e 8) e Spot (4 e 5).

EMPRESA	USGS - U.S. Geological Survey e NASA - National Aeronautics and Space Administration – E.UA.									
SATÉLITE	LAND	SAT 7 ETM+]	LANDSAT 8						
MODO	Pancromático MS +TER		Pancromático	MS +TERMAL						
LARGURA DA FAIXA	185 km	185 km	170 km	170 km						
N ° DE BANDAS	1	8 1 (OLI)		10 (OLI + TIRS)						
INTERVALO ESPECTRAL	520- 900nm	550-520nm (Az.) 530-610nm (Vermelho) 780-910nm (IV.p) 1570-1780nm (SWIR) 10420-12500nm (IV Term.) 2080-2350nm (IV. Méd.)	500-680nm	430-450 nm (Aerossol) 450-510 nm (Azul) 530-590 nm (Verde) 640-670 nm (Vermelho) 850-880 nm (IV.p) 1570-1650 nm (SWIR 1) 2110-2290 nm (SWIR 2) 1360-1380nm (Cirrus) 10600-11190nm (IV.p – TIRS 1) 11500-12510nm (IV.p – TIRS 2)						
RESOLUÇÃO ESPACIAL	15 m	30 m (60m no IV. Term.)	15 m	30 m OLI 100 TIRS						
QUANTIZAÇÃO	8 bit	8 bit	16 bit							
ÂNGULO DE VISADA	98.2°	98.2°	98.2°	98.2°						
REVISITA	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias						
ALTITUDE LANÇAMENTO	705 km 1997	705 km 1997	705 km 2013	705 km 2013						

EMPRESA SATÉLITE	CNES - Centre National d'Etudes Spatiales - França SPOT 4 SPOT5							
MODO	Pancromático HRVIR	Multiespectral HRVIR	Pancromático HRG	Multiespectral HRG				
LARGURA DA FAIXA	60 km	60km	60 km	60km				
N ° DE BANDAS	1	4	1	4				
INTERVALO ESPECTRAL	480-710nm	500-590 nm (verde) 610-680 nm (vermelho) 780-890nm (IV.p) 1580-1750nm (SWIR)	480-710nm	500-590 nm (verde) 610-680 nm (vermelho) 780-890nm (IV.p) 1580-1750nm (SWIR)				
RESOLUÇÃO ESPACIAL	10 m	20 m	2.5 m	10 m				
QUANTIZAÇÃO	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit				
ÂNGULO DE VISADA	Flexível (offnadir até 27°)	Flexível (offnadir até 27°)	Flexível (offnadir até 27°)	Flexível (offnadir até 27°)				
REVISITA ALTITUDE LANÇAMENTO	2 a 3 dias 832 km 1998	2 a 3 dias 832 km 1998	2 a 3 dias 832 km 2002	2 a 3 dias 832 km 2002				

Fonte: http://landsat.usgs.gov; www.spotimage.com.

Legenda:

OLI - Operacional Terra Imager TIRS - Thermal Infrared Sensor IV.p - Infravermelho próximo IV. Term. Irnfravermelho termal SWIR - Short Wave Infrared

Sistemas Hiperespectrais

Conforme Schowengerdt (2006), a análise de espectros obtidos por sensoriamento remoto de campo e/ou laboratório através de técnicas oriundas da espectroscopia de absorção permite fazer julgamentos sobre propriedades dos objetos presentes numa dada cena. Com o avanço da computação e dos sistemas sensores, surgiram novas possibilidades de manipulação no domínio espectral através do Sensoriamento Remoto, utilizando sensores de altíssima resolução espectral, que proporcionam para cada pixel (elemento de resolução espacial), medidas radiométricas em bandas estreitas e contínuas, disponibilizando grande quantidade de informações espectrais em seu domínio, com um nível de resolução mais próximo daquele verificado em espectrorradiômetros de campo ou de laboratório, facilitando o uso de abordagens mais específicas, que permitam quantificar alvos com maior nível de detalhamento espectral (CLARK, 1999).

O Sensoriamento Remoto hiperespectral ou espectroscopia de imageamento, como também é conhecido, envolve a utilização de sensores com um número elevado de bandas espectrais (dezenas a centenas) contíguas, cuja largura, normalmente, é da ordem de 10 nm (MENESES e ALMEIDA, 2012), e são obtidas, segundo o INPE (2006), com o objetivo de caracterizar a composição dos materiais com base na interação da radiação eletromagnética com a matéria. São utilizados para estudos de identificação e classificação de alta precisão, nomeadamente em mineralogia. De acordo com Arabi *et.al.* (2013), esses e outros sensores de alta resolução espectral discriminam mais classes de alvos na superfície e, consequentemente, pode-se obter um melhor entendimento sobre a natureza dos materiais que cobrem a superfície da Terra. Na área da agricultura esse tipo de dado vem sendo largamente empregado para detecção de culturas com stress podendo detectar as causas muito tempo antes que o agricultor possa perceber o problema a olho nu, como relatado trabalhos de Sadeck (2010).

Schowengerdt (2006) relata que na imagem multiespectral, a dimensão espectral é menor e de bandas espectrais mais largas, enquanto que a imagem hiperespectral tem relativa continuidade espectral, com bandas espectrais estreitas. A importância do uso de imagens fornecidas pelos sensores hiperespectrais está na possibilidade de discriminação de tipos de

cobertura da superfície terrestre, que possuem características espaciais e componentes estruturais extremamente complexos e por este motivo, definem feições impossíveis de serem determinadas em observações de imagens multiespectrais (duas a seis bandas espectrais). Isto pelo fato das imagens multiespectrais definirem amplos intervalos no espectro, os quais generalizam a resposta espectral e, consequentemente, descartam informações úteis para a detecção (Foster e Townsend, 2004).

Atualmente, estas imagens provêm de alguns satélites de âmbito experimental, como é o caso do sensor HYPERION (220 bandas espectrais), a bordo do satélite EO-1 (GARCÍA *et. al,* 2012) e pelo sensor AVIRIS (*Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer*) (EMBRAPA, 2013).

Lançado pela NASA, no ano 2000, o sensor Hyperion é o mais completo sensor em operação para caracterização de materiais superficiais devido a sua cobertura espectral na faixa entre o visível e o SWIR (0,4 a 2,4 mm), com 242 bandas de 10nm na largura da faixa, tendo uma resolução nominal de 30 m com uma profundidade radiométrica de 12 bit e uma resolução temporal de 16 dias (SOUZA, 2004). Segundo Sadeck (2010), mesmo tendo sido uma plataforma experimental e com a intenção de teste de validação e demonstração de novas tecnologias para a área de sensoriamento remoto hiperespectral, o Hyperion, continua até os dias atuais produzindo imagens de altíssima qualidade para a estação em terra.

