

## Emprego de imagens do TM/Landsat-5 e da abordagem de classificação híbrida para mapear áreas de citros no estado de São Paulo

Mauricio Alves Moreira<sup>1</sup>  
Marco Adami<sup>1</sup>  
Marco Aurélio Barros<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{mauricio, adami, barros}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Brazil is the world's largest citrus producer with more than 800 thousand hectares of cultivated area generating around 400 thousands jobs. According to the Brazilian official statistics São Paulo State has more than 650 thousand hectares of cultivated citrus area. However, this statistic is based on traditional and subjective methods. Therefore, the present work has the objective to propose an alternative method based on medium spatial resolution remote sensing imagery interpretation and on Geographic Information System (GIS) technologies to provide an objective and reliable agricultural statistic on cultivated citrus area in São Paulo State for the crop year of 2007. Multitemporal images from the TM sensor onboard of Landsat-5 satellite were digitally processed and visually interpreted on the computer screen using the Spring software which is a GIS with images processing capabilities. The resultant thematic map provided the spatial distribution of cultivated citrus and allowed calculating the cultivated area at local and regional levels. It was not possible to distinguish among different citrus types. Further studies need to be performed to evaluate the mapping accuracy and the precision of the agricultural statistic on cultivated citrus. Compared to the official statistic the present result was underestimated by 11.3% which might be partially related to the sugarcane expansion on citrus plantations and due to the fact that newly planted citrus areas are difficult to be identified on remote sensing images.

**Palavras-Chaves:** Citrus crop, Remote Sensing, mapped area, Cultura do Citros, Sensoriamento Remoto, área mapeada

### 1. Introdução

O Brasil, com mais de 800 mil hectares ocupadas com a citricultura, é o maior produtor mundial. De acordo com as estatísticas oficiais a cultura do citros, no estado de São Paulo, ocupa uma área de aproximadamente 650 mil hectares, tornando-o principal estado produtor (Neves et al., 2001). As plantas cítricas mais cultivadas neste estado são: a laranja (92,88%), o limão (4,15%) e a tangerina das variedades murcote (1,00%) e poncã (4,97%) (IEA, 2008). Para exemplificar a importância desta cultura, o valor bruto da produção de citros, contabilizando apenas a fruta *in-natura*, do Estado de São Paulo, atingiu a ordem de R\$ 4,3 bilhões, no ano de 2006, ficando apenas atrás do valor gerado pela cana-de-açúcar (Tsunechiro et al., 2007).

As plantas cítricas mais cultivadas no estado de São Paulo são: a laranja (92,88%), o limão (4,15%) e a tangerina das variedades murcote (1,00%) e poncã (4,97%).

Com relação à evolução da citricultura no estado de São Paulo, estudos recentes feitos por pesquisadores do Instituto de Economia Agrícola (IEA), mostraram que no período entre 2001 a 2006, os pomares de laranja cederam 1,4% de sua área, principalmente para a cana-de-açúcar (IEA, 2008). Tal comportamento não é idêntico em todas as regiões do Estado de São Paulo. Na maioria das regionais cítricas tradicionais houve perda de área de laranja para outras atividades agrícolas. Como exemplo, nas regiões de Catanduva, Jaboticabal e Barretos a substituição de áreas de citros por outras atividades agrícolas foi de 33,6%, 41,3% e 16,6%, respectivamente. Por outro lado, em Araraquara, São João da Boa Vista e Ribeirão Preto,

neste mesmo período, houve expansão das áreas com laranja de 27,1%, 11,7% e 5,6%, respectivamente.

Diversos estudos sobre citricultura utilizando técnicas de sensoriamento remoto são observados em modelos agrometeorológicos, onde, geralmente através de fotografias aéreas se procura obter estimativas de rendimento agrícola (Martins e Ortolani, 2006; Paulino et al., 2007; Holland, 1993; Blazquez et al., 1998). Em um estudo multitemporal com imagens do TM/Landsat-5, Duarte et al., (2001) classificaram e estimaram a área cultivada com citros no município de Itápolis-SP, que se encontra em uma região de grande atividade citrícola. Neste estudo os autores ressaltam a importância do mapeamento através de edição matricial para a correção dos erros da classificação automática.

