

Perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas de outono-inverno, na região de Passo Fundo (RS), provenientes de máscara de cultivos e classificação não supervisionada

Amanda Heemann Junges¹
Denise Cybis Fontana¹

Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS
Caixa Postal 15100 - 91450-000 - Porto Alegre - RS, Brasil
amandahj@hotmail.com, dfontana@ufrgs.br

Abstract. This study aimed to elaborate temporal NDVI/MODIS profiles for cropping areas, with the main purpose to distinguish winter cereals among other crops, in the region of Passo Fundo (RS, Brazil). The data set comprised 17 NDVI/MODIS images, from April to December of the 2000-2008 series. Firstly, crop masks were elaborated by subtracting the minimum NDVI image (April to May) from the maximum NDVI image (June to October). Then, an unsupervised classification of NDVI/MODIS images was carried out, considering the crop masking areas. The Isodata algorithm was used in this classification (five to ten classes and 100 iterations). According to results, the method of crop masking allowed to identify cropping areas with high NDVI variation, from April to December. The unsupervised classification could distinguish five crop classes. Temporal NDVI/MODIS profiles from these classes were in agree with several crop patterns (e.g. sowing period, plant growth and developmental stage, as well as management standard) for most winter crops. Those classes were named as winter cereals (class 2), black oat for soil covering before either soybeans (class 3) or maize (class 4), and pastures (class 5). Therefore, unsupervised classification based on crop masking allows distinguishing the temporal NDVI profile of winter cereals crops, in comparison to temporal NDVI profiles of other cropping areas.

Palavras-chave: winter cereals, black oat, pastures, cereais de inverno, aveia preta, pastagens.

1. Introdução

No Rio Grande do Sul, as principais culturas produtoras de grãos, estabelecidas durante o período de outono-inverno-primavera, são trigo (*Triticum aestivum*), aveia branca (*Avena sativa*), centeio (*Secale cereale*), cevada (*Hordeum vulgare*) e triticale (*X Triticosecale* Wittmack). O cultivo de cereais de inverno concentra-se nos municípios localizados na metade norte do Estado, responsáveis por 86% da área cultivada de trigo (média de 2000 a 2008, municípios pertencentes às regionais Emater Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa) (IBGE, 2010).

Na região de Passo Fundo, cerca de 984.500 hectares foram cultivados, na média dos anos 2000 a 2008, com culturas de primavera-verão (milho e soja). Desta área, 227.780 ha (23%), na média dos anos, foram destinados ao estabelecimento de lavouras de cereais de inverno. As demais (756.680 ha), no período de outono-inverno-primavera, permaneceram em pousio ou cultivadas com espécies produtoras de massa verde para consumo animal ou cobertura do solo. A aveia preta (*Avena strigosa*) é a espécie mais cultivada como cobertura de solo na região Sul do Brasil, antecedendo os cultivos de milho e soja (Reunião, 2005) (Silva, 2006). A aveia preta é uma das principais opções devido ao elevado potencial de rendimento de matéria seca, facilidade de obtenção de sementes, formação de resíduos de lenta decomposição, controle alelopático de plantas daninhas e diminuição da população de patógenos causadores de doenças em trigo e soja, além do menor custo de implantação da lavoura (Floss, 2001).

O monitoramento das culturas agrícolas tem sido realizado, em diversos estudos, por meio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*). De acordo com DEPPE et al. (2007), a utilização de imagens NDVI permite o monitoramento do desenvolvimento fenológico das culturas ao longo das safras, permitindo obter, assim, avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios em períodos anteriores à colheita.

Aveia preta (para cobertura do solo) e cereais de inverno (para produção de grãos) além de serem cultivados no mesmo período do ano, são gramíneas com semelhanças morfológicas e fenológicas, o que dificulta a identificação e caracterização destas áreas agrícolas, especialmente quando do emprego de imagens de satélite de uma única data (Fonseca et al., 2010). Em estudos multitemporais, o emprego de imagens adquiridas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas pode apontar diferenças quanto à época de semeadura e/ou manejo e, assim, servir de base para distinção dos perfis temporais de NDVI.

