

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS EM PLANTIOS DE EUCALIPTO

TRENTIN, Aline Biasoli; ^a* TRENTIN, Carline Biasoli; ^b
SALDANHA, Dejanira Luderitz; ^c KUPLICH, Tatiana Mora; ^d

(a) PhD in Geography. Professor Federal University of Pampa (UNIPAMPA), São Gabriel (RS), Brazil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-9289>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6193856926860898>

(b) PhD in Remote sensing. Professor Federal University Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças (MT), Brazil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-1320>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/9276319691147227>

(c) PhD in Geosciences. Professor Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre (RS), Brazil. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6210076629411784>

(d) PhD in in Geography. National Institute of Space Research (INPE), Santa Maria (RS), Brazil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0657-4024>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8997858562195060>

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: UNIPAMPA, Avenida Antonio Trilha, 1847, sala 01, CEP: 97.300-162, São Gabriel (RS), Brasil. Tel: (+55 55) 32370850.

E-mail: alinetrentin@unipampa.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar índices espectrais em plantios de eucalipto e correlacioná-los com dados de precipitação para o período de 2003 a 2012, a fim de avaliar se as alterações climáticas tem influência na fenologia da vegetação. A metodologia consistiu na obtenção das médias dos índices espectrais (NDVI, EVI e GPP) de imagens MODIS e a elaboração dos perfis temporais da vegetação de eucalipto, considerando mudas clonais e de semente. Estes perfis foram correlacionados com dados de precipitação do TRMM. Os resultados mostraram valores de NDVI superiores ao EVI, porém sem sazonalidade claramente definida, enquanto o GPP demonstrou comportamento sazonal bem definido em todos os anos. A correlação entre os índices espectrais e a precipitação apresentou resultados representativos para alguns anos, incluindo períodos de El Niño e La Niña. Concluiu-se que os produtos MODIS permitem a avaliação dos ciclos fenológicos em plantios de eucalipto, principalmente para as fases de plantio e corte.

Palavras chaves: Índices espectrais; Sensor MODIS; Povoamentos de eucalipto.

ABSTRACT / RESUMEN

MODIS TIME SERIE ANALYSIS AND TRMM IN EUCALYPTUS PLANTATIONS

The objective of this work was to analyze and compare spectral indexes in eucalyptus plantations and correlate them with precipitation data for the period from 2003 to 2012, in order to assess whether climate change has an influence on vegetation phenology. The methodology entailed obtaining the mean spectral indexes (NDVI, EVI and GPP) of MODIS images and elaborating the temporal profiles of the eucalyptus vegetation, for both cloned seedlings and those grown from seeds. These profiles were correlated with TRMM precipitation data. The results showed NDVI values higher than the EVI, although a clearly defined seasonality was not present, whereas the GPP demonstrated a well-defined seasonal behavior in all of the years. The correlation between the spectral indices and the precipitation had representative results for some years, including El Niño and La Niña periods. It was concluded that MODIS products allow the evaluation of phenological cycles in eucalyptus plantations, principally for the planting and cutting phases.

Keywords: Spectral indices; MODIS sensor; Stands of eucalyptus.

ANÁLISIS DE SERIES TEMPORAIS MODIS Y TRMM EN PLANTIOS DE EUCALIPTO

El objetivo de este trabajo fue analizar y comparar índices espectrales en plantaciones de eucalipto y correlacionarlos con los datos de precipitaciones para el periodo de 2003 a 2012, con el fin de evaluar si el cambio climático influye en la fenología de vegetación. La metodología consistió en la obtención de medidas de los índices espectrales (NDVI, EVI e GPP) de imágenes MODIS y la elaboración de los perfiles temporales de la vegetación de eucalipto, considerando plantas clonadas y de semilla. Estos perfiles fueron correlacionados con datos de precipitación del TRMM. Los resultados mostraron valores de NDVI superiores al EVI, pero sin estacionalidad claramente definida, sin embargo el GPP demostró comportamiento estacional bien definido en todos los años. La correlación entre los índices espectrales y la precipitación presentó resultados representativos en algunos años, incluyendo periodos de El Niño y La Niña. Se concluye que los productos MODIS permiten la evaluación de los ciclos fenológicos en plantaciones de eucalipto, principalmente para las fases de plantio y corte.

Palabras Claves: Índices espectrales; Sensor MODIS; Plantaciones de eucalipto.

Article history:

Received 30 June, 2018

Accepted 3 July, 2018

Publisher 15 October, 2018

INTRODUÇÃO

Atualizações constantes sobre a dinâmica da cobertura da terra permitem a obtenção de novas informações sobre áreas com diferentes usos. O sensoriamento remoto é uma técnica que pode fornecer subsídios para o monitoramento da superfície terrestre, gerando dados contínuos no tempo e no espaço. Aliado a distribuição espacial de dados quantitativos georreferenciados, permite a determinação dos padrões espaciais e temporais dos diversos usos e cobertura da terra, constituindo uma ferramenta importante para o planejamento ambiental.

O sensoriamento remoto fornece dados para a identificação e descrição de ecossistemas em múltiplas escalas (PARUELO et al., 2001; SUN et al., 2008). Imagens coletadas remotamente e seus produtos derivados podem auxiliar na compreensão da dinâmica sazonal da vegetação (LIANG; SCHWARTZ, 2009), da estimativa da cobertura da terra e das mudanças em diferentes escalas espaciais (IPCC, 2001).

