

DINÂMICA SAZONAL DE REMANESCENTES DA MATA ATLÂNTICA, A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS NDVI/MODIS

SEASONAL DYNAMICS OF THE REMAINING ATLANTIC FOREST, FROM A TIME SERIES NDVI/MODIS

Letícia Celise Ballejo da Costa¹, Laurindo Antonio Guasselli¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil

Correspondência para: Letícia Celise Ballejo de Oliveira (leticelise@yahoo.com.br)

doi: 10.12957/geouerj.2017.15868

Recebido em: 29 mar. 2015 | Aceito em: 18 abr. 2017



RESUMO

O sensoriamento remoto de dados orbitais multitemporais é uma ferramenta eficaz de grande potencial em estudos ambientais. As séries temporais de índices de vegetação como o NDVI, podem auxiliar em estudos que envolvem a análise e monitoramento de tipos e mudanças da cobertura vegetal. O presente trabalho teve por objetivo analisar a dinâmica sazonal de remanescentes florestais da Mata Atlântica, a partir de uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS do período de 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos – RS. A partir das imagens MODIS, foram gerados espectros temporais para fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas; Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Estacional Semidecidual Montana; e Floresta Ombrófila Mista. Com base nos espectros temporais observa-se que o NDVI mantém um padrão temporal, geralmente com valores menores no inverno e maiores no verão. Essa característica temporal tem amplitudes mensais variáveis. A dinâmica sazonal do NDVI é influenciada principalmente pela variação das temperaturas entre as estações do ano. A característica semidecídua, decorrente das baixas temperaturas impostas às fitofisionomias, altera a dinâmica espectral da vegetação e, dessa forma, a amplitude de variação do NDVI.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Imagens MODIS; NDVI; Série temporal; Mata Atlântica.

ABSTRACT

Remote sensing of multitemporal orbital data is an effective tool of great potential in environmental studies. The temporal series of vegetation indices such as NDVI can help in studies that involve the analysis and monitoring of types and changes of vegetation cover. The present work had the objective of analyzing the seasonal dynamics of forest remnants of the Atlantic Forest, from a time series of NDVI / MODIS images from 2000 to 2011, in the Sinos river basin - RS. From the MODIS images, temporal spectra were generated for the Phytophysiology of Semidecidual Seasonal Lowland Forest; Submontane Semidecidual Seasonal Forest; Semidecidual Seasonal Forest Montana; And Mixed Ombrophilous Forest. Based on the temporal spectra it is observed that the NDVI maintains a temporal pattern, generally with smaller values in the winter and larger values in the summer. This temporal characteristic has variable monthly amplitudes. The seasonal dynamics of the NDVI are influenced mainly by the variation of the temperatures between the seasons of the year. The semi-deciduous characteristic, due to the low temperatures imposed on the phytophysionomies, changes the spectral dynamics of the vegetation and, therefore, the range of NDVI variation.

Keywords: Remote sensing; Images; NDVI; Time series; Atlantic Forest.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto de dados orbitais multitemporais é uma ferramenta eficaz de grande potencial em estudos ambientais. Segundo Freitas et al. (2011), conjuntos de séries temporais derivados de

sensoriamento remoto têm permitido o monitoramento espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo em escalas temporais antes não possíveis.

Séries temporais de índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), têm um grande potencial nos estudos que envolvem a análise e monitoramento de tipos e mudanças da cobertura vegetal (WAGNER et al., 2011; DALLA NORA & MARTINI, 2010; CARVALHO JÚNIOR et al., 2008. CARVALHO JÚNIOR et al., 2006).

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, os sensores remotos orbitais, foram dotados de características capazes de fornecer parâmetros precisos para monitorar continuamente os recursos florestais. Um exemplo é o sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer) a bordo do satélite Terra que tem se destacado como um importante recurso nos estudos da dinâmica da vegetação (SANTANA et al., 2010; ROSEMBACK, 2007).

Um dos produtos fornecidos pelo MODIS é o NDVI (ROUSE et al., 1973). O NDVI é um índice de vegetação calculado a partir das regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, imageadas pelos sensores orbitais.

Esse índice é utilizado no monitoramento e na construção de perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais. O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividade sazonal, fenológica, duração de período de crescimento, pico verde, mudanças fisiológicas da folha e períodos de senescência (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009).

O bioma Mata Atlântica contém uma das florestas mais ricas em biodiversidade no Planeta. Entretanto, apesar da grande diversidade florística e fisionômica é um dos biomas mais ameaçados do país, restando apenas fragmentos desta outrora extensa área florestada.

No Rio Grande do Sul, a Mata Atlântica ocupava originalmente uma área de 13.836.988 ha, cerca de 50% do território do estado, atualmente restam apenas 7,9% de remanescentes florestais¹. Entre as fitofisionomias que compõem a Mata Atlântica, destaca-se a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista.

Nesta perspectiva, o presente trabalho teve por objetivo analisar a dinâmica sazonal de remanescentes florestais da Mata Atlântica, a partir de uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS do período de 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS.

O MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos se localiza na região nordeste do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29°20' a 30°10' de latitude Sul e 50°15' a 51°20' de longitude Oeste (Figura 1). Possui uma área de 3.820 km², com uma população aproximada de 975.000 habitantes, sendo que 90,6 % ocupam as áreas urbanas e 9,4 % estão nas áreas rurais². Esta bacia abrange municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas. Os principais corpos de água são os rios: Rolante, da Ilha, Paranhana e o rio dos Sinos.

¹ Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 2011-2012.

² Fonte: FEPAM.

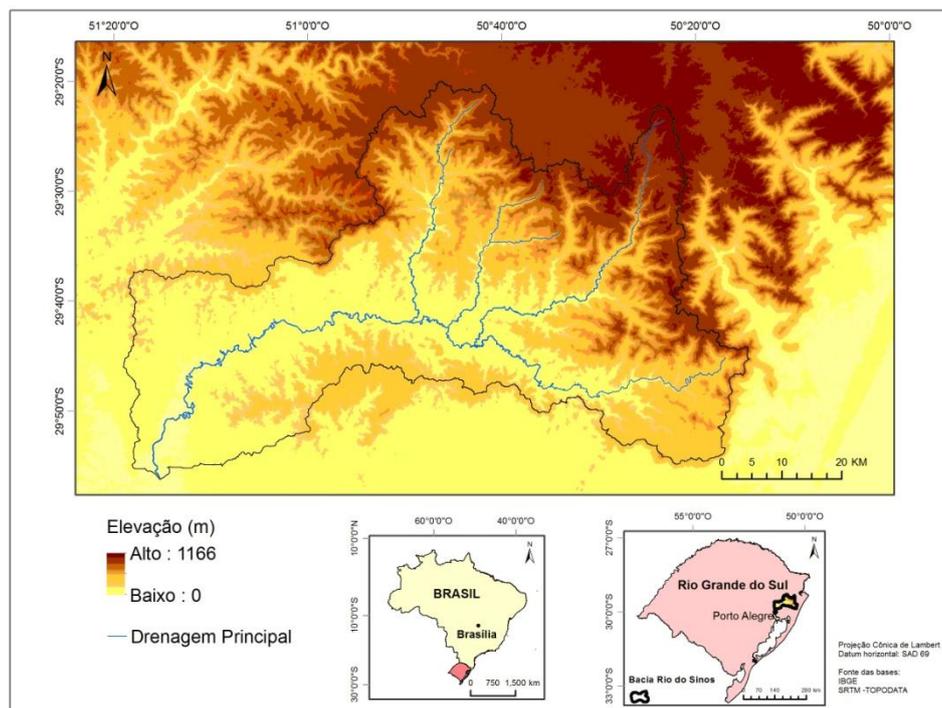


Figura 1. Localização e relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS.

Os remanescentes florestais de Mata Atlântica estão distribuídos na bacia dos Sinos em duas principais fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista. A Floresta Estacional Semidecidual é composta pelas classes de Terras Baixas, Submontana e Montana, diferenciadas pela sua localização altimétrica. Na porção oeste da bacia, a vegetação predominante não corresponde a Mata Atlântica, denomina-se de Área de transição. (Figura 2).

A Floresta Estacional Semidecidual se caracteriza pela dupla estacionalidade climática, representada no Estado, pela chamada seca fisiológica provocada pelo frio intenso do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. A percentagem das árvores que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50%. A classe das Terras Baixas está presente, na bacia dos Sinos, geralmente, em áreas de 5 a 30 m de altitude; a Submontana situa-se na faixa altimétrica que varia de 30 a 400 m; e a Montana ocorre na faixa altimétrica que varia entre 400 a 1 000 m de altitude. (IBGE, 2013).

Na borda norte e nordeste da bacia, encontram-se as áreas de Floresta Ombrófila Mista, que se caracterizam por apresentar o estrato superior dominado pela *Araucária angustifolia*, floresta típica do Planalto Meridional, ocorrendo no RS em altitudes entre 500 m ao oeste a 1.000 m a leste.

Em algumas áreas no extremo norte da bacia dos Sinos, há a ocorrência da fitofisionomia Estepe, conhecida no Rio Grande do Sul como Campos de Cima da Serra ou Campos de Altitude. Eles desenvolvem-se em altitudes superiores a 800m, tanto em áreas de relevo ondulado como forte ondulado.