O objetivo deste trabalho foi elaborar perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas estabelecidas durante o período de outono-inverno-primavera, na região de Passo Fundo (RS), por meio da construção de máscara de cultivos e classificação não supervisionada.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu 70 municípios (1.758.000 ha), localizados ao norte do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1A), os quais compõem a regional Passo Fundo, de acordo com a divisão administrativa da Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica de Extensão Rural - EMATER/RS. A região de estudo está localizada, de acordo com a classificação climática de Köppen, na Zona Climática Fundamental Temperada (C), clima fundamental úmido (f), variedade específica subtropical (Cfa), com precipitação pluvial bem distribuída durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

Cinquenta e quatro municípios (77%) pertencem à região 2 de adaptação de cultivares de trigo (moderadamente quente, úmida, localizada em áreas de menores altitudes) e 16 pertencem à região 1 (fria, úmida e maiores altitudes) (Cunha et al., 2006)

Na regional Passo Fundo, o período recomendado para semeadura de trigo, para a maior parte dos municípios (50), é de 21 de maio a 1° de junho. O crescimento e desenvolvimento das plantas de trigo, na região de estudo, pode ser caracterizado pelo calendário de acompanhamento de lavouras de trigo, elaborado pela EMATER/RS (Figura 1B). Na média dos anos 2000 a 2009, a maior parte da área cultivada encontrou-se em desenvolvimento vegetativo na segunda quinzena de junho, em florescimento em setembro, em enchimento de grão em outubro e em maturação a partir da primeira quinzena de novembro. Mais de 50% da área foi colhida, na média dos anos, na segunda quinzena de novembro.

2.2 Dados

Foram empregadas 17 imagens NDVI provenientes do sensor MODIS (produto MOD13), referentes aos meses de abril a dezembro, de 2000 a 2008. As imagens foram obtidas junto ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS). As imagens foram recortadas com vetorial da regional Passo Fundo no programa computacional Envi 4.2.

2.2 Perfis temporais regionais

Foram, inicialmente, construídos perfis temporais de NDVI/MODIS, para os anos avaliados, considerando-se toda região de estudo.

