

## Extração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizando-se de imagens da constelação RapidEye e de *scripts* implementados em linguagem LEGAL / SPRING – Estudo de caso município de São Miguel dos Campos/AL

Aline da Silva Inácio<sup>2</sup>  
Lucas Barbosa Cavalcante<sup>1</sup>  
Heliofábio Barros Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT  
Avenida Lourival de Melo Mota, s/n – Tabuleiro dos Martins, Maceió – AL, Brasil  
CEP: 57072-900  
{cavalcantelb, heliofab}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Ciências Agrárias – CECA  
BR 104, s/n – Rio Largo – AL, Brasil  
CEP: 57100-000  
alineinacio91@gmail.com

**Abstract.** The advance of technology along the years together with the advance of techniques and processes to extract information arising from remote sensing, are important to get a better understanding of all processes that involve urban and plant modifications. This study aimed to calculate the Normalized Difference Vegetation Index through RapidEye satellite images and Space for Geoprocessing algebraic language (LEGAL), present in SPRING software, which was developed by the National Institute for Space Research (INPE). The results have indicated a good performance of elaborate LEGAL scripts, where maps have obtained a good agreement with the high-resolution images taken from GoogleEarth Pro.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, open source, sensoriamento remoto, processamento de imagem, código aberto.

### 1 INTRODUÇÃO

Segundo Ramos *et al.* (2010) o sensoriamento remoto é uma ferramenta de obtenção de dados da superfície terrestre, que constitui uma importante técnica para o monitoramento sistemático da dinâmica da vegetação. O avanço das tecnologias, *softwares* e/ou *hardwares*, que o compõe, incluindo a maior disponibilidade de sistemas sensores existentes na atualidade, expandiram ainda mais as possibilidades de aplicações que envolvem imagens orbitais (RIBEIRO; FONSECA; KUX, 2011).

Todavia os atuais sensores, apesar de toda a tecnologia, ainda possuem limitações com a resolução espectral (principalmente as larguras das faixas espectrais abrangidas), o que dificulta estudos que precisem de bandas específicas, por exemplo, a banda termal (MOREIRA, 2008).

Alinhado ao estudo da dinâmica da vegetação que resulta da combinação linear de dados espectrais, realçando o sinal da vegetação e mostrando características do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991), o lançamento do satélite RapidEye ocorrido em 2008, apresenta novas perspectivas para este ramo de estudo, possibilitando comparações espaciais e temporais, que facilitam o monitoramento das modificações de paisagem ocorridas em determinadas áreas.

Essas novas ferramentas assumem um papel importante no monitoramento e na estimativa dos diversos fenômenos naturais, servindo de suporte para monitoramento das mudanças ambientais e possibilitando a tomada de decisão para preservação e planejamento ambiental (MOREIRA, 2008).

Um dos índices mais utilizados para a compreensão da vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que resulta da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e do vermelho, dividida pela soma das duas reflectâncias. Essa equação gera um índice que poderá variar de -1 a 1, onde os valores inferiores a 0 representam regiões de corpos de água e a variação de 0 a 1, quanto mais próximos de 0 menor verdor vegetativo, quanto mais perto de 1 maior verdor vegetativo.

No Brasil a partir do ano de 2012 o Ministério do Meio Ambiente (MMA) através da assinatura o contrato com a empresa Santiago & Cintra, começou a criação de um geocatálogo contendo imagens do satélite RapidEye com abrangência de todo o território nacional, tal catálogo geoespacial possui imagens de três períodos distintos, referentes ao ano de 2011, 2012 e 2013, sendo tais informações de acesso gratuitos, desde que o solicitante preencha os requisitos necessário e que constam no sítio do catálogo (<http://geocatalogo.ibama.gov.br/>).

Esta aquisição por parte de órgãos federais e o repasse para os demais órgãos públicos de forma gratuita, alinhado a utilização de *software* livres e não proprietários, gera um cenário bastante favorável para análise mais detalhadas da dinâmica da vegetação, tendo em vista a possibilidade de se comparar três anos distintos de uma mesma região, analisando mudanças e/ou tendências que possam ocorrer, sem precisar se preocupar com a onerosidade da aquisição das imagens e das licenças de *softwares* proprietários.

No Brasil, os *softwares* voltados ao processamento de imagem chegaram ao país através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, quando em 1974, foi adquirido o sistema chamado “IMAGE-100”, ao custo de US\$ 1 milhão, sendo por muito tempo o único sistema de processamento digital de imagens de satélite em operação no Brasil. Em 1984 foi criada a Divisão de Processamento de Imagens (DPI), desempenhando um excelente papel, já em 1986 a DPI lançou o Sistema Interativo de Tratamento de Imagens Multiespectrais – SITIM, em paralelo a este projeto foi também desenvolvido um sistema de informação geográfica (SIG), denominado SGI, que foi integrado ao processador de imagem, dando origem a um sistema que passou a ser conhecido como SITIM/SGI. Em 1991 iniciou-se o desenvolvimento do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING (CAMARA et al., 1996), a priori um *software* não comercial, porém com código fechado (INPE, 2015).

A partir de 2011, o INPE libera o código fonte do SPRING, permitindo assim aos usuários as 4 liberdades básicas de um SPRING agora *software* livre: liberdade de executar o programa para qualquer propósito, liberdade de estudar como o programa funciona, podendo adaptá-lo as suas necessidades, liberdade de redistribuir cópias e a liberdade de aperfeiçoar o programa (INPE, 2015).

Diante do exposto notasse que a utilização de *softwares* de processamento de imagens, de preferência não proprietários em conjunto com as imagens adquiridas e cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente são ferramentas interessantes para o planejamento ambiental, assim como para a compreensão da dinâmica sofrida pela vegetação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo é definida pelo município de São Miguel dos Campos, localizado no estado de Alagoas. O município pertence a mesorregião do Leste Alagoano, tendo como municípios limítrofes: Roteiro, Barra de São Miguel e Marechal Deodoro (Leste); Campo Alegre (Oeste); Anadia, Boca da Mata e Pilar (Norte) e Jequiá da Praia (Sul).

Localizado no Nordeste do Brasil (Figura 01), São Miguel dos Campos possui segundo o IBGE (2015) uma população estimada para o ano de 2015 de 60.539 habitantes; pelo censo de 2010 possuía 54.577 habitantes, apresentando assim um crescimento de quase 6.000 habitantes em 5 anos. Ainda segundo o IBGE (2015) o município apresenta uma área total de 360,874 km<sup>2</sup>, o que equivale a uma densidade demográfica de 151,27 hab/km<sup>2</sup>. Uma grande parte do território municipal é coberta por plantações de cana-de-açúcar, segundo SEPLAG (2015) no ano de 2012 entre 60,1 e 80,0 % do município era ocupado por este tipo de cultivo.

