

# CORREÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS DIGITAIS AÉREAS PARA O EFEITO VINHETE

*Radiometric corrections of the vignetting effect in aerial digital images*

**Rubens Augusto Camargo Lamparelli<sup>1</sup>**  
**Jansle Vieira Rocha<sup>2</sup>**  
**Andrés Leandro Gumiero Jaime<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP)**  
Cidade Universitária, Barão Geraldo. Campinas  
CEP: 13083-970. São Paulo.  
e-mail: rubens@cpa.unicamp.br

<sup>2</sup> **Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP)**  
Cidade Universitária, Barão Geraldo. Campinas  
CEP: 13083-970. CP:6011. São Paulo.  
e-mail: jansle@agr.unicamp.br

## RESUMO

O Sensoriamento Remoto aéreo apresenta grande potencial de monitoramento de culturas agrícolas que, por sua vez, pode auxiliar na estimativa de safra. Apesar do potencial desta ferramenta, alguns problemas ainda podem ser encontrados nos dados levantados. Dentre eles, pode-se citar o efeito vinhete. Este efeito introduz alterações nos níveis de cinza que levam a avaliações incorretas. O estudo e o entendimento deste fenômeno possibilitará o seu modelamento e a minimização dos erros. Para testar este efeito foi adotado o procedimento de cálculo do  $\Delta = |\cos^4 \theta - C_b|$ , onde  $C_b$  é a relação entre os níveis de cinza do mesmo alvo, localizados no centro da imagem e fora dele (dado pelo ângulo  $\theta$ ), o qual determina que quanto maior for esta diferença, na medida que o alvo se afasta do centro geométrico, maior será o efeito vinhete. Este estudo utilizou imagens aéreas, com alvos (placas brancas) em vários locais ao redor do centro geométrico das imagens e passíveis de serem investigados para o efeito. Foram realizados também testes ao nível do solo para verificação do efeito, nos mesmos alvos das imagens aéreas isto é, em uma das placas utilizadas para calibração. Isto foi realizado através de um suporte que permitiu a mudança de altura da câmera e tomada das imagens. Neste caso não haveria influência de fatores ligados a atmosfera e geometria sensor-fonte. Na análise das imagens aéreas os resultados mostraram que, o efeito vinhete foi observado para o dia 02/11/2001, mas não para o dia 11/04/2002. Nesse dia os dados podem ter sido influenciados por vários fatores como atmosfera e geometria sensor-fonte que determinaram uma pequena tendência de diminuição do Delta com a distância do centro. Já os dados da imagem, obtidos da placa teste, com a ajuda do suporte, ao nível do solo, mostraram que, realmente o fenômeno de vinhete acontece. A confirmação de que realmente o efeito acontece assegura a sua modelização pelo  $\cos^4 \theta$  e desta maneira uma mitigação dos efeitos na análise final dos dados.

**Palavras Chaves:** Previsão de Safra, Sensoriamento Remoto, Efeito Vinhete.

## ABSTRACT

Monitoring agriculture cultures by aerial remote sensing presents high potential of application. Despite of that potential, some problems still have been detected. One of them is the vignetting effect. This phenomenon introduces error in DN, producing incorrect evaluations. To study this effect it was adopted the procedure that computes  $|\cos^4 \theta - C_b|$ , where  $C_b$  is the ratio between the DN of the same target, located in the center of the image and off-axis points, defined by the off-axis angle  $\theta$ . If these values increase with the distances from images geometric center then the vignetting effect increases proportionally. This study was carried out analyzing the DN of white plate targets in aerial images in two dates: 02/11/2001 and 11/04/2002. The white plate targets were distributed in the field and could be seen around the images geometric center, at different distances. In the aerial images the DN from the plates were extracted according to

the  $\cos^4\theta$  law and compared to several distances in conformity to  $|\cos^4\theta - C_b|$ . The results showed that the effect was observed in the first (02/11/2001) images, but not in the last (11/04/2002) images. The different atmospheric haze and the geometry of the sensor and illumination source may explain this. On the other hand when the experiment was performed at the ground level the vignetting effect was accordingly to the model. Therefore the effect exists and can be mitigated according to the described model.

**Key Words:** Yield estimate, Remote Sensing, Vignetting effect.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui enorme tradição na área agrícola e experimentou nos últimos anos importante desenvolvimento tecnológico. A utilização de variedades adaptadas, uso intensivo de insumos e, nos últimos 5 anos, a utilização de novas ferramentas, como coleta de dados via GPS (Sistema de Posicionamento Global) ou via sensoriamento remoto (Imagens de satélites), assim como, tratamento destes em sistemas de computação, tem introduzido maior rapidez e precisão nas informações que estão possibilitando uma segunda revolução no meio rural. Apesar destes avanços, em termos de ferramentas, ainda se observam alguns problemas que devem ser estudados e solucionados. Dentre estes, cabe destacar o sensoriamento remoto aéreo. Trata-se de uma ferramenta com grande potencial de uso pela sua rapidez em adquirir dados e pela facilidade de levantamentos que estão menos sujeitos à cobertura de nuvens. Este tipo de dado apresenta alguns problemas dentre eles pode-se destacar o efeito vinhete. Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de estudar este problema no contexto de utilização da ferramenta Sensoriamento Remoto aéreo para previsão de safra.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão de literatura está apoiada nos temas abordados pelo trabalho de pesquisa a saber: imperfeições radiométricas e fatores geométricos, agricultura de precisão e ferramentas de monitoramento agrícola, no caso o sensoriamento remoto aéreo.

### 2.1 Imperfeições radiométricas e fatores geométricos em imagens aéreas.

As variações na resposta espectral dos alvos, em produtos oriundos de levantamentos aéreos, podem ser do próprio alvo assim como de alguns fatores não diretamente relacionados a mudança deste. A estes fenômenos, Lillesand e Kiefer (1987) chamam de “extraneous effects” (não relacionados com mudanças no alvo). Os autores também dividem estes fenômenos em dois tipos: de origem geométrica e de origem atmosférica. Os de origem geométrica são aqueles em que o alvo apresenta valores de brilho diferentes à medida que se afasta do centro geométrico da imagem (exposure fall off e vignetting effect). Os fatores que podem causar este efeito são mostrados na Figura 1. A figura 1(a) expressa a quantidade de radiação que alcança as diferentes partes do filme. Em “a” tem-se

maior quantidade de radiação chegando que em “b”. Na figura 1(b) mostra-se a obstrução da radiação por um anteparo físico.

