

CORREÇÃO DE IMAGENS E CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PINHEIRAL, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Deyvid Diego Carvalho Maranhão

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Seropédica, RJ, Brasil
deyvidmaranhao@gmail.com

Marcos Gervasio Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil
gervasio@ufrj.br

Elias Mendes Costa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Seropédica, RJ, Brasil
eliasmccosta@yahoo.com

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil
lanjos@ufrj.br

Recebido em: 13/12/16; Aceito em: 26/05/17

RESUMO

A qualidade da imagem de satélite depende das características do sensor, efeitos da atmosfera, iluminação, ruídos e distorções, dificultando a extração de informações e interpretação dos dados da superfície do terreno. O objetivo desse estudo é comparar imagens RapidEye, a partir dos valores de refletância aparente e da superfície, e classificar a cobertura e uso da terra do município de Pinheiral, Rio de Janeiro. Foi utilizado o modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) para correção das imagens, em seguida realizada a caracterização do uso da terra, a partir de índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e vegetação ajustado ao solo (SAVI). Foram amostrados oito pixels em cada alvo, em seguida gerados gráficos a partir dos valores de refletância aparente e da superfície, em função das bandas. Recomenda-se a correção radiométrica, melhorando a acurácia da extração de informações dos alvos. Os índices apresentaram um bom desempenho na identificação das classes de cobertura e densidade. A classe de cobertura predominante é a pastagem, com diferentes níveis de degradação, seguido de fragmentos florestais dispostos principalmente nas regiões sul e sudeste. Em geral, ocorrem pastagens com alto nível de degradação, associadas a relevo fortemente ondulado. Essa região apresenta alta fragilidade quanto a processos erosivos, requerendo estudos relacionados ao manejo do solo.

Palavras-chave: Transferência radiative; NDVI; SAVI; Classificação supervisionada.

CORRECTION OF IMAGES AND CHARACTERIZATION OF THE USE OF THE LAND IN THE MUNICIPALITY OF PINHEIRAL, STATE OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL

ABSTRACT

The quality of the satellite image depends on the characteristics of the sensor, effects of the atmosphere, lighting, noises and distortions, making it difficult to extract information and interpret the terrain surface data. The objective of this study is to compare RapidEye images from apparent reflectance and surface values and to classify land cover and land use in the municipality of Pinheiral, Rio de Janeiro. It was used the model 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) to correct the images, then the characterization of land use, from normalized difference vegetation indexes (NDVI) and vegetation adjusted to the soil (SAVI). Eight pixels were sampled on each target, then graphs were generated from the apparent reflectance and surface values, as a function of the bands. Radiometric correction is

recommended, improving the accuracy of the extraction of target information. The indices presented a good performance in the identification of the classes of coverage and density. The predominant cover class is pasture, with different levels of degradation, followed by forest fragments arranged mainly in the south and southeast regions. In general, pastures with a high level of degradation, associated with heavily undulating relief, occur. This region presents high fragility in relation to erosive processes, requiring studies related to soil management.

Keywords: Radiative transfer; NDVI; SAVI; Supervised classification.

INTRODUÇÃO

As técnicas de interpretação de imagens de satélite auxiliam na avaliação da superfície terrestre, sobretudo aspectos de ordem espacial e temporal. No entanto, para melhor acurácia do processo de interpretação é necessário a obtenção de imagens de qualidade, que satisfaça o objetivo almejado.

A qualidade da imagem de satélite depende das características do sensor, efeitos da atmosfera, iluminação, ruídos e distorções embutidas no processo de tomada de imagens (BOGGIONE et al., 2014).

A interação da radiação com alvos terrestres é complexa e os efeitos atmosféricos até o sensor podem dificultar a extração de informações e interpretação dos dados da superfície do terreno (ANTUNES et al., 2012). Os efeitos diretos devido à absorção e ao espalhamento pela atmosfera podem ocasionar alterações do brilho da imagem, assim como redução do contraste entre os alvos.

Dessa forma, tem sido utilizadas técnicas para correção dos efeitos da atmosfera, iluminação, ruídos e distorções associadas ao processo de tomada de imagens, em busca da extração de informações confiáveis sobre os alvos, a partir de modelos para correção. Dentre as quais, o modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) desenvolvido por Vermote et al. (1997), em seguida modificado por Antunes et al. (2014), tem sido uma alternativa, seguindo uma abordagem fundamentada na transferência radiativa. Esse sistema considera as características atmosféricas no momento de obtenção da imagem, para o cálculo dos fluxos necessários, com o objetivo de quantificar a reflectância da superfície (ANTUNES et al., 2012).

A correção da imagem possibilita melhor extração de informações da superfície do terreno, sendo de fundamental importância para a gestão territorial, pois pode subsidiar tomada de decisões relacionadas ao uso e conservação de recursos naturais, sobretudo auxiliando na caracterização da paisagem, definindo classes de cobertura e uso da terra.

No Brasil, as mudanças no uso e cobertura da terra ocorrem principalmente devido à substituição de fisionomias naturais por áreas de cultivo agrícola ou pastagem. Várias extensões de terras são submetidas a processos de degradação ambiental, alterando significativamente o balanço de energia, a partir dos ciclos biogeoquímicos e hidrológico (NIYOGI et al., 2009). Assim, a avaliação do uso da terra a partir da classificação de imagens de satélite, corresponde a uma importante ferramenta na gestão dos recursos naturais e elaboração de políticas públicas direcionadas a problemática.

Ao avaliar a integridade da paisagem e manejo do solo em Pinheiral- RJ, Menezes (2008) destacou a importância do emprego do processamento digital de imagens, no planejamento e administração da ocupação do meio físico, além de possibilitar avaliação e monitoramento das áreas de preservação.

A partir do exposto, o objetivo deste estudo é comparar imagens do satélite RapidEye corrigida e não corrigida, e classificar a cobertura e uso da terra no município de Pinheiral, estado do Rio de Janeiro, partindo do pressuposto que mesmo se tratando de uma imagem de satélite com resolução espacial, espectral, temporal e radiométricas, que podem assegurar alta precisão de informação geoespacial, têm ocorrido interpretações errôneas dos alvos quando utilizado uma imagem sem correção.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Pinheiral (Figura 1), estado do Rio de Janeiro, na região do Médio Paraíba do Sul, na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, município localizado entre as latitudes 22°29'03''e 22°35'27''S, seguido de longitudes 43°54'49''W e 44°04'05''W.