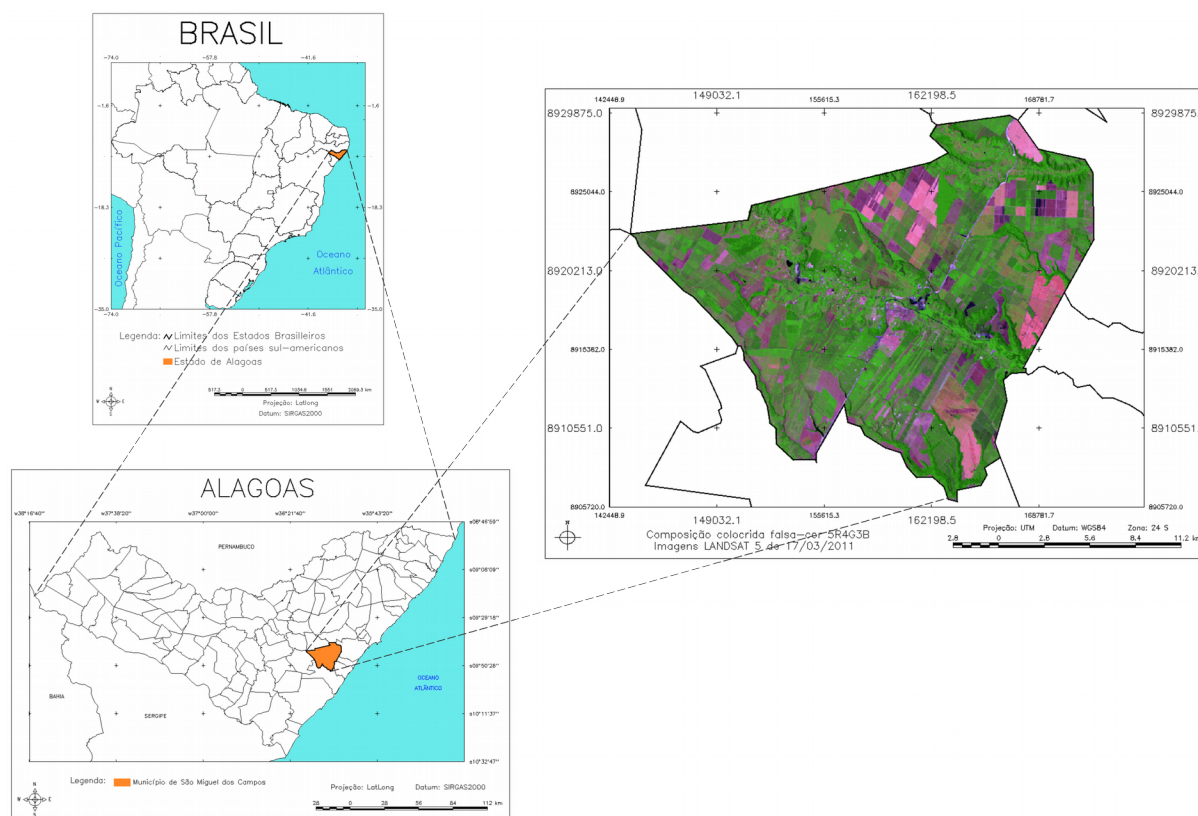


Figura 01: Mapa de localização do município de São Miguel dos Campos – AL. Fonte: elaborado pela autora.

O município de São Miguel dos Campos está localizado entre as coordenadas de canto inferior esquerdo 802110,00 m E e 8906173,14 m N e superior direito 830530,00 m E e 8929798,14 m N, tendo como referência a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e como *datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000), pertencendo ao fuso 24 S.

## 2.2 Hipsometria e declividade do município de São Miguel dos Campos

A fim de caracterizar o relevo do município de São Miguel dos Campos, foram gerados dois mapas através de imagens de radar, advindas da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), obtidas através do endereço eletrônico <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Segundo Zyl (2001), o SRTM é um projeto realizado em conjunto pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), a *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR) e a *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI), tendo como objetivo a produção de dados digitais de topografia de 80% da superfície terrestre, entre as longitudes de 60° N e 57° S.

Na Figura 02 é apresentado o mapa hipsométrico do município de São Miguel dos Campos, foi acrescentado ao mapa um polígono pontilhado que mostra a localização da mancha urbana do referido município, através de análise visual é notório que as faixas hipsométricas predominantes estão entre 105 e 155 m (representadas pelos tons de vermelho). Estatisticamente São Miguel dos Campos possui uma hipsometria mínima de 6 m (próximo ao rio que banha a cidade, chamado de Rio São Miguel) e máxima de 166 m (nos tabuleiros que correspondem a grande parte do município), alcançando uma média de 99,26 m.