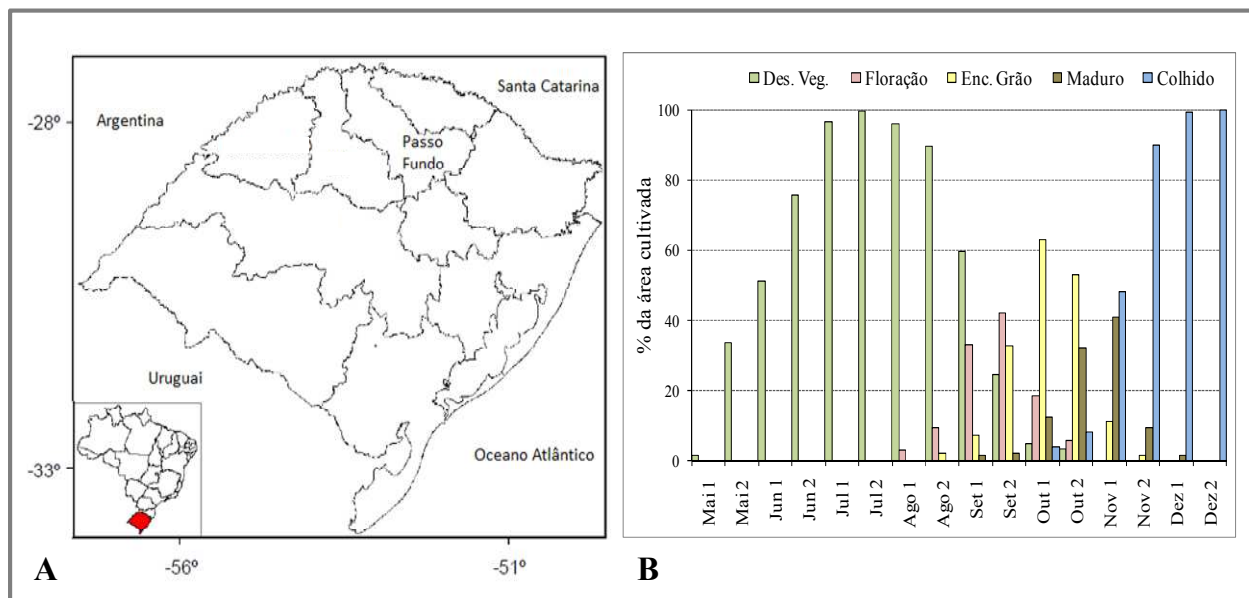


Figura 1. Localização da regional EMATER/RS Passo Fundo (A) e calendário de acompanhamento de lavouras de trigo da referida regional (média dos anos 2000 a 2009) (B).

2.3 Perfis temporais obtidos a partir da máscara de cultivos

A máscara de cultivo objetiva identificar as áreas nas quais ocorreram as maiores variações temporais do NDVI, pois essas correspondem, possivelmente, a áreas agrícolas. Nesse trabalho, a máscara foi construída de acordo com a metodologia proposta por Fontana et al. (2007), empregada no estudo de perfis temporais de NDVI/MODIS de cereais de inverno por Junges e Fontana (2009). Foram construídas, inicialmente, imagens de mínimo NDVI (meses de abril e maio) e máximo NDVI (segunda quinzena de junho a segunda de outubro). A partir da subtração das imagens de máximo e mínimo NDVI foi obtida a imagem diferença. Na imagem diferença foram aplicados limiares para geração de máscara de cultivo cuja área fosse igual ou superior à área agrícola cultivada no período de verão (milho e soja), na região de Passo Fundo, de acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA/IBGE). Foram obtidas máscaras de cultivo e construídos perfis temporais de NDVI/MODIS anuais, assim como o perfil temporal médio. Todo processamento foi realizado nos programas computacionais Envi 4.2 e Excel (Microsoft Office 2007).

2.4 Classificação não supervisionada

Foi realizada uma classificação não supervisionada das imagens NDVI/MODIS, de abril a dezembro, para os anos 2000 a 2008, considerando-se somente as áreas delimitadas pela máscara de cultivo. A classificação digital foi efetuada utilizando o algoritmo Isodata. Este algoritmo avalia o espaço multiespectral e agrupa iterativamente os pixels em torno das médias das classes, cujo número é definido pelo usuário (Weber, 2005). Neste estudo estabeleceu-se um mínimo de 5 classes, máximo de 10 classes e 100 iterações. A classificação foi realizada no programa computacional Envi 4.2.

3. Resultados e Discussão

O perfil temporal regional (Figura 2) indicou que, na média dos anos, os valores de NDVI variaram, de abril e dezembro, de 0,57 (valor mínimo, registrado na segunda quinzena de abril) a

0,69 (valor máximo, registrado em agosto). Essa pequena variação do índice foi decorrente da inclusão, na construção do perfil regional médio, de áreas que não sofreram, no referido período, grande variação temporal de NDVI (corpos d'água e áreas urbanas, por exemplo). O objetivo da construção do perfil regional foi caracterizar o comportamento do NDVI da região de Passo Fundo quando da não aplicação de metodologias de realce das áreas agrícolas.

Os perfis temporais de NDVI/MODIS das áreas pertencentes às máscaras de cultivo mostraram um comportamento típico de área agrícolas (Figura 2). Nesse sentido, considerando-se o perfil médio, observou-se que os valores de NDVI foram menores nos meses de abril e maio (valor mínimo de 0,49 em abril 2) e crescentes até agosto (valor máximo de 0,72). A partir de agosto, os valores decresceram até novembro. O perfil temporal refletiu adequadamente o crescimento e desenvolvimento dos cultivos estabelecidos durante o período de outono-inverno-primavera. Os valores crescentes de NDVI, a partir de dezembro, indicaram a implantação e início do desenvolvimento vegetativo de lavouras de soja. Essa informação está de acordo com o perfil temporal de NDVI/MODIS de áreas de soja obtidos por Guterres e Fontana (2010).

