

**Índice diário de vegetação estimado com imagens multiespectrais do satélite
METEOSAT Segunda Geração**
Humberto Alves Barbosa¹
Aydin Gürol Ertük²

¹ Universidade de Federal – UFAL/ICAT
Campus A. C. Simões, BR 104 Norte Km 97 – 57072-970 – Maceió – AL, Brasil
humberto@ccen.ufal.br

² Instituto Turkish State Meteorological Service
Kütükçü Alibey Caddesi 4 – 06120 – Kalaba/ANKARA – Turk
agerturk@meteoroloji.gov.tr

Abstract. The aim of this work is to develop the algorithm for retrieving Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from radiometer SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) on board of METEOSAT Second Generation (MSG) satellite as well. To validate the derived product through comparisons with Fraction of Vegetation Cover (FVC) product from the SAF on Land Surface Analysis (LSA SAF) before being distributed to the Users Community. The MSG NDVI product is created using the channels VIS0.6 and VIS0.8 in the following equation $(VIS0.8 - VIS0.6)/(VIS0.8 + VIS0.6)$. Daily mean, minimum and maximum of MSG NDVI products were generated from 8:00 to 12:00 UTC. Results show that the spatial distribution of NDVI retrieval is consistent. And there is good agreement between the NDVI MSG-10 day and FVC-10 day Land SAF.

Palavras-chave: SEVIRI, NDVI, FVC, superfície continental.

1. Introdução

Nas últimas três décadas, as imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários da série METEORological SATellite (METEOSAT) têm sido disponibilizados continuamente, contribuindo para resultados científicos importantes sobre a dinâmica do clima global. Pela sua própria definição, tais satélites têm período orbital de 24 horas, e encontram-se posicionados sobre o Equador terrestre, a uma altitude de 36 mil km. O primeiro satélite da série, o METEOSAT-1, foi lançado em órbita da Terra no ano de 1977, seguido de outros seis satélites da série lançados nos anos de 1981, 1988, 1989, 1991, 1993 e 1997, compondo, assim, a primeira geração dos satélites METEOSAT. Lançado em dezembro de 2005, em substituição ao METEOSAT-7, o atual METEOSAT-9 compõe a segunda geração dos satélites METEOSAT (METEOSAT Second Generation)/MSG-2, uma réplica do METEOSAT-8 (MSG-1) lançado em 2002 (EUMETSAT 2004).

O sensor imageador SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) a bordo da série MSG coleta dados de radiâncias ou irradiâncias integradas em 12 canais nas bandas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho térmico, incluindo bandas de absorção pelo vapor de água, ozônio e dióxido de carbono, com uma resolução espacial entre 1 km e 3 km no nadir. Os primeiros três canais destinam-se prioritariamente ao sensoriamento remoto da superfície terrestre, enquanto os outros canais destinam-se preferencialmente a estudos sobre a atmosfera. As regiões espectrais dos canais de 1 a 3 foram definidas para minimizar o impacto da absorção de gases atmosféricos, as quais possuem a largura e o posicionamento compatíveis com o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) do sistema EOS (Earth Observing System). Atualmente, os dois satélites da série MSG, METEOSAT-8 e METEOSAT-9 coletam dados de radiâncias com uma resolução temporal de 15 minutos, permitindo uma seqüência de 96 imagens por dia para cada canal (EUMETSAT 2007).

A dinâmica dos padrões temporais e espaciais da vegetação, por meio de imagens orbitais, é de grande importância para os sistemas de modelagem dos processos de interação

entre o clima e a biosfera. Regiões semi-áridas tropicais e extratropicais apresentam intensas mudanças na sua cobertura vegetal, associadas ao regime pluviométrico da região, a dinâmica natural da sua vegetação, e à ação antrópica (Barbosa et al. 2006). Estas mudanças podem ser detectadas e monitoradas a partir da análise de imagens orbitais por meio de transformações para índices de vegetação (IV). Sua aplicação principal é a utilização das propriedades espectrais da vegetação, na região do vermelho e infravermelho próximo (Rouse et al. 1973). Eles são computados para fornecer dados livres de nuvens, já calibrados e corrigidos geometricamente e atmosféricamente, com a utilização de modelos de composições máximas dos índices (Holben, 1986), na forma de mosaicos a cada 8, 10, 16 e 30 dias.