É importante destacar que a classificação da vegetação aqui apresentada, embasa-se no Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE do ano de 2012.

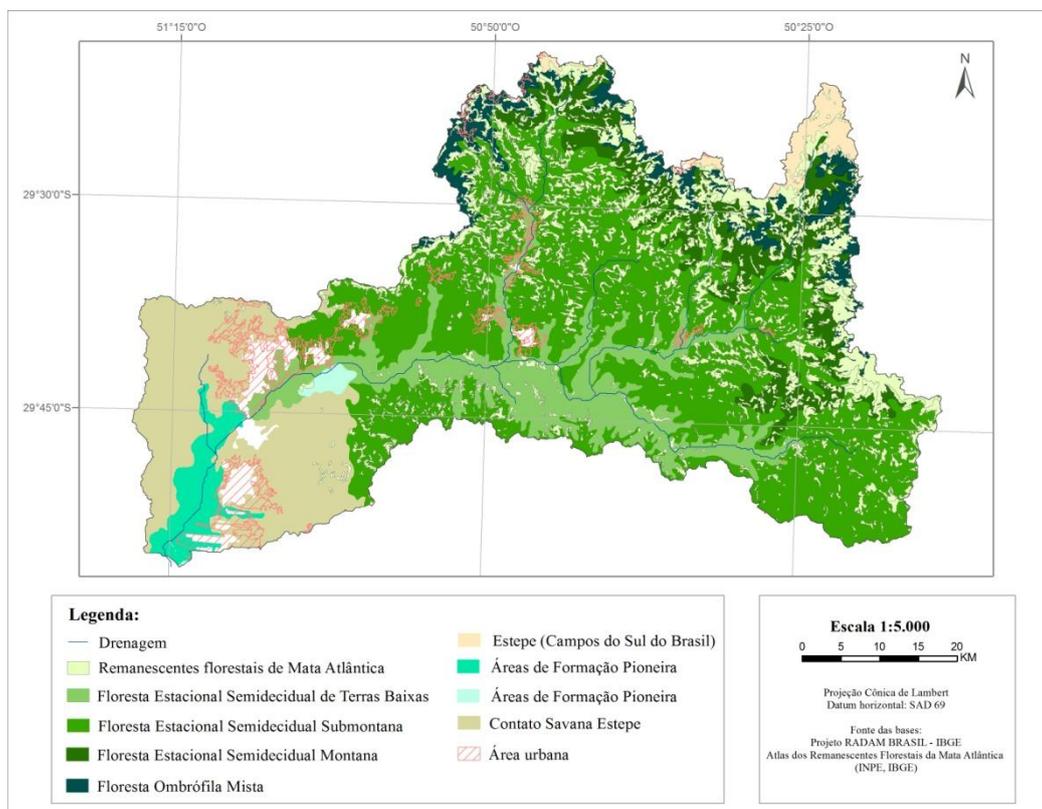


Figura 2. Mapa das fitofisionomias do bioma Mata Atlântica, bacia dos Sinos - RS.

Cabe salientar também, que as áreas de fitofisionomias da Mata Atlântica (Figura 02) correspondem às áreas originais, sendo que os remanescentes representam as áreas florestais existentes atualmente. De acordo com os dados do projeto “SOS Mata Atlântica”, esses remanescentes florestais totalizam 692,03 km² na bacia dos Sinos.

Aquisição e processamento das imagens MODIS

As imagens NDVI/MODIS foram adquiridas gratuitamente através do site da NASA, <http://reverb.echo.nasa.gov/>. O produto selecionado foi o MOD13, do satélite TERRA, imagens de 16 dias, com resolução espacial de 250 m e órbita h11v9. Para cobrir a área da bacia dos Sinos foi necessária apenas uma cena.

Foi adquirido um conjunto de 23 imagens por ano, entre o período de 2000 a 2011, totalizando 276 imagens. Entretanto, após uma seleção este número foi reduzido para 211 devido presença de nuvens, erro na disponibilização dos arquivos, que impedia a visualização e a inexistência de algumas datas, como por exemplo, as imagens dos primeiros meses do ano 2000 não foram disponibilizadas para download no site da NASA.

As imagens de NDVI do sensor MODIS são disponibilizadas para download no formato HDF, projeção sinusoidal e com correção atmosférica. A reprojeção e o recorte das imagens de acordo com a área de estudo, foram realizados no software IDRISI (*Clark Labs*©), onde se converteu para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum WGS84, fuso 22 Sul.

O NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1973) e é calculado a partir da Equação 1:

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

Em que: NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada; IVP - Infravermelho próximo; V - Vermelho. Varia de -1 a +1, onde normalmente superfícies com alguma vegetação devem apresentar valores entre 0 e 1, já para superfícies como água e nuvens o valor geralmente deve ser menor que zero.

O NDVI das imagens MODIS não são disponibilizados na escala entre -1 e 1, devido à compactação dos arquivos. Foi necessário realizar a divisão por 10000 de cada uma das imagens, para

compatibilizar a escala de valores do NDVI, esse procedimento também foi realizado na calculadora do software IDRISI.

Geração dos Espectros Temporais de NDVI

Para analisar a dinâmica sazonal de remanescentes florestais da Mata Atlântica foram gerados espectros temporais de NDVI, produzidos por meio de uma série temporal das 211 imagens MODIS do período de 2000 a 2011, para cada fitofisionomia florestal da Mata Atlântica.

Para gerar os espectros temporais, foram selecionadas três amostras de remanescentes florestais de Mata Atlântica para cada fitofisionomia: Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas; Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Estacional Semidecidual Montana; e Floresta Ombrófila Mista, totalizando 12 amostras, Figura 03. As amostras (polígonos) dos remanescentes florestais de cada fitofisionomia foram obtidas a partir dos dados do “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”³ em formato *shapefile*.

³ Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 2011-2012.

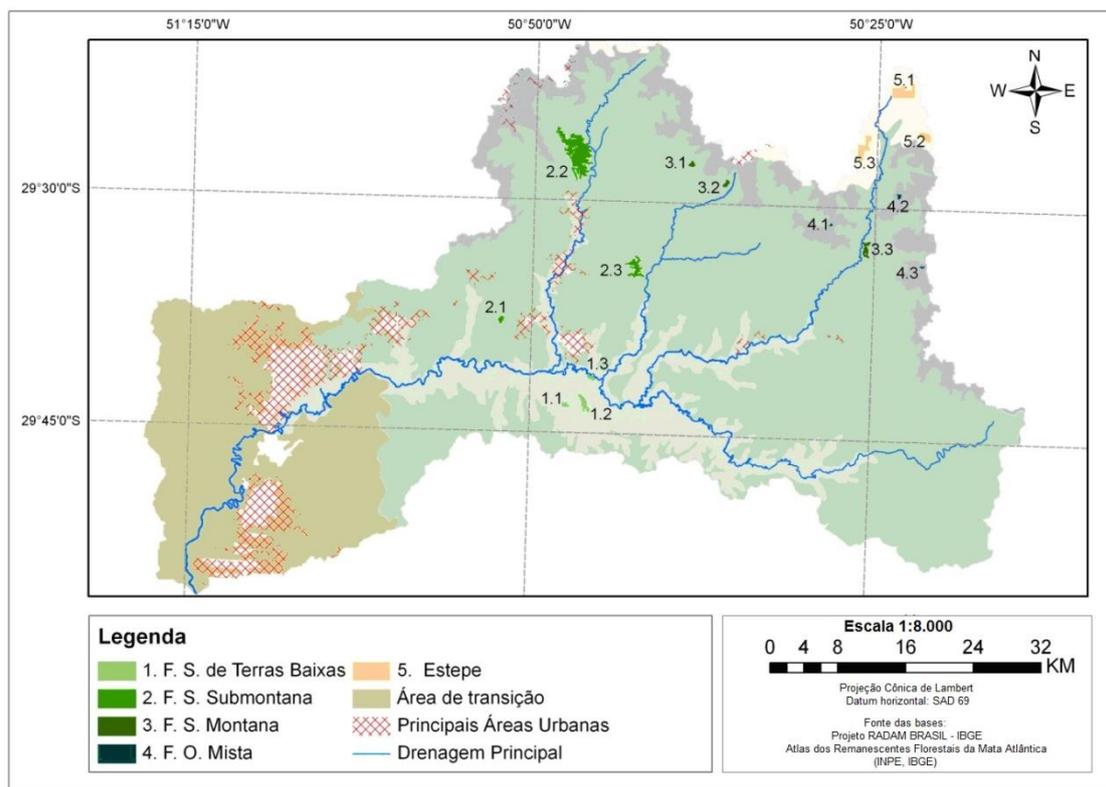


Figura 3. Mapa de localização das amostras de remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica, bacia dos Sinos - RS.

Após, a amostragem, foi realizado no software ENVI o cálculo da média dos pixels que compunham cada uma das amostras para as 211 datas de imagens. Esses valores foram plotados em gráficos representando a variação do NDVI para cada fitofisionomia ao longo dos 12 anos da série temporal de imagens NDVI/MODIS.

