

EXPANSÃO DIRETA NA ESTIMATIVA DE CULTURAS AGRÍCOLAS POR MEIO DE SEGMENTOS REGULARES

Direct expansion in the estimate of agricultural cultures by regular segments

Marcos Adami¹
Mauricio Alves Moreira²
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff²
Corina da Costa Freitas²
Rogério Teixeira de Faria³

¹ Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná

Av. Minas Gerais, 1351 - 86300-000 - Cornélio Procópio - PR, Brasil
adami@seab.pr.gov.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mauricio, bernardo}@itid.inpe.br; corina@dpi.inpe.br

³ Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

Caixa Postal 481- 86047-902 - Londrina - PR, Brasil
rtfaria@iapar.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para estimar a área de café, milho e soja na região de Cornélio Procópio, Estado do Paraná, Brasil. Essa região compreende ao todo 23 municípios. O método para a estimativa da área foi a expansão direta com segmentos regulares de 1 km x 1 km. Para a estratificação foram utilizadas imagens obtidas por satélites de sensoriamento remoto, procedimentos de classificação de imagens, Sistema de Informação Geográfica (SIG), GPS (*Global Positioning System*) entre outros. Foi amostrada uma área de 1,26% da área total da região, o que corresponde a 89 segmentos. Esses segmentos foram visitados num trabalho de campo durante o período de 29 de outubro a 10 de dezembro de 2002. A comparação entre os resultados desta pesquisa e as estimativas oficiais indicou que as melhores estimativas foram para a cultura da soja, que ocupa 32,1% da região. A estimativa da área de soja teve uma diferença de 5,9% em relação à estimativa oficial e um coeficiente de variação igual a 6,6%. O resultado foi disponibilizado uma semana após o término do trabalho de campo, indicando a agilidade do método. As conclusões do trabalho são: 1) o mapeamento temático das imagens permitiu estratificar a região e também pode ser usado para auxiliar o levantamento subjetivo; 2) com o uso do GPS os segmentos puderam ser localizados a campo com facilidade; 3) as estimativas foram obtidas de forma rápida e atenderam ao critério de oportunidade; 4) as estimativas têm um erro associado, atendendo ao critério de confiabilidade e; 5) os erros das estimativas variaram em função da área ocupada pela cultura na região.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, estimativa de área, estatísticas agrícolas.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a method to estimate the crop area of coffee, maize and soybean in the region of Cornélio Procópio, Paraná State, Brazil. This region comprises a total of 23 municipalities. The direct expansion method with regular segments of 1 km x 1 km was used to estimate the crop area. The stratification was carried out with remote sensing satellite images, digital image classification procedure, Geographic Information System (GIS), GPS (Global Positioning System) among others. The sampled area was 1.26% of the region which corresponds to 89 segments. These segments were visited during a field work from October 29th to December 10th of 2002. Comparison between the results of this research and the official estimates indicated that best results were obtained for soybean area estimation, which occupies 32.1% of the region. The soybean area estimation had a difference of 5.9% in relation to the official estimate and a coefficient of variation equal to 6.6%. The result was available one week after the end of the field

work indicating that the method is fast. The conclusions of the work are: 1) the thematic map of the images makes it possible to stratify the region and can also be helpful to the subjective surveys; 2) the regular segments were easily located in the field, with the use of the GPS; 3) the crop area estimation was fast and met the opportunity criteria; 4) an error figure is associated to the estimates, attending the reliability criteria and; 5) the errors of the estimates varied in response to the cultivated area by each crop in the region.

Keywords: Remote sensing, area estimation, agricultural statistics.

