**CORRELAÇÃO ENTRE MAPAS DE PRODUTIVIDADE DE
GRÃOS E FOTOGRAFIAS AÉREAS CONVENCIONAIS 35 mm**

JOÃO CÉLIO DE ARAÚJO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de mestre
em Agronomia. Área de Concentração:
Máquinas Agrícolas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Novembro – 2000

ERRATA

Onde se lê	Lê-se	Página
22 ha	22,1 ha	vii
17,1 ha	17,9 ha	vii
<i>Papilum maximum</i>	<i>Panicum maximum</i>	16
na imagem de 12/02/1999	na imagem de 01/07/1999	47

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Araújo, João Célio de
Correlação entre mapas de produtividade de grãos e fotografias aéreas
convencionais 35 mm / João Célio de Araújo. - - Piracicaba, 2000.
58 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Agricultura de precisão 2. Correlação 3. Fotografia aérea 4. Mapa 5.
Produtividade agrícola 6. Variabilidade espacial I. Título

CDD 631.3

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICO

**Mestres na vida e no trabalho, amigos
sempre presentes nas alegrias e
tristezas, a meus pais João e Eliane**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força nos momentos em que fiquei longe da minha família.

Ao Prof. Dr. José Paulo Molin, que além de orientador é um grande amigo.

Ao Prof. Dr. Carlos A. Vettorazzi, pela amizade e auxílio, desde o início do trabalho.

A FAPESP, que concedeu a bolsa de estudos e financiou o projeto.

Aos Professores: Mária Cristina Stolf Nogueira, Tomaz Caetano Rípoli, José Alexandre Demattê, Marcos Milan, Paulo Justiniano, pelos conhecimentos transmitidos em suas disciplinas.

Ao Setor Social da ESALQ, pela moradia estudantil.

Para não esquecer de ninguém, agradeço em geral, aos amigos da Vila Estudantil, da ESALQ e funcionários.

A Fazenda Lagoa Velha e Campus da USP de Pirassununga, SP, pela parceria nas áreas experimentais.

A New Holland Latin América e SLC John Deere pelo apoio nas colheitas.

A OmniStar pelo equipamento e sinal de DGPS.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO.....	vii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Agricultura de precisão – conceitos básicos.....	3
2.2. Mapas de produtividade – conceito e finalidade.....	5
2.3. GPS – utilização e conceitos básicos	6
2.4. Sensoriamento remoto – conceitos e aplicação na agricultura de precisão	7
2.5. Imagens aéreas e sua aplicação na agricultura.....	9
2.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG'S).....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Características gerais das áreas de estudo.....	15
3.1.1. Área 1.....	15
3.1.2. Área 2.....	16
3.2. Softwares utilizados	18
3.3. Mapas de Produtividade das áreas estudadas	19
3.4. Correção geométrica das imagens	20
3.5. Conversão das fotografias em planilhas de valores digitais de imagem e correlação com a produtividade	22
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Vôo e correção geométrica das imagens obtidas	25

4.2. Análises de correlação.....	26
4.2.1. Análise visual.....	26
4.2.2. Análise da correlação existente entre valor digital de imagem e produtividade para a área 1 (Pirassununga).....	27
4.2.3. Análise da correlação existente entre valor digital de imagem e produtividade para a área 2 (Campos Novos Paulista).....	37
4.2.3.1. Cultura da soja.....	37
4.2.3.2. Cultura do milho.....	44
4.3. Análise potencial do uso da técnica.....	47
5. CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1. Vista aérea da área representada por um quadrante do pivô localizada no Campus da USP em Pirassununga, SP.....	16
2. Vista aérea do talhão localizado na fazenda Velha Lagoa em Campos Novos Paulista, SP	17
3. Disposição de uma lona plástica sendo georeferenciada com DGPS para servir como bandeira.	20
4. Disposição das bandeiras na área 1 (Pirassununga, SP).....	21
5. Figura 5. Produtividade da cultura do milho, referente à área 1(Pirassununga), composto por células de 25 m ² , safra 1999..	28
6. Produtividade da cultura do milho, referente à área 1(Pirassununga), composto por células de 100 m ² , safra 1998/1999.....	28
7. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25m ² , referente à fotografia do dia 25/11/1998.....	29
8. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25m ² , referente à fotografia do dia 14/12/1998.	29
9. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m ² , referente à fotografia do dia 27/12/1998.	30
10. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m ² , referente à fotografia do dia 15/01/1999.....	30
11. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 100 m ² , referente à fotografia do dia 14/12/1998.....	31

12. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 100 m ² , referente à fotografia do dia 15/01/1999.....	31
13. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 25/11/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m ²	32
14. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 14/12/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m ²	33
15. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 14/12/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 100 m ²	33
16. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 27/12/1998 e produtividade do milho para a área 1 (Pirassununga), com células de 25 m ²	34
17. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 15/01/1999 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m ²	35
18. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 15/01/1999 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 100 m ²	36
19. Produtividade da cultura da soja, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m ² , safra 1998/1999.....	38
20. Produtividade da cultura da soja, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m ² , safra 1998/1999.....	38
21. Valor digital de imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), constituído por células de 25 m ² , referente à fotografia obtida no dia 12/02/1999.....	39
22. Valor digital de imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), constituído por células de 100 m ² , referente à fotografia obtida no dia 12/02/1999.....	40

23. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m ²	40
24. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 100 m ²	41
25. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m ² e classes de valor digital entre 65 a 110	42
26. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m ² e classes de valor digital entre 140 a 180	42
27. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m ² e classe de valor digital entre 190 a 250.....	43
28. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m ² e classe de produtividade de 0,5 a 3 t/ha.....	43
29. Produtividade da cultura do milho, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m ² , safra 1999.	44
30. Produtividade da cultura do milho, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m ² , safra 1999.	45
31. Valor digital da imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m ² , correspondente à fotografia do dia 01/07/1999.	45
32. Valor digital da imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m ² , correspondente à fotografia do dia 01/07/1999.	46

33. Correlação entre valor digital de imagem e produtividade do milho, para a área 2, (Campos Novos Paulista), período de 01/07/1999 – 25 m ²	46
34. Correlação entre valor digital de imagem e produtividade do milho, para a área 2 (Campos Novos Paulista), período de 01/07/1999 – 100 m ²	47

CORRELAÇÃO ENTRE MAPAS DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E FOTOGRAFIAS AÉREAS CONVENCIONAIS 35 mm

Autor: JOÃO CÉLIO DE ARAÚJO

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ PAULO MOLIN

RESUMO

Nos países desenvolvidos a agricultura de precisão vem ganhando espaço como uma alternativa de otimização da produção agrícola. No Brasil está apenas iniciando e a participação da pesquisa neste momento é fundamental para a tomada de decisão a respeito do seu emprego e técnicas a serem utilizadas para tornar esta tecnologia viável e rentável para as condições do nosso país.

Este trabalho visou avaliar o potencial do emprego de fotografias aéreas coloridas 35 mm para diagnósticos de lavouras na determinação de variabilidade espacial para tratamentos localizados. Foi realizado em duas áreas piloto de agricultura de precisão, monitoradas intensivamente. As áreas são:

- área 1 - fazenda Lagoa Velha, Campos Novos Paulista, SP – talhão de 22 ha;
- área 2 – área de produção do Campus da USP, Pirassununga, SP – talhão de 17,1 ha.

Dentre os vários dados obtidos nas áreas, como produtividade de milho e soja, propriedades físicas e químicas do solo, pragas, doenças e plantas invasoras, foram obtidas também fotografias aéreas coloridas no formato 35 mm. As fotografias receberam orientação por bandeiras georreferenciadas em solo com GPS, para a correção geométrica da imagem e, após selecionadas, foram digitalizadas por meio de scanner.

As imagens assim tratadas e os mapas de produtividade foram trabalhados com os softwares "SSToolbox", "Idrisi" e "Excel", onde foram analisadas as correlações entre o valor digital das imagens e a produtividade. As correlações para todas as áreas e todos os períodos analisados apresentaram valores baixos, havendo baixa correspondência entre os valores digitais das imagens e as produtividades das culturas.

CORRELATION BETWEEN GRAIN YIELD MAPS AND 35 mm AERIAL PHOTOS

Autor: JOÃO CÉLIO DE ARAÚJO

Adviser: PROF. DR. JOSÉ PAULO MOLIN

SUMMARY

Precision Agriculture is being used as an alternative for improving production in developed countries. In Brazil it is just starting and research contribution is fundamental in the process of its adoption. This work aimed to study the potential use of 35 mm conventional aerial photos to predict yield in grain crops. It was conducted in two fields that are being intensively monitored. They are:

- "Lagoa Velha" field - Campos Novos Paulista, SP - 22 ha;
- "USP" field - Pirassununga, SP - 17,1 ha.

Several data are being collected in the areas, like yield data, physical and chemical soil properties, weeds, diseases and pests and also 35 mm aerial color photos. Photos were georeferenced by ground flags located with GPS. After selecting the best photos they were scanned. The images and yield maps were processed with the software "SSToolbox", "Idrisi" and "Excel" and the correlations between images and yield were analysed.

