Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

PRODUTO MODIS ASSOCIADO À CONDIÇÃO HÍDRICA NO SOLO PARA DIFERENCIAR PADRÕES NA VEGETAÇÃO NO MUNICÍPIO DE DOM ELISEU, PARÁ

PISMEL, Victor Afonso Marinho – victorpismel@yahoo.com.br
Graduando em Eng. Florestal. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

MARTORANO, Lucieta Guerreiro – lucieta.martorano@embrapa.br
Doutora, Meteorologista e Engª Agrônoma / Pesquisadora A. Embrapa Amazônia Oriental e Professora do PPGCA-UEPA – Belém, PA

MONTEIRO, Daiana Carolina Antunes – monteiro.dca@gmail.com
Eng. Florestal. Doutoranda na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, Piracicaba, SP

LISBOA, Leila Sheila Silva – leilasheila@gmail.com
Matemática, Dra. em Engenharia de Sistemas Agrícolas/Professora substituta da Universidade do Estado do Pará – UEPA - Belém, PA

RESUMO: Objetivou avaliar a dinâmica e correlação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) associado à oferta hídrica no município de Dom Eliseu, no Pará com base na reflectância em áreas com cultivos anuais de grãos e plantios florestais, nos períodos de maior e menor deficiência de água no solo. Foram analisados dados meteorológicos para calcular balanços hídricos (CAD = 300 mm) e respostas em NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) extraídos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). As imagens-índice (NDVI) referentes aos meses de janeiro a dezembro de 2012 foram processadas no aplicativo Envi 4.7 e reclassificadas no ArcGIS10.1. Os resultados apontaram variações temporais ao longo do ano, tanto relacionados aos sistemas de agrícolas de produção, quanto aos remanescentes florestais os quais indicavam associações à oferta hídrica na região e possíveis respostas fenológicas. Em Dom Eliseu, o mês de maior valor em NDVI foi em abril com mais 60% do município expressando manutenção das folhas e da capacidade fotossintética das plantas, pois os valores em NDVI foram superiores a 0,6. No período de agosto a setembro ocorrem as menores cotas pluviais, ocasionando déficits hídricos que atingem valores superiores a 70 mm. Observou-se que as respostas em NDVI foram mais expressivas no mês de outubro, totalizando 16% da área de estudo com valores entre 0,2 a 0,3, evidenciando reduzida expressão em resposta espectral na biomassa dos remanescentes de vegetação e plantios florestais. Conclui-se que existe sensibilidade do NDVI em resposta à condição hídrica no solo. Ao contabilizar-se as diferenças entre a reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho divididos pela soma dessas reflectância, os baixos valores de NDVI, reforçam que no período de maior deficiência hídrica há queda de folhas, pois a superfície imageada, responde com valores mais elevados no solo do que na vegetação.

PALAVRAS-CHAVE: Plantios florestais; Deficiência hídrica; Biomassa.

MODIS PRODUCT ASSOCIATED WITH SOIL WATER CONDITION TO DISTINGUISH VEGETATION PATTERNS IN THE MUNICIPALITY OF DOM ELISEU, PARÁ

ABSTRACT: This study aimed at assessing the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) associated with water supply in Dom Eliseu, PA, based on spectral behaviour in areas with annual grain crops and forest plantations, in periods of higher and lower soil water deficiency. Meteorological data were analysed to calculate water balances (WCS=300 mm) and responses in NDVI extracted from the MODIS sensor (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). The index-images (NDVI) referring to months from January to December 2012 were processed in the Envi 4.7 tool and the

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
reclassification of spectral reflectance was operated in ArcGIS10.1. The results showed temporal variations throughout the year, both in expression of agricultural production system and in remaining forests that were associated with the water supply in the region. In Dom Eliseu, the most significant month for NDVI was April, with over 60% of the city with spectral responses of biomass production with NDVI over 0.6. In August and September, precipitation is at its lowest and water deficit at its highest, with values superior to 70 mm. We noticed that the NDVI effects were reflected in October, which presented 16% of the areas with values between 0.2 and 0.3, showing reduced expression in spectral response of the remaining forests and forest plantations' biomass. We concluded that there is an NDVI response in the expression of effects of water supply reduction for plants, decreasing their ability in growth and development of plant species.
KEYWORDS: Forest plantations; Water deficit; Biomass.

1. INTRODUÇÃO

A silvicultura vem se expandindo no estado do Pará, principalmente no município de Dom Eliseu onde o plantio de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) tem despertado interesse para atender a demanda crescente por matéria prima na cadeia produtiva de laminados e derivados, gerando emprego e renda, além de recompor paisagens alteradas pela ação antrópica. Nesse contexto, Martorano et al. (2011) avaliaram áreas topoclimáticas mais apropriadas ao plantio de Paricá e taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) no Pará para subsidiar estratégias de decisão em áreas de plantios florestais com essas espécies nativas de crescimento rápido.