1. INTRODUÇÃO

As estimativas de safras são importantes para a sociedade, pois fornecem informações ao mercado sobre a oferta de produtos agrícolas. Além disso, elas são utilizadas para definir políticas públicas de estoques, preços dos produtos e ajudam os agentes do agronegócio a planejarem suas atividades e a tomarem decisões acertadas. Desta forma, as estimativas de safras têm que atender principalmente a dois critérios, confiabilidade e oportunidade. O critério de confiabilidade pode ser dado pela associação da estimativa a um erro. O critério de oportunidade se dá pela divulgação dos resultados em data apropriada, em tempo hábil e que permita a tomada de decisões. Neste sentido, o levantamento de dados da safra agrícola pode ser realizado de forma censitária ou amostral. O censo tem custo elevado, demora para obter os dados e os resultados (COCHRAN, 1977) desta forma, muitas vezes não atende ao critério de oportunidade. Já a amostragem é ágil na obtenção de dados e apresenta menor custo que os censos (COCHRAN, 1977). Os métodos de levantamento por amostragem dividem-se em probabilísticos (objetivo) e não probabilísticos (subjetivo). No método objetivo há um desenho estatístico, o que permite mensurar o erro associado à estimativa, o que as torna oportunas e confiáveis, entretanto, mais caras e mais lentas que o subjetivo. No método subjetivo não há o desenho da amostra, por tanto não é possível mensurar o erro da estimativa, o que as torna oportunas, mas não confiáveis (GALLEGO, 1995; FAO, 1996). Os levantamentos por amostragem probabilísticos em áreas agrícolas podem ser divididos em amostragem por área, por lista ou por amostragem múltiplas, que é o resultado da combinação dos dois primeiros. Na escolha do modelo de levantamento agrícola mais adequado a ser adotado deve-se considerar as vantagens, desvantagens e requerimentos para cada tipo (FAO, 1996). Nos métodos objetivos, em que se utilizam imagens de satélites, são empregados dois modelos estatísticos: a regressão e a expansão direta. Em ambos os modelos utilizam-se amostras de áreas compostas por segmentos, ou seja, dados coletados em pequenas áreas aleatoriamente distribuídas na região de interesse. Quanto aos segmentos, estes podem ser de diferentes tamanhos e formas, como os formatos: pontual, circular, quadrado ou irregular (THOMPSON, 2002). O formato irregular é dado por limites visíveis no campo, sendo o segmento delimitado por feições mais estáveis. Esta forma de segmento foi muito empregada até 1990. Os recentes avanços tecnológicos nos sistemas de

informações geográficas (SIG) e no GPS (Global Positioning System) de navegação viabilizam o uso de segmentos regulares eliminando a necessidade de se utilizar segmentos com limites físicos passíveis identificação no campo. Assim, essa pesquisa tem por objetivo desenvolver uma metodologia de estimativa de áreas agrícolas para as culturas do café, milho e soja, na região de Cornélio Procópio no estado do Paraná, por meio da expansão direta, em segmentos regulares delimitados a partir de imagens de satélites de sensoriamento remoto, SIG e GPS.

2. MATERIAL E MÉTODO

A região de estudo localiza-se ao norte do estado do Paraná e compreende vinte e três municípios que formam o Núcleo Regional de Cornélio Procópio da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB). A área da região de estudo é de 7.480 km² (Figura 1). A principal atividade econômica da região é a agropecuária. Esta região possui grande diversidade de relevo. Pode-se dizer que os municípios ao norte da região possuem topografia mais plana, com solos profundos e pouco suscetíveis à erosão. Neste local há a possibilidade de mecanização em grande parte da área. Ao sul da área de estudo, o relevo é acidentado e a mecanização é empregada de forma restrita (Ministério da Agricultura, 1981).