É importante salientar que a metodologia da máscara de cultivos mostrou-se satisfatória para o realce, na imagem NDVI/MODIS, das áreas nas quais ocorreram as maiores variações do NDVI. Essas áreas foram, possivelmente, de uso agrícola, tendo em vista as variações de biomassa verde que caracterizam as lavouras, desde o período de semeadura até a colheita.

Assim, as máscaras de cultivo, embora não tenham possibilitado a identificação da espécie cultivada, permitiram o acompanhamento e monitoramento das áreas agrícolas estabelecidas no período de outono-inverno-primavera, tal como anteriormente verificado por Junges e Fontana (2009), para região de abrangência da cooperativa Cotrijal.

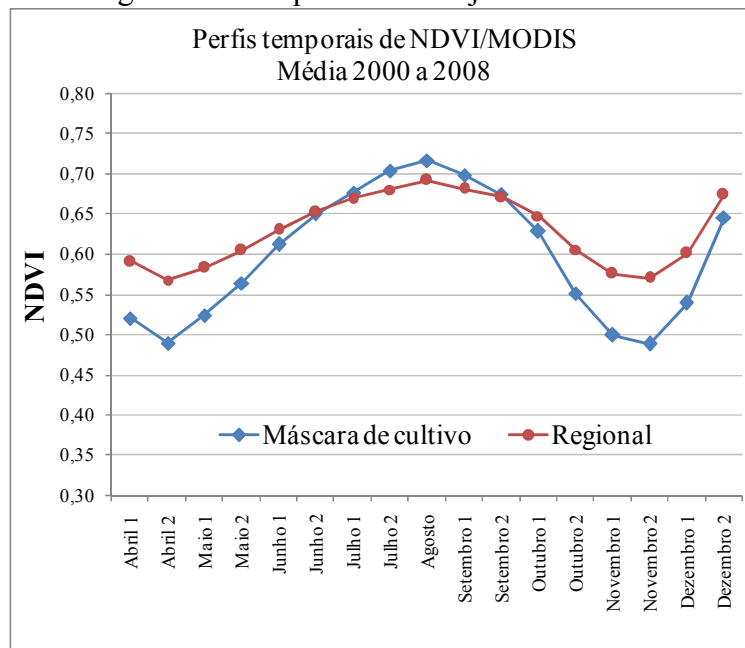


Figura 2. Perfil temporal de NDVI/MODIS, de abril a dezembro, média dos anos 2000 a 2008, de toda regional e das áreas agrícolas indicadas pela máscara de cultivos. Regional EMATER/RS Passo Fundo, 2010.

A classificação não supervisionada das imagens NDVI/MODIS, de abril a dezembro, considerando-se as áreas delimitadas pelas máscaras de cultivo, indicou a existência de cinco

classes, na região de estudo, em todos os anos avaliados. O perfil temporal médio de cada uma destas classes consta na Figura 3. Em termos de localização espacial, o resultado da classificação do ano 2008 foi tomado como exemplo e pode ser visualizado na Figura 4.

O perfil temporal de NDVI/MODIS da classe 1 indicou que, na média dos anos, os valores de NDVI situaram-se entre 0,12 e 0,20, no período de abril a dezembro. A pequena variação temporal do NDVI, aliada à localização espacial próxima a corpos d'água, indicou que estas não podem ser consideradas áreas agrícolas. Assim, esse resultado mostrou que a metodologia de máscara de cultivos incluiu áreas não agrícolas, as quais representaram 0,45% da área de estudo (8.000 ha, na média dos anos).