O paricá é a espécie nativa da Amazônia mais plantada no Brasil (Martorano et al., 2011). O trabalho de zoneamento topoclimático do Paricá, realizado por Monteiro (2013), destaca que no Pará existem áreas com alto, médio e baixo potencial para plantio dessa espécie nativa. Na análise de componentes principais, a deficiência hídrica representou o fator mais importante na expressão em crescimento e desenvolvimento da espécie, considerando sementes com alto poder germinativo e o solo em conformidade com as recomendações pedológicas. Também, ao avaliar a reflectância de alvos no solo e nas plantas ao longo do tempo no sensor MODIS em plantios de Paricá em Dom Eliseu foi verificado que o paricá respondia com NDVI mais elevado nos meses de maior oferta hídrica no solo (Monteiro et al, 2013).

Vale destacar que as respostas da cobertura vegetal em determinado produto de sensoriamento remoto refletem processo complexo, envolvendo muitos parâmetros e diferentes fatores ambientais, tais como fonte de radiação, espalhamento atmosférico, características das folhas e estrutura do dossel, teores de umidade no solo, interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros (PONZONI, 2001).

Visando melhorar análises de vegetação a partir do sensoriamento remoto, Rouse et al. (1973) propuseram o uso do índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) que expressa a razão entre a diferença e a soma das medidas de refletância nos canais do vermelho (V) e infravermelho próximo (IR). Nesses comprimentos de ondas a vegetação possui maior capacidade de reflectância em V e o solo em IR. O NDVI está fortemente relacionado ao aspecto vegetativo, possibilitando avaliar a dinâmica da

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
vegetação em períodos de estresses, como os hídricos que comprometem a atividade fotossintética das plantas em períodos de baixa oferta pluvial (POELKING et al., 2007).

Neste sentido, como as técnicas de sensoriamento remoto vêm apresentando avanços e fortes contribuições nas avaliações de padrões espectrais em áreas de interesse da pesquisa, extensão rural e monitoramento ambiental. O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica temporal do NDVI utilizando imagem MODIS para diferenciar padrões entre plantios florestais, cultivos agrícolas e áreas com remanescentes florestais associados à condição hídrica no solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Dom Eliseu, localizado na mesorregião do Sudeste paraense, a 452 km da capital do Estado, encontra-se entre as latitudes 03°46,2'S e 04°37,11'S e longitudes 48° 23,4'W e 47°17,4'W e possui uma área de 5.268,794 km^2. Está inserido em duas sub-bacias hidrográficas: as litorâneas Pará/Maranhão e a do Rio Guamá, tendo como rios principais o Rio Gurupi, limitando o Pará com o Maranhão e o Rio Bananal que passa ao centro do município. O rio Concrem e o Igarapé Água Suja, também possuem importantes funcionalidades quanto ao abastecimento de água para a cidade de Dom Eliseu. De acordo com a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a vegetação dominante é típica de Floresta Ombrófila Densa Submontana Dossel Emergente, normalmente composta por árvores altas, típica de clima quente e úmido. As condições climáticas estão associadas temperaturas médias entre 25,0 a 25,8 °C e precipitação pluvial anual em torno de 2.000 mm (MARTORANO et al., 2011).

Para identificar os grandes padrões altimétricos no município de Dom Eliseu, fez-se recortes nas imagens do TOPODATA, quadrícula (03S48ZN; 03S49ZN; 04S48ZN e 04S495ZN) para obtenção do mapa de altitude. Assim foi possível observar que existem cotas abaixo de 90m e valores superiores a 300m (Figura 1). Também, fez-se um recorte do município, a partir da base geoespacial disponibilizada pela EMBRAPA/INPE, correspondente ao Projeto TerraClass, referente ao ano de 2010, fazendo-se um agrupamento de classes de uso do solo (Figura 2).

Para validar a classificação dos padrões de uso e cobertura do solo, utilizou-se uma composição de imagem de alta resolução espacial disponibilizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA) para atender demandas de estudos no âmbito do Projeto ROBIN, na Embrapa Amazônia Oriental (Figura 3). Para avaliar as respostas espectrais associadas às condições climáticas utilizou-se como área de estudo o município de Dom Eliseu, que apresenta plantios de Paricá, em escala comercial.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

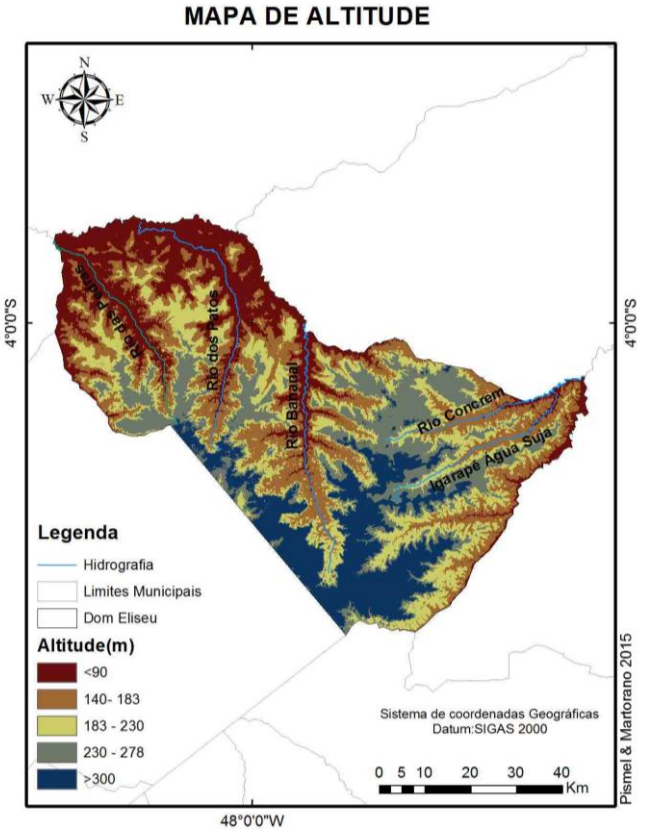

Figura 1. Mapa de Altitude no município de Dom Eliseu, Pará.