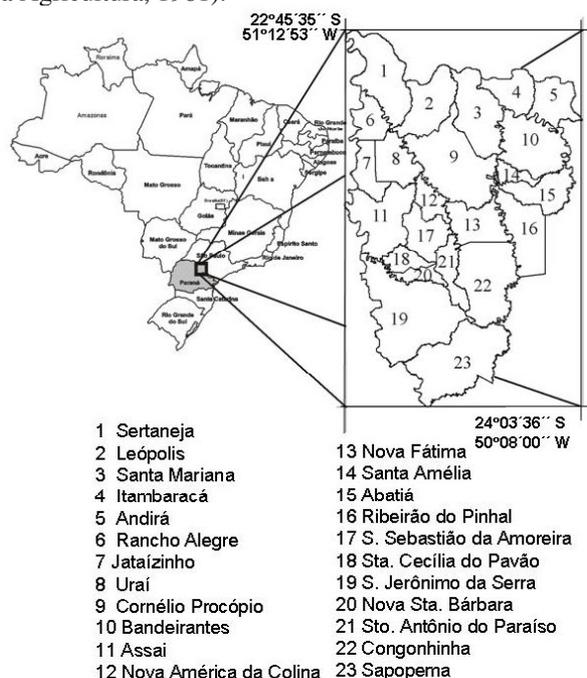


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

A metodologia empregada para estimar as áreas ocupadas pelas culturas de café, milho e soja foi fundamentada no procedimento de amostragem aleatória estratificada, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2. Um banco de dados geográficos foi criado num ambiente SIG, usando o aplicativo SPRING com o gerenciador de banco de dados ACCESS (CÂMARA *et al.*, 1996). Neste banco de dados, foram inseridas imagens do sensor ETM⁺ do satélite Landsat-7, correspondentes às órbitas 221 e 222 do ponto 72, obtidas nos anos de 2001, 2002 e 2003. Foram também armazenadas no banco de dados os elementos cartográficos (drenagem, estradas, cidades, represas, lagos, áreas de reserva), informações cadastrais e estatísticas existentes a respeito da região, além de dados coletados no campo.

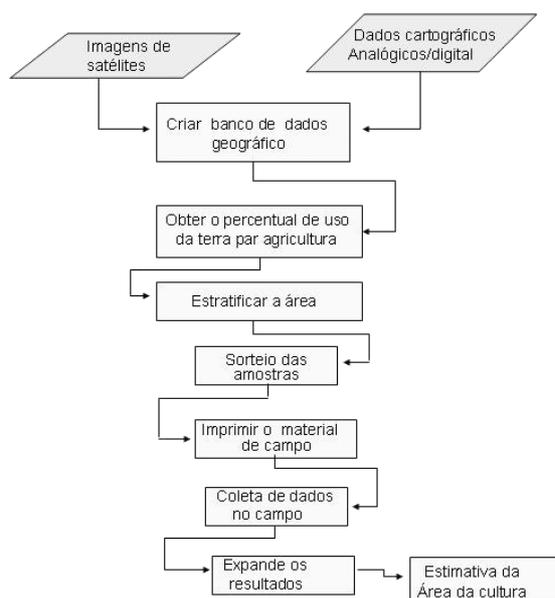


Fig. 2 - Fluxograma com a metodologia para obtenção da estimativa de área cultivada.

No SPRING, foram realizadas as etapas que envolvem o tratamento das imagens e o geoprocessamento, dentre as quais destacam-se: classificação das imagens, estratificação, segmentação, consultas, alocação dos segmentos e cálculo da área por segmento. Para a classificação, optou-se por utilizar o classificador não-supervisionado ISOSEG (BINS *et al.*, 1993) uma vez que ADAMI *et al.* (2002), utilizaram diferentes classificadores, aplicados na mesma imagem, com as mesmas condições e compararam os resultados destas classificações com os resultados de interpretação visual realizadas por dois fotointerpretes, para a mesma região, com a mesma imagem e encontraram maior valor do coeficiente Kappa, para o classificador ISOSEG.

A classificação foi realizada conforme recomendação de CREPANI *et al.* (2001), através da qual foi obtido um mapa temático com cinco classes de uso e ocupação do solo: área agrícola (inclui solo exposto), pastagem, mata, corpos d'água e área urbana. O mapa temático foi dividido em 5 planos de

informação, um para cada classe de interesse. Nesses planos de informação, a classe de interesse recebeu o valor cem (100) e as demais receberam o valor zero (0). Sobre estes planos de informação, realizou-se a estratificação da área de estudo por meio de um algoritmo de segmentação por crescimento de regiões. O algoritmo detectou diversas regiões homogêneas. Estas regiões homogêneas foram agrupadas nos estratos de acordo com o percentual da área destinada à agricultura na região.

Os limites empregados foram descritos por Mueller *et al.* (1988) no Projeto de Previsão de Safras (PREVS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou seja: estrato A (80% ou mais de área cultivada); B (50% a 79% de área cultivada); D (15% e 49% de área cultivada, com predominância de pastagens); E (menos de 15% de área cultivada); F (áreas não agrícolas) e; G, (15% e 49% de área cultivada, sem a predominância de pastagens).