Outro sensor hiperespectral que produz uma grande quantidade de dados é o AVIRIS (Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer), um sensor experimental aerotransportado, lançado em 1987, que faz parte da segunda geração de espectrômetros imageadores desenvolvido pelo JPL (Jet Propulsion Laboratory - NASA) para uso em sensoriamento remoto, com 224 bandas com uma largura média com cerca de 0,010mm e compreendidas entre 0,4mm e 2,5mm (JPL-NASA, 2010). Este sensor permite a obtenção de uma assinatura espectral contínua e detalhada para cada "pixel" de uma cena, com uma resolução espacial em torno de 20m. Tem como finalidade a utilização em várias áreas científicas, tais como botânica, geologia, hidrologia, oceanografia e ciência atmosférica.

SISTEMAS DE SATÉLITES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Nos últimos 20 anos, a evolução tecnológica do sensoriamento remoto, notadamente dos sensores orbitais, possibilitou a obtenção de imagens de satélites com alta resolução espacial.

Logo, as aplicações de sensoriamento remoto foram ampliadas para estudos de ambientes urbanos, uma vez que com imagens com resolução espacial de até 61 cm a análise mais detalhadas da cena. como casas, ruas, árvores se tornaram mais evidenciados, bem como possibilitaram uma evolução nos processos de geração e atualização de bases cartográficas.

Em relação à definição do que pode ser considerado como imagem de alta resolução espacial ainda não existe um consenso sobre o assunto e, nesse caso, adotaremos as definições propostas Bhatta (2010) que classifica as imagens menores que 0,5 metros como "extremamente-alta ou altíssima", "muito alta" aquelas maior que 0,5 metros até 1 metro e aquelas com resolução >1m a 4m como "alta".

Até 1999 o satélite indiano IRS-1 C/D era considerado de alta resolução espacial (5,8 metros pancromático e 23 metros multiespectral) (Blaschke e Kux, 2007). Mas, em setembro de 1999, com o lançamento do satélite Ikonos 2, o mercado de imagens de alta resolução sofreu uma enorme revolução: o Ikonos 2 passava a produzir imagens da superfície terrestre com 1 m de resolução espacial no modo pancromático e até 4 metros no modo multiespectral, passando a se tornar uma referência em aquisição de imagens com alta resolução espacial em todo o planeta (GARCIA *et. al.*,2012).

Não demorou muito para que a evolução da tecnologia orbital possibilitasse a obtenção de imagens com resolução ainda melhor. Em outubro de 2001, a empresa estadunidense Digital Globe colocou em órbita o satélite QuickBird 2, após o fracasso do lançamento do QuickBird 1, em novembro de 2000 (SILVA, 2007). Dentre as inovações do QuickBird 2 estão a obtenção de imagens com 0,61m de resolução espacial no modo pancromático (525-924 nm) e 2,44m no modo multiespectrais (447-874 nm), com faixa de varredura de 16,5 km no nadir (PINHEIRO, 2003). A partir de então, uma série de satélites foi lançada com resolução espacial melhor que 1m. As imagens obtidas por esses sistemas agilizam a atualização de bases cadastrais e quando associadas a outras fontes de dados, como mapas temáticos ou dados derivados de levantamentos, possibilitam o monitoramento de alterações em regiões urbanas, estudos de impermeabilização de solo prevenção de desastres, dentre outros.

Recentemente foi apresentado, ao mercado de imagens de alta e altíssima resolução espacial, os satélites Pléiades 1A e 1B, lançados em 17/12/2011 e 02/12/2012, respectivamente (SOUSA e DAAMEN, 2013a). Trata-se dos primeiros satélites europeus de altíssima resolução espacial para observação da Terra, desenvolvidos pela empresa francesa Astrium Service. Posicionados a 180° um do outro, eles giram na mesma órbita, quase polar e heliossíncrona, a

695 quilômetros de altitude, com tempo de revisita de dois dias, e produzem cenas com 20 km de largura. São satélites idênticos que operam com 5 (cinco) bandas, sendo 1 pancromática (480-830 nm), com 0,5m de resolução espacial, e 4 multiespectrais - 430–550 nm (azul); 490–610 nm (verde); 510–580 nm (verde); 600–720 nm (vermelho) e 750–950nm (infravermelho próximo), com 2m. As imagens possuem 12 bit de resolução radiométrica (ASTRIUM, 2013; LANDINFO,2013; e MAPING, 2013).

A constelação Pléiades 1A e 1B vai operar em conjunto com os satélites SPOT 6 e 7, oferecendo dados de alta resolução espacial em cobertura maiores (60km) para o mapeamento de vastas regiões.

O Spot 6, lançado em 9 de setembro de 2012, a partir do Centro Espacial Satish Dhawan, na Índia, é um satélite de imageamento óptico, situado a 694 km de altitude, capaz de produzir cenas com 60km de largura (SOUZA e DAAMEN, 2013b). Opera com 5 bandas espectrais, sendo uma pancromática 450-745nm, com resolução espacial de 1,50m, e 4 bandas multiespectrais 450-520 nm (azul); 530-590 nm (verde); 625-695 nm (vermelho) e 760-890 nm (infra vermelho próximo), com 8m. Juntamente com o SPOT 7 que apresenta características idênticas ao SPOT 6, e previsto para ser lançado em 2014, irá completar a constelação dos satélites franceses. Segundo Souza e Daamen (2013b), as constelações Pléiades 1A e 1B e Spot 6 e 7 serão posicionadas em pontos equidistantes na mesma órbita em torno da Terra, fazendo da empresa a primeira operadora do mundo capaz de oferecer uma gama completa de dados de observação da Terra com diferentes níveis de resolução (entre média e altíssima). Isso significa que, a partir de agora, todos os pontos do globo terrestre poderão ser visualizados em alta e altíssima resolução, diariamente.

Formada, atualmente, por 3 satélites a missão Kompsat inseriu a Coreia do Sul no cenário do sensoriamento remoto orbital de alta resolução (SATREC, 2013). Desenvolvido pela KARI – *Korean Aerospace Research Institute* – o primeiro satélite da série, o Kompsat 1, foi lançado em dezembro de 1997 permanecendo operante até 2006, foi projetado para atuar no monitoramento dos oceanos e capaz de gerar imagens em seis bandas espectrais (no intervalo de 0,4 a 0,9 μm), em cenas de 800 km e resolução espacial de 1 km (EMBRAPA, 2013).