Cabe salientar que o mapa da Figura 3 não foi elaborado a partir de classificação de imagem de satélite, mas sim apenas com polígonos em formato shapefile do Projeto RADAMBRASIL e do “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série temporal de imagens NDVI/MODIS de 2000 a 2011 evidencia a variação dos valores de NDVI de cada amostra ao longo dos espectros temporais.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam o espectro temporal de NDVI da fitofisionomia da Mata Atlântica Floresta Semidecidual de Terras Baixas (amostras 1.1, 1.2 e 1.3). Destaca-se que o valor de NDVI, nas três amostras ficou acima de 0,6, valor característico de áreas com média a elevada cobertura vegetal. De acordo com Braga e Sansigolo (2008), valores do NDVI para áreas vegetadas variam entre 0,1 e 0,8, valores estes que dependem da arquitetura, densidade e umidade da vegetação.

Também se verifica que ao longo da série temporal, não houve uma diminuição significativa nos valores de NDVI, os quais se mantiveram constantes. Esse fato indica também que nas áreas das amostras não ocorreu supressão da floresta.

Destaca-se, nas Figuras 4, 5 e 6, que os menores valores de NDVI correspondem aos meses de inverno, quando as árvores perdem parte das folhas, fazendo com que diminua a biomassa foliar. Para Leite & Klein (1990) o fenômeno da semideciduidade estacional é adotado como parâmetro identificador desta região por assumir importância fisionômica marcante, caracterizando o estrato superior da floresta. A queda parcial da folhagem da cobertura superior da floresta tem correlação, principalmente, com os parâmetros climáticos históricos ou atuais, característicos desta região. Segundo os mesmos autores a fisionomia das formações vegetais desta região é marcada pelo fenômeno da estacionalidade e semideciduidade foliar, a queda foliar das espécies desta região, atinge de 20 a 50% da cobertura vegetal superior da floresta.

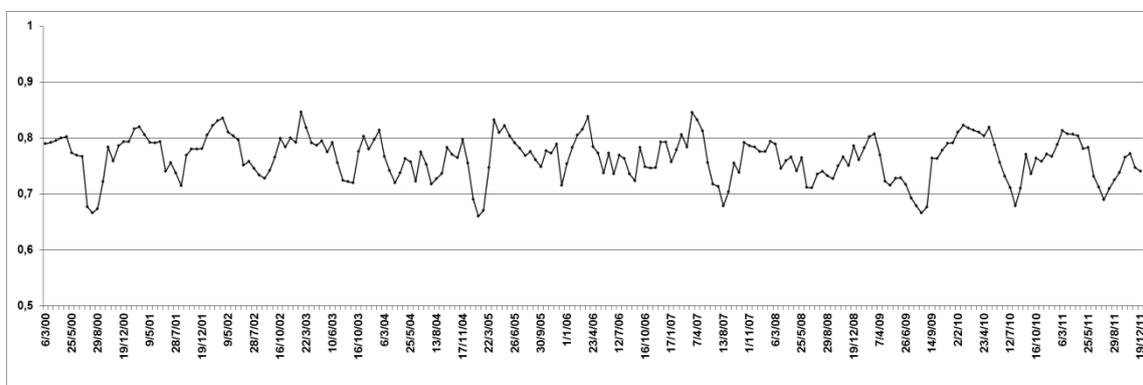


Figura 4. Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas: amostra 1.1.

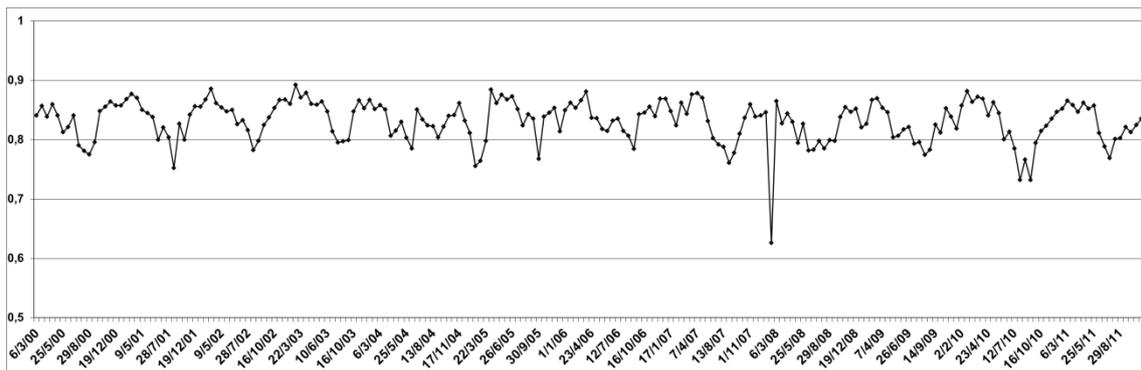


Figura 5. Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas: amostra 1.2.

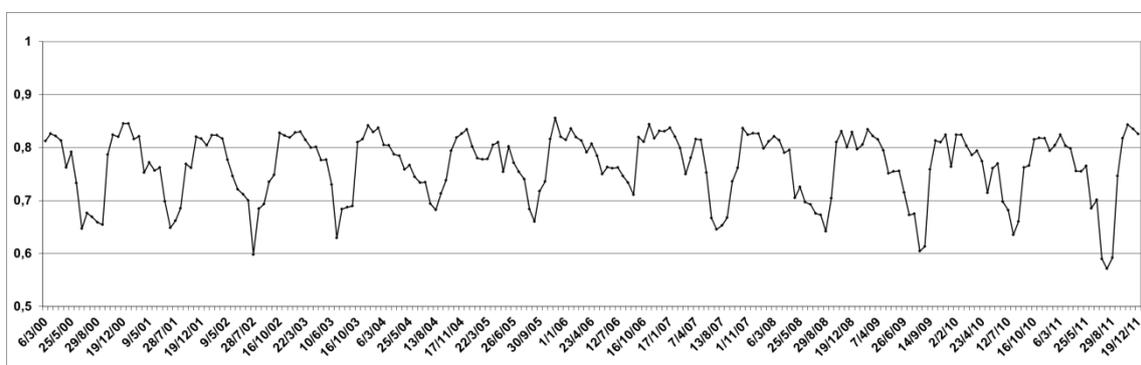


Figura 6. Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas: amostra 1.3.

Os valores de NDVI mantêm um padrão temporal, geralmente com valores menores no inverno e maiores no verão. Essa característica temporal tem amplitudes mensais variáveis de uma amostra para outra, como pode-se perceber na amostra 1.3 (Figura 6), que apresenta uma maior amplitude nos valores de NDVI em relação às outras amostras.

A maior amplitude dos valores de NDVI entre o inverno e o verão na amostra 1.3 (Figura 6), onde os meses de inverno apresentam valores bem menores que nas outras amostras (Figuras 4 e 5), podem ser explicados observando-se o mapa da localização das amostras (Figura 3).

De acordo com a Figura 3, um fator que pode influenciar nessa diferenciação dos valores de NDVI entre as amostras é a sua localização. A amostra 1.2, por exemplo, apresenta os maiores valores médios de NDVI, o que pode ser explicado observando as imagens das 7 e 8.

A imagem referente à amostra 1.1 (Figura 7) apresenta um maior efeito de sombreamento do relevo do que a imagem da amostra 2.2 (Figura 8). Esses pixels com sombra podem ser os responsáveis pelos menores valores de NDVI na amostra 1.1 em relação à mostra 1.2 (GAIDA et al., 2016; BREUNIG et al., 2015; CORRÊA et al., 2013). Corrêa et al., (2013) afirmam em seu estudo que vertentes iluminadas apresentam, em média, um aumento de 4% dos valores de índices de vegetação (NDVI) comparados aos valores das vertentes não iluminadas.

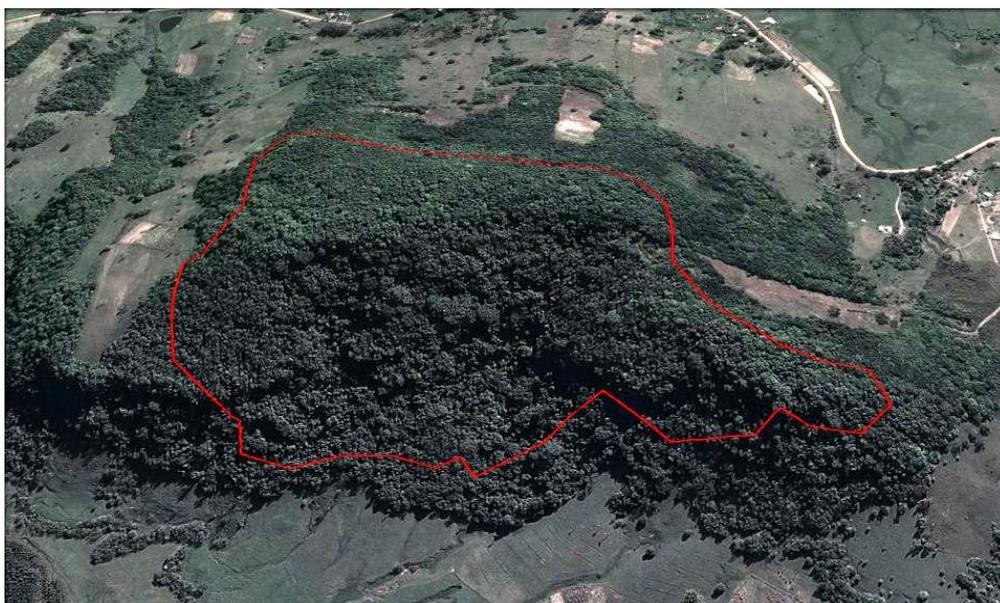


Figura 7. Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.1. Fonte: Google Earth.