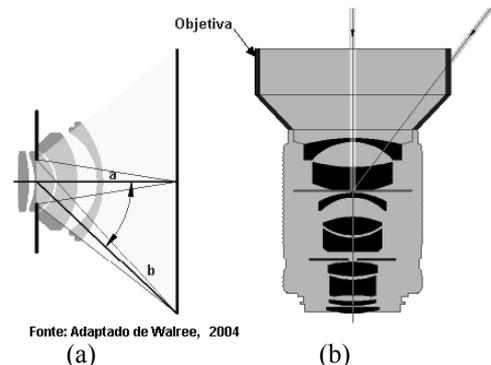


Fig. 1 – (a) Diferentes caminhos dos raios; (b) obstrução por anteparo.

Também Nóbrega (2002), em seu trabalho, analisa as imperfeições em imagens aéreas. Dentre as principais foram citadas:

- Hot-Spot – pequenas regiões com brilho excessivo;
- Vinhete – escurecimento radial, ocorrido em fotografias aéreas;
- Diferenças entre materiais fotográficos;
- Diferentes épocas de vôo;
- Diferenças no ajuste ou configuração do “scanner”.

O efeito vinhete é descrito por Lillesand e Kiefer (1987) como o escurecimento interno resultante do sistema de lentes.

Walree (2004) denomina o efeito vinhete como o escurecimento das bordas das imagens fotográficas.

### 2.2 Agricultura de Precisão

Bakhsh et al. (1997) consideram a agricultura de precisão um promissor método de uniformização da produtividade agrícola adequado às necessidades ambientais. Este método consiste na aplicação localizada dos insumos agrícolas em função da necessidade específica de cada local do solo.

Milby (1996) descreve a agricultura de precisão utilizando um acrônimo, UC3, definidos como (U) uso de nova tecnologia, (C) centrada na informação, (3) com três vantagens sobre as tradicionais abordagens: agrônômica, econômica e ambiental. Portanto a Agricultura de Precisão está fundamentada na variabilidade dos fatores de produção, no que diz respeito ao solo, vegetação e clima, sendo a biomassa da planta o resultado da interação destes três parâmetros.

### 2.3 Sensoriamento Remoto aéreo -Utilização de Câmaras Multiespectrais (analogicas e digitais)

Muitos trabalhos têm sido realizados utilizando dados multiespectrais, os quais possuem grandes possibilidades de aplicação, inclusive em agricultura de precisão. Os dados podem ser obtidos por fotografias aéreas e videografia. Como exemplo de utilização da videografia em vegetação pode-se citar o trabalho de Drake (1996) no qual é feita a avaliação da utilização dessa nova ferramenta na discriminação de classes de vegetação. O autor menciona a videografia georreferenciada como uma ferramenta extremamente útil como uma fonte de dados independente ou como auxiliar na verificação de campo, quando da utilização de imagens de satélite. Weepener et al. (2000) e Nóbrega (2002) divulgaram em seus trabalhos, que é de suma importância o conhecimento de variáveis como a direção do vôo, o tempo em que as imagens foram adquiridas e a forma que as imagens foram registradas, isso com o intuito de minimizar o efeito "hot-spots" e as incorreções radiométricas.

Barnes et al. (1996) mostram um experimento típico de aplicação de Sensoriamento Remoto aéreo no acompanhamento da cultura de algodão, para medir a eficiência de irrigação. Foram obtidas imagens aéreas em quatro bandas espectrais (verde, vermelho, infravermelho e termal), com resolução espacial de 2 m, durante a estação de crescimento da cultura. O acompanhamento da cultura foi realizado utilizando-se do Índice de Área Foliar (IAF). Constatou-se, com a análise, que determinadas porções da área estavam com baixos IAF, em função da não uniformidade de irrigação ou variação no tipo de solo. O mesmo trabalho possibilitou observar ataques de praga, demonstrando o leque de opções possíveis ao se analisar imagens de sensoriamento remoto.

Algumas aplicações estão sendo estudadas no sentido de integrar dados multiespectrais com dados físicos do tipo IAF e temperatura, em modelos de crescimento (BARNES et al., 1996). Moran et al. (1995) utilizaram dados de sensoriamento remoto para estimar IAF assim como dados de evapotranspiração em modelo de crescimento de alfafa.

Walters et al. (1996), utilizaram fotografias aéreas para manejar quantidades de matéria orgânica (MO) e nitrogênio (N) em solos com grande variabilidade de propriedades químicas e físicas. Para isso, foram coletadas amostras, no campo, e correlacionadas com dados das bandas espectrais das fotografias aéreas. Observou-se que a banda do vermelho, continha muitas informações a respeito dessas duas variáveis (N e MO). Foi possível com isso dividir a área em áreas homogêneas em necessidades e assim criar condições de tratá-las de modo diferente segundo suas necessidades provando assim, a grande utilidade de fotografias aéreas em aplicações de agricultura de precisão.

A NASA (1998) - (National Aeronautics and Space Administration) - em conjunto com o ARS

(Agricultural Research Service) desenvolveram um projeto em conjunto no sentido de acompanhar o crescimento de uma cultura e adquirir dados de variabilidade das propriedades físicas do solo, fertilidade do solo, fisiologia da planta, medidas de refletância espectral de folhas e aquisição de imagens de sensoriamento remoto aéreo. As imagens foram adquiridas durante a estação de crescimento da cultura nos estágios fenológicos críticos da planta. As fotografias foram obtidas por meio de uma câmara fotográfica digital multiespectral, com três bandas, coletadas a 1600 metros de altitude e apresentando resolução espacial de 1 m<sup>2</sup>. Os mapas foram utilizados para mostrar as áreas de estresse e assim determinar as suas causas.