Em outro estudo na região de Limeira, no Estado de São Paulo, Castillo e Formaggio (2005) utilizaram imagens CCD/CBERS para mapear área de citros. Os autores avaliaram os resultados de classificação de diversos classificadores e concluíram que o classificador Bhattacharya obteve os melhores resultados. Neste estudo também avaliaram a importância do uso de fotografias aéreas para mapear plantações que ocupam uma pequena área. No entanto, verifica-se que o emprego de imagens de satélites para mapeamento de citros, até então, foi em áreas testes e de modo muito fragmentado.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo agregar conhecimentos em geotecnologia e aplicá-los no mapeamento de áreas de citros em todo o estado de São Paulo, para o ano agrícola de 2007.

## 2. Material e Metodos

### 2.1. Área de estudo

O estado de São Paulo localiza-se entre 20° 00' 00" e 25° 00' 00" de latitude Sul e 47° 00' 00" a 54° 00' 00" longitude Oeste.

### 2.2. Imagens de satélite

Para o mapeamento das áreas de citros foi necessário criar um banco de dados geográficos (BDG). Neste banco foram introduzidas 16 imagens do sensor TM, conforme é mostrado na Figura 1. Nesta pesquisa a interpretação foi realizada em composição coloridas das bandas TM3 (B), TM4(R) e TM5(G). As imagens foram adquiridas no período seco, entre os meses de junho a outubro de 2007. Nesta época do ano aumenta a probabilidade de obter imagens livres de nuvem e há menor interferência de culturas anuais.

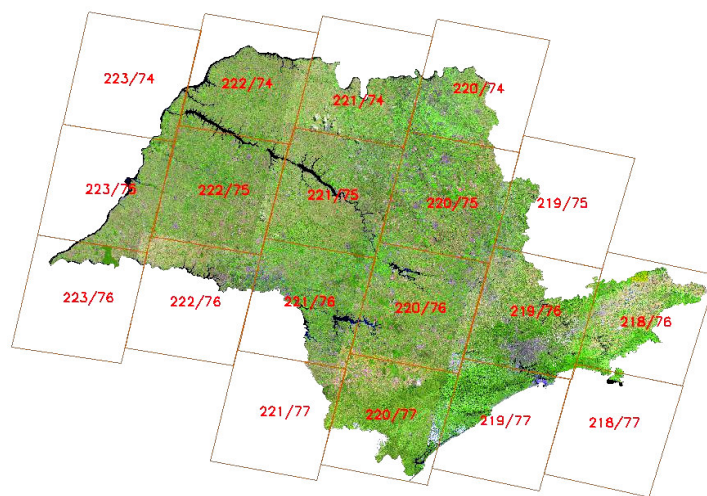


Figura 1 – Mosaico de imagens de satélites do estado de São Paulo com a grade de órbita/ponto do sensor TM/Landsat.

### 2.3. Metodologia

A metodologia desenvolvida para mapear o citros pode ser resumida em duas fases: uma computacional e outra interativa. A fase computacional constou de três etapas: 1) restauração das imagens; 2) criação do banco de dados geográfico e 3) classificação das imagens. A fase interativa foi composta pelas etapas de edição matricial sobre os resultados da classificação e confronto dos dados com os dados oficiais (Figura 2).