A interação que acontece entre os dosséis vegetais e a energia eletromagnética no processo da fotossíntese está relacionada diretamente com a forma de registro dessas fisionomias pelos instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009). Cada fisionomia vegetal tem sua característica e estrutura e, portanto, respondem de forma diferente à disponibilização dos componentes envolvidos no processo de fotossíntese.

Tendo em vista a complexidade das interações da radiação eletromagnética (REM) com dosséis vegetais, foram criados índices que realçam as diferenças entre a grande absorção da REM na região espectral visível do espectro e a reflectância na região espectral do infravermelho próximo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). O conceito de índice de vegetação (IV) se refere a uma transformação espectral de duas ou mais bandas, indicadas para ressaltar as propriedades da vegetação, permitindo comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel (HUETE et al., 2002). Ainda, estes índices minimizam a variabilidade causada por fatores externos à vegetação e servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação verde (JENSEN, 2009).

A utilização de imagens de satélite para obtenção de dados com maior exatidão favorece estudos relacionados a alvos da superfície e as suas modificações, além de dados biofísicos da vegetação, entre outros (BRIZUELA; MILERA, 2003). Para a determinação de padrões espaciais/temporais e monitoramento da vegetação em escalas regionais (ANDERSON; SHIMABUKURO, 2007), destaca-se a utilização dos produtos do sensor MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo das plataformas TERRA e AQUA, que disponibilizam dados gratuitos e com alta periodicidade. Os dados são registrados em bandas espectrais planejadas para o desenvolvimento de produtos que podem fornecer informações específicas da superfície terrestre e atmosfera.

Entre os produtos MODIS relacionados ao estudo dos ecossistemas terrestres com destaque para a vegetação estão: (i) o MOD13 – que contém os índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index), disponibilizados a cada 16 dias com resolução espacial de 1 km, 500 m e 250 m (LATORRE et al., 2007; SOARES et al., 2007) e (ii) o produto MOD17 - que contém o dado de Produtividade Primária Bruta (Gross Primary Production - GPP), com resolução espacial de 1 km e periodicidade de 8 dias (LATORRE et al., 2007).

Tendo em vista a disponibilidade espacial e temporal dos dados MODIS descritos, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar o comportamento temporal dos índices NDVI, EVI e GPP em plantios de eucalipto (clonais e de semente), em uma porção do sudeste do estado do Rio Grande do Sul e correlacioná-los com dados de precipitação derivados do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), considerando o período de 2003 a 2012.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza na região sudeste do Estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas: 52°40'O, 29°57'S e 51°45'O, 30°30'S. Estão inseridos neste recorte espacial, os municípios de Arroio dos Ratos, Butiá, Minas do Leão, Rio Pardo, Pantano Grande, Encruzilhada do Sul, Dom Feliciano, São Jerônimo e Barão do Triunfo. Nesta região é crescente o investimento na atividade de silvicultura, sendo que os povoamentos predominantes são de eucalipto, destinados à produção de madeira para a fabricação de papel e celulose. Este fato ocorre devido à proximidade geográfica da empresa CMPC - Celulose Riograndense, instalada no município de Guaíba e responsável por este setor da produção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração das séries temporais para a vegetação de eucalipto foram utilizadas cenas do sensor MODIS (tile h13v12) – produtos MOD13Q1 (NDVI e EVI) e MOD17A2 (GPP), adquiridas com disponibilidade gratuita no Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)/NASA. Utilizou-se 23 cenas anuais (2 cenas mensais, com exceção do mês de outubro, com 1 cena) dos três produtos correspondentes à série temporal entre os anos de 2003 a 2012 (totalizando 230 cenas - 10 anos), com o propósito de analisar a temporalidade dos dados.

As imagens NDVI e EVI têm resolução espacial de 250 metros e resultam de um mosaico de pixels escolhidos entre as imagens diárias em um tempo de dezesseis dias, objetivando extrair pixels com melhor qualidade (sem interferência de nuvens e ruídos). Com relação às imagens GPP, as mesmas possuem resolução espacial de 1 quilômetro e resultam de uma composição de pixels de 8 dias (LATORRE et al., 2007). Para fins de comparação com datas semelhantes, as imagens GPP foram selecionadas em intervalos de 16 dias, conforme as datas das cenas de NDVI e EVI.

Com o propósito de modificar o formato dos arquivos (*.hdf para *.tif) e atribuir a uma projeção cartográfica, as imagens foram pré-processadas no software MRTTools sendo posteriormente incorporadas em um banco de dados no aplicativo Spring 5.1.8.

No aplicativo Spring 5.1.8 foram gerados polígonos com a área correspondente ao tamanho do pixel de cada produto (NDVI e EVI - 250 metros e GPP - 1 quilômetro) e relacionados a cada talhão a ser analisado: três talhões com plantios de eucalipto clonais (HF 001, 012 e 071) e três com plantios a partir de sementes (HF 026, 077 e 120) (Figura 1). Os talhões foram escolhidos em função de apresentarem data de plantio ao longo do ano de 2003, possibilitando a análise das fases de crescimento da vegetação desde o plantio.

Após a vetorização dos polígonos, foi extraída a média de cada amostra/polígono para cada uma das cenas MODIS que compõe a série temporal. Para isso, foram utilizados dados estatísticos descritivos na ferramenta de análise exploratória de dados, contida no aplicativo Spring. Os valores das médias foram plotados em tabela no software Microsoft Excel onde foram elaborados gráficos para a descrição do comportamento temporal de cada talhão.

