

NAVPRO: um sistema para processamento e geração de produtos de imagens AVHRR-NOAA

João Francisco Gonçalves Antunes¹
Júlio César Dalla Mora Esquerdo²

Nos últimos anos, as imagens de sensores remotos orbitais têm sido uma fonte importante de informação para estudos geográficos, agrometeorológicos e ambientais em nível regional, por oferecerem a necessária repetitividade temporal da superfície terrestre. Um sensor particularmente importante é o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), a bordo da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Os dados AVHRR-NOAA de elevada repetitividade temporal, resolução espacial de 1,1 km no nadir, com garantia de cobertura diária e de aquisição gratuita, possuem características fundamentais para esses estudos e continuam tendo um grande potencial de uso em função da disponibilidade de longas séries temporais armazenadas em acervos históricos espalhados por todo mundo.

Porém, o elevado número de imagens AVHRR-NOAA numa série temporal torna a geração de produtos uma rotina trabalhosa e com um certo nível de intervenção humana. A etapa fundamental para a geração de

produtos confiáveis é o georreferenciamento preciso das imagens, o que nem sempre é possível de ser feito de forma automática por meio dos softwares atualmente disponíveis.

Diante dessas dificuldades e da necessidade de se gerar produtos com boa precisão geométrica e radiométrica, o presente trabalho aborda o desenvolvimento do sistema NAVPRO para processamento e a geração automática de produtos derivados de imagens AVHRR-NOAA, sem qualquer intervenção humana.

Imagens AVHRR-NOAA

O Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) possui um acervo de imagens AVHRR-NOAA iniciado em abril de 1995, com aproximadamente 3,5 terabytes de dados. Atualmente são recebidas, em média, 20 imagens por dia dos satélites NOAA-15, 17, 18 e 19, em operação. A Figura 1 mostra o gráfico da quantidade anual de

¹ Matemático, Mestre em Engenharia Agrícola, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo, 13083-886 - Campinas, SP. (e-mail: joaof@cnpia.embrapa.br)

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-886 - Campinas, SP. (e-mail: julio@cnpia.embrapa.br)

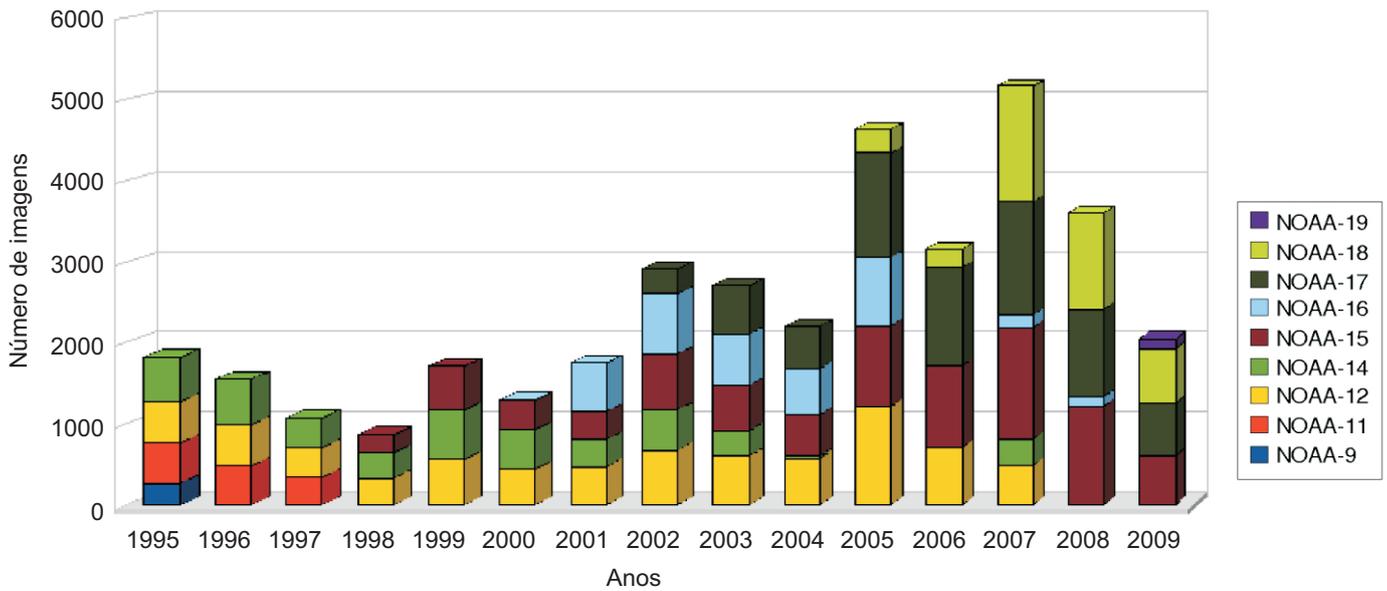


Figura 1. Total de imagens por ano do acervo histórico do Cepagri/Unicamp.

imagens presentes no acervo histórico do Cepagri, que hoje já passa de 36 mil arquivos.