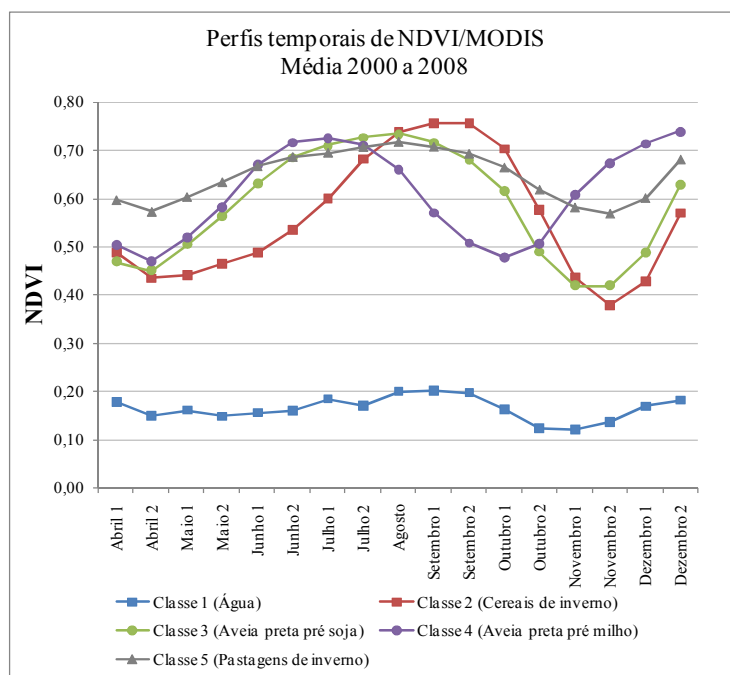


Figura 3. Perfis temporais de NDVI/MODIS, de abril a dezembro, média dos anos 2000 a 2008, das classes oriundas da classificação não supervisionada de áreas agrícolas estabelecidas pela máscara de cultivos. Regional EMATER/RS Passo Fundo, 2010.

A classe 2 apresentou perfil temporal médio que concordou com o calendário de acompanhamento de lavouras de trigo, na região de estudo (Figura 1B). Nesse sentido, o menor valor de NDVI ocorreu em abril, período anterior ao estabelecimento da cultura. Aumento nos valores de NDVI ocorreram a partir da segunda quinzena maio, período recomendado de semeadura para a maior parte dos municípios.

O maior valor de NDVI no perfil da classe 2, ocorreu, na média dos anos, em setembro. Esse resultado indicou que o máximo acúmulo de biomassa verde ocorreu no florescimento, pois, de acordo com o calendário agrícola, na média dos anos, em 75% da área cultivada o florescimento ocorreu no mês de setembro.

A partir do florescimento, as plantas passam a translocar nutrientes para formação do grão. O material transportado para o grão provém da fotossíntese realizada pelas partes verdes da planta e da remobilização de nutrientes previamente armazenados no colmo, folhas e raízes (Mundstock, 1999). A redução de biomassa verde após o florescimento, decorrente tanto da remobilização de nutrientes, quanto da senescência foliar, pode ser percebida, no perfil temporal, pelo decréscimo

dos valores de NDVI a partir de outubro, quinzena de início do processo de enchimento de grãos na maior parte da área cultivada (60%) com trigo na região de Passo Fundo.

Os menores valores de NDVI devem ser registrados em novembro, tendo em vista que mais de 80% da área cultivada, na média dos anos, foi colhida na segunda quinzena de novembro. Novamente, o perfil temporal de NDVI/MODIS concordou com o calendário agrícola da cultura.

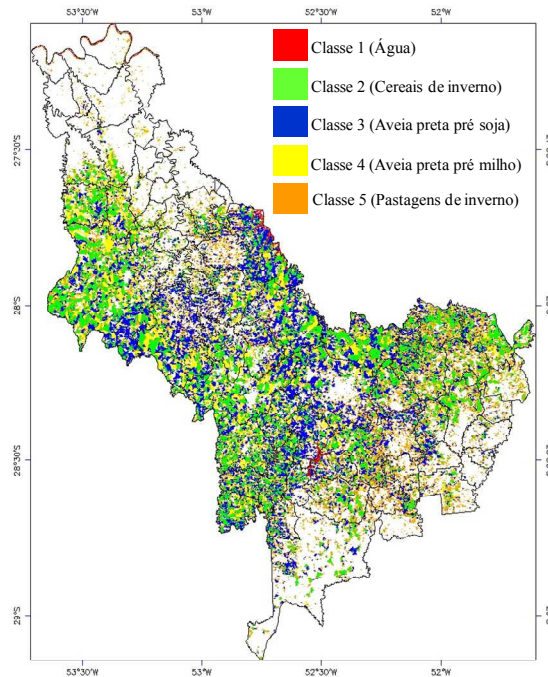


Figura 3. Localização espacial das classes 1 (água), 2 (cereais de inverno), 3 (aveia preta pré soja), 4 (aveia preta pré milho) e 5 (pastagens) no ano de 2008. Regional EMATER/RS, 2010.

