

SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: PRINCÍPIOS FÍSICOS, SENSORES E MÉTODOS.

Remote sensing in vegetation study: physical principles, sensors and methods.

Detección remota el estudio de la vegetación: principios físicos, sensores y métodos.

Jânio Carlos Fernandes Guedes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

janiocf.guedes@gmail.com

Sebastião Milton Pinheiro da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

smpsilva@cchla.ufrn.br

Resumo:

O termo Sensoriamento Remoto foi criado para designar o processo para obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Avanços científicos e tecnológicos, conhecimentos referentes a equipamentos, plataformas e sensores, estão cada vez mais sofisticados, fornecendo enormes quantidades de dados sobre processos e fenômenos da superfície terrestre. O elo entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos que os observam é a radiação eletromagnética (REM) e, desta forma, o entendimento sobre o funcionamento das interações entre a REM e os diferentes materiais (rochas, solos, vegetação, água, construções antrópicas, p.ex.) constitui-se em requisito chave para a interpretação dos dados coletados pelos diferentes sensores. Os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada, enquanto que os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros ou espectralradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos, sendo classificados como sensores passivos e ativos. No estudo dos recursos naturais, os índices de vegetação, constituem-se como algumas das inúmeras opções no estudo do mesmo, destacando pelos seus resultados satisfatórios nos últimos anos.

Palavras chaves: Revisão bibliográfica, Imagens de satélite, índices de vegetação.

Abstract:

The term Remote Sensing was created to designate the process to obtain images of the terrestrial surface at remote distances. Scientific and technological advances, knowledge of equipment, platforms and sensors, are increasingly sophisticated, providing enormous amounts of data on processes and phenomena of the earth's surface. The link between the objects of the terrestrial surface and the remote sensors that observe them is the electromagnetic radiation (REM) and, therefore, the understanding of the interactions between REM and the different materials (rocks, soils, vegetation, water, anthropic constructions, for example) is a key requirement for the interpretation of the data collected by the different sensors. Imaging systems provide an image of the observed area as a product, while non-imaging systems, also called radiometers or spectralradiometers, present the result in the form of digits or graphs, being classified as passive and active sensors. In the study of natural resources, the vegetation indexes are constituted as some of the many options in the study of the same, standing out for its satisfactory results in recent years.

Keywords: Bibliographic review, Satellite imagery, vegetation indexes.

Resumen:

El término Percepción Remota fue creado para designar el proceso para obtener imágenes de la superficie terrestre a distancias remotas. Los avances científicos y tecnológicos, los conocimientos sobre equipos, plataformas y sensores, están cada vez más sofisticados, proporcionando enormes cantidades de datos sobre procesos y fenómenos de la superficie terrestre. El eslabón entre los objetos de la superficie terrestre y los sensores remotos que los observan es la radiación electromagnética (REM) y, de esta forma, el entendimiento sobre el funcionamiento de las interacciones entre la REM y los diferentes materiales (rocas, suelos, vegetación, agua, construcciones antrópicas, por ejemplo) se constituye en un requisito clave para la interpretación de los datos recogidos por los diferentes sensores. Los sistemas de imagen suministran como producto una imagen del área observada, mientras que los sistemas no-imágenes, también denominados radiómetros o espectroradiómetros, presentan el resultado en forma de dígitos o gráficos, siendo clasificados como sensores pasivos y activos. En el estudio de los recursos naturales, los índices de vegetación, se constituyen como algunas de las innumerables opciones en el estudio del mismo, destacando por sus resultados satisfactorios en los últimos años.

Palabras claves: Revisión bibliográfica, Imágenes de satélite, índices de vegetación.

Introdução

É notável como a importância dos satélites vem aumentando dia a dia. As notícias sobre o que ocorre no mundo, as ligações telefônicas, a internet e as imagens usadas na previsão do tempo e no monitoramento dos ambientes terrestres são alguns exemplos dos benefícios que podem ser obtidos pela utilização de um satélite (FLORENZANO, 2008).

Por sua vez, reconhece-se o termo Sensoriamento Remoto como uma tecnologia que permite a obtenção de dados da superfície terrestre, através da captação e registro de energia refletida ou emitida da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (FLORENZANO, 2002; MENESES & ALMEIDA, 2012). Novo (1998) enfatiza ainda que o Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Em outras palavras, é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002).

Na atualidade o sensoriamento remoto vem sendo largamente aplicado para o monitoramento de coberturas vegetais, volta-se, principalmente, para seu comportamento espacial e/ou fisiológico (ABREU; COUTINHO, 2014).

Das várias contribuições do sensoriamento remoto, a detecção qualitativa e quantitativa da vegetação verde se constitui como uma das ferramentas mais importantes para o planejamento ambiental por meio de índices de vegetação (IV), pois ressaltam o comportamento espectral da vegetação, possibilitando distinguir diferentes tipos de cobertura e uso da terra (MOREIRA, 2003).

Dessa forma, frente aos avanços tecnológicos do sensoriamento remoto no decorrer do tempo, e suas várias aplicações no estudo dos recursos naturais, que o presente artigo tem como objetivo, realizar uma revisão bibliográfica a cerca do Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.

Sensoriamento remoto: Histórico:

A história do Sensoriamento Remoto (SR) está estreitamente vinculada ao uso militar (FLORENZANO, 2011).

Sensoriamento remoto, termo cunhado no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruit e colaboradores é uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global (MENESES, 2012).

O SR teve início com a invenção da câmara fotográfica que foi o primeiro instrumento utilizado e que, até os dias atuais, ainda são utilizadas para tomada de fotos aéreas (FIGUEIREDO, 2005).

Essas câmaras, carregadas com pequenos rolos de filmes, eram fixadas ao peito de pombos-correio, que eram levados para locais estrategicamente escolhidos de modo que, ao se dirigirem para o local de suas origens, sobrevoavam posições inimigas (**Figura 01**).