Low correlation was obtained in all cases, showing little potential for its kind of information in predicting yield variability in the field.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é uma prática que vem gerando muitas perguntas. No Brasil ainda se dispõem de pouca informação local, sendo inevitável a existência de especulações sobre o assunto.

A agricultura de precisão propõe que o tratamento localizado dos pontos do terreno poderá maximizar o uso da terra e de insumos agrícolas, aumentando a rentabilidade econômica da atividade agrícola. Essa prática propõe também diminuir a toxidez causada pelo excesso de algumas substâncias que são empregadas na produção agrícola, reduzindo assim a pressão sobre o ambiente.

Essa tecnologia está embasada na análise da variabilidade espacial dos fatores de produção, especialmente do solo. A tecnologia deve ser, no entanto, validada com base em análises que provem as suas vantagens e desvantagens. Dentro deste contexto o sensoriamento remoto tem potencial na detecção da variabilidade espacial das lavouras, auxiliando o agricultor na tomada de decisão de utilizar ou não tais técnicas.

Este trabalho foi realizado em duas áreas piloto de agricultura de precisão, onde se buscam respostas para as várias questões que cercam o assunto. Para tanto desenvolveu-se uma metodologia para a análise de fotografias aéreas convencionais 35 mm, visando explorar o potencial de informações nelas contidas em lavouras em várias fases do desenvolvimento vegetativo, nas culturas da soja e do milho. Tais informações foram confrontadas com os mapas de produtividade das lavouras para a verificação de correlação entre ambas.

A técnica aqui abordada abre caminhos para novas pesquisas que possam aperfeiçoá-la e torná-la viável na análise de imagens aéreas e pode ser implementada com imagens provenientes de diversos sensores e em diferentes níveis (aéreo e orbital).

O trabalho consistiu em avaliar o potencial do emprego de fotografias aéreas 35 mm em diagnósticos de lavouras e determinação de variabilidade espacial para tratamentos localizados. O objetivo específico consistiu em analisar a correspondência existente entre valor digital de imagem e produtividade das culturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Agricultura de precisão - conceitos básicos

A busca pelo aumento da produtividade fez crescer, de modo desenfreado, a utilização de insumos como os fertilizantes e defensivos agrícolas. A utilização descontrolada desses insumos acarreta inúmeros problemas, dentre os quais destacam-se a poluição dos cursos d'água e de lençóis freáticos, a contaminação de animais e eliminação de insetos benéficos (inimigos naturais) (Balastreire et al., 1997).

Historicamente, as técnicas de produção agropecuária têm sido desenvolvidas para serem implementadas em grandes áreas, assumindo que estas sejam unidades homogêneas. Técnicos e agricultores têm identificado, contudo, enormes variações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, em escalas micro e macro, as quais chegam, em muitos casos, a comprometer de forma significativa os padrões de produção, aplicação de nutrientes, corretivos, agroquímicos e irrigação (Costa & Santos, 1997). Taylor et al. (1997) comentam que, na prática, a maioria desses fatores não são controláveis, como por exemplo, o tipo de solo e a umidade. Na realidade, é necessário melhorar a administração dessas diversidades.

A agricultura de precisão surgiu visando a adequar a administração agrícola em relação às condições variadas encontradas nos campos. Isso se tornou possível recentemente, devido ao desenvolvimento de tecnologias que permitem monitorar e medir estas variações (Steven & Millar, 1997).

Schueller (1992) definiu que a agricultura de precisão é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura, para adequar as

diferentes condições encontradas em cada talhão de lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos. Segundo Molin (1998), a agricultura de precisão era um tema até recentemente sem tanta importância e teve um impulso inusitado com o surgimento da técnica de posicionamento denominada GPS ou "Global Positioning System". Até então, o tratamento localizado de pequenas porções de lavoura era de difícil execução, por exigir sistemas de posicionamento em tempo real sem a praticidade e acurácia desejadas.

Blackmore (1994) considera que os principais benefícios da agricultura de precisão convergem para a diminuição dos custos de produção e redução expressiva dos riscos de poluição decorrentes das aplicações de agroquímicos.

Demattê et al. (2000) verificaram as diferenças entre o método convencional de aplicação de fertilizantes e a aplicação através da agricultura de precisão na produtividade de cana-de-açúcar em uma área dividida em dois módulos de 16 ha. Em cada módulo foi utilizado um sistema de adubação distinto, onde no primeiro foi realizada uma adubação química homogeneia para a área toda. O segundo módulo foi subdividido em pequenas áreas, sendo que as mesmas foram adubadas de forma diferenciada. Com os dados de produtividade avaliados, foi observado que, com o emprego da agricultura de precisão, houve um aumento da produtividade em relação ao método convencional.

Hollands (1996) cita que no vale do "Red River" (Minnesota, USA) o nível de N varia de acordo com o relevo. Com a introdução do GPS e novos softwares de mapeamento, aplicações variáveis de N podem ser realizadas com precisão e economia. Ferguson et al. (1996) comentam que as aplicações em dosagens variadas de N tem o potencial de aumentar a eficiência do seu uso e reduzir sua perda para o meio ambiente.

2.2. Mapas de Produtividade - conceito e finalidade

Molin (2000) define que, de maneira simplificada, o mapa de produtividade é um conjunto de células que representam cada um, uma área de alguns metros quadrados, composta pela largura da plataforma e a distância percorrida entre duas leituras. A montagem do mapa nada mais é do que a plotagem de cada uma destas células num sistema cartesiano, onde o eixo "x" é a longitude e o eixo "y" é a latitude. As células são representadas por diferentes cores ou tons para diferentes valores de produtividade, obtidos na tabela de dados gerados no campo.

Esses dados são obtidos a partir dos dispositivos específicos que equipam a colhedora. O sensor de velocidade monitora a velocidade da colhedora. O sensor de fluxo de massa indica o fluxo de grãos que a máquina colhe instantaneamente. O sensor de umidade, mede a umidade da massa do grão. Um dispositivo associado à posição da plataforma liga e desliga a coleta de dados. Quando a plataforma é baixada os dados são coletados (Molin, 2000).

O mapeamento de colheita é considerado, por muitos pesquisadores, como sendo uma parte essencial da agricultura de precisão (Makepeace, 1996). Balastreire et al. (1997) concordam que a elaboração de mapas de produtividade é uma etapa importante para a agricultura de precisão, pois, além de servir como fonte de informações para a elaboração de um plano de recomendação, permite uma visualização espacial detalhada das condições da área produtiva.

Schuler et al. (1998) advertem que os mapas de produtividade são muito utilizados, mas as informações são disponíveis somente após os problemas já terem afetado a produtividade agrícola. Sendo que os mesmos são úteis em análises posteriores à época de sua obtenção.

2.3. GPS - utilização e conceitos básicos

De acordo com Molin (1997), tem-se confundido agricultura de precisão com GPS. A agricultura de precisão é uma filosofia de trabalho que vem sendo adotada por agricultores em vários países e GPS é apenas uma sofisticada ferramenta de trabalho disponível e de grande utilidade para atingir os objetivos dessa nova filosofia de exploração e administração da produção.

Huff (1997) comenta que o GPS determina a posição de um usuário através de três ou mais satélites simultaneamente. Segundo Blitzkow (1995), o sistema conta com uma constelação de 24 satélites (21 + 3 reservas), distribuídos em 6 órbitas distintas. Com esta configuração, em qualquer ponto da superfície da Terra há no mínimo 4 satélites acima da linha do horizonte 24 horas por dia.

Para Mather (1995), esse sistema foi desenvolvido visando a aplicação militar, em aeronaves ou mísseis que podiam ser guiados para o alvo. Vettorazzi et al. (1994) salientam que o setor civil, passou a ter acesso a essa tecnologia a partir de meados da década de setenta, quando universidades e instituições de pesquisa puderam então investigar e inclusive colaborar no aperfeiçoamento do sistema.

Molin (1998) comenta que o sistema de posicionamento global, popularmente conhecido como GPS, desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, deixou de ter a importância que tinha na época de sua concepção, devido ao fim da "Guerra Fria". Hoje, a utilização do sinal de GPS é extremamente diversificada e chegou à agricultura, proporcionando a acelerada expansão das técnicas de agricultura de precisão.

Gilbert (1997) comenta que, no passado, erros eram normais na coleta de dados. Sem a correção diferencial ou DGPS, o GPS geralmente fornecia acurácia da ordem de 100 m devido aos efeitos combinados de várias fontes de erros. Para Pessoa (1997), um dos parâmetros mais importantes na avaliação da qualidade da posição obtida via GPS é a Diluição de Precisão (DOP). O

DOP basicamente caracteriza a constelação de satélites, o que está relacionado com a acurácia das coordenadas obtidas instantaneamente e está presente quase que invariavelmente nas telas dos receptores ou nos relatórios de pós-processamento.