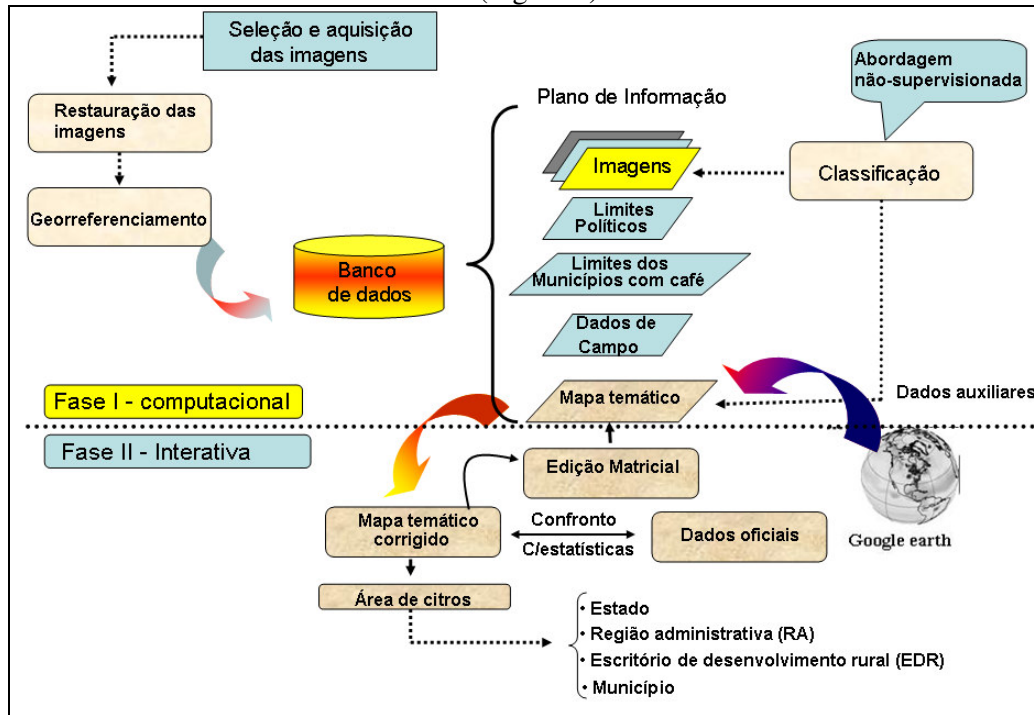


Figura 2 – Fluxograma da metodologia utilizada para o mapeamento do citros.

O procedimento de restauração teve como objetivo reduzir as distorções introduzidas nas imagens pelo desgaste natural dos sensores. De acordo com Fonseca (1988) a restauração é realizada por um filtro linear. Os pesos do filtro de restauração são obtidos a partir das características do sensor, e não de forma empírica como é feito no caso dos filtros de realce tradicionais. Neste caso, o filtro é específico para cada tipo de sensor e banda espectral. Ao restaurar as imagens pode-se optar por uma imagem de saída com tamanho de pixel menor do que o original. Nesta pesquisa foi utilizado o tamanho do pixel de 10m x 10m.

Sobre as imagens restauradas fez-se o georreferenciamento para associar os pixels da imagem a uma coordenada geográfica. O interpolador utilizado no georreferenciamento foi o bilinear. As imagens georreferenciadas foram introduzidas num banco de dados geográfico. Cada órbita/ponto do TM/Landsat-5 foi considerada um projeto independente dos demais, para que dois ou mais interpretes pudessem trabalhar ao mesmo tempo e otimizar o processamento dos dados. Em cada projeto foram inseridos dados cadastrais e limites geográficos do estado e municípios. Além disso, foi introduzido o limite da área útil da cada cena.

Na fase de classificação foram realizados procedimentos de realce de imagens e recorte da área a ser interpretada, ou seja, a área que efetivamente pertencia ao estado de São Paulo. Esse recorte foi realizado com base numa máscara contendo o limite estadual.

Para classificar a imagem foi aplicada uma abordagem não-supervisionada, em que o algoritmo de classificação utilizado foi o ISOSEG, implementado no aplicativo SPRING.

Para corrigir os erros de classificação, tanto de inclusão (mapeamento de áreas de outros usos do solo como sendo citros) como de omissão (áreas de citros não classificadas), foi realizado o processo de edição matricial. Neste processo o interprete passa a interagir com o computador para corrigir estes erros por meio de interpretação na tela do computador. Essa interpretação consiste de um link dinâmico entre o analista e o computador, que permite visualizar vários Planos de Informação (PI's) de forma simultâneas e interativa. A magnitude desse procedimento depende dos resultados da classificação automática.

Para avaliar os resultados da interpretação não existe um dado oficial atrelado ao erro. Na maior parte essa informação é subjetiva. A informação divulgada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) parece ser a mais aceita pela comunidade de citricultores e cooperativas. Por isso os resultados desta pesquisa foram comparados com os dados do IEA (IEA, 2008).

### 3 . Resultados e discussão

Durante a fase de interpretação verificou que o comportamento espectral do citros é bem característico e varia pouco de um local para outro, porém dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, densidade de plantas e condições fitossanitárias a tonalidade varia de um marrom escuro até uma tonalidade de marrom-claro, conforme é mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Imagem do sensor TM/Landsat-5, em composição colorida TM4(R), TM5(G) e TM3(B), para mostrar as variações na tonalidade de áreas de citros (dentro do polígono amarelo).