As características espectrais do sensor AVHRR/3, presente a partir do NOAA-15, são mostradas na Tabela 1.

Sistema NAVPRO

O NAVPRO consiste de um procedimento automático, desenvolvido em script *c-shell* compatível com a plataforma Linux, composto por um conjunto de comandos que acionam os módulos de processamento e de geração de produtos. A Figura 2 ilustra o fluxograma das etapas de funcionamento do sistema.

A primeira parte do sistema é composta por um conjunto de comandos que executam os programas do pacote *NAVigation* (NAV), desenvolvido em linguagem C, para conversão do formato bruto, calibração radiométrica e georreferenciamento preciso. Essa tecnologia foi repassada gratuitamente pelo *Colorado Center for Astrodynamics Research* (CCAR), da Universidade do Colorado, Boulder, EUA.

O processo inicia-se com a conversão do formato bruto da imagem para um formato compatível com os módulos subsequentes. Após essa etapa, é feita a calibração radiométrica das imagens, transformando os valores de nível de cinza para refletância aparente (no topo da atmosfera) para as bandas 1, 2 e 3A e temperatura de brilho, para as bandas 3B, 4 e 5, seguindo as metodologias descritas por Rao e Chen (1996), Goodrum et al. (2004).

Em seguida é executado o módulo de georreferenciamento das imagens, segundo a metodologia de navegação indireta descrita por Rosborough et al. (1994), combinando os passos de transformação relativa ao modelo de geometria orbital e reamostragem dos pixels por interpolação com o vizinho mais próximo. Essa metodologia baseia-se no fato de que a maior fonte de erros de deslocamentos nos modelos orbitais de predição é devida à imprecisão no ângulo dos três eixos de atitude do satélite, ou seja, a variação da plataforma orbital no momento da sua passagem, conforme ilustrado na Figura 3.

Para gerar imagens com precisão geométrica dentro de um pixel é necessário o conhecimento dos erros de

Tabela 1. Características espectrais do sensor AVHRR/3, a partir do NOAA-15.

Bandas	Faixa Espectral (µm)	Região do Espectro	Grandezas após Calibração Radiométrica
1	0,58 a 0,68	Visível (vermelho)	Refletância aparente (%) - r_1
2	0,725 a 1,0	Infravermelho próximo	Refletância aparente (%) - r_2
3A	1,58 a 1,64	Infravermelho médio	Refletância aparente (%) - r_3
3B	3,55 a 3,93	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K) - T_3
4	10,3 a 11,30	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K) - T_4
5	11,5 a 12,50	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K) - T_5

Fonte: Goodrum et al. (2004), adaptada pelo autor.