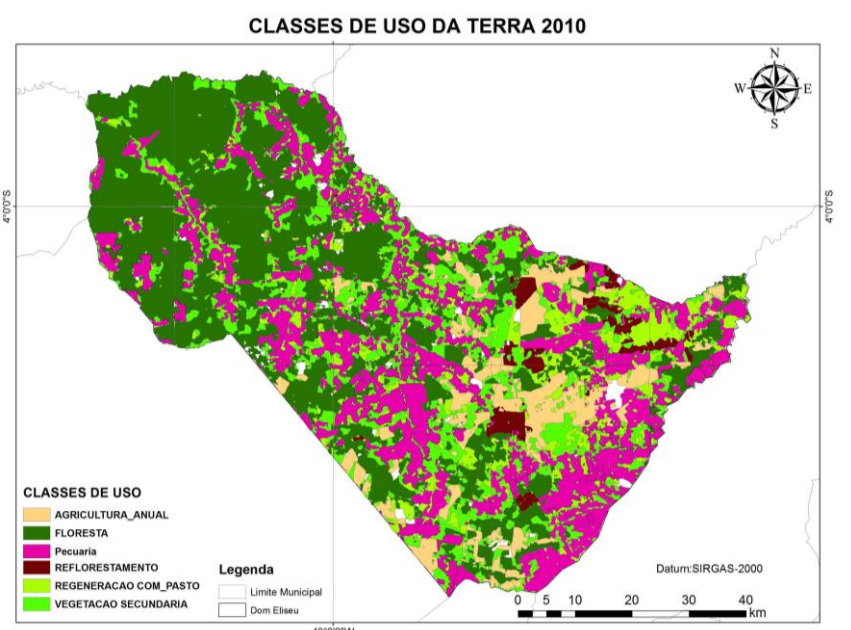

Figura 2. Padrões de uso e cobertura do solo em 2010, no município de Dom Eliseu, Pará.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

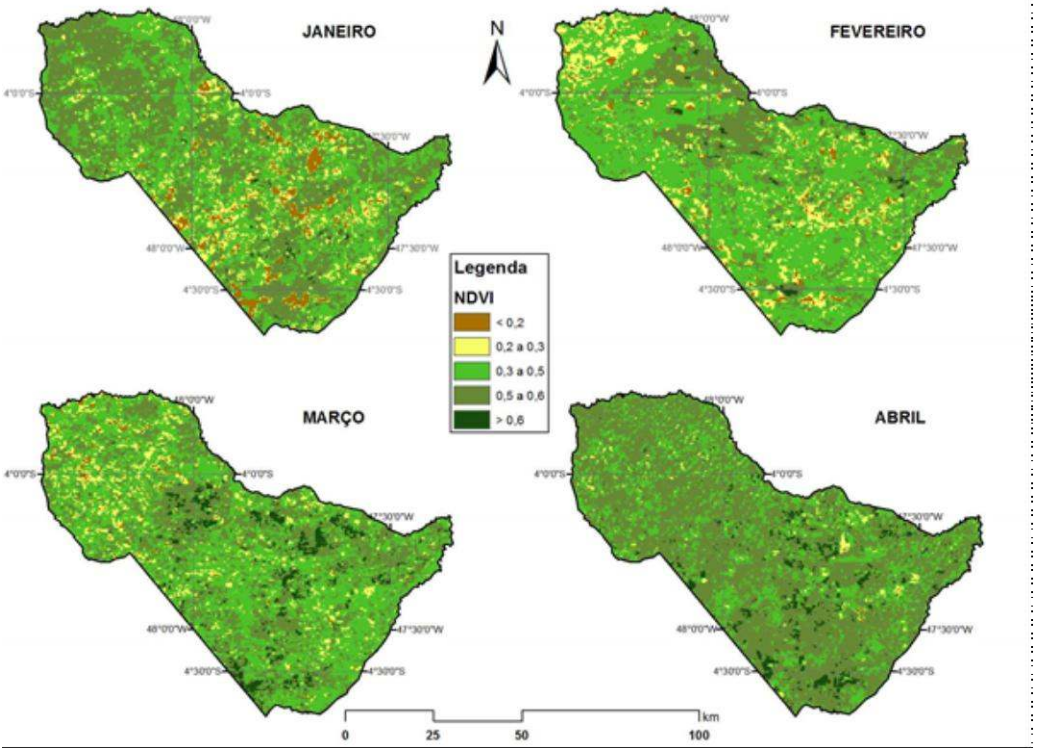

Figura 3. Dinâmica espectral da vegetação expressa em faixas de NDVI no período de janeiro a abril de 2012, no município de Dom Eliseu, Pará.