Assumiu-se, nesse trabalho, que o calendário de acompanhamento de lavouras de trigo é representativo, também, do ciclo das demais culturas produtoras de grãos implantadas no período de outono-inverno-primavera. Assim, o perfil temporal da classe 2 foi considerado condizente com o ciclo de crescimento e desenvolvimento das lavouras de cereais de inverno na região.

O perfil temporal das áreas classificadas como pertencentes às classes 3 e 4 também se caracterizaram pelos baixos valores de NDVI na segunda quinzena de abril, e pelo incremento destes a partir de maio. Observou-se, no entanto, que a taxa de incremento inicial de NDVI foi superior à verificada na classe 2, indicando que as áreas pertencentes às classes 3 e 4 caracterizaram-se por um rápido desenvolvimento inicial e acúmulo de biomassa. Segundo Silva et al. (2006), a rapidez de formação de cobertura do solo é uma das causas determinantes do uso intensivo da aveia preta, principal espécie estabelecida na região Sul do Brasil, no inverno.

Sendo assim, as classes 3 e 4 foram consideradas como sendo características de lavouras de aveia preta cultivada para cobertura do solo. Tendo em vista que a implantação da cultura de cobertura deve ocorrer imediatamente após a colheita da cultura de verão (Comissão, 2006), e que, na região de estudo, a concentração da colheita de soja ocorre na segunda quinzena de abril, o perfil temporal de NDVI das referidas classes concordou com o período de implantação das lavouras de aveia preta.

Os perfis temporais de NDVI/MODIS das classes 3 e 4 diferem quanto à quinzena em que ocorreram os valores máximos, com posterior queda do índice. Nesse sentido, nas áreas

pertencentes à classe 3, o índice decresceu, na média dos anos, a partir da segunda quinzena de julho, enquanto que, para classe 4, decréscimo se deu a partir da primeira quinzena de setembro. Essas variações podem ser decorrentes do ciclo de desenvolvimento das plantas de aveia preta associadas à cultura de primavera-verão a ser semeada, posteriormente, na área.

A semeadura de soja, na região de Passo Fundo, ocorre a partir de dezembro. Assim, o produtor que optar pelo cultivo de soja manterá a área coberta com aveia preta até esse mês. Essa informação concorda com o perfil temporal de NDVI da classe 3, que mostrou valores mínimos em novembro. O aumento dos valores de NDVI observados no perfil temporal desta classe, a partir de dezembro, indica o início do desenvolvimento vegetativo da soja. Essa informação corrobora o trabalho de Guterres e Fontana (2010), cujo perfil temporal de NDVI/MODIS, de áreas de soja, obtidos a partir da construção de máscaras de cultivo, na região de Passo Fundo, mostrou um aumento dos valores de NDVI a partir da primeira quinzena de dezembro.

O fato de as áreas pertencentes a classe 4 apresentarem um decréscimo nos valores de NDVI a partir da segunda quinzena de julho e valores mínimos na primeira de outubro pode indicar que essas áreas são cultivadas, no período de primavera-verão, com milho. O crescimento dos valores de NDVI a partir da primeira quinzena de outubro indica o início do desenvolvimento das lavouras de milho e corrobora o trabalho de Bergamaschi et al. (2007), que mostrou que 50% da área cultivada com milho, na região de Passo Fundo, encontra-se semeada em 10 de outubro.

Assim, os perfis temporais de NDVI/MODIS das áreas pertencentes às classes 3 e 4 foram considerados representativos do crescimento e desenvolvimento de lavouras de aveia preta, implantadas para cobertura do solo, anteriores ao estabelecimento das lavouras de verão soja e milho, respectivamente.