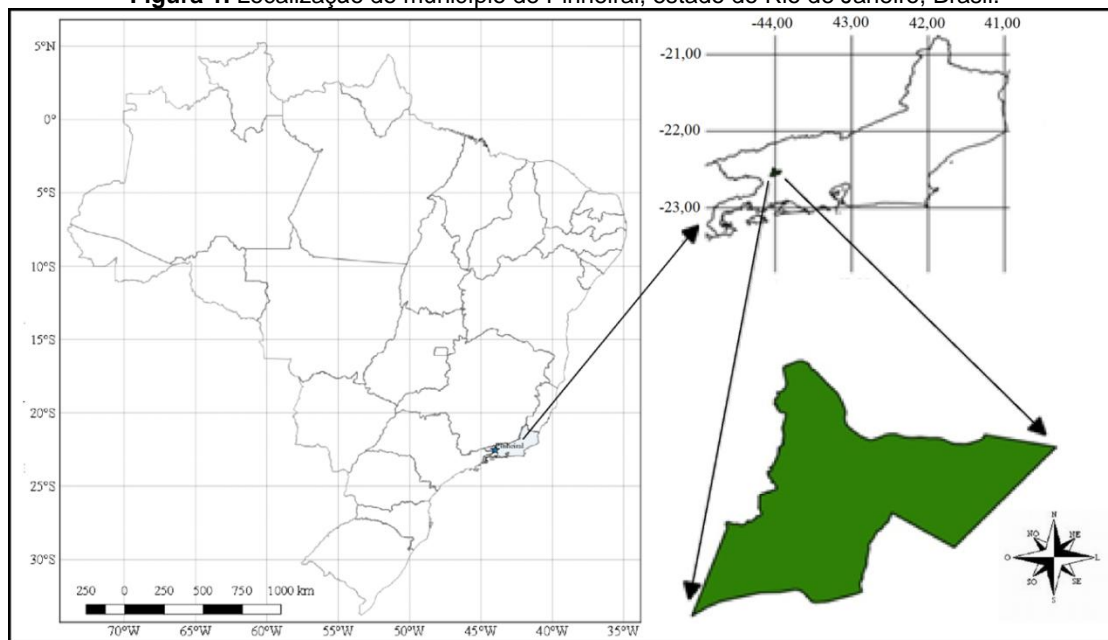
O clima regional é classificado como Am, caracterizado como tropical chuvoso, com inverno seco (KÖPPEN, 1948). Essa área está inserida no domínio ecológico da Floresta Atlântica, cuja vegetação original é classificada como Floresta Pluvial Baixo Montana, característica de zonas com altitudes entre 300 e 800 metros (RIBEIRO e WALTER, 2008).

O município está inserido no domínio "Mar de Morros" (AB SABER, 1967), apresentando uma altitude que vai desde 360 m na várzea do Paraíba do Sul, foz do Ribeirão Cachimbal, até 720m na serra do Arrozal, no interflúvio ao sul da bacia do Ribeirão Cachimbal (OLIVEIRA, 1998).

As áreas que abrangem o Ribeirão Cachimbal, predominam encostas com declividades variadas (72 %), áreas de topos de morros aplainados (5,7%) e várzeas estreitas (22,3 %) nos vales estruturais da bacia e às margens de seu canal principal (OLIVEIRA, 1998).

As áreas não florestadas são constituídas por pastagem de *Brachiaria sp.*, associada a capim gordura (*Melinis minutiflora*), Sapê (*Hyparrhenia rufa*), Capim rabo de burro (*Imperata brasiliensis*), Grama batatais (*Paspalum notatum*), e leguminosas nativas (DINIZ, 2011), sobretudo apresentando diferentes estágios de degradação e níveis de uso.

Figura 1. Localização do município de Pinheiral, estado do Rio de Janeiro, Brasil.



CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS E O SISTEMA DO SENSOR RAPIDEYE

Foram utilizadas duas imagens RapidEye, obtida em 17 de agosto de 2011 referente à região do município de Pinheiral, estado do Rio de Janeiro, sendo utilizadas as cinco bandas espectrais (Tabela 1). As imagens de satélite foram cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do Contrato MMA n° 30/2012, a partir da autorização concedida à Embrapa Solos e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). A escolha das imagens RapidEye se deu em virtude da sua boa resolução, o que possibilita a avaliação de alvos com uma riqueza de detalhe satisfatória.

O sistema RapidEye é composto por cinco satélites de sensoriamento remoto análogos e em mesma órbita, que atuam em uma faixa da abrangência de coleta de imagens de 77 km de

largura e 1500 km de extensão (RAPIDEYE, 2012). Na Tabela 1 são apresentadas as características do satélite e do sensor, e as funções de filtro que caracterizam a resolução espectral.

Tabela 1. Características dos satélites RapidEye.

Itens	Descrição
Número de Satélites	Cinco
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude
Passagem pelo Equador	+ou- 11:00 h em hora local
Tipo do Sensor	Imageador multiespectral pushbroom
Bandas Espectrais	Blue, Green Red, Red-Edge e Infra Vermelho Próximo.
Espaçamento de pixel 6,5 m no nadir	Espaçamento de pixel 6,5 m no nadir
Tamanho do Pixel (ortorretificada)	5,0 m
Tamanho da Imagem	Cerca de 77 km de largura, comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/25 km ao longo da órbita para 5 bandas
Expectativa de tempo de vida do satélite	7 anos
Tempo de Revisita	Diariamente fora do nadir / 5,5 dias (no nadir)
Datum Horizontal	WGS84
Bits de quantização	12 bits

Fonte: RapidEye (2012)

O RapidEye possui constelação de 5 satélites capazes de adquirir imagens coloridas com resolução espacial de 5 m. Devido ao número de satélites e a alta revisita para a tomada das imagens, a quantidade de imagens existentes em acervo e a capacidade de aquisição de imagens mediante programação dos satélites, tornam o RapidEye a melhor alternativa quando são demandadas imagens de média resolução (RAPIDEYE, 2012).

A partir das imagens RapidEye é exequível captar minúcias do terreno, chegando a identificar áreas de até 0,5 hectare, sendo possível caracterizar áreas de preservação permanentes (APPs) e reservas legais (RLs), sobretudo avaliar o uso da terra a nível de pequena propriedade rural, sendo um ferramenta de grande valia em estudos mais detalhados.

CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Foram realizadas correções nas duas imagens RapidEye, no sentido de eliminar imperfeições que venham a prejudicar na extração de informações. No entanto, não foram necessárias correções geométricas, pois as imagens já são ortorretificadas.

A correção da imagem foi realizada a partir de transferência radiativa (ANTUNES et al. 2012; ANTUNES et al., 2014), utilizando o modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (VERMOTE et al. 1997) modificado por Antunes et al. (2014). Onde o usuário deve dispor de algumas informações referentes à imagem, que são utilizadas na geração do arquivo de entrada de dados (Tabela 2). O modelo 6S foi adaptado para a correção atmosférica de imagens em 16-bit e com funções de resposta normalizada do sensor RapidEye (ANTUNES et al., 2014).