O trabalho desenvolvido por Anderson e Yang (1996) demonstrou a potencialidade de utilização de fotografia aérea infravermelha e videografia no manejo da cultura. Essas duas ferramentas foram utilizadas para mapear e estratificar a cultura em áreas homogêneas sob o ponto de vista de resposta espectral. A videografia multiespectral se mostrou eficiente no mapeamento da variabilidade espacial do rendimento. A faixa do espectro eletromagnético correspondente ao vermelho apresentou alta correlação com rendimento da cultura. A estratificação da cultura conseguida através da videografia e fotografia aérea possibilitou otimizar o trabalho de amostragem uma vez que foi realizada nos extratos com menor variabilidade. Yang et al. (2000), relacionaram dados de câmara digital com dados de produção em cultura de soja e encontraram boas correlações. Foi possível então modelar a produção a partir de dados digitais oriundos destas imagens.

Weepener et al. (2000) apresentaram um trabalho que utilizava monitoramento aéreo, em culturas de citrus. Concluiu-se que a utilização deste método representa uma eficiente integração e alternativa em relação às antigas técnicas então utilizadas.

Pode-se notar que, grande parte dos trabalhos aborda aspectos qualitativos em vez de quantitativos, demonstrando a importância de se ter estudos que permitam conhecer melhor a operacionalidade e a definição dos produtos gerados pelas câmaras.

Vários trabalhos têm sido feitos nesta área. Pode-se citar os de King, 1991; Fraser, 1997; Mason et al., 1997; Edirisinghe et al. (1999, 2001).

King (1991) estudou as variações de brilho, para diferentes ângulos, em alvos agrícolas através de uma câmara de vídeo multiespectral. Houve variações devido à altitude e o ângulo de visada. Fraser (1997), detectou que uma instabilidade da câmara e a não homogeneidade de aplainamento, são dois fatores que podem influenciar no potencial de utilização de câmaras fotogramétricas CCD.

Segundo Blaha (1997), em seu trabalho, três parâmetros foram examinados para a correção radiométrica, entre eles: a influência do meio na radiação eletromagnética, o modelamento da influência de diferentes gases da atmosfera em relação à absorção eletromagnética e a observação do menor valor de

brilho (radiação) para cada banda analisada. Com isso foram traçados perfis para as bandas.

Outros trabalhos como os de Edirisinghe et al. (1999, 2001) analisam os possíveis erros e como podem ser corrigidos. Segundo os autores, os erros mais comuns inerentes a sistemas fotográficos são: aberração esférica, coma e astigmatismo. O problema de Vinhete ocorre devido à obstrução de luz nas paredes da lente e ao sombreamento da imagem devido a diferença de quantidade de radiação que alcança as bordas da fotografia. A quantidade de luz pelo efeito vinhete depende do número  $f$ , isto é quanto maior a abertura o vinhete é minimizado e quanto menor a abertura o efeito é maior. A distorção radiométrica causada pela diferença de iluminação do centro da foto para a periferia acontece obedecendo a lei  $\cos^4\theta$ . Assim este efeito é importante na análise de níveis de cinza em produtos oriundos de câmeras digitais aéreas. Desta forma este trabalho tem o objetivo de testar o efeito vinhete para imagens da câmara digital Duncan através do efeito  $\cos^4\theta$ .

## 2.4 Hipótese do Trabalho

O esperado é que com o afastamento de um determinado alvo do centro geométrico da imagem, aumente a diferença dada por  $\Delta = |\cos^4\theta - C_b|$ , onde  $C_b$  é a relação entre os níveis de cinza do mesmo alvo, localizados no centro da imagem e fora dele (dado pelo ângulo teta), para cada banda espectral analisada.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

Uma câmara digital marca Duncan modelo MS3100 com as seguintes características:

- Separção do prisma com três sensores CCD Figura 2;
- 1392(H) x 1040(V) pixels de definição, correspondente a imagens de 4,3 milhões de pixels;;
- Faixas espectrais de operação: 400-1100 nm em 4 bandas espectrais: azul, verde, vermelho e infravermelho. A câmara adquire as imagens em dois modos: RGB (azul, verde e vermelho e CIR (verde, vermelho e infravermelho - Figura 3);
- Objetiva de 17mm.

Outros materiais utilizados:

- o Microcomputador;
- o Placas de madeira, pintadas com tinta branca brilhante (dimensão: 2,0 x 2,0 metros);
- o Software Idrisi 32.

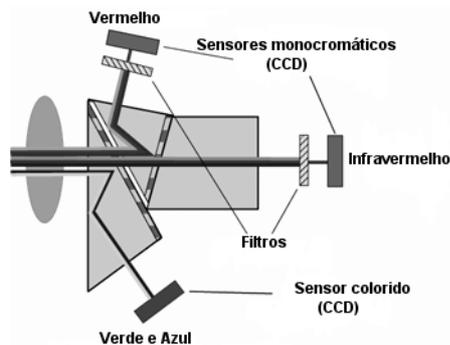


Fig. 2 - Divisão da radiação nas 4 faixas espectrais de atuação da câmara.

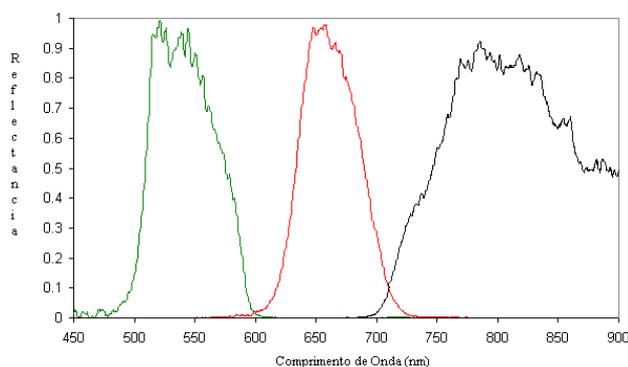


Fig. 3 - Comportamento da Reflectância Normalizada do Espectro Eletromagnético Utilizado na câmara Duncan para o modo CIR. (REDLAKE, 2004)

