
ERRO DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS INERENTES AO EFEITO DA CORRENTE ESCURA

JOÃO BATISTA TAVARES JÚNIOR
DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS
EVALDO RIBEIRO

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Departamento de Física
joaotavaresjunior@yahoo.com.br
danielsantos@ufpr.br
evaldo@fisica.ufpr.br

RESUMO – Dentre os dispositivos utilizados para a obtenção de imagens, o *CCD* (*Charge Coupled Device*) é um dos mais empregados para tal finalidade. Durante o tempo de interação do *CCD* com a luz, além de uma carga gerada pela absorção dos fótons, também pode ser acumulada uma carga adicional devido à interferência térmica, em cada elemento de imagem (pixel). No processo de leitura, essa interferência é conhecida como corrente escura, a qual é inerente ao funcionamento do *CCD* mas que pode ser reduzida a um nível negligenciável mediante refrigeração do dispositivo. Ao efetuar a classificação de imagens que não foram corrigidas desse erro sistemático, ele pode ser causa de boa parte dos erros de atribuição de uma classe a uma outra classe qualquer. Os resultados aqui obtidos mostram que há necessidade de efetuar a essa correção, a qual proporcionou um acréscimo de acerto em torno de 10,39% na classificação da imagem analisada. Também pode-se concluir que é essencial conhecer os valores corretos da calibração radiométrica do sistema, os quais proporcionaram a transformação do valor digital em valor físico, eliminando os erros sistemáticos do sistema.

ABSTRACT - Amongst the devices used for image acquisition, the CCD (Charge Coupled Device) is one of the most common detectors employed. During the time of interaction of the CCD with the light, in addition to the charge originated from photon absorption, also an extra charge might be accumulated due to thermal interference, in each image element (pixel). In the reading process, this interference is known as dark current, which is inherent to the CCD functioning but can be reduced to a minimum level by device cooling. When performing the classification of images that had not been corrected from this systematic error, the later can lead to a considerable amount of errors in class attribution. The results obtained here show that it is very important to make this correction, since in our case it led to an enhancement of 10.39% in correct identification during the classification of the analyzed images. It can also be concluded that it is essential to know the correct values of the system radiometric calibration, which lead to the transformation of the digital value into physical value, eliminating the systematic errors from the system.

Precisa dar uma garibada na nomenclatura técnica da área, que não conheço. Usei uns termos aí em cima que gostaria que vocês checassem se estão corretamente empregados.

1 INTRODUÇÃO

A busca por sistemas que ofereçam aos cientistas informações sobre os fenômenos físicos tem promovido desde a década de 70 o desenvolvimento de sensores remotos capazes de registrar mudanças físicas no ambiente.

O desenvolvimento dos sensores remotos possibilitou a evolução tecnológica das câmeras fotográficas, filmadoras, trazendo assim grandes

benefícios à tradicional Fotogrametria (TOMMASELLI et al., 2000).

O uso de câmeras de pequeno formato em levantamentos aerofotogramétricos é tema de pesquisa há aproximadamente 15 anos (GONÇALVES, 2006). As imagens adquiridas com câmaras digitais convencionais com filtros adaptados vêm apresentando potencialidades na realização de mapeamentos temáticos como, por exemplo delimitação de corpos d'água e das coberturas vegetais (SARTORI et al., 2007).

Os sensores mais utilizados em sensoriamento remoto geralmente são do tipo passivo, os quais medem a intensidade de radiação refletida pela superfície de um determinado objeto em diferentes faixas do espectro eletromagnético, sendo o CCD (“Charge Coupled Devices”) o mais utilizado nas câmeras digitais convencionais.

Os CCDs comerciais mais comuns são feitos de Silício, que mediante um processamento é estruturado na forma de uma matriz de capacitores. Estes capacitores são desenhados de maneira a acumular a carga que é gerada por efeito fotoelétrico em cada um dos pixels. De maneira simples, um fóton de luz que incide sobre um pixel será absorvido por um único elétron do material (Silício dopado, com excesso de elétrons) e por causa dessa energia recebida são ejetados e acumulados nos capacitores. Ao final da exposição, o circuito transforma a carga acumulada em cada capacitor em uma voltagem, que será utilizada para montar a imagem (RIBEIRO, 2008).