Para estabelecer o delineamento amostral é necessário ter o conhecimento do comportamento da variável, sua média e sua variância. É necessário também saber o procedimento para seleção das amostras e do estimador a ser utilizado. Em função disto é possível realizar a estimativa e mensurar sua precisão. Para a previsão de safras agrícolas são adotados basicamente três esquemas de amostragem: por listas ou cadastros, por área ou territorial e a combinação de ambas, por meio de painéis múltiplos (GALLEGO, 1995; FAO, 1996). Na Tabela 1 estão contidos alguns dos requisitos necessários para o método de amostragem por lista e para o método de amostragem por área.

TABELA 1 – REQUISITOS DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGENS POR LISTA E POR ÁREA

Item	Lista	Área
Atualização	Depende de manutenção para atualização do cadastro.	Pode ser realizada por meio da classificação de imagens.
Entrevista	Necessita entrevista com o produtor.	Não depende da entrevista com o produtor.
Localização da área	Não necessita localizar a área.	Necessita localizar a área.
Erros	Podem ser oriundos tanto da anotação do agente quanto da resposta do entrevistado.	Podem ser oriundos da anotação do agente.

Com base nas informações da Tabela 1, selecionou-se o método de amostragem por área, uma vez que a maior dificuldade para criar um método de amostragem por listas é a atualização do cadastro que se torna ainda mais crítica para o caso de culturas temporárias.

A Tabela 2 apresenta as características dos segmentos para o esquema de amostragem por área.

Neste trabalho adotou-se a forma de segmentos regulares. Assim, os estratos foram divididos em unidades menores de amostragem correspondentes aos segmentos regulares de 1 x 1 km, na forma matricial e compatível com os limites dos estratos para que os segmentos das bordas estivessem integralmente dentro do estrato, conforme recomendou GALLEGO (1995).

Para cada estrato de uso e ocupação do solo foi realizado o sorteio de uma subamostra de segmentos para a coleta de dados no campo. A alocação das subamostras foi realizada através de um sorteio aleatório, baseado no critério de amostragem aleatória estratificada, conforme recomendação de COCHRAN (1977).

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM POR ÁREA.

Item	Pontos	Segmentos Regulares	Segmentos Irregulares
Localização	Depende de GPS	Depende de GPS	Independente de GPS
Estimador	Expansão direta	Expansão direta e regressão	Expansão direta e regressão
Variáveis	Área e Produtividade de	Todas as variáveis associadas à área	Todas as variáveis associadas à área.
Deslocamento	Maior	Menor	Menor
Necessidade de imagem de alta resolução espacial	Não	Não	Sim

A coleta de dados no campo, nos segmentos sorteados, foi realizada com auxílio do GPS e de uma imagem de satélite georreferenciada, contendo os limites do segmento, gerada no SPRING e impressa na escala 1:25.000. Este trabalho teve início no dia 29/10/2002 e terminou no dia 10/12/2002. Esta data de coleta tomou como base o zoneamento agrícola (IAPAR, 2003).

Após realizar o trabalho de campo, os dados coletados foram inseridos no banco de dados. Esse procedimento foi realizado de duas maneiras: 1) quando se observou que o uso do solo no segmento era o mesmo da imagem então a área foi obtida diretamente da imagem e introduzida no banco de dados por meio da digitalização dos limites das feições de uso do solo; 2) quando o uso do solo não pode ser definido na interpretação visual da imagem a delimitação dos diferentes usos do solo foi realizada por caminhamento com o GPS cuja rota foi posteriormente importada para o SPRING.

Após realizar este procedimento para todos os estratos, os dados foram importados para o software Excel, para a estimativa da área através do modelo de expansão direta (KRUG E YANASSE, 1986; MUELLER *et al.*, 1988; FAO, 1996; ADAMI, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da classificação não-supervisionada (ISOSEG) das imagens do Landsat-7/ETM⁺ é apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 - USO DO SOLO POR MEIO DA CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA DAS IMAGENS DO LANDSAT-7/ETM+ PARA O NÚCLEO REGIONAL DE CORNÉLIO PROCÓPIO.