Observa-se que a amostra 1.3 (Figura 9) da Floresta de Terras Baixas se localiza em área mais plana e bem próxima ao rio dos Sinos, do que as amostras 1.1 e 1.2, localizadas em encostas e topos de morros. Devido à proximidade do rio e a maior umidade na área, a vegetação da amostra 1.3 tem uma resposta espectral com maior interferência de solos úmidos, além de que as espécies vegetais presentes estão associadas a esses ambientes. Esses elementos fazem com que os valores de NDVI sejam menores no inverno, pois os meses mais chuvosos na bacia são os meses correspondentes ao inverno - junho a setembro (BRUBACHER et al., 2012).

De acordo com dados do Levantamento dos Recursos Naturais do Brasil, volume 33 de 1986, a Floresta Semidecidual de Terras Baixas está restrita às planícies originalmente inundáveis do rio dos Sinos, constituídas por depósitos aluvionares do período Quaternário. Essa característica indica que

essa vegetação está associada a ambientes de áreas úmidas, ou que sofrem com inundações periódicas. Esse fator interfere diretamente nos valores de NDVI, ocasionando uma diminuição nos mesmos, devido à água presente no ambiente. Já as classes Submontana e Montana da Floresta Semidecidual não são afetadas por fatores como umidade, pois se localizam em áreas mais elevadas da bacia.



Figura 8. Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.2. Fonte: Google Earth.



Figura 9. Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.3. Fonte: Google Earth.

A Figura 10 mostra o comportamento sazonal da Floresta Semidecidual de Terras Baixas, a partir das médias de NDVI, considerando as duas estações do ano, de cada ano da série temporal, com maior influência na semideciduidade dessa formação florestal - o inverno e o verão.

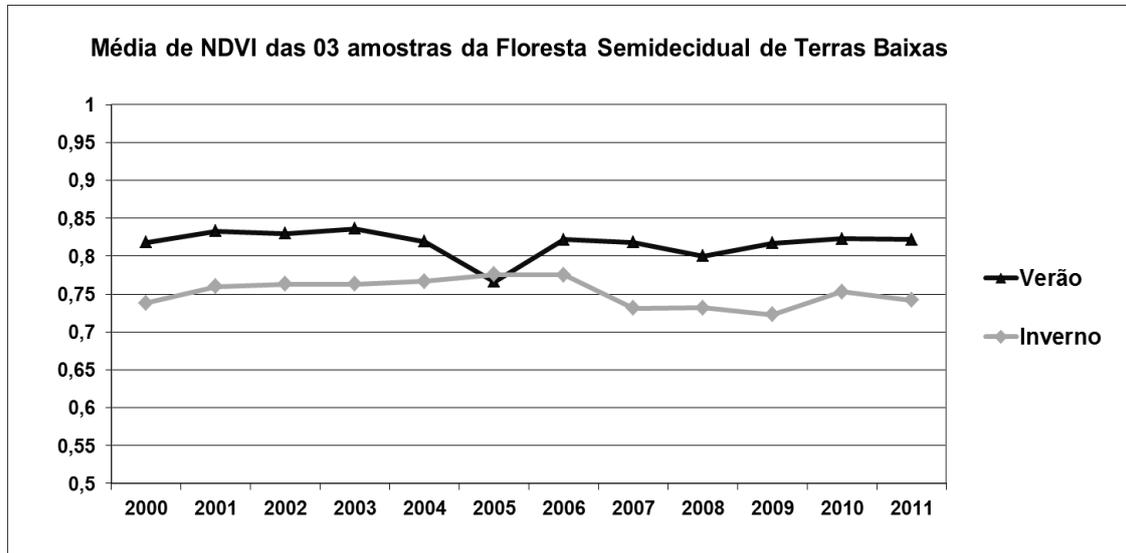


Figura 10. Médias anuais de NDVI/MODIS referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual de Terras Baixas.

Com exceção do ano de 2005, em todos os anos da série temporal os valores de NDVI de verão ficaram acima dos valores de NDVI de inverno.

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam os espectros temporais de NDVI da fitofisionomia Floresta Semidecidual Submontana, amostras 2.1, 2.2 e 2.3. A Floresta Semidecidual Submontana correspondia originalmente a maior parte da área da bacia, abrangendo a 45,92% de sua área total.

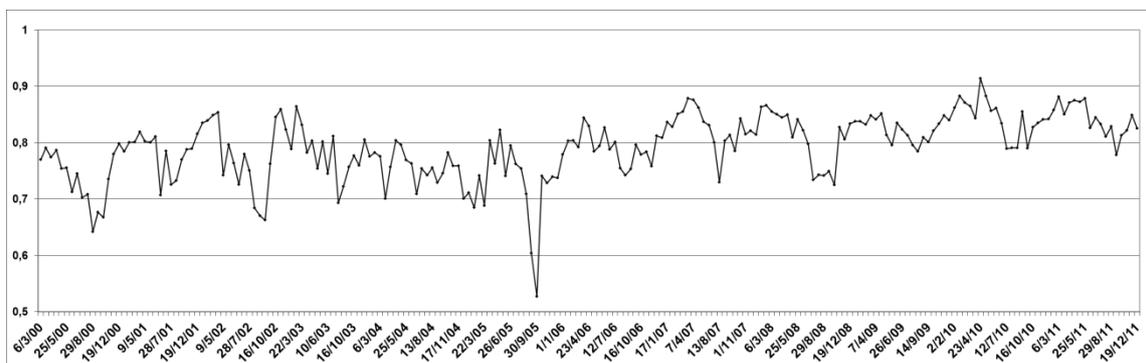


Figura 11. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.1.

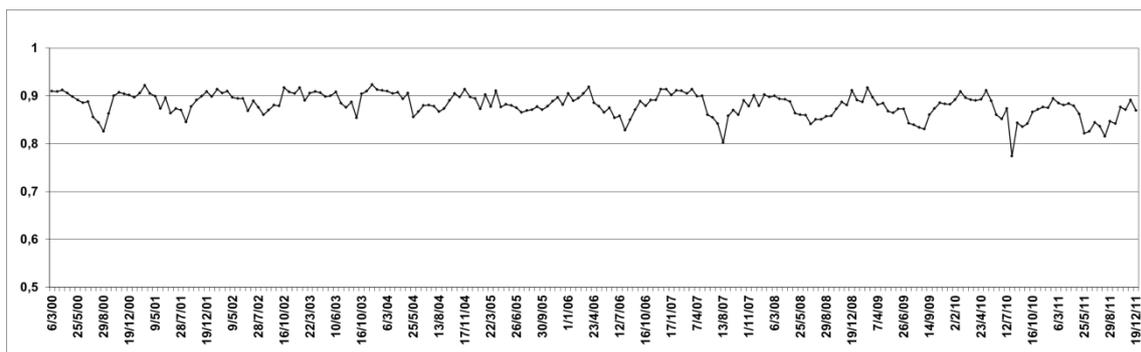


Figura 12. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.2.

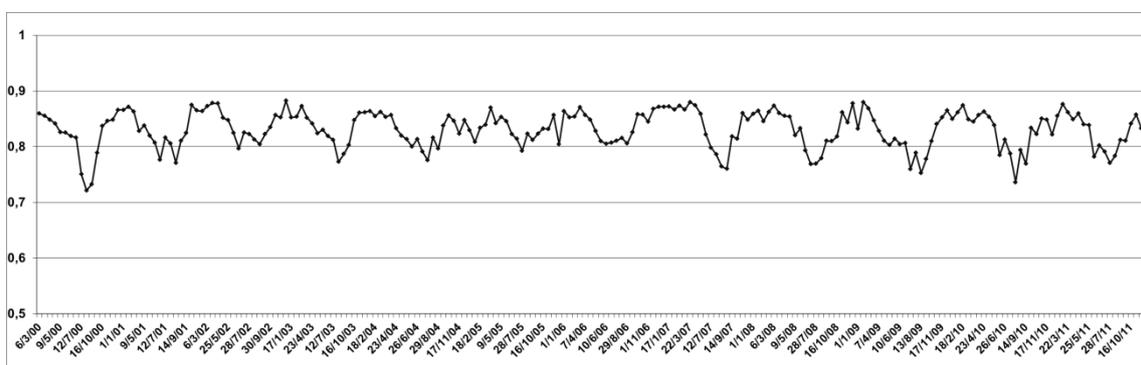


Figura 13. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.3.

Ao analisar os espectros temporais, Figuras 12 e 13, percebe-se que os valores de NDVI são ligeiramente mais altos que na Figura 11, a qual apresenta também uma maior amplitude nos valores em relação às outras. Rosembach et al. (2010, p.38), verificaram que a Floresta Estacional Semidecidual apresenta valores altos de NDVI em todas as estações (entre 0,7 e 0,8), com queda nos meses de julho a setembro (0,55 a 0,7).