Molin (1997) afirma que com o uso de um receptor de GPS em colhedora ou em trator, é possível obter suas coordenadas de localização com erros que variam de 50 cm a 5 metros, uma acurácia considerada suficiente para as aplicações agrícolas.

2.4. Sensoriamento remoto - conceitos e aplicação na agricultura de precisão

Segundo Schueller (1992), o conhecimento da variabilidade espacial da produção das culturas agrícolas é um dos problemas mais importantes na implantação de sistemas produtivos utilizando agricultura de precisão. Dentre as diferentes possibilidades de mapeamento desta variabilidade, o sensoriamento remoto tem se mostrado como uma das técnicas mais promissoras, porém, ainda carente de desenvolvimento. Conforme Schepers et al. (1996), as técnicas de sensoriamento remoto representam uma variedade de ferramentas para ajudar na tomada de decisão e gerenciamento para tratamento localizado.

Drury (1990) afirma que como no caso do GPS, o sensoriamento remoto também foi desenvolvido para a aplicação da inteligência militar. Essa tecnologia começou com a obtenção de fotografias da disposição de trincheiras obtidas, por balões durante a Guerra Civil Americana.

Para Rosa (1990) e Novo (1995), o sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de se obter informações de um objeto ou alvo, com a utilização de um sensor, sem que haja contato físico com o mesmo. Mather (1995) complementa que os dados de sensoriamento remoto podem ser adquiridos em diferentes níveis, de acordo

com a distância entre o sensor e o objeto de interesse: terrestre (campo/laboratório), aéreo (balões, aviões) e orbital (espaçonaves, satélites artificiais e estações orbitais).

Em laboratório estuda-se o comportamento espectral dos alvos quase sem interferência dos fatores ambientais. Em aeronave e em nível orbital, a energia registrada pelo sensor não se refere geralmente a um determinado objeto, mas a um arranjo de objetos da cena. Em nível orbital, cada elemento de resolução no terreno (correspondente a um "pixel" na imagem) (Novo, 1995).

Young (1976) comenta que, na época, o sensoriamento remoto por meio de aeronaves apresentava algumas vantagens em relação ao nível satelitário, pois este apresentava menor riqueza de detalhes, devido à pequena escala. Hoje, segundo Ramirez (2000), "com o lançamento do satélite IKONOS-II em setembro de 1999, surge uma nova perspectiva no que se refere à utilização de imagens de satélite em aplicações agrícolas, visto que a principal inovação deste equipamento está na obtenção de imagens com 1 m de resolução, em modo pancromático, e 4 m em modo multiespectral".

Bryceson & Marvanek (1998) realizaram estudos empregando sensoriamento remoto ao nível satelitário na cultura do trigo, no sul da Austrália, e concluíram que estatisticamente existe baixa correlação entre a produtividade final obtida na colheita da cultura e os dados de imagens e nenhuma correlação entre as propriedades do solo e a produtividade agrícola. Schuler et al. (1998) comentam que o sensoriamento remoto promove a oportunidade de coletar informações sobre o crescimento da cultura, mas a sua relação com as anomalias do campo é muito limitada.

Thomson et al. (1990) comentam que o uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto para identificar e mapear ervas daninhas nos campos, requer técnicas especiais de diferenciação entre as ervas daninhas e as culturas. Um exemplo seria a identificação em períodos estratégicos, como no início do desenvolvimento da cultura, identificando nas entre-linhas das culturas as ervas-daninhas.

Chenghai et al. (1998) comentam que o sensoriamento remoto apresenta um potencial crescente e importante para detectar o crescimento das plantas e variações de produtividade em agricultura de precisão, devido à possibilidade de aquisição da imagem no período julgado oportuno para o acompanhamento do crescimento da cultura. Senay et al. (1998) comentam que estudos prévios têm demonstrado que o sensoriamento remoto relaciona-se intimamente com a agricultura de precisão, porém é necessário o desenvolvimento de técnicas para extrair informações pertinentes das imagens.

2.5. Imagens aéreas e sua aplicação na agricultura

Segundo Garcia y Garcia (1997) o sensoriamento remoto em nível aéreo é atualmente motivo de estudos, visando ao monitoramento da lavoura nas suas diferentes fases.

Em uma análise preliminar, uma imagem pode ser considerada resultante da reflectância ou emitância dos alvos da cena. A tonalidade ou cor em cada ponto é determinada pela alteração ou interação espectral da radiação solar incidente ou da radiação emitida por cada elemento de resolução da superfície (Rosa, 1990).

Segundo Novo (1995), em nível aéreo a energia registrada é a integração da resposta de diferentes objetos correspondentes a um pixel na imagem. Dessa maneira, para cada "pixel" da imagem, tem-se um valor de nível de cinza. Um pixel "X" qualquer pode assumir qualquer valor entre 0 e 255 para resolução radiométrica em imagens de 8 bits. Para Lillesand & Kiefer (1994), as imagens eletrônicas digitais envolvem um arranjo de "pixels" discretos, tendo cada "pixel" um número digital (valor digital de imagem) que representa o seu brilho em cada banda espectral. Ripple (1994) afirma que o pixel é o menor elemento da figura, também denominado de célula.

Floyd Júnior (1996) estabeleceu que a imagem fotográfica registra uma faixa de comprimentos de onda de 0,3 a 0,9 nanômetros. Existem, ao longo de todo o espectro eletromagnético, regiões chamadas janelas atmosféricas, onde a absorção atmosférica é relativamente pequena, e que se caracterizam por uma boa transmitância à radiação eletromagnética. Conseqüentemente, são essas regiões onde, praticamente, todas as atividades em sensoriamento remoto podem ser realizadas com maior facilidade (Garcia y Garcia, 1997).

A energia eletromagnética é considerada como o espectro dos comprimentos de onda de 10^{-10} μm (raios cósmicos) até 10^{10} μm (comprimentos de onda de rádio), sendo que, para o emprego do sensoriamento remoto, existe maior interesse nos comprimentos de onda entre 0,30 a 15 μm , correspondentes ao espectro óptico (Curran, 1988).

A visão humana responde à radiação entre os comprimentos de onda de 0,38 a 0,72 μm (faixa do visível). A região entre 0,72 e 3,0 μm é correspondente ao infravermelho refletivo, o qual ainda é subdividido em infravermelho próximo (0,72 a 1,3 μm) e infravermelho médio (1,3 a 3,0 μm) (Silva, 1978).

A tecnologia de imageamento digital é capaz de fornecer imagens multiespectrais de alta resolução dos campos agrícolas em um momento oportuno e com custos relativamente baixos, em vista das informações fornecidas por estas imagens. Um exemplo são as imagens de ervas-daninhas que servem como base para a confecção de mapas de infestação utilizados por pulverizadores computadorizados (Moça et al., 1996).

Segundo Choudhury (1987), um dos índices de vegetação mais comumente utilizados é o índice de vegetação da diferença normalizada, o qual é definido pela expressão (1).

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IVP} - \text{V})}{(\text{IVP} + \text{V})} \quad (1)$$

Onde:

IVP é o fator de reflectância medida na faixa espectral do infravermelho próximo.

V é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho.

Zhang et al. (1998) realizaram um trabalho que discutiu o potencial de aplicação de imagens aéreas para monitorar e prever o rendimento das culturas do milho e da soja em vários estágios de crescimento. Os mesmos concluíram que a melhor relação entre o NDVI e o rendimento da cultura foi com a resolução espacial de 9 m. Os resultados preliminares deste trabalho indicaram a possibilidade do uso do NDVI para estimar o rendimento potencial da soja e do milho em Iowa, EUA. As imagens foram obtidas através de câmara digital a uma altura aproximada de 2100 m. Os mesmos obtiveram forte correlação entre as produtividades da soja e do milho e o NDVI obtido das imagens.

As imagens aéreas podem ser obtidas, por meio de fotografias e vídeo. No caso das fotografias aéreas, Simakova (1964) comenta que seu uso como instrumento de enriquecimento do conhecimento humano nasceu da necessidade de mapear-se grandes áreas, com economia de tempo e custos, sendo utilizadas com o propósito militar em trabalhos de reconhecimento. Ricci & Petri, (1965) afirmam que a utilização dessa técnica teve início durante a Primeira Guerra Mundial.

Para Strandberg (1967), a interpretação de fotografias aéreas, das quais muitas informações são adquiridas sem realmente tocar o chão, é parte da idéia do sensoriamento remoto.

Para Marchetti (1973), as fotografias aéreas em áreas agrícolas oferecem uma enorme quantidade de dados. Pode-se medir o tamanho de uma propriedade agrícola, estudar o uso atual da terra, determinar-se o tipo e a qualidade dos solos, planejar o controle de erosão, programar reflorestamentos, planejar o uso da terra e tantos outros.

Para Lueder (1959) as fotografias aéreas constituíram um importante instrumento de apoio nos trabalhos de levantamentos de solos, que são fundamentais para o planejamento do uso da terra. Além de servirem como simples mapa-base de campo, podem ser mais utilizadas através de interpretações para fins pedológicos.