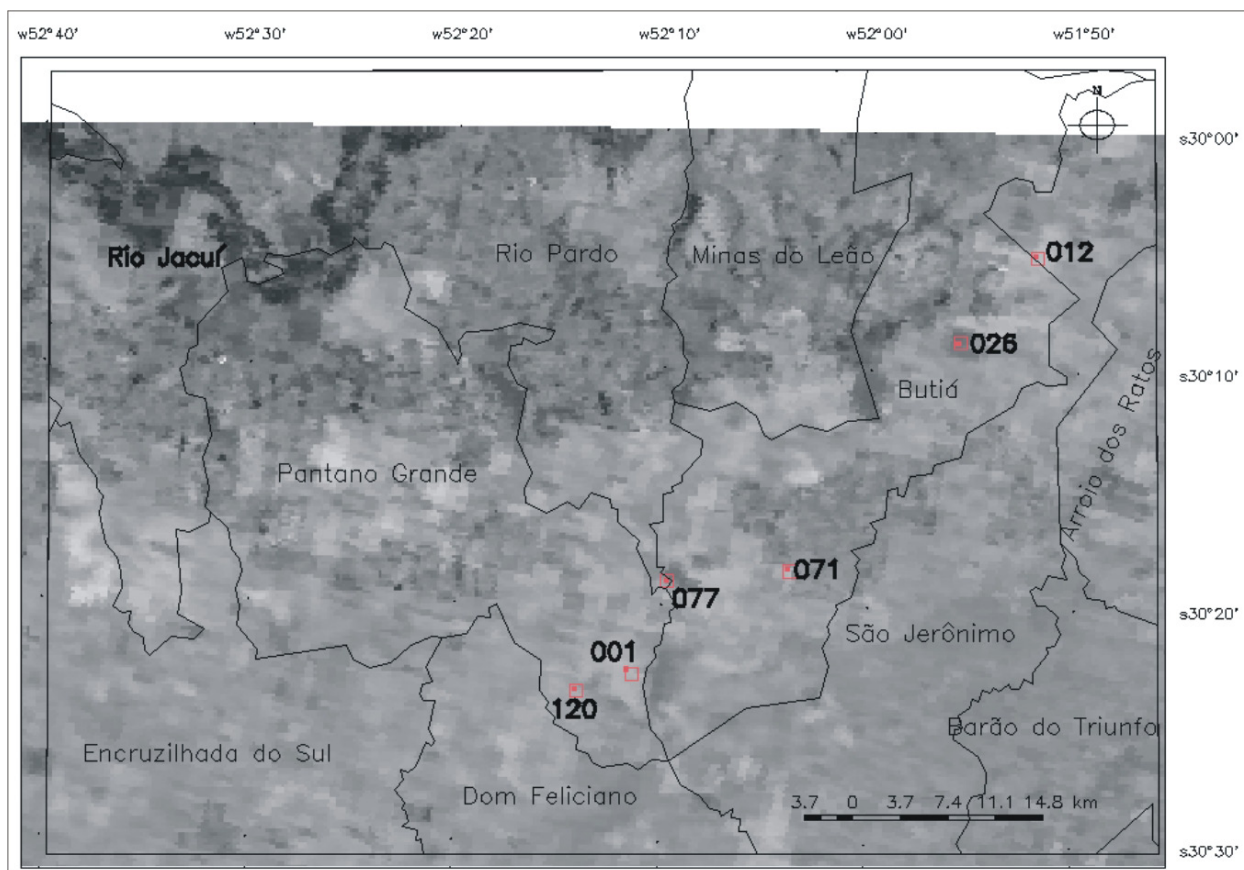


Figura 1 - Localização dos talhões/polígonos clonais e de semente; Imagem EVI, cena 257/2007.

A relação entre a precipitação e os dados das séries temporais (NDVI, EVI e GPP) foi obtida por meio de correlação linear simples, calculada no software Microsoft Excel, entre as médias anuais das variáveis espectrais e a média anual da precipitação. A série de precipitação pluviométrica utilizada neste estudo foi organizada por Freitas et al. (2011), a partir do produto TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Os dados TRMM (3B43V6) são adquiridos usando o GES DISC DAAC (Distributed Active Archive System) que é parte da NASA's Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC). O produto TRMM corresponde a uma série de precipitação acumulada mensal, com área de aproximadamente 0,25 graus (27,7 km). O valor de precipitação foi extraído a partir de 1 pixel TRMM em posição mais próxima da coordenada geográfica indicada para cada talhão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ÍNDICES ESPECTRAIS

Os gráficos representando as séries temporais de EVI mostram valores entre 0,2 e 0,8 para todos os talhões. Em geral, considerando toda a série temporal, as espécies clonais de eucalipto apresentam pequenas variações (aproximadamente 0,2) entre os talhões (Figura 2A), enquanto os plantios a partir de semente (Figura 2B) evidenciam maiores variações (aproximadamente 0,4) neste mesmo intervalo (2003-2012) de EVI. Este comportamento é inverso no segundo e terceiro ano de crescimento, possivelmente devido à resposta a adubação de manutenção (que ocorre em torno de 1 ano). Além disso, esta característica pode estar vinculada ao tipo de solo, disponibilidade hídrica e material genético, os quais podem apresentar diferentes comportamentos quanto ao crescimento em diferentes locais (FERREIRA, 2007).