Tema	Área (km ²)	%
Corpos d'água	263,20	3,51
Mata	1.110,37	14,83
Pastagem	2.928,72	39,12
Solo exposto	2.958,93	39,52
Agricultura	175,09	2,34
Área urbana	50,07	0,68
Área total	7.486,38	100,00

Nota-se nos resultados contidos na Tabela 3 que o percentual de área ocupada com a classe mata foi inferior a 15%, demonstrando a alta antropização desta área.

Observa-se também que as classes solo exposto e pastagem foram as de maior expressão na área de estudo, com 39,5% e 39,12%, respectivamente. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que a imagem utilizada para a estratificação foi obtida na época de preparo do solo para plantio.

Por outro lado, somando as áreas das classes agricultura e solo exposto (solo preparado para plantio) tem-se o total de 3.134,0 km², o que difere em 2,4% da área agrícola estimada pelo levantamento realizado pela SEAB/DERAL (2003) para o mesmo ano agrícola (3.211,29 km²).

Os resultados da classificação (Tabela 3) também podem ser utilizados para nortear a pesquisa subjetiva, pois é possível fornecer para os técnicos responsáveis pelo levantamento das safras agrícolas a área utilizada para o cultivo de lavouras temporárias, por município.

Desta forma, caberia aos mesmos realizar a divisão desta área entre as culturas de uma determinada safra, isso reduziria o erro no momento de estimar a área ocupada por cultura, por município, nos levantamentos subjetivos.

O número de segmentos amostrados e o percentual de área amostrada, por estrato de uso do solo, encontram-se na Tabela 4. A área amostrada correspondeu a 1,23% da área total da região e foi estabelecida com base em HILL E MÉGIER (1988). O fato de ter utilizado o geoprocessamento para realizar o sorteio e alocação das amostras de área tornou o método rápido e prático, quando comparado aos procedimentos manuais descritos por MUELLER *et al.* (1988).

TABELA 4 – TOTAL DE SEGMENTOS, SEGMENTOS SORTEADOS E PERCENTUAIS DE SEGMENTOS SORTEADOS.

Estrato	Total de segmentos (a)	Segmentos sorteados (b)	Área sorteada (%) (b/a)*100
Estrato A	1416	25	1,77
Estrato B	1432	28	1,95
Estrato D	2919	31	1,06
Estrato E	1404	03	0,21
Estrato G	28	02	7,21
Total	7199	89	1,23

A estimativa de área usando o estimador de expansão direta é mostrada na Tabela 5. Nota-se que a área estimada com a cultura da soja foi de 2.402,6 km², o que corresponde a 33% da área total de todos os estratos que fizeram parte do delineamento amostral (7.119,0 km²). A área ocupada com milho (159,4 km²) e café (229,1 km²) é pouco expressiva. O menor coeficiente de variação (CV) observado foi para soja (5,83 %). Já as culturas de café e milho tiveram CVs relativamente altos com valores de 24,53% e 26,05%, respectivamente. De acordo com os dados coletados em campo estes valores altos não são muito críticos, uma vez que foi observada baixa frequência de segmentos amostrados com café e milho e uma alta variabilidade de área destas culturas. Estes fatores elevaram a variância da estimativa e, conseqüentemente, o CV. Esse fato foi muito relevante para o conhecimento, porque ficou demonstrada a importância de se levar em consideração o percentual de ocupação das culturas no momento de estratificação. Essa informação complementar pode ser obtida nas estatísticas oficiais.

TABELA 5 – COMPARATIVO ENTRE A ÁREA ESTIMADA PELA AMOSTRAGEM E A ESTIMATIVA SUBJETIVA REALIZADA PELO SEAB/DERAL, PARA O NÚCLEO REGIONAL DE CORNÉLIO PROCÓPIO.