As imagens RapidEye apresentam números digitais de 12 bits, no qual são gravados em arquivos de 16 bits, tendo a calibração aplicada e representam a radiância a nível de satélite em unidades de $W/m^2/Sr/\mu m$ divididos por 100 (RAPIDEYE, 2012). Os parâmetros utilizados nas correções atmosféricas são apresentados na Tabela 2.

A refletância da superfície obtida entre valores de 0 a 1 foi multiplicada por 10000 e armazenada em imagens de 16 bits, no sentido aproveitar a capacidade radiométrica do sensor (ANTUNES et al., 2014). Enquanto, a refletância aparente é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente de um objeto na superfície. Entretanto, ela é calculada a partir do topo da atmosfera, desconsiderando os possíveis efeitos provocados pelos constituintes atmosféricos nos fluxos radiantes incidentes e refletidos (SILVA e ANDRADE, 2013), aspectos que justifica a

necessidade da realização da correção atmosférica da imagem, visto que os valores de reflectância aparente obtidos a partir da equação de Chander et al. (2009) não representam os valores de reflectância do alvo na superfície terrestre.

Tabela 2. Parâmetros de entrada utilizados no modelo 6S

Itens	Cena 1	Cena 2
Data da imagem	17/08/2011	17/08/2011
Horário UTC decimal	14.1822587	14.1832144
Modelo dos gases	Tropical	Tropical
Modelo de aerossol	Continental	Continental
Longitude do centro da cena	-43.95033078°	-43.94868825
Latitude do centro da cena	-22.45885223°	-22.67562960
Altitude média	420 m	420 m
Distância sol-terra	1.01244	1.01244
Ângulo zenital solar	0,79	0,79
Visibilidade	15 km	15 km
Nº total de pixel	25000000	25000000

Foi utilizado um modelo Tropical para a atmosfera gasosa, enquanto para os aerossóis foi utilizado o modelo Continental. A escolha do parâmetro de visibilidade horizontal foi determinada a partir da análise visual da imagem, considerando as características locais, bem como a época do ano. A altitude média da área da imagem foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

O modelo 6S ao corrigir os efeitos deletérios da imagem, realiza a transformação de radiância vezes 100, para reflectância vezes 10000 (ANTUNES ET AL., 2014). No caso da imagem não corrigida, os valores de radiância são convertidos para reflectância, utilizando a equação 1 (CHANDER et al., 2009).

No caso da imagem não corrigida o valor médio de radiância vezes 100 é utilizado na equação 1 (CHANDER et al., 2009), na conversão para reflectância e a imagem corrigida o valor em reflectância foi dividido por 10000, para que ambos os valores de reflectância aparente e da superfície variassem de 0-1.

Equação 1 (CHANDER et al., 2009):

$$\rho_A = \frac{\pi * \frac{L\lambda}{100} * d^2}{ESUN\lambda * \cos\theta} \quad (1)$$

Em que:

ρ_A = Reflectância aparente

$L\lambda$ = Radiância espectral na abertura do sensor (nas imagens RapidEye é multiplicada por 100)

π = Constante matemática (3,1415)

d = Distância entre a Terra e o Sol no dia da aquisição da imagem em unidades astronômicas.

$ESUN\lambda$ = Irradiância solar na exoatmosfera, para cada banda do sensor RapidEye (Fonte: RAPIDEYE, 2012) Blue: 1997.8 W/m²µm; Green: 1863.5 W/m²µm; Red: 1560.4 W/m²µm; RE: 1395.0 W/m²µm; NIR: 1124.4 W/m²µm

θ = Ângulo zenital solar (= 90° - elevação solar)

As imagens corrigidas foram importadas no formato RAW para o software SPRING 5.2.7 (CÂMARA et al. 1996), em seguida exportadas no formato GEOTIFF, a fim de serem georreferenciadas e utilizadas para a classificação supervisionada no software ArcGIS 10.0 (ESRI, 2011).

Nas imagens corrigidas e não corrigidas foram amostrados oito pixels em cada alvo utilizando o software SPRING 5.2.7, gerando um arquivo no formato txt, com os valores da resposta de cada alvo. Em seguida foram gerados os gráficos a partir do software SigmaPlot 12.0 (2010), em que os valores de refletância aparente e da superfície foram dispostos em função das bandas para os diferentes alvos utilizando boxplot, avaliando a distribuição dos dados.

OPERAÇÕES DE BANDAS

As imagens de refletância de superfície foram armazenadas em valores reais de 16-bit e utilizadas para o cálculo dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índices de vegetação ajustado ao solo (SAVI). A partir de operações aritméticas realizadas "pixel" a "pixel" entre diferentes bandas de uma imagem foram gerados índices (JENSEN, 2009). Os cálculos do NDVI (Equação 2) e do SAVI Equação 3) foram realizados a partir do software SPRING 5.2.7, na imagem corrigida para refletância da superfície, por meio das equações descritas abaixo.

O NDVI é obtido através da razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, e pela soma das mesmas, expressas na Equação 2 (JENSEN, 2009):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

O SAVI foi determinado pela Equação 2, sendo utilizada a constante L igual a 0,5, que é sugerido para baixa cobertura vegetal

Equação 3 (JENSEN, 2009):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} \quad (3)$$

Em que:

ρ_{nir} é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo (banda 5);

ρ_{red} é o fluxo radiante refletido no vermelho da região do visível (banda 3);

L é o fator de ajuste do solo (0,5).

Na geração dos dois índices foram utilizadas as bandas 3 e 5, que representam na imagem RapidEye, o vermelho da região do visível e infravermelho próximo.

O valor utilizado para a constante L no SAVI foi de 0,5 por representar densidades médias de vegetação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

O NDVI corresponde um indicador sensível quanto à cobertura vegetacional, cujos valores variam de -1 a 1, de modo que nas superfícies que contêm nuvens ou água esta variação é menor que 0 (zero). Enquanto o considera o efeito do solo exposto nas imagens analisadas para ajuste do NDVI quando a superfície não é completamente coberta pela vegetação.

CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Após a correção radiométrica foi realizada a classificação supervisionada da imagem, por meio da Máxima Verossimilhança (Max Ver) a partir do software ArcGIS Desktop10.0 (ESRI, 2011). Esse método é considerado paramétrico, pois envolve vetor média e matriz de covariância, com distribuição gaussiana multivariada, estimando parâmetros a partir de amostras de treinamento (ERBERT, 2001). Na classificação supervisionada o operador define as classes de acordo com o conhecimento da área para treinamento do algoritmo. Assim, a Max Ver se dá a partir do treinamento do algoritmo e classificação dos alvos desejados. De modo que a partir de parâmetros estatísticos, considera a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma categoria no qual tenha associação (INPE, 2002). As etapas da classificação supervisionada são descritas como:

Treinamento: onde foram selecionadas dez amostras em áreas representativas de cada classe, em seguida extraídos os parâmetros estatísticos, determinando em qual classe pertencem aquele pixel.