Após a classificação realizou-se a Edição Matricial para corrigir erros de classificação (omissão e/ou inclusão). Durante a fase de edição matricial usou-se outros dados auxiliares, dentre eles a informação subjetiva do Instituto de Economia Agrícola (IEA). As divergências e dúvidas de interpretação, em muitos casos foram sanadas através de telefonemas para o Engenheiro extencionista da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) que atua no município. Os resultados finais foram espacializados sobre uma base cartográfica contendo o limite do estado e das Regiões Administrativas (RA's), conforme é mostrado na Figura 4.

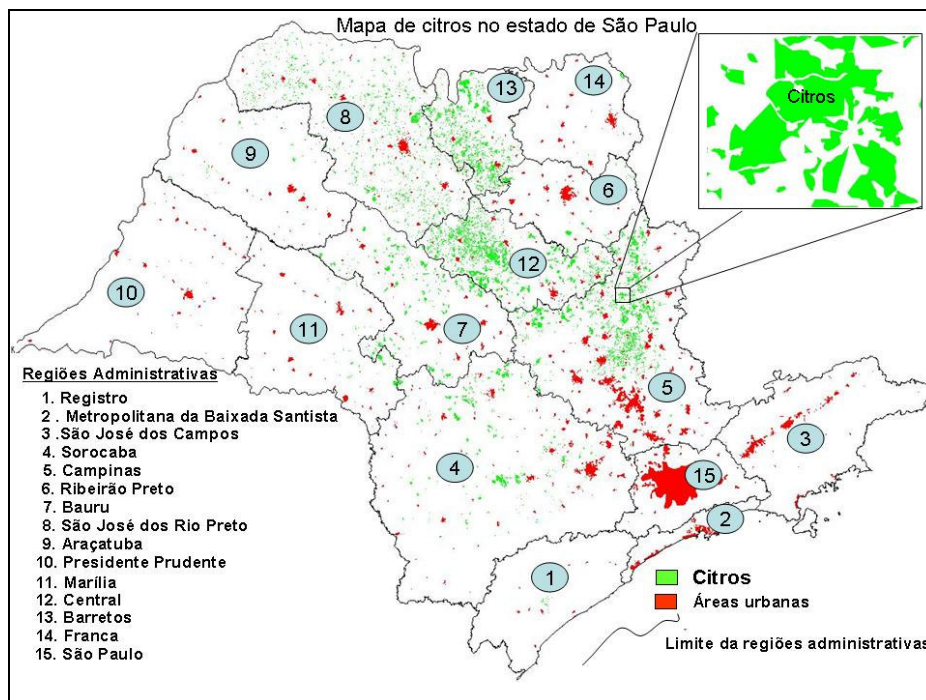


Figura 4 – Mapa do estado de São Paulo com os limites das Regiões Administrativas e a distribuição espacial das áreas de citros e urbanas, para o ano de 2007.

Ao observar o mapa da Figura 4, nota-se que a citricultura no Estado se concentra basicamente em seis regiões administrativas, ou seja: Barretos (13); Bauru (7), Campinas (5); Central (12); São José do Rio Preto (8) e Sorocaba (4). Nessas seis regiões a área ocupada com citros corresponde a 524.508,9 ha ou 97,3%, mesmo assim nota-se que a área de citros nestas seis regiões varia de 40.866,1 ha na região de Bauru até 148.854,0 ha na região de Campinas, conforme é mostrado no gráfico da Figura 5.