Steiner (1970) comenta que as primeiras classificações de uso da terra baseavam-se em trabalhos de campo. Posteriormente, a partir da década de 50, um grande número de pesquisadores, em várias partes do mundo, têm se dedicado à identificação de culturas agrícolas por meio de fotografias aéreas.

Marchetti & Garcia (1988) acreditam que a fotografia aérea apresenta-se como o "único instrumento capaz de representar as formas e o arranjo espacial das plantas, individualmente ou em associações". Os mesmos autores comentam que o serviço de estimativa de safra pode ser feito com o auxílio de imageadores termais, que registram as diferenças de temperatura de acordo com o estado da cultura.

Schepers (1996) comenta que as fotografias aéreas podem identificar as áreas com características questionáveis. Após identificadas, podem ser analisadas para se inferir sobre as causas dos problemas. Segundo Spurr (1960) as fotografias aéreas são consideradas essenciais para o estudo da vegetação e os componentes em relação à paisagem na qual ela ocorre.

Segundo Blackmer & Schepers (1996), a avaliação da variabilidade espacial de uma lavoura pode ser realizada com o mapa de produtividade ou fotografia aérea da cultura, para mostrar ou localizar as áreas com problemas de produtividade. Com essas informações, correções podem ser realizadas no cultivo seguinte.

Vellidis et. al. (1997) estudaram a utilização de mapas de produtividade da cultura do algodão criados a partir de fotografias aéreas. Os mesmos concluíram que este método oferece grande potencial por oferecer mapas de estimativa de crescimento da cultura. Embora os mapas não apresentassem magnitudes, eles mostraram claramente os padrões de produtividade

resultantes. Pode-se utilizar esta informação para se alocar recursos e máquinas, determinar problemas de crescimento e, talvez, melhorar a rentabilidade de operação da fazenda.

Staggenborg et al. (2000) realizaram um estudo que propunha determinar se a utilização de fotografias aéreas convencionais com filmes de 35 mm em pequenas aeronaves poderiam, eficientemente, predizer a produtividade de grãos. As análises preliminares indicaram que as correlações diretas existentes entre a produtividade de grãos e os valores digitais das imagens foram baixas (coeficientes de determinação (r^2), próximos a 0,01). Taylor et al. (1997) citam que fotografias aéreas digitais foram usadas com sucesso para mapear a distribuição do potencial de produtividade para grãos. A calibração foi realizada em uma equação derivada por meio de amostras de campo versus medidas de NDVI.

Koller et al. (1999) utilizaram fotografias aéreas para acompanhar e modelar o crescimento da cultura do tomate. As imagens aéreas georreferenciadas permitiram a determinação de valores de NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada). O NDVI mostrou valores similares com a produtividade agrícola de colheita.

Daberkow et al. (1999) pesquisaram o potencial do uso de imagens obtidas através de fotografias aéreas em milho irrigado e constataram que a correlação entre imagens espectrais e a produtividade do milho mostraram-se baixas. Devido a baixa correlação entre as imagens e a produtividade, a incapacidade para identificar as causas de variação da produtividade agrícola, associados com o elevado custo do sensoriamento remoto, concluíram que sua utilização é problemática.

Everitt et al. (1991a) comentam que a utilização de sistemas de imagens de vídeo, ou videografia, para a avaliação dos recursos naturais, tem aumentado nos últimos anos, principalmente pelo advento de novas tecnologias e avanços nos sistemas de gravação e processamento das imagens por computadores.

A grande vantagem da utilização de sistemas de sensoriamento remoto com a utilização de vídeo está na agilidade de coleta, processamento e utilização dos dados. Este processo pode levar algo em torno de horas, ao invés de semanas ou até meses requeridos por outros sistemas (Everitt et al. 1991b).

Segundo Yang et al. (1998), as grandes vantagens da videografia em relação às imagens de satélite e outros sensores remotos, são a sua alta resolução espacial, disponibilidade imediata da informação para análise, baixo custo e facilidade de operação.

2.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG's)

Um sistema de informações geográficas é um conjunto organizado de hardware, software (um banco de dados geográficos em meio digital) e pessoal treinado, sendo especialmente projetado para capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar todas as informações georeferenciadas (ESRI, 1992). Segundo Coelho (1997), o SIG tem como função o armazenamento e processamento de bancos de dados, e proporciona a análise de informações de um mesmo local.

Estas informações são manipuladas por meio de ferramentas da geoestatística, que estabelece critérios para a interpolação entre as células amostradas, onde são gerados os mapas de campo. São encontrados no mercado vários softwares que permitem o uso do SIG (Ripple, 1994).

Scott & Randy (2000) comentam que o SIG tem como essência trazer dados de diferentes fontes de um mesmo local. Estes dados integrados, desde que corretos, contribuem para a tomada de decisões. A tomada de decisões, embasada em um conjunto de informações de um determinado local, é um dos objetivos da agricultura de precisão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características gerais das áreas de estudo

Para a realização deste estudo foram utilizadas duas áreas, sendo a área denominada 1 localizada em Pirassununga, SP, e a área denominada 2 em Campos Novos Paulista, SP.

3.1.1. Área 1

Esta área situa-se no Estado de São Paulo, entre os paralelos 21°57'e 21° 58' de latitude Sul e os meridianos 47° 27'e 47° 28'de longitude W.Gr. A Figura 1, ilustra a área de estudo, onde foi utilizado, aproximadamente, uma quarta parte do pivô-central, representando uma área de 17,9 ha.

O clima da área, segundo o sistema de Köppen (1948), é do tipo Cwa, mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média é de 22 °C. A temperatura média do mês mais frio é de 18° C em julho e, em fevereiro, chega a 24 °C. A pluviometria do local se encontra próxima a 1340 mm/ano.

Na safra 96/97 a lavoura de milho foi conduzida em regime de sequeiro, em sistema convencional de preparo do solo. A irrigação foi implantada na safra 97/98 ainda com sistema de preparo do solo convencional, com uma subsolagem, aração e gradagem, sucedidas pela semeadura da cultura da soja.

O ciclo fenológico utilizado na realização do trabalho foi o da safra 98/99, onde o milho foi cultivado sob sistema de plantio direto na palhada de sorgo. Apesar da disponibilidade do pivô-central, houve falta de água quando as plantas apresentavam as quatro folhas iniciais. Ocorreram, também, problemas

com a infestação por ervas daninhas, principalmente "Capim Colonião" (*Papilum maximum*).

Figura 1. Vista aérea da área representada por um quadrante do pivô localizada no Campus da USP em Pirassununga, SP.

3.1.2. Área 2

Esta área de estudo situa-se no Sudoeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 07' e 22° 08' de latitude Sul e os meridianos 50° 08' e 50° 09' de longitude W.Gr., com uma área de 22,1 ha, conforme ilustra a Figura 2.

Na região de Assis, que representa as condições climáticas de Campos Novos Paulista, a temperatura média anual é de 22,3 °C. A temperatura média do mês de julho, mês mais frio, é de 17,7 °C e do mês mais quente, fevereiro, é de 25,2° C. A precipitação pluviométrica apresenta valor anual médio de 1468 mm, sendo o período de setembro a março, o mais chuvoso e abril a agosto, os meses mais secos. Os dados de temperatura e precipitação pluviométrica

permitem identificar, segundo o sistema Köppen (1948), o tipo climático Cwa transicional para cfa.

Nesta área são cultivados soja, milho e, em alguns períodos, aveia para cobertura. Todas as culturas foram implantadas em sistema de plantio direto a partir de 1995. A variedade utilizada foi a IAS5, semeada no início de novembro de 1998 e colhida a partir de 20 de fevereiro de 1999. Para o milho cultivado na safrinha de 1999, foi utilizada a variedade C333B.

Figura 2. Vista aérea do talhão localizado na fazenda Velha Lagoa em Campos Novos Paulista, SP.

3.2. Softwares utilizados

Foram utilizados os seguintes sistemas computacionais:

- "SSToolbox 3.1", software de SIG personalizado para aplicações em agricultura de precisão, para o gerenciamento dos dados de produtividade das áreas.
- "Ildrisi for Windows 2.0", usado para a geração de imagens em formato numérico, na manipulação e correção geométrica das imagens.
- "Excel for Windows", software utilizado para processar a correlação entre os fatores produtividade e valor digital das imagens analisadas no trabalho.

Alguns dos materiais utilizados serão apresentados na seqüência com a respectiva metodologia de obtenção e a descrição do seu emprego no trabalho.

As fotografias foram obtidas como uma das etapas do projeto de monitoramento de áreas piloto de agricultura de precisão, onde foram coletados dados para a realização deste trabalho. A câmara fotográfica utilizada foi uma Canon MC Micro Compact 35 mm. Os vôos foram contratados e as fotos foram obtidas por membros da equipe envolvida no projeto de monitoramento das áreas. Não houve controle rígido de altura de vôo, onde o parâmetro adotado foi a busca de enquadramento da área de estudos em uma única fotografia, evitando a necessidade de mosaicagem.