Este trabalho utilizou imagens da câmara digital Duncan adquiridas durante o projeto “Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento da Variabilidade Espacial da produtividade da Cana-de-Açúcar para Agricultura de Precisão” (Fapesp n. 99/07071-1)” no qual a cultura foi monitorada ao longo do ciclo vegetativo, na safra 2001 / 2002. O vôo foi realizado na Usina São João / Araras – S.P e as imagens foram adquiridas no modo CIR (verde, vermelho e infravermelho) a uma altitude de 1.600 metros. Para efeito de calibração, foram dispostas, nos talhões de estudo, 6 placas brancas de 2,0 x 2,0 metros que serviram de padrão na correção radiométrica e geométricas das imagens. Elas assumiram o valor máximo de resposta. Assumiu-se que as placas têm comportamento lambertiano (refletem igualmente em todos os ângulos e direções). Desta maneira este estudo aproveitou a disponibilidade destes dados para testar a viabilidade de utilizar a correção radiométrica de imagens, para o efeito vinhete através do  $\cos^4\theta$ . Para isso duas etapas foram realizadas:

- Análise e escolha das imagens;
- Análise dos dados e confrontação com a hipótese de trabalho:

As análises foram realizadas para as bandas vermelho e infravermelho, que são aquelas utilizadas na composição do NDVI, por sua vez, mais utilizado no monitoramento de vegetação e portanto com alto potencial de utilização em previsão de safra.

Para a etapa (a) foram seguidos os passos descritos abaixo:

Primeiramente, com o auxílio do software Idrisi32, as imagens foram convertidas de sua extensão inicial (TIF) para o padrão Idrisi no qual foram extraídos os dados para análise estatística.

Dentro de cada imagem buscava-se a identificação de placas brancas. Estas placas podem ser observadas nas imagens, aparecendo em várias regiões das mesmas, pois foram feitas várias passagens para cobrir toda a área. Como citado anteriormente, as placas serviram para efetuar as correções geométricas e radiométricas no momento da passagem. Entre as várias imagens que foram usadas e posteriormente selecionadas, uma delas é apresentada aqui a título de exemplo (Figura 4). Esta placa (central) foi tomada como base para uma das partes do trabalho, pois ela está próxima ao centro geométrico da imagem. Ainda na Figura 4, foi possível identificar outra placa, mais afastada do centro, e ao identificar o centro geométrico pode-se calcular a sua distância a este centro. O centro geométrico é dado pelo centro do pixel identificado pelo cruzamento entre as coluna e linha centrais.

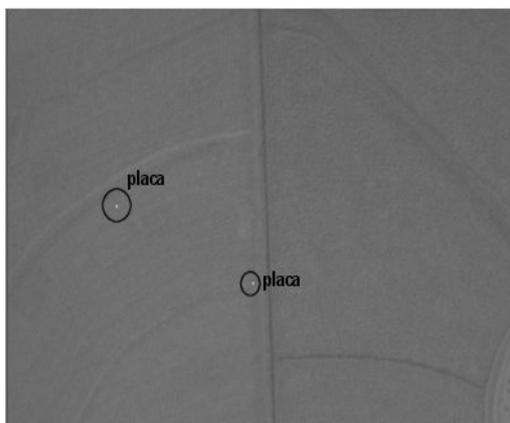


Fig. 4 – Imagem digital da Câmara – Presença de duas Placas.

Nos vôos realizados foram adquiridas várias imagens, o que possibilitou que uma mesma placa fosse vista com ângulos de visadas diferentes. A partir desta possibilidade, pode-se verificar, para este mesmo alvo, a existência ou não, de diferenças no valor do nível de cinza (NC) registrado pelo sensor, numa determinada banda.

Do total de 36 imagens relativas a 4 dias de levantamento, foi realizada uma primeira triagem que possibilitou separar imagens passíveis de serem analisadas. Estas imagens corresponderam aos dias 02 de novembro de 2001 e 11 de abril de 2002.

A próxima etapa foi identificar dentre as imagens existentes e pré-selecionadas, quais retratavam um mesmo alvo. Nesta etapa, foi possível extrair os

níveis de cinza e realizar a análise estatística com o cálculo do desvio padrão, média e coeficiente de variação, dos NC, para cada banda (vermelho e infravermelho).

Para a etapa (b), foram realizados os seguintes passos:

- Identificação da posição da placa branca das linhas e colunas referentes ao centro da placa. Este procedimento permitiu calcular a distância do centro geométrico da imagem e do ângulo  $\theta$ . Os valores de nível de cinza foram extraídos das imagens nas bandas: vermelha e infravermelha. Os dados foram organizados em planilhas, no Excel, para posterior tratamento e análise;
- A próxima etapa foi aplicar o teste do co-seno à quarta utilizando-se das placas de referência. Esta etapa consiste da aplicação do seguinte princípio básico. Para cada dia, foi escolhida uma imagem que mostrasse a placa branca o mais próximo possível do centro geométrico da imagem.

Nesta imagem padrão foram identificados e retirados vários valores de Níveis de Cinza e utilizados como o máximo valor para cada banda naquele dia. Houve a necessidade de escolher duas imagens distintas em dois dias (uma imagem para cada dia), devido às variações de iluminação.

O cálculo do coeficiente de comparação ( $C_b$ ) foi realizado da seguinte forma (1):

$$C_b = NC_{yb} / NC_{ob} \quad (1)$$

onde:

$NC_{yb}$  – Nível de Cinza para a banda b em um ponto situado a uma distância y do centro geométrico da imagem;

$NC_{ob}$  – Nível de Cinza para a banda b no centro geométrico da imagem.

Com isso, para cada banda, dentro de cada imagem, se obteve um valor. E segundo a literatura, o quão mais próximo um alvo estiver do centro da imagem, menor deve ser o módulo da diferença entre o  $\cos^4\theta$  e o parâmetro  $C_b$ , ou seja, menor deve ser  $\Delta = |\cos^4\theta - C_b|$ .

O ângulo  $\theta$  foi calculado de acordo com a Figura 5.

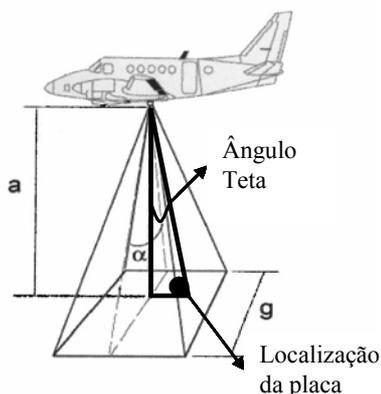


Fig. 5 - Esquema geométrico de cálculo do ângulo teta.

