

# Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia

Margarete Marin Lordelo Volpato<sup>1</sup>

Helena Maria Ramos Alves<sup>2</sup>

Tatiana Grossi Chquiloff Vieira<sup>3</sup>

**Resumo** - As geotecnologias são cada vez mais utilizadas em estudos meteorológicos, de previsão climática e monitoramento agrícola, tanto para coleta, processamento e análise de dados meteorológicos, como para geração de tabelas e mapas, produzindo um maior número de informações e ampliando a abrangência e as possibilidades de aplicação destas informações. A visualização de fenômenos climáticos por meio da espacialização dos dados e da produção de mapas facilita a interpretação, o entendimento e a percepção desses fenômenos em escala local, regional e global. Dessa forma, contribuem para o sucesso do planejamento agrícola diante das adversidades climáticas e da sustentabilidade da vida no planeta.

**Palavras-chave:** Mudança climática. Sensoriamento remoto. SIG. Radar meteorológico. Geoestatística.

## INTRODUÇÃO

A preocupação com as adversidades do tempo e do clima remonta ao início da existência do homem, quando as forças naturais eram consideradas manifestações divinas. Com a evolução da humanidade, surgiram diversas correntes de pensamento sobre a relação homem-natureza, principalmente sobre o planejamento das atividades agrícolas diante das adversidades climáticas.

Na era moderna, as técnicas de coleta, processamento e análise de dados meteorológicos evoluíram rapidamente. Com o avanço da tecnologia da informação e o advento das geotecnologias, quanto maior o número de informações meteorológicas globais, regionais e locais, maior é a possibilidade de sucesso do planejamento agrícola.

Geotecnologias possibilitam associar qualquer tipo de informação, mas princi-

palmente as agrometeorológicas, ao espaço geográfico. Não existe uma definição completa e satisfatória para geotecnologia. De maneira simples e didática pode-se afirmar que é um conjunto de tecnologias que usa computadores e programas computacionais para a coleta, tratamento, processamento e modelagem de dados e informações georreferenciados, as geoinformações. Para tanto são utilizadas diversas ferramentas, tais como a geoestatística, o sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite e fotografias aéreas, o Global Positioning System (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Os SIGs são programas computacionais que permitem armazenar, analisar e processar geoinformações, associando-as a dados cadastrais por meio de bancos de dados geográficos. Imagens de satélite permitem a visualização da distribuição das culturas agrícolas e seu estado vegetativo,

da temperatura da superfície terrestre, da presença de nuvens e outras informações relevantes que são processadas e analisadas pelo SIG. Dessa maneira, é possível caracterizar as condições ambientais e agrícolas com maior precisão, maior rapidez e menor custo e realizar o monitoramento destas condições com periodicidade pré-definida. Como produtos obtêm-se mapas digitais sobre temas diversos, que podem ser apresentados por municípios e/ou regiões geográficas. Dessa forma, as geotecnologias tornam-se cada vez mais presentes no dia-a-dia da agricultura.

Existe no mercado um grande número de opções de imagens de satélite, modelos de GPS e SIGs. Com uma equipe pequena, mas bem treinada, é possível realizar em semanas o trabalho que, sem o uso das geotecnologias, levaria meses. Periodicamente são lançados satélites com sensores mais potentes e SIGs com maior capacidade de

<sup>1</sup>Eng<sup>a</sup> Florestal, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: margarete@epamig.ufla.br

<sup>2</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, D.Sc., Pesq. Embrapa Café/EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: helena@ufla.br

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup> Agrimensora, M.Sc., Pesq. IMA/EPAMIG-CTSM/Bolsista FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: tatiana@epamig.ufla.br

análise, processamento e armazenamento de informações. Esses produtos estão sendo desenvolvidos por inúmeras empresas de ciência e tecnologia, inclusive empresas brasileiras, como, por exemplo, os satélites da série CBERS e o SIG SPRING, ambos projetados e desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que fornece imagens e acesso gratuitos.

## **GEOESTATÍSTICA PARA ESTUDOS AGROMETEOROLÓGICOS**

Antes da década de 1980 praticamente todos os estudos climáticos no Brasil apresentavam caráter local, sem a preocupação de espacializar os fenômenos de frequência e probabilísticos com definição de padrões regionais. Foi com o desenvolvimento da geoestatística que as análises regionais tornaram-se mais usuais.

A geoestatística é a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos nas geociências e pode ser utilizada em diversas aplicações como, por exemplo, na estimativa espacial e temporal de dados, na modelagem de fenômenos e simulação de cenários, bem como na análise de riscos e zoneamentos.

A representação de dados climáticos no espaço é essencial em diversas áreas do conhecimento, sendo de uso extensivo nas áreas de agronomia, biologia, ecologia, geografia, geologia e meteorologia.

Um mapa é construído a partir das posições espaciais de pontos obtidos no campo, normalmente representados pelos valores X, Y e Z. As coordenadas são os valores X, posição do ponto no eixo da ordenada leste-oeste, e Y, posição na abscissa norte-sul. O valor Z representa o valor observado da variável no ponto XY.

O primeiro passo em qualquer estudo espacial é a definição do delineamento experimental que envolve, entre outros procedimentos, a escolha da técnica de coleta de amostras e também da malha de amostragem, pois é necessário que os dados XYZ estejam dispostos numa malha regular. Isto significa que, após a coleta de

dados no campo, geralmente numa malha irregular ou mesmo agrupados, estes deverão ser regularizados. Independentemente das diversas técnicas de amostragem, é sempre necessário conhecer a posição das amostras no espaço, ou seja, seu georreferenciamento. Nesses pontos são realizadas as medidas para o estudo, tais como: precipitação, evapotranspiração ou qualquer outra variável ambiental desejada.

A partir das coordenadas dos pontos e dos valores assumidos pela variável desejada em cada ponto de observação, pode-se obter um mapa da distribuição espacial dessa variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação. Isto significa que os valores dos pontos desconhecidos serão estimados a partir dos pontos observados. Existem vários métodos de interpolação que podem fornecer diferentes resultados. Dessa forma, a escolha do método depende de cada caso específico. Os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinho mais Próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial e Krigagem. A geoestatística é, portanto, uma ferramenta importante que facilita o trabalho do técnico ou pesquisador, uma vez que evita a necessidade de traçar mapas com réguas, transferidores e outros instrumentos analógicos tradicionais, reduzindo o tempo desse processo. Constitui também um método menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar isolinhas, otimizando o trabalho do usuário.