Teoricamente, ao se obter uma imagem em um ambiente com total obscuridade, espera-se encontrar todos os valores digitais iguais a zero, mas ao avaliá-la nota-se que há valores diferentes de zero armazenados na mesma. Este sinal residual no CCD é chamado de corrente escura.

Assim, por exemplo, ao classificar uma imagem obtida por um dado sensor, esta poderá conter erros inerentes ao fato da não correção dos valores digitais correspondentes à corrente escura. Uma forma para realizar essa correção consiste em efetuar uma média ou soma mediana de diversas imagens do mesmo objeto ou confeccionar um mapa de referência da corrente escura sendo habitualmente construído pela média de 7 a 10 imagens obtidas em total obscuridade.

Esse trabalho tem como objetivo averiguar o efeito da corrente escura na classificação de imagem obtida com uma câmera fotográfica convencional utilizando o método da distância mínima (distância euclidiana). Para a eliminação do erro sistemático de interesse, foi confeccionado um mapa da corrente escura e o valor encontrado para cada pixel foi removido de seu pixel equivalente na imagem padrão; também foram tomadas oito imagens da mesma superfície das quais gerou-se uma nova imagem contendo os valores médios.

2 REVISÃO DOS CONCEITOS

2.1 CCD (Charge Coupled Devices)

Os sensores CCDs foram concebidos em 1970 sendo originalmente aplicados como dispositivos de memória. Por apresentarem sensibilidade à luz, eles foram rapidamente aplicados na fotografia, sendo hoje os mais populares e usuais nas câmeras fotográficas digitais disponíveis no mercado (TULLOCH, 2006).

Sendo um pequeno dispositivo de silício geralmente medindo 6,7 mm, o sensor CCD possui milhares de pontos sensíveis à luz denominados fotocélula (pixel). Cada fotocélula é responsável pela geração de cargas elétricas as quais são descarregadas uma a uma, formando uma “fila” na saída do painel, acopladas umas às outras como vagões de um trem, sendo esta a origem do dispositivo de carga acoplada (BAPTISTA, 2007). O princípio da fotocélula é a absorção de fótons da luz pelo material do sensor e posterior conversão em um sinal elétrico na forma de carga ou mudança de resistência (ATKINSON, 1996).

2.2 Corrente escura

Durante o tempo de integração do CCD com a luz, é acumulada uma interferência térmica em cada elemento de imagem (pixel). Isto ocorre devido à probabilidade de um elétron sofrer o mesmo processo fotoelétrico porém com o auxílio da energia térmica devido à sua temperatura de operação (geralmente temperatura ambiente). Daí a necessidade do sensor CCD ser refrigerado a uma temperatura muito baixa para que o sinal seja reduzido a um nível negligenciável. O resultado da interferência provocada pelo mau resfriamento é conhecido como *dark current* (corrente escura), a qual interfere na qualidade da imagem mesmo quando o sensor se encontra em um ambiente escuro, resultando em dois ruídos: ruído de leitura e ruído espacial (RÉ, 2005).

O ruído de leitura relaciona-se com as flutuações registradas durante o processo de leitura e uma maneira de correção consiste em efetuar uma média ou soma mediana de diversas imagens do mesmo objeto. Já o ruído espacial está relacionado ao fato de cada elemento sensor reagir de modo distinto à corrente escura, produzindo um aspecto granuloso na imagem, sendo habitualmente construído um mapa de referência pela soma média de 7 a 10 imagens obtidas em total obscuridade.

2.3 Método da distância mínima (Distância Euclidiana)

O método da distância euclidiana toma a decisão a respeito da classe mais provável com base na distância espectral e/ou diferença espectral entre as leituras do pixel e o vetor de médias da classe. Quando o pixel possuir um valor idêntico à média de uma classe, será nula a distância entre o pixel e esta classe, caso esta distância seja grande, indica que os valores são diferentes, sendo que quanto maior, maior a diferença entre o pixel e a classe. O grau de semelhança de uma classe A e um pixel y pode ser dada pela forma vetorial da distância euclidiana, sendo o pixel (y) e o vetor de médias da classe C_j (m_j) dada por (CENTENO, 2004):

$$D(y, C_j) = \text{abs}((y - m_j)^t (y - m_j)) \quad (1)$$

Sendo m_j o valor da média da classe j ; y o valor do pixel na banda.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Para realizar este trabalho, foram utilizadas imagens obtidas com uma câmera fotográfica Sony DSC-F828 do protótipo reduzido (maquete) para a simulação de vôo da Universidade Federal do Paraná – UFPR (Figura 1).