Na Figura 5 estão representados a altitude do vôo (a) e o eventual ponto a ser analisado. Estes dois trechos representariam a cateto adjacente e o cateto oposto de um triângulo retângulo, com ângulo de 90 graus com o centro geométrico da imagem. A dimensão “g” determina o tamanho da imagem.

Após estar com todos os pontos catalogados, com suas posições, ângulos e distâncias calculadas, foi realizada a verificação da existência na relação entre o Nível de Cinza e o co-seno a quarta, em função da disposição do alvo em relação à origem.

Com todos estes valores calculados, os pontos foram separados por distâncias, e foram determinadas faixas de distâncias radiais do centro, e os pontos foram reagrupados de acordo com a distância em que o mesmo se situava em relação ao centro geométrico da imagem. Com isso, foi possível saber um pouco mais sobre a variação dos valores de NC dentro de um mesmo grupo e também entre os demais grupos.

Os pontos foram separados em 10 grupos, sendo que, pela ausência de pontos nos primeiros 150 metros (distância sendo medida de forma radial ao centro geométrico), o primeiro grupo engloba os pontos de 150 a 300 metros do centro, os demais grupos são separados em 50 e 50 metros. Dentro de cada grupo foram calculados a média e o coeficiente de variação. Após avaliação estatística, foi calculada a relação  $\Delta = |\cos^4 \theta - C_b|$ . O Delta é a discrepância entre o valor lido e aquele que deveria ter sido se estivesse no centro da imagem.

Na ausência de diferenças de altitude do vôo, pressuposto considerado neste trabalho, foi realizado um teste para verificar o efeito de variação da altura da câmara na relação  $|\cos^4 \theta - C_b|$ . Para isto foi construído um suporte (Figura 6) o qual possibilitava mudanças na altura. O teste foi realizado sobre uma das placas brancas utilizada, no levantamento aéreo, nas alturas de 0,5; 1,0 e 1,5 metro. Os pontos de coleta foram escolhidos a partir do centro geométrico da placa seguindo o esquema da Figura 7.



Fig. 6 - Suporte para a câmera com possibilidade de variação de altura.

A placa utilizada no experimento simulado, foi a mesma utilizada para os vôos. A placa era branca e formada por quatro partes. Em três delas, pela posição do suporte e da fonte de iluminação (sol) houve sombreamento, desta maneira os dados foram coletados nos pontos 2, 3 e 4, na placa 4.

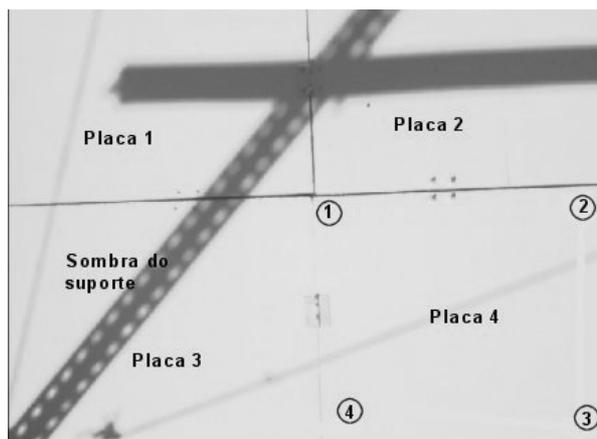


Fig. 7 - Distribuição dos pontos em uma das partes da placa.

#### 4. ANÁLISES E RESULTADOS

Numa primeira análise, para cada um dos dias foi calculada a média dos valores dos níveis de cinza (NC) para cada banda do espectro eletromagnético. Inicialmente, o Gráfico 1 mostra a variação da média para o dia 02/nov/01.

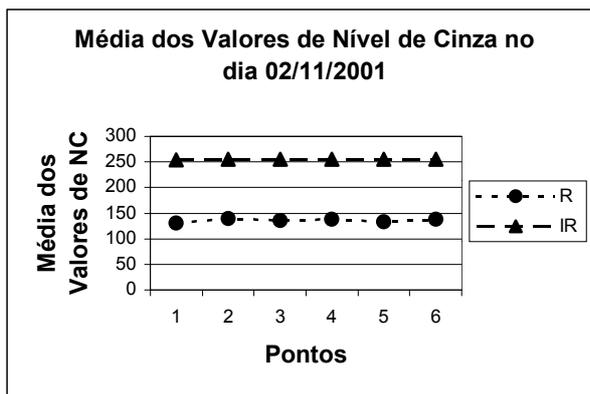


Gráfico 1 - Variação dos Níveis de Cinza, na imagem (02/11/01)

No Gráfico 1, pode-se notar, para as duas faixas espectrais, que não houve grande variação. Este fato pode ser corroborado pelos valores do coeficiente de variação apresentado no Gráfico 2.

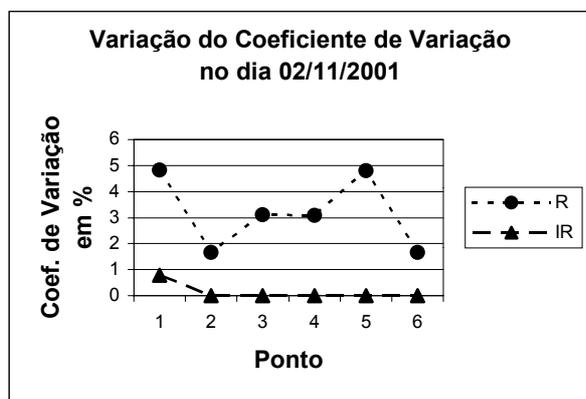


Gráfico 2: Desvio Padrão das Médias de NC obtido das imagens aéreas (02/11/01)

Ainda nesta etapa inicial, o mesmo estudo foi feito para os pontos analisados no dia 11/04/02, e chegou-se aos seguintes resultados mostrados nos Gráficos 3 e 4.