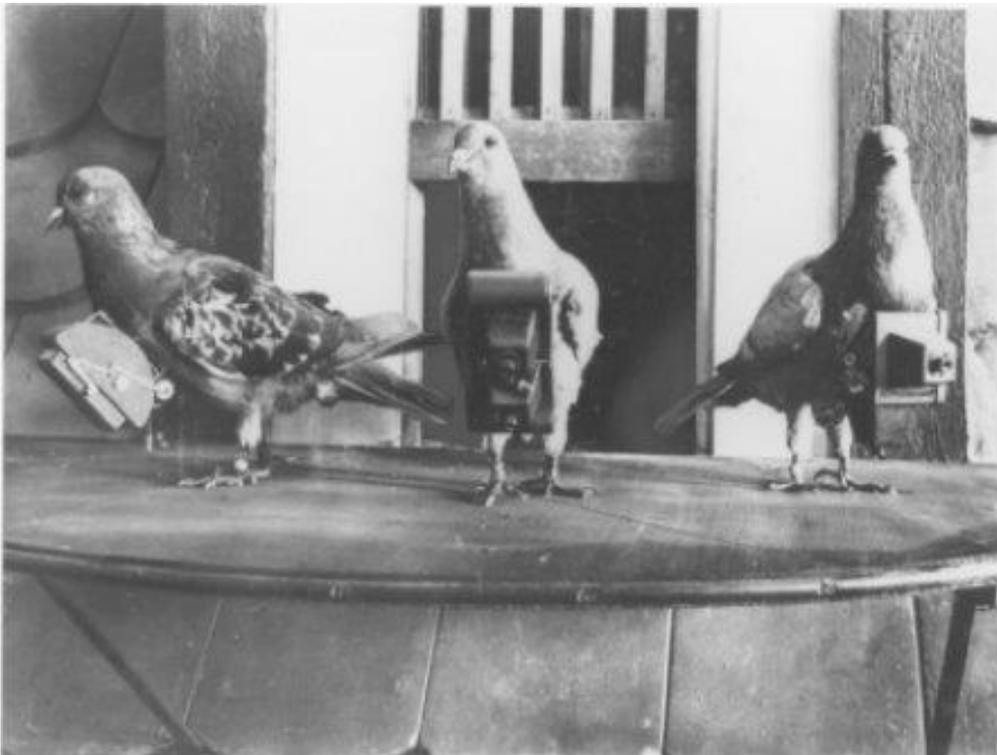


Figura 01: Brigada de pombos da Bavária (1903) com câmeras fotográficas em seu peito para sobrevôos de reconhecimento da área.

Fonte: <http://sresig.blogspot.com.br/>

Devido ao número de pombos que eram abatidos por tiros, passou-se então a utilizar-se de balões não tripulados, que presos por cabos, eram suspensos até a uma altura suficiente para tomadas de fotos das posições inimigas por meio de várias câmaras convenientemente fixadas ao balão (**Figura 02**).

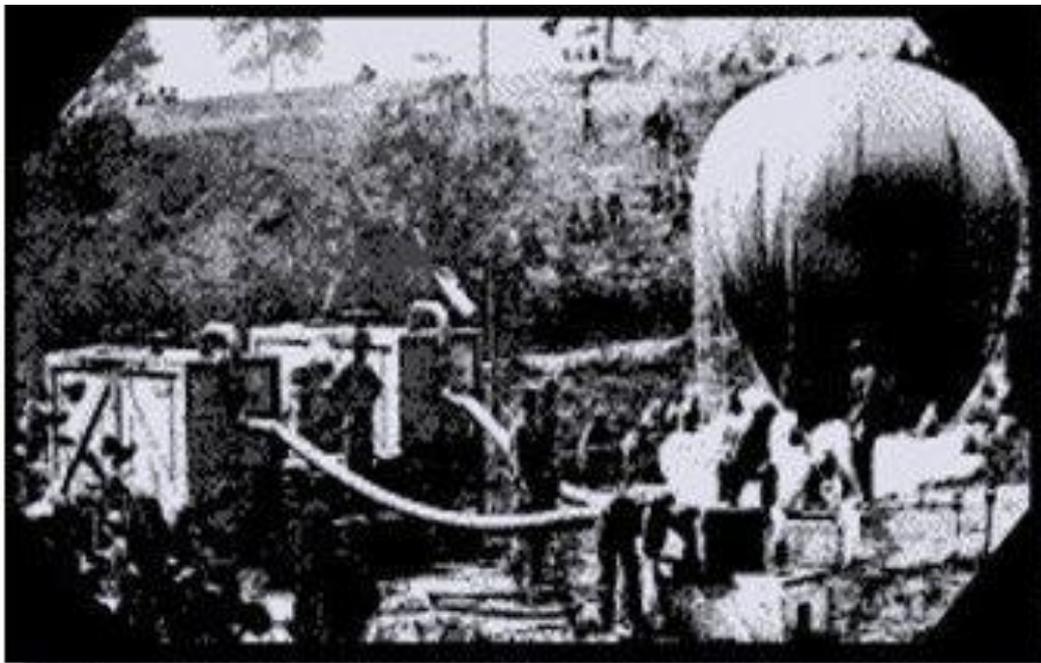


Figura 02: Brigada de balões do Exército americano (1862)

Fonte: <http://www.labgis.uerj.br/>

No ano de 1919, o americano Robert H. Goddard, desenvolveu as bases da teoria de foguetes propulsores construindo vários protótipos movidos com combustível líquido (MOREIRA, 2003).

Segundo o mesmo autor, na literatura consta que as primeiras experiências com foguetes datam de 1935, realizadas pelos alemães e norte-americanos e vinculadas à pesquisa de armas bélicas, entre os anos de 1935 a 1945, onde foram desenvolvidas as bombas V1 e V2 pelo alemão Wernher von Braun onde os princípios básicos dos foguetes lançadores foram postos em prática, infelizmente, para a destruição.

Depois que o satélite russo Sputnik foi lançado ao espaço, a corrida espacial se acelerou, evidentemente com o pioneirismo dos soviéticos (MOREIRA, 2003).

A grande revolução do SR aconteceu no início da década de 1970, com o lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres. Foi nesse período que se viu o mais rápido desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, que possibilitou colocar no espaço satélites artificiais para várias finalidades (MENESES, 2012). Um dos programas mais importantes a desenvolvidos e o “Landsat”, da Nasa (*National Aeronautics and Space Administration*), iniciado em 23 de julho de 1972 (PARANHOS-FILHO, 2008).

Cientes da importância ambiental deste tipo de satélite e levando em conta os aspectos comerciais do SR, os governos do Brasil e da China assinaram, em 06 de julho de 1988, um acordo de parceria envolvendo o INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) e a CAST (*Academia Chinesa de Tecnologia Espacial*) e em parceria, desenvolveram dois satélites para monitoramento terrestre, denominado programa CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*), ou, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.