Uma componente chave na melhoria de medidas da superfície é a estratégia de aquisição de dados, a qual, de certa forma, demanda análises rápidas, simplificadas e freqüentes, sendo compatíveis com a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo. Embora já existam disponíveis sensores de maior qualidade espacial, como o AVHRR/NOAA e MODIS/TERRA, os dados do sensor SEVIRI tem grande uso em estudos envolvendo a análise de ecossistemas, em função da disponibilidade de novas imagens a cada 15 minutos. Essa resolução é ideal para monitoramento de mudanças na superfície terrestre em larga escala. Nesse sentido, o Instituto de Meteorologia (IM) de Portugal dispõem de infra-estrutura física e tecnológica que permite o desenvolvimento de produtos biofísicos utilizando dados do radiômetro SEVIRI, gerados de forma operacional no âmbito da LSA SAF (Land Surface Analysis Satellite Application Facilities) ou Land SAF, para o monitoramento da superfície continental. Dentre os produtos disponíveis para uso imediato, destacam-se os vários parâmetros de vegetação, como a fração de cobertura vegetal (FVC), índice de área foliar (LAI) e fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (fAPAR). No Brasil, o Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) recebe em tempo “quase real” as imagens do satélite METEOSAT-9 e produtos Land SAF por meio do sistema EUMETCast da EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). Também é responsável pelo processamento e visualização de produto tal como: o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Desta forma, este trabalho tem como objetivos: 1) Operacionalizar NDVI derivados de dados de radiação (refletida) do radiômetro SEVIRI e 2) Avaliar os padrões continentais da vegetação por meio da análise dos produtos NDVI e FVC Land SAF derivados do radiômetro SEVIRI como indicador de mudanças no uso e cobertura do solo.

2. Monitoramento continental da cobertura vegetal

Há uma variedade de índices de vegetação que têm sido desenvolvidos para auxiliar no mapeamento da vegetação. A maior parte está baseada em interações entre a vegetação e a energia eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. Em geral, quanto maior o vigor da vegetação maior o contraste entre a reflectância nas bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Na faixa do vermelho, caracteriza-se pela baixa reflectância devido a morfologia interna das folhas (pigmentos); enquanto que na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância. Como exemplo, cita-se o NDVI (Rouse et al. 1973), que foi o principal impulsionador da caracterização global das formações vegetais. Este índice foi inicialmente impulsionado pela disponibilidade de dados dos sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) colocados a bordo dos satélites das séries NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), com o primeiro satélite lançado em 1981.

O NDVI é uma medida radiométrica adimensional que envolve a razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, conforme a equação: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, onde RED e NIR são as

reflectâncias nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Da equação resulta que os valores de NDVI variam de -1 ao +1 e para áreas vegetadas seus valores variam entre +0,1 e +0,8. Rochas e solos possuem reflectâncias similares nas duas bandas e, nestas condições, o valor do NDVI é próximo de zero. Nuvens, água e neve têm reflectâncias maiores na faixa do vermelho do que no infravermelho próximo, sendo que nestas condições o NDVI tem valores negativos. Ele é bastante utilizado para avaliação das mudanças do vigor vegetal das plantas porque pode ser correlacionadas com o índice de área foliar, biomassa e produtividade da vegetação. Em função disso, pode indicar a presença de umidade na vegetação e no solo, permitindo obter um maior contraste entre diferentes tipos de vegetação, refletindo melhor as mudanças de biomassa. Entretanto, devido ao seu efeito de saturação (a não linearidade) do sinal em regiões de alta concentração de biomassa, nem todas as classes de vegetação são distinguíveis entre si.