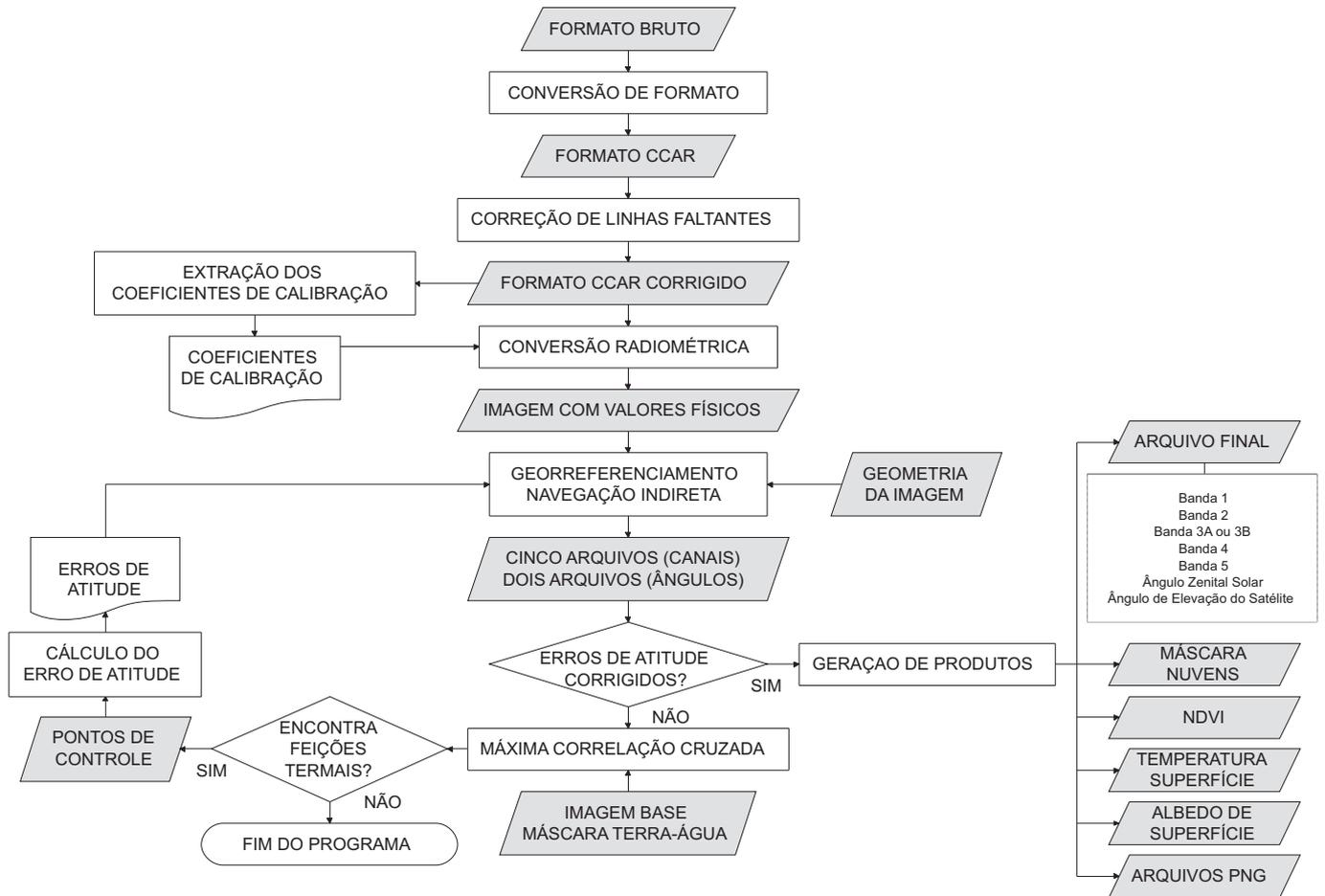


Figura 2. Fluxograma das etapas de funcionamento do NAVPRO.

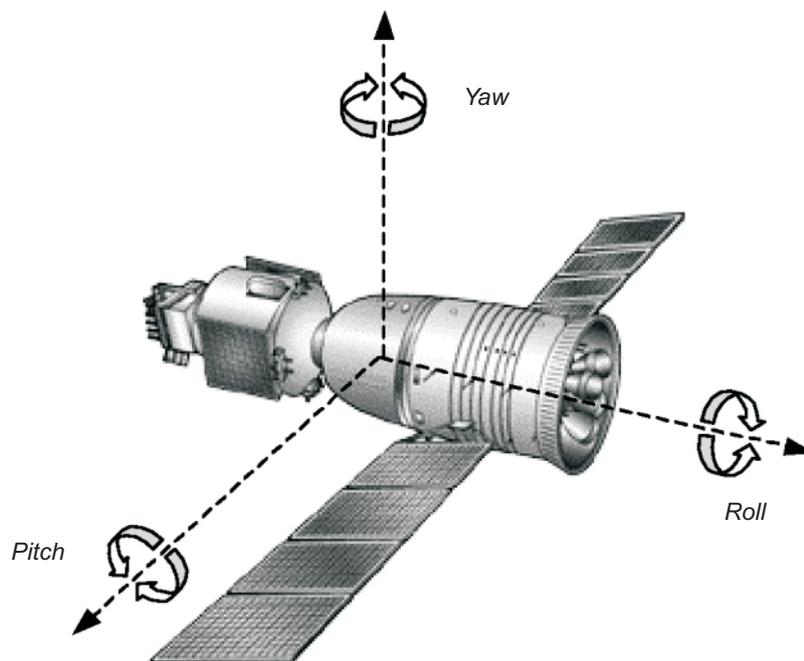


Figura 3. Ângulos de atitude da plataforma orbital.

atitude no exato momento da geração da imagem, determinados por meio de dois pontos de controle, coletados manualmente a partir de malhas digitais ou imagens geometricamente precisas. Com isso, o modelo orbital é executado novamente, dessa vez considerando os erros de atitude, o que gera imagens cartograficamente precisas.

Para automatizar o processo de coleta de pontos de controle e evitar a intervenção humana no processamento, o módulo utiliza o método de Emery et al. (2003), onde a técnica da Máxima Correlação Cruzada (MCC) busca feições entre a imagem alvo que se pretende corrigir e uma imagem base, cartograficamente precisa, conforme ilustrado na Figura 4. A imagem base deve ser gerada a partir de bandas termais, pois as feições de temperatura sofrem menor influência da variação das condições de iluminação e são mais estáveis ao longo do tempo. Além disso, deve conter o mínimo de nuvens possível e ser próxima ao nadir. Uma vez reconhecidas as feições semelhantes entre essas imagens, o programa coleta automaticamente os pontos de controle, que por sua vez são utilizados pelo módulo para determinar os erros de atitude e realizar a navegação indireta, gerando imagens com erro de georreferenciamento dentro de um pixel.

Como resultado desse processamento, obtêm-se cinco arquivos referentes às bandas espectrais calibradas e geometricamente precisas. Também são gerados mais dois arquivos com o ângulo de elevação do satélite e o ângulo zenital solar para cada pixel da imagem.