Figura 1 – Área de estudo – Imagem obtida na maquete de simulação de vôo da UFPR.

3.2 Obtenção das imagens

Na área de estudo referida acima, foram obtidas oito imagens da mesma superfície mantendo a mesma condição de iluminação, das quais se obteve uma nova imagem com os seus números digitais resultantes do valor médio desse conjunto, visando eliminar o ruído de leitura.

Para verificar os valores atribuídos à corrente escura pelos ruídos espaciais, foram obtidas oito imagens em um ambiente totalmente obscuro.

Desse conjunto de imagens foram geradas três novas imagens, a primeira com valores de máximo, a segunda com valores modal e a terceira com os valores médios encontrados no conjunto. Após a obtenção das mesmas, realizou a contagem de frequência dos valores com os quais gerou-se um histograma de frequência para os mesmos.

3.3 Classificação das imagens

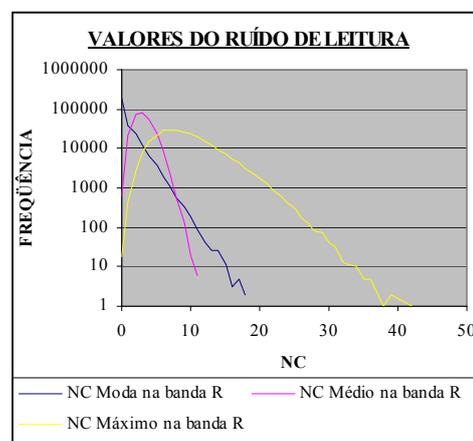
A classificação das imagens foram feita empregando o software Spring 4.3, no qual realizou-se a análise do tipo pixel a pixel e o classificador empregando o conceito da distância euclidiana.

Nessa fase do trabalho foram realizadas quatro classificações. Uma empregando a imagem sem correções (imagem padrão fornecida pela câmera), a segunda empregando a imagem com os valores médios resultante das sete imagens obtidas da mesma superfície, a terceira utilizando a imagem resultante da subtração dos valores

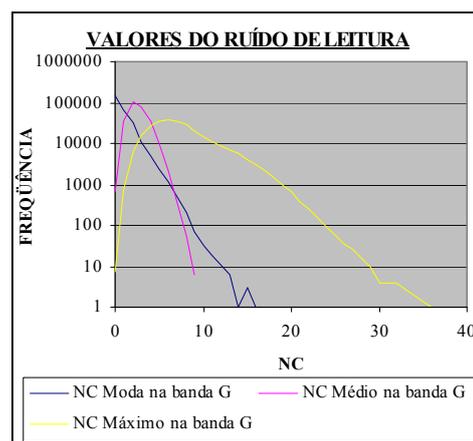
máximo da corrente escura da imagem padrão e a quarta e última a imagem resultante da subtração dos valores modais da corrente escura da imagem padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

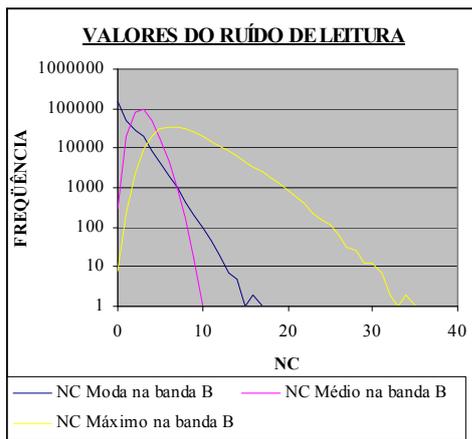
Depois de confeccionar os mapas da corrente escura utilizando as imagens obtidas em um ambiente obscuro, foram realizadas as contagens da frequência em que um determinado NC aparece na banda. Com esta contagem, pode-se verificar o valor de nível de máximo gerado pelo sistema e o valor que ocorre com maior frequência. Estes valores foram plotados em um gráfico de dispersão, sendo um para a banda do vermelho, uma para a do verde e um para a banda do azul, os quais podem ser vistos na figura 2.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 – As figuras (a, b e c) representam respectivamente os valores para a banda do vermelho, verde e azul, encontrados nos três mapas da corrente escura. Em cada uma pode observar três linhas, as quais representam os valores de máximo, médio e modal de níveis de cinza (NC) encontrados nas oito bandas utilizadas para a confecção do mapa da corrente escura.