O perfil temporal de NDVI/MODIS das áreas classificadas como pertencentes à classe 5, indicou, na média dos anos, pequena variação do índice: de abril a dezembro, os valores situaram-se entre 0,57 (mínimo) e 0,72 (máximo), com incremento no período de abril a agosto e posterior decréscimo entre agosto a dezembro. Dessa maneira, o perfil temporal da classe 5 não foi considerado típico de lavouras e, sim, de áreas de pastagens. Perfis semelhantes foram obtidos por Fonseca et al. (2010) em áreas de azevém anual. Valores de NDVI mais altos, no início do ciclo do azevém, comparativamente aos observados em trigo, decorrem da maior densidade de sementes por área empregadas no estabelecimento de pastagens, enquanto que a estabilização dos valores de NDVI está associada ao manejo das áreas (supressão do pastoreio em períodos curtos ou diminuição da carga animal) (Fonseca et al., 2010).

Por fim, os resultados da classificação não supervisionada permitiram a construção de perfis temporais de NDVI que concordaram com as características de implantação, crescimento, desenvolvimento e manejo das principais culturas estabelecidas no período de outono-inverno-primavera, na região de estudo. Nesse sentido, a classificação não supervisionada (Isodata) constituiu-se uma importante ferramenta de análise exploratória do comportamento multitemporal das áreas agrícolas.

É importante salientar que esse estudo teve caráter preliminar e novos trabalhos devem ser conduzidos no sentido de verificação da acurácia da classificação via coleta de pontos de controle e da possibilidade de emprego da metodologia em outras regiões de estudo.

4. Conclusões

A metodologia de máscara de cultivos permite, com base variabilidade temporal do NDVI, ressaltar as áreas agrícolas estabelecidas durante o período de abril a dezembro. A classificação não supervisionada destas áreas agrícolas permite a distinção do perfil temporal de NDVI de

lavouras de cereais de inverno em relação aos perfis dos demais cultivos agrícolas estabelecidos, no período de outono-inverno-primavera, na região de Passo Fundo.

Referências Bibliográficas

Bergamaschi, H. et al. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n. 2, p.603-613, 2007.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. **Indicações técnicas para cultura da aveia**. Guarapuava: Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006, 82p.

Cunha, G.R. et al. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Circular técnica n.20. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. On line. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci20.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2010.

Deppe, F., Lohmann, M., Martini, Luisinei, Adami, M. Faria, R. Monitoramento da evolução temporal de cultivos agrícolas através de imagens TERRA/MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p.145-152. On line. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.19.13/doc/145-152.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2010.

Floss, E.L. O papel da aveia como componente de uma agricultura sustentável. In: Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Aveia, 21., Lages. **Anais...** Florianópolis: UDESC, 2001, p.11-22.

Fonseca, E.L. et al. Caracterização espectral multitemporal dos cereais de estação fria em imagens de satélite com média resolução espacial. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2053-2059, 2010.

Fontana, D.C.; Potgieter, A. B.; Apan, A. Assessing the relationship between shire winter crop yield and seasonal variability of the MODIS NDVI and EVI images. **Applied GIS**, Victoria, v.3, n.1, p.1-16, 2007.

Junges, A.H.; Fontana, D.C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.39, n.5, p. 1349-1355, 2009.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 10 jun.2010.

Mundstock, C. M. **Planejamento e Manejo Integrado da Lavoura de Trigo**. Porto Alegre: Evangraf, 1999. 227p. Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Milho e Sorgo do RS. **Indicações técnicas para cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul 2005/2006**. Porto Alegre: FEPAGRO/EMATER-RS/ASCAR, 2005, 155p.

Pinto, D.G; Fontana, D.C. Inferências sobre o calendário agrícola da soja a partir de perfis temporais de NDVI em imagens MODIS. In: Salão de Iniciação Científica, 22., 2010, Porto Alegre. **Livro de resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2010. CD-ROM.

Silva, P.R.F. et al. Estratégias de manejo de cobertura do solo para cultivo de milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p. 1011-1020, 2006.

Weber, E.; Fontana, D.C.; Ducati, J.R.; Silva, T.R.; Saraiva, T.S; Freitas, L.A.S. Comparação entre resultados de classificação de imagens Landsat e CBERS para estimativa de área cultivada com soja no planalto do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 321-328. On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.19.36/doc/321.pdf>>. Acesso em: 16 nov.2010.