Desde meados da década de 90, a variação anual NDVI tem sido utilizada em certas regiões do Globo para indicar relações empíricas entre as oscilações meteorológicas de grande escala (El Niño e La Niña) e as mudanças fenológicas (Richard e Pocard, 1998). A identificação dessas conexões entre os diferentes biomas em regiões tropicais são de grande importância para os estudos sobre a variabilidade dos ecossistemas, especialmente porque constituem uma informação essencial para os processos ligados às mudanças no uso e cobertura do solo. Vários trabalhos realizados nas diferentes formações vegetais dos biomas de Cerrado e Caatinga nesta linha associam as variações de precipitação aos valores de NDVI como indicador do vigor da vegetação (Assad et al. 1996), utilizando séries globais com dados de 8 km do sistema de sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Em relação à dinâmica espaço-temporal da paisagem semi-árida Brasileira (Barbosa 1988; Gurgel et al. 2003; Barbosa et al., 2006) constaram que os valores de NDVI tendem a aumentar nos anos de La Niña (anos chuvosos), com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente nos anos de El Niño (anos secos). Os estudos realizados por Batista et al. (1993) identificaram que as anomalias de NDVI observadas na Amazônia também apresentam ligações com os eventos ENSO (El Niño–Southern Oscillation). A influência desses eventos sobre o vigor da vegetação no Rio Grande do Sul também é considerada por Jacobsen et al (2002). Eles concluíram que a resposta anual da cobertura vegetal na região é de certa forma modulada por esses eventos de grande escala.

3. Metodologia de Trabalho

3.1 Produto NDVI: Pré-processamento

Os dados brutos do radiômetro SEVIRI foram coletados na estação receptora de imagens do MSG instalada na UFAL. Os arquivos recebidos, dados nível 1.5, são o resultado do processamento de dados coletados pelo satélite, dados em nível 1.0, e representam o produto principal do sistema EUMETCast. A denominação nível 1.5, corresponde ao arquivo que foi corrigido de efeitos radiométricos e geométricos indesejados, foi georeferenciado utilizando-se uma projeção padronizada, está calibrado e linearizado. Os dados em nível 1.5 são adequados para a derivação de produtos ambientais e meteorológicos (EUMETSAT, 2007).

Os dados (nível 1.5) coletados na estação por meio do sistema EUMETCast contém imagens encriptadas, segmentadas e compactadas em formato wavelet. O primeiro passo, consiste em decodificar, descompactar e concatenar os canais individuais de uma cena (EUMETSAT 2003). A cada ciclo de varredura, quinze minutos, são coletados os arquivos correspondentes as doze bandas espectrais do radiômetro SEVIRI. Eles encontram-se organizados na forma de segmentos organizados em três seções: 1) Cabeçalho da imagem (PROLOGUE); 2) Linhas da imagem (DATA); e 3) “Trailer” da imagem (EPILOGUE).

O arquivo de cabeçalho (PROLOGUE) determina o início de um ciclo de varredura, nele encontram-se a descrição completa das características da imagem e coeficientes necessários, para a conversão do número digital em radiância espectral. Enquanto, as linhas da imagem são constituídas por oito segmentos compactados no formato “wavelet transform compression” com resolução de 3712x464 *pixels*, estes arquivos constituem os dados da imagem. Finalmente, o arquivo de “trailer” determina o fim do ciclo de varredura e contém informações obtidas durante o processamento da imagem como qualidade da imagem obtida, tempo decorrido em varredura, situação do satélite, entre outros. A Figura 1 ilustra o acesso aos arquivos para uma imagem obtida em 23/10/2008 às 16:15 UTC, destacando-se em (1) cabeçalho da imagem (PROLOGUE); (2) linhas da imagem (DATA) e (3) trailer da imagem (EPILOGUE).