Nesses, observa-se que o mapa contendo os valores máximos, possui os maiores valores do número digital gerado pelo sistema. A curva que representa os valores encontrados no mapa obtido pelo valor da moda, mostra que o zero é valor mais freqüente, diminuindo linearmente até um nível de cinza entre 15 e 20.

Pela curva representante dos valores médios, nota-se que o valor com maior freqüência gira entorno de um nível de cinza entre 2 e 4. A curva da média também revê-la que em média os valores digitais gerado pelo sistema, encontra-se em uma faixa que varia do zero à aproximadamente 11. Cabe ressaltar que os dados expressos acima são referentes somente à área de estudo, ou seja os dados representam exclusivamente uma dada região do CCD.

Pela curva representante dos valores máximos de NC comparada com as outras duas curvas, pode-se concluir que os valores introduzidos na imagem por cada célula do CCD não são constantes, podendo variar de zero até um dado valor o qual dependerá da interferência que o mesmo sofreu anteriormente.

A figura 3 mostra as imagens utilizadas nesse trabalho e o produto gerado pela classificação de cada imagem. Na classificação, foram considerados três temas, sendo a classe vegetação representada pela com verde, a classe pastagem representada pela com laranja escuro, e a classe estrada pela cor rosa.

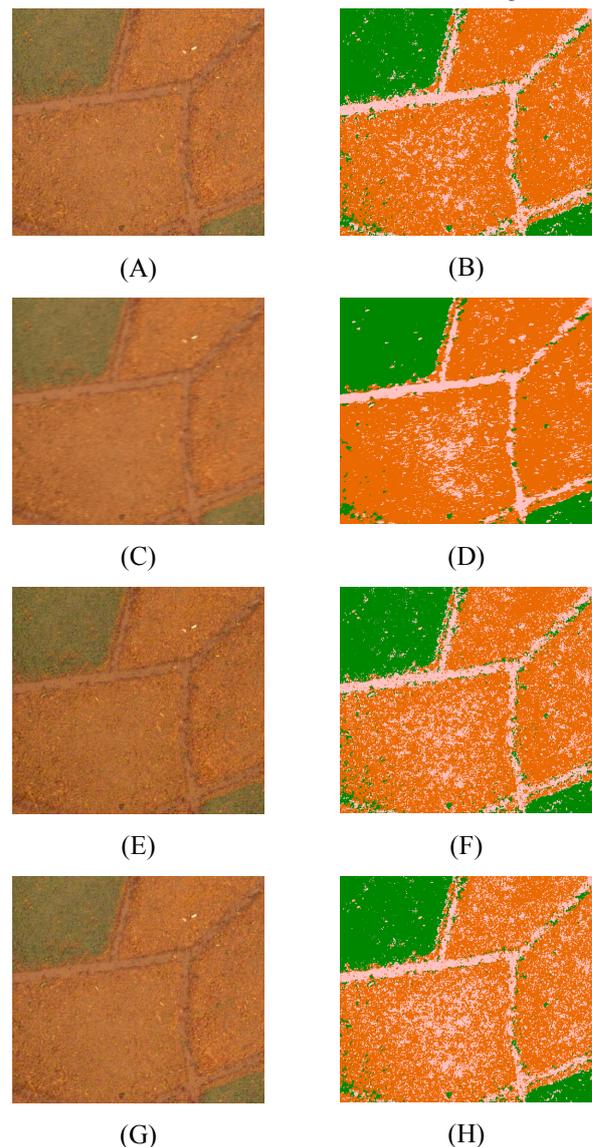


Figura 3 – (A) Imagem da área de estudo sem tratamento. (B) Produto gerado pela classificação da imagem a. (C) Imagem armazenando valores médios das oito imagens da mesma superfície. (D) Produto gerado pela classificação da imagem C. (E e G) Imagem armazenando valores resultantes da subtração dos valores máximos e médios de níveis de cinzas encontrados nas oito imagens utilizada para a confecção da corrente escura respectivamente. (F e H) Produto gerado pela classificação da imagem E e G.