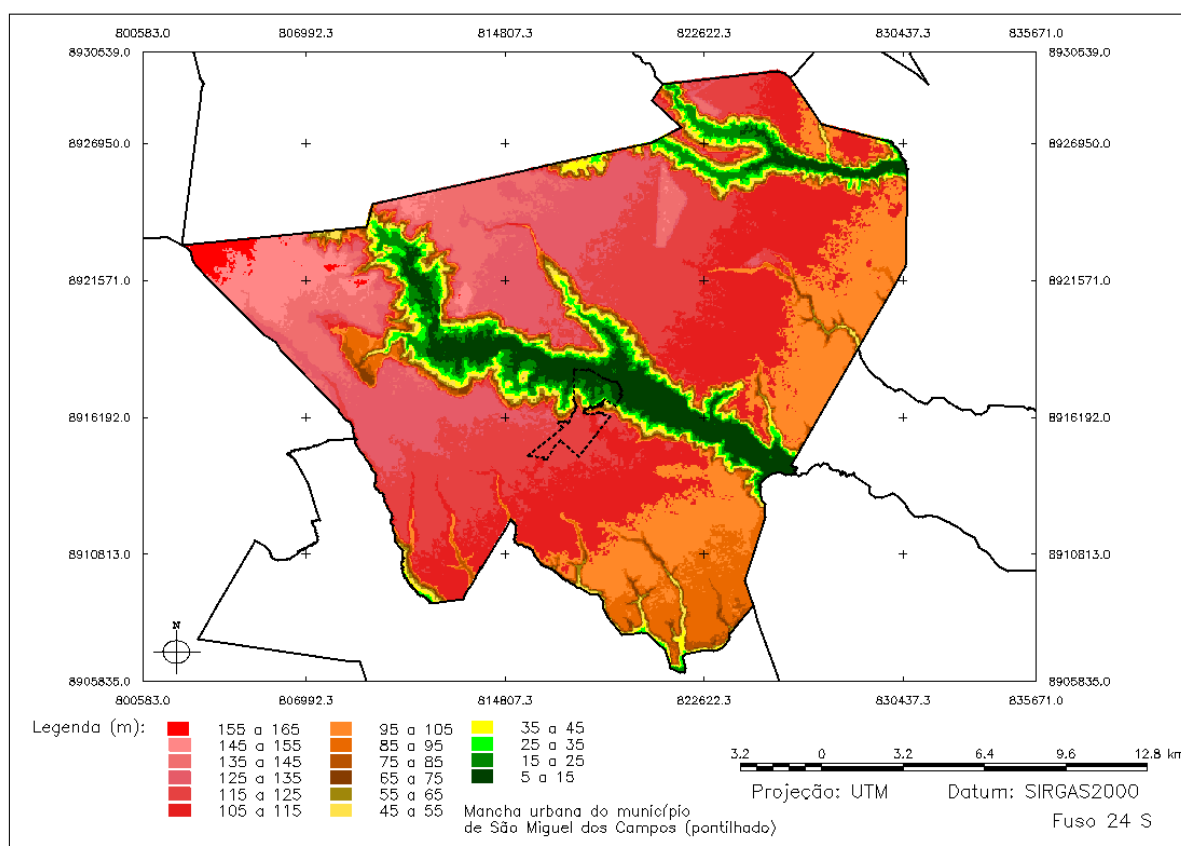


Figura 02: Mapa de hipsometria para o município de São Miguel dos Campos – AL. Fonte: elaborado pela autora.

Com o intuito de demonstrar a diferença hipsométrica existente entre a parte da cidade que se encontra próxima ao rio e a localizada sobre o tabuleiro, foi extraído um perfil longitudinal (A - A') cortando a mancha urbana da cidade em sentido Sudoeste-Nordeste (Figura 03), através desse perfil notasse que em apenas 750 m de distância a hipsometria sofre uma variação de 110 m.

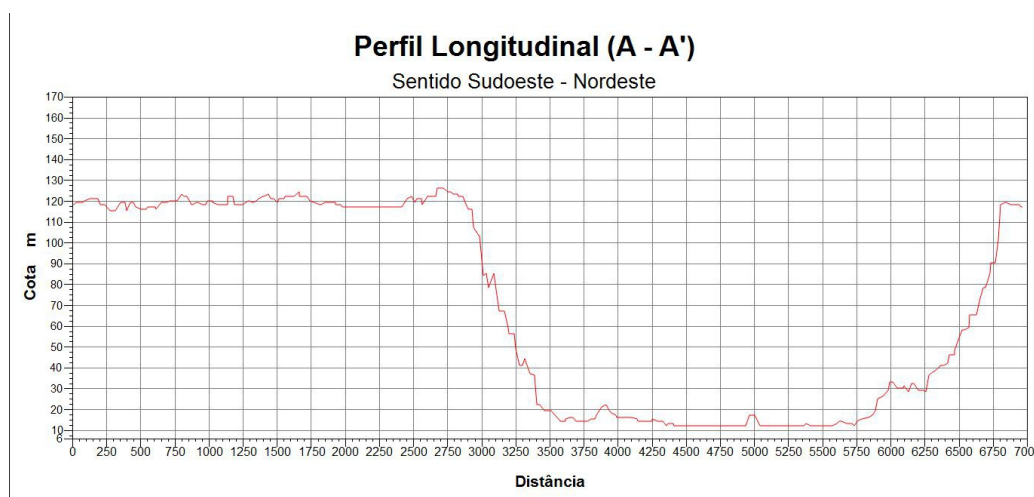


Figura 03: Perfil longitudinal A - A'. Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 04 mostra a visualização em 3 dimensões (3D) do modelo número de terreno (MNT) gerado através das imagens SRTM, sobreposto ao mapa hipsométrico, demonstrando assim todas as variações de relevo existentes no município de São Miguel dos Campos.

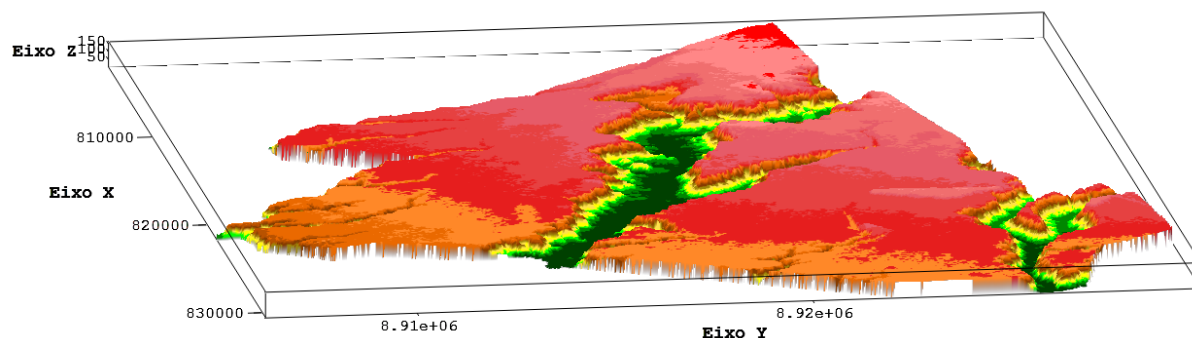


Figura 04: Modelo numérico de terreno em 3D com sobreposição do mapa hipsométrico. Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 05 é apresentado o mapa de declividade, assim como no anterior, foi sobreposto um polígono pontilhado representando a mancha urbana do município de São Miguel dos Campos, com a finalidade de comprovar o declive entre a parte alta e baixa da cidade. Optou-se por adotar a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999) para as classes de declividade (Tabela 01).

Tabela 01: Classificação declividade segundo a EMBRAPA

Classes	Declividade (%)
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	> 75

Fonte: EMBRAPA (1999).