Dentre os estudos pioneiros que utilizaram a geoestatística na agrometeorologia podem-se citar Assad et al. (1993), que utilizaram a geoestatística para estudar a frequência e a probabilidade de ocorrência de veranicos na região dos Cerrados brasileiros, e Pellegrino et al. (1998), que utilizaram a geoestatística para gerar mapas de temperatura do ar, água disponível no solo e outras variáveis ambientais para o estado de São Paulo. A partir desses trabalhos iniciou-se a disponibilização de dados agrometeorológicos espacializados na Internet.

O Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em cooperação com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), disponibiliza informações agrometeorológicas do estado de São Paulo, bem como os mapas gerados. Estas informações estão disponíveis em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br>.

Mais recentemente, o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agri-tempo) gerenciado pela Embrapa Informática Agropecuária em cooperação com o Cepagri, permitiu o acesso a informações agrometeorológicas dos demais Estados brasileiros via Internet. O sistema possui dados de 912 estações agrometeorológicas e gera, como produtos, mapas e gráficos de séries históricas, monitoramento com base no balanço hídrico (estiagem, água disponível no solo, temperatura, evapotranspiração), previsão (temperatura, precipitação), seca (dias sem chuva), zoneamentos e produção agrícola por região e por Estado. Essas informações estão disponíveis em: <http://www.agritempo.gov.br>.

A Figura 1 apresenta o mapa de monitoramento da precipitação acumulada da Região Sudeste. A Figura 2 apresenta o mapa de previsão de temperatura máxima da mesma região e a Figura 3 apresenta o mapa de índice de seca para o estado de Minas Gerais.

## **SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS AGROMETEOROLÓGICOS**

Sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida desta superfície, por equipamentos sensores (MOREIRA, 2003). Os sensores podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (aviões) e orbitais (satélites artificiais). Esses sensores operam em diferentes regiões do espectro eletromagnético, captando

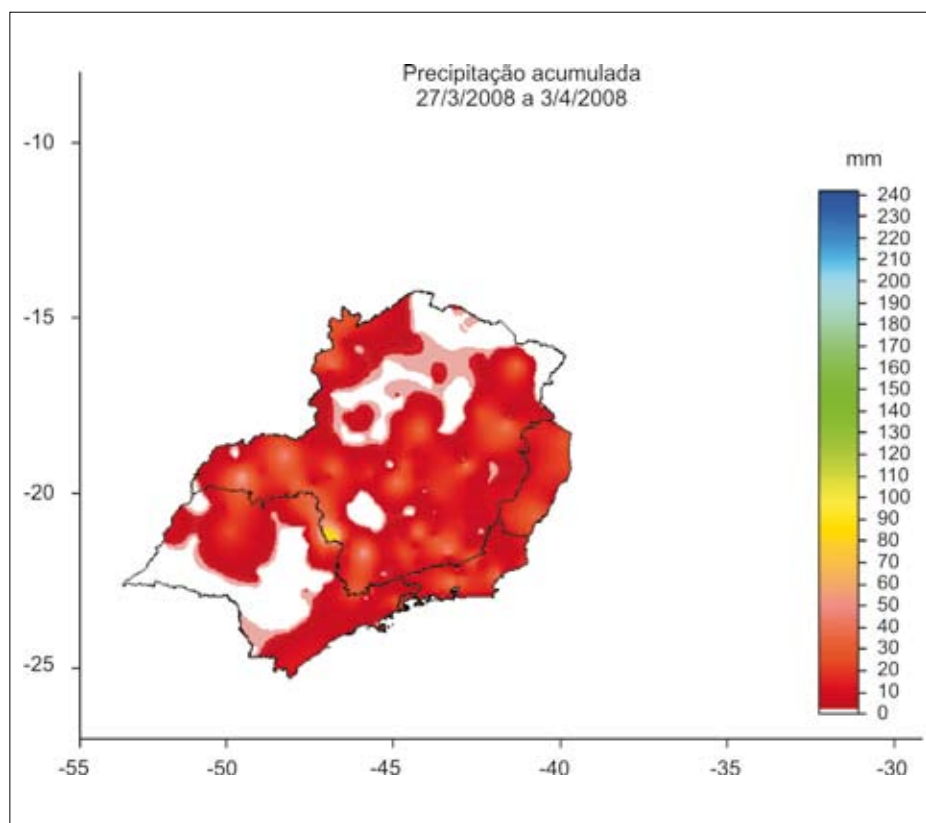


Figura 1 - Mapa de monitoramento da precipitação acumulada da Região Sudeste brasileira

FONTE: AgriTempo (2008b).