Adotou-se a mesma metodologia de classificação e validação utilizada por Monteiro et al. (2013). Os valores de NDVI foram analisados para identificar diferentes feições no município, dentre elas os plantios de paricá. Assim, os padrões de uso e cobertura do solo foram avaliados aplicando metodologia de classificação supervisionada, nas imagens MODIS.

Foi necessária a elaboração de um recorte nas imagens do produto MOD13, a partir da localização do quadrante do município, Tile h13v09. As imagens MODIS foram selecionadas, no período de janeiro a dezembro de 2012, totalizando 12 imagens com resolução radiométrica de 16 bits, resolução espacial de 250m e periodicidade de 16 dias. Vale destacar que o diretório MOD13 inclui o índice NDVI, sendo designado para monitorar padrões temporais e espaciais da atividade fotossintética. Assim, essas informações foram obtidas de produtos de ecossistemas terrestres (MOD13Q1) plataforma TERRA, pertencentes ao programa EOS (*Earth Observing System*) disponíveis no site da NASA. As imagens foram reprojetadas de sinusoidal para o sistema de coordenadas geográficas, Datum WGS 1984, convertidas para formato GEOTIFF, utilizando o aplicativo *Modis Reprojection Tool* (MRT).

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se em estudos anteriores realizados por Monteiro et al. (2013), os quais apresentaram que é possível identificar diferentes feições no município, dentre elas os plantios de Paricá,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
aspectos fenológicos e a detecção de mudanças. O NDVI foi analisado utilizando a equação 1.

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (1)$$

Em que IVP representa a reflectância da superfície nas bandas do Infravermelho Próximo (faixa entre 0,75 a 0,90 μm) e V representa a refletância na banda do vermelho (0,63 – 0,70 μm). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foi calculado no aplicativo Envi 4.7, expresso pela razão entre a diferença e a soma das medidas de refletância nos canais do vermelho e infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973). Os histogramas das imagens foram analisados para identificar os intervalos de NDVI que melhor representasse os alvos na área de estudo. Por meio da função *Reclassify* do ArcGIS10.1, as classes foram reclassificadas e posteriormente analisadas. Portanto, o NDVI expressa o vigor da vegetação, possibilitando o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal.

Foram comparados os valores obtidos de NDVI nos meses de janeiro a abril, os quais correspondem ao período de maior oferta pluvial no município de Dom Eliseu, sendo os meses mais pluviosos na Amazônia. No período subsequente, de maio a agosto é transacional, ou seja, ocorrem reduções das chuvas na região. De setembro a dezembro registram-se as menores cotas pluviais, sendo comparados os valores de NDVI capazes de expressar efeitos de períodos com deficiência hídrica no solo, os quais apresentam efeitos na dinâmica espectral da vegetação, por ser o período mais seco no município.

Para identificar o perfil espectro-temporal e possíveis influências das condições hídricas no município foram utilizados dados de série histórica de precipitação pluvial de 1983 a 2012, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA), os quais foram tratados e expressos em quartis para entendimento das características de precipitação pluvial no Município de Dom Eliseu. Também, foram analisados dados de deficiência hídrica mensal, considerando a capacidade disponível de água no solo (CAD) igual a 300 mm, especializados em escala de 3 km x 3 km, utilizando-se a mesma base de Martorano et al. (2011) com recorte para a área de abrangência do município estudado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se variação do NDVI em resposta aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo, onde os valores de menor NDVI foram identificados pela cor marrom, contendo dados inferiores a 0,2 e os maiores valores com NDVI superior a 0,6. Ao avaliar a dinâmica de NDVI, os valores mais elevados nesse período estão associados aos cultivos agrícolas, plantios e os remanescentes florestais. Ao considerar que a semeadura das culturas anuais, principalmente soja e milho, ocorreu entre os meses de janeiro e fevereiro, época em que existe alta oferta pluvial, ou seja, com médias variando entre 260 a 350 mm,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

então os valores de NDVI entre março e abril estavam entre 0,5 a 0,6, incluídos na classe 4, típico de cultivos anuais.

Ao analisar a Figura 4, observa-se que existe maior variabilidade no período chuvoso no primeiro quartil (0,25), com mediana de 340 mm no mês de março, diferente dos meses menos chuvosos, que ocorre no terceiro quartil (0,75) quando as chuvas são inferiores a 50 mm, no período de julho a setembro. Os valores voltam a aumentar a partir do mês de dezembro com mediana próxima aos 190 mm. No período de janeiro a abril, onde se concentram as maiores variações pluviais eqüivalem a 64% do valor total médio anual. O terceiro trimestre do ano é o menos chuvoso, pois concentra cerca de 6% da precipitação anual. Os 29% restantes estão concentrados entre os períodos de maio a junho e outubro a dezembro, sendo que no último trimestre são contabilizados 18% dos eventos pluviais.

Analisando as precipitações pluviais no período de janeiro a abril, nota-se que os valores ultrapassam os 300 mm mensais, sendo os meses mais pluvioso fevereiro e março com valores da ordem de 320 mm e 340 mm, respectivamente. Segundo Zoungrana et al. (2015) o NDVI é mais sensível a variação da precipitação que outras variáveis climáticas.