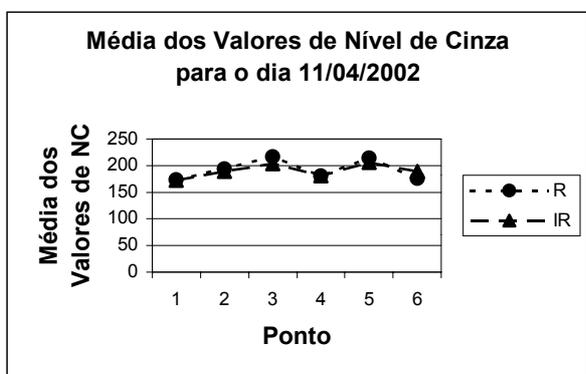


Gráfico 3 : Variação dos Níveis de Cinza obtido das imagens aéreas (11/04/02)

No Gráfico 3 pode-se notar que, assim como no dia 02/11/01, as duas faixas que estão sendo estudadas

não apresentaram grande variação, mas o coeficiente de variação das médias apresentou variação acentuada entre os pontos (Gráfico 4).

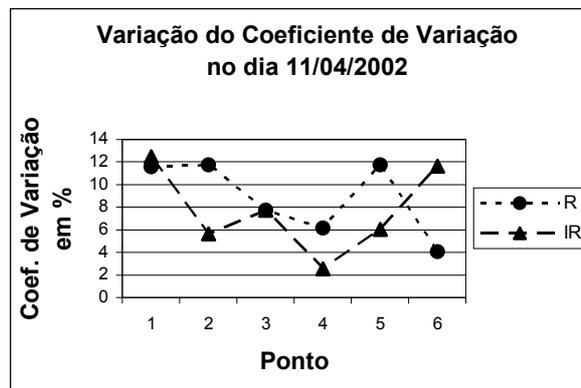


Gráfico 4 - Desvio Padrão das Médias de NC obtido das imagens aéreas (11/04/02)

Outro cálculo realizado levou em consideração os valores de NC das placas, nas imagens dos dois dias. Desta maneira, os pontos foram separados e alocados, em grupos e os valores apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: CONJUNTO DE VALORES QUE COMPREENDE OS PONTOS AGRUPADOS POR DISTÂNCIAS RADIAIS EM RELAÇÃO AO CENTRO GEOMÉTRICO DA IMAGEM.

Distâncias (m)	Média (M) Coef. Var.(CV)	Banda Verm. (R)	Banda Infraverm. (IV)
150 a 300	M CV(%)	214,75 0,16	201,13 6,23
> 300 a 350	M CV(%)	179,50 <b>28,3</b>	235,38 9,62
> 350 a 400	M CV(%)	159,25 <b>31,46</b>	235,54 11,98
> 400 a 450	M CV(%)	173,97 <b>22,92</b>	214,31 <b>16,34</b>
> 450 a 500	M CV(%)	198,56 <b>25,16</b>	226 <b>15,51</b>
> 500 a 550	M CV(%)	159,69 <b>21,62</b>	224,15 <b>16,67</b>
> 550 a 600	M CV(%)	208,13 11,43	198,94 7,49
> 650 a 700	M CV(%)	143,17 7,28	219,95 <b>24,69</b>
> 700 a 750	M CV(%)	162,17 <b>33,42</b>	236 <b>13,94</b>

Pode-se notar que os coeficientes de variação para a banda do infravermelho são menores daqueles para a banda do vermelho, exeto de 650 a 700 metros e 150 a 300 metros. Este fato corrobora a análise anterior, por dia, em que os coeficientes de variação para a banda infravermelha também são menores. O aumento na

variabilidade já era esperado pois a análise incluiu dados dos dois dias, considerando dados com geometria sensor-iluminação diferentes. Por outro lado pode-se considerar coerência nos dados. O grupo que compreende de 600 a 650 metros só possuía um único ponto (logo não existe coeficiente de variação).

Para a última etapa, dividiu-se os valores de Delta e  $\cos^4\theta$  por distância do centro da imagem. Estes valores foram calculados e separados por dia (02/11/01 e 11/04/02).

As Tabelas 2 e 3, assim como os pontos dos Gráficos 8 e 9 foram organizados de modo a mostrar os resultados por ordem crescente de distância. Com isso pode-se obter uma melhor visualização do comportamento dos parâmetros, de acordo com o afastamento do centro geométrico da imagem.

TABELA 2: VALORES DOS PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA O DIA 11/04/2002.

11/04/02					
Dis.Cen (m)	$\cos^4\theta$	$C_{Verm}$	Delta	$C_{IR}$	Delta
216,65	0,964	0,861	0,102	0,867	0,096
336,04	0,917	0,773	0,143	0,831	0,085
381,73	0,895	1	0,104	1	0,104
433,54	0,867	0,716	0,151	0,767	0,100
444,94	0,861	0,857	0,00390	0,948	0,086
546,56	0,801	0,661	0,140	0,811	0,009
639,71	0,743	0,739	0,00391	0,800	0,056
690,63	0,710	0,645	0,065	0,688	0,022
698,35	0,705	0,602	0,103	0,664	0,040

TABELA 3: VALORES DOS PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA O DIA 02/11/2001.

02/11/01					
Dis.Cen. (m)	$\cos^4\theta$	$C_{Verm}$	Delta	$C_{IR}$	Delta
307,19	0,930	0,978	0,048	1	0,069
511,17	0,823	0,971	0,147	1	0,176
536,70	0,808	0,982	0,174	1	0,192
538,05	0,807	1,007	0,200	1	0,192
543,79	0,802	0,960	0,158	1	0,197
546,11	0,802	0,922	0,120	1	0,197
546,11	0,802	1,005	0,203	1	0,197
718,44	0,692	0,935	0,242	1	0,307

Os dados da Tabela 2 mostram uma variação do delta para menores valores, não aprovando a hipótese. Por outro lado, para o dia 02/11/2001 (Tabela 3), os valores de delta aumentam, aprovando a hipótese. Quanto a este fato, pode-se levantar algumas suposições. O aumento da variabilidade dos valores ocorridos no dia 11/04/2001, pode ter sido ocasionado por fatores atmosféricos como vento, que na sua ação, muda as condições de estabilidade do avião e/ou pelas condições de geometria alvo-iluminação do dia da passagem. Sob o ponto de vista de atmosfera, mudanças

na sua composição implicam na composição da radiação que chega ao sensor. Lillesand e Kiefer (1987) analisando a influência da atmosfera na resposta espectral destacam que a relação entre radiação direta e radiação difusa muda de 7/1 em dias claros para 1/1 em dias com uma fina camada de nuvens, mas de acordo com King (1995) a atmosfera só influencia em imageamentos acima de 1000 metros. Portanto a variação pode estar implicando nesta não confirmação da hipótese para esta data.