A segunda parte do sistema implementada em linguagem IDL (*Interactive Data Language*) do software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*) é responsável pela leitura dos sete arquivos produzidos e pela geração dos produtos espectrais descritos a seguir.

- 1) Banda 2 - Infravermelho Próximo: monitoramento da superfície e cobertura de nuvens.
- 2) Composições Coloridas RGB: diferenciação de alvos pelas tonalidades de cor conforme o seu brilho.
- 3) Máscara de Nuvens: eliminação dos pixels contaminados com nuvens da análise espectral, gerado por

uma combinação dos critérios das Equações (1), (2) e (3), descritos por França e Cracknell (1995), Chen et al. (2002).

$$1^\circ. \text{ critério: } T_1 > 15 \quad (1)$$

$$2^\circ. \text{ critério: } 0,8 < T_1 / T_2 < 1,6 \text{ e } T_4 < 290 \quad (2)$$

$$3^\circ. \text{ critério: } T_5 < 270 \quad (3)$$

- 4) NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): avaliação das mudanças do vigor da vegetação pela correlação com a biomassa, calculado por meio da Equação (4), segundo Rouse et al. (1973).

$$\text{NDVI} = (T_2 - T_1) / (T_2 + T_1) \quad (4)$$

- 5) Temperatura de Superfície: detecção do estresse hídrico de culturas, monitoramento de secas e detecção de queimadas, obtida pelo método *Split-Window* baseado no modelo de Sobrino et al. (1997) e modificado por Quaidrari et al. (2002), conforme a Equação (5).

$$T_s = A + B \cdot T_4 + C \cdot (T_4 - T_5) + D \cdot (T_4 - T_5)^2 + (E \cdot TV + F) \cdot (1 - \epsilon) \quad (5)$$

onde,

$$A = 12,3626; \quad B = 0,9549; \quad C = 1,8474;$$

$$D = 0,2038; \quad E = 2,0049; \quad F = 52,3183.$$

TV = total de vapor de uma coluna de ar acima de cada pixel: 0 a 7 g.cm⁻².

A emissividade ϵ é calculada pelas Equações (6) a (9), segundo Cihlar et al. (1994):

$$\epsilon = 0,01019 + 0,0134 \cdot \ln(\text{NDVI}) \quad (6)$$

$$T_4 = 0,9897 + 0,039 \cdot \ln(\text{NDVI}) \quad (7)$$

$$T_5 = T_4 - \epsilon \quad (8)$$

$$\epsilon = (T_4 + T_5) / 2 \quad (9)$$

- 6) Albedo de Superfície: estimativa de balanço de energia para estudos de mudanças climáticas e desertificação, calculado pelas Equações de (10) a (12), segundo Song e Gao (1999):

$$p_1 = 0,494 \cdot (\text{ndvi}^2) - 0,329 \cdot \text{ndvi} + 0,372 \quad (10)$$

$$p_2 = -1,439 \cdot (\text{ndvi}^2) + 1,209 \cdot \text{ndvi} + 0,587 \quad (11)$$

$$\text{albedo} = p_1 \cdot T_1 + p_2 \cdot T_2 \quad (12)$$

Conforme as recomendações de Chen et al. (2003), a rotina para cálculo desses produtos apresenta a opção para mascarar os pixels com ângulo zenital solar maior que 70° e ângulo de elevação do satélite maior que 42°.

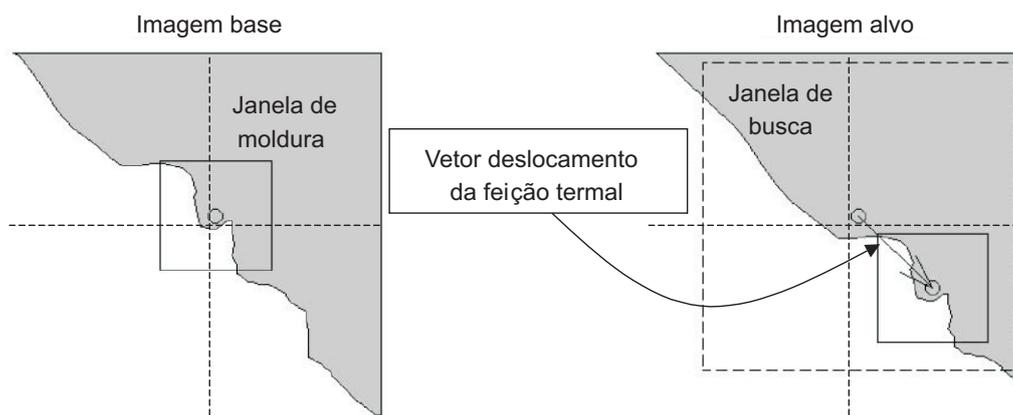


Figura 4. Busca de feições semelhantes pela MCC.

considerados inaptos para análise espectral, devido à baixa luminosidade solar e distorção do tamanho do pixel por estar muito fora do nadir.