A conversão das fotografias para o formato digital foi realizada com o uso de scanner com resolução de 150 dpi (padrão). Esta resolução foi escolhida visando à padronização do procedimento realizado. Na utilização de scanner para conversão de dados, essa informação será inicialmente uma imagem, em que todas as feições só se diferenciam pela cor ou pelo tom de cinza em que foram capturadas, não havendo definição ou diferenciação de entidades como ponto, linhas e polígonos.

3.3. Mapas de produtividade das áreas estudadas

Os mapas de produtividade foram fundamentais para a realização do trabalho, pois foram utilizados diretamente na correlação com as fotografias aéreas. Foram construídos no programa SSToolbox, através da importação de dados obtidos pelos monitores de colheita no campo. Tais dados foram gerados como parte do projeto de monitoramento dessas áreas e que vem sendo coordenado pelo Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

Nas duas áreas de estudo foram utilizados sistemas diferentes para a produção dos mapas de produtividade. Para a área 1 (Pirassununga), foi utilizado o sistema RDS instalado em uma colhedora New Holland TC 57 e para a área 2 (Campos Novos Paulista), foi utilizado o Sistema GreenStar instalado em uma colhedora John Deere 9510.

Os mapas de produtividade podem ser confeccionados com tamanho de quadrícula de acordo com a necessidade do trabalho. Para isto, no software SSToolbox, realiza-se a interpolação entre os dados pontuais. Os mapas de produtividade gerados no programa SSToolbox foram correspondentes às colheitas realizadas no período de obtenção das fotografias aéreas. O mapa da área de Pirassununga (área 1) foi obtido na colheita de milho de 1999. Os mapas da área de Campos Novos Paulista (área 2) foram obtidos nas colheitas de soja e de milho do ano de 1999.

Os mapas de produtividade apresentados no trabalho sofreram uma filtragem para evitar valores de produtividades pouco prováveis. Os dados de campo foram submetidos a um processo simples, preliminar à interpolação, para a construção dos mapas. Estabeleceu-se que, para a produtividade do milho seriam validados valores superiores a 1 t/ha e, como limite superior, foi estabelecido o dobro da produtividade média encontrada. No caso da soja foi estabelecido que a produtividade admitida seria superior a 0,5 t/ha e, como limite superior, optou-se pelo mesmo critério adotado na cultura do milho.

3.4. Correção geométrica das imagens

O processo de correção geométrica das fotografias aéreas necessitou de alguns pontos de controle, denominados de "bandeiras", ilustrados na Figura 3. Estas "bandeiras" eram constituídas de lonas de 4 m², de coloração laranja, dispostas na área a ser fotografada.

Figura 3. Disposição de uma lona plástica sendo georreferenciada com DGPS para servir como "bandeira".

A Figura 4 ilustra o posicionamento das "bandeiras" dispostas na área 1 (Pirassununga, SP). Nestes locais onde as "bandeiras" foram dispostas, foram determinadas as coordenadas de longitude e latitude com a utilização de GPS com correção diferencial.

Figura 4. Disposição das "bandeiras" na área 1 (Pirassununga, SP).

Foi estipulado como fator limitante para o georreferenciamento o erro máximo de 5m. Este erro, computado e informado pelo software, varia de acordo com a inclinação da fotografia em relação ao terreno e o número de "bandeiras" utilizadas no processo. O número mínimo de "bandeiras" utilizado foi de 4, dependendo da extensão da área analisada. As "bandeiras" foram distribuídas em pontos estratégicos da área, baseado na distribuição proposta por Farret & Giotto (1997).

No georreferenciamento são definidos os tamanhos das células ou pixels a serem utilizados, tendo-se optado por 5m x 5m (25 m²) e buscando uma alternativa para ampliar as análises foram utilizados também mapas de produtividade e valor digital com células de 10 x 10 m (100 m²).

As coordenadas utilizadas no trabalho foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), seguindo o sistema das coordenadas retangulares. Esse sistema de coordenadas estabelece a divisão da Terra em 60 fusos de 6° cada. O fuso tem este tamanho para garantir níveis

aceitáveis de deformação. O início dos fusos está localizado no meridiano de Greenwich e crescem no sentido oeste-leste (Rocha & Lamparelli, 1998).

3.5. Conversão das fotografias em planilhas de valores digitais de imagem e correlação com a produtividade

Os valores digitais de imagem, foram agrupados em planilha, ou seja, cada célula de 25 m² e 100 m² passou a ter um par de valores de coordenadas UTM e valor digital. O valor digital variou de 0 a 255 (imagens de 8 bits). Esses valores foram agrupados em cinco classes para a representação nos mapas de valor digital. Para a construção dessas classes foi utilizado o critério de "áreas iguais", disponível no software SSToolbox.

No software IDRISI, no caso das fotografias sem nenhuma transformação, o valor digital é fornecido para cada pixel. No software SSToolbox os valores digitais foram interpolados através do método "vizinho mais próximo", mesmo método utilizado na confecção dos mapas de produtividade. O método do "vizinho mais próximo é utilizado para conversão de um conjunto de dados obtidos em espaços regulares em uma grade, ou quando os exemplos tirados em campo se encaixam numa grade, com poucos "buracos" ou pontos perdidos. Quando usado com um pequeno raio de atuação e procura, este método representa muito bem os dados brutos" (Isaaks & Srivastava, 1989).

De posse destes três valores para cada pixel, foram analisadas formas de exportação destes dados para os programas que deveriam ser utilizados na seqüência das análises. O formato de exportação que se enquadrou melhor no que se buscava foi o "ARCINFO", uma das opções de exportação disponíveis no software IDRISI, que permitiu a exportação destes dados em forma de planilha com as coordenadas e o valor digital para cada pixel da imagem. Após a exportação, estes dados foram convertidos no programa Excel para o formato

".dbf", possibilitando que os mesmos fossem exportados para o software SSToolbox.

O processo realizado nos softwares envolvidos gerou os mapas de valor digital das imagens obtidas na safra do milho relativas ao período de novembro 1998 a fevereiro de 1999 para a área 1 e as safras de soja e de milho da área 2. Neste caso, para a soja, foram obtidas fotografias no mês de janeiro de 1999 e para o milho safrinha, as fotos foram obtidas no mês de junho de 1999.

A correlação entre valor digital de imagem e produtividade para a área 1 (Pirassununga) foi realizada através de uma análise temporal, onde foram consideradas as melhores fotografias obtidas em uma sequência de 4 datas sendo: 25/11/1998, 14/12/1998, 27/12/1998 e 15/01/1999. A mesma sequência de fotos analisada para a cultura do milho no período de novembro de 1998 a janeiro de 1999, com células de 25 m², foi realizada para células de 100 m². Neste caso foram escolhidos dois períodos desta sequência de fotos, um em 14/12/1998 e outro em 15/01/1999. A análise temporal visou avaliar se a época de obtenção da fotografia muda a distribuição dos valores digitais, devido a diferença de tonalidade existente no decorrer do desenvolvimento da cultura.

Na área 2 (Campos Novos Paulista) foram utilizadas fotografias das culturas de soja e milho, visando verificar a diferença existente no emprego do método em culturas distintas em uma mesma área. No caso da cultura da soja, foram analisadas fotografias obtidas na data de 12/02/1999, com a variação no tamanho de células igual ao empregado na área 1. No caso da cultura do milho, foi analisada a fotografia obtida em 01/07/1999, seguindo o mesmo procedimento das demais análises.

As correlações foram realizadas com o intuito de verificar a dependência entre o valor digital de imagem e a produtividade. Segundo Christmann (1985), o objetivo básico do emprego de análises de regressão e correlação é o da determinação do valor de uma grandeza partindo do

conhecimento do valor de uma outra, ou porque esta última é de medida mais fácil ou porque antecede no tempo.

As imagens aéreas abrangiam uma área maior do que a correspondente a cada talhão envolvido no trabalho. No software SSToolbox foram utilizados recursos para que as áreas da imagem que não correspondiam aos talhões, fossem eliminadas, restando apenas aquela destinados a este estudo.

Os mapas de produtividade foram gerados a partir dos dados pontuais coletados pelos instrumentos instalados nas colhedoras. Foi utilizada a interpolação pelo método dos "vizinhos próximos". Foram gerados mapas de produtividade com células de 25 m² e 100 m², correspondendo com as células de valor digital desenvolvidas no software IDRISI, para que houvesse correspondência entre as células de valor digital e de produtividade.

No software SSToolbox, os mapas foram sobrepostos e houve a correspondência entre os valores, resultando em células com coordenadas, valor digital de imagem e produtividade. Foram criadas planilhas que apresentavam as coordenadas de cada quadrícula com o respectivo valor digital da imagem e o valor da produtividade. Estas planilhas foram exportadas com a extensão ".dbf" para o software Excel, para a visualização dos gráficos de correlação.