Ainda assim pode-se notar, pelos valores de delta da data 11/04/2002, que a variação é pequena em torno de 0 a 0,16 (Gráfico 8) enquanto que, no dia 02/11/2001 a variação acontece de 0 a 0,3 (Gráfico 9). Isto significa que os valores de 11/04/2001, apesar da tendência negativa, é muito fraca, podendo estar relacionado com fatores tais como: atmosfera, geometria sensor – iluminação, vento; e que portanto o comportamento deveria ser semelhante ao do dia 02/11.

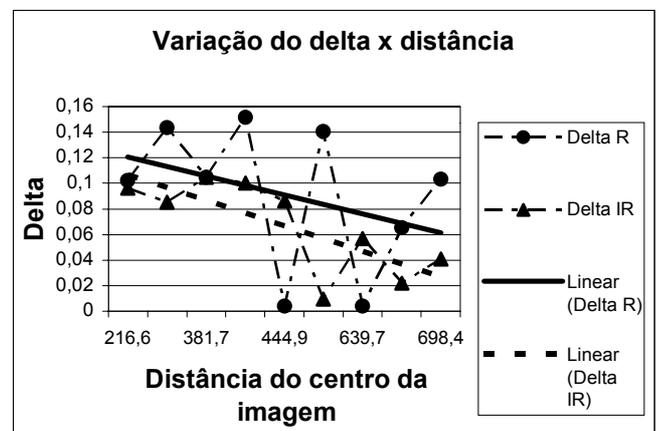


Gráfico 8 - Variações do delta em relação ao centro da imagem para o dia 11/04/2002.

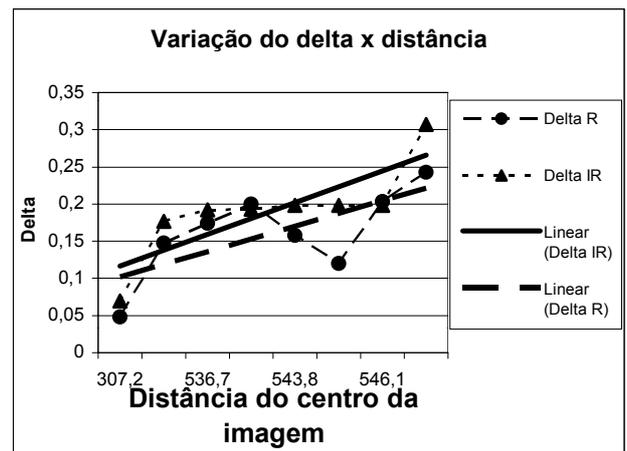


Gráfico 9 - Variações do delta em relação ao centro da imagem, para o dia 02/11/2001.

Por fim, os Gráficos 10, 11, 12 e 13 mostram os resultados da análise da variação de altura da câmara e sua influência na variação dos valores de níveis de cinza a partir do centro geométrico da imagem. O

Gráfico 10 mostra a variação do Delta com relação à altura da câmara, para os pontos 2, 3 e 4. Pode-se notar que a medida que aumenta a altura aumenta a diferença Delta. Para 0,5 metro, os valores se misturaram, provavelmente por causa da saturação, pois a placa é branca e os valores se aproximaram todos de 250.

Os Gráficos 11, 12 e 13 mostram as variações do Delta, nos pontos 2, 3 e 4 para cada altura. Pode-se notar que a medida que os pontos se afastam do centro, no caso o ponto 3, a diferença aumenta. Isto acontece para as três alturas, com menor intensidade na altura 0,5 metro, pelo motivo já exposto anteriormente. Esta análise corrobora a hipótese, apesar dela não ter funcionado em uma das duas situações das imagens aéreas analisadas (Gráfico 8).

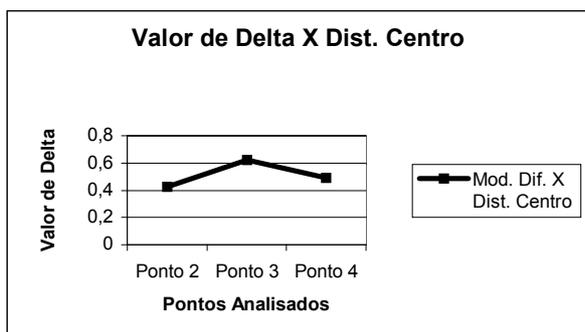


Gráfico 10 - Variação do Delta para as 3 alturas analisadas.

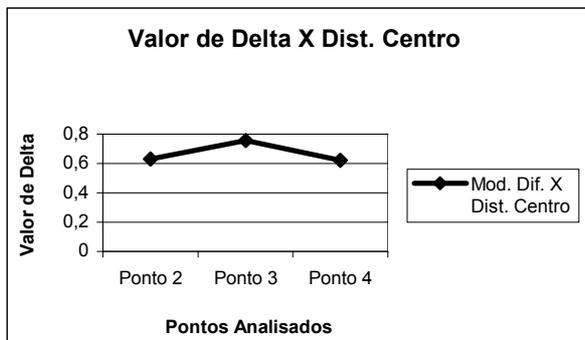


Gráfico 11 - Variação do Delta, no experimento de solo, para a altura de 1,5 metro.

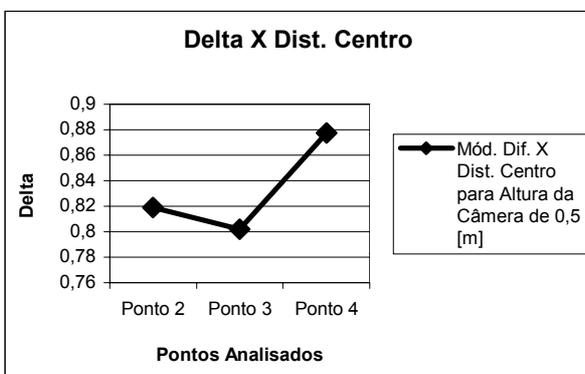


Gráfico 12 - Variação do Delta, no experimento de solo, para a altura de 1,0 metro.