Dentre as imagens resultantes das correções aplicadas na imagem padrão, a imagem formada pelos valores médios das oito imagens obtidas da mesma superfície é a que mostra melhor qualidade. Nela nota-se que houve uma suavização dos ruídos contidos na imagem padrão. Já as imagens resultantes da subtração dos valores gerados com as imagens obtidas em um ambiente totalmente obscuro, tiveram uma variação no tom da cor, ficando mais escuras.

Pela análise visual dos resultados advindos da classificação dessas imagens, a que apresenta um maior número de acerto foi dado pela imagem (C) ficando as demais similarmente iguais.

As tabelas 1, 2, 3 e 4 Apresentam as matrizes de erros de classificação. Nelas estão representados os valores que foram corretamente classificados e os valores atribuídos à outra classe, assim como o desempenho geral.

Tabela 1 – Matriz de erros de classificação da Imagem Padrão.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO				
Colunas: dados de referencia				
	Vegetação	Pastagem	Estrada	Soma lin.
Vegetação	8990 28,23%	0 0,00%	169 0,53%	9159
Pastagem	527 1,65%	14635 45,95%	3372 10,59%	18534
Estrada	176 0,55%	572 1,80%	3408 10,70%	4156
Soma col.	9693	15207	6949	31849

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Vegetação	92,75%	98,15%
Pastagem	96,24%	78,96%
Estrada	49,04%	82,00%
Desempenho geral: 84,88 %		
Confusão media: 15,12 %		

Tabela 2 – Matriz de erros de classificação da Imagem com valores resultantes da média das oito imagens obtidas da mesma superfície.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO				
Colunas: dados de referencia				
	Vegetação	Pastagem	Estrada	Soma lin.
Vegetação	10462 32,99%	0 0,00%	25 0,08%	10487
Pastagem	91 0,29%	16374 51,63%	1511 4,76%	17976
Estrada	32 0,10%	269 0,85%	2953 9,31%	3254
Soma col.	10585	16643	4489	31717

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Vegetação	98,84%	99,76%
Pastagem	98,38%	91,09%
Estrada	65,78%	90,75%
Desempenho geral: 93,92 %		
Confusão media: 6,08 %		

Tabela 3 – Matriz de erros de classificação da Imagem resultante da subtração dos valores máximos da corrente escura da imagem padrão.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO				
Colunas: dados de referencia				
	Vegetação	Pastagem	Estrada	Soma lin.
Vegetação	10484 30,61%	0 0,00%	246 0,72%	10730
Pastagem	594 1,73%	15212 44,42%	4072 11,89%	19878
Estrada	126 0,37%	537 1,57%	2976 8,69%	3639
Soma col.	11204	15749	7294	34247

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Vegetação	93,57%	97,71%
Pastagem	96,59%	76,53%
Estrada	40,80%	81,78%
Desempenho geral: 83,72 %		
Confusão media: 16,28 %		

Tabela 4 – Matriz de erros de classificação da Imagem resultante da subtração dos valores médios da corrente escura da imagem padrão.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICAÇÃO				
Colunas: dados de referencia				
	Vegetação	Pastagem	Estrada	Soma lin.
Vegetação	10547 32,66%	4 0,01%	286 0,89%	10837
Pastagem	602 1,86%	13083 40,51%	4237 13,12%	17922
Estrada	121 0,37%	568 1,76%	2847 8,82%	3536
Soma col.	11270	13655	7370	32295

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Vegetação	93,58%	97,32%
Pastagem	95,81%	73,00%
Estrada	38,63%	80,51%
Desempenho geral: 81,98 %		
Confusão media: 18,02 %		

Em todas tabelas as classes que apresentam um maior índice de confusão são a classe pastagem com a classe estrada, estando os valores da tabela 1, 3 e 4 aproximadamente iguais. Já o valor encontrado na tabela 2 difere dos demais, sendo este equivalente à metade dos demais.

A exatidão do produtor indica que houve um menor erro de omissão para os temas na imagem resultante da média das oito imagens obtidas da mesma

superfície, apontando que ela proporcionou uma melhor definição dos temas.