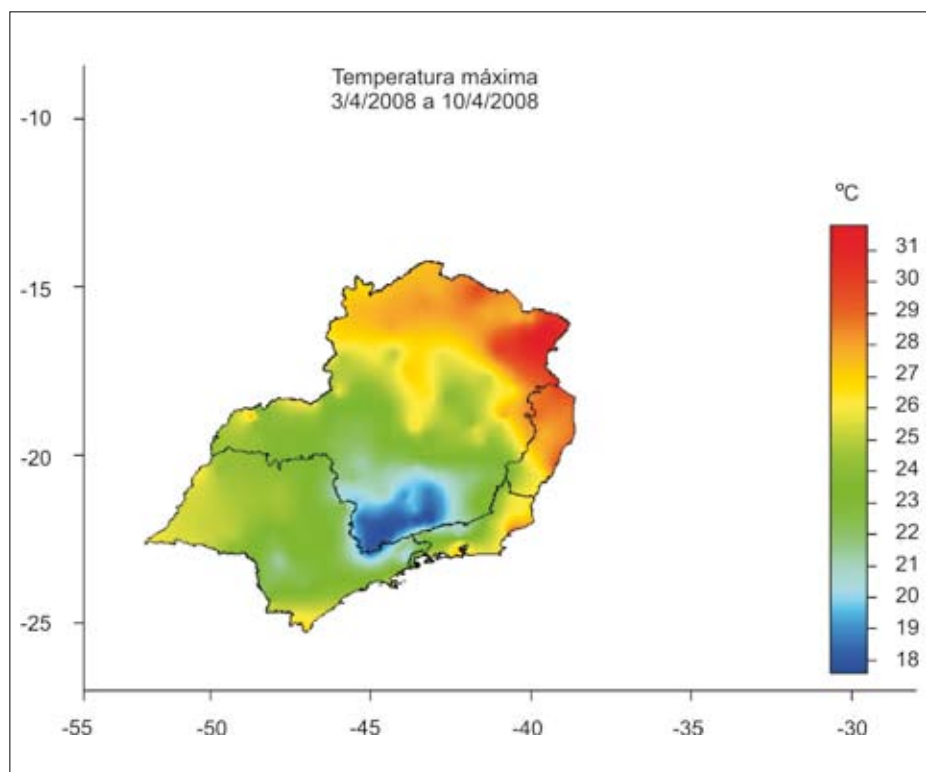


Figura 2 - Mapa de previsão de temperatura máxima da Região Sudeste brasileira

FONTE: AgriTempo (2008b).

dados de uma ou mais regiões do espectro no sistema de varredura.

O sensoriamento remoto tem sido utilizado em inúmeros estudos meteorológicos, climáticos, de previsão e monitoramento agrícola.

As observações ambientais por meio de sensores orbitais vêm sendo realizadas desde 1960, quando o satélite ambiental Television and Infrared Observation Satellite (Tiros 1), destinado a coletar informações sobre a atmosfera terrestre, foi lançado pelos Estados Unidos.

O sensoriamento remoto fundamenta-se na captação da radiação eletromagnética, ou seja, energia que se propaga através do espaço em forma de ondas, e sua interação com alvos naturais (nuvens, superfícies continentais e oceânicas, aerossóis etc.). O espectro eletromagnético abrange um vasto campo de comprimentos de onda, classificado por região: raios gama, raios X, ultravioleta, visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio.

Para a compreensão do processo de sensoriamento remoto é importante entender as principais características dos espectros de radiação solar e da reirradiação da Terra. A principal fonte de energia para os fenômenos que ocorrem em nosso planeta é a radiação solar (ou radiação de ondas curtas). Esta é concentrada principalmente na região do visível (entre cerca de 0.4 e 0.7 $\mu$ m). Ao interagir com o sistema Terra-atmosfera, a radiação solar sofre uma série de transformações, sendo então reirradiada para o espaço na forma de radiação terrestre (ou radiação de ondas longas), que se concentra principalmente no infravermelho termal (entre cerca de 4 a 100 $\mu$ m). A Figura 4 ilustra a obtenção de imagens por sensoriamento remoto por meio de satélites orbitais.

Imagens produzidas pelo sensor na região do visível são resultado da reflexão da radiação solar pelas nuvens e pela superfície da Terra. O brilho neste tipo de imagem é uma indicação do albedo, ou seja, a porcentagem da radiação solar refletida dos alvos. Tons claros representam áreas de alto albedo e tons mais escuros