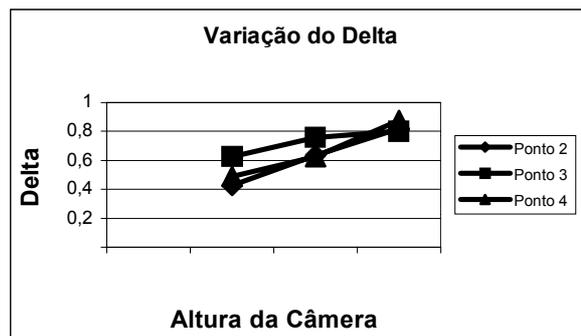


Gráfico 13 - Variação do Delta para a altura de 0,5 metro.

## 5. CONCLUSÃO

Como as imagens aéreas não apresentaram resultados conclusivos, pois consideram influências de altitude e geometria sensor-fonte de iluminação, aqueles apresentados pela experimentação ao nível do solo, com as placas, permitiram, sem a influência da atmosfera e problemas de geometria, constatar que realmente há o efeito vinhete e pode ser modelado pela lei do  $\cos^4\theta$ .

A partir dos resultados deste trabalho, é possível sugerir alguns procedimentos para testar a ocorrência ou não do efeito vinhete em imagens aéreas:

- Realizar o experimento variando a altitude de vôo, mas observando a sua magnitude para que não seja um fator de influência no resultado.

- Testar diferentes tipos de material para a placa como a lonita branca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, G.L.; YANG, C. Multispectral Videography and Geographic Information System for Site-Specific Farm Management. In: 3rd Proceedings of International Conference. Minneapolis, Minnesota. 23-26 June, 1996. **Anais.** p.681 - 692.1996.
- BAKSH. A.; COLVIN, T.S.; JAYNES, D.B.; KANWAR, R.S.; TIM, U.S. Spatial distribution of soil attributes affecting crop yield. **ASAE Paper.** No. 97-1032, ASAE St. Joseph, 1997.
- BARNES, E.M.; MORAN, M.S.; PINTER Jr., P.J.; CLARKE, T.R. Multispectral Remote Sensing and Site-Specific Agriculture: Examples of Current Technology and Future Possibilities. In: 3rd Proceedings of International Conference. Minneapolis, Minnesota. 23-26 June, 1996. **Anais.** p.845 - 854. 1996.
- BLAHA, G. Accuracy of Plates Calibrated by an Automatic Monocomparator. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** v. 63, n. 9, p. 1129-1132, 1997.

- DRAKE, S. Visual Interpretation of Vegetation Classes from Airborne Videography: An Evaluation of Observer Proficiency with Minimal Training. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.62, n.8, p. 969 - 978, 1996
- EDIRISINGHE, A.; LOUIS, J. P.; CHAPMAN, G. E. Radiometric Calibration of Multispectral Airborne Video Systems. **International Remote Sensing**. v.20 n.14, p.2855-2870. 1999.
- EDIRISINGHE, A.; CHAPMAN, G. E.; LOUIS, J. P. Radiometric Corrections for Multispectral Airborne Video Imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.67, n.8, p. 915-922. 2001.
- FRASER, C. S. Digital camera self-calibration. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v.52, p.149-159. 1997.
- KING, D. Determination and Reduction of Cover Type Brightness Variations with View Angle in Airborne Multispectral Video Imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. V.57, n.12, p.1571-1577. 1991.
- KING, D.J. Airborne multispectral digital camera and video sensors: a critical review of system designs and applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Special Issue on Aerial Optical Remote Sensing v.21 n.3, p. 245-273. 1995.
- LILLESAND, T.M. ; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. . 2a Edition. New York. John Wiley& Sons. 1987. 721p.
- MASON, S.; RÜTHER, H.; SMIT, J. Investigation of Kodak DCS460 digital camera for small-area mapping. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol.52, p.202-214. 1997.
- MILBY, R. (1996). **Precision Definitions**. Disponível em <<http://www.precisionag.com/key.html>>. Acesso: 04 de agosto de 2003.
- MORAN, S.M., MAAS, S.J., PINTER Jr., P.J. Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production. **Remote Sensing Reviews**, 12335-353, 1995.
- NASA. Precision Farm. Artigos da Precision Ag **ILLUSTRATED MAGAZINE**. Jan/Fev. 1998. Disponível em <<http://precisionag.ifttd.org/articles/janfeb1998/>> Acesso: 09/2004.
- NÓBREGA, R.A.A. **Análise do Balanceamento de imagens aplicado a Fotogrametria**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002. 102p.
- REDLAKE. **Multi-Spectral Câmeras**. Disponível em <[http://www.redlake.com/spectral/tech\\_articles\\_remote\\_sensing\\_config.html](http://www.redlake.com/spectral/tech_articles_remote_sensing_config.html)>. Acesso: 20/07/2004.
- YANG, C.; EVERIT, J.H.; BRADFORD, J.M.; ESCOBAR, D.E. Airborne Multispectral Digital Imagery for Detecting Plant Growth and Yield Variability for a Grain Sorghum Field. In: **Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry**, Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January. Vol II, Anais. p. 477 a 485. 2000.
- WALTERS, C.S.; FRAZIER, B.E.; MILLER, B.C.; PAN, W.L. Remotely Sensed Soil Organic Matter Mapping for Site-Specific N Management in Dryland Winter Wheat. In: **3rd Proceedings of International Conference**. 23-26 June 1996. Minneapolis, Minnesota. p.579 (Abstract).
- WALREE, van P. **Website sobre ótica e fotografias**. Disponível em <<http://www.vanwalree.com/optics/vignetting.html>>. Acesso: 09/2004.
- WEEPENER, H.L.; NARCISO, G.; LYON, T. Monitoring Citrus Plantation With Airborne Imagery. In: **Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry**, Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January 2000.

**Recebido em 07 de maio de 2004 – Aceito para publicação em 6 de dezembro de 2004.**