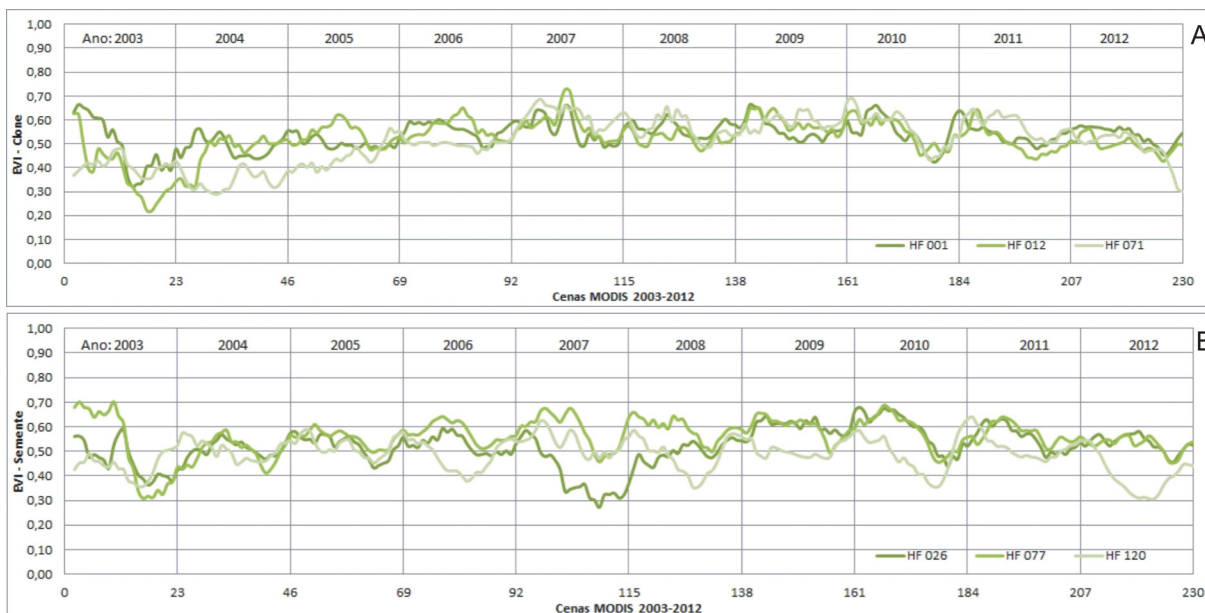


Figura 2 - Série temporal (2003-2012) de EVI em talhões de eucalipto clonais (A) e de semente (B).

Mesmo com as variações entre os talhões, os gráficos demonstram uma característica sazonal comum nos dois tipos de plantios (clones e sementes), observando-se uma pequena diminuição nos valores de EVI no período compreendido entre o final da primavera e início do verão.

Em relação aos dados de NDVI, representados na figura 3, o intervalo dos valores nos talhões clonais e de semente foi de 0,4 a 0,9. Entre os talhões clonais (Figura 3A) houve maior variação nos primeiros anos de plantio (até os 5 anos), com estabilização e pequena variação a partir do sexto ano (cenas 115-138). No HF 001 é observada uma feição de declínio do NDVI no ano de 2008, que pode estar associada a mistura espectral de outros alvos no pixel utilizado na amostragem, devido ao corte da vegetação.

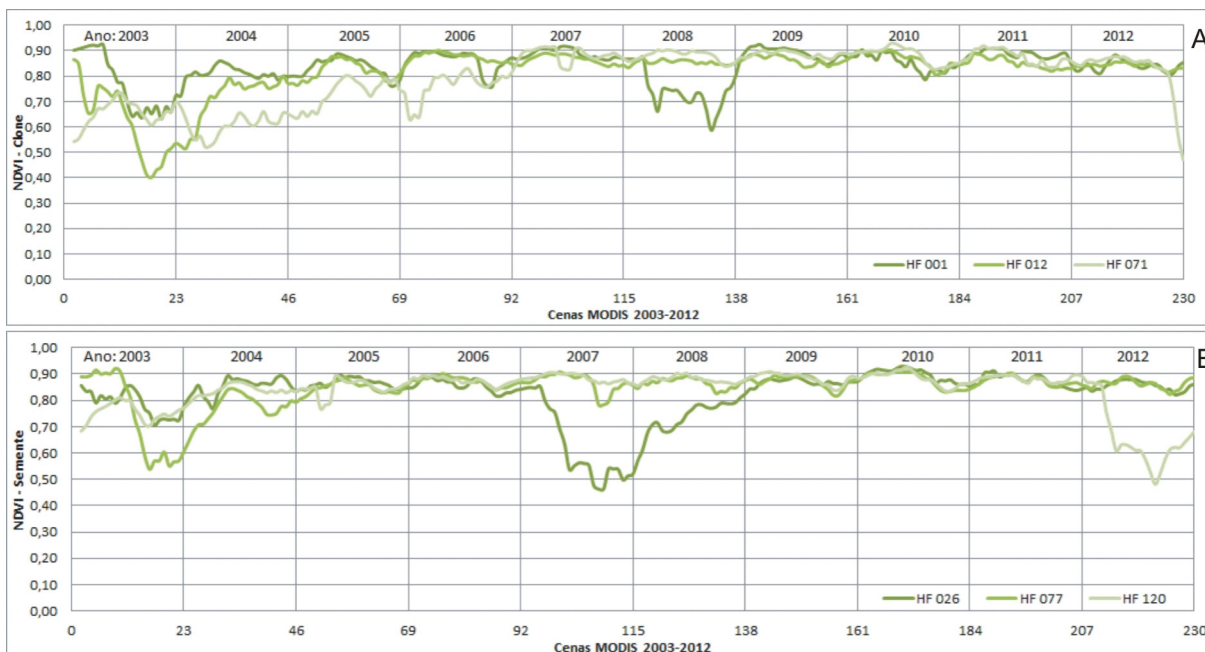


Figura 3 - Série temporal (2003-2012) de NDVI em talhões de eucalipto clonais (A) e de semente (B).