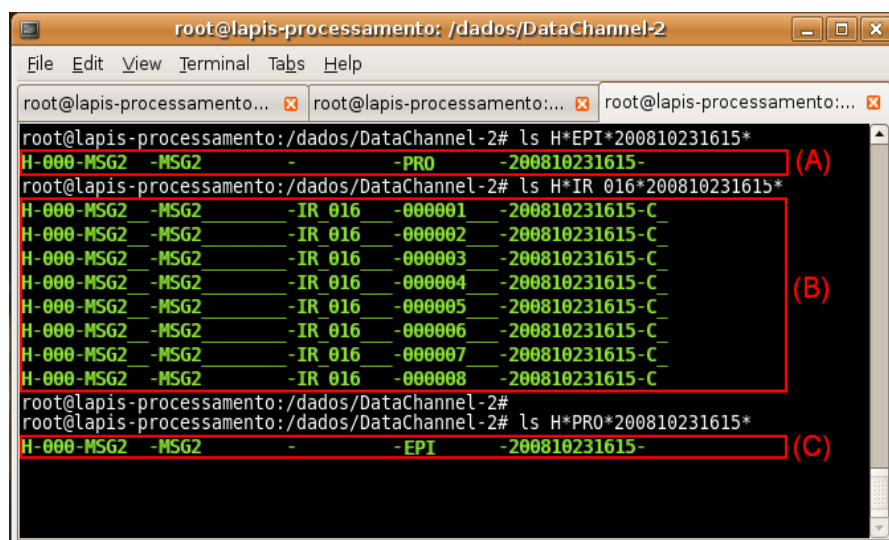


Figura 1. Visualização e navegação das imagens MSG-2 no Laboratório de Processamento de Imagens (LAPIS) da UFAL.

O sistema é compatível com a plataforma Linux e é executado por meio de um script “shell” composto por um conjunto de rotinas que acionam os diversos módulos de processamento, como os de calibração radiométrica e derivação do índice de vegetação.

3.2 Calibração

A calibração radiométrica do sensor no que se refere à homogeneização das respostas de cada detector, leva em conta suas diferentes sensibilidades radiométricas (calibração relativa), como no estabelecimento das relações entre os números digitais das imagens derivadas por esse sensor e os valores de radiância que estes representam (calibração absoluta).

Coefficientes de calibração vicários são derivados a partir da comparação das imagens no nível 1.5 com outras fontes de informação da radiância emitida da Terra/Atmosfera. Isto pode ser feito por meio de cálculos de transferência radiativa sobre alvos de propriedades conhecidas ou dados providos de outros satélites ou ambos. Atualmente o Meteorological Products Extraction Facility (MPEF) cria coeficientes de calibração para os canais termais usando o modelo de transferência radiativa tendo como alvo o oceano com céu claro.

Toda informação de calibração vicário é baseada no nível 1.5 das imagens que são calibradas por qualquer caso no Image Processing Facility (IMPF). Quando o uso da calibração do vicário é ativado no IMPF, o conteúdo do IMPF dos *pixels* das imagens no nível 1.5 continua inalterado. Neste caso, os valores numéricos do *cal_slope* e *cal_offset* no cabeçalho do nível 1.5 são trocados de acordo com as calibrações vicárias.

Os canais solares são calibrados usando a calibração vicário. A baseline “gain” é usada para preencher as imagens no nível 1.5, mas o “scaling” é ajustado tanto quanto os valores dos *pixels* são próximos dos valores brutos. No cabeçalho no nível 1.5, *cal_slope* e *cal_offset* são atualizados pelo o MPEF logo assim que é disponível uma nova calibração Vicária.

Um algoritmo operacional, chamado SEVIRI Solar Channel Calibration (SSCC), foi desenvolvido para garantir uma rotina de calibração para os canais solar. Os primeiros resultados mostram que os canais solares SEVIRI podem ser calibrados com uma precisão estimada de 4% a 6%, com 95% de nível de confiança, de acordo com a banda.

A calibração de corpo-negro e a calibração alternativa (vicário) são tratadas de forma diferentes. Na configuração nominal, o ganho “baseline” e incluído com linearização (também da “baseline”) e equalização (da estatística da imagem) para calcular a radiância dos valores digitais. As medições de corpo-negro são usadas agora para corrigir exatamente essa radiância. Somente depois desta correção, a radiância (valores “float”) é redimensionada para *pixels* a nível 1.5 usando uma lei de redimensionamento linear. Isso garante uma relação linear entre radiância e os valores digitais a nível 1.5 (valores inteiros). A lei de redimensionamento é descrita por dois parâmetros que normalmente são mantidos constantes (*baseline scanling*) estes parâmetros são o *cal_slope* e o *cal_offset*.