Com isso, a evolução do SR é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços na física, na físico-química, na química, nas biociências e geociências, na computação, na mecânica, dentre outras ciências (FIGUEIREDO, 2005).

Assim, diante dessa multidisciplinaridade, torna-se necessário um grande contingente de profissionais capacitados para a operação e o desenvolvimento contínuo dos sistemas de observação da

Terra, visando fornecer informações necessárias à manutenção da cadeia de pesquisas, estudos e tomadas de decisões envolvidas com o Sensoriamento Remoto (ALVARENGA et al., 2003).

Sensoriamento Remoto – Princípios físicos

O elo entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos que os observam é a “*radiação eletromagnética*” (REM) e, desta forma, o entendimento sobre o funcionamento das interações entre a REM e os diferentes materiais (rochas, solos, vegetação, água, construções antrópicas, p.ex.) constitui-se em requisito chave para a interpretação dos dados coletados pelos diferentes sensores (ALVARENGA et al., 2003). A explicação do que é a radiação eletromagnética (REM) começa com o entendimento da dualidade do comportamento da sua natureza: onda e energia. Isso quer dizer que a REM que se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, é, ao mesmo tempo, uma forma de onda e uma forma de energia (MENESES, 2012).

Experiências de Newton em 1672 constataram que um raio luminoso (luz branca), ao atravessar um prisma, desdobrava-se num feixe colorido - um espectro de cores. Desde então os cientistas foram ampliando os seus estudos a respeito de tão fascinante matéria (FIGUEIREDO, 2005). Para o mesmo autor, a completa faixa de comprimentos de onda e de frequência da REM é chamada de espectro eletromagnético.

A REM é o veículo que leva as Informações das características das feições terrestres até os satélites (FIGUEIREDO, 2005). Dessa forma o “*Espectro Eletromagnético*” representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência (**Figura 03**).

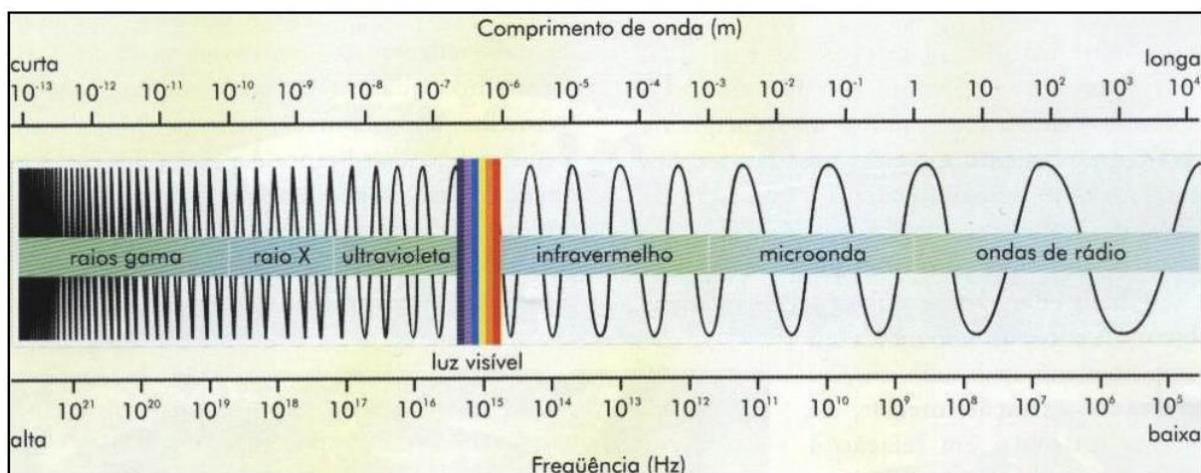


Figura 03: Espectro eletromagnético.

Fonte: Florenzano, 2011.

Segundo a mesma autora, o espectro eletromagnético funciona da seguinte forma, os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas.

Toda a matéria acima do zero absoluto (0°K) emite energia eletromagnética e pode ser considerada uma fonte de radiação (NOVO, 1989).

Devido a essas variações, é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos.

Para Paranhos-Filho (2008), todos os tipos de cobertura do solo, como afloramentos rochosos, cultivares, florestas, corpos d' água, absorvem uma porção específica do Espectro Eletromagnético, resultando numa “assinatura” distinta de radiação eletromagnética. Para esse mesmo autor, alguns tipos de cobertura do solo tem uma resposta espectral particular, que a distingue dos demais tipos de cobertura, por isso usa-se o termo “**assinatura espectral**”.

Em outras palavras, cada alvo absorve ou reflete de modo diferente cada uma das faixas do espectro da luz incidente (**Figura 04**).