Além dos arquivos com informação espectral, também são geradas figuras no formato PNG (*Portable Network Graphics*), sobrepostas com uma malha política do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com informações cartográficas.

Produtos AVHRR-NOAA

A série temporal de imagens diurnas do Cepagri vem sendo processada automaticamente pelo NAVPRO desde o ano de 2005 até o momento, disponibilizando em tempo real os produtos espectrais gerados no Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 2009), para a aplicação em estudos de monitoramento temporal terrestre.

O procedimento implementado utiliza-se de até quatro imagens base, uma por estação do ano, selecionadas considerando a pouca cobertura de nuvens e a proximidade ao nadir para cada região de recorte. Isso é uma

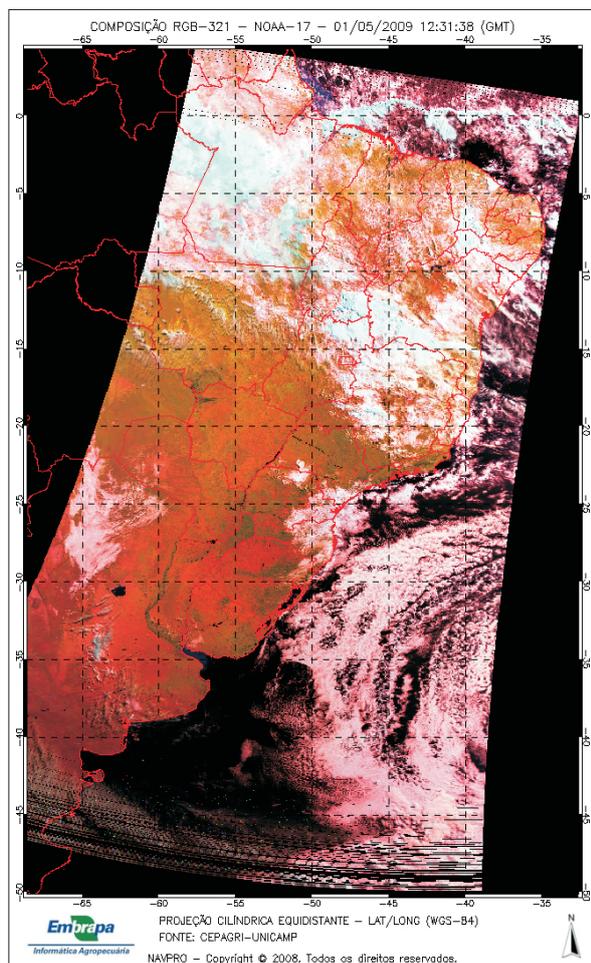
estratégia para evitar o efeito sazonal das mudanças térmicas, como forma de garantir a precisão geométrica dentro de um pixel.

Nesse período foram processadas 5.332 imagens diurnas pelo NAVPRO, sendo 2.885 do NOAA-17 e 2.447 do NOAA-18, para todos os estados brasileiros, com exceção da região Norte. A geração dos produtos depende de cada recorte e o processamento falha quando a região da imagem está em grande parte coberta por nuvens, afetando o processo de busca por feições semelhantes por meio da MCC.

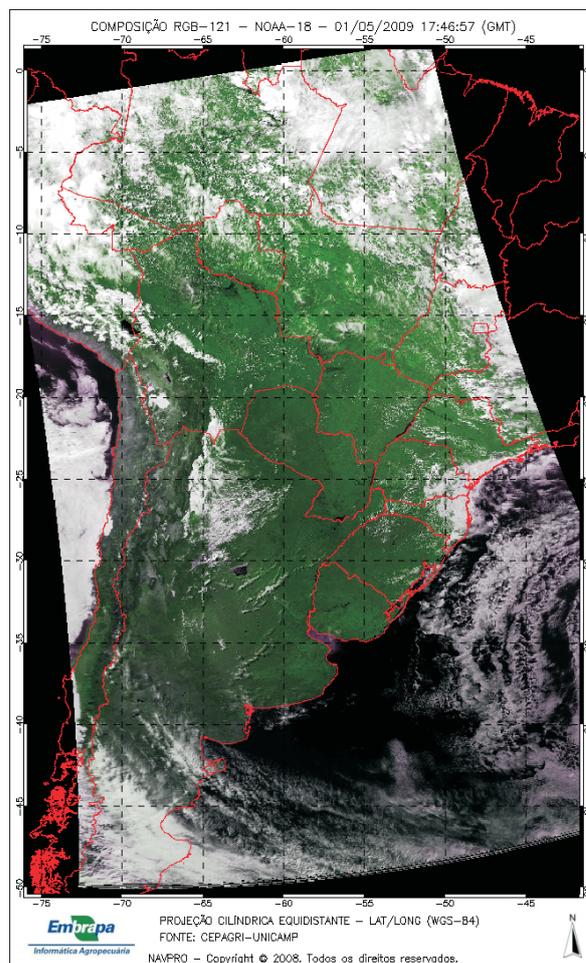
A Figura 5 mostra as figuras PNG produzidas pelo NAVPRO, referente às imagens do dia 01/05/2009 do NOAA-17 (passagem matutina) e do NOAA-18 (passagem vespertina), onde pode-se observar toda a área de cobertura das cenas e a presença de nuvens.