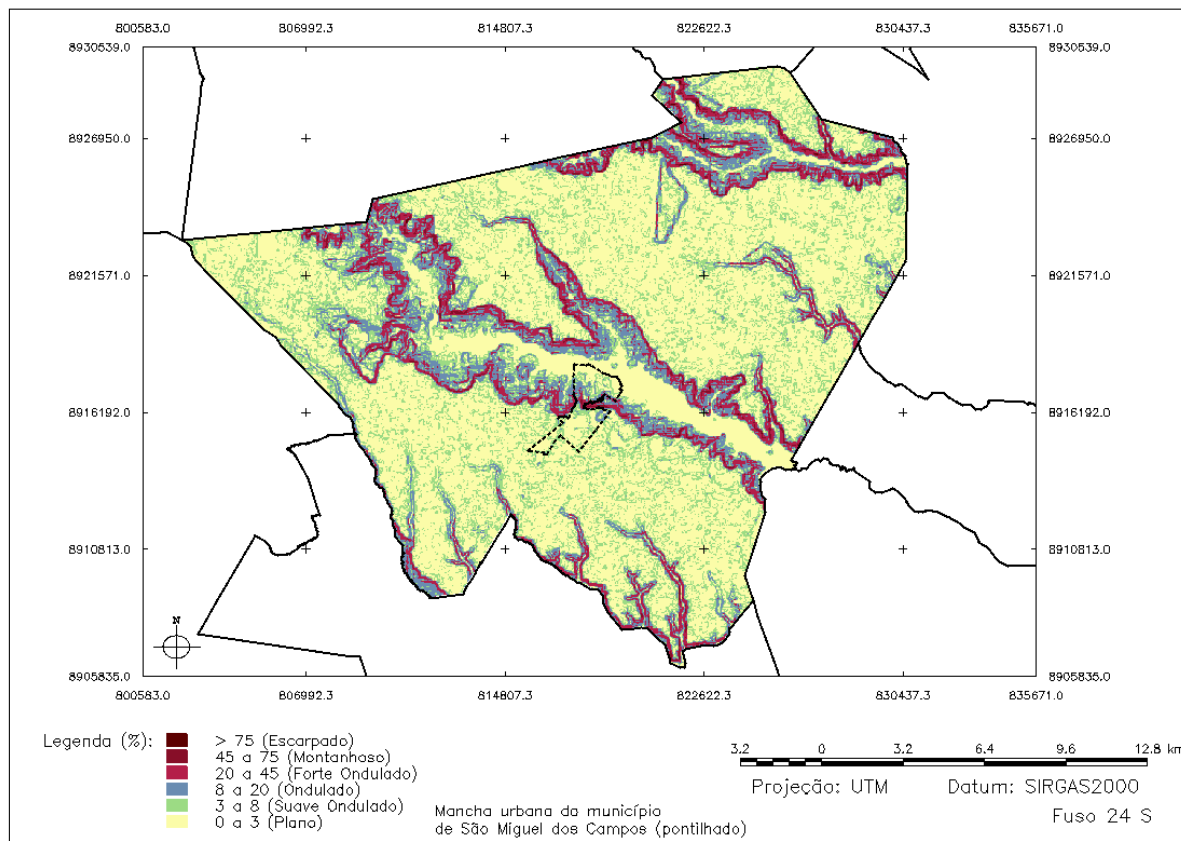


Figura 05: Mapa de declividade do município de São Miguel dos Campos – AL. Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 02 está em concordância com a hipsometria encontrada, mostrando que a maior área da região é a considerada plana, possuindo declividade entre 0 e 3 %, área esta localizada exatamente sobre a região dos tabuleiros (cor amarela do mapa).

Tabela 02: Áreas das classes de declividade

Classes (%)	Area (km <sup>2</sup> )
0 - 3 (Plano)	199,43
3 - 8 (Suave Ondulado)	81,25
8 - 20 (Ondulado)	45,25
20 - 45 (Forte Ondulado)	29,95
45 - 75 (Montanhoso)	4,47
>75 (Escarpado)	0,50

Fonte: elaborado pela autora.

### 2.3 Aquisição das imagens do satélite RapidEye

As imagens utilizadas nesta pesquisa são referentes aos dias 11/12/2011, 06/11/2012 e, obtidas pelo sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) do satélite RapidEye. Tais imagens foram adquiridas junto ao Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015) (Figura 06), são referentes ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 S. Optou-se por usar imagens desse satélite, pois o mesmo possui uma média resolução espacial (5

metros), ampliando assim a qualidade do produto final dessa pesquisa que é o NDVI. As datas supracitadas correspondem aos três anos de recobrimentos adquiridos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), junto a RapidEye AG.

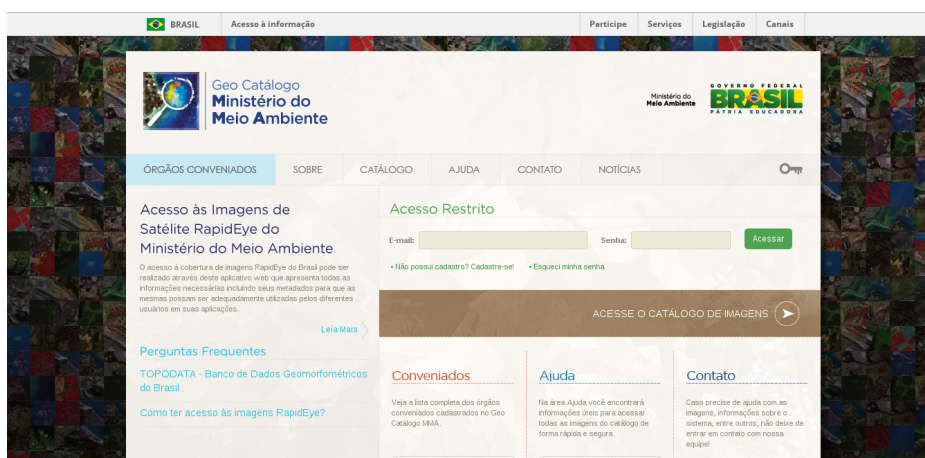


Figura 06: Tela inicial do Geo Catálogo do MMA. Fonte: MMA (2015).

As imagens adquiridas são referentes ao produto nível 3A da RapidEye AG., tais imagens já possuem correção geométrica e ortorretificação. As imagens do catálogo consistem de um arquivo compactado contendo:

- Arquivo de imagem: arquivo em formato GeoTiff contendo os dados da imagem e as informações de geolocalização;
- Arquivo de metadado: arquivo em formato XML contendo os metadados da imagem;
- Arquivo de navegação da imagem: arquivo em formato GeoTiff com baixa resolução, somente para visualização da cena referente a imagem;
- Arquivo de Máscara de dado inutilizável (UDM): arquivo em formato GeoTiff que mostra a extensão total da imagem aplicado com um preenchimento preto.

Posterior a aquisição das imagens, todo o processamento das mesmas foi realizado através do *software* livre e de código aberto SPRING em sua versão 5.3, instalado em sistema operacional também livre Debian em sua versão 8. Para o armazenamento das imagens através do SPRING foi criado um banco de dados local, utilizando-se o gerenciador PostgreSQL, versão 9.4.1.

## 2.4 Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) – Estrutura do Script em LEGAL

Segundo Cavalcante (2015) a determinação de um *script* em LEGAL ocorre através de uma lista de sentenças lógicas que descrevem procedimentos a serem seguidos sobre os dados geoespaciais. Dividi-se estruturalmente em: Declarações, Instanciações, Operações e Comandos de Controle. Cada estrutura pode ser compreendida como:

- **Declaração:** parte do *script* que defini e associa variáveis a suas devidas categorias;
- **Instanciações:** esta estrutura é responsável pela recuperação e criação de novos planos de informação;
- **Operações:** São as expressões algébricas aplicadas sobre os dados geoespaciais;
- **Comandos de controle:** Contribuem para o fluxo do *script* modelando situações que necessitam da aplicação de condicionais e/ou repetições de uma mesma operação.