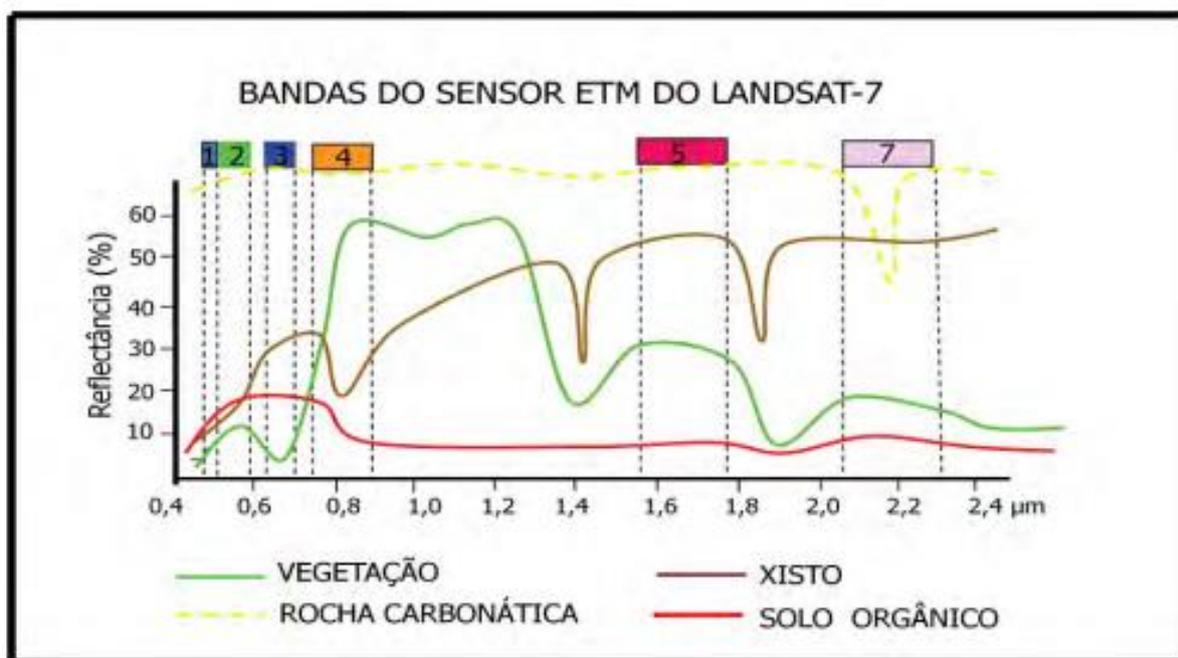


Figura 04: Espectros de reflectância e as posições das bandas do sensor EMT-Landsat 7 como forma para avaliar as bandas que melhor diferenciam espectralmente os quatro tipos de materiais.

Fonte: MENESES, 2012

Sendo assim, são nos comprimentos de onda em que os materiais mais fortemente absorvem a radiação eletromagnética, que um sensor deverá possuir as suas bandas espectrais (MENESES, 2012).

Sensoriamento Remoto – Sensores:

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética (em determinadas faixas do espectro eletromagnético) proveniente de um objeto, transformá-las em um sinal elétrico e registrá-las, de tal forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre, onde suas variações de energia eletromagnética da área observada podem ser coletadas

por sistemas sensores imageadores ou não-imageadores (MORAES, 2002). Dependendo de suas características, eles podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais) (FLORENZANO, 2011) (**Figura 05**).

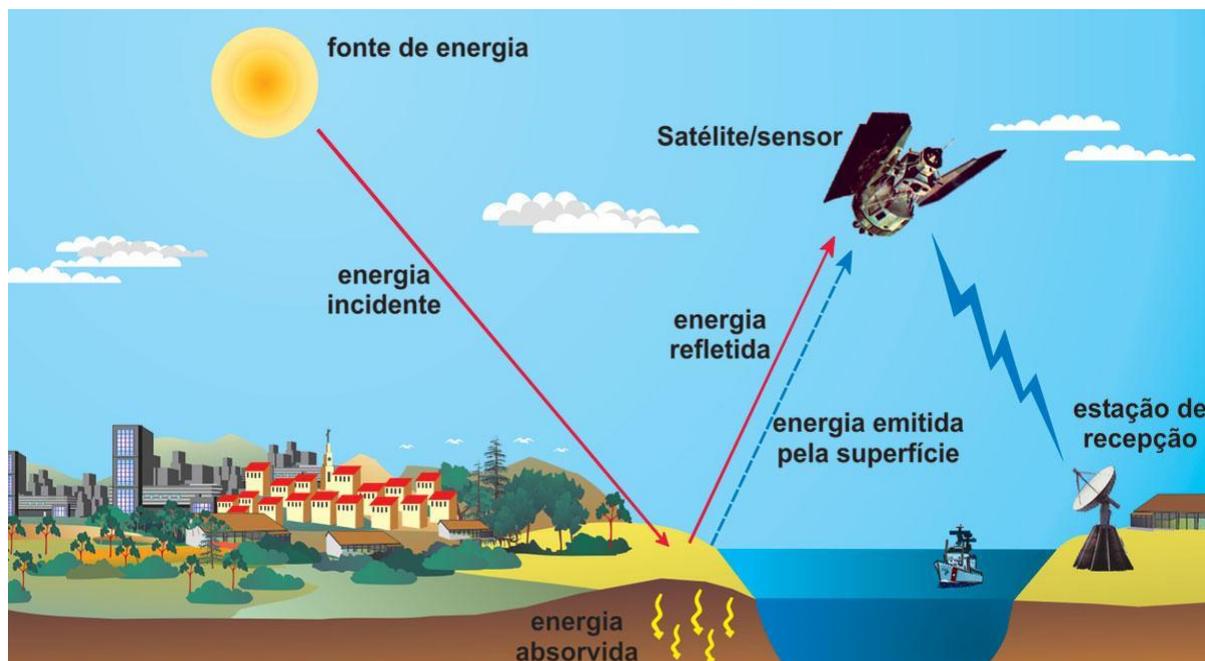


Figura 05: Esquema de funcionamento de um satélite passivo.
Fonte: Florenzano, 2011.

Ainda segundo Florenzano, (2011) os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada, como por exemplo, os “scanners” e as câmaras fotográficas, enquanto que os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros ou espectroradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos, sendo classificados como sensores passivos e ativos.

Por sua vez, os sensores passivos são aqueles que dependem de uma fonte de radiação externa para poder operar, ou seja, são todos aqueles que captam a radiação solar para trabalhar, por outro lado, os sensores ativos não necessitam da radiação solar, pois produzem a sua própria radiação (IBGE, 2001). Eles emitem energia eletromagnética para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte desta energia que é refletida por estes na direção destes sensores (MORAES, 2002).

A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética, e estão relacionadas com a resolução espacial, espectral e radiométrica.

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos, e depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto (MORAES, 2002). Por exemplo, o sistema sensor do Thematic Mapper (TM) do Landsat 5 possui uma resolução espacial de 30 metros. Para aqueles usuários que necessitam de uma observação mais detalhada do tamanho e das formas dos objetos no qual está sendo analisado, há os sensores que detectam áreas unitárias inferiores a 1 metro, e com meios para

visualização estereoscópica 3D, muito úteis para levantamentos cadastrais multifinalitários, urbanos como também cartografia digital (FLORENZANO, 2011) (**Figura 06**).



Figura 06: Da esquerda para a direita, imagens dos satélites, Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, de uma porção do lago Paranoá de Brasília.

Fonte: MENESES, 2012.

A resolução espectral por sua vez, refere-se à largura em que opera o sensor, portanto, ela define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e conseqüentemente a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detetor, ou seja, quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda, melhor será a resolução espectral da coleta (MORAES, 2002). Comparativamente, um sensor tem melhor resolução espectral se ele possui maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda, e deve ser dimensionada em concordância com as larguras das feições de absorção exibidas pelos espectros de reflectância de cada material (FLORENZANO, 2011).