Os canais termais são calibrados usando a calibração de corpo negro. A baseline não linearizada é usada para corrigir o comportamento não linear dos detectores. O “scaling” é escolhido tanto quanto é disponível a taxa dinâmica dos *pixels* das imagens no nível 1.5 e é plenamente usada, mas não nas imagens de nível 1.5 que ocorrem saturação. Por isso, *cal_slope* e *cal_offset* se matem constantes. A calibração Vicária não é usada para calibração, mas a informação é disponível e usada para monitoramento e controle de qualidade. Com a expressão abaixo podemos calcular a radiância de cada banda espectral: $L = \text{cal_offset} + (\text{cal_slope} \times \chi \text{ valor do pixel no nível 1.5}) (\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1})$.

3.3 Produtos Land SAF

Os produtos Land SAF são de distribuição gratuita quer em tempo “quase real” quer em tempo diferido (ainda que neste caso o registo seja obrigatório). Os produtos são distribuídos no formato HDF5. Neste formato deverá estar contida toda a informação necessária à sua utilização. Existem aplicações que permitem a sua visualização (aplicação livre *hdfviewer*). Um produto contém para além dos valores, em geral uma imagem, informação associada, que inclui, para cada *pixel*, informação sobre este (qualidade, flags, etc.) Todos os produtos são calculados em quatro janelas (uma janela sobre Europa, duas sobre África e uma sobre a América do Sul).

4. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra o resultado do algoritmo desenvolvido para geração automática de composições máximas, médias e mínimas, entre 8:00 as 12:00 UTC do dia 20 de abril de 2008, do produto NDVI para a imagem “full-disk” do radiômetro SEVIRI. Um total de 17 imagens foram processadas, livre de nuvens e neve nos canais espectrais VIS0.6 e VIS0.8. Observaram-se padrões espaciais similares nas imagens mosaicadas dos valores de máximo, média e mínima NDVI. Embora os valores de mínimo NDVI apresentassem uma diminuição possivelmente pela presença de nuvens no local que, talvez, não foram detectadas e corrigidas pela máscara de nuvens que a rotina utiliza, bem como variações na geometria de iluminação do MSG-2. Neste aspecto, o produto NDVI superestimou os valores de máximo NDVI em relação aos valores de média NDVI.

Paralelamente, o algoritmo foi empregado para efetuar composição do produto de NDVI livre de nuvens. *Pixel a pixel*, apenas o NDVI livre de nuvens foi contado. A Figura 3 mostra a variação do número de NDVI livre de nuvens, juntamente com a escala de valores

correspondentes, utilizada para calcular os valores de máximo, média e mínima NDVI (Fig. 2). Os valores variam de “0” (zero) a “17” (dezesete), indicando uma escala crescente de NDVI livre de nuvens. O valor “0” está associado à cor branca e o valor “17” à cor verde. Fazendo uma comparação visual entre as Figuras 2 e 3, nota-se que os maiores valores de NDVI estão associados ao número máximo de NDVI livre nuvens processado. Isto é, valores de *pixels* de número 17 são considerados de qualidade elevada. A literatura aconselha o uso das composições máximas (Holben 1986) para amenizar os efeitos atmosféricos.