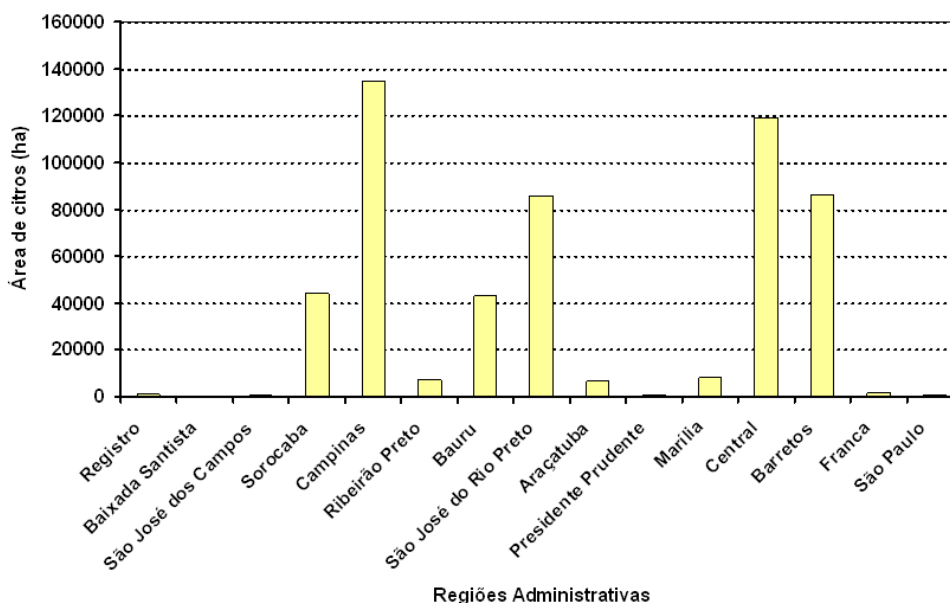


Figura 5 – Área de citro por Regiões Administrativa (RA) no estado de São Paulo, obtida através da interpretação de imagens do TM/Landsat-5.

Na Tabela 1 procurou-se avaliar os resultados da interpretação com os dados do IEA, mesmo sabendo da subjetividade desses dados.

Tabela 1 – Área de citros obtida através da interpretação de imagens TM/Landsat-5 e do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

N	Região Administrativa	Área de citros (ha)		Diferença a-b
		Interpretada imagem (a)	IEA* (b)	
1	Araçatuba	6.348,0	5.899,0	449,0
2	Baixada Santista	15,6	21,8	-6,2
3	Barretos	86.278,5	90.258,8	-3980,3
4	Bauru	40.866,1	48.803,8	-7937,7
5	Campinas	148.854,0	163.844,6	-14990,6
6	Central	118.985,5	138.133,1	-19147,6
7	Franca	1.646,2	2.843,7	-1197,5
8	Marília	2.671,3	10.169,2	-7.497,9
9	Presidente Prudente	265,3	313,6	-48,3
10	Registro	1.059,1	47,7	1011,4
11	Ribeirão Preto	6.980,4	8.896,8	-1916,4
12	São José do Rio Preto	85.840,8	89.603,2	-3762,4
13	São José dos Campos	350,4	575,4	-225,0
14	São Paulo	297,2	674,4	-377,2
15	Sorocaba	43.684,0	53.763,8	-10.079,8

\* Instituto de Economia Agrícola

Conforme é observado nos dados da Tabela 1, na maioria das RA's área de citros obtida através da interpretação das imagens TM foi menor do que a estimada pelo IEA. Essa diferença está intimamente relacionada duas causas: a) o não mapeamento de lavouras de citros novos (com menos de 1,5 anos de idade) e b) a metodologia adotada pelo IEA para converter números de pés para hectare.

O instituto de Economia Agrícola adota o número de 320 pés por hectare para converter pés de citros em área. No entanto o próprio instituto admite que esse fator (320 pés) de conversão não corresponde a realidade, pois há um aumento expressivo na densidade de plantio do citros que pode chegar em até 800 pés por hectare (IEA, 2008). Este mesmo problema já havia sido comentado por [Caser et al.; 2000; Caser e Amaro (2004)]. Estes autores relataram que o aumento da densidade de plantio de citros é um fator que vem sendo registrado em São Paulo, devido a valorização das terras e a necessidade de maior produtividade por área, ou seja a maior produtividade por área é mais importante do que a produção por planta. Segundo Caser et. al. (2000) esse ponto deve ser considerado quando são feitas comparações, com outras regiões citricolas. Por outro lado, ao aumentar a densidade de pés por hectare há uma redução na área total.