A ilustração abaixo (**figura 07**) mostra os comprimentos de onda do Landsat 7 e do Landsat 8, onde é possível ver a correspondência gráfica entre as bandas espectrais do Landsat 8 e do Landsat 5 e 7 para entender melhor como realizar as novas composições coloridas.

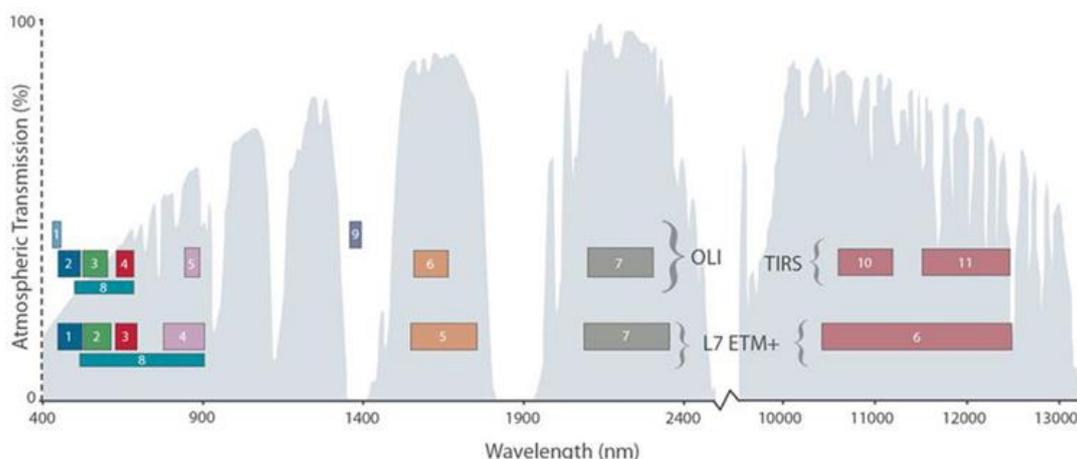


Figura 07: Comprimentos de onda do Landsat 7 (posição inferior) e do Landsat 8 (posição superior).

Fonte: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>> Acesso em 17/02/2018.

A resolução radiométrica define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos que compõe a cena (rochas, solos, vegetações, águas, etc) (MORAES, 2002). Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for à capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância (FLORENZANO, 2011). Para o mesmo autor, em termos práticos, a quantização do sinal é medida pelo intervalo de número de valores digitais usados para expressar os valores de radiância medidos pelo detector, em outras palavras, a quantização é normalmente expressa em termos de números de dígitos binários (bits).

Dessa forma, quanto maior é a quantização, maior será a qualidade visual da imagem. Por exemplo, o sistema sensor TM do Landsat 5 distingue até 256 tons distintos de sinais representando-os em 256 níveis de cinza, enquanto que sensores com alta resolução espacial, com tamanho de pixel de 1 metro, como no caso do Satélite Ikonos, possuem resoluções radiométricas de 10 ou 11 bits (1024 ou 2048 valores digitais) (Figura 08).

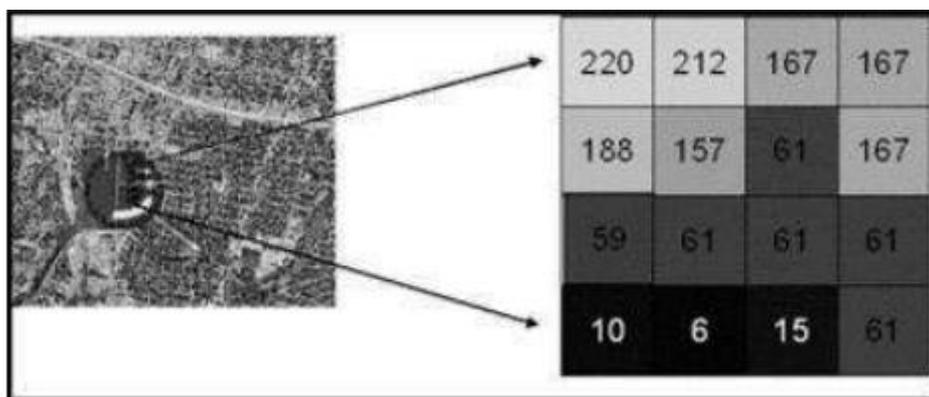


Figura 08: Representação do pixel.
Fonte: Crosta, 1993.

Outra qualidade importante é a resolução temporal do sensor, que está relacionada com a repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto. Isso só é possível porque os satélites de sensoriamento remoto executam uma órbita heliossíncrona, que é um caso particular de uma órbita semipolar. O plano de órbita é sempre fixo e ortogonal ao sentido de rotação da Terra. Assim, o satélite passa sobre o mesmo ponto da superfície da Terra na mesma hora (MORAES, 2002; FLORENZANO, 2011).

A resolução temporal é fundamental para acompanhar ou detectar a evolução ou mudanças que ocorrem na Terra, como o ciclo fenológico de culturas, desmatamentos, desastres ambientais, tendo forte impacto na monitoração ambiental (FLORENZANO, 2011; MENESES, 2012).

Sensoriamento Remoto – Métodos no estudo da vegetação

O estudo da vegetação por SR está atrelado a uma série de variáveis como a escala de trabalho, o ambiente em que se encontram as plantas; a época do ano, às condições de iluminação e disponibilidade hídrica e os tipos e parâmetros das imagens utilizadas (NOVO, 2010).

Ponzoni & Shimabukuro (2010) explicam que, pensar no processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação nos faz recordar que os vegetais realizam fotossíntese, processo este fundamentado na absorção da radiação solar por parte dos pigmentos fotossintetizantes como as clorofilas. Novo (2010) afirma que “o comportamento espectral da vegetação se modifica ao longo do seu ciclo vegetativo”. Sua absorção não ocorre indistintamente ao longo de todo o espectro eletromagnético, mas especificamente na região do visível (0,40 a 0,72 μm). Nessa região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010) (**figura 09**).