Classificação: foi calculada a probabilidade de um pixel pertencer à classe fornecida ao sistema na fase de treinamento.

Confecção dos mapas: foram elaborados a partir do ArcGIS Desktop10.4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPARAÇÃO ATMOSFÉRICA DE IMAGEM

Os efeitos da correção atmosférica das imagens foram claramente observados (Figura 2), pois esta se apresenta mais nítida comparativamente à imagem não corrigida (Figura 3). As duas imagens estão na composição RGB 321, entretanto na imagem não corrigida pode-se observar o efeito visual da interferência da atmosfera.

As imagens geradas por sensores remotos são afetadas pela atmosfera, o que interfere na qualidade das imagens, ocasionando erros na extração de informações da superfície terrestre, o que justifica a realização do procedimento de correção atmosférica para o processo digital de imagem (NOVO, 2008; JENSEN, 2009). No sentido de verificar o efeito espectral, foi realizada a comparação da reflectância das imagens para cada banda e tipo de alvo.

Figura 2. Imagem com correção atmosférica do município de Pinheiral-RJ.

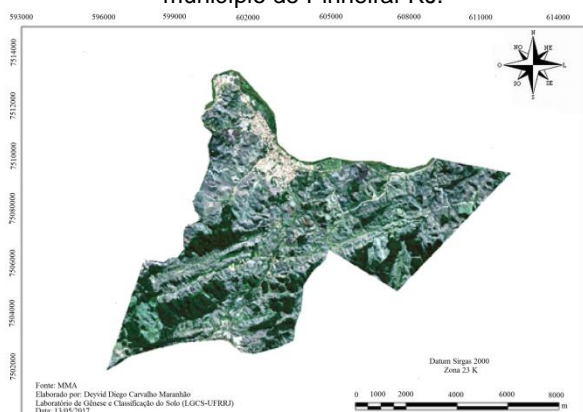
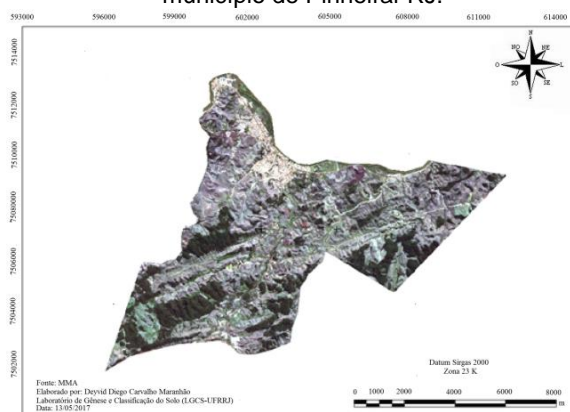


Figura 3. Imagem sem correção atmosférica do município de Pinheiral-RJ.



A Floresta apresentou maiores valores reflectância da superfície na banda 5, infravermelho próximo, com mediana na ordem de 0,18 (Figura 4). Assim como na imagem sem correção, onde a reflectância aparente foi superior na banda 5, com valores de mediana 0,27. Esse padrão na banda do infravermelho próximo (banda 5) é atribuído à alta reflectância das folhas nesta faixa do espectro, devido à estrutura celular do vegetal, o que sugere maior espalhamento da radiação (DELEGIDO et al., 2013; COSTA et al., 2016)

Esse comportamento pode ser atribuído às condições climáticas da tomada da imagem, de modo que naturalmente não apresentava efeitos atmosféricos o que resultou em maiores valores de reflectância na faixa do infravermelho próximo (banda 5).

Na imagem não corrigida, a reflectância apresenta o segundo maior valor (Figura 4) na banda 1, com mediana de 0,17, enquanto na imagem corrigida a resposta espectral nessa banda é de 0,01, aspecto que pode ser atribuído aos efeitos atmosféricos (aerossóis e vapor de água) e do terreno ainda não corrigidos

O solo exposto apresentou maior resposta espectral no infravermelho próximo, tanto na imagem corrigida quanto na imagem não corrigida, com valores de mediana na ordem de 0,48 e 0,67 (Figura 5) nessa faixa do espectro. Os valores das duas imagens decrescem com o aumento do espectro, embora os menores valores de mediana ocorram na imagem corrigida. Padrão similar

ao observado por Antunes et al. (2012) ao avaliarem uma imagem ALOS do sensor AVNIR-2, referente a região de Anápolis, estado do Goiás, submetida a correção atmosférica do modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*).

Muitas vezes a reflectância do solo e de culturas apresentam a mesma faixa do visível e infravermelho próximo (SERBIN et al., 2009). Entretanto, o “solo exposto” caracterizado nesse estudo apresentou padrão espectral próximo ao da pastagem (Figura 7) na imagem corrigida, possivelmente isso ocorre em virtude do elevado grau de degradação da pastagem.

Figura 4. Reflectância da floresta em imagem corrigida.