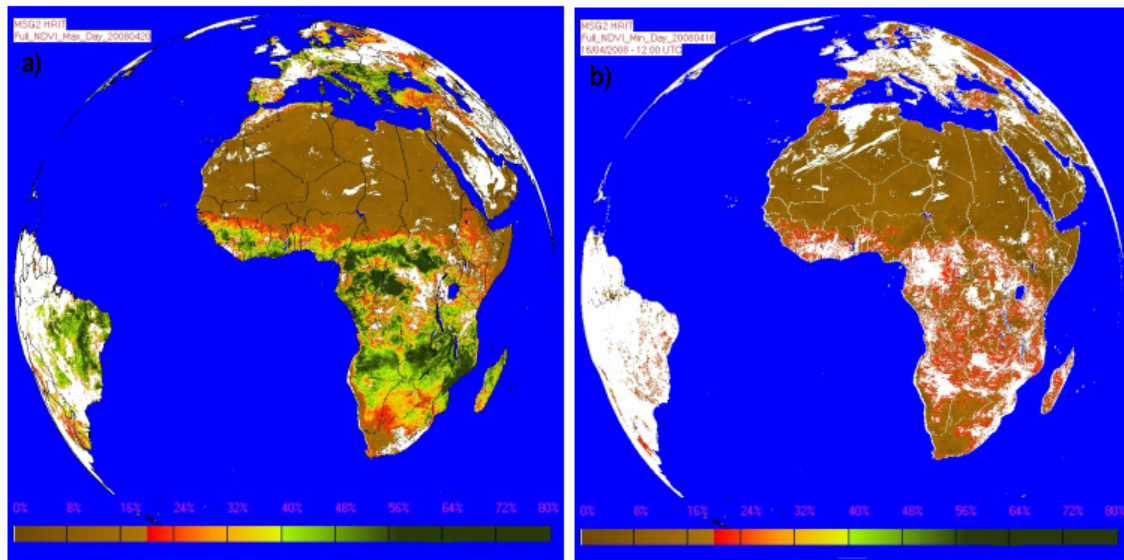


Figura 2. Composições máximas (a) e mínimas (b) de NDVI, entre 8:00 as 12:00 UTC do dia 20 de abril de 2008. Total de 17 imagens foram processadas, livre de nuvens e neve nos canais espectrais VIS0.6 e VIS0.8.

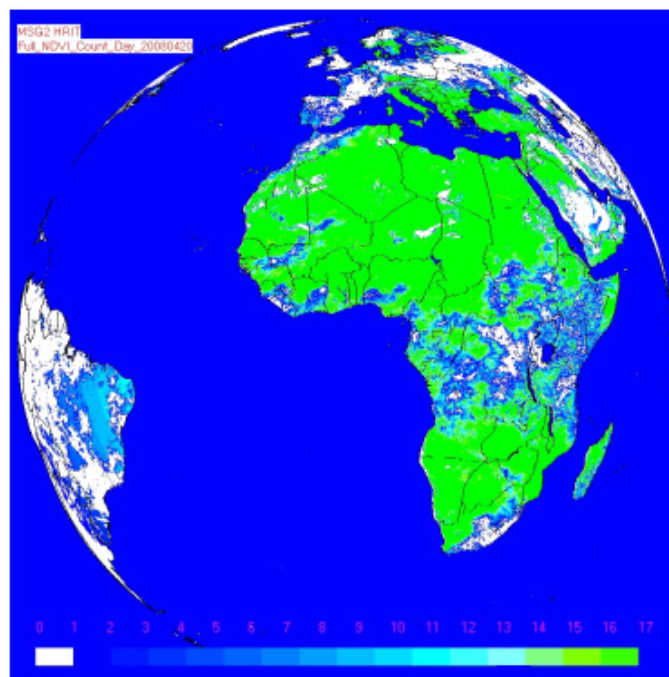


Figura 3. Composição do produto de NDVI livre de nuvens. *Pixel a pixel*, apenas o NDVI livre de nuvens é contado.

A comparação visual entre as composições multitemporais dos produtos FVC Land SAF e (máxima e média) NDVI (Fig. 4), setorizadas para o Continente Europeu para o período de 21 a 30 de março de 2008, sugere um potencial sinergismo entre estes dois parâmetros biofísicos para o monitoramento operacional da cobertura vegetal. Comparando-se as três Figuras (4a, 4b, 4c e 4d) em questão, claramente verificamos que os produtos de máximo e média NDVI superestimou o produto FVC. Especificamente, o produto NDVI apresentou melhor desempenho na discriminação das variações espaciais da cobertura vegetal deste continente.