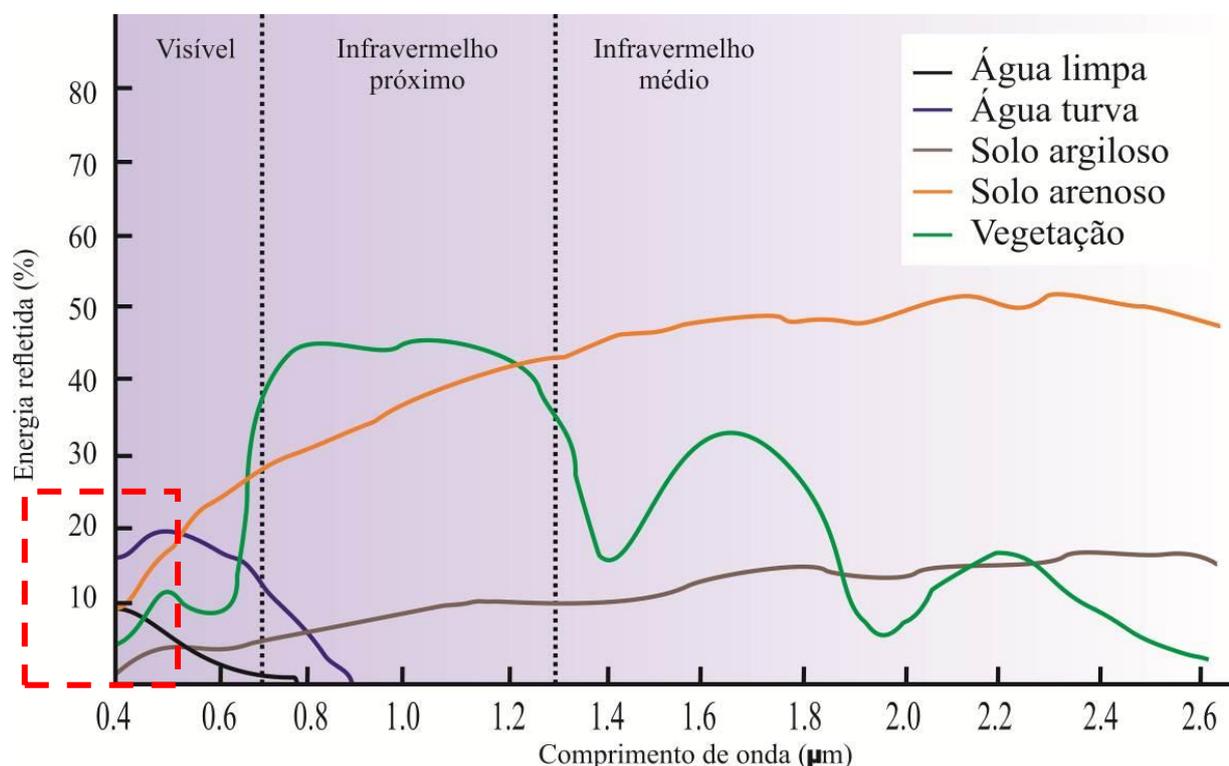


Figura 09: Curva espectral de refletância da vegetação, da água e do solo.

Fonte: Adaptado de Florenzano, (2002).

Em função da ação dos pigmentos fotossintetizantes em imagens da região do infravermelho próximo, estes mesmos dosséis deverão apresentar-se com tonalidade clara e em imagens do infravermelho médio espera-se tons de cinza intermediários entre o escuro das imagens do visível e o claro daquelas do infravermelho próximo (PONZONI, 2002).

A partir de meados da década de 1990 as pesquisas com sensoriamento remoto no estudo da vegetação, que até então exploravam abordagens fundamentalista de cunho qualitativo (identificação e mapeamento de classes de vegetação), passaram a explorar outras abordagens com ênfase mais quantitativa (PONZONI; SHIMABAKURO, 2010, p.3). Essa abordagem quantitativa pode ser observada em trabalhos como o de Castelletti (2003), que por sua vez, utilizando-se do mapa de vegetação do Brasil do IBGE

(1993)¹ o autor fez uma estimativa preliminar de “quanto ainda resta da Caatinga” no qual estimou-se que a área coberta por atividades agrícolas na região é de 201.786 km², o que corresponde a 27,47% da área da Caatinga.

O MMA (2010) elaborou um relatório referente ao monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite, ocorridas até o ano de 2002 e entre os anos de 2002 e 2008. O procedimento de identificação dos polígonos de áreas desflorestadas teve como escala base de trabalho, a escala 1: 50000 e área mínima de detecção do desmatamento de 2 (dois) ha. Os mesmos autores constataram que, em 2002, com o refinamento da escala e da área mínima de detecção, era de 55,67% e, em 2008, observa-se uma diminuição para 53,62%. Todas essas estatísticas foram baseadas na área total do bioma.

Tais abordagens quantitativas podem ser observadas também em trabalhos como os de Freitas, (2007) e Araujo-Silva, (2011), ambos aplicados em municípios do estado de Pernambuco com o uso integrado de trabalho de campo e imagens de satélite, tendo o primeiro trabalho, resultados no tocante a avaliação da dinâmica de variáveis ambientais indicadoras de processos de desertificação no período de 20 anos. Enquanto que o segundo, teve como resultado mapas temáticos contendo as transformações que o município vem passando quanto ao uso da terra nos últimos 21 anos (período de 1987-2008).

Por sua vez, os índices de vegetação resultam da combinação da medida da radiação eletromagnética refletida pela vegetação em algumas bandas espectrais do espectro-eletromagnético, principalmente as bandas do vermelho e infravermelho próximo, que guardam certa relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre (HUETE & JUSTICE, 1999). As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conterem mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação (ROSA, 2009).

Na literatura são encontrados vários índices de vegetação. Dentre os diversos índices mais utilizados, estão o índice de vegetação da razão simples (SR – Simple Ratio), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI – Soil-Adjusted Vegetation Index), o Índice de Vegetação Melhorado (EVI – Enhanced Vegetation Index).

Dentre os diversos índices aplicados ao estudo da vegetação, o “índice de vegetação da razão simples (*Simple Ratio* – SR) foi o primeiro índice a ser usado (JORDAN, 1969), obtido pela divisão de valores de FRB referentes à região do infravermelho próximo por valores de FRB correspondentes à região do vermelho (PONZONI & SHIMABUKURO, op cit.). A equação para o cálculo do Simple Ratio, está expressa na equação (01).

$$SR = P_{IVP} / P_v \quad (01)$$

Onde:

P_{IVP} - FRB no infravermelho próximo.