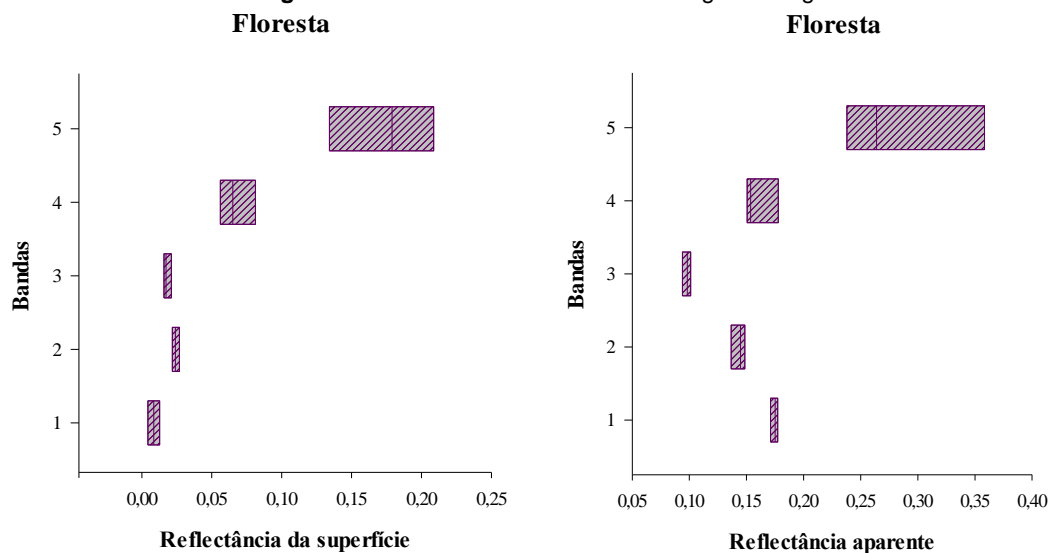
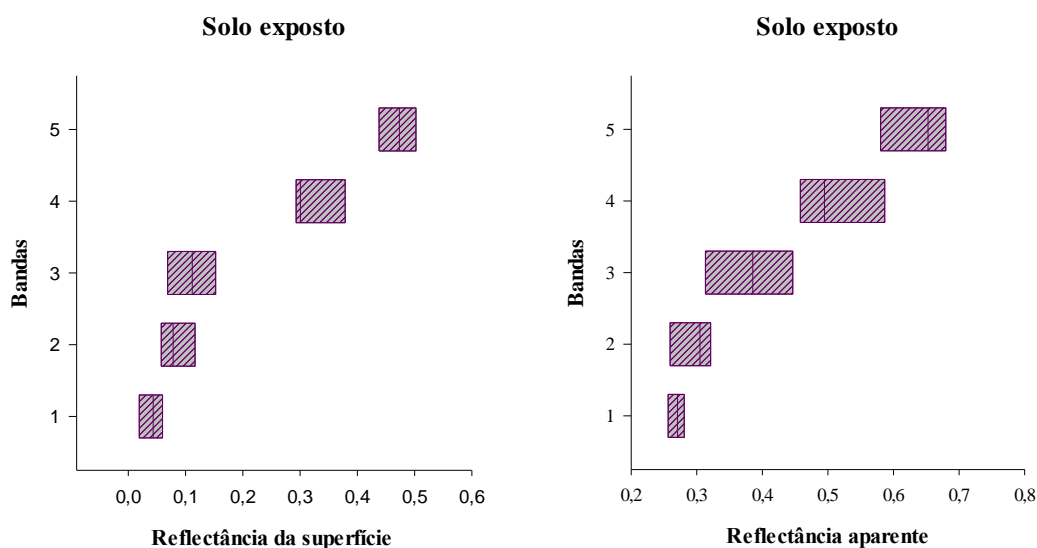


Figura 5. Reflectância do solo exposto em imagem corrigida

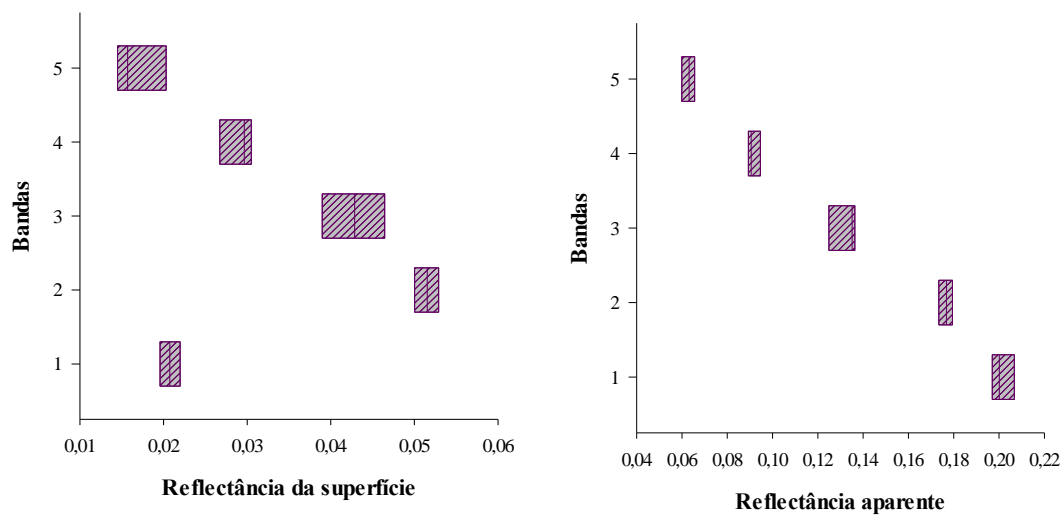


A água apresentou maior valor de reflectância da superfície (Figura 6) na faixa do verde, com valores de mediana 0,05, sendo que a menor reflectância da superfície foi observada na faixa do infravermelho próximo, contrário ao observado nos demais alvos avaliados. A resposta espectral da imagem corrigida corrobora com o observado por Mao et al. (2010), que ao estudarem fitoplânctos, verificaram resposta espectral mais sensível na faixa de 510-550 nm, faixa do verde, sobretudo em virtude das altas concentrações de clorofila.

Na imagem não corrigida (Figura 6), a reflectância aparente foi mais elevada na faixa do azul, com mediana de 0,2, seguido de decréscimo até o infravermelho próximo. Esse efeito na imagem sem correção reforça a necessidade da correção atmosférica para obtenção de dados da superfície quando se trabalha com esse tipo de alvo (água). O mesmo padrão foi observado por

Antunes et al. (2012) ao discriminarem esse alvo em Anápolis-GO, sendo destacada a necessidade da realização da correção atmosférica no estudo de alvos terrestres com objetivo de melhor a acurácia da avaliação. Entretanto, Song et al. (2001) afirma que a correção de distorções atmosféricas pode ou não influir nos resultados alcançados dependendo do tipo de estudo que as imagens sejam destinadas.

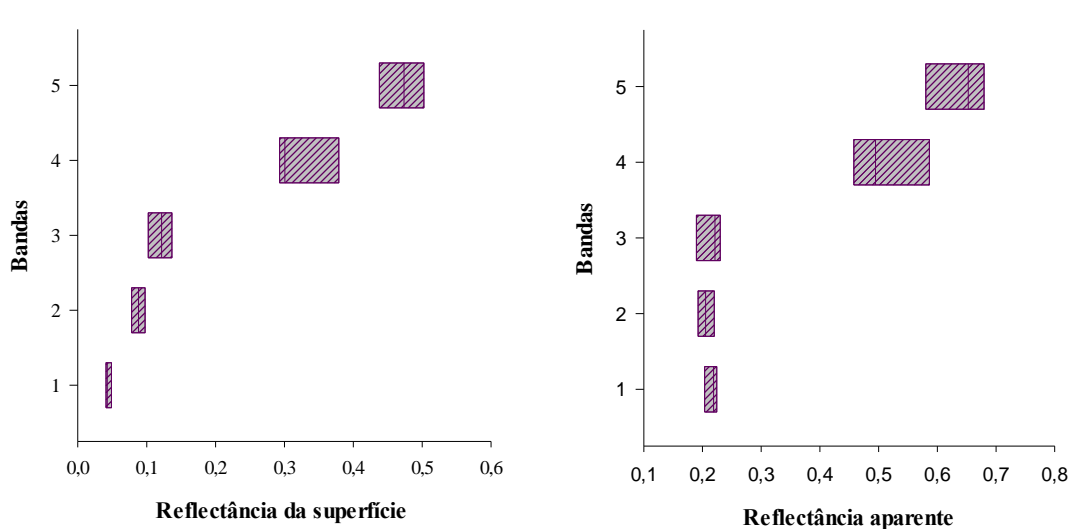
Figura 6. Reflectância da água em imagem corrigida



A recomendação da correção atmosférica é baseada no fato de que para cada imagem há um resultado de reflectância incomum, e isso poderá ocorrer devido a variações das condições atmosféricas e na geometria de iluminação e visada (ANTUNES et al., 2012). De modo que, a correção atmosférica da imagem permitirá uma resposta espectral dos alvos sem a interferência ou qualquer tipo de distorções.