A Figura 6 apresenta os produtos gerados pelo NAVPRO para o recorte do Estado de São Paulo referente à imagem do NOAA-17 do dia 01/05/2009.

A seguir é feita uma descrição sucinta das possibilidades de aplicação de cada produto espectral.

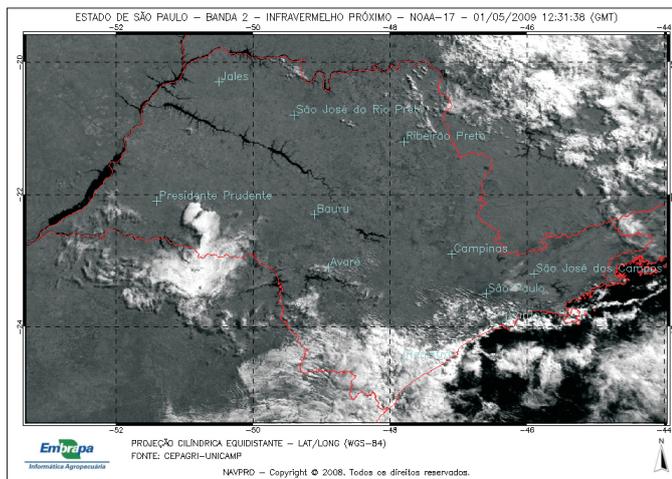


Composição colorida RGB-321 - Cena NOAA-17.

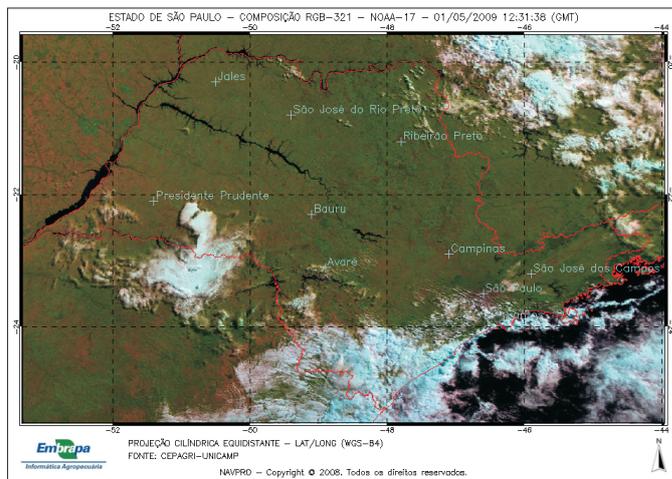


Composição colorida RGB-121 - Cena NOAA-18.

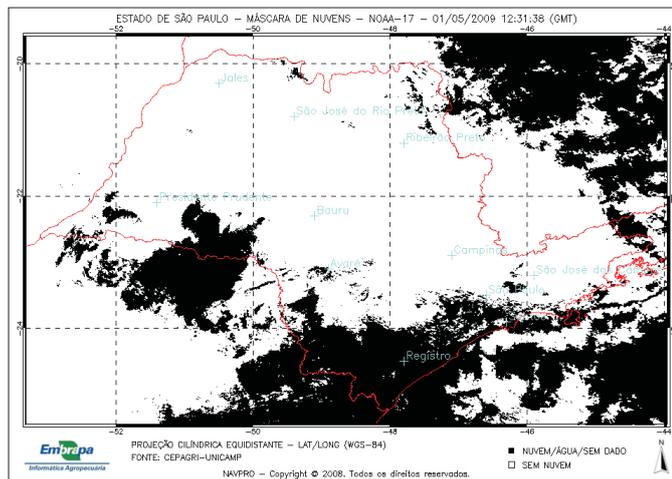
Figura 5. Área de cobertura das cenas do NOAA-17 e do NOAA-18 de 01/05/2009.



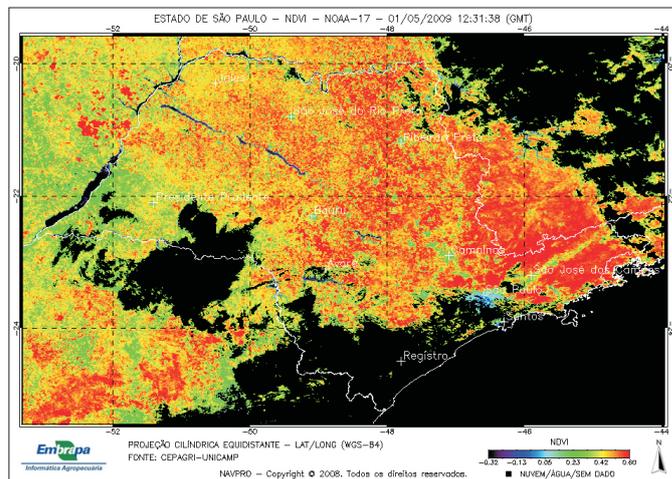
(a) Banda 2 - Infravermelho próximo.