Como constatado nas amostras da fitofisionomia correspondentes as Terras Baixas, os espectros temporais de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana também demonstram o comportamento semidecidual da vegetação determinando a magnitude das variações sazonais apresentado nos espectro temporais.

A Figura 14 apresenta a média anual do inverno e do verão das amostras de Submontana. Cabe destacar novamente a diferença dos valores de inverno e verão e a pequena queda dos valores de NDVI no ano de 2005.

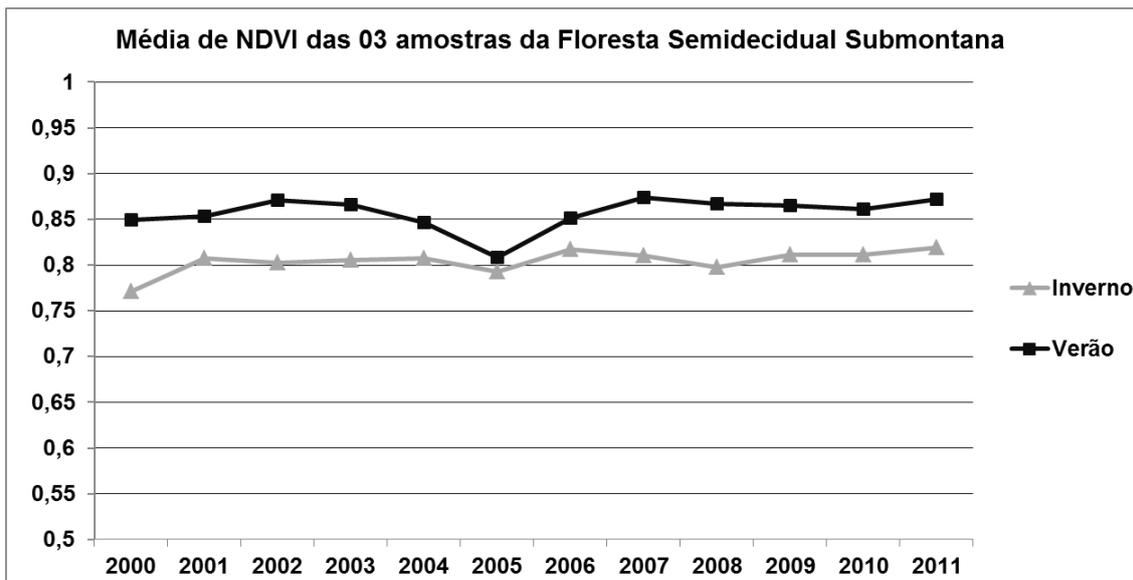


Figura 14. Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Submontana.

Salienta-se também, que os valores anuais de NDVI do inverno e verão da Floresta Semidecidual Submontana (Figura 14) foram levemente maiores, tanto no inverno como no verão, do que na Floresta Semidecidual de Terras Baixas (Figura 10), indicando uma diferenciação entre as fitofisionomias. Cabe destacar, que as fitofisionomias são caracterizadas por uma sazonalidade fraca, pois o NDVI apresenta uma pequena variabilidade de uma estação para outra.

As Figuras 15, 16 e 17 apresentam os espectros temporais de NDVI da fitofisionomia Floresta Semidecidual Montana, amostras 3.1, 3.2 e 3.3.

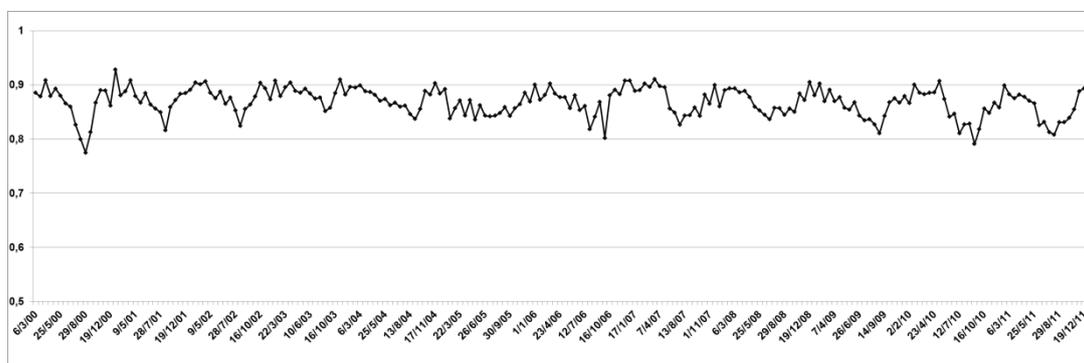


Figura 15. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.1.

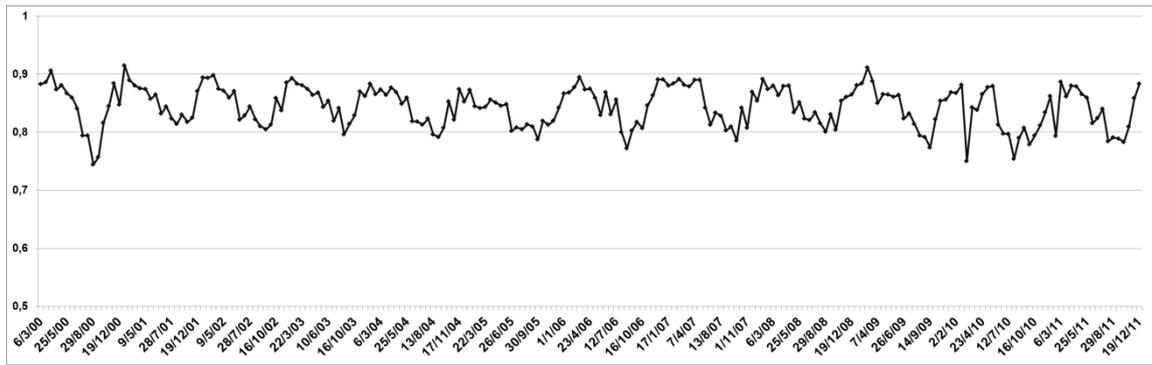


Figura 16. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.2.

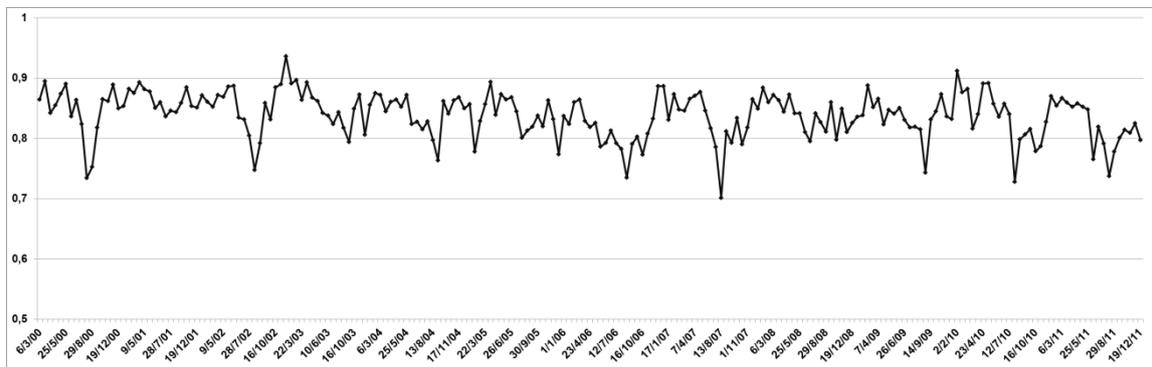


Figura 17. Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.3.

A análise dos espectros temporais de NDVI das classes da Floresta Semidecidual, mostra que o NDVI comportou-se condizente com o que preceitua a bibliografia no que tange à dinâmica sazonal das fitofisionomias (VELOSO et al., 1991; LEITE, 2002; IBGE 2013). De acordo com esses autores na Floresta Estacional Semidecidual o inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15° C) determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem.

A Figura 18 evidencia uma acentuada diminuição das temperaturas nos meses correspondentes ao inverno (junho a setembro), em alguns períodos apresentando-se abaixo de 10° C.

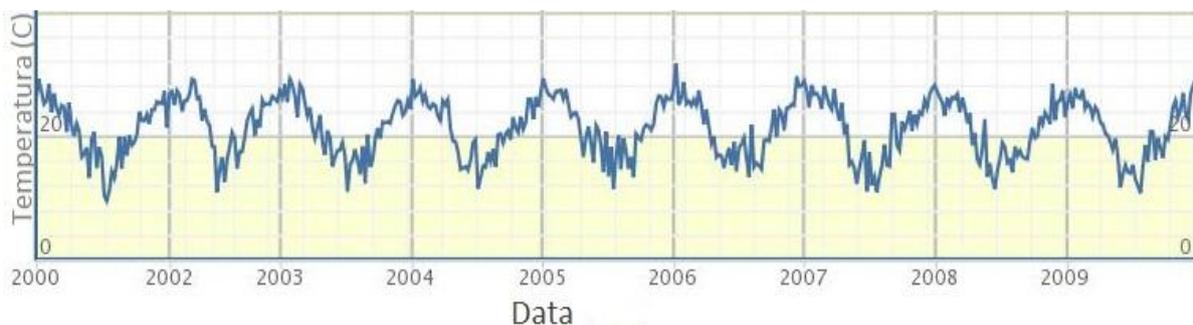


Figura 18. Gráfico das temperaturas mensais, período 2000 a 2009, município de Campo Bom na bacia dos Sinos. Fonte: INMET.