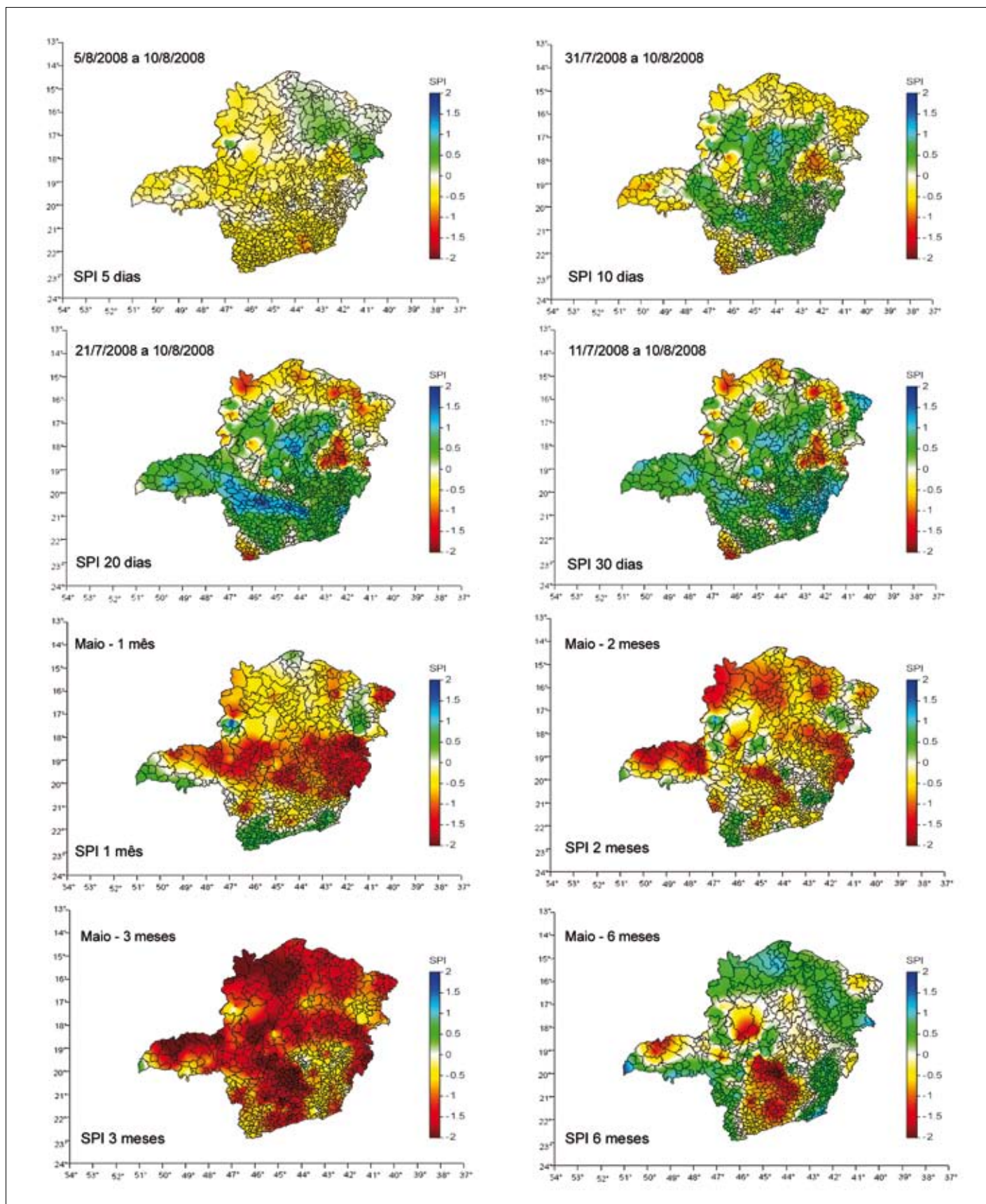


Figura 3 - Mapa de índice de seca para o estado de Minas Gerais

FONTE: Agritempo (2008a).

NOTA: SPI - Standardized Precipitation Index.

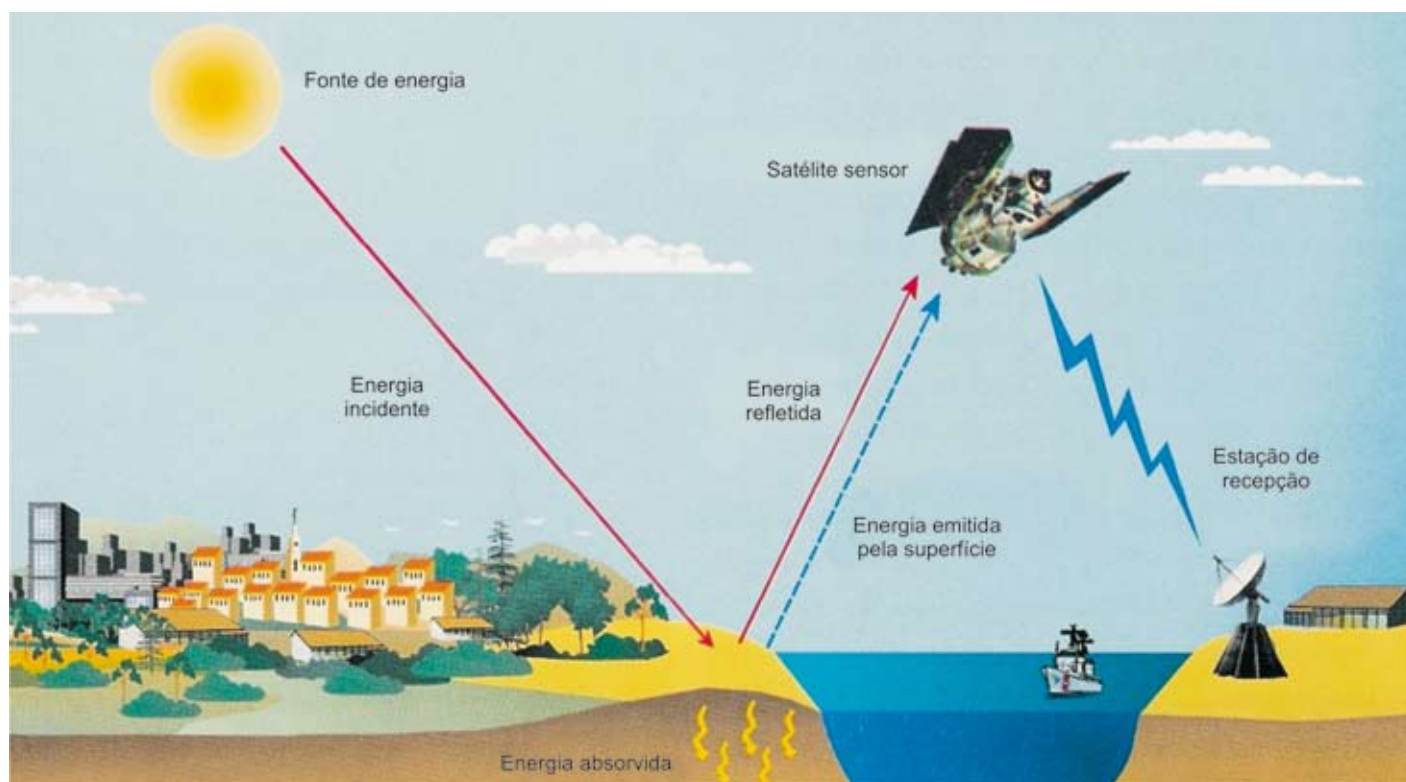


Figura 4 - Representação dos sistemas de obtenção de imagens por sensoriamento remoto  
 FONTE: Florenzano (2002).

representam áreas de baixo albedo. O brilho de uma nuvem, conforme vista do espaço, é afetado pela posição angular da nuvem em relação ao sensor e ao Sol na hora da observação e pela refletividade da própria nuvem. A refletividade, por sua vez, está relacionada com a profundidade da nuvem, distribuição e tamanho das gotas, composição (gotas de água ou gelo) e conteúdo de água líquida.

Os sensores de radiação infravermelha medem a energia emitida pela superfície e pela atmosfera da Terra. A quantidade de energia emitida depende da temperatura da fonte radiativa. Na imagem do infravermelho, por convenção, tons claros representam áreas frias e tons escuros representam áreas quentes.

Outra característica importante do sensoriamento remoto é a possibilidade de interpretação dos fenômenos no decorrer do tempo. Com esta informação pode-se acompanhar a formação e o avanço de uma frente fria, o deslocamento das nuvens, a variação da temperatura das superfícies e o comportamento das culturas agrícolas.

Os principais sensores orbitais utilizados para estudos agrometeorológicos são o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) dos satélites National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), os sensores dos satélites Geostationary Satellite Server (GOES) e, mais recentemente, o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dos satélites Aqua e Terra. O Quadro 1 mostra as principais características destes sensores, que possibilitam extrair informações sobre plantas e solos.