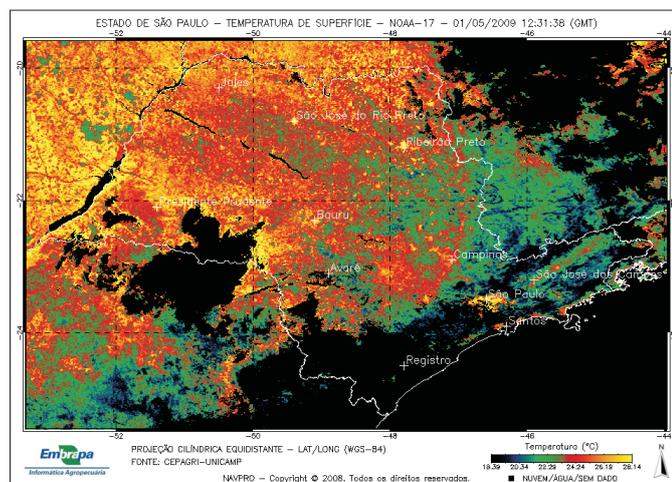
(b) Composição colorida RGB-321.



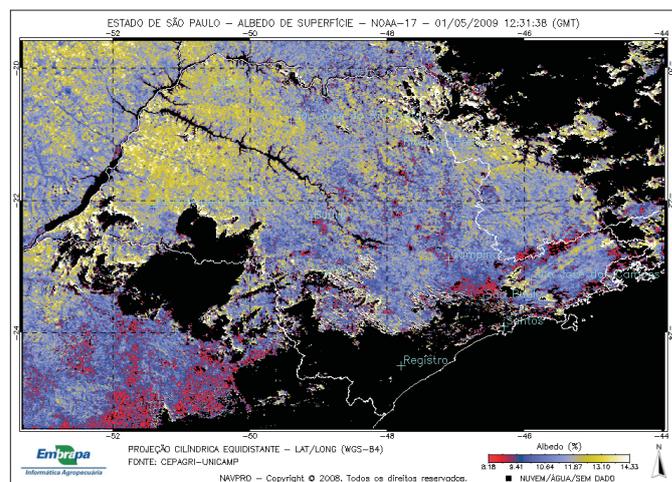
(c) Máscara de nuvens



(d) NDVI.



(e) Temperatura de superfície.



(f) Albedo de superfície.

Figura 6. Produtos gerados pelo NAVPRO da imagem do NOAA-17 de 01/05/2009 para o Estado de São Paulo.

Figura 6a - Banda 2 - Infravermelho Próximo: os valores físicos do fator de refletância permitem o monitoramento da vegetação, cobertura de nuvens, lagos e litorais. Figura 6b - Composições Coloridas RGB: as composições coloridas possibilitam diferenciar alvos de interesse, que assumem diferentes tonalidades de cor conforme o seu brilho, bem como observar visualmente a presença de nuvens.

Figura 6c - Máscara de Nuvens: as imagens AVHRR-NOAA dificilmente são livres de nuvens, devido ao tamanho do pixel e à área de varredura do sensor. Em estudos de monitoramento terrestre, recomenda-se mascarar os pixels contaminados com nuvens para evitar a contaminação da análise espectral, como forma de obter produtos confiáveis.

Figura 6d - NDVI: o índice NDVI tem sido empregado em estudos para caracterizar parâmetros biofísicos, a presença e a condição da vegetação, pois tem associação direta com o índice de área foliar e a quantidade de biomassa. A partir de composições de NDVI, em conjunto com dados de precipitação, é possível fazer o monitoramento meteorológico-espectral de culturas agrícolas por meio de perfis temporais.

Figura 6e - Temperatura de Superfície: o conhecimento da temperatura de superfície é extremamente útil na detecção do estresse hídrico de culturas, monitoramento de secas, detecção de queimadas e desmatamentos. Figura 6f - Albedo de Superfície: o albedo de uma superfície é uma informação importante para estimativa de balanços de energia e na modelagem da radiação solar, cujas variações traduzem as propriedades óticas da superfície, tendo grande aplicabilidade em estudos de mudanças climáticas e desertificação.

Conclusões

1. O NAVPRO agiliza trabalhos que fazem uso de grandes séries temporais, por aliar precisão e automação no georreferenciamento das imagens.
2. O georreferenciamento é a etapa fundamental de todo o processo para garantir que cada pixel corresponda à mesma localização geográfica em qualquer uma das imagens da série temporal.
3. A outra etapa de extrema importância é o mascaramento de nuvens como forma de detectar os pixels contaminados com nuvens e separá-los dos não contaminados nas imagens.