A Figura 19 apresenta as médias de NDVI de inverno e de verão dos anos da série temporal da Floresta Semidecidual Montana. Assim como as outras classes de fitofisionomias da Floresta Semidecidual, apresenta os valores de verão maiores do que do inverno.

Segundo Dalla Nora e Martini (2010), a característica decídua, de intensidade distinta, altera as relações de reflectância entre comprimentos de onda situados na região do vermelho (620 a 700 nm) e infravermelho próximo (700 a 1300 nm). Os autores ainda complementam que estas alterações provocadas pela perda de biomassa foliar em função de características físicas adversas determinam a amplitude das variações ilustradas nos espectros de NDVI em relação a cada tipo fitofisionômico. Neste caso, o comportamento fenológico da vegetação apresenta estreita relação com sua dinâmica espectral, tornando possível seu monitoramento mediante o emprego de índices de vegetação (DALLA NORA E MARTINI, 2010, p.102).

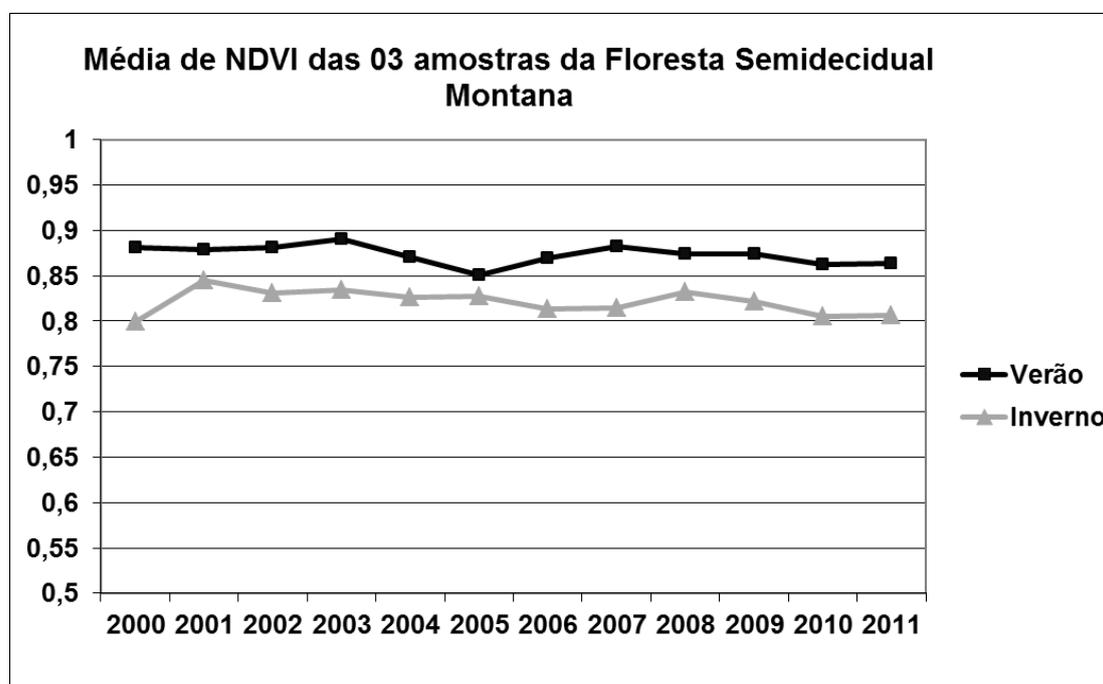


Figura 19. Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Montana.

A Figura 19 mostra uma queda nos valores de NDVI do inverno do ano de 2000, comportamento também constatado nas amostras da Floresta de Terras Baixas (Figura 10) e da Floresta Submontana (Figura 14). Esse comportamento diferenciado de NDVI no inverno de 2000 pode ser compreendido a partir da análise do gráfico das temperaturas (Figura 18). Esse período apresentou as temperaturas mais baixas da série temporal (abaixo dos 10 °C). As baixas temperaturas no inverno e o caráter semidecidual da Mata Atlântica nessa área corroboram para a queda das folhas e consequentemente a diminuição dos valores de NDVI.

As imagens 20, 21 e 22 apresentam uma comparação da temperatura precipitação e valores de NDVI.

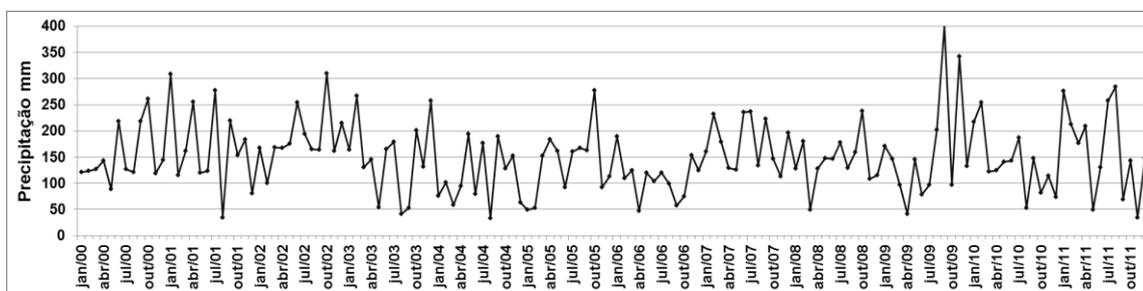


Figura 20. Variação da precipitação mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS. Fonte: Dados do satélite TRMM, disponíveis em LAF/INPE Séries Temporais.

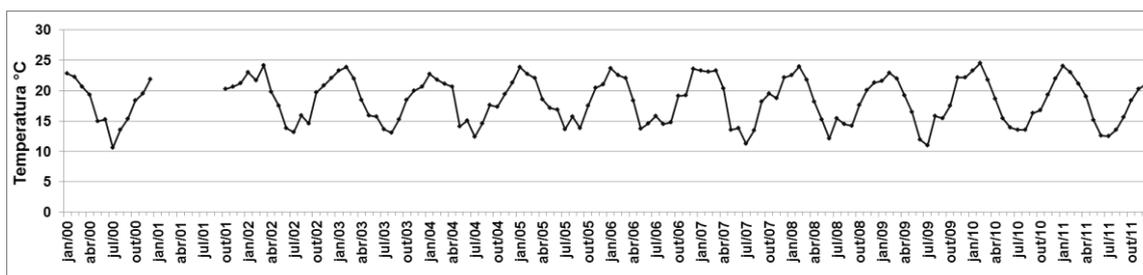


Figura 21. Variação da temperatura mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS. Fonte: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do INMET.

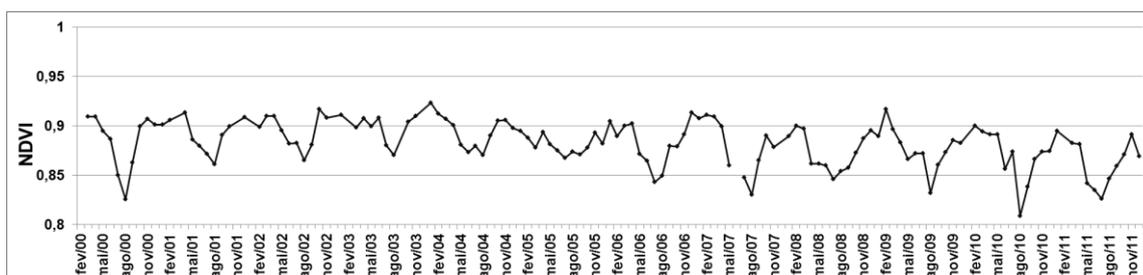


Figura 22. Variação mensal de NDVI/MODIS, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos – RS, amostra 2.3.

A análise da dinâmica da precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, na série temporal de 2000 a 2011, mostra que não há a ocorrência de uma estação seca e uma estação chuvosa bem definida (Figura 20). Pode-se tomar como exemplo o mês de setembro, no ano 2009 apresentou o maior índice pluviométrico da série, chegando a 400 mm, já em 2004, 2006 e 2011 apresentou índices abaixo dos 100 mm.

A distribuição das chuvas não mostra um padrão sazonal bem definido na bacia. Essa característica abrange boa parte do estado do Rio Grande do Sul. Segundo Rossato (2013, p. 158) em uma análise da variação sequencial da precipitação, entre 1970 a 2007, observa-se a “inexistência de regularidade da ocorrência de anos normais, com alguma tendência ou excepcionais, seja anualmente ou sazonalmente”.