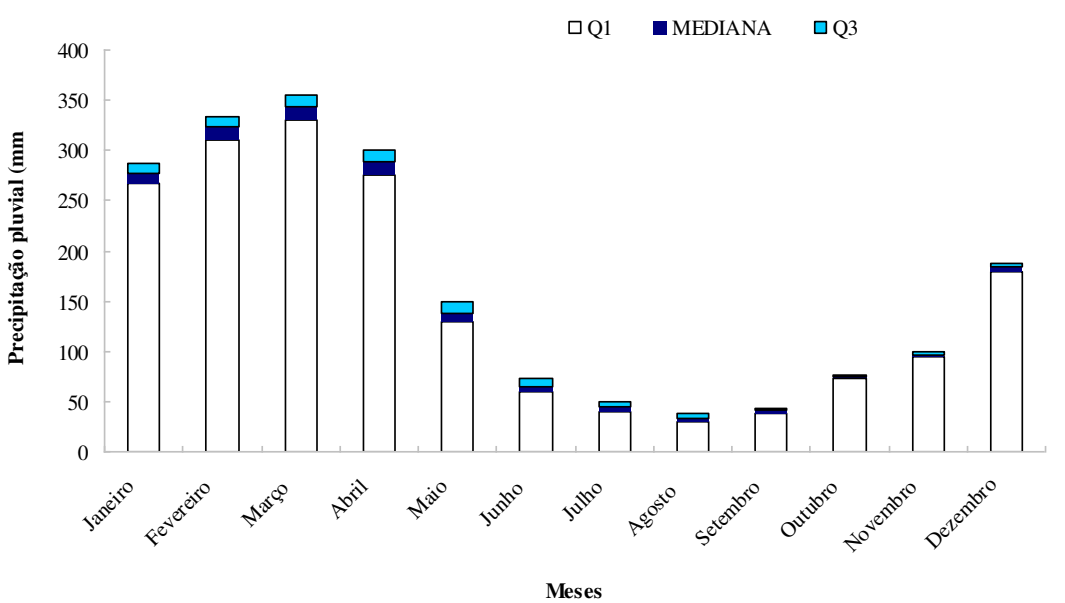

Figura 4. Dinâmica mensal da precipitação pluvial no município de Dom Eliseu, Pará.

Considerando-se que o período de semeadura das culturas ocorreu entre os meses de janeiro e fevereiro os valores em NDVI indicam que os estoques de água no solo, no período chuvoso, principalmente entre os meses de março e abril, o NDVI apresentou valores mais elevados, predominando na faixa entre 0,5 a 0,6, identificado pela classe 4. No período de agosto e setembro, que coincide com os máximos de deficiência hídrica, as áreas com remanescentes florestais se destacam, pois apresentam NDVI superiores a 0,6, indicando a capacidade das espécies florestais em explorar as camadas mais profundas do solo, para suprir a escassez de água nesse período ao comparar com as áreas

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

que estavam com cultivos anuais, ou pastagens, por exemplo. Esses resultados corroboram com os resultados apresentados por Huete et al. (2006), que reforçam quanto a capacidade de suprir a falta de água no solo em áreas com florestas, pois as mesmas apresentam estratégias de reposição de água pelas raízes mais profundas, garantindo a atividade fotossintética e, consequente, mantendo ou suavizando sua capacidade de produção de fitomassa, em períodos secos.

Segundo Barbosa et al. (2011), o comportamento do NDVI está fortemente influenciado pela precipitação pluvial e responde temporalmente, com defasagem que pode variar entre dois a três meses, ou seja, o NDVI expressa reduções no teor de água no solo após um determinado tempo de redução das chuvas, corroborando com os resultados obtidos por Vicente-Serrano et al. (2012) que avaliaram a reflectância da vegetação à condição hídrica no solo. Com o inicio do período de redução, em maio, conforme pode ser visto na figura 4, observou-se reduções em NDVI a partir de agosto (Figura 5), indicando que as respostas em NDVI auxiliam na identificação de períodos de escassez hídrica, evidenciando o potencial dessas informações na identificação de padrões na vegetação usando imagens de satélites.

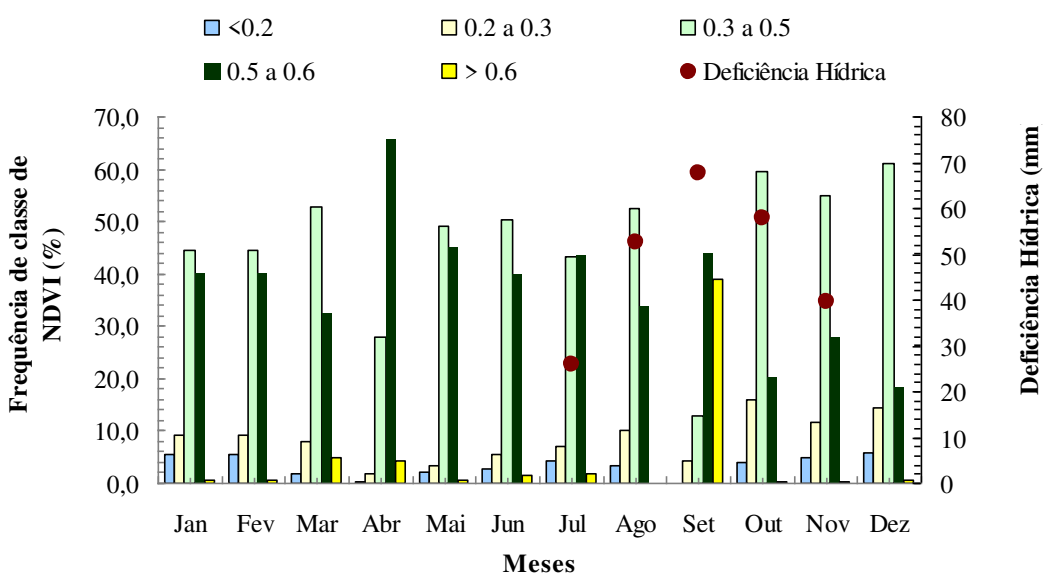

Figura 5. Faixas de NDVI no município de Dom Eliseu, no ano de 2012.