Em julho de 2006 foi lançado o Kompsat 2, com o objetivo de dá continuidade ao programa de observação terrestre do Kompsat 1 bem como fornecer uma capacidade de vigilância de desastres de grande escala através da aquisição de imagens de alta resolução para aplicação de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (SATREC, 2013). Desenvolvido pela

KARI em parceria com a ELOP – Electro Opitcs Industries Ltd – e a KAI – Korean Aerospace Industry, leva a bordo o sensor ótico MSC. Posicionado em uma órbita sincrônica ao Sol a uma altitude de 685 km e com período de revisita de 28 dias, o Kompsat 2 opera com cinco bandas espectrais, sendo 1 pancromática (500-900nm) e 4 multiespectrais (450-900nm), produzindo imagens com resolução espacial de 1m e 4m respectivamente (SATREC, 2013).

Em Agosto de 2103 foi lançado o Kompsat 5, que leva a bordo um sensor SAR - Synthetic Aperture Radar (Radar de Abertura Sintética) de alta resolução que opera em 3 modos de aquisição 3m no modo padrão de imageamento (Standard mode imagery), 1m no modo Alta Resolução de imageamento (High resolution mode imagery) e 20m no modo de Faixa Larga (Wide swath mode imagery), com o objetivo de produzir imagens voltadas para estudos das condições atmosféricas (SATREC, 2013).

Desenvolvido pela NSPO (National Space Organization), de Taiwan, o FORMOSAT 2 é um satélite de imageamento terrestre de alta resolução espacial. Posicionado a uma altitude de 891 km de altitude, o satélite conta com uma câmera pancromática (2m) e quatro câmeras multiespectrais (8m), que cobrem uma faixa de 24km, com período de revisita diário. Suas imagens podem ser utilizadas em uma grande variedade de aplicações, como no uso da terra, agricultura e silvicultura, monitoramento ambiental, avaliação de desastres naturais e de apoio a interesses de investigação. Está previsto para o ano de 2014 o lançamento do FORMOSAT 5, com características idênticas ao FORMOSAT 2, com o objetivo de dá prosseguimento ao projeto.

Com o objetivo de fornecer dados de sensoriamente remoto à National Natural Resource Managemente System (NNRMS) bem como apoiar o desenvolvimento econômico da Índia, foram desenvolvidos pela ISRO – Indian Space Research Organisation, como parte da série IRS – Indian Remote Sensing, os satélites CARTOSAT 2 A e 2 B.

A série IRS faz parte da segunda geração de satélites indianos – a primeira teve inicio com os satélites Bhaskara 1 (1979) e Bhaskara 2 (1981) - com o lançamento do IRS-1C,na década de 1990, do século passado, e que levava a bordo sensores multiespectrais e pancromáticos, capazes de produzir imagens com alta resolução espacial (< 5m) além de um menor tempo de revisita que seus antecessores. Na época, o IRS-1C foi considerado o satélite mais avançado disponível no mercado de observação terrestre, tendo encerrado suas atividades em 2006, uma década após seu lançamento (ISRO, 2008a).

O 11° satélite da série IRS, lançado em 2005, foi chamado de CARTOSAT 1 (IRS-P5), carregando duas câmeras pancromáticas que produziam imagens de resolução espacial (2,5m) cobrindo uma faixa de aproximadamente 30km, e período de revisita correspondente a 5 dias, com aplicação direta na área de cartografia de precisão (ISRO, 2008a). Desde então, foram postos em órbita satélites idênticos, como o CARTOSAT 2(1997), o CARTOSAT 2A (2008) e o CARTOSAT 2B (2010), todos equipados com câmera pancromática de alta resolução espacial e revisita diária. As imagens produzidas, geralmente, tem como finalidade a elaboração de mapas detalhados de áreas florestais e estudos ambientais (ISRO, 2008b).

O CARTOSAT 2A, lançado em 2008, é um satélite militar, que surgiu da necessidade de melhorias de seu antecessor civil, o CARTOSAT2, com a finalidade de monitorar os lançamentos de mísseis do Paquistão e da China, usando imagens de alta qualidade (ISRO, 2008b). O CARTOSAT 2A está posicionado a 637 km de altitude em uma órbita polar sincrônica, levando a bordo uma câmera pancromática (500 – 850 nm) capaz de produzir imagens de alta resolução espacial – 0,8m – em uma faixa de 9,6 km com período de revisita de 4 dias. Além da câmera pancromática, foi transporta o sensor Radar de Abertura Sintética (SAR) para capturar imagens da terra através de nuvens e chuva (ISRO, 2008b).

O CARTOSAT 2B, lançado em julho de 2010, é um satélite idêntico ao CARTOSAT 2A (ISRO, 2008b). Foi projetado para aumentar a detecção remota de serviços de dados para os usuários de imagens de múltiplos pontos da cena (ISRO, 2008b).

As imagens produzidas pelo CARTOSAT 2A e CARTOSAT 2B, além das aplicações militares, tem sido utilizadas para avaliação de recursos naturais, mapeamento cadastral e urbano, transporte, elaboração de mapas de grande escala cartográfica, elaboração de desenvolvimento das bacias hidrográficas dentre outros (ENGESAT, 2013).

Em agosto de 2008, numa ação pioneira, a empresa alemã RapidEye lançou de uma só vez, em um único foguete, 5 satélites idênticos (KEPLER, 2011). Os satélites RapidEye foram construídos pela empresa britânica Survey Satellite Technology Ltd. (SSTL). Posicionados a 634km de altitude, em orbita sincrônica com o Sol, cada satélite carrega a bordo um sensor multiespectral do tipo *pushbroom* (varredura eletrônica), denominado REIS (RapidEye Earth Imaging System), com 5 bandas (440-850nm), com uma faixa imageada de 77km de largura e resolução espacial de 6,5m sendo que após processo de ortorretificação podem chegar a 5m (FELIX *et.al.*, 2009, KEPLER, 2011 e SILVA, 2011). Os satélites podem imagear qualquer

ponto do globo diariamente (off-nadir), cobrindo uma área total imageada de 4.000.000km2/por dia (SILVA, 2012).

Segundo Felix *et.al.* (2009), o RapidEye é o primeiro sensor orbital a ter uma banda espectral do *RED EDGE*, situada numa faixa do espectro eletromagnético que tem alta correlação com a fluorescência da clorofila, ela é específica para o monitoramento da atividade fotossintética da vegetação, o que permite discriminar diferentes tipos de vegetação, bem como avaliar a fitossanidade e a ocorrência de processos de eutrofização em reservatórios de água. Além dos estudos de vegetação, os produtos RapidEye também podem ser empregados para estudos agrícolas, energia e para atualização de bases cartográficas.