No informativo do instituto de Economia Agrícola (IEA, 2008) sobre a previsão de safras da laranja no estado de São Paulo 2007/08 as área plantada com esta cultura é de 691.000,26 ha. Neste mesmo informativo é ressaltado também mudanças no padrão tecnológico da citricultura visto que as mudas são provenientes de viveiros telados, a densidade de plantio (média estadual) que era de 260 pés por hectare nos anos finais da década de noventa passou a 320 e a relação mais atual parece indicar pomares novos com densidade de 700 pés por a 830 pés por hectare. Isto mostra que os resultados da interpretação das imagens não podem ser avaliados em relação a dados subjetivos, pois se o número total de pés for dividido por densidade diferente haverá oscilação na área. Uma certeza é que o mapa com a espacialização da citricultura, dobtido através da interpretação das imagens de satélites, pode ser aferido por

qualquer pessoa enquanto as informações subjetivos pode não ter essa mesma facilidade. O próximo passo será estabelecer um método estatístico para avaliar a precisão do mapa.

#### 4. Conclusões

O emprego de imagens de satélites, de média resolução espacial, como é o caso das imagens obtidas pelo sensor TM/Landsat-5, tem-se mostrado com grande potencial para mapear áreas agrícolas. Nessa pesquisa ficou constatado o potencial dessas imagens para o mapeamento de áreas de citros. Assim, pode-se tirar algumas conclusões: a) este trabalho é pioneiro no sentido de espacializar a citricultura no Estado de São Paulo e mostrar em forma de mapa temático a concentração do citros em seis regiões administrativas; b) a restauração das imagens TM foi impressionante para o mapeamento do citros; c) a diferença entre a área interpretada através das imagens com a informada pelo IEA esta relacionada com a metodologia de conversão de pés de citros para área e o não mapeamento de citros novos.

#### Referencia Bibliográfica

Blazquez, C.H.; Adair Jr, R.C.; Dennis, G.D.; Butts, J.; Brady, D.; Whittaker, H.M. Application of aerial photography and videograph to citrus tree inventory. **Proc Florida State Horticultural Society Meeting**, St. Petersburg, FL, 1-3, p. 173-177, nov. 1998.

CAMARGO, A. M.M.P.de; et al Dinâmica e Tendência da Expansão da Cana-de-Açúcar Sobres as Demais Atividades Agropecuárias, Estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, SP, v.38, n.3, mar.2008.

Caser, D.V.; Amaro, A.A. Evolução da Produtividade na citricultura paulista. In: **Informações Econômicas**, SP, v. 34, n.10, p. 7- 12. aut. 2004

Caser, D.V.; Camargo, A.M.M.P. de; Amaro, A.A. Densidade de plantio em cultura perenes na agricultura paulista. **Informação Econômicas**, SP, v.30, n.7, p.45-53, 2000.

Castillo, S.C.P.; Formaggio, A.R. **Evaluación de datos del satélite CBERS para mapeamento de áreas cítricas a nível municipal**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 865-872.

Duarte, V.; Moreira, M. A.; Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E. **Banco de informações agrícolas do município de Itápolis- SP, utilizando imagens de satélite e sistema de informações geográficas**. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu, 2001. p. 51-58.

Fonseca, L. M. G., **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. São José dos Campos. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1988.

Holland, M. How FASS forecasts the citrus crop. **Citrus Industry**, v.74, n.3, p.24-26, 1993.

IEA – Instituto de Economia Agrícola. Área e produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo (2007). Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>. Acesso em out. 2008.

Martins, A.N.; Ortolani, A.A. Estimativa de produção de laranja valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. **Bragantia**, v.65, n.2, p. 355-361, 2006.

Neves, E.M.; Dayoub, M.; Dragone, D.S.; Neves, M.F. Citricultura brasileira: efeitos econômico-financeiros, 1996-2000. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal-SP, v.23, n.2, p.432-436, ago.2001.

Paulino, S.E.P.; Mourão Filho, F.A.; Maia, A.H.N.; Avilés, T.E.C.; Dourado Neto, D. Agrometeorological models for 'Valencia' and 'Hamlin' sweet oranges to estimate the number of fruits per plant. *Scientia Agricola*, v.64, n.1'jan./fev. 2007.

Tsunechiro, A.; Coelho,P.J.; Caser, D.V.; Amaral, A.M.P.; Martins, V.A; Bueno, C.R.F; Ghobril, C.N.; Pinatti, E. Valor da produção agropecuária do Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v.37, n.4, p.53-63, abr/2007.