Visando detalhar o estudo de correlação, foi escolhida a imagem da área 2 (Campos Novos paulista), referente ao dia 12/02/1999. A mesma foi subdividida em classes de valor digital de imagem e produtividade. Foram utilizados três intervalos de valor digital de imagem. O primeiro com valores entre 65 e 110, o segundo com valores entre 140 e 180 e o terceiro com valores entre 190 e 250. Para a produtividade foi selecionado o intervalo entre 0,5 e 3,0 t/ha.

4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Vôo e correção geométrica das imagens obtidas

A utilização de fotografias aéreas sem o controle da altitude do vôo foi satisfatória na realização do trabalho. O critério utilizado de obter a fotografia quando a área estivesse enquadrada resultou em imagens que se adequaram perfeitamente nos objetivos propostos.

Para a técnica desenvolvida neste trabalho o conhecimento da altitude de vôo ou o emprego de uma altitude padrão não acrescentaria nenhum benefício, pois em alguns casos, principalmente em área menores, poderia diminuir a resolução da fotografia, ocultar detalhes e dificultar o procedimento de vôo.

O resultado do processo de correção geométrica mostrou-se acima das expectativas, superando a precisão estipulada de erro de cinco metros. Na grande maioria das imagens o erro não foi superior a 1 m, com um máximo de 1,3 m e a grande maioria das imagens corrigidas apresentaram um erro de 0,2 m a 0,5 m em função da seleção da melhor fotografia em cada conjunto referente a cada vôo.

A utilização de "bandeiras" mostrou-se um método eficiente. Com a utilização de, no mínimo, 4 "bandeiras" foram corrigidas geometricamente todas as áreas com precisão superior ao limite estabelecido no início do trabalho que era de 5 m. A correção geométrica da área de Pirassununga, SP, para as diversas fotografias obtidas, apresentou erros da ordem de 0,2 m a 0,3 m. A correção geométrica da área 2, apresentou erros variando entre 0,5 m a 1,3 m. Este método de correção geométrica apresenta a desvantagem de ser

trabalhoso pois exige a distribuição das "bandeiras" no campo e o georreferenciamento das mesmas. Outra forma de correção geométrica, seria a utilização de feições naturais do terreno, identificáveis nas imagens.

Nas imagens analisadas as "bandeiras" foram facilmente visualizadas no software Idrisi, devido ao seu destaque em relação à cor da vegetação. Observou-se que em trabalhos semelhantes, com áreas inferiores a 20 ha, e com fotografias obtidas a uma altitude que enquadre somente a área de estudo, podem ser utilizadas "bandeiras" de dimensões inferiores às utilizadas neste trabalho. Sugere-se dimensões de até 1 m², somente para a região perimetral da área, sem prejuízo na visualização dos pixels. Da mesma forma, em análises temporais de uma mesma área, as "bandeiras" podem ser colocadas na mesma posição para toda a seqüência de fotografias. Isso facilita o processo de reconhecimento das "bandeiras", tornando mais fácil o trabalho computacional de correção geométrica.

4.2. Análises de correlação

4.2.1. Análise visual

A análise visual pode ser empregada para uma estimativa expedita da correlação entre a imagem da área e o mapa de produtividade da cultura correspondente. A procura de correlação entre o comportamento das duas imagens pode ser realizada, mas apresenta um grande número de deficiências. A sensibilidade e a habilidade individual de cada pessoa que analisa as imagens tornam o método empírico. Esse procedimento também apresenta baixa confiabilidade, pois a correlação não pode ser mensurada.

Ficou evidente a necessidade de desenvolvimento de uma metodologia padronizada de análise das imagens, tornando-as compatíveis em dimensão, escala e unidade a ser correlacionada. A natureza diferente dos três softwares

envolvidos (Idrisi , SSToolbox e Excel), tornou o trabalho mais complexo, pois os dados transitaram nos três ambientes e esta transição apresenta algumas barreiras e regras que devem ser cumpridas para o desenvolvimento do processo.

4.2.2. Análise da correlação existente entre valor digital de imagem e produtividade para a área 1 (Pirassununga).

As correlações para a área 1 (Pirassununga), foram realizadas com 7.231 pixels e 1.835 pixels, para células de 25 m² e 100 m² , respectivamente, sendo que cada pixel contém os valores da longitude, latitude, produtividade e valor digital de imagem. As Figuras 5 e 6 ilustram os mapas de produtividade da cultura do milho. Estes mapas são referentes à colheita do milho realizada no ano de 1999. O mesmo foi utilizado nas correlações para as fotografias obtidas neste período.

O valor de produtividade foi considerado como variável dependente e o valor digital como variável independente em todas as análises de correlação. As Figuras 7, 8, 9 e 10, ilustram os mapas de valor digital das imagens obtidas durante o ciclo do milho. Foram selecionadas fotografias em dois períodos para a construção de mapas de valor digital com células de 100 m², sendo as mesmas ilustradas nas Figuras 11 e 12 referentes às datas de 14/12/1998 e 15/01/1999.

Figura 5. Produtividade da cultura do milho, referente à área 1(Pirassununga), composto por células de 25 m², safra 1999.

Figura 6. Produtividade da cultura do milho, referente à área 1(Pirassununga), composto por células de 100 m², safra 1998/1999.

Figura 7. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m², referente à fotografia do dia 25/11/1998.

Figura 8. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m², referente à fotografia do dia 14/12/1998.

Figura 9. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m², referente à fotografia do dia 27/12/1998.

Figura 10. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 25 m², referente à fotografia do dia 15/01/1999.

Figura 11. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 100 m², referente à fotografia do dia 14/12/1998.

Figura 12. Valor digital de imagem, área 1(Pirassununga), constituído por células de 100 m², referente à fotografia do dia 15/01/1999.

Na realização da regressão foi escolhida uma linha de tendência. A equação escolhida foi a polinomial de segunda ordem, sendo que a mesma proporcionou o maior valor de r^2 . A Figura 13 ilustra a correlação entre valor digital de imagem e produtividade do milho para a área 1 no período de 25/11/1998 para células de 25 m².

Figura 13. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 25/11/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m².

Os valores digitais correlacionados com a produtividade formaram classes distintas. Observou-se produtividades de 1 a 15 t/ha com o mesmo valor digital, o que permite deduzir que houve pouca resposta das imagens digitais na previsão da produtividade.

Os resultados das correlações para a fotografia obtida em 14/12/1998, onde foram utilizadas células com duas áreas diferentes, são ilustrados nas Figuras 14 e 15 respectivamente.

Figura 14. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 14/12/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m².

Figura 15. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 14/12/1998 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 100 m².

Os valores digitais formaram uma distribuição em forma de classes, onde a maior concentração de pontos ficou próxima aos valores digitais entre 200 a 250. Como no caso anterior, um mesmo valor digital representa produtividades de 1 a 15 t/ha. Este fato corrobora a análise de que um mesmo valor digital de imagem pode estar associado com produtividades bastante diferentes.

Houve um pequeno aumento na correlação realizada para a fotografia no mesmo período com células de 100 m² em relação a células de 25 m², passando de 0,0026 para 0,0075, mas que ainda representa valor muito baixo em análise de correlação. A disposição dos pontos nos gráficos também apresentou a mesma distribuição, coincidindo com a análise anterior, mas com número de pontos reduzidos. A Figura 16 apresenta a correlação para a fotografia do dia 27/12/1998.

Figura 16. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 27/12/1998 e produtividade do milho para a área 1 (Pirassununga), com células de 25 m².

Os valores digitais formaram uma nuvem de pontos com distribuição mais acentuada entre os valores digitais 0 e 150, representando produtividades de 1 a 15 t/ha com o mesmo valor digital. As Figuras 17 e 18 apresentam as correlações para a fotografia do dia 15/01/1999.

Figura 17. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 15/01/1999 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 25 m².

Figura 18. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 15/01/1999 e produtividade do milho para a área 1(Pirassununga), com células de 100 m².

Observa-se que, com a redução do número de pontos, o comportamento da distribuição apresentou-se disperso como na análise anterior. O resultado da correlação continuou semelhante e muito baixo.

Os valores digitais formaram classes distintas, onde os pontos foram distribuídos em forma de nuvem e novamente foram encontrados valores digitais representando produtividades de 1 a 15 t/ha. Neste caso a nuvem de pontos ficou localizada na região de valores digitais entre 15 e 150.

Em toda análise temporal foram encontrados os mesmos valores digitais para valores muito amplos de produtividade, sendo que na maioria dos casos esta variação abrangia desde o valor mínimo ao valor máximo de produtividade. Este fato descarta a hipótese de associação entre um valor digital de imagem a uma produtividade, ou até mesmo, a um intervalo de produtividade, o que poderia ser usado na estimativa de produtividade.

4.2.3. Análise da correlação existente entre valor digital de imagem e produtividade para a área 2 (Campos Novos Paulista).

As correlações para a área 2 (Campos Novos Paulista, SP), foram realizadas para duas culturas: a soja e o milho. No caso da soja e do milho foram obtidas fotografias em apenas um dia, no decorrer do ciclo fenológico para as duas culturas. Nesta área também foram utilizados mapas de produtividade com células de 25 m² e 100 m², repetindo o procedimento realizado na área 1.