Depois de muitos anos usando dados de sensoriamento remote de sistemas sensores estrangeiros, a Tailândia decidiu ter seu próprio satélite para observação terrestre: o THEOS - THAILAND EARTH OBSERVATION SYSTEM (KAEWMANEE *et. al.*, 2007). Desenvolvido em parceria com a European Aeronautic Defence and Space Company – Astrium (EADS Astrium SAS), na França, e administrado pela Agência de Geo-Informática e Tecnologia Espacial – GISTDA, de Bangkok, foi lançado em dezembro de 2008 (EMBRAPA, 2013 e TECHAVIJIT, 2011).

O Theos opera com um sensor pancromático com uma banda (0.450-0.900nm) de 2m de resolução espacial, com uma faixa imageada de 22km, e um sensor multiespectral com 4 bandas (0.450-0.900nm), sendo uma delas no infravermelho próximo (0,770-0,900), com 15m de resolução espacial e faixa imageada de 90km (KAEWMANEE *et.al.*, 2007). Segundo a EMBRAPA (2013) a capacidade de tomada de cenas oblíquas do THEOS permite imagear qualquer área numa faixa de 1.000 km utilizando ângulos de tomada de 30° off-nadir. Operando em uma orbita sincrônica ao Sol, seu período de revisita é de 26 dias. Embora ele tenha sido construído para as necessidades específicas da Tailândia, é capaz de produzir, também, imagens de todo o globo, que podem ser aplicados para o uso em cartografia, monitoramento da agricultura, manejo florestal, monitoramento da zona costeira e manejo do risco de enchentes.

O primeiro satélite brasileiro de observação terrestre foi criado em julho de 1988, a partir de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). O programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) objetivava, inicialmente, o desenvolvimento de um programa de construção de dois satélites avançados de sensoriamento remoto (FLORENZANO, 2011). Já foram lançados, com êxito, três satélites: o CBERS-1

(lançado em 1999 e inativo desde 2003), o CBERS-2 (lançado em 2003 e inativo desde 15 de Janeiro de 2009, período em que produziu 175 mil imagens) e CBERS-2B (lançado em 2007 e operante até o início de 2010). (EMBRAPA, 2013).

Segundo INPE (2011), o CBERS foi projetado para transportar câmeras ópticas e um sistema de coleta de dados ambientais. O CBERS-2B inovou em relação aos seus antecessores por incluir em sua carga-útil o sensor HRC que forneceu imagens com resolução espacial de 2,7 metros. Devido ao sucesso das missões anteriores, em 2002 foi assinado um novo acordo que previa a construção de dois novos satélites com características idênticas: o CBERS-3 e CBERS-4, previstos para serem lançados em 2013 e 2014 (EPIPHANIO, 2011). Os satélites CBERS-3 e 4 representam uma evolução em relação aos satélites CBERS-1, 2 e 2B. Nele, serão utilizadas no módulo de carga-útil quatro câmeras (Câmera Pancromática e Multiespectral – PAN, com 5m e 10m espacial respectivamente, Câmera Multiespectral Regular – MUX, com 20m, Imageador Multiespectral e Termal - IRS, com 40m, e a Câmera de Campo Largo – WFI, com 64m) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados. A órbita dos dois satélites será a mesma que a dos CBERS-1, 2 e 2B (EPIPHANIO, 2011).

No dia 09/12/2013 aconteceu o lançamento ao espaço do CBERS-3, mas houve uma falha no funcionamento do veículo lançador – o foguete Longa Marcha 4 – durante o voo, e consequentemente, o satélite não foi posicionado na órbita prevista. Para assegurar o cumprimento dos objetivos do programa CBERS, Brasil e China concordaram em iniciar imediatamente discussões técnicas visando a antecipação da montagem e lançamento do CBERS-4, prevista para o final de 2014 (INPE, 2013).

A tabela 2, apresentada no final do texto, apresenta uma visão geral dos principais satélites de alta resolução.

SATÉLITES COM SISTEMAS SENSORES ATIVOS

Segundo Moraes (2008), os sensores ativos são aqueles que possuem uma fonte própria de energia eletromagnética, esta é emitida para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte da energia que estes refletem na direção do sensor. Como exemplo, podemos citar o RADAR - Radio Detection And Ranging - e qualquer câmara fotográfica com *flash*.

O Radar é um sistema sensor ativo que opera na faixa espectral de radio ou de microondas - de 2,4 cm a 100 cm – (tabela 03) uma vez que, segundo Meneses *et.al.* (2012), o Sol e a Terra emitem baixíssima quantidade de radiação eletromagnética nessa região espectral. O princípio de funcionamento do radar consiste na emissão de pulso de micro-ondas e registro do

sinal de retorno. O registro da energia refletida, após a interação do sinal com os alvos da superfície terrestre, contém duas grandezas distintas: o tempo de retorno e a intensidade do sinal (MOREIRA *et.al.*, 2008).

BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA	FREQUÊNCIA MHZ
	(cm)	
ka	0,75 - 1,10	40000 - 26500
K	1,10-1,67	26500 - 18000
Ku	1,67-2,40	18000 - 12500
X	2,40 - 3,75	12500 - 8000
С	3,75 – 7,50	8000 – 4000
S	7,50 – 15	4000 - 2000
L	15 – 30	2000 - 1000
P	30 – 100	1000 - 300

Tabela 03. Bandas espectrais dos sensores ativos. Adaptado de Moreira et.al. (2008).

Ainda segundo Moreira *et.al.* (2008), "o tempo de retorno refere-se diretamente à distância entre o alvo e a fonte (antena) emissora. Este parâmetro foi e está sendo largamente utilizado para mensuração de distância e azimute em radares convencionais, por exemplo, na determinação e posicionamento de aeronaves em aeroportos e em espaços aéreos determinados". A intensidade do sinal está intimamente relacionada ao sensoriamento remoto. Neste caso, o sinal é associado a um nível de cinza registrado na imagem, que por sua vez, é proporcional à intensidade do sinal recebido na antena.

Os sistemas radares podem ainda ser agrupados em imageadores e não-imageadores (RODRIGUES, 2013). Os imageadores compreendem os sistemas de antena rotativa, os radares de abertura real (SLAR-RAR, Real Aperture Radar) e os do tipo abertura sintética (SLAR-SAR). Os não-imageadores compreendem os escaterômetros, os altímetros e os espectrômetros.