Os valores de reflectância da superfície da pastagem (Figura 7) foram observados na faixa do infravermelho próximo, com mediana de 0,5, decrescendo até faixa do azul. Enquanto na imagem não corrigida (Figura 7), a mediana da faixa do verde é ligeiramente inferior à do azul.

Figura 7. Reflectância da pastagem em imagem corrigida



Entretanto, a maior resposta espectral continua sendo o infravermelho próximo. Esse padrão é atribuído a presença de resíduos vegetais, assim como a senescência de folhas do pasto (DAUGHTRY et al., 2004), considerando que a imagem da área foi feita no mês de agosto,

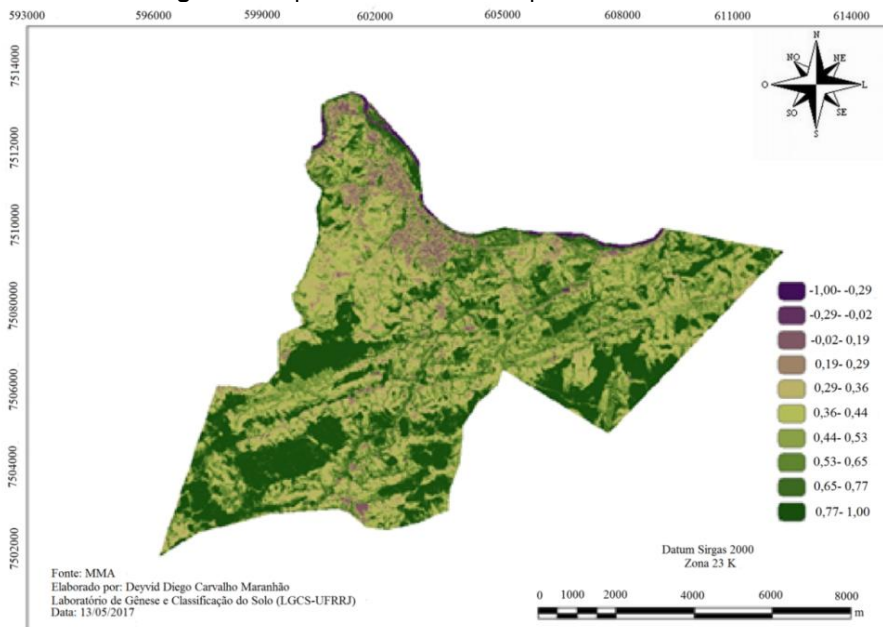
durante um período de baixos índices pluviométrico. Serbin et al. (2009) destacaram a dificuldade de discriminar a vegetação em áreas de cultivo, devido à grande presença de resíduos vegetais o que interfere na resposta espectral do alvo.

CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA

Os maiores valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) correspondem às áreas de vegetação com maior vigor, enquanto os menores equivalem a áreas de vegetação estressada ou desnudas. Rosendo (2005) destaca que quanto mais próximo de 1 é o NDVI, mais densa é a vegetação, enquanto o valor 0 (zero) corresponde a superfície não vegetada.

As áreas que apresentam valores de NDVI negativos representam corpos d'água (Rêgo et al., 2012) destacando ao norte do município, o rio Paraíba do Sul, seguido de lagoas ao longo de todo o território, componentes do sub-bacia do Ribeirão Cachimbal. Enquanto os valores 0,02 a 0,19 representam as áreas urbana (Figura 8), assim como as construções rurais, rodovias e estradas vicinais. As áreas de solo exposto apresentam valores 0,19 a 0,29, marcados principalmente por grandes erosões do tipo voçoroca, principalmente nas faces mais dessecadas da paisagem. De acordo com Rêgo et al. (2012) valores negativos correspondem à área com construções, solo exposto e corpos d'água.

Figura 8. Mapa de NDVI do município de Pinheiral-RJ.



As áreas de pastagem degradadas apresentaram valores de 0,29 a 0,44, incluindo duas classes de cores na figura 8, variando conforme o estágio de degradação, localizadas principalmente nas áreas convexas ao longo da paisagem. Essa paisagem foi caracterizada por Ab`Saber (1967) como morros dissecados, com formatos de meia laranja, denominado de ambientes “Mar de morros”.

As áreas de pastagem mais vigorosa apresentaram valores de 0,44 a 0,65, compondo duas classes de cores, sendo discriminadas quanto ao índice foliar do pasto. As pastagens que apresentam melhor índice foliar estão localizadas nas pedoformas convexas, sendo zonas de acumulação e áreas que apresentam maior umidade, e nas faces mais influenciadas pelos ventos úmidos do sul e sudeste, decorrentes do oceano. Gurgel et al. (2003) destacam que os valores de NDVI variam em função da precipitação, devido a relação direta com o índice de área foliar da planta.

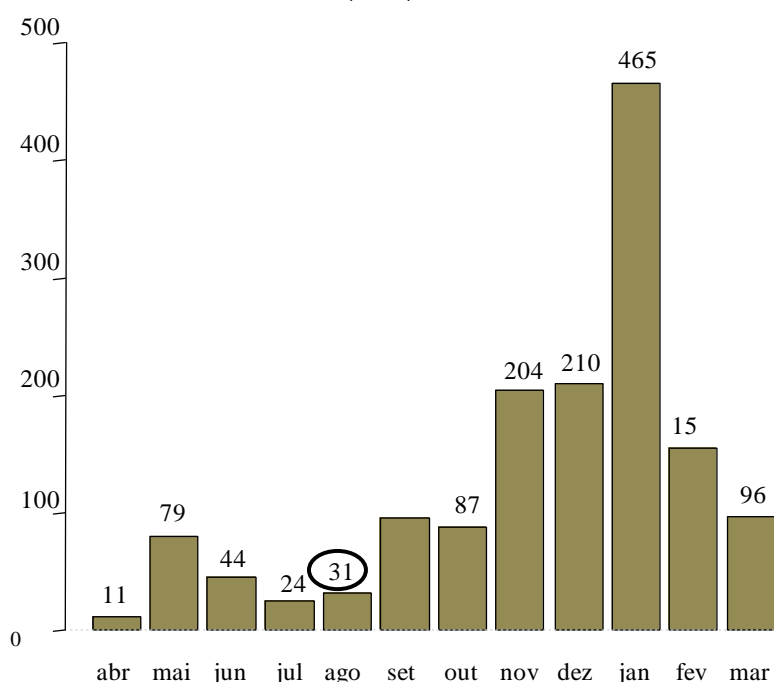
De acordo com Lima et al. (2013) a cobertura vegetal do município de Extrema, sul do estado de Minas Gerais, apresentou valores de NVDI de 0,46 a 0,55 em áreas de pastagem degradadas e índice na faixa de 0,56 a 0,75 para pastagem com maior índice de área foliar. Assim, os autores

relatam que o NDVI é uma boa ferramenta para avaliar o uso do solo, sobretudo identificando áreas passíveis de recuperação.