## 2.5 Conversão de Números Digitais (ND) para reflectância

Nesta primeira etapa ocorre a conversão dos números digitais (ND), para radiância espectral, ou seja, a energia proveniente do Sol que é refletida por pixel em uma determinada unidade de área, tempo e ângulo. A radiância espectral foi calculada conforme a Equação 01 (SIMPLICIO; SILVA, 2013):

$$RAD_{(i)} = DN_{(i)} \cdot radiometricScaleFactor_{(i)} \quad (1)$$

Sendo RAD é o valor da radiância,  $i$  é o número da banda espectral e *radiometricScaleFactor* é um fator de escala, que para imagem RapidEye corresponde a  $9.999999776482582 \cdot 10^{-3}$ , podendo ser encontrado no arquivo XML que acompanha a imagem.

Com os valores de radiância, calcula-se a reflectância no topo da atmosfera conforme a Equação 02 (SIMPLICIO; SILVA, 2013):

$$REF_{(i)} = RAD_{(i)} \cdot \frac{\pi \cdot SunDist^2}{EAI_{(i)} \cdot \cos(SolarZenith)} \quad (2)$$

Onde: REF é o valor da reflectância,  $i$  é o número da banda espectral, *SunDist* é o inverso do quadrado da distância Terra-Sol, em unidades astronômicas, EAI é a irradiância solar na exoatmosfera (Tabela 03) e *SolarZenith* é o ângulo solar zenital ( $90^\circ$  - elevação solar).

Tabela 03: Irradiância Solar da Exoatmosfera (EAI)

Bandas	Irradiância solar na exoatmosfera (EAI)
1	1997,8
2	1863,5
3	1560,4
4	1395,0
5	1124,4

Fonte: Blackbridge (2015).

### 2.5.1 Estimativa do NDVI

O NDVI é um índice vegetativo obtido pela razão entre a subtração da reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R) e a soma das mesmas bandas, Equação 03 (TUCKER, 1979).

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (3)$$

Em que IVP é a banda do infravermelho próximo, que compreende a banda 5 do RapidEye e V é a banda do vermelho, que compreende a banda 3 do RapidEye.

O índice mede o verdor da vegetação, possuindo valores entre -1,0 e 1,0; segundo Simplicio e Silva (2013) áreas com vegetação sadia e com alto vigor tendem a obter valores positivos altos entre 0,5 e 1,0; já vegetações esparsas valores menores entre 0,2 e 0,5; solo



exposto valores entre 0,1 e 0,2; as nuvens valores muito próximos a 0,0 e corpos d'água valores negativos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta pesquisa implementou-se os cálculos necessários a estimar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), encontrada no *software* livre e de código aberto SPRING. O *script* buscou embasamento na pesquisa de Cavalcante (2015), que realizou implementações em LEGAL para a estimativa da evapotranspiração real horária em um complexo irrigado localizado entre a cidade de Petrolina, estado de Pernambuco e Juazeiro localizada no estado da Bahia.

#### 3.1 Implementação da estimativa do NDVI através da LEGAL

A implementação foi pensada para que o processamento fosse realizado através de um único *script*, calculando assim todos os passos necessários para a estimativa do índice de Vegetação por Diferença Normalizada, seguindo a estrutura necessária de declaração, instanciamento e operação.

A primeira etapa da implementação foi iniciada com a declaração de todas as variáveis que seriam utilizadas no processo, como pode ser visto no trecho de código abaixo:

```

1 {
2   MNT   banda1, banda2, banda3, banda4, banda5   ("CAT_MNT");
3   MNT   rad1,   rad2,   rad3,   rad4,   rad5("Radiancia");
4   MNT   ref1,   ref2,   ref3,   ref4,   ref5 ("Reflectancia");
5   MNT   ndvi("NDVI");
6 }

```

Na linha 3 encontram-se declaradas as cinco bandas das imagens RapidEye, nas linhas 4 e 5 as radiâncias e reflectâncias foram declaradas e por último na linha 6 o NDVI, mesmo todas as variáveis possuindo o mesmo modelo de dado, o MNT, optou-se por criar planos de informações diferentes para cada um (CAT\_MNT, Radiancia, Reflectancia e NDVI), organizando melhor a estrutura das informações a serem geradas.

Na etapa dois foram realizadas as instanciações de todas as variáveis utilizadas durante o processo de álgebra de mapas, no trecho de código abaixo, pode-se perceber que as linhas 4 a 8 estão sendo recuperadas as informações já existentes no banco de dados, ou seja, as cinco bandas do satélite RapidEye, por isso a existente da palavra reservada **Recupere**. Das linhas 10 a 21 a palavra reservada utilizada foi **Novo**, logo, é intrínseco que está sendo criado um novo plano de informação, é relevante apontar que em todos os novos planos foi atribuído o valor 12 a quantidades de bits, pois, é a resolução radiométrica das imagens advindas do RapidEye.

```

1 {
2 //Instanciacaoes   das   variaveis
3
4 banda1   =   Recupere(Nome = "Azul");
5 banda2   =   Recupere(Nome = "Verde");
6 banda3   =   Recupere( Nome = "Vermelho");
7 banda4   =   Recupere(Nome = "RE");
8 banda5   =   Recupere(Nome = "IR");
9

```

```

10  rad1 = Novo(Nome = "Radiancia_1", ResX=5,ResY=5,Escala=5000,
    Nbits=12);
11  rad2 = Novo(Nome = "Radiancia_2", ResX=5,ResY=5,Escala=5000,
    Nbits=12);
12  rad3 = Novo(Nome = "Radiancia_3", ResX=5,ResY=5,Escala=5000,
    Nbits=12);
13  rad4 = Novo(Nome = "Radiancia_4", ResX=5,ResY=5,Escala=5000,
    Nbits=12);
14  rad5 = Novo(Nome = "Radiancia_5", ResX=5,ResY=5,Escala=5000,
    Nbits=12);
15  ref1= Novo(Nome = "Reflectancia_1",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,      Nbits=12);
16  ref2= Novo(Nome = "Reflectancia_2",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,      Nbits=12);
17  ref3= Novo(Nome = "Reflectancia_3",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,      Nbits=12);
18  ref4= Novo(Nome = "Reflectancia_4",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,      Nbits=12);
19  ref5= Novo(Nome = "Reflectancia_5",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,      Nbits=12);
20
21  ndvi = Novo(Nome = "NDVI",ResX=5,ResY=5,Escala=5000,  Nbits=12);
22  }