Mesmo cientes da baixa resolução espacial do satélite MODIS, mas sua alta resolução temporal e extensas áreas de plantios florestais no município, associado ao mapeamento de campo dos diferentes alvos, nas áreas de interesse, os dados de NDVI apresentam potencial de uso integrado a outras variáveis biofísicas para subsidiar estratégias como: estimativa de biomassa, identificação de vigor da vegetação, antecipação de respostas em NDVI em relação à oferta hídrica no solo, por exemplo, com antecipação de dois meses. Alertas aos silvicultores podem ser emitidos pelos centros de prognósticos

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

agrometeorológicos com base nos valores de déficits hídricos com antecedência de dois meses.

Esses resultados apontam também o potencial de uso de informações de satélites para, inclusive, auxiliar na valoração econômico-ambiental de áreas com NDVI superior a 0,5 na quantificação de serviços ecossistêmicos de provisão e regulação de indicadores térmico-hídricos em políticas públicas de baixa emissão de carbono na Amazônia. Vale destacar que quando a floresta nativa, plantios florestais e cultivos de grãos estão em alta capacidade fotossintética, observa-se uma dificuldade de separar esses padrões. Todavia, durante o período de reduzida oferta hídrica, valores em NDVI superiores a 0,5 passam a ser importantes em políticas de pagamentos por serviços ambientais (PSA), evidenciando o potencial desse indicador (NDVI) em programas de monitoramento ambiental na região.

De acordo com os resultados apresentados na figura 6, observa-se que houve decréscimo de valores normalizados, os quais passaram para classe 3, correspondentes a faixa entre 0,3 a 0,5, no período de maio a agosto. Após a colheita dos cultivos anuais, existe um período em que o solo fica exposto quando não se adota o sistema plantio direto. Nesse período, observa-se a redução do valor de NDVI nas áreas cultivadas, indicando respostas do solo na entressafra nas áreas destinada as culturas anuais para produção de grãos.

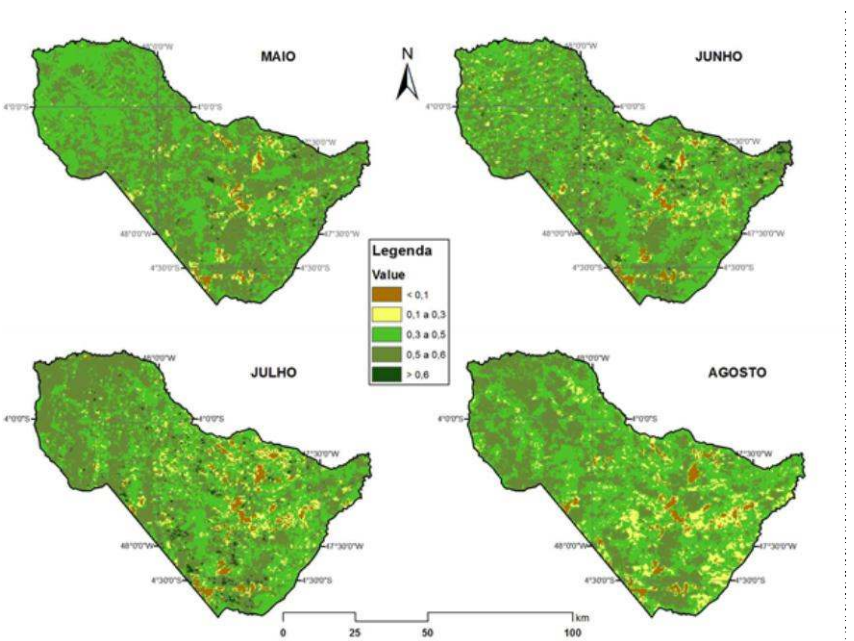

Figura 6. Dinâmica espectral da vegetação expressa em faixas de NDVI no período de maio a agosto de 2012, no município de Dom Eliseu, Pará.

Nesse período o volume de chuva é reduzido no município, sendo maio com valores em torno a 150 mm e no trimestre de junho a agosto os valores são inferiores a 50 mm. Valores entre 0,3 a 0,4 em área com pastagem foram encontrados por Faith (2015), no Kenya, sendo nas áreas com floresta os

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

valores superiores a 0,7 de NDVI. O período de colheita de grãos em junho, por exemplo, promove exposição dos solos reduzindo os valores de NDVI, reforçado pela redução das cotas pluviais já apresentadas na Figura 4. A partir agosto já com menor ocorrência de chuvas, há influência nas florestas nativas e plantadas como observado no município de Dom Eliseu por Monteiro et al. (2013), Monteiro (2013).