Os talhões com plantios por sementes (Figura 3B) apresentam menor variação se comparado com os talhões clonais. A exceção ocorre no HF 026 no ano de 2007 (cenas 92-115), que apresenta

uma queda significativa no valor de NDVI, possivelmente ocasionada pelo corte das árvores para início de um novo ciclo de plantio.

Em comparação, os HF 012 e 077 (clone e semente, respectivamente) apresentam comportamento e valores semelhantes aos encontrados por Marsden et al. (2010) e Maire et al. (2011), onde a data de colheita do ciclo anterior, a data de plantio e o período inicial de crescimento são bem definidos, com valores semelhantes a reflectância do solo no período inicial de crescimento, alcançando valores máximos de NDVI já no segundo ano do plantio.

Como exemplo, o comportamento do HF 026 pode ser observado nas imagens EVI e NDVI, mostradas na Figura 4. Em ambas, o pixel correspondente ao HF 026 aparece com tonalidade mais escura quando comparado ao pixel referente ao HF 077. Assim, de acordo com a hipótese ressaltada anteriormente para o HF 026, a feição de declínio nos gráficos de EVI e NDVI, pode ser comprovada nas imagens.

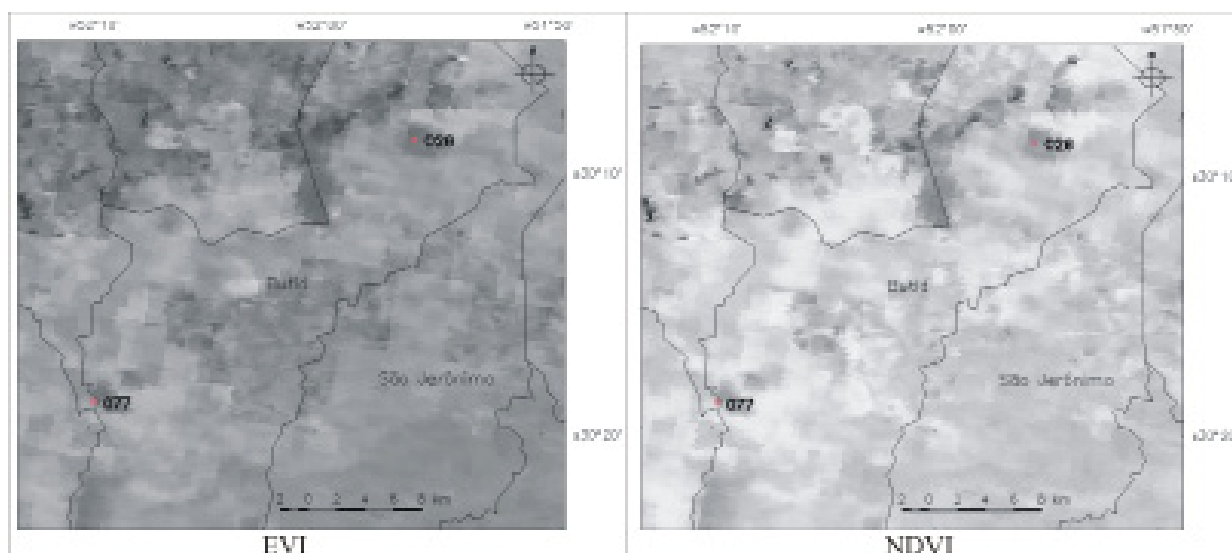


Figura 4 - Imagem EVI e NDVI (dia juliano 257 - ano 2007), destacando os talhões de semente 026 e 077.

Observa-se que entre os dados de EVI e NDVI, os valores de NDVI são maiores para os dois tipos de plantios, enquanto os valores de EVI apresentam-se menores. A diferença entre o EVI e NDVI pode estar associada à sensibilidade do EVI em relação ao solo e aos efeitos atmosféricos, sendo mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel (HUETE et al., 2002), enquanto o NDVI pode conter interferência dos parâmetros solo e atmosfera. Outro fator observado se refere à oscilação dos dados entre os talhões (considerando tanto um período anual quanto o período de dez anos), onde os dados de EVI apresentam maiores variações em comparação aos dados de NDVI, que se mostram mais estáveis.

Os gráficos de GPP dos plantios clonais (Figura 5A) e por semente (Figura 5B) apresentam intervalo de variação semelhante (de 2 a 10) e característica sazonal definida, com menor produtividade no período de inverno e maior no período correspondente ao verão. Nos plantios por semente, não houve diferenças entre os talhões. No gráfico de plantio clonal, o HF 012 exibe valores menores ao longo da série temporal em relação aos HF 001 e 071, os quais não apresentam diferenças entre si. A alteração encontrada no HF 012 pode estar relacionada a confusão espectral entre tipologia de cobertura da terra devido ao tamanho do pixel (1km), a espécie, a adubação ou ainda erro referente a época do plantio.