```

Na terceira e última etapa foram realizadas as operações, nota-se que em algumas linhas do trecho abaixo existe a instanciações de algumas variáveis reais, por exemplo: linha 4, linhas 22 a 26, dentre outras, tal instanciação é utilizada para atribuir um valor direto a uma variável. Nas linhas 8 a 12 é realizado o cálculo da radiância, da 43 a 47 o da reflectância, finalizando na linha 51 com a extração dos valores de NDVI.

```

1  {
2  //Fatores de escala
3
4  radiometricScaleFactor= 9.99999776482582*(10^-3);
5
6  //Radiancia
7
8  rad1 = banda1 * radiometricScaleFactor;
9  rad2 = banda2 * radiometricScaleFactor;
10 rad3 = banda3 * radiometricScaleFactor;
11 rad4 = banda4 * radiometricScaleFactor;
12 rad5 = banda5 * radiometricScaleFactor;
13
14 //Reflectancia
15
16 //Distancia Terra-Sol
17
18 d = 0.99127; //Valor a depender da data imagem
19
20 //EAI (Irradiancia solar na exoatmosfera)
21
22 EAI1 = 1997.8;
23 EAI2 = 1863.5;
24 EAI3 = 1560.4;
25 EAI4 = 1395.0;
26 EAI5 = 1124.4;
27
28 //Angulo Solar Zenital
29
30 //Media das elevacoes solares da cenas utilizadas
31
32 elevacaosolar1 = 81.72404;
33 elevacaosolar2 = 81.85459;
34 elevacaosolar3 = 81.12381;

```

```

35 elevacaosolar4 = 81.67345;
36
37 mediaelevacaosolar = (elevacaosolar1 + elevacaosolar2 + elevacaosolar3 +
elevacaosolar4)/ 4;
38
39 angulosolar = ((90- mediaelevacaosolar) * PI) / 180,
40
41 //Reflectancia
42
43 ref1= (rad1 * PI*(d^2))/(EAI1 * cos(angulosolar));
44 ref2= (rad2 * PI*(d^2))/(EAI2 * cos(angulosolar));
45 ref3= (rad3 * PI*(d^2))/(EAI3 * cos(angulosolar));
46 ref4= (rad4 * PI*(d^2))/(EAI4 * cos(angulosolar));
47 ref5= (rad5 * PI*(d^2))/(EAI5 * cos(angulosolar));
48
49 //NDVI
50
51 ndvi = (ref5 - ref3)/(ref5 + ref3);
52 }
  
```

### 3.2 Aplicação: Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) utilizando-se de imagens da constelação RapiEye

Nesta fase foram avaliadas as respostas encontradas para o NDVI estimado através do *script* desenvolvido nessa pesquisa. A análise ocorreu por meio da criação de mapas temáticos, representando os valores encontrados de NDVI para três anos distintos, utilizando-se como estudo de caso do município de São Miguel dos Campos - Alagoas.

As Figuras 07 e 08 representam os mapas temáticos contendo as estimativas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o município de São Miguel dos Campos, para os anos de 2011 e 2012, respectivamente.. Nos mapas foi colocada uma ampliação da área urbana do município de São Miguel dos Campos, visando evidenciar a configuração do NDVI na zona urbana.

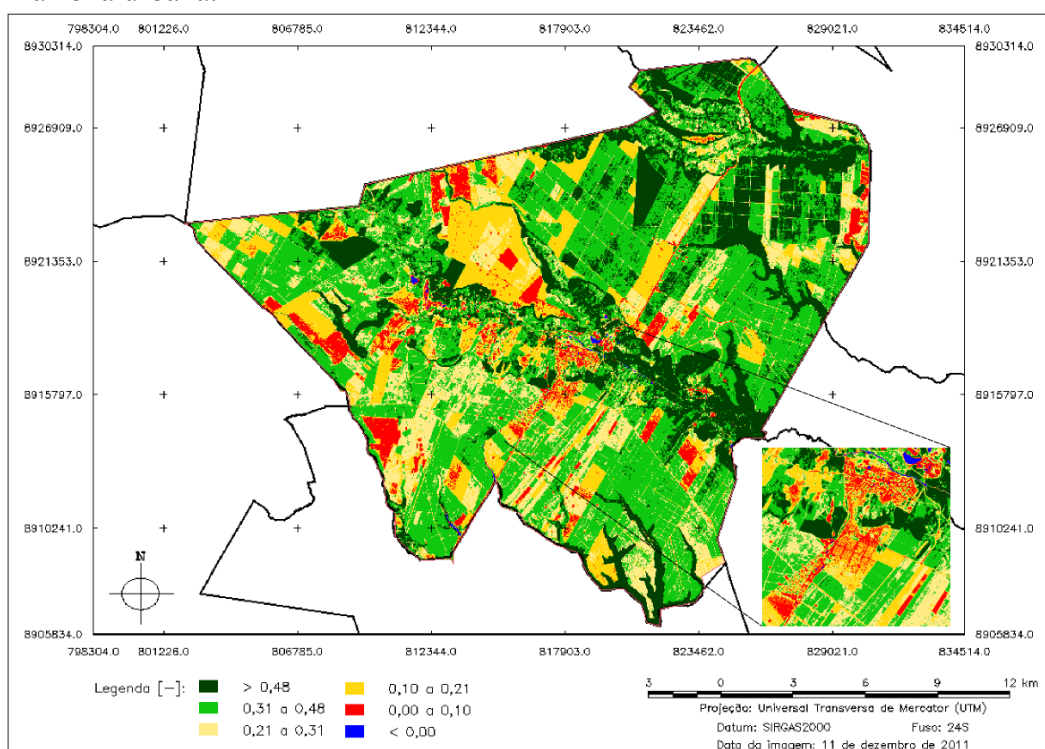


Figura 07: Mapa de NDVI para o dia 11 de dezembro de 2011. Fonte: elaborado pela autora.