Existem também os sensores do tipo radar, instalados em plataformas terrestres, que produzem sua própria energia eletromagnética na região de microondas. Os radares meteorológicos têm como função localizar a presença de chuva em sua área de abrangência, sendo utilizados para previsão do tempo e de inundações. O radar emite ondas eletromagnéticas que, ao passar por uma nuvem, causam em cada gota uma ressonância na frequência da onda incidente. Desse modo, cada gota produz ondas eletromagnéticas que são irradiadas

em todas as direções. Parte dessa energia gerada pelo volume total de gotas volta ao prato do radar. Sabendo-se o momento em que o feixe de onda foi emitido pelo radar e quanto tempo depois o sinal retornou, determina-se a distância do alvo ao radar. A intensidade do sinal de retorno está ligada ao tamanho e à distribuição das gotas no volume iluminado pelo radar.

O radar não mede diretamente a chuva, mas recebe um determinado nível de retorno dos alvos de chuva denominado refletividade. Esta refletividade possui uma relação física com o espectro de gotas observado. A partir deste espectro pode-se determinar a relação entre a refletividade do radar e a taxa de precipitação correspondente. A Figura 5 apresenta a imagem composta dos radares de Bauru e de Presidente Prudente.

São inúmeras as aplicações dos dados de sensoriamento remoto em estudos do meio ambiente, especialmente no monitoramento da vegetação. Neste campo merecem destaque as pesquisas de monitoramento das florestas tropicais, os estudos

QUADRO 1 - Características dos satélites ambientais meteorológicos

Características	GOES	AVHRR/NOAA	MODIS (Aqua/Terra)
Órbita	Geoestacionária	Quase polar	Quase polar
Altitude	36.000 km	850 km	705 - 707 km
Tempo de imagens	30 min	12 horas	1 - 2 dias
Número de canais espectrais	5	5	36
Resolução espacial	1, 4 e 8 km	1,1 km	250 m (bandas 1-2) 500 m (bandas 3-7) 1 km (bandas 8-36)

NOTA: GOES – Geostationary Satellite Server; AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer; NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration; MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

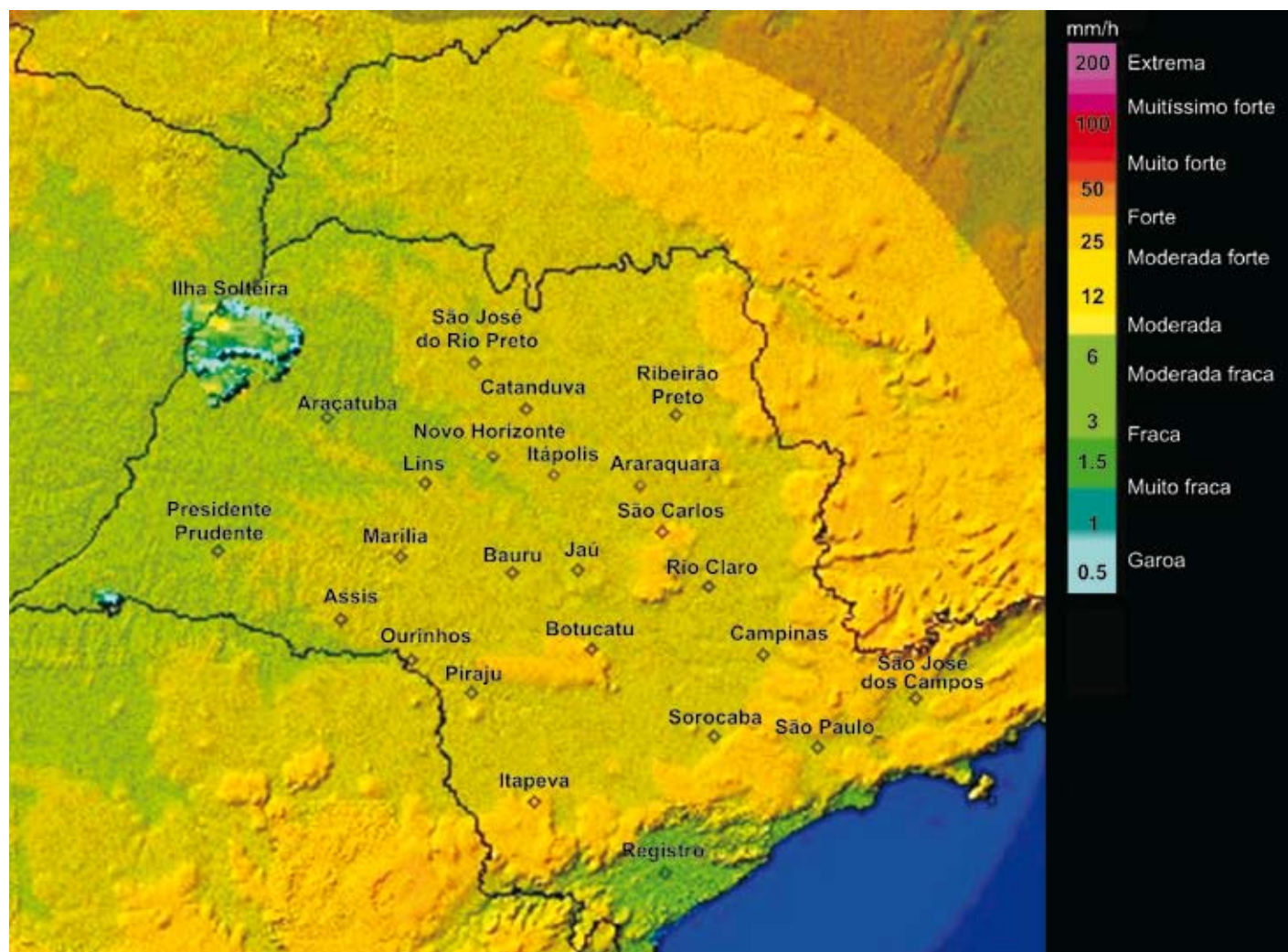


Figura 5 - Imagem composta dos radares de Bauru e de Presidente Prudente

FONTE: Ipmet (2008).