Análise de Séries Temporais MODIS em Plantios de Eucalipto

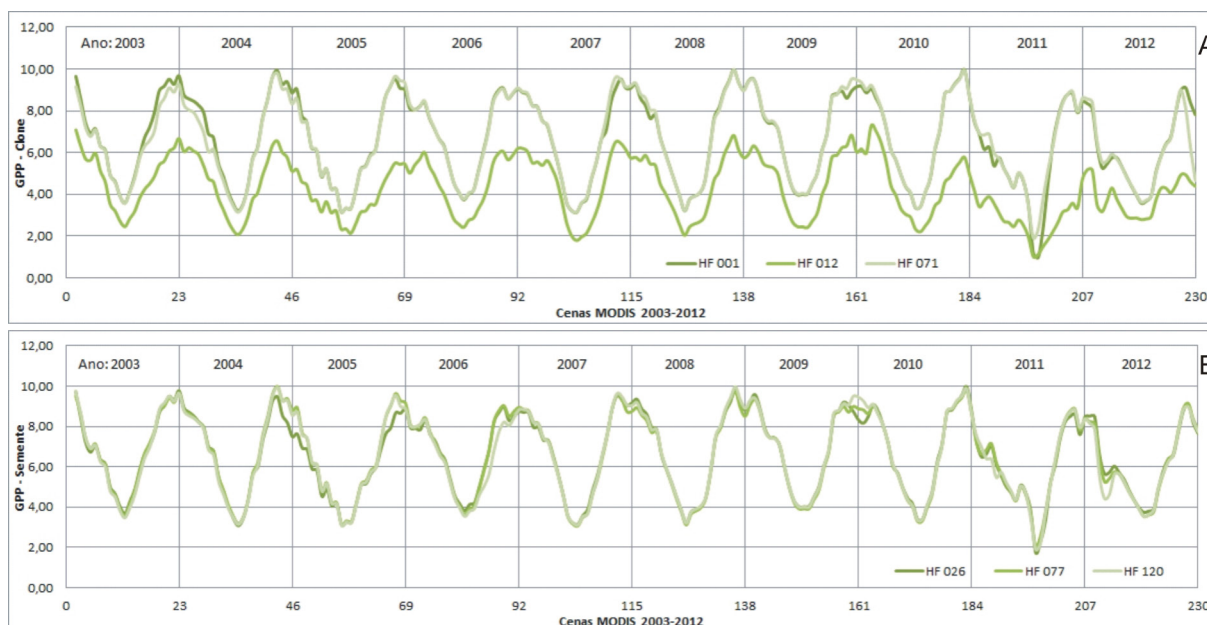


Figura 5 - Série temporal (2003-2012) de GPP em talhões de eucalipto clonais (A) e de semente (B).

A ocorrência de outra feição diferenciada está presente nos plantios clonais e de semente no ano de 2011 (Figura 5A e 5B). Ao analisar as imagens EVI e NDVI (cena 257), que correspondem ao ponto da feição de decréscimo dos valores observada no gráfico da série temporal, não foi verificada presença de ruído ou qualquer outra interferência. Ao pesquisar sobre ocorrências climáticas naquele período, encontraram-se relatos de um inverno rigoroso, sendo que no referido período, constatou-se a maior sequência de dias de frio abaixo de 0°C da última década.

ÍNDICES ESPECTRAIS E PRECIPITAÇÃO

Os gráficos representando as médias dos índices de vegetação EVI (Figura 6) e NDVI (Figura 7) mostram que os valores de NDVI (0,5 a 0,9) são superiores aos valores de EVI (0,3 a 0,7), como já destacado nos gráficos que apresentaram os talhões individuais.

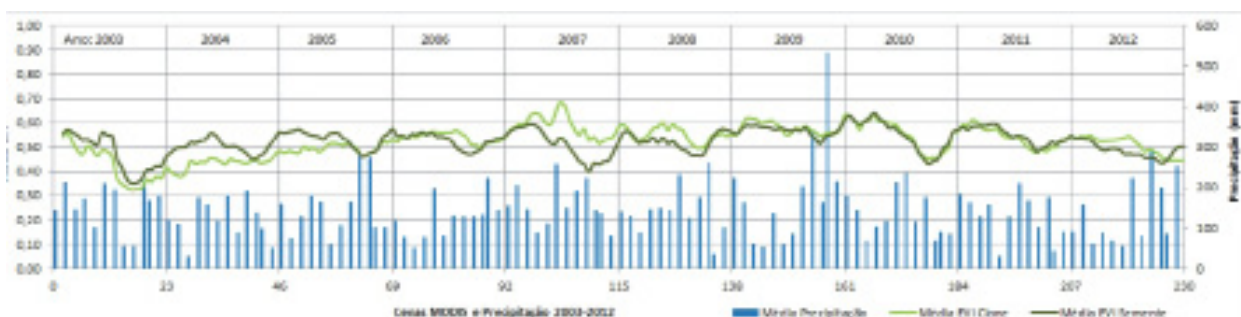


Figura 7 - Média do EVI nos talhões clonais e de semente e sua relação com a precipitação mensal acumulada entre 2003-2012.

Observando o desenvolvimento anual dos povoamentos, entre o plantio até aproximadamente o quarto ano de crescimento, a média de EVI e de NDVI dos talhões oriundos de semente apresenta um valor superior aos talhões clonais.



Figura 7 - Média do NDVI nos talhões clonais e de semente e sua relação com a precipitação mensal acumulada entre 2003-2012.