¹ IBGE. 1993. Mapa de vegetação do Brasil. IBGE, Rio de Janeiro.

P_v - FRB no vermelho.

Os valores absolutos obtidos pelo “*Simple Ratio*”, são sempre maiores que zero e assumem valores positivos altos em áreas de densa cobertura vegetal (MENESES & ALMEIDA op cit.,).

O autor ainda coloca que, como resultado, se obtém uma imagem monocromática, com a gradação de tons de cinza indicando a variação da biomassa ou o índice de área foliar, onde, quanto mais claro o tom de cinza, maior a densidade de vegetação, os tons de cinzas médios indicam pouca vegetação e tons de cinza totalmente escuros indicam ausência de vegetação, o que só pode ocorrer nas áreas de corpos de água, de solos expostos, áreas cobertas por neve, ou nuvens.”

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI proposto por Rouse et al., (1973) é um dos mais difundidos e utilizados atualmente.

Tal índice envolve a razão entre a diferença e a soma das bandas infravermelho próximo e vermelho, onde esses valores variam entre -1 a +1, onde os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maiores densidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os valores mais baixos representam as áreas com menor quantidade de vegetação (MENESES & ALMEIDA, 2012; PONZONI & SHIMABUKURO, 2010).

O NDVI é calculado a partir da subtração da banda referente ao infravermelho próximo e a banda do vermelho, dividido pela soma das mesmas.

A equação 02 representa o cálculo do NDVI.

$$\text{NDVI} = (\text{P}_{\text{IVP}} - \text{P}_{\text{V}}) / (\text{P}_{\text{IVP}} + \text{P}_{\text{V}}) \quad (02)$$

Onde:

P_{IVP} - Banda do infravermelho próximo.

P_v - Banda do vermelho.

Como ferramenta para monitoramento da vegetação, o NDVI é utilizado para construir perfis sazonal e temporal da vegetação, permitindo comparações inter-anuais desses perfis, constituindo-se como um índice amplamente utilizado até os dias atuais, tendo sido explorado em diferentes abordagens em estudos de culturas agrícolas florestais e climáticos, mas apesar do relativo sucesso de sua aplicação em estudos da vegetação, sua interpretação deve levar em conta vários fatores limitantes, como por exemplo, pontos de saturação que se manifestam de forma diferenciada na faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, interferência atmosférica, posicionamento do centro e largura de cada banda que varia entre os sensores remotos (PONZONI & SHIMABUKURO, 2010).

Devido às limitações observadas no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) foi proposto por Huete (1988), propondo-se a melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo.

Huerte et al., (1985) verificaram que a sensibilidade dos índices de vegetação em relação ao material de fundo (solo) é maior em dósseis com níveis médios de cobertura vegetal (50% de cobertura verde) através de uma constante “L” introduzidas pelos mesmos nas medições experimentais das reflectâncias, calculadas para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho. A constante “L” tem como função minimizar o efeito do solo no resultado final do índice, com valores que variam entre -1,5 para áreas sem vegetação à 1,5 em áreas com presença de alguma vegetação.

A equação 03 para o cálculo do SAVI, assume a seguinte forma:

$$\text{SAVI} = [(P_{IVP} - P_V) / (P_{IVP} + P_V + L)] \times (1 + L) \quad (03)$$

Onde:

P_{IVP} - Banda do infravermelho próximo.

P_V - Banda do vermelho.

L - Constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

Segundo Huete et al., (1985) os valores ótimos de L são:

$L = 1$ (para densidades baixas de vegetação)

$L = 0,5$ (densidades médias)

$L = 0,25$ (densidades altas)

Em outras palavras, o “L” é uma constante empiricamente determinada para minimizar a sensibilidade do índice de vegetação às variações de reflectância dos tipos de solo (MENESES & ALMEIDA, 2010). Em geral o fator $L = 0,5$ oferece um índice espectral superior ao NDVI, e é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação (HUETE, 1988).

Desenvolvido para se trabalhar com dados do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Acqua, lançados pela NASA (Agência Nacional Aeroespacial Norte-americana, o Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI), sugerido por Huete et al. (1997) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI & SHIMABUKURO, op cit.,).

A equação 04 para o cálculo do EVI, assume a seguinte forma:

$$\text{EVI} = G (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (L + \text{NIR} + C1 \text{vermelho} - C2 \text{azul}) \quad (04)$$

Onde:

L é fator de ajuste para o solo;

G é o fator de ganho

C1 e **C2** são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera.

Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: $L=1$, $C1=6$, $C2=7,5$ e $G= 2,5$ (HUETE *et al.*, 1997; JUSTICE *et al.*, 1998).

Se comparado com o NDVI, pode-se observar que a imagem do EVI apresenta um maior contraste entre a floresta Amazônica e a região dos Cerrados (PONZONI e SHIMABUKURO, *op cit.*), (figura 10).