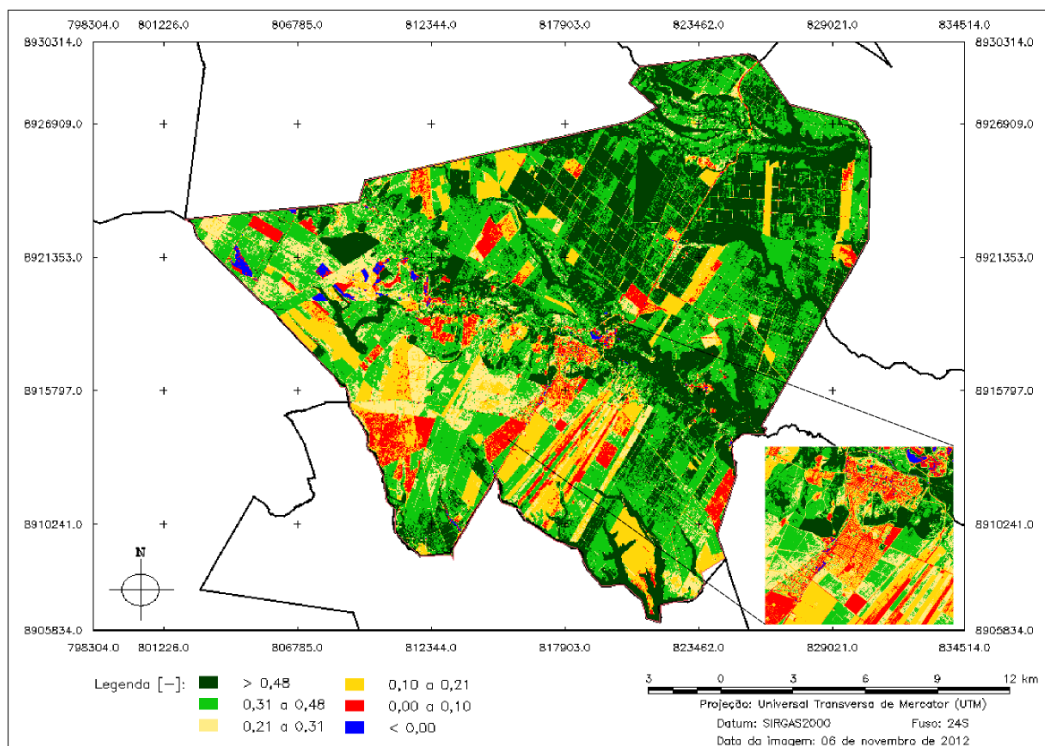


Figura 07: Mapa de NDVI para o dia 06 de novembro de 2012. Fonte: elaborado pela autora.

Visando analisar a qualidade das imagens geradas e sua acurácia na identificação de alvos foram realizados diversos recortes de áreas de interesse para realizar comparações com imagens de alta resolução espacial capturadas através da ferramenta Google Earth Pro (GOOGLE, 2015). Assim fica evidenciado a qualidade da estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada extraído a partir de imagens da constelação RapidEye

Na Figura 08 esta apresentado o recorte referente a área de interesse 1 onde localiza-se o Estádio Municipal Manoel Ferreira de Amorim (assinalado com um ponto na cor preta na imagem), um sítio que fica próximo ao estádio (ponto na cor amarela) e o conjunto habitacional Novo São Miguel que foi construído em São Miguel dos Campos (ponto na cor vermelha). Os alvos foram escolhidos visando testar o comportamento do NDVI para uma região com uma vegetação mais densa e com alto verdor (sítio), local de maior infraestrutura em alvenaria (conjunto habitacional) e um local mesclado com alvenaria e vegetação (estádio), vale ressaltar que a referida imagem é do ano de 2013.



Figura 08: Área de interesse contendo o Estádio Municipal Manoel Ferreira de Amorim (ponto em preto), sítio (ponto em amarelo) e conjunto habitacional (ponto em vermelho). Fonte: GOOGLE (2015).

O mesmo recorte foi realizado com as estimativas do NDVI calculadas nesta pesquisa, referentes aos anos de 2011 e 2012, os mesmos são apresentados abaixo nas Figuras 09 e 10, respectivamente. É importante salientar que dos três alvos analisados, somente o estádio e o sítio já existiam durante estes dois anos, o conjunto habitacional Novo São Miguel em 2011 e 2012 estava em processo de construção, tendo a conclusão das obras sido realizada em 2013.

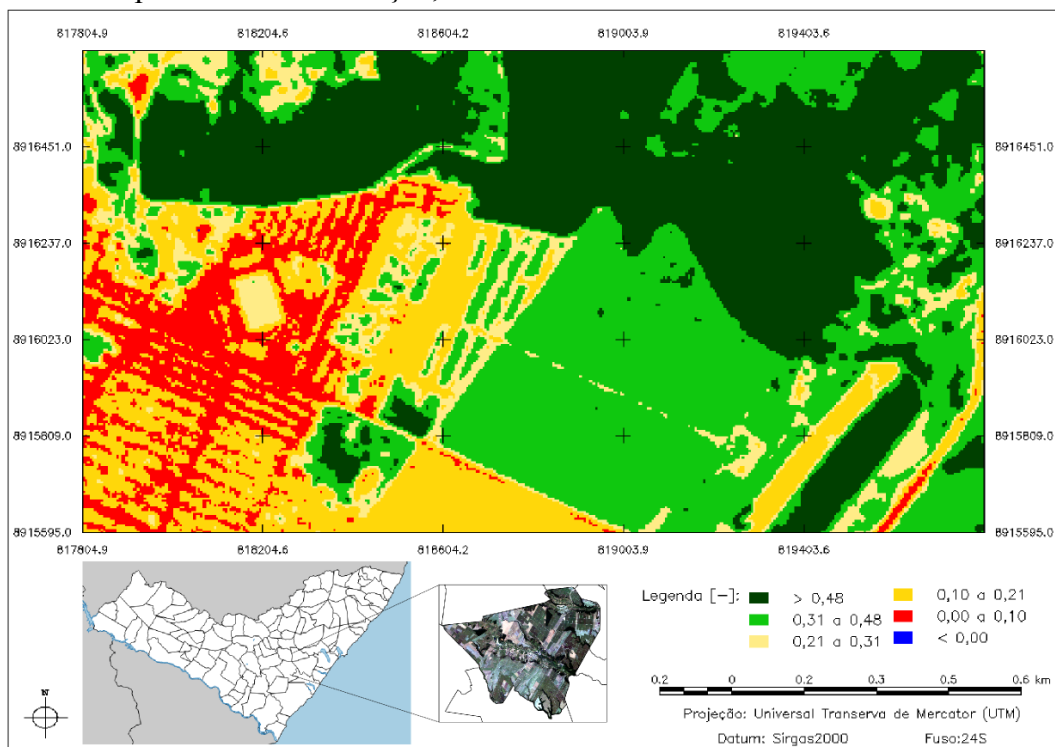


Figura 09: Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o ano de 2011, recorte para a área de interesse 1. Fonte: Elaborado pela autora.