Xu et al. (2011) avaliando dados de NDVI da Floresta Amazônica mapearam nos meses de julho a setembro áreas com baixos valores em NDVI, representados no mapa pela cor vermelha, inclusive abrangendo toda a porção leste da região, sendo os valores mais expressivos nas áreas com floresta densa e remanescentes florestais na parte mais oeste da Amazônia, corroborando com os resultados obtidos em Dom Eliseu.

Nos meses de setembro a novembro, a vegetação natural também perde vigor vegetativo em função da ausência da chuva, entretanto, os valores em NDVI são superiores as áreas de cultura anual, indicando que as espécies arbóreas conseguem manter sua atividade fotossintética, em decorrência do sistema radicular para propiciar a extração de água das camadas mais profundas do perfil do solo Carvalho Jr et al. (2009). Resultados obtidos por Zhao et al. (2015) apontaram que no inicio do período seco as áreas com culturas anuais e pecuária apresentam baixo crescimento vegetativo, mas nas áreas com floresta as plantas continuam crescendo, por possuírem alta capacidade de exploração hídrica, nas camadas mais profundas do perfil do solo, ocorrendo no período menos chuvoso. A redução de fotoasssimilados, pela diminuição da área foliar, principalmente diferenciando padrões entre a vegetação nativa das áreas com remanescentes florestais.

Na parte central e leste do município foram identificados os menores valores de NDVI, indicando baixa resposta espectral, sendo mais reduzido nas áreas destinadas aos cultivos anuais e plantios florestais, que predominam no município a silvicultura de paricá e eucalipto (*Eucaliptus grandis*). Os autores Western et al. (2015) destacaram que na época de redução das chuvas também se verifica a redução no NDVI à medida que se intensifica o déficit hídrico, reduzindo a expressão de biomassa, devido as plantas se encontram com baixa capacidade vegetativa.

Os dados evidenciaram que, no período de março a maio houve maior oferta de água no solo às plantas. No município, verificou-se que em abril houve maior expressão em NDVI na classe 4, prevalecendo em cerca de 66% de Dom Eliseu com valores entre 0,5 e 0,6, os quais apresentam valores próximos aos obtidos no período chuvoso e seco, na Amazônia. De acordo com Hilker et al. (2014) a refletância da vegetação está fortemente associada à condição hídrica no solo.

No trabalho, verificou-se que na transição do período chuvoso para o seco, a classe 4 passou de 39% no período anterior para 26%, no mês de maio. Setembro, por ser o mês com escassez de água no solo, os valores na classe 4 e 5 reforçam a capacidade que os plantios florestais e remanescentes possuem na expressão em torno de 40% do município, sendo os valores de NDVI superiores a 0,5 (Figura 7).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

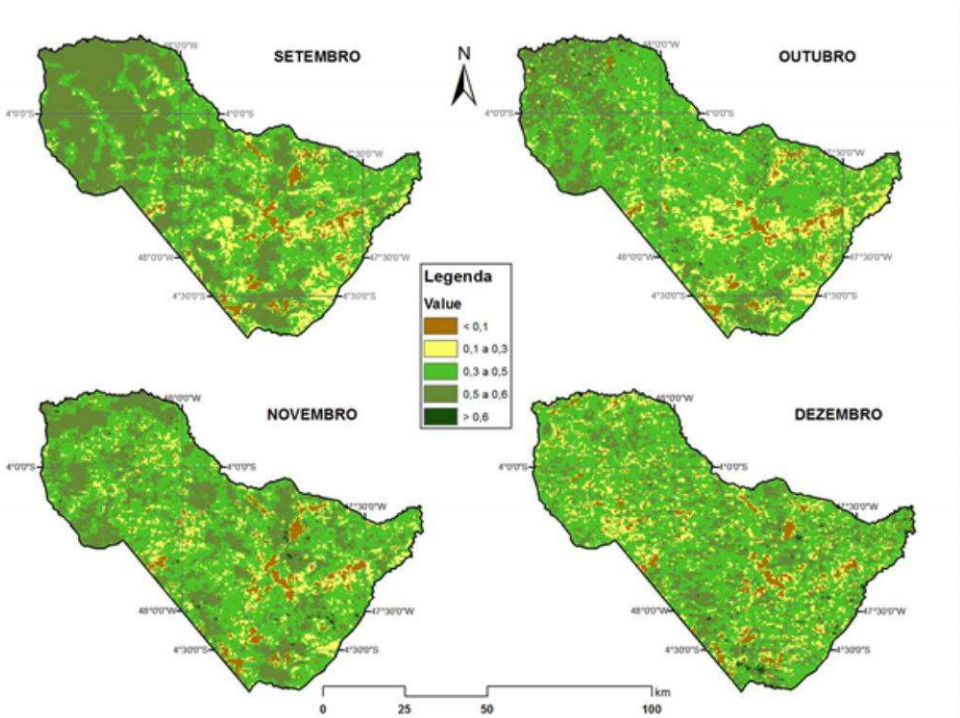

Figura 7. Dinâmica espectral da vegetação expressa em faixas de NDVI no período de setembro a dezembro de 2012, no município de Dom Eliseu.