Cultura	Amostragem (km ²) a	CV (%)	SEAB/DERAL (km ²) b	Diferença Relativa (a-b)/a
Café	159,4	24,50	136,7	14,2 %
Milho	229,1	26,05	409,0	-78,6%
Soja	2.402,6	6,59	2.544,0	-5,9%
Total	2.791,1	-	3.089,7	-10,7%

Ao comparar os resultados de estimativa de área obtidos por meio da expansão direta, com a estimativa subjetiva gerada pelo SEAB/DERAL (2003), conforme mostrado na Tabela 5, observa-se que a maior diferença encontrada foi para a cultura do milho, cuja área estimada pelo DERAL foi 78,6% maior do que a obtida nessa pesquisa. A estimativa da área de café foi de 14,2% superior e a soja subestimada em 5,9% em relação aos dados do DERAL. Com relação ao milho, o resultado pode ser justificado, em função da ocorrência de um veranico ocorrido por ocasião da época

recomendada para a semeadura, fazendo com que os agricultores que tinham a intenção de cultivar milho optassem pela soja. No entanto, no levantamento inicial feito pelos técnicos do SEAB/DERAL (2003) esta nova situação não foi considerada fazendo com que a área de milho fosse superestimada. Com relação às estimativas para as culturas de café e soja a diferença está dentro do CV, podendo ser consideradas como sendo estatisticamente iguais.

Pode-se comentar também que três dias depois do término da coleta de dados no campo, ou seja, em meados de dezembro já se tinha o resultado da estimativa de área cultivada.

Desta forma, o método utilizado nessa pesquisa atende-se ao critério de oportunidade, pois nesta data, na região de estudo, a safra de milho e soja estão no início e a suas colheitas só iniciarão no final de janeiro e final de fevereiro, fornecendo tempo necessário para a tomada de decisões.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos propostos e os resultados encontrados, apresentam-se as seguintes conclusões: 1) o mapeamento temático possibilitou a estratificação da região; 2) os segmentos regulares puderam ser facilmente localizados a campo, com o uso do GPS; 3) as estimativas de área cultivadas foram rápidas e atendem aos critérios de oportunidade, pois os resultados foram obtidos em tempo hábil para a tomada de decisões; 4) as estimativas geradas por este modelo têm o erro associado, desta forma atende-se ao critério de confiabilidade e; 5) os erros das estimativas variaram em função da área ocupada pela cultura na região.

5. REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnica de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem.** 2004. 185p. (INPE-10235-TDI/900). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- ADAMI, M.; PINHEIRO, E. S.; MOREIRA, M. A.; FONSECA, L. M. G. Aplicações de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/Landsat-7 no mapeamento agrícola. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota Y Sistemas de Information Espacial, 10; Reunion Plenaria de SELPER, 21. Cochabamba, 2002 **Anais.** Cochabamba: SELPER, 2002. v., p. 8.
- BINS, L. S., ERTHAL, G. J., FONSECA, L. M. G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 6, Recife, 1993. **Anais.** Recife: SBC/UFPE, 1993. v.2, p. 65-68.

- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. **SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling.** *Computers and Graphics*, v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.
- COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem** 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.
- CREPANI, E.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura e uso atual da terra.** São José dos Campos: INPE, 2001. 36p. (INPE-8478-NTC/346).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Multiple frame agricultural surveys: current survey based on area and list sampling methods.** Roma, 1996. v.1.
- GALLEGO, F. J. **Sampling frames of square segments.** Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.
- HILL, J.; MÉGIER, J. Regional land cover and agricultural area statistics and mapping in The Département Ardèche, France, by user Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 9, n. 10-11, p. 1573-95, 1988.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Zoneamento Agrícola.** Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iapar/zonpr/>>. Fev. 2003.
- KRUG, T.; YANASSE, C. C. F. **Estimativa de safras agrícolas utilizando dados coletados por satélites de sensoriamento remoto e dados terrestres, através de amostras de substratos geográficos.** São José dos Campos: INPE, 1986. 51 p. (INPE-4102-RPE/534).
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento e reconhecimento dos solos do estado do Paraná.** Brasília, 1981. (Mapa Temático. Escala 1:600.000).
- MUELLER, C. C.; SILVA, G.; VILLALOBOS, A. G. Pesquisa Agropecuária do Paraná - Safra 1986/87 (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). *Revista Brasileira de Estatística*, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.
- PARANÁ. SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO – DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (SEAB/DERAL). Dados da Região de Cornélio Procópio. (ccpseab@pr.gov.br, Fev. 2003). Comunicação Pessoal
- THOMPSON, S. K. **Sampling** 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 343 p.