Analisando o desempenho geral, nota-se que a imagem padrão e as resultantes da subtração dos valores médios e máximos da corrente escura da imagem padrão tiveram um maior índice de confusão, sendo a imagem resultante da média das imagens obtidas da mesma superfície mostraram superior às demais.

Pelas análises, percebe que o resultado obtido da classificação da imagem padrão não diferiu significativamente dos resultados obtidos da classificação das imagens com as correções realizadas aplicando o mapa da corrente escura.

Analisando essa equação da radiância aparente ($L_0(\lambda)$) expresso pela equação 2,

$$L_0(\lambda) = (ND(\lambda) - \text{offset}(\lambda))/G(\lambda), \quad (2)$$

onde o $\text{offset}(\lambda)$ representa uma quantidade em valor de ND suficiente para compensar a corrente escura e o $G(\lambda)$ refere-se a um valor de ganho.

Junto com os resultados obtidos, conclui-se que não é suficiente somente efetuar a subtração da corrente escura gerada com as imagens obtidas em ambiente escuro. Isso deve-se ao fato do desconhecimento do valor de ganho ($G(\lambda)$) normalmente ajustado para impedir que o valor medido sature positivamente quando observa objetos claros, e negativamente quando observa objetos escuros.

4 CONCLUSÕES

De posse da análise dos dados, conclui-se que a classificação da imagem obtida efetuando a média das imagens tomadas da mesma superfície apresenta um resultado significativamente superior aos que foram obtidos com as outras imagens. Isso indica que o valor gerado pela interferência térmica em cada elemento de imagem pode provocar erros de interpretação quando não corrigidos.

Apesar dos resultados obtidos com as imagens corrigidas com os valores encontrados para os mapas da corrente escura serem similares ao obtido com a imagem padrão, isso não indica que ela é uma forma errônea de efetuar a correção. Para que ele tenha um bom desempenho, há a necessidade de conhecer o valor de ganho aplicado pelo sistema de captura de imagem.

A correção utilizando as imagens da mesma superfície pode ser aparentemente suficiente, mas essa ainda não consegue eliminar totalmente o efeito da corrente escura. Ela simplesmente reduz o efeito da corrente escura, diminuindo as diferenças dos tons de cinza da imagem, o que equivaleria a realizar uma homogeneização dos valores ali presentes.

Assim, para evitar tais erros, é necessário efetuar a transformação dos valores digitais em valores físicos, os

quais vão estar ausentes dos efeitos do CCD. Para tanto, é necessário efetuar a correta calibração radiométrica do CCD acoplado no dispositivo utilizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores destas normas agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro dado para a realização de pesquisas.

REFERÊNCIAS

ATKINSON, K.B. **Close Range Photogrammetry and Machine Vision**. Bristol: Whittles Publishing, 1996. 371p.

BAPTISTA, E. **CCD: O olho da câmera**. Coluna Fique Ligado, Revista Zoom Magazine. 2007?. Disponível em: <http://www.fazendovideo.com.br/vtart_010.asp> Acesso em: 30 outubro 2007?.

Centeno, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: Editora da UFPR, 2004. 219p.

GONÇALVES, G.A. **Automação da detecção de alterações da cartografia cadastral com base em imagens de câmaras digitais**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RÉ, P. **O ABC das câmeras CCD**. 2005?. Disponível em: <<http://www.astrosurf.com/re/abccamarascddpre.pdf>> Acesso 30 outubro 2007.

RIBEIRO, E.: **Notas de aulas**. 2008

SARTORI, L.R.; IMAI, N.N.; TOMMASSELLI, A.M.G.; RUY, R.S.; GALO, M.; HASEGAWA, J. K.; CAMARGO, P.O.: Potencial do uso da banda do infravermelho próximo na classificação de imagens adquiridas por câmaras digitais. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6151-6158.

TOMMASSELLI, A.M.G.; HASEGAWA, J.K.; GALO, M. Modernas tecnologias de aquisição de imagens em fotogrametria. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 49-64, 2000.

TULLOCH, S. **Introduction to CCDs**. March, 2006. Isaac Newton Group of Telescopes. Disponível em: <http://www.ing.iac.es/~smt/CCD_Primer/CCD_Primer.htm>. Acesso em 21 de Julho de 2007.