Segundo Florenzano (2011), a era das imagens radares orbitais teve início com 1978 com o programa Seasat, desenvolvido pela NASA, cujo objetivo era desenvolver estudos oceanográficos e meteorológicos. O Seasat-1 foi o primeiro a transportar um Satélite de Abertura Sintética (SAR). A partir dos anos 90, do século passado, foram lançados outros programas, tais como o ERS-1 (Eurpean Remote Sensing), que, assim como os satélites ERS-2 (lançado em 1995), o JERS-1 (lançado e 1992), o ENVISAT (Environmental Satellite, da Agência Espacial Europeia, lançado em 2002), e mais recentemente o ALOS (lançado em 2006) e o RADARSAT-2 (2007) que produzem uma infinidade de imagens que tem sido aplicada para estudos florestais, oceanográficos, de produção agrícola dentre outros (EMBAPA, 2013).

Nos dias atuais a tecnologia mais utilizada para todos os sistemas radares aerotransportados ou orbitais é o Radar de Abertura Sintética – SAR – que emprega uma antena de tamanho físico pequeno que sintetiza uma antena de tamanho de centenas de metros (MENESES e ALMEIDA, 2012). Sua principal vantagem, quando comparado aos outros sensores ópticos e termais, é que o grande comprimento de onda não sofre interferências das micrométricas partículas ou gases atmosféricos, o que permite a obtenção de imagens mesmo em dias nublados, a qualquer hora do dia ou da noite. Além disso, o SAR é o único sensor capaz de penetrar no dossel das árvores, o que é, particularmente, importante em regiões como a Amazônia (FERREIRA *et. al.*, 2008).

Segundo Gama (2007), Os SARs ainda permitem a interferometria, que "consiste na interação dos ecos recebidos por duas ou mais antenas, separadas no espaço por uma distância conveniente, denominada Linha-base ou *baseline*, e cujas posições sejam conhecidas, o que permite a geração de modelo de elevação de terreno", e, também, conforme afirma Rodrigues (2013), possibilitam a obtenção da assinatura polarimétrica de um objeto, técnica relacionada à aquisição, processamento e análise do estado de polarização de um campo eletromagnético resultante da interação do sinal de micro-ondas emitido e detectado pelo Radar com os alvos na superfície da Terra que pode ser utilizada para a classificação de imagens e caracterização de alvos. Dentre os principais SARs podemos citar o ENVISAT, ALOS e o RADARSAT-2.

Em janeiro de 2006 foi lançado pela Agência Japonesa de Exploração Espacial (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA) o satélite ALOS. Com o objetivo de fornecer dados para pesquisas científicas aplicadas na área de sensoriamento remoto, estudos ambientais e monitoramento de desastres e recursos ambientais, o satélite esteve em operação até maio de 2011 (EMBRAPA, 2013). Operando em uma órbita sincrônica ao Sol a uma altitude de 692km e com período de revista de 46 dias, o ALOS levava a bordo 3 sensores: o PRISM (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping) capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; o radiômetro multiespectral AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2) voltado aos mapeamentos de uso e cobertura das terras e o sensor de micro-ondas PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. Segundo a JAXA (2013) estava previsto para 2013 o lançamento do ALOS-2, satélite com poucas melhorias em relação ao seu antecessor, o que não aconteceu até o início de 2014.

Segundo EMBRAPA (2013), o programa canadense RADARSAT teve início com o lançamento, em dezembro de 1995, do satélite de observação terrestre RADARSAT-1, com o objetivo de monitorar mudanças ambientais e recursos naturais. O sensor SAR levado a bordo opera na banda C, sendo capaz de cobrir toda superfície terrestre com imagens de 8m de resolução espacial (EMBRAPA, 2013).

Em dezembro de 2007 a Agência Espacial Canadense (Canadian Space Agency – CSA) em parceria com a empresa MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) lançou o segundo satélite do programa, o RADARSAT-2 (CSA, 2011). Este trouxe algumas melhorias em relação ao seu antecessor, dentre elas: o aumento na resolução espacial para 3m; diferentes modos de polarização; melhor controle de órbita e etc. O Radarsat-2 tem um período de revisita de 24 dias, orbitando a uma altitude de 798 km (RODRIGUES, 2013; CSA, 2011 e STEPHEN e STPALES, 2005). Seus produtos podem ser empregados para o monitoramento ambiental, estudos oceanográficos e agrícolas, recursos florestais, ecologia e etc.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde o lançamento do projeto Landsat, nos anos 70 do século XX, o Sensoriamento Remoto passou pelo desenvolvimento de sensores micro-ondas, sensores de alta resolução espacial, sensores hiperespectrais e também os sensores de alta resolução temporal, sendo hoje predominante orbital. No entanto, podemos afirmar que as mais significativas evoluções, neste período, foi o advento das imagens de altíssima resolução espacial com o Ikonos (1999) e o software Google Earth (2005), respectivamente. Este, juntamente com outras iniciativas desenvolvidas em diversas partes do planeta, a exemplo do INPE, no Brasil, tem contribuído de modo significativo na popularização das imagens de sensoriamento remoto. Desde o seu lançamento, em 2005, mais de 1 bilhão de pessoas (número alcançado em 2011) já tiveram acesso às imagens do software Google Earth, enquanto que o INPE já disponibilizou, gratuitamente, mais 300.000 imagens de satélites. Nesse sentido, deve-se também resaltar que o barateamento das imagens, nas últimas duas décadas, bem como o advento sensoriamento remoto de alta resolução espacial, despertaram a curiosidade das pessoas por imagens de satélite, atraindo um público cada vez mais diversificado, quanto a sua formação e área de atuação profissional e distintas faixas etárias.

Com o lançamento do Ikonos1, em 1999, com 1metro de resolução espacial, e em 2012 do Pléiades 1A e 1B, com resolução espacial de 0,50metros, cresce a expectativa neste

segmento de que, em um futuro muito próximo, teremos o desenvolvimento e o lançamento de sensores capazes de produzir imagens com resolução cada vez melhor. Nos últimos 13 anos, deste século, já foram lançados seis novos satélites de altíssima resolução espacial (menor que 1m), produzindo imagens com custo médio de U\$S 15,00 o km2, aumentando, dessa forma, a oferta de imagens nesse segmento. Acredita-se que a partir das parcerias firmadas entre empresas estatais e privadas, no mundo inteiro, haja uma também redução ainda maior no preço das imagens de satélite, o que as tornaria ainda mais acessível.