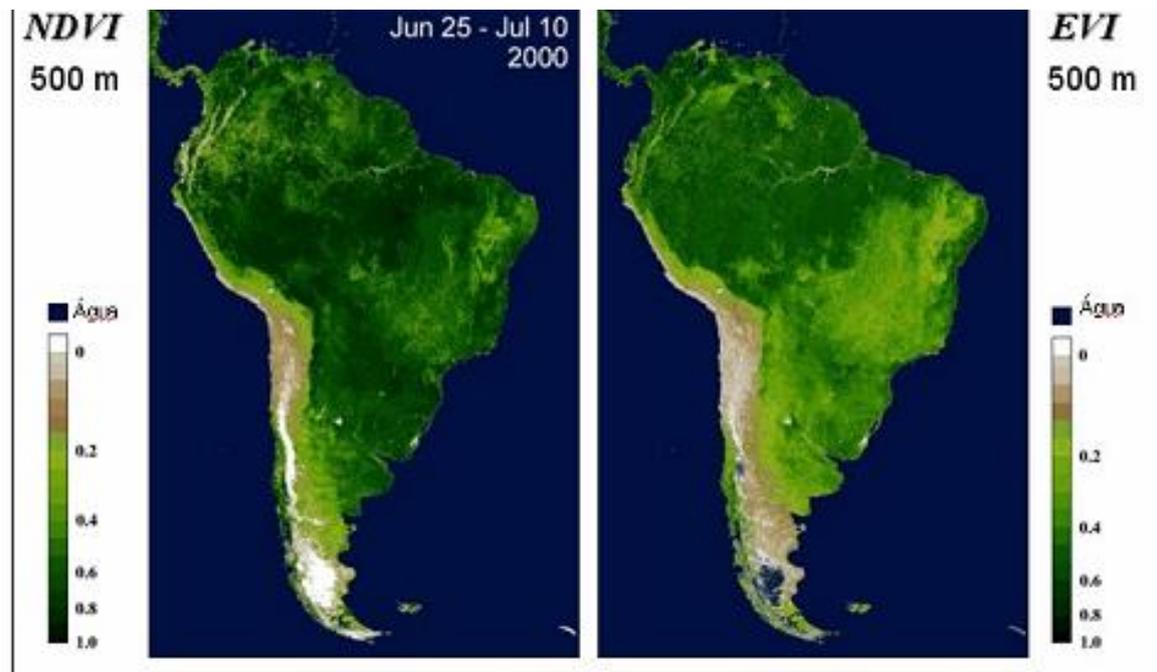


Figura 10: Imagens NDVI e EVI da América do Sul no período de 25 de junho a 10 de julho de 2000.
Fonte: PONZONI; SHIMABUKURO (2010)

Como pode ser observado, a fundamentação da proposição desses índices reside no comportamento antagônico da Reflectância da vegetação nas duas regiões espectrais mencionadas (Visível e Infravermelho próximo) (PONZONI *et al.*, *op cit.*).

Conclusões:

Este trabalho teve como objetivo, realizar uma revisão bibliográfica a cerca do Sensoriamento remoto, sua história, alguns de seus sensores, como também expor algumas possibilidades da utilização do mesmo no estudo da vegetação a partir de índices.

Dessa forma, podemos concluir que o Sensoriamento Remoto passou por um processo de evolução considerável ao longo de sua história. Em outras palavras, o sensoriamento remoto mostra-se em constante

evolução e cada vez mais presente nas distintas áreas do conhecimento científico, seja como procedimento direto ou como suporte, realizando análises da superfície terrestre e de seus recursos.

Com o aperfeiçoamento da tecnologia, foi possível obter satélites artificiais com sensores mais sofisticados com diferentes resoluções, sejam elas espectrais, temporal, espacial dentre outras categorias, bem como a construção de foguetes para deslocamento do satélite até o espaço.

O SR é uma das técnicas mais utilizadas na atualidade referente aos estudos do Meio Ambiente, principalmente no que diz respeito à Vegetação.

Dessa forma, não há dúvidas quanto à relevância e eficácia das geotecnologias, que agilizam os estudos ambientais na geração de mapeamentos de uso da terra como também no mapeamento da vegetação.

Dentre as técnicas mais utilizadas no estudo da vegetação, os “índices de vegetação” vêm se destacando pelos seus resultados satisfatórios nos últimos anos.

Vale ressaltar que o tipo e a quantidade de informações sobre o mapeamento da vegetação, dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas sensores, bem como da escala e resolução dos dados originais, além da escala de compilação e da escala final de apresentação.

Referências Bibliográficas

ABREU, K. M. P; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173-198, jan./abr. 2014.

ALVARENGA, B. S; ARCO, E; ADAMI, M; FORMAGGIO, A. R. O Ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: Estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, n.XI, 2003, Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte/MG:INPE, 2003. p. 739-747.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 1998.

CASTELLETTI, C. H. M; SANTOS, A. M. M; TABARELLI, M; CARDOSO-SILVA, J. M. Quanto ainda resta da caatinga? uma estimativa preliminar. In LEAL, I. R; TABARELLI, M; CARDOSO-SILVA, J. M (org). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco. pp. 719-734. 2003.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm> Acesso em 16 de maio de 2014.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**, Oficina de textos, São Paulo/SP, 2002.

_____. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. Ed. Oficina de Textos, 3ª edição. São Paulo/SP, 2011.

_____. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos/SP: SindCT, 2008.

FREITAS, M. W. D. **Estudo integrado da paisagem no Sertão Pernambucano (NE BRASIL) com o uso de sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto**. 2006. 191f. (Dissertação de Mestrado) São José dos Campos/SP: INPE, 2006.

HUETE, A. R. 'Adjusting vegetation indices for soil influences', **International Agrophysics**, vol.4, nº. 4, pp. 367-376. 1988.

HUETE, A. R; JACKSON, R. D. POST, D. F. Spectral response of plat canopies with different soil background. **Remote Sensing of Environment**, v.17. n.1. pp. 37-53, 1985.

HUETE, A; JUSTICE, C. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**. NASA, Virginia, 1999. v. 3.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Atlas Nacional do Brasil. Região Nordeste**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1985.

_____. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Primeira divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2012.

MMA/IBAMA - Ministério do Meio Ambiente/ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA). **Monitoramento do desmatamento nos Biomas brasileiros por satélite: Monitoramento do Bioma Caatinga 2002 a 2008.** Brasília: MMA, 2010.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos –SP: INPE, 2002. Capítulo 1.

NICÁCIO, J. A; LOCH, C. **Elementos necessários para o planejamento de sustentabilidade dos municípios de médio e pequeno porte.** Florianópolis: Departamento de Cartografia da UFSC, 2002.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 1998.

_____. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2º ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998.

_____. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PARANHOS-FILHO, A. C; LASTORIA, G; TORRES, T. G. **Sensoriamento Remoto ambiental aplicado: Introdução as Geotecnologias.** Ed. UFMS, Campo Grande/MS, 2008.

PONZONI, F. J; PINTO, C. T; LAMPARELLI, R. A. C; ZULLO-JUNIOR, J; ANTUNES, M. A. H. **Calibração de Sensores Remotos.** São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2015.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2010.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação.** São José dos Campos, SP: Oficina de Textos. 2012.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: Diagnóstico da Mata Atlântica.** São José dos Campos – SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Cap. 8.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia.** v.16, 2005.

ROUSE, J. W; HAAS, R. H; SCHELL, J. A; DEERING, D. W; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement retrogradation of natural vegetation.** Final Report Type III. Greenbelt: NASA/GSFC, 1973.