Considerações Finais

O sistema NAVPRO surgiu pela demanda de usuários de grandes séries temporais de imagens dos satélites NOAA por automação e precisão no processamento das imagens. Os softwares disponíveis no mercado, além de não oferecerem uma solução automática, não resolvem o problema inerente da imprecisão no georreferenciamento das imagens AVHRR-NOAA que

possui um deslocamento em torno de nove pixels. Mesmo com a coleta manual de vários pontos de controle, as imagens ainda assim ficam com uma imprecisão mínima de três pixels.

Para viabilizar o desenvolvimento do NAVPRO, foi necessário buscar uma metodologia para o georreferenciamento automático das imagens AVHRR-NOAA que garantisse uma precisão geométrica dentro de um pixel, gerando produtos de qualidade confiável. A solução apresentada pelo sistema possibilitou que estudos envolvendo o uso de grandes séries temporais de imagens pudessem ser conduzidos de forma rápida e precisa.

Os produtos espectrais gerados pelo NAVPRO representam uma fonte de dados importante em estudos que envolvem o monitoramento temporal terrestre, essencialmente em áreas de pesquisas relacionadas à agrometeorologia, à agricultura e ao meio ambiente. Desde sua divulgação em 2006, o sistema NAVPRO tem sido utilizado com sucesso por pesquisadores e estudantes de graduação e pós-graduação no processamento automático e geração de produtos de imagens AVHRR-NOAA, como nos estudos sobre estimativa de área e produtividade agrícolas, temperatura de superfície para o monitoramento de geadas, monitoramento de enchentes e queimadas no Pantanal, correção atmosférica de imagens satélite, análises dos processos de desertificação do semi-árido nordestino, entre outros.

Referências

- CHEN, P. Y.; SRINIVASAN, R.; FEDOSEJEVS, G.; KINIRY, J. R. Evaluating different NDVI composites techniques using NOAA-14 AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 24, n. 17, p. 3403-12, 2003.
- CHEN, P. Y.; SRINIVASAN, R.; FEDOSEJEVS, G.; NARASIMHAN, B. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 23, n. 15, p. 2939-2950, 2002.
- EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Agritempo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Unicamp, Cepagri, 2009. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acesso em: 8 jul. 2009.
- EMERY, W. J.; BALDWIN, D.; MATTHEWS, D. Maximum Cross Correlation Automatic Satellite Image Navigation and Attitude Corrections for Open Ocean Image Navigation, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 1, p. 33-42, 2003.
- FRANÇA, G. B.; CRACKNELL, A. P. A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 16, p. 1697-1705, 1995.
- GOODRUM, G.; KIDWELL, K. B.; WINSTON, W. (Ed.) **NOAA KLM User's guide. September 2000 Revision**. Disponível em: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/cover.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2004.
- QUAIDRARI, H.; GOWARD, S.; CZAJKOWSKI, K.; SOBRINO, J.; VERMOTE, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements - An assessment for the AVHRR Land Pathfinder II data set. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 81, n. 1, p. 114-128, 2002.

RAO, C. R. N.; CHEN, J. Post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 17, p. 2743-2747, 1996.

ROSBOROUGH, G. W.; BALDWIN, D. G.; EMERY, W. J. Precise AVHRR image navigation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 32, n. 3, p. 644-657, 1994.

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., 1973, Washington, D. C., 1973.

Proceedings... Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351).

SOBRINO, J. A.; RAISSOUNI, N.; LOBO, A. Monitoring the Iberian Peninsula land cover using NOAA-AVHRR data. In GUYOT, G. (Ed.). **Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**. Rotterdam: Balkema, 1997. p. 787-794.

SONG, J.; GAO, W. An improved method to derive surface albedo from narrowband AVHRR satellite data: narrowband to broadband conversion. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 38, n. 2, p. 239-249, 1999.

Comunicado Técnico, 98



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Governo
Federal

Embrapa Informática Agropecuária
Endereço: Caixa Postal 6041 - Barão Geraldo
13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700
Fax: (19) 3211-5754
<http://www.cnptia.embrapa.br>
e-mail: sac@cnptia.embrapa.com.br

1ª edição on-line - 2009

Todos os direitos reservados.

Comitê de Publicações

Presidente: *Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*
Membros Efetivos: *Poliana Fernanda Giachetto, Roberto Hiroshi Higa, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Marcia Izabel Fugisawa Souza, Neide Makiko Furukawa, Adriana Farah Gonzalez, Suzilei Almeida Carneiro (secretária)*
Suplentes: *Alexandre de Castro, Fernando Attique Máximo, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Paula Regina Kuser Falcão*

Expediente

Supervisão editorial: *Neide Makiko Furukawa, Suzilei Almeida Carneiro*
Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*
Revisão de texto: *Adriana Farah Gonzalez*
Editoração eletrônica: *Neide Makiko Furukawa*