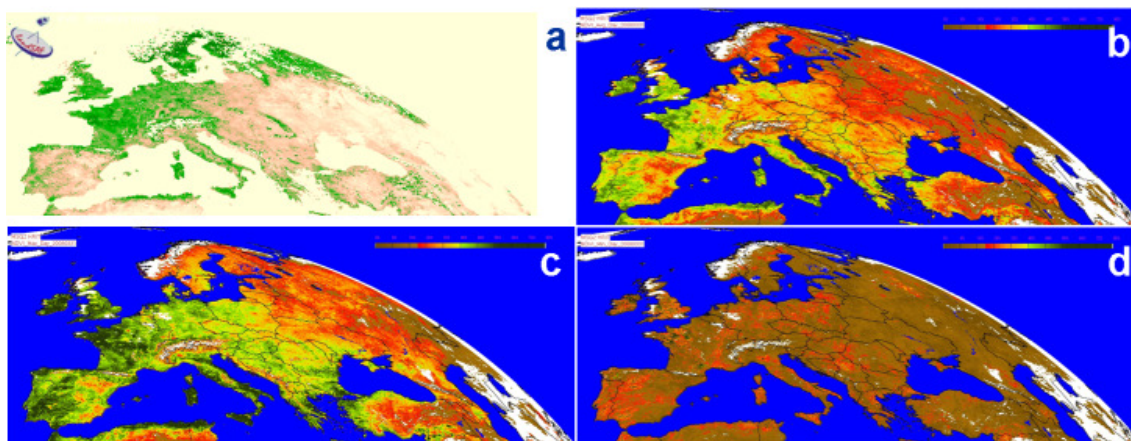


Figura 4. Composições multitemporais dos produtos FVC Land SAF-10dias (a) e [média (b), máxima (c) e mínima (d)] NDVI-10dias.

5. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que o algoritmo de extração dos valores máximos, médios e mínimos de NDVI pode ser utilizado para o monitoramento da dinâmica espacial da cobertura da vegetação. Também a disponibilidade de dados e produtos biofísicos gerados pelo radômetro SEVIRI, a bordo do MSG da EUMETSAT, oferece uma oportunidade única de caracterizar as condições da superfície continental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à EUMETSAT, Sr. José Prieto, pela concessão da licença de operação do sistema EUMETCast na UFAL. Também o primeiro autor agradece à UFAL pelo apoio financeiro concedido. Agradecimentos são devidos aos seguintes mestrandos pela contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho: Ivon Wilson Jr. e Patricia Porta Nova Cruz.

Referências Bibliográficas

Assad, E.D.; Castro, L.H.R.; Almeida, S.A.O. Análise Exploratória da Variação Espaço Temporal do Índice de Vegetação NOAA/AVHRR e Pluviometria: Caso dos Cerrados Brasileiros. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador, *Anais*, Salvador-BA, 1996. (CDROM).

Barbosa, H. A. *Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85*. 169p. (INPE-7237-TDI/690). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

Barbosa, H. A., Huete, A.R.; Baethgen, W. E. A 20-Year Study of NDVI Variability Over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, p.288-307. 2006.

Batista, G.T.; Shimabukuro, Y.E.; Lawrence, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, 1993, Curitiba. **Anais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1993. p.30-37.

EUMETSAT, 2004. **Technical document EUM TD 15**. Issue 3.2, 5 September 2004. Darmstadt, Germany.

EUMETSAT. **MSG Level 1.5 Image Data Format Description**. Darmstadt, Germany, 2007.

Gurgel, H. C.; Ferreira, N. J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n. 18, p. 3595-3609, 2003.

HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 7, n.11, p.1417-1435, 1986.

Jacóbsen, L. O.; Fontana, D. C.; Shimabukuro, Y. E. Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na cobertura vegetal do Rio Grande do Sul. **In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-Pr, 2002, CD-ROM**

Richard, Y.; Pocard, I. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.15, p.2907-2920, 1998.

Rouse, J.W.; Haas, R. H.; Schell, J.A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. **Proceedings. Washington**, v.1, Sec.A, p.309-317, 1973.