Nos últimos anos, diversos países, entre os quais Brasil, China, EUA, França e Índia, lançaram satélites de alta resolução espacial, hiperespectral e temporal. No caso do Brasil, após o fracasso do lançamento do CBERS-3, em 2014, está previsto para o final do mesmo ano, ou início de 2015, o lançamento do CBERS-4, o que garantirá a continuidade do programa Sinobrasileira de observação terrestre. Desse modo, dispomos, nos dias atuais, de grande quantidade de dados para entendermos e quantificarmos os mais variados fenômenos e aspectos da superfície terrestre, e que produzem novos desafios e possibilidades. Dentre os novos desafios advindos desta evolução o maior deles, talvez seja o de preparar técnicos especializados para lidar com uma quantidade de dados de sensoriamento remoto cada vez maior. E nesse sentido, se fez necessário buscar alternativas para disseminar o sensoriamento remoto e seus produtos nas escolas, entre os professores e, sobretudo, estudantes do ensino básico.

Em todos os níveis de ensino, desde o fundamental até o médio, a utilização de fotografias aéreas e de imagens de satélite pode representar um grande avanço no sentido de implementar uma melhoria na qualidade do ensino como um todo, e em especial na Geografia, na medida em que se mostra capaz de imprimir o dinamismo necessário ao estudo do espaço geográfico e capaz, ainda, de solucionar um dos grandes problemas em que se esbarra o ensino da Geografia que é a falta de experiência dos alunos diante de situações que requeiram um grau acentuado de abstração como o estudo através de mapas, bem como, será possível estimular a formação e o surgimento de novos cientistas e técnicos no estudo e aplicação do sensoriamento remoto, no Brasil. Logo, percebe-se que os sensores remotos possuem grande potencial como recurso didático para estudos geográficos, visto que auxiliam o professor a trazer a realidade local para a sala de aula.

REFERENCIAS

ASTRIUM. Pléiades Satellite Imagery: The very-high-resolution constellation. 2014. Disponível em: http://www2.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r61_9_geo_011_pleiades_en_low.pdf. Acesso em 24/09/2013.

ARABI, S. Y. W., PIZZARO, M. A.; PINHO, M. da S. e FERNANDES, D. Classificação de espectros de dados hiperespectrais pelo método de sequência típica e modelo oculto de Markov. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. INPE.

BHATTA, B. Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data. Springer, 2010.

BLASCHKE, T., & KUX, H. Sensoriamento remoto e SIG avançados (2ª Edição ed.). São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2007.

CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ A. N. Remote Sensing for the Earth sciences. New York: John Wiley & Sons, v. 3, n.1, p. 3-59, 1999.

COLWELL, R.N. Manual of Remote Sensing. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry, 1983.

CSA – Canadian Space Agency. Radarsat-2. 2011. Disponível em: http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/. Acesso em 08/01/2014.

EHLERS, M. Remote sensing for evironmental monitoring, GIS applications and geology, Proceedings of SPIE, v.4545, Bellingham, 330 p., 2002.

EMBRAPA – Monitoramento por satélite. KOMPSAT - Korea Multipurpose Satellite. http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_kompsat.php. Acesso em 06/01/2014.

Campinas - SP. 2013.

_____. THEOS - Thailand Earth Observation Satellite. Disponível em: http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_theos.php. Acesso em 07/01/2014. Campinas - SP. 2013.

ENGESAT. Cartosat 2 e Cartosat 2A: Ficha técnica resumida. Disponível em: http://www.engesat.com.br/index.php?system=news&news_id=711&action=read. Acesso em 26/11/2013.

EPIPHANIO, J. C. N. CBERS-3/4: características e potencialidades. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, 2011. Disponível em http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1222.pdf. Acesso em 20/10/2013.

ESA — Earthnet Online. FORMOSAT2. Disponível em: https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/formosat-2. Acesso em 06/01/2014. 2013.

- FELIX, I. M., KAZMIERCZAK, M. L. e ESPINDOLA, G. M. de. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7619-7622.
- FERREIRA, Norma S.A. Pesquisa em Leitura: um estudo dos resumos de dissertações de mestrado e teses de doutorado defendidas no Brasil, de 1980 a 1995. Campinas, SP, Faculdade de Educação, UNICAMP, 1999, tese de doutorado.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. e FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. Acta Scientiarum. Biological Sciences. Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008. Disponível em: http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/5868/3661. Acesso em 20/11/2013.
- FILHO. C. R. de S. Sensoriamento Remoto Hiperespectral. Disponível em: http://mundogeo.com/blog/2004/08/23/sensoriamento-remoto-hiperespectral/. Acesso em 20/10/2013. São Paulo. 2004.
- FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3ª Edição: ampliada e atualizada. Oficina de Textos. São Paulo, 2011.
- FOSTER J. R.; TOWNSEND P. A. Linking hyperspectral imagery and forest inventories for forest Assessment in the central Appalachians. Proceedings. 14th Central Hardwood Forest Conference. p. 76-86, mar. 2004.
- GAMA, F. F. Estudo da interferometria e polarimetria SAR em povoamentos florestais de eucalyptus SP. Dissertação de mestrado. São José dos Campos: INPE 2007. 242 p. Disponível em: http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-17@80/2007/04.04.12.36/doc/publicacao.pdf. Acesso em 06/01/2014.
- GARCÍA M. L.; BRONDO, J. A. e M. A. PÉREZ, Satélites para detecção remota aplicada à Gestão Territorial. Tradução: Artur Gil. Universidade dos Açores Portugal, 2012. Disponível em http://andersonmedeiros.com/e-book-sensoriamento-remoto-para-gestaoterritorial/. Acesso em 14 de maio 2013.
- GOOGLE. Por dentro do Google Earth. 2013. Disponível em: https://support.google.com/earth/answer/148176?topic=2376018&ctx=topic. Acesso em 20/10/2013.
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sensoriamento Remoto Multi e Hiperespectral aplicado à Geologia. Porto de Alegre, 2006. Disponível em: http://www.ufrgs.br/leaa/arquivos/aulas/SERP06/Porto_Alegre3_2006.pdf. Acesso em 05/02/2013.
- _____. Descrição do CBERS 1, 2 e 2B. São José dos Campos, 2011. Disponível em http://www.cbers.inpe.br/noticia.php?Cod_Noticia=3471. Acesso em 09/12/2013.
- _____. Lançamento do CBERS-3. São José dos Campos, 2013. Disponível em http://www.cbers.inpe.br/noticia.php?Cod_Noticia=3471. Acesso em 09/12/2013.
- ISRO Indian Space Research Organization. Satellites. Disponível em: http://www.isro.org/satellites. Acesso em 07/08/2013.