Esta diferença pode estar relacionada ao formato das folhas das árvores clonais e por semente. No geral, as plantas clonais referem-se à espécie de eucalipto saligna, que possui a folha estreita e alongada, enquanto as árvores de semente pertencem geralmente a espécie dunnii, e apresentam nos primeiros anos de desenvolvimento, folhas mais arredondadas (Figura 8), características que podem interferir na reflectância foliar.



Figura 8 - Diferença entre as folhas do Eucalipto Saligna e Dunnii.

O comportamento geral do plantio clonal, observado tanto nos dados de EVI como de NDVI, mostra um acréscimo gradual desde o plantio até atingir um pico máximo no quarto ano. A média do plantio por semente demonstra crescimento gradual somente no primeiro ano, com a estabilização a partir desse período. Com esta diferença, pode-se afirmar que a partir do quarto ano de crescimento dos plantios clonais e por semente, as médias são praticamente igualadas, demonstrando que os povoamentos atingiram seu ápice de crescimento.

Ainda em relação as Figuras 6 e 7, que corresponde a média dos índices de vegetação em ambos os talhões (clonais e de semente) e sua relação com a precipitação mensal acumulada, é possível observar que não há relação visual direta entre essas variáveis (índices de vegetação e precipitação). No entanto, deve-se ressaltar que médias mensais podem mascarar os dados devido ao longo período de tempo. Além disso, considera-se também que a relação com uma cultura permanente, como o eucalipto, não necessariamente traz uma resposta da precipitação, mesmo considerando o retardo de tempo, diferente do que acontece com culturas temporárias.

Ao contrário do observado neste trabalho, Ribeiro et al. (2009), em estudo no Estado do Espírito Santo, obteve sincronia entre o conjunto de dados multitemporais EVI e variáveis climáticas (como a precipitação), possivelmente devido a condição de sazonalidade bem definida da precipitação, diferentemente das condições que ocorrem no Rio Grande do Sul.

O gráfico representando a produtividade - GPP (Figura 9) também não apresentou relação bem definida com a precipitação, da mesma forma que ocorreu com os índices EVI e NDVI. Considerando que o Estado do Rio Grande do Sul não apresenta condições sazonais claras em relação à precipitação, pode-se considerar como hipótese a utilização da variável temperatura, que apresenta condições sazonais bem definidas no estado, e neste caso, poderia explicar melhor a relação entre o plantio arbóreo de eucalipto e uma variável climática.

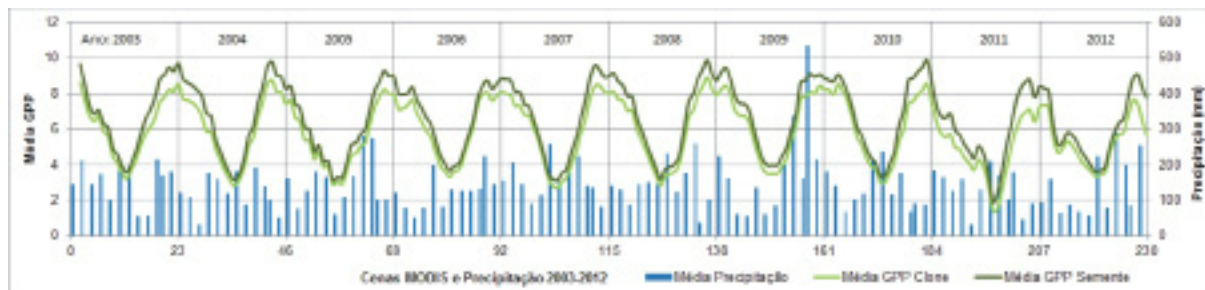


Figura 9 - Média de GPP nos talhões clonais e de semente e sua relação com a precipitação mensal acumulada entre 2003-2012.

Apesar dos dados (índices espectrais e precipitação) não apresentarem relações consistentes visualmente, estatisticamente foi possível obter associações lineares (nível de confiança de 95%) entre as médias anuais das variáveis espectrais e a média anual da precipitação (Tabela 1). Destacam-se para os plantios clonais, o NDVI em 2012, EVI nos anos de 2003 e 2005 e GPP em 2008 e 2010. Em relação aos plantios por semente, há tendência de correlação para os dados de NDVI em 2006, para o EVI em 2003 e 2005, e GPP em 2008 e 2010. Também foram testadas correlações entre os dados, considerando a resposta tardia da precipitação sobre os plantios arbóreos. No entanto, essas relações não apresentaram tendências significativas.

Tabela 1 - Correlações lineares anuais no período 2003-2012 entre as médias anuais dos índices espectrais MODIS e da precipitação TRMM.

R Clone	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>NDVI</i>	0,3390	0,2468	-0,0670	0,0488	-0,2425	-0,3027	-0,3979	0,2393	-0,0858	-0,4153
<i>EVI</i>	0,4408	0,0159	-0,4161	-0,1373	0,3140	-0,0246	-0,2960	-0,0434	0,1485	-0,3451
<i>GPP</i>	0,0003	-0,3216	0,1013	0,0575	-0,3581	-0,4550	0,3848	-0,4858	-0,3540	-0,0779
R Semente	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>NDVI</i>	0,3355	0,3051	-0,1135	-0,4266	-0,1643	0,0403	-0,3828	0,2829	0,0103	-0,0911
<i>EVI</i>	0,5239	-0,3229	-0,6415	-0,1990	-0,0570	-0,3331	-0,2863	-0,1142	0,2215	-0,1464
<i>GPP</i>	-0,0112	-0,3450	0,0992	0,0494	-0,3154	-0,4419	0,3933	-0,4930	-0,3001	0,0315

Os valores destacados apresentam coeficiente de correlação significativo para $\alpha = 5\%$;

Ao comparar estes dados observa-se que as relações entre EVI x precipitação são significativas no mesmo período, tanto para plantios clonais como em plantios por semente. Isso ocorre também na relação entre GPP x precipitação. No caso do NDVI estes períodos não foram compatíveis. Mesmo possuindo pouca correlação, Wang et al. (2003) destacam a influência da precipitação sobre o NDVI e por consequência na produtividade, tendo forte correlação (média de 0,79 em florestas de galeria) quando a escala espacial é adequada.