Grande parte dos estudos demonstram que são os valores de precipitação que influenciam a dinâmica sazonal da vegetação e conseqüentemente o NDVI (SOUZA et al., 2016; ÁVILA et al., 2014; CARVALHO JÚNIOR et al., 2006; WEISS et al., 2004; WANG et al., 2003). Porém não se pode estabelecer essa mesma relação no presente estudo, pois o que define a variação sazonal do NDVI das fitofisionomias da Mata Atlântica é a variação da temperatura na área de estudo. Conforme Leite & Klein (1990), no Rio Grande do Sul a semidecuidade ocorre sob clima tipicamente Ombrófilo (sem período seco), porém com quatro meses, ao ano, de médias compensadas inferiores a 15°C. Nesta área a intensidade do frio é apontada pelos autores como a causa do fenômeno da estacionalidade foliar.

A Figura 21 apresenta o gráfico das temperaturas médias de duas estações próximas à bacia dos Sinos (Caxias do Sul e Porto Alegre), onde se observa a relação da variação da temperatura - onde o inverno e o verão estão bem definidos ao longo dos anos – com a variação do NDVI apresentados nos espectros temporais no item anterior.

A influência da temperatura no comportamento dos remanescentes das fitofisionomias fica mais bem evidenciada analisando a Figura 22 que apresenta as médias mensais de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana (amostra 2.3) ao longo dos anos da série temporal.

É possível observar uma estreita relação entre a dinâmica sazonal da vegetação e as variações de temperatura, pois os dois gráficos (Figura 21 e 22) apresentam seus valores máximos nos meses correspondentes ao verão e os valores mínimos nos meses correspondentes ao inverno. Segundo Dalla Nora e Martini (2010), na bibliografia, diversos autores têm associado o comportamento decíduo da vegetação às variações acentuadas de temperatura presentes na região sul do Brasil (FIGUEIREDO FILHO et al., 2005; LIEBSCH; ACRA 2004; SONEGO et al., 2007; LEE, 1989; SMALL; McCARTHY 2002), já que na área de estudo, períodos de estiagem, tipicamente não ocorrem, mantendo valores médios anuais elevados nas taxas de precipitação.

Entretanto, cabe salientar, que quando ocorrem eventos extremos, a precipitação também pode vir a interferir na dinâmica da vegetação, um exemplo é o que ocorreu no verão de 2005 (Tabela 01). Nesse ano o verão apresentou baixos valores de NDVI em todas as amostras de fitofisionomias. Vários autores destacam que nos anos de 2004/2005, o Estado do RS sofreu com as consequências de uma forte estiagem (NEDEL et al., 2010; SLEIMAN e SILVA, 2010; REBELLO et al., 2008; FAVERO, 2006). Nedel et al. (2010) consideraram que houve um período entre os anos de 2004 e 2005, em que ocorreu um período de seca em função da reduzida precipitação, podendo estar associado às características dos fenômenos El Niño e La. A escassez de chuva aliada às altas temperaturas ocasiona um período seco e quente, tornando-se inapropriado para o desenvolvimento da vegetação.

Ano	Precipitação média
2000	123,53
2001	182,37
2002	129,30
2003	193,72
2004	123,30
2005	79,27
2006	134,15
2007	174,20

2008	132,22
2009	132,22
2010	181,32
2011	184,75

Tabela 1. Precipitação média no verão período 2000 a 2011, bacia dos Sinos,RS. Fonte: INMET.

Outra fitofisionomia remanescente da Mata Atlântica presente na bacia do rio dos Sinos é a Floresta Ombrófila Mista. As Figuras 23, 24 e 25, apresentam as curvas do espectro temporal de NDVI das amostras 4.1, 4.2 e 4.3.

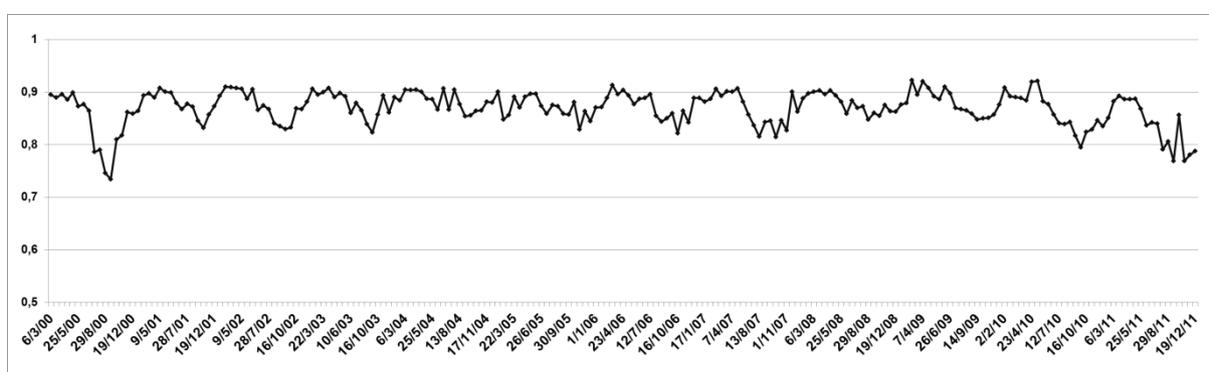


Figura 23. Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.1.

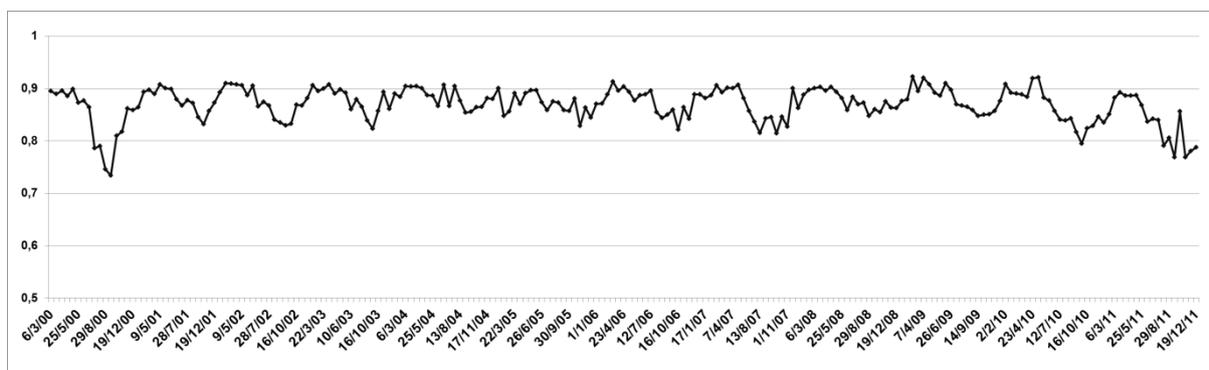


Figura 24. Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.2.

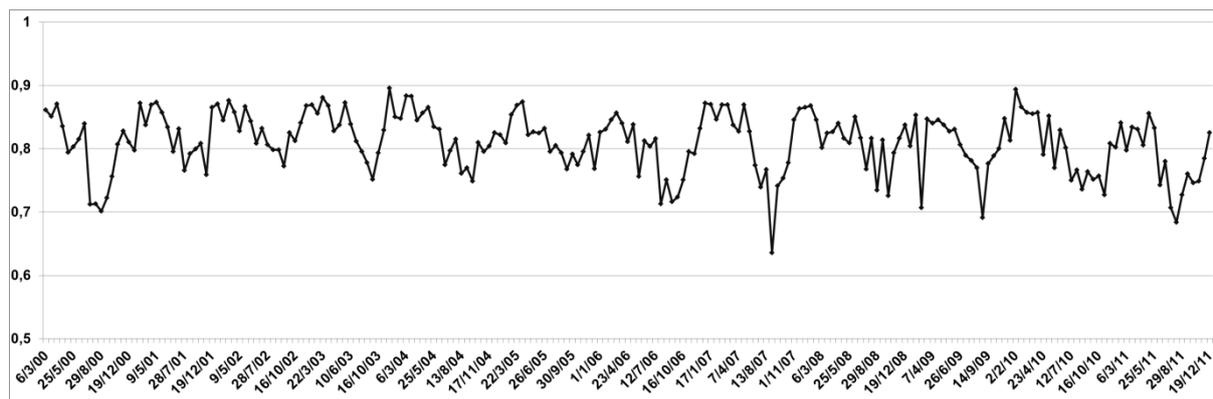


Figura 24. Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.3.

Novamente destaca-se, com exceção de alguns anos na amostra 4.2 (Figura 24), que o valor de NDVI, ficou acima de 0,6, evidenciando a presença de áreas com média a elevada cobertura vegetal. Também se verifica nas amostras da Floresta Ombrófila Mista que não houve desmatamento ao longo da série temporal (2000 a 2011), pois os espectros não demonstram uma diminuição brusca nos valores de NDVI, evidenciando apenas a variação sazonal aos longos dos anos. Fato igualmente constatado nas classes da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual.

É na amostra 4.1 (Figura 23) que se verifica a menor amplitude entre os valores, oscilando entre 0,73 a 0,92 de NDVI. Também é na amostra 4.1, que ocorrem os maiores valores de NDVI, com uma média de 0,86 na série temporal analisada.

A amostra 4.2 (Figura 24) apresenta uma maior amplitude nos valores de NDVI ao longo dos 12 anos analisados, oscilando entre 0,54 a 0,89. Na amostra 4.3 (Figura 25) os valores de NDVI variam entre 0,63 a 0,89.