NOTA: No dia 10/4/2008 às 9 horas.

dos desmatamentos, de averiguação da dinâmica da vegetação, de determinação e previsão de seca, de avaliação de risco de incêndio e estudos de correlação com dados pluviométricos.

### Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES

Das variáveis que compõem o balanço hídrico, a precipitação é, certamente, o fator natural determinante da produção agrícola no País. A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados com o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, o excesso de precipitação também pode influenciar negativamente a quantidade e a qualidade dos grãos a serem colhidos.

Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisão é o acompanhamento das condições climáticas. A rede de estações de superfície é deficiente e mal distribuída e nem sempre os dados são disponibilizados. Deve-se considerar, ainda, que a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação impede que o pluviômetro represente adequadamente as chuvas incidentes em uma determinada área.

A estimativa de precipitação a partir de imagens obtidas por satélites ou radares, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode-se apresentar como a única forma de obtenção de dados pluviométricos representativos de uma determinada área.

Avila (2006) propôs um método de estimativa de precipitação para fins agrícolas por meio de imagens do satélite meteorológico GOES, utilizando como referência terrestre os dados do radar meteorológico do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (Ipmet) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (Unesp), localizado em Bauru, e quatro pluviômetros localizados dentro da área de cobertura do radar. Os resultados mostram que precipitações oriundas de nuvens mais frias são mais previsíveis pelos satélites do que

as provenientes de nuvens mais quentes. Segundo esse autor, o estudo desenvolvido indica a possibilidade de acompanhamento dos intervalos de estiagens em regiões agrícolas com o uso de imagens de satélite, que se tornam ferramenta adequada ao monitoramento agrícola, na estimativa de quebra de safras no País.

### Estimativa do potencial de incêndios em pastagens

Volpato (2002), com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de sistemas de prevenção de incêndio em áreas de pastagem, realizou um estudo para estimar índices de perigo de incêndios, utilizando AVHRR/NOAA. Esse estudo foi realizado nos períodos de seca (junho a setembro), dos anos de 1998 e 1999, na Fazenda Experimental do Instituto de Zootecnia da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, localizada no município de Nova Odessa. Foram realizadas medidas de umidade da vegetação (pastagem de *Brachiaria* sp.) e do solo, estudo diário das variáveis meteorológicas, cálculo diário dos índices de perigo de incêndio e coleta de dados radiométricos de campo e do satélite AVHRR/NOAA.

A umidade da vegetação foi correlacionada com os índices de perigo de incêndio, com o balanço hídrico climatológico, com as respostas espectrais do campo e as imagens AVHRR/NOAA.

Nos períodos de seca de 1998 e 1999, a umidade do material combustível decresceu de 50% a 45%, para 35% a 30%. No início do período de maior número de focos de fogo, a umidade do material combustível foi menor que 40%. Os resultados também mostraram que um déficit de 60% de água disponível no solo, para uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 125 mm, pode representar perigo de incêndio em pastagens. Fatores de reflectância no Canal 1 (vermelho) do AVHRR/NOAA maiores que 0,07 e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI<sup>4</sup>) menores que 0,5 podem representar perigo de incêndios em pastagens, com 80% de probabilidade de acerto. O Quadro 2 apresenta valores do coeficiente de correlação entre as variáveis fator de reflectância no Canal 1, NDVI, umidade da vegetação *Brachiaria*, umidade do solo, dias sem chuva maior que 10 mm e fórmula de Monte Alegre (FMA) para os anos de 1998 e 1999.

QUADRO 2 - Valores do coeficiente de correlação (r) entre as variáveis: fator de reflectância no Canal 1 (C1), NDVI (ambos obtidos a partir do AVHRR/NOAA), umidade do material combustível (UMC), umidade do solo (US), dias sem chuva maior que 10 mm (DSC10) e fórmula de Monte Alegre (FMA), para os anos de 1998 e 1999 e calculados a partir de sete imagens

Variáveis	C1	NDVI
Em 1998		
UMC	-0,89	0,73
US	-0,78	0,65
DSC10	0,81	-0,76
FMA	0,84	-0,67
Em 1999		
UMC	-0,64	0,72
US	-0,63	0,79
DSC10	0,82	-0,89
FMA	0,84	-0,89

FONTE: Volpato (2002).

NOTA: Correlações significativas a 5%.

<sup>4</sup>NDVI = (Infravermelho - vermelho)/(Infravermelho + vermelho).

Segundo Volpato (2002), o emprego das imagens do satélite AVHRR/NOAA demonstrou grande potencial para estimativa do grau de perigo de incêndios em pastagens, em consequência da sua freqüência de imageamento e dos bons resultados obtidos neste trabalho.

A Figura 6 apresenta a imagem do canal infravermelho do AVHRR/NOAA, do dia 24/6/99, utilizada para estimar o perigo de incêndio em pastagem de *Brachiaria* em Nova Odessa.

### Detecção de geada em lavouras de café

Os danos causados pela geada são geralmente avaliados por métodos convencionais, que requerem intensivo trabalho

de levantamento no campo. Este trabalho, além de caro, é subjetivo, muito demorado e quase sempre leva à especulação do mercado cafeeiro por falta de um real dimensionamento do impacto da geada sobre as lavouras.

A geada provoca mudanças fisiológicas na vegetação que podem ser observadas por sensores remotos, em função das mudanças no comportamento espectral das coberturas vegetais afetadas. Portanto, uma alternativa para substituir a metodologia convencional pode ser o emprego de imagens de satélite para detectar a abrangência da área atingida por geada.

Para avaliar o uso de imagens do sensor MODIS para detectar áreas cafeeiras atingidas por geada no Noroeste do estado

do Paraná, Rafaelli e Moreira (2007) estudaram duas geadas de alta intensidade ocorridas nos dias 13 e 17 de julho de 2000. Foram selecionadas imagens MODIS, bandas 1 e 2 (correspondentes ao vermelho e infravermelho), com resolução de 250 m, obtidas nas datas 6, 17 e 24 de julho de 2000. As imagens e informações de campo coletadas com GPS em 36 lavouras afetadas pela geada foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (Spring). Também foram processadas as imagens NDVI, que permitem avaliar as mudanças de vigor da vegetação. O Gráfico 1 mostra os valores médios de NDVI das 36 lavouras de café avaliadas nas três datas das imagens MODIS.