Os fragmentos florestais (com associação de áreas com arbustos) apresentaram índices de NDVI de 0,65 a 1,0. Esse índice sofre influência de radiância atmosférica, apresenta saturação em relação a altos índices de área foliar e tem sensibilidade às mudanças do dossel (JENSEN, 2009). De acordo com Serbin et al. (2009) o NDVI é sensível à emissão de folhas, majoritariamente as plantas decíduas. Enquanto, Rêgo et al. (2012) mencionam que os índices NDVI e o SAVI são mais elevados em áreas de vegetação densa.

O índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) discriminou as áreas de corpos hídricos na faixa da -1,50 a -0,05, enquanto a área urbana e os locais que apresentam construções rurais, rodovias e estradas vicinais foram discriminadas -0,05 a 0,29 (Figura 9). Esses resultados corroboram com observado por Rêgo et al. (2012), nos quais os autores verificaram valores de SAVI negativos para áreas com construções, solo exposto e corpos d'água.

Figura 9. Precipitação pluviométrica (mm) durante os meses: abril-dezembro (2009) e janeiro-março (2010).



Fonte: Adaptado de Diniz (2011)

As áreas de solo exposto apresentaram índice de 0,29 a 0,43. Enquanto, Viganó et al. (2011) ao avaliarem índices de vegetação em imagem Aster, observaram baixos valores de SAVI em corpos hídricos, seguido das áreas de estrada e solo exposto, no intervalo de 0,21 a 0,32.

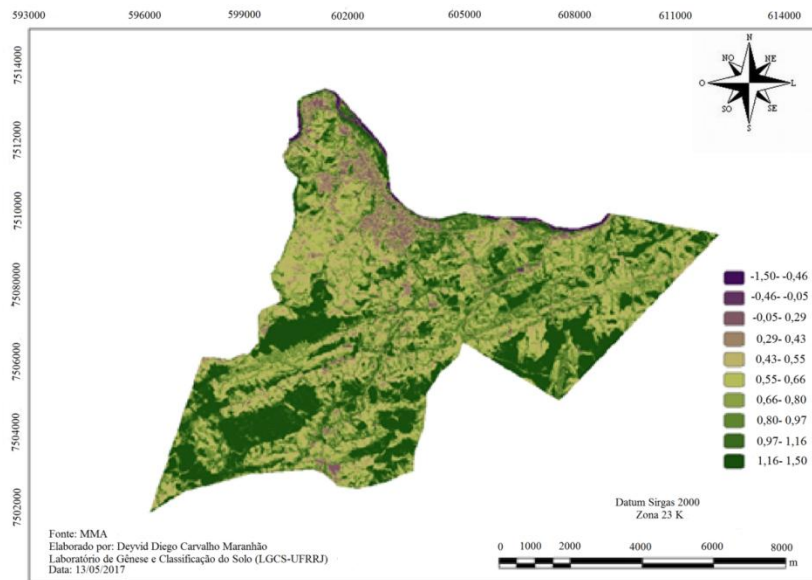
As áreas de pastagem degradadas foram discriminadas na faixa de 0,43 a 0,66, variando em função do estado de degradação, semelhante ao observado no NDVI. Entretanto, as áreas de pastagem com maior índice de área foliar foram discriminadas na faixa de 0,66 a 0,97, localizadas principalmente em cotas mais baixas da paisagem, ao longo das vertentes. Desse modo, as áreas de pastagem foram representadas na faixa de 0,43 a 0,97, variando em função da condição do pasto. Esse padrão pode ser atribuído a época que foi realizada a tomada de imagens, nesse caso no mês de agosto, época do ano de baixa precipitação pluviométrica (Figura 9), o que interfere no índice de área foliar e conseqüentemente na resposta espectral. O valor da assinatura espectral refere-se ao padrão espectral da folha (NOVO, 2008), sob condições climáticas específicas, em um intervalo de tempo e espaço geográfico.

A vegetação da região de Pinheiral é constituída predominantemente por pastagens (*Brachiaria decumbens*), implantadas e não manejadas, que ocorrem em diferentes estágios de degradação,

nível de uso e/ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras em diferentes estágios sucessionais (MACHADO, 2011).

As áreas de floresta apresentaram índice na ordem de 0,97 a 1,50, incluindo duas classes de cores (Figura 10). Esses valores variam em função do estágio das plantas, valores mais próximos de 1,0 representam áreas em estágio de regeneração, onde há grande ocorrência de vegetação arbustiva, o que interfere no índice de área foliar, e consequentemente na resposta espectral.

Figura 10. Mapa de SAVI do município de Pinheiral-RJ.



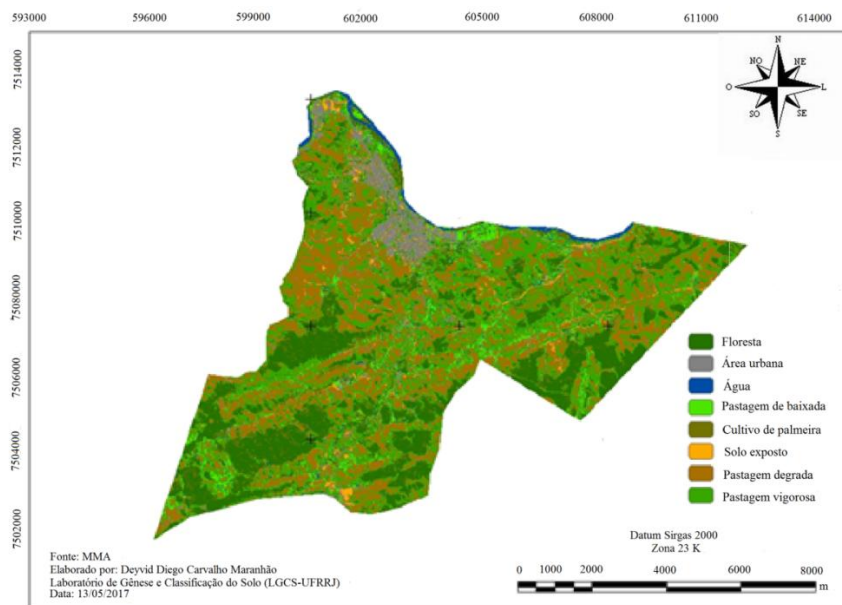
O SAVI limita-se em função dos diferentes biomas e estágio de culturas agrícolas, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as especificidades dos ambientes analisados, apenas a densidade vegetada (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). De acordo com Viganó et al. (2011) o SAVI melhor discrimina os alvos, uma vez que para suas condições de estudo, apresentou maior número de classes correspondentes à área vegetada.