- _____. Cartosat-1. 2008a. http://www.isro.org/satellites/cartosat-1.aspx. Acesso em 26/11/2013.
- _____. Cartosat-2B. 2008b. Disponível em: http://www.isro.org/pslv-c15/pdf/CARTOSAT2B-brochure.pdf. Acesso em 26/11/2013.
- JAXA Japan Aerospace Exploration Agency. ALOS-2: The Advanced Land Observing Satellite-2 "DAICHI-2". 2013. http://www.jaxa.jp/pr/brochure/pdf/04/sat29.pdf. Acesso em 10/01/2014.
- JPL Jet Propulsion Laboratory. Avirs Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer: General overview. 2010. Disponível em: http://aviris.jpl.nasa.gov/aviris/index.html. Acesso em 16/01/2014.
- KAEWMANEE, M., CHOOMNOOMMANEE, T. e FRAISSE, R. Thailand earth observation system: mission and products. Disponível em: http://isprs.free.fr/documents/Papers/T04-16.pdf. Acesso em 07/01/2014. 2007.
- KALAF. R.; Brasileiro, R.; Cardoso, P. V. e Cruz, C. B. M. Landsat 8: Avanços para mapeamento em mesoescala. 4º Congresso Brasileiro de Geoprocessamento. 2ª JGEOTEC Jornada de Geotecnologias. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em http://www.cartografia.org.br/cbg/trabalhos/90/51/resumo-geotec-roberta-raissa-1374611841.pdf. Acesso em 20/10/2013.
- KEPLER, AMS. RapidEye Info. 2011. Disponível em: http://www.amskepler.com/rapideye-info/. Acesso em 16/12/2013.
- LANDINFO. Pléiades High-Resolution Satellite Imagery. Disponível em: http://www.landinfo.com/pleiades-satellite-imagery.htm. Acesso em 24/09/2013.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. 2a Edition. New York. John Wiley& Sons. 2000. 721p. Forestry, Lake Buena Vista, Florida. 2000.
- LOCH, C. A Interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais. 5ª edição revista e atualizada. Ed. da UFSC, 2008.
- LUCHIARI, A; KAWAKUBO, F.S; MORATO, R.G. Aplicações do Sensoriamento Remoto na Geografia. In: VENTURI, L.A.B. (org) Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 33-54.
- MAPING. A. PLÉIADES 1. Disponível em: http://apollomapping.com/imagery/high-resolution-imagery/pleiades-1a-1b?gclid=CPDytJydnLkCFUXhQgodDkkA3Q. Acesso em: 25/09/2013.
- MENESES, P. R. e ALMEIDA T. de,. Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília UNB. Brasília. 2012. Disponível em http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8. Acesso em 24/07/2013.
- MORAES, E. C. Fundamentos do Sensoriamento Remoto Formação continuada de professores: curso astronáutica e ciências do Espaço. INPE. São José dos Campos. 2008.

- MOREIRA. M. A. Satélites e história do Sensoriamento remoto. Formação continuada de professores: curso astronáutica e ciências do Espaço. INPE. São José dos Campos. 2008.
- _____. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 4° Ed. Editora da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2012.
- MOREIRA, R. Gráficos Dinâmicos Associados a Sistemas de Classificação Supervisionada de Imagens, dissertação de mestrado, IME. 1994.
- NASA National Aeronautics and Space Administration. Seasat 1. 2013. Disponível em: http://science.nasa.gov/missions/seasat-1. Acesso em 16/01/2014.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2010.
- PINHEIRO, E. da. S. Imagens com alta resolução espacial: novas Perpectivas para o sensoriamento remoto. Espaço & Geografia, Vol.6, No 1 (2003), 43:64. Disponível em:
- http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/viewFile/11 0/108. Acesso em 26/03/2014.
- RODRIGUES, T. Radar orbital: saiba tudo sobre esta fonte de dados. 2013. Disponível em: http://mundogeoconnect.com/2013/arquivos/palestras/20_jun-f-thiago-rodrigues.pdf. Acesso em 08/01/2014.
- ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto, 4a. Edição. Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia. 2001. 210p.
- SADECK. Hyperion. Disponível em: http://geotecnologias.wordpress.com/2010/11/23/hyperion/. Acesso em 20/10/2013. São Paulo. 2010.
- SARAIVA, M. de F. O.; SARAIVA, K. de S. O. e MÜLLER, A. M. Teoria da Radiação. Disponível em http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aularad.htm. Acesso em 28/11/2013. FURGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.
- SATREC Satrec Initiative, 2013. Kompsat satellite Information. Disponível em: http://kompsat.satreci.com/ds2_4_1.html. Acesso em 16/12/2013.
- SCHOWENGERDT, R. A. Remote Sensing: models and methods for image processing. v.3. London: Academic Press, 2006.
- SILVA, P. H. A. da. Processamento Digital de Imagens: Demandas, Soluções e Desafios. 2011. Disponível em: http://mundogeoconnect.com/2011/arquivos/palestras/paulo_henrique_amorim_da_silva-processamento_digital_de_imagens_demandas_solucoes_desafios.pdf. Acesso em 16/12/2012.
- SILVA, R. R. da. Aplicação de imagens orbitais de alta resolução espacial no cadastro técnico rural multifinalitário. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007. Disponível em: http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_RaquelRadde.pdf. Acesso em 15/02/2014.

Revista de Geografia (UFPE) V. 32, No. 2, 2015

SOUSA, E. e DAAMEN, M. L. J. Pléiades, o novo satélite de altíssima resolução da Astrium e suas aplicações. 2013b. Disponível em: http://mundogeo.com/webinar/pleiades/Pleiades_O_Novo%20Sensor_de%20Altssima%2 0Resolucao_da_Astrium.pdf. Acesso em 24/09/2013.

_____. SPOT 6: o novo sensor de alta resolução da Astrium. 2013a. Disponível em: http://mundogeo.com/webinar/spot6/. Acesso em 30/05/2013.

SPOTIMAGE, Formosat 2 – capacidade de revisita diaria y alta resolución. 2009. Disponível em: http://www2.astriumgeo.com/files/pmedia/public/r2931_9_formosat2_product_sheet_es.pdf. Acesso em 06/01/2014.

STEPHENS, K. e STAPLES, G. C. Radarsat-2 avança. 2005. Disponível em: http://mundogeo.com/blog/2005/06/30/radarsat-2-avanca/. Acesso em 08/01/2014.

TECHAVIJIT, P. GNSS Education and tranning programa in Thailand. In: Workshop on the Applications of GNSS Dubai, United Arab Emirates. 2011. Disponível em: http://www.oosa.unvienna.org/pdf/sap/2011/UAE/Presentations/28.pdf. Acesso em 07/01/2014.