Dados meteorológicos, correspondentes às temperaturas mínimas ocorridas nos dias das geadas, foram obtidos nas estações meteorológicas terrestres. Foram registradas temperaturas mínimas de 2,5°C a 0,2°C em Bandeirantes, -0,2°C a -1,3°C em Londrina e 2,4°C a 0°C em Irati, nos dias 13 e 17 de julho, respectivamente.

Com os resultados obtidos, Rafaelli e Moreira (2007) concluíram que no estado do Paraná foi possível observar o vigor vegetativo da cultura do café ao analisar imagens MODIS obtidas antes e depois da ocorrência de geada e detectar as áreas atingidas.

### Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na Região Sul/Sudoeste de Minas Gerais

Rosa (2007) desenvolveu um modelo agrometeorológico-espectral utilizando imagens do satélite MODIS para monitorar e estimar a produtividade de áreas cafeeiras na Região Sul/Sudoeste do estado de Minas Gerais.

A fim de obter uma caracterização espectral da cultura do café, foi avaliado o comportamento dos índices de vegetação, Índice de Vegetação Potencializado (EVI) e NDVI, oriundos das imagens MODIS, para três tipos de lavoura de café: café em

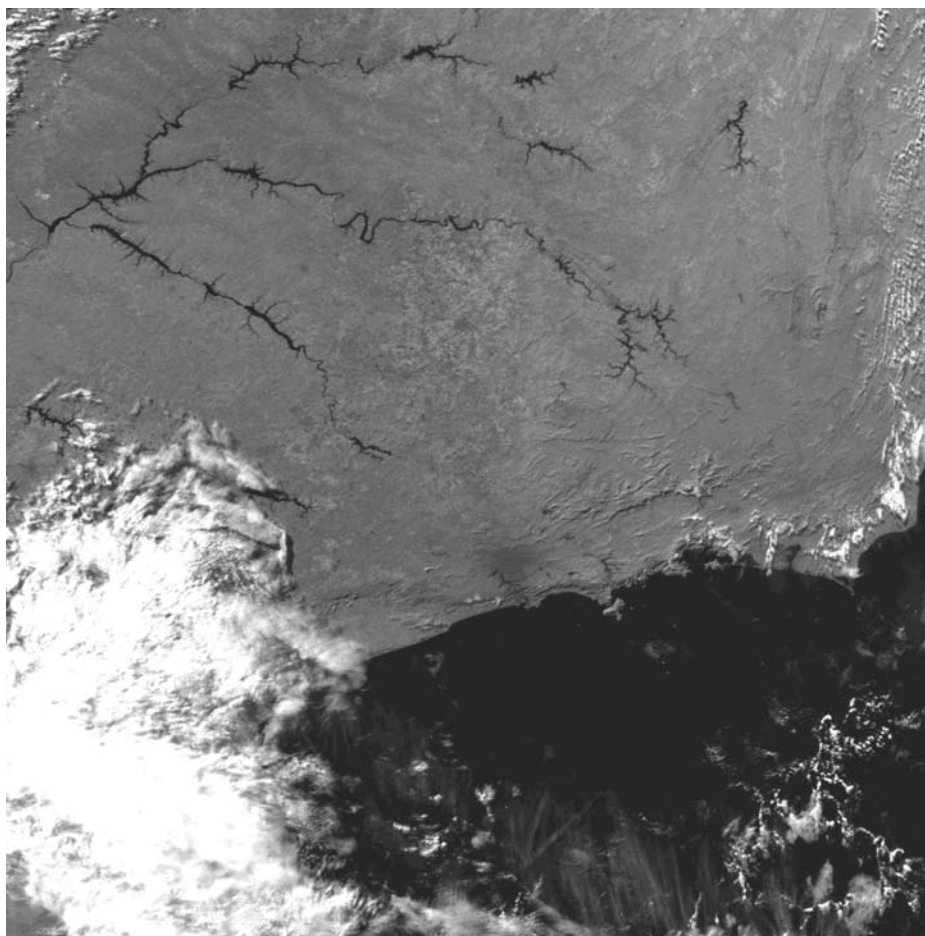


Figura 6 - Imagem do canal infravermelho do AVHRR/NOAA

FONTE: Volpato (2002).

NOTA: No dia 24/6/1999.

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer; NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration.



produção, café em formação e café podado. Os resultados mostraram que os índices apresentaram relação com a fenologia e o manejo da cultura. A estimativa da produtividade regional, microrregional e municipal foi realizada para os anos agrícolas 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005. A metodologia consistiu em

adaptar um modelo agrometeorológico-espectral inserido em um SIG, cuja variável espectral de entrada é o Índice de Área Foliar (IAF) estimado a partir das imagens NDVI do sensor MODIS.

Outras variáveis de entrada foram os dados meteorológicos gerados pelo modelo regional de previsão de tempo Eta e

a capacidade de água disponível no solo, obtida a partir de um mapa de solos. Os parâmetros do modelo foram ajustados com base nos dados de produtividade disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005. As diferenças relativas entre a estimativa da produtividade pelo modelo proposto e os dados do IBGE, na escala regional, foram de 0%; 14,36%; 0,6% e 2,4% para os anos agrícolas 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente (Quadro 3). Em escala microrregional, os melhores resultados foram obtidos para os anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005, cujas diferenças relativas não ultrapassaram 11%.

Segundo Rosa (2007), os resultados encontrados comprovaram o grande potencial da aplicação do modelo agrometeorológico-espectral para obtenção da estimativa da produtividade de áreas cafeeiras, em escala regional, utilizando-se imagens MODIS.

Outros estudos, utilizando geotecnologias e agrometeorologia, foram descritos por Vieira et al. (2007), Alves et al. (2007), Meireles et al. (2007), Camargo et al. (2007), Caramori et al. (2007) e Machado et al. (2007). Os trabalhos completos podem ser encontrados no Informe Agropecuário (2007).