Os índices NDVI e SAVI utilizados na pesquisa apresentaram resultados com bastante semelhança. Assim, as análises realizadas para o NDVI são válidas para o SAVI. A diferença existente entre ambos corresponde ao índice SAVI apresentar um fator de ajuste para o brilho do solo (0,5), o que modifica a escala de valores que acompanha cada índice, o NDVI variou de -1 a 1, e o SAVI variou de -1 a 1,47 (ROSENDO, 2005).

Os índices NDVI e SAVI apresentaram resultados satisfatórios no que diz respeito à representação da vegetação. Entretanto, vale ressaltar que os índices de vegetação podem ser afetados por diversos fatores, como a reflectância sob determinadas condições climáticas, que pode interferir no valor espectral do alvo, influenciando diretamente no valor do índice calculado.

A discriminação das áreas a partir do NDVI e do SAVI coincide com o mapa de uso (Figura 11) gerado a partir da imagem corrigida. Foram discriminadas oito classes de uso, definidas como: Floresta, Área urbana, Água, Pastagem de baixada, Cultivo de palmeira, Solo exposto, Pastagem degradada e Pastagem vigorosa. Ressaltando que grande parte do município de Pinheiral-RJ é composta por pastagem com diferentes estágios de degradação, seguido de fragmentos florestais dispostos principalmente nas regiões sul e sudeste.

Figura 11. Mapa de uso da terra do município de Pinheiral-RJ



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento de correção atmosférica de imagens RapidEye para obtenção de informações dos alvos é recomendável e o modelo 6S adaptado se mostrou adequado para tal fim.

O NDVI e o SAVI apresentaram padrões similares e bom desempenho na identificação das classes de cobertura e na determinação da cobertura vegetal e a sua densidade.

Quanto a classe de cobertura predominante é a pastagem, em diferentes níveis de degradação, seguida de fragmentos florestais. Em geral, a pastagem com alto nível de degradação está associada a relevo fortemente ondulado, com morros no “formato de meia laranja” dissecados, apresentando alta fragilidade quanto a processos erosivos.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) por ter fornecido às imagens de satélite por meio do Contrato MMA n° 30/2012, a partir da autorização concedida à Embrapa Solos e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Ao CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro ao do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. dos S. Avaliação espectral e geométrica das imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília. v.66, p.101-113, 2014.

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; COSTA, A. R.; GLERIANI, J. M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília. v.64, p.531-539, 2012.

AB’SABER, A. N. **Domínios morfolclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. Orientação, n.3, 1967.

BOGGIONE, G. A.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de imagens simuladas da câmera mux do satélite CBERS-4 aplicadas à análise Ambiental. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 20, n. 3, p.590-609, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1982->

[21702014000300034](https://doi.org/10.1177/21702014000300034)

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Lisboa. v.20, n.3, p.395-403, 1996. [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8)

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, tm, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**, Berlin. v.113, n.5, p. 893–903, 2009. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSE.2009.01.007](https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007)

COSTA, E. M.; ANTUNES M. A. H.; DEBIASI, P.; ANJOS, L. H. C. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.9, p.1417-1427, 2016. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900040>

DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT JR., E. R.; MCMURTREYIII, J. E. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. **Remote Sensing of Environment**, Berlin. v. 90, n. 1, p. 126-134, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.023>

DELEGIDO, J.; VERRESLST, J.; MEZA, C. M.; RIVERA, J. P.; ALONSO, L.; MORENO, J. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v.46, p.42-52, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.12.001>

DINIZ, A. R. **Dinâmica de Fragmentos Florestais da Mata Atlântica na Região do Médio Vale Paraíba do Sul, Rio de Janeiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ERBERT, M. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Master Tesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ESRI. ArcGIS Desktop. **Release 10**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2011

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.7, n.1, p.85-90, 2003

INPE, **Tutorial SPRING**. INPE, São José dos Campos, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p.604.

KÖPPEN, W. **Climatology: Common studio de los climates tierra**. Fonda Cultura Económica, México, 1948.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n.2, 2013.

MACHADO, D. L. **Atributos Indicadores da Dinâmica Sucessional em Fragmento de Mata Atlântica na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, Rio de Janeiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MAO, Z.; STUART, V.; PAN, D.; CHEN, J.; GONG, F.; HUANG, H.; ZHU, Q. Effects of phytoplankton species composition on absorption spectra and modeled hyperspectral reflectance. **Ecological Informatics**, Adelaide. v.5, n.5, p.359–366, 2010.

MENEZES, C.E.G. **Integridade da paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. 2008. Tese (Doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

NIYOGI, D.; MAHMOOD, R.; ADEGOKE, J. O. Land-use/land-cover change and its impacts on weather and climate. **Boundary-Layer Meteorology**, Toronto. v.133, p.297–298, 2009.

<https://doi.org/10.1007/s10546-009-9437-8>

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3ª ed. São Paulo: Blucher, 2008.

OLIVEIRA, J. A. **Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas**. 1998. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RAPIDEYE, **Satellite Imagery Product Specifications**. Disponível em: < www.RapidEye.com >. Acesso em 20/03/2015.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no Município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, Manaus. v.2, n.4, p.1217 – 1229, 2012.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Physiognomies of the Cerrado Biome. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. (Eds). **Cerrado: environment and flora**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF, Brazil, 2008. pp.152-212.

ROSENDO, J. S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SERBIN, G.; DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT JR, E. R.; REEVES, J. B.; BROWN, D. J. Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. **Remote Sensing of Environment**, Berlin. v.113, p.224–238, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.004>

SIGMA PLOT. **For windows, version 12.0 Systat Software**. 2010.

SILVA, M. A. O.; ANDRADE, A. C. Geração de Imagens de Reflectância no Topo da Atmosfera e na Superfície de um Ponto de Vista Geométrico. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2012.p.8238-8245.

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; MACOMBER, S. A. Classification and change detection using LANDSAT TM Data: When and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, Berlin. v. 75, n. 2, p. 230-244, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)

VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAM, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview., **IEEE Transactionson Geoscience and Remote Sensing**, Caceres. v.35, n.3, p 675-686, 1997. <https://doi.org/10.1109/36.581987>

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011.p.1828-1834.