As correlações para este período foram realizadas com 9.148 e 2.356 pontos para células de 25 m² e 100 m², respectivamente. Cada célula apresentando os valores de longitude, latitude, valor digital de imagem e produtividade.

4.2.3.1. Cultura da soja

As Figuras 19 e 20 ilustram os mapas de produtividade construídos após a colheita da soja, correspondente à safra 1998/1999. São apresentados os mapas com células de 25 m² e 100 m², que foram utilizados na realização das correlações com os mapas de valor digital de imagem para o período.

Figura 19. Produtividade da cultura da soja, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m², safra 1998/1999.

Figura 20. Produtividade da cultura da soja, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m², safra 1998/1999.

Ao analisar os mapas de produtividade da área2 (Campos Novos Paulista), observa-se uma diferença muito grande entre duas faixas da lavoura. Segundo Molin (1999) a causa dessa defasagem foi provocada pelo agricultor. Após uma estiagem no período da germinação, a lavoura apresentava-se com distribuição irregular de plantas. O agricultor julgou que havia a necessidade de semear novamente e o fez; porém o fez apenas em parte da lavoura. Os 17 dias de defasagem entre as duas semeaduras foi motivo suficiente para causar tanta diferença. As Figuras 21 e 22 apresentam os mapas de valor digital de imagem e as Figuras 23 e 24 apresentam as correlações realizadas para a imagem obtida em 12/02/1999.

Figura 21. Valor digital de imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), constituído por células de 25 m², referente à fotografia obtida no dia 12/02/1999.

Figura 22. Valor digital de imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), constituído por células de 100 m², referente à fotografia obtida no dia 12/02/1999.

Figura 23. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m².

Figura 24. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 100 m².

A correlação para a imagem do dia 12/02/1999, apresentou a distribuição dos pontos de forma aleatória. Foi realizado o ajuste de uma curva, onde foi escolhida a polinomial de segunda ordem, que apresentou o maior valor de r^2 , equivalente a 0,061 e 0,049, para 25 m² e 100 m², respectivamente, valores considerados muito baixos.

A distribuição dos pontos de correlação formou, naturalmente, algumas classes. O estudo da correlação de algumas dessas classes é apresentado nas Figuras 25, 26 e 27, onde foram utilizadas classes de acordo com o valor digital da imagem. A Figura 28 ilustra o estudo da correlação utilizada, para uma classe formada de acordo com a produtividade.

Figura 25. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m² e classes de valor digital entre 65 a 110.

Figura 26. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m² e classes de valor digital entre 140 a 180.

Figura 27. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m² e classe de valor digital entre 190 a 250.

Figura 28. Correlação entre valor digital de imagem obtida em 12/02/1999 e produtividade da soja para a área 2 (Campos Novos Paulista), com células de 25 m² e classe de produtividade de 0,5 a 3 t/ha.

Neste estudo por classes, onde as correlações foram realizadas com menor número de pontos, pode-se verificar que as correlações ainda permaneceram muito baixas. Na área 2 (Campos Novos Paulista), com a cultura da soja, safra 1999, houve uma classificação natural da produtividade em duas zonas, devido ao fato de que a semeadura foi realizada em épocas diferentes. Mesmo com a ocorrência deste fato, não houve incremento de correlação. Nas duas zonas formadas naturalmente, os valores digitais de imagem corresponderam a valores muito variados de produtividade.

4.2.3.2. Cultura do milho

As Figuras 29 e 30 ilustram respectivamente os mapas de produtividade referentes à colheita do milho safrinha. As Figuras 31 e 32 apresentam os mapas de valor digital de imagem para os mapas com células de 25 m² e 100 m². As correlações realizadas estão ilustradas nas Figuras 33 e 34.

Figura 29. Produtividade da cultura do milho, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m², safra 1999.

Figura 30. Produtividade da cultura do milho, referente à área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m², safra 1999.

Figura 31. Valor digital da imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 25 m², correspondente à fotografia do dia 01/07/1999.

Figura 32. Valor digital da imagem, área 2 (Campos Novos Paulista), composto por células de 100 m², correspondente à fotografia do dia 01/07/1999.

Figura 33. Correlação entre valor digital de imagem e produtividade do milho, para a área 2, (Campos Novos Paulista), período de 01/07/1999 – 25 m².

Figura 34. Correlação entre valor digital de imagem e produtividade do milho, para a área 2 (Campos Novos Paulista), período de 01/07/1999 – 100 m².

Neste caso ocorreu a diminuição do valor da correlação de 0,005 (células de 25 m²) para 0,0023 (células de 100 m²), e a tendência de distribuição dos pontos permaneceu a mesma.

4.3. Análise potencial do uso da técnica

A técnica testada apresentou valores de correlação baixos para todas as análises realizadas e em todas as situações. Em toda a seqüência de análises não houve correlação significativa entre valor digital de imagem e produtividade. O maior valor de correlação foi igual a 0,0797 correspondente a área 1 (Pirassununga) obtida a partir da imagem do dia 15/01/1999, composto por células de 25 m². O valor mais baixo encontrado entre as análises foi o de 0,0023, obtido na área 2 (Campos Novos Paulista), na imagem de 12/02/1999,

para a cultura da soja, composto por células de 100 m². Ambos são valores considerados inexpressivos.

Este fato corrobora com a idéia que as fotografias aéreas convencionais não podem ser utilizadas na previsão de produtividade, não sendo relevante a época de obtenção da fotografia para as culturas da soja e do milho, com características morfológicas totalmente diferentes. Tal fato demonstra que as fotografias aéreas 35 mm, no espectro visível, dificilmente podem ser utilizadas para a estimativa de produtividade dessas culturas.

A utilização de fotografias aéreas convencionais com filmes de 35 mm em pequenas aeronaves indicaram que as correlações diretas existentes entre as produtividades de grãos e os valores digitais das imagens foram baixos e semelhantes aos encontrados no trabalho realizado por Staggenborg et al. (2000). Da mesma forma, Daberkow et al. (1999) e Bryceson & Marvanek (1998), pesquisaram o uso de fotografias aéreas no milho irrigado e na soja, respectivamente, e ambos concluíram que a correlação entre as imagens e a produtividade do milho mostrou-se baixa. Taylor et al. (1997) comentam que fotografias aéreas podem ser utilizadas com sucesso para mapear a distribuição do potencial de produtividade para grãos, porém utilizando a técnica de determinação de índice de vegetação para a realização da análise.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e para as situações estudadas pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- as correlações existentes entre o valor digital de imagens e a produtividade de grãos, para células ou pixels de 25 m² e 100 m², foram muito baixas; com o aumento do tamanho das células houve uma tendência de diminuição nos valores de correlação;
- este fato corrobora com a idéia que as fotografias aéreas convencionais não podem ser utilizadas na previsão de produtividade, não sendo relevante a época de obtenção da fotografia para as culturas da soja e do milho;
- no espectro da radiação visível, não são viáveis correlações quantitativas entre valor digital da imagem e produtividade, não permitindo, por conseguinte, a utilização das mesmas para a estimativa de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. do. Agricultura de precisão, mapeamento e produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 8, n.1, jul. 1997, São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997. p. 97 – 111.
- BLACKMER, T.; SCHEPERS, J. S. Using DGPS to improve corn production and water quality. **GPS World**, p. 44 – 52. março 1996.
- BLACKMORE, S. Precision farming: An introduction. **Outlook on Agriculture**, v. 23, n.4, 1994. p. 275-280.
- BLITZKOW, D. NAVSTAR/GPS - Um Desafio Tornado Realidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 3. São Paulo., 1995. **Anais**. São Paulo: Epusp, 1995. p. 73 - 82.
- BRYCESON, K.; MARVANEK, S. The role of satellite data and precision farming technologies for on-farm monitoring in Austrália. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOESPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY DECISION SUPPORT. 1. Flórida, 1998. **Proceedings**. Flórida: s. ed., 1998. p. 625 – 632.

CHENGHAI, Y.; O ANDERSON, G. L.; EVERITT, J. H. A view from above: characterizing plant growth with aerial videography. USA: **GPS World**, v. 9, n.4, p. 34 – 37. april 1998.

CHOUDHURY, B. J. Relationships between vegetation indices, radiation and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. **Remote sensing of environment**, v. 22, n.2. p. 209 - 234. july. 1987.

CHRISTMANN, R. U. **Estatística aplicada**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1985. 189 p.

COELHO, J. L. Agricultura de precisão: tendências e desafios. **Notasalq**, Piracicaba, SP, v. 5, n. 10, p. 4 – 5, abril 1997.

COSTA, F. A.; SANTOS, M. L. Agricultura de Precisão – uma nova revolução tecnológica no campo. **Economia Rural**, Viçosa, MG, n. 8. p33. jul./set. 1997.

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing**. London: Longnan Scientific & Technical, 1988. 282 p.