Com estes resultados e consultando os anos de ocorrência de El Niño e La Niña (CPTEC/INPE), observou-se que em 2002-2003 e 2004-2005 ocorreu o fenômeno El Niño com intensidade moderada e fraca, respectivamente, exatamente nos anos onde foi verificada correlação significativa com os dados de EVI. No mesmo contexto, nos anos que foram encontradas correlações com os dados de

GPP (2008 e 2010) ocorreram os fenômenos La Niña e El Niño (forte e fraco, respectivamente). Estes dados sinalizam a correlação entre as anomalias de precipitação decorrentes dos fenômenos El Niño e La Niña com as variáveis vegetais representadas pelos dados MODIS. Entretanto, estudos adicionais poderiam confirmar esta hipótese, uma vez que são observações em um pequeno período de tempo e outros fatores que não somente climáticos podem estar interferindo.

Ainda observando os resultados em relação ao comportamento sazonal, principalmente de GPP, destaca-se a variação significativa deste índice de acordo com as estações do ano. Assim, dados climáticos de temperatura poderiam resultar melhores correlações com os índices espectrais para esta região, uma vez que no Estado do Rio Grande do Sul a dinâmica sazonal é mais influenciada pela temperatura do que pela precipitação. Santana et al. (2008) reforçam que os fatores de crescimento podem tornar-se limitantes para as plantas: por poucos minutos (temperatura), outros por dias, semanas (água) ou até mesmo meses (nutrientes), destacando assim, a importância da relação entre as condições climáticas e plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação temporal de índices espectrais MODIS permitiu a identificação do comportamento espectral da vegetação de eucalipto a partir da época de plantio, seguido do crescimento da vegetação e o período de corte. O NDVI e o EVI não apresentaram comportamentos sazonais muito destacados, diferentemente do GPP, que mostrou claramente a diferença entre a fase de inverno e verão nos povoamentos de eucalipto. Estes resultados mostraram a capacidade da utilização do MODIS, principalmente para avaliar as fases de plantio e corte.

Considerando os dados MODIS comparados aos dados de precipitação, não se podem definir comportamentos específicos, uma vez que não há relação visível entre os dados. Mesmo assim, foram observadas correlações significativas entre os índices e precipitação para períodos com anomalias decorrentes dos fenômenos El Niño e La Niña. As baixas resoluções especiais dos dados MODIS e TRMM podem auxiliar a apontar os motivos das baixas correlações entre as variáveis, mas estudos adicionais são recomendados.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos de doutorado e a empresa Celulose Riograndense pelo apoio ao trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas. In: B. F. T. RUDORFF; Y. E. SHIMABUKURO; J. C. CEBALLOS. (Org.). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p. 185-206.
- BRIZUELA, A. B.; MILERA, S. G. Actualización de la superficie forestada en cuatro Departamentos de la Provincia de Entre Ríos. **Revista Científica Agropecuaria**, Paraná, v. 7, n. 1, Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER, p. 45-50, 2003.
- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **El Niño e La Niña**. Disponível em <enos.cptec.inpe.br/>.
- FERREIRA, J. M. A. **Ganhos de produtividade de plantações clonais de Eucalyptus Urophylla e suas correlações com variáveis edafoclimáticas e silviculturais**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ/USP, Piracicaba, 2007.
- FREITAS, R.M. et. al. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set

- over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, n.1, p. 57-68, 2011.
- HUETE, A., et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002.
- IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Third Assessment Report, 2001. Disponível em <grida.no/publications/other/ipcc_tar/>.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- LATORRE, M. L., et al. Produtos para ecossistemas terrestres – MOD-LAND. In: B. F. T. RUDORFF; Y. E. SHIMABUKURO; J. C. CEBALLOS. (Org.). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p. 185-206.
- LIANG L.; SCHWARTZ M.D. Landscape phenology: an integrative approach to seasonal vegetation dynamics. **Landscape Ecology**, n. 24, p. 465-472, 2009.
- MAIRE, G., et al. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of Eucalyptus plantation biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 2613–2625, 2011.
- MARSDEN, C., et al. Relating MODIS vegetation index time-series with structure, light absorption and stem production of fast-growing Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1741–1753, 2010.
- PARUELO, J.M., et al. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. **Ecosystems**, n. 4, p. 683-698, 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- RIBEIRO, C. A. D., et al. Correlações entre variáveis climáticas e séries multitemporais EVI em floresta natural e em cultivo agrícola. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 196-204, 2009.
- SANTANA, R. C., et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.
- SOARES, J. V., et al. Histórico e Descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p. 3-21.
- SUN W., et al. Mapping plant functional types from MODIS data using multisource evidential reasoning. **Remote Sensing of Environment**, n. 112, p. 1010-1024, 2008.
- WANG, J., et al. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 11, p. 2345–2364, 2003.