Os resultados apresentados neste trabalho visam subsidiar na identificação de indicadores de diferentes padrões na vegetação, auxiliando nas análises da cobertura vegetal em áreas antrópicas e remanescentes de floresta nativa no município de Dom Eliseu. O uso dessa metodologia apresenta potencial de utilização no monitoramento de políticas públicas como a adoção de agricultura de baixa emissão de carbono na Amazônia Brasileira.

4. CONCLUSÕES

Em Dom Eliseu o mês mais expressivo em NDVI é abril com mais de 60% do município apresentando alta reflectância da vegetação. No mês de outubro os valores de NDVI foram mais baixos, reforçando efeitos em queda de folhas associados com a redução de oferta hídrica às plantas. As análises de NDVI associadas aos dados de deficiência hídrica no solo potencializa o uso desse índice em modelos preditivos, principalmente quanto ao planejamento dos cultivos, monitoramento de doseeis, seleção de indicadores de serviços ecossitêmicos. Valores de NDVI podem ser utilizados nas avaliações de possíveis serviços ambientais prestados por produtores que adotam sistemas agroflorestais com baixa emissão de carbono e provisão de água, em regiões com períodos longos de déficits hídricos como ocorre em Dom Eliseu.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

REFERÊNCIAS

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; SILVA JUNIOR, I. W. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.02, p. 300-306, 2011.

CARVALHO JÚNIOR, O. A., COUTO JÚNIOR, A. F., SILVA, N. C., MARTINS, E. S., CARVALHO, A. P. F., GOMES, R. A. T. Avaliação dos Classificadores Espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em Séries Temporais NDVI-MODIS no Campo de Instrução Militar de Formosa (GO). *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 61, p. 399-412, 2009.

FAITH, M.K. Centered Log-Ratio (clr) Transformation and Robust Principal Component Analysis of Long-Term NDVI Data Reveal Vegetation Activity Linked to Climate Processes. *Climate 2015*, 3, 135-149

HILKER, T; LYAPUSTIN, I. A; TUCKER, J. C; HALL; G.F; MYNENI , B. R.; WANG, T; BI, J; MOURA, M. MY; SELLERS, J. P. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, v. 33, L06405, 2006.

MARTORANO, L.G.; BRIENZA JUNIOR, S.; MONTEIRO, D.C.A.; LISBOA, L.S.; CÂNCIO, O.N.; MARTORANO, P.G.; ESPIRITO SANTO, J.M. do. Condições topobioclimáticas associadas à ocorrência de Taxi-branco (*Sclerolobium panuculatum* Vogel) e Paricá (*Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby) preferenciais para implantação de plantios florestais no Estado do Pará. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Terezina, 2010.*Anais...*Terezina, 2010. 4p.

MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L. S.; ESPÍRITO SANTO, J. M.; ALMEIDA, R. F. Top-bioclimate conditions associated to natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. In: VILLACAMPA, Y.; BREBBIA, C. A. ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT VIII. *Ashurst Lodge: Wittpress.* 2011. p. 111-122.

MONTEIRO, D. C. A. *Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de Paricá (Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia.* Piracicaba, 2013. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2013. 143f.

MONTEIRO, D.C.A; VETTORAZZI, C.A; MARTORANO, L.G; DIAS, C.T.S; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.S.; MONTEIRO, L.D.A; MELLO, M.N; BIASE,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
A.G. Dinâmica espectro-temporal MODIS em plantios de paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) associada a diferentes condições hídricas do solo na Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18, 2013. Belém, *Anais...* Belém, 2013. p.1-5.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. *Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais.* Brasília - DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4145-4150.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: THIRD ERTS SYMPOSIUM, 1., 1973, Washignton*. Proceedings*, Washignton: NASA SP-351, 1973. p. 309-317.

VICENTE-SERRANO, S; M; GOUVEIA , C; CAMARERO, J. J; BEGUERÍA, S.;TRIGO, R.;MORENO-LOPEZ, I. J.; MOLINE-AZORIN C.;PASHO, E.;LACRUZ-LORENZO, J.;REVUELTO, J.;MORAN-TEJEDA, E.;LORENZO-SANCHES, A. Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, vol. 110, no. 1, pp. 52–57.

WESTERN, D.; MOSE, V. N.; WORDEN, J.; MAITUMO, D. Predicting extreme droughts in Savannah Africa: A comparison of proxy and direct measures in detecting biomass fluctuations, trends and their causes. *Plos One***,** v.8, n. 10: e0136516, 2015. doi:10.1371/ journal.pone.0136516 2015.

XU, L.; SAMANTA , A.; COSTA, H. M.; GANGULY, S; NEMANI, R. R.;MYNENI, B. R. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought, *Geophysical Research Letters*. 2011, 4p.

ZHAO, X.; WEI, H.; LIANG, S.; ZHOU, T.; HE, B.; TANG, B.; WU, D. Responses of Natural Vegetation to Different Stages of Extreme Drought during 2009–2010 in Southwestern China. *Remote Sens.* 2015, *7*, 14039-14054.

ZOUNGRANA, B. J. B.; CONRAD, C.; AMEKUDZI, L. K.; THIEL, M.; DA, E. D. Land Use/Cover Response to Rainfall Variability: A Comparing Analysis between NDVI and EVI in the Southwest of Burkina Faso. *Climate* n. 3, p. 63-77, 2015.

Texto submetido à RBClima em 14/12/2015