DABERKOW, S. G.; BRENNEMAN, V. E.; KIM, C. S, et al.. R. Exploring the economic potetial of remotely sensed images: A case study of aerial photography in irrigated corn precision agriculture. In: EUROPEON CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTUR CONGRESS CENTRE. 2. Denmark, 1999. **Proceedings**. Denmark: SCI Academic Press, 1999. p. 615 - 624.

DEMATTE, J. L.; MORELLI, J.; NELLY E.; et al.. Precision agriculture applied to sugar cane cultivation in São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY: 2. Florida, 2000. **Proceedings**. Florida: 10-12 january, p. 388 - 390.

DRURY, S. A. **A guide to remote sensing**: interpreting images of the earth. New York: Oxford University Press, 1990. 199 p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. Understanding GIS: the ARC/INFO method. **ArcView-User's Guide**. California: Redlands. 1992. 1v.

EVERITH, JH.; ESCOBAR, D. E.; VILLAREAL, R.; et al.. Airborne vídeo systems for agriculture Assessment. **Remote Sensing of Environment**. V. 35, p. 231 – 242. 1991(a).

EVERITH, JH.; ESCOBAR, D. E.; NORIEGA, J. R. Hight resolution multispectral vídeo system. **Geocarto international**, 1v. 1991(b).

FARRET, J. C.; GIOTTO, E. Aplicabilidade do georreferenciamento de aerofotos de pequeno formato na formação de bancos de dados espaciais – uma alternativa para o cadastro técnico rural municipal. **Revista Ciência Rural**, v. 27, n. 4, p. 577 – 581. 1997.

FERGUSON, R. B.; GOTWAY, C. A.; HERBERT, G. W.; et al. Soil sampling for site-specific nitrogen management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 3. Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Minneapolis: ASA/CSSA/SSSA Press, 1996. p. 13 - 22.

FLOYD JÚNIOR, F. S. **Remote sensing: Principles and interpretation**. New York: Freemaned. 1996. 449 p.

GARCIA Y GARCIA, A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e resposta espectral da cultura de feijão irrigado, em imagens aéreas digitais. Piracicaba, 1997. 78 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

GILBERT, C. Erros de GPS: o que você pode e o que não pode corrigir. **Revista Fator GIS**, In: Caderno GPS, ed. fator GIS, n.19, maio/jun. p. 34 - 38. 1997.

HOLLANDS, K. R. Relationship of nitrogen and topography control crop consulting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 3. Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Minneapolis: ASA/CSSA/SSSA Press, 1996. p. 3 - 12.

HUFF, M. **Omnistar**: A versatile DGPS positioning tool. Omnistar, Fugro, 1997. p. 9.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics**. Oxford, s. ed., 1989, 539 p.

KOLLER, M.; UPADHYAYA, S. K.; ROSA, U.; et al.. Application of remote sensing in a tomato production system. **ASAE**. Paper Nº. 99113, Sep. 26, 1999.

KÖPPEN, W. Climatología. **Con un estudio de los climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LUEDER, D. R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications**. New York, McGraw-Hill. 1959. 462 p.

- LILESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley, 1994. 420 p.
- MAKEPEACE, R.J. Benefits and limitations of precision farming, In: BRIGHTON CONFERENCE ON PESTS AND DISEASES, London, 1996. **Proceedings**. v. 3. London: s. ed., 1996. p. 1235 - 1242.
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely – sensed images**. New York: Chichester. 1995. 352 p.
- MARCHETTI, D. A. B. **Fotogrametria e fotointerpretação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1973. 195 p.
- MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel. 1988. p. 183 - 189.
- MOÇA, L.W.; CARSON, H. W.; CALLIHAN, R. H. Discovery of multispectral images with high resolution. **Technology**, n. 10, 1996. p. 466 - 474.
- MOLIN, J. P.; COELHO, L. D. Conheça a agricultura de precisão. **Estado de São Paulo**, 23 de abril de 1997. p. 4 – 5.
- MOLIN, J. P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 3, 1998. p. 121 - 132.
- MOLIN, J. P. Geração de mapas de produtividade em projeto de avaliação de tecnologia de agricultura de precisão. Barretos: **Agrotec99**, IBT. 1999. Anais em internet, <http://www.ibt-barretos.org.br/agrotec99/>, 1999.

- MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; et al.. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV, 2000, p. 237 – 257.
- NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto princípios e aplicações**. São Paulo. Edgard Blücher Ltda. 1995. 308 p.
- PESSOA, L. M. Dop uma questão de hora e lugar. **Revista Fator GIS**, In: Caderno GPS, n. 20, ago/out., p. 32 – 37. 1997.
- RAMIREZ, G. M. Utilização de imagens do satélite Ikonos-II para levantamento de áreas cafeeiras e previsão de safras, In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FEAGRI-UNICAMP. Campinas, 2000. **Anais**. Campinas: caderno de resumos, 27 e 28 de set. 2000. 250 p.
- RICCI, M; PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. São Paulo: São Paulo editora, 1965. 226 p.
- RIPPLE, W. J. **The GIS applications book: examples in natural resources**. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1994, 380 p.
- ROCHA, J. V. R.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento, mecanização e agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 27. Poços de Caldas, 1998. **Anais**. Poços de Caldas: Suprema. 1998. p. 1 - 30.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia – EDUFU. 1990. 135 p.

SCHEPERS, J. S. **What is remote sensing?** s.l., Fall Press, 1996. p. 20 – 21.

SCHEPERS, J. S; BLACKMER, T. M; SHART, C. N. Remote sensing tools for site-specific management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 3. **Proceedings**. Minneapolis, ASA/CSSA/SSSA Press 1996. p. 315 - 321.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of spatially – variable crop control of crop production. **Fertilizer Research**, v. 33. p. 1 – 34. 1992.

SCHULER, R. T.; LANGTON, S. J.; WOLKOWSKI, R. P; et al.. Remote sensing research in Wisconsin soybean and corn production fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 4. **Proceedings**. Minnesota: ASA/CSSA/SSSA Press, jul. 1998. p. 1435 - 1445.

SCOTT, S., RANDY T. Predicting grain yield variability using infrared images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 6 **Proceedings**. Minnesota: ASA/CSSA/SSSA Press, jul. 2000. p. 208 – 215.

SENAY, G. B; WARD, A. D; LYON, J. G; et al.. Manipulation of high spatial resolution aircraft remote sensing data for use in site-specific farming. **Transactions of the ASAE**. v. 41. n. 2, p. 489 – 495, 1998.

SILVA, L. F. Radiation and instrumentation in remote sensing. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S.M. (Ed.) **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. p. 21-133.

SIMAKOVA, M. S. **Soil mapping by color aerial photography**. Jerusalém: S. Monson, 1964. 81 p.

- SPURR, S. H. **Photogrammetry and photointerpretation, whit a section on applications to forestry**. New York: Ronald Press, 1960. 472 p.
- STAGGENBORG, S. A.; FJELL, D. L.; TAYLOR, T. **Using infrared images as a corn scouting tool**. Agronomic Abstract. 2000. p. 90 – 116.
- STEINER, D. Time dimension for crop surveys from space. **Photogrammetric Enginnering**. Falls Church: v. 36, n.2, p. 187 - 194. 1970.
- STEVEN, M. D.; MILLAR, C. **Satellite monitoring for precision farm decision support**. Bios, v. 1, 1997.
- STRANDBERG, C. H. **Aerial discovery manual**. New York: Wiley, 1967. 249 p.
- TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; THOMAS, G., Mapping yield potential with remote sensing. EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 1. London, 1997. **Proceedings**. London: SCI, 1997. p. 713 – 720.
- THOMSON J.F.; STANFORD, J. V.; AMBLER, B. **Discovery of harmful herb in cereal crops**. s.1.: Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas. Empapele press. n. 90. 1990, 1629 p.
- VELLIDIS, G.; THOMAS, D.; WELLS, T.; et al.. Cotton yield maps created from aerial photographs. INTERNATIONAL MEETING SPONSORED BY ASAE. **ASAE**. Toronto: ASAE. Aug. 1997.
- VETTORAZZI, C. A; FILHO, R. A.; COUTO, H. T. Z. do. Sistema de posicionamento global – GPS. Piracicaba: **Engenharia Rural** – Universidade de São Paulo. v.5, n.2, 1994. p. 1 – 71.

YANG, C.; ANDERSON, G.L.; EVERITT, J. H.; et al.. Mapping Plant Growth and Yield Variations From Aerial Digital Videography. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOESPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY. 1. Florida, 1998. **Proceedings**. Florida: s. ed. 1998. p. 203 - 209.

HOLLANDS, K. R. Relationship of nitrogen and topography control crop consulting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 3. Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Minneapolis: ASA/CSSA/SSSA Press, 1996. p. 3 - 12.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 468 p.

ZHANG, M.; HENDLEY, P.; DROST, D. **Corn and soybean yield Indicators Using Remotely Sensed Vegetation Index**. s.l.1998. p. 1475 - 1482.