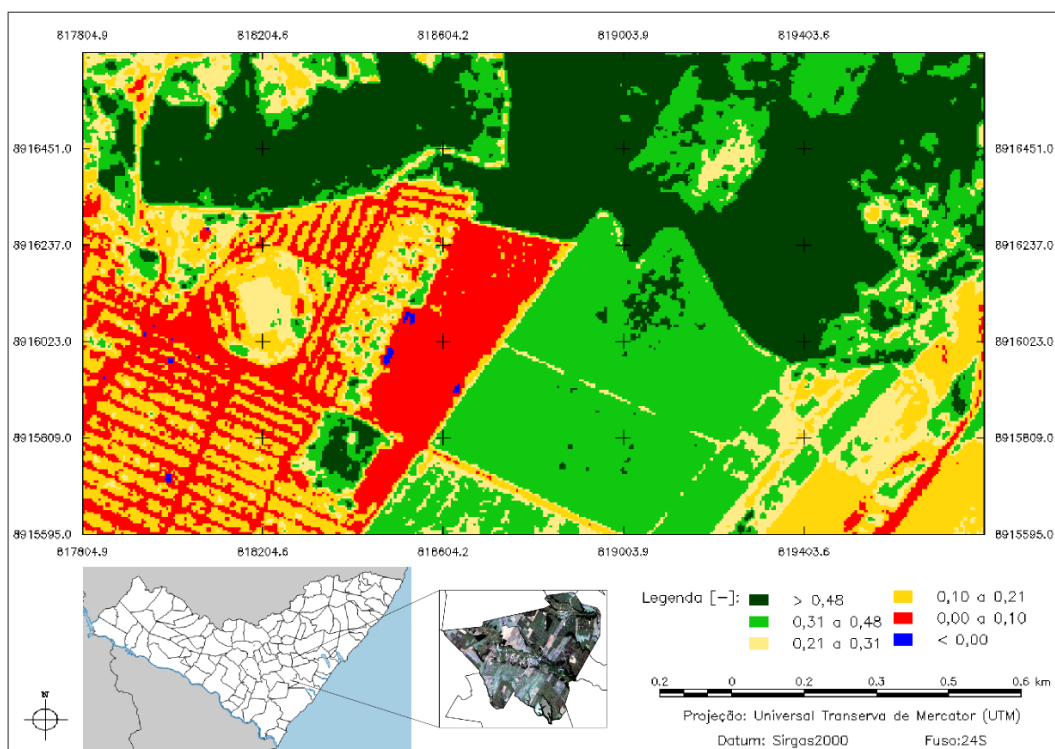


Figura 10: Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o ano de 2012, recorte para a área de interesse 1. Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando primeiramente o Estádio Municipal Manoel Ferreira de Amorim, nota-se que, o mesmo, apesar de sofrer grandes variações de NDVI com o passar dos anos, continua sendo notória sua estrutura visual, na imagem de 2011 percebe-se que existe uma concentração muito maior de valores muito baixos de NDVI entre 0,00 e 0,10; o que decai com o decorrer dos anos. Esse fator se deve a plantação de algumas espécies vegetais no entorno do estádio ao longo dos anos, o que influencia diretamente nas estimativas do índice.

O sítio localizado nas proximidades, por possuir uma vegetação muito mais densa e assim um maior verdor, possui sua variação ao longo dos anos atribuída aos meses de aquisição das imagens do RapidEye, nos anos de 2011 e 2012 o que predomina é um NDVI entre 0,31 e 0,48.

A área correspondente ao conjunto é o alvo que sofre variações drásticas de NDVI, partindo de 2011 com um índice em sua maioria variando entre 0,10 e 0,21; para um 2012 em sua fase de terraplanagem, onde o solo se encontra exposto, com valores entre 0,00 e 0,10. Fora os alvos supracitados é relevante apontar a questão da vegetação que em todas as estimativas realizadas encontra-se claramente demarcada, podendo assim ser utilizadas para os mais diversos estudos ambientais.

#### 4 CONCLUSÃO

- As imagens obtidas através dos satélites da constelação RapidEye, através do sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), alcançam resultados espaciais refinados e uma boa precisão no reconhecimento de alvos;
- Por possuir uma média resolução espacial (5m) e radiométrica (12 *bits*), o RapidEye demonstrou que é viável sua utilização para questões ambientais e planejamento urbano através da estimativa do NDVI, conseguindo verificar pequenas variações no verdor vegetativo em pequenas áreas como apresentado na pesquisa;
- A estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizando-se das imagens gerados através do sensor REIS, demonstraram um padrão de qualidade muito bom, podendo ser aplicado nos mais diversos setores: públicos, privados e acadêmicos; e para as mais diversas atividades: planejamento, infraestrutura, meio ambiente, monitoramento de risco, desmatamento, dentre outros;
- O *software* livre SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), rodando em um sistema operacional também livre Debian demonstrou estabilidade e melhor desempenho de processamento do que em sistemas proprietários;
- A escrita do algoritmo necessário para o cálculo da estimativa do NDVI através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), dissemina o pensamento do não aprisionamento a *softwares* proprietários, ao mesmo tempo que demonstra que *softwares* livres atendem a necessidade de forma equivalente ao *softwares* pagos;
- Diante do exposto a utilização das imagens do RapidEye para geração de NDVI com o objetivo de distinguir alvos e dar suporte a tomada de decisões atendeu as expectativas esperas de um sensor com as características do REIS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACKBRIDGE. Satellite Imagery Product Specifications. 2015. Disponível em: <<http://blackbridge.com/>>. Acesso em: 06 ago 2015.
- CAMARA, G. et al. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computers & graphics*, Elsevier, v. 20, n. 3, p. 395–403, 1996.
- CAVALCANTE, L. B. Implementação do Algoritmo SEBAL em Linguagem LEGAL/SPRING. Aplicação para O Complexo Irrigado de Petrolina-PE/Juazeiro-BA. [S.l.]: Universidade Federal de Alagoas, 2015.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. [S.l.]: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.
- GOOGLE. Google Earth. 2015. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 23 nov 2015.
- IBGE. Informação Completa das Cidades. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 23 fev 2015.
- INPE. A criação da DPI... como tudo começou. 2015. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 28 jan 2015.
- JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, Elsevier, v. 11, n. 3, p. 185–200, 1991.
- MMA. Geo Catálogo Ministério do Meio Ambiente. 2015. Disponível em: <<http://geocatalogo.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 10 out 2015.
- MOREIRA, R. da C. ESTUDO ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS COM IMAGENS DO SENSOR HSS (HYPERSPPECTRAL SCANNER SYSTEM). [S.l.]: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- RAMOS, R. *et al.* Aplicação do Índice da vegetação por diferença normalizada (ndvi) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, p. 001–006, 2010.
- RIBEIRO, B. M. G.; FONSECA, L. M. G.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando imagens worldview-ii e o sistema interimage. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 63, 2011.
- SEPLAG. Área Ocupada por Cana-de-Açúcar - 2012. 2015. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-agropecuaria-2014/resource/822702b7-6ffe-4ab6-9009-954f4cd7446f>>. Acesso em: 07 set 2015.
- SIMPLICIO, B. F.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação ndvi em imagens landsat 5 e rapideye. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.1442–1449, 2013.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, Elsevier, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.
- ZYL, J. J. V. The shuttle radar topography mission (srtm): a breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronautica*, Elsevier, v. 48, n. 5, p. 559–565, 2001.