De acordo com a “Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA”, de Dalla Nora e Martini (2010), na Floresta Ombrófila Mista, em decorrência de sua característica perenifólia, a dinâmica sazonal é mais sutil do que a constatada na Floresta Estacional Semidecidual. Os autores demonstram, por meio de um perfil espectral obtido a partir de imagens TM/Landsat-5, a diferença do comportamento espectral entre o

inverno e o verão na Floresta Estacional e da Floresta Ombrófila Mista. A segunda fitofisionomia apresentou uma menor variação do NDVI entre as duas estações.

A Figura 24 evidencia a sazonalidade da Floresta Ombrófila Mista, onde na maioria dos anos da série temporal, o inverno apresenta os menores valores de NDVI.

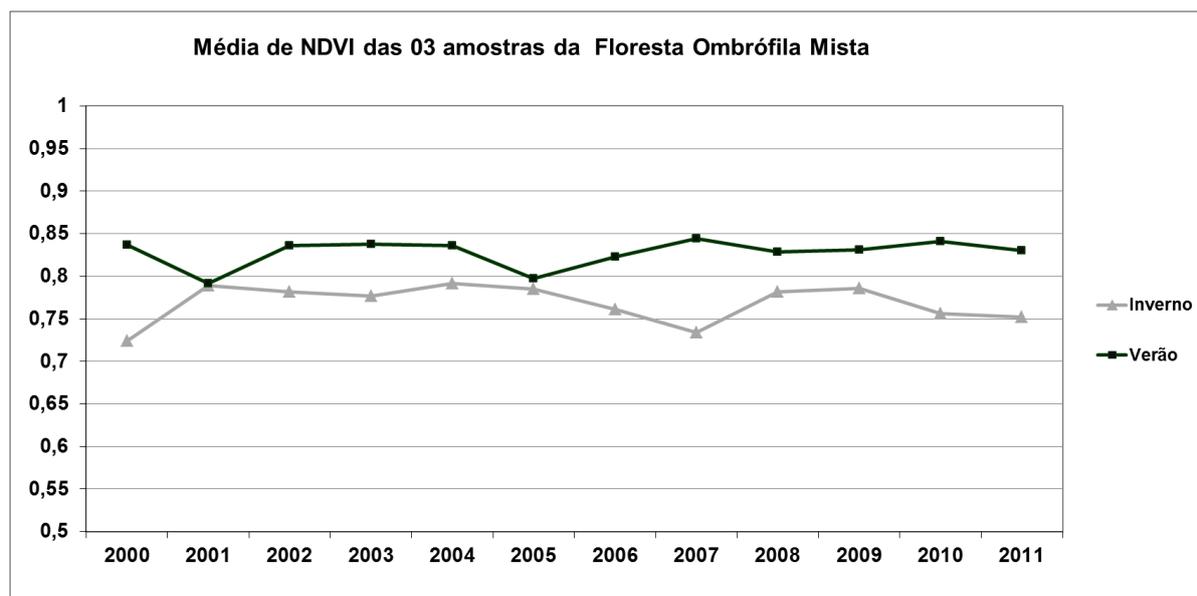


Figura 26. Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Ombrófila Mista.

Mesmo que a Floresta Ombrófila Mista não tenha características decíduas marcante, as baixas temperaturas no inverno influenciam na dinâmica da vegetação e consequentemente no comportamento do NDVI. Oliveira et al. (2007), afirmam que a Floresta Ombrófila Mista apresenta altos valores de NDVI, sendo formada basicamente por indivíduos perenifólios (sempre verdes) de folhas coriáceas e as variações observadas no NDVI são provavelmente devido à queda de temperatura (junho a agosto).

Na bacia dos Sinos, as áreas onde a Floresta Ombrófila Mista está localizada apresentam elevadas altitudes (entre 700 a 1000m), com baixas temperaturas no inverno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da série temporal de imagens de NDVI do sensor MODIS com resolução espacial moderada e alta resolução temporal, se mostrou eficaz para analisar a dinâmica temporal dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica. Evidenciando o potencial de séries temporais de NDVI/MODIS para o monitoramento sazonal contínuo da vegetação.

Com base nos espectros temporais de NDVI, observa-se um padrão sazonal em todas as fitofisionomias da Mata Atlântica (Floresta Semidecidual de Terras Baixas, Submontana e Montana; Floresta Ombrófila Mista). Na maioria dos meses do verão foram verificados os maiores valores de NDVI e na maioria dos meses de Inverno os menores valores de NDVI.

Esse padrão sazonal do NDVI é influenciado principalmente pela variação das temperaturas entre as estações do ano. A característica semidecídua, decorrente das limitações térmicas (baixas temperaturas no inverno) impostas às fitofisionomias, altera a dinâmica espectral da vegetação e, dessa forma, a amplitude de variação do NDVI.

A utilização de séries temporais em estudos ambientais envolvendo o Sensoriamento Remoto é um importante recurso no monitoramento temporal dos recursos naturais e na detecção de possíveis alterações da sua dinâmica.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, jul.-set., 2014

BRAGA, C. C.; BRITO, J. I. B.; SANSIGOLO, C. A. Sazonalidade de índice de vegetação sobre o nordeste do Brasil. Disponível em http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/09.12.13.37/doc/Braga_Sazonalidade%20de%20indice.pdf.pdf. Acesso em Nov. 2014

BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R.; GITELSON, A. A.; MOURA, Y. M.; TELES, T. S.; GAIDA, W. Spectral anisotropy of subtropical deciduous forest using MISR and MODIS data acquired under large seasonal variation in solar zenith angle. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. n. 35, p. 294–304. 215

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS. 2012, Rio Claro. Anais, 2012, p.01-12.

CARVALHO JUNIOR, O. A. de; SAMPAIO, C. da S.; SILVA, N. C. da; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES R. A. T.; CARVALHO, A. P. F. de; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.26, n. 4, p. 505–517. 2008.

CARVALHO JUNIOR, O. A. de; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Paraã a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.24, n. 3, 319–332. 2006.

CORRÊA, E. A.; PINTO, S. A. F.; MORAES, I. C.; Análise da influencia dos parâmetros de iluminação de cena e sombreamento do relevo em índices de vegetação pela diferença normalizada. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 16., 2013, Foz do Iguaçu, INPE, 2013, p. 0231-0236.

DALLA NORA, E. L.; MARTINI, D. Z. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 6 n. 1, p. 97-108, 2010.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

FAVERO, E. **A seca na vida das famílias rurais de Frederico Westphalen, RS**. 136f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural). Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SERPE, E. L.; BECKER, M.; SANTOS, D. F. Produção estacional de serapilheira em uma floresta ombrófila mista na floresta nacional de Irati (PR). **Ambiência**, Guarapuava, v. 1 n. 2 p. 257-269, 2005.

GAIDA, W.; BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; TELES, T. S.; BALBINOT, R. Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Investigaciones Geográficas**, Instituto de Geografía, UNAM, México, n.91, p. 105-123. 2016.

LEE, D. W. Canopy dynamics and light climates in a tropical moist decidual forest in India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 65-79, 1989.

LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, n. 2, p. 51-73, 2002.

LEITE, P.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Geografia do Brasil: região Sul. v. 2. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. p. 113-150.

LIEBSCH, D.; ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de floresta ombrófila mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2004.

MALO, A. R.; NICHOLSON S. E. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized diVerence vegetation index. **Journal of Arid Environments**, v. 19, p. 1-24,1990.

NEDEL, A. S.; SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003–2009-Parte I. Seca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA: SAÚDE E MEIO AMBIENTE. 16., 2010, Anais... Belém, 2010.

OLIVEIRA, L. M. T.; FRANÇA, G. B.; NICÁCIO, R. M.; COSTA, T. C. C.; ANTUNES, M. A. H. Análise do comportamento das Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Anais XIII, INPE, 2007, p. 1765-1773.

- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. IN: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (org). **Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília. Embrapa Cerrados, 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- REBELLO, E. R. G. A oscilação decadal do pacífico e sua possível influência no regime de precipitação do Rio Grande do Sul. In: JORNADAS CIENTÍFICAS DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA. 30., 2008, Zaragoza.
- ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- ROSEMBACK, R. **Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS-TERRA**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE. São José dos Campos, 2007.
- ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**. Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3., 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, NASA SP- 351, p.309-317, 1973.
- SANTANA, O. A.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; PIMENTEL, C. M. M.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 47-60, 2010.
- SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação sobre a região sul do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20 93-109, 2010.
- SMALL, C. J.; MCCARTHY, B. C. Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. **Plant Ecology**, v. 164, n. 1, p. 37-48, 2002.
- SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta botânica brasileira**, v. 21, n. 4, p. 943-955, 2007.
- SOUZA, G. M.; GURGEL, H. C.; CIAMP, P. M. Análise sazonal da vegetação do cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia**. Goiás, v. 36, n. 3, p. 502-520. 2016.
- WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. 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.
- WEISS, J. L. et al. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 57, p. 507-534, 2004.
- VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991, 123p.
- WAGNER, A. P.; WEBER L.; HASENACK H.; KLERING E.; FONTANA, D. C. . Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. Anais XV, INPE, 2011, p. 5600-5606.