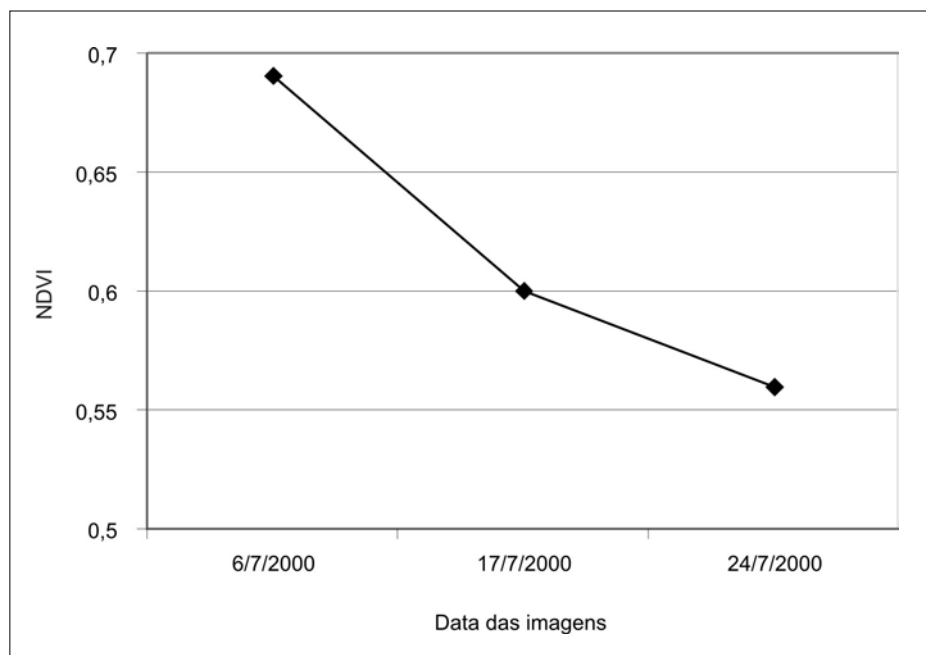


Gráfico 1 - Valores médios de NDVI de 36 lavouras de café para três datas de imagens MODIS

FONTE: Rafaelli e Moreira (2007).

NOTA: NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

QUADRO 3 - Produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico-espectral para a Região Sul/Sudoeste de Minas Gerais

Ano agrícola	Dado	Produtividade (kg/ha)	Diferença (kg/ha)	%
2001/2002	IBGE	1.266	0	0
	Modelo	1.266		
2002/2003	IBGE	724	+104	14,36
	Modelo	828		
2003/2004	IBGE	1.175	-7	0,60
	Modelo	1.168		
2004/2005	IBGE	823	+20	2,43
	Modelo	803		

FONTE: Rosa (2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo não teve a pretensão de abranger todos os estudos, utilizando geotecnologias na agrometeorologia. Existem inúmeros outros exemplos de aplicações no monitoramento de áreas irrigadas, zoneamento agroclimatológico, monitoramento e previsão climática. No Brasil, o uso de geotecnologias cresce, porém lentamente, pois não há suficientes recursos humanos e as instituições ainda resistem às inovações. Países como os Estados Unidos, Canadá, Índia, Japão, China e a maioria dos países europeus têm investido em inúmeros estudos agroclimatológicos utilizando as geotecnologias. Na literatura internacional existe um vasto número de artigos publicados que vêm demonstrar a importância desta área.

Imagens de satélites, aparelhos GPS e SIGs são geotecnologias que evoluem rapidamente e tornam-se cada vez mais acessíveis. Por seu caráter multidisciplinar, contribuem cada vez mais em diversos campos de conhecimento e auxiliam na tomada de decisão e no planejamento local e regional, contribuindo para a proteção ambiental e o incremento sustentável da produção agropecuária.

## REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Mapas de índice-MG**. Campinas, [2008a]. Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/SPI/mapa\\_MG\\_CLI.html](http://www.agritempo.gov.br/SPI/mapa_MG_CLI.html)>. Acesso em: ago. 2008.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas, [2008b]. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: abr. 2008.

ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C.; BERNARDES, T.; LACERDA, M.P.C.; VOLPATO, M.M.L. Dinâmica espaço-temporal de ambientes cafeeiros de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.38-49, nov./dez. 2007.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R. de; SILVA, F.A.M. da. **Veranicos na região dos Cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.993-1003, set. 1993.

AVILA, A.M.H. de. **Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12**. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

CAMARGO, M.B.P. de; ROLIM, G. de S.; SANTOS, M.A. dos. Modelagem agroclimatológica do café: estimativa e mapeamento das produtividades. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.58-65, nov./dez. 2007.

CARAMORI, PH.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MORAIS, H.; CARNEIRO FILHO, F.; DUQUA, C. Sistema de alerta para geadas na cafeicultura do Paraná. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.66-71, nov./dez. 2007.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

INFORME AGROPECUÁRIO. Geotecnologias. Belo Horizonte: EPAMIG, v.28, n.241, nov./dez. 2007. 120p.

IPMET. **Instituto de Pesquisas Meteorológicas**. Bauru, [2008]. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br>>. Acesso em: abr. 2008.

MACHADO, M.L.; SIMÃO, M.L.R.; GOMES, I.; NAIME, U.J. Zoneamento agropedoclimático da mamona para o estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.72-78, nov./dez. 2007.

MEIRELES, E.J.L.; VOLPATO, M.M.L.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C. Zoneamento agroclimático: um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.50-57, nov./dez. 2007.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307p.

PELLEGRINO, G.Q.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; BRUNINI, O. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA-SPI; EMBRAPA-CPAC, 1998. cap.17, p.329-348.

RAFAELLI, D.R.; MOREIRA, M.A. Detecção de geada em lavouras de café. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Org.). **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. cap.11, p.145-155.

ROSA, V.G.C. da. **Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região Sul/Sudoeste do estado de Minas Gerais**. 2007. 142f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

VIEIRA, T.G.C.; ALVES, H.M.R.; VOLPATO, M.M.L.; SOUZA, V.C.O. de; BERNARDES, T. Sistema de geoinformação para a cafeicultura do Sul de Minas. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.16-26, nov./dez. 2007.

VOLPATO, M.M.L. **Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens**. 2002. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

186mm x 50mm