USGS - United States Geological Survey. Landsat Project Description. 2013. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php. Acesso em 20/10/2013.

Tabela 02: Satélites de alta resolução espacial.

EMPRESA SATÉLITE MODO		a - EADS S 1 A e 1 B Multiespectral	Digital Globe QUICKBIRD 2 Pancromático Multiespectral		Space Imaging IKONOS 2 Pancromático Multiespectral		Astrium - EADS SPOT 6 e 7* Pancromático
LARGURA ESPECTRAL	20km	20km	16,5km	16,5km	11,3km	11,3km	60km
N° DE BANDAS INTERVALO	1	4	1	4	1	4	1
ESPECTRAL (nm)	470-830	430-940	445-900	450-900	526-929	445-853	450-745
RESOLUÇÃO ESPACIAL	0,50m	2m	0,61m	2,44m	0,82m	3,28m	1,50m
QUANTIZAÇÃO	16 bit	16 bit	11 bit	11 bit	11 bit	11 bit	12 bit
ÂNGULO VISADA	Flexível (offnadir até 47°)	Flexível (offnadir até 47°)	Flexível (offnadir até 25°)	Flexível (offnadir até 25°)	Flexível (offnadir até 60°)	Flexível (offnadir até 60°)	Flexível (offnadir até 30°)
REVISITA ALTITUDE	2 dias 694 km	2 dias 694 km	3 a 7 dias 450 km	1 a 3,5 dias 450 km	3 dias 681 km	3 dias 681 km	1 a 5 dias 694 km
LANÇAMENTO	2011	2012	2001	2001	1999	1999	2012 – * previsto 2014

EMPRESA	Digital Globe	Digital Globe		Orbimage e Space imaging		ISRO – Indian Space Research Organization	
SATÉLITE	WORLD VIEW 1	WORLD	WORLD VIEW 2		GEOEYE 2		CARTOSAT 2B
MODO	Pancromático	Pancromático	Multiespectral	Pancromático	Multiespectral	Pancromático	Pancromático
LARGURA DE FAIXA	17,6 km	16,4km	16,4km	14,5 km	14,5 km	9,6km	9,6km
N° DE BANDAS	1	1	8	1	8	1	1
INTERVALO	400-900	450-800	400-1040	450-900	450-900	500-850	500-850

290

Borges et al., 2015

ESPECTRAL							
(nm) ~							
RESOLUÇÃO	0,45m	0,46m	1,8m	0,30 m	1,36 m	< 1m	0,8m
ESPACIAL	,	1111	,	,	,	1014	ř
QUANTIZAÇÃO	11 bit	11 bit	11 bit	11 bit	11 bit	10 bit	10 bit
ÂNGULO	Flexível	Flexível	Flexível	Flexível	Flexível		
VISADA	(offnadir até 45°)	(offnadir até 20°)	(offnadir até 20°)	(offnadir até 60°)	(offnadir até 60°)	97.7°	97.7°
REVISITA	1 a 7 dias	1,1 a 3,7 dias	1,1 a 3,7 dias	3 dias	3 dias	4 dias	4 dias
· · · -		<i>'</i>	<i>'</i>				
ALTITUDE	496 km	770 km	770 km	681 km	681 km	637 km 2008	637 km
LANÇAMENTO	2007	20	2009		2013 (previsão)		2010

EMPRESA SATÉLITE	Korean Aeros Inst	ARI pace Research itute PSAT 2	KARI Korean Aerospace Research Institute KOMPSAT 5		NSPO National Space Organization Taiwan FORMOSAT 2		NSPO National Space Organization Taiwan FORMOSAT 5	
МОДО	Pancromático	Multiespectra l	Radar High Resolutio n mode SAR	Standar d mode SAR	Pancromátic o	Multiespectra l	Pancromátic o	Multiespectra l
LARGURA DE FAIXA	15 km	15 km	5 km	30 km	24 km	24 km	15 km	15 km
N° DE BANDAS	1	4	-	-	1	4	1	4
INTERVALO ESPECTRAL (nm)	450-900	450-900	-	-	450-900	450-900	-	-
RESOLUÇÃO ESPACIAL	1 m	4 m	1	3	2 m	8 m	2 m	4 m
QUANTIZAÇÃO	10 bit	10 bit	-	-	11 bit	12 bit	11 bit	12 bit
ÂNGULO VISADA	98.1°	98.1°	97.6°	97.6°	94.14°	94.14°	98.2°	98.2°

Revista de Geografia (UFPE) V. 32, No. 2, 2015

28 dias

1 dia

2007

1 dia

previsão

1 dia

1 dia

2014 previsão

28 dias

ALTITUDE LANÇAMENTO	685 km 2006	685 km 2006		km 891 km 13 2004	891 km 2004	720 km 720 km Previsão 2014
LANÇAMENTO	2000	2000	2013 20	2004	2004	Tievisao 2014
EMPRESA	GISTDA – Geo-Informatics and Space Technology Development Agency		CAST – China Academy Space Technology INPE – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais		CAST – China Academy Space Technology INPE – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais	
SATÉLITE	TH	EOS	CI	BERS 2		CBERS 4
MODO	Pancromático	Multiespectral	Pancromátic	o Multiespectral	Pancromático PANMUX	Multiespectral MUXCAN
LARGURA DE FAIXA	22 km	90 km	27 km	113 km	60 km	120 km
N° DE BANDAS	1	4	1	4	1	4
INTERVALO ESPECTRAL	450-900nm	450-900nm	500-800nm	450-730nm	510-850nm	450-890nm
RESOLUÇÃO ESPACIAL	2 m	15 m	2.5 m	20 m	5 a10 m	20 m
QUANTIZAÇÃO	8 bit	12 bit	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit
ÂNGULO VISADA	Flexível (offnadir até 35°)	Flexível (offnadir até 35°)	98.2°	98.2°	98.5°	98.5°
REVISITA	1 a 5 dias	1 a 5 dias	26 dias	26 dias	5 dias	26 dias
ALTITUDE	822 km	822 km	778 km	778 km	778 km	778 km
LANCAMENTO	2007	2007	2007	2007	2014	2014 previção

FONTE: www.isro.org, http://www.astrium-geo.com; http://www.nspo.org.tw,

2007

 $\underline{http://www.gistda.or.th/gistda\ n/en/;\ \underline{http://www.cbers.inpe.br}}$

2007

28 dias

28 dias

2007

REVISITA

LANÇAMENTO