

# Sistema de Aquisição e Processamento de Dados Georreferenciados para Aplicações em Agricultura de Precisão

Júlio Kiyoshi Hasegawa  
Nilton Nobuhiro Imai  
Paulo de Oliveira Camargo

Universidade Estadual Paulista / Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas  
Departamento de Cartografia  
19060-900 Presidente Prudente SP  
{hasegawa; nnimai; paulo}@prudente.unesp.br

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema de aquisição e processamento de dados georreferenciados para aplicações em Agricultura de Precisão. O sistema foi projetado para registrar cada imagem adquirida pela câmara de vídeo digital "colorido infra-vermelho" - MS3100-CIR, simultaneamente, os dados coletados com um receptor GPS. O sistema foi montado em um monomotor Cessna PA-18, de propriedade da Universidade Federal de Lavras. Experimentos realizados na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Uberaba, mostram a eficiência do sistema na aquisição e processamento dos dados.

**Palavras chaves:** Fotogrametria e Sensoriamento Remoto Aerotransportado Rápido, Integração de Sensores, Cartografia Rápida, GPS.

**Abstract:** The aim of this work is to present a system for data acquisition and processing and capable to produce georeferenced images suitable for applications as Precision Farming. The system was designed to input each image from the color infrared digital video camera - MS3100-CIR, simultaneously to the GPS receiver collected data. The system was set up on an airplane Cessna SHOVEL-18 of the Lavras Federal University. Experiments were accomplished in the experimental farm of the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG), in Uberaba city. The results show the efficiency of the system for data acquisition and processing.

**Keywords:** Lightweight APRS, Sensor Integration, Fast Mapping, GPS.

## 1 Introdução

A agilidade na aquisição de imagens para o mapeamento ou determinação de coordenadas em agricultura é de fundamental importância para tomadas de decisão relacionadas com a ação preventiva ou corretiva de culturas agrícolas. Dentre os fatores que frequentemente limitam o uso de imagens orbitais de alta resolução espacial, para essas aplicações, pode-se citar a dificuldade de obter imagens livres de cobertura de nuvens em culturas de verão e o elevado custo desses conjuntos de dados. Desta forma, a agilidade na aquisição de imagens multiespectrais obtidas por aeronaves pode ser obtida com a integração de geotecnologias. Neste sentido, aplicar os conceitos de fotogrametria e sensoriamento remoto aerotransportado rápido (*lightweight APRS*) e da cartografia rápida (*fast mapping*) tem sido a tônica dos trabalhos nessas operações. Ainda, considerando as possíveis limitações de recursos financeiros disponíveis para algumas aplicações, os sensores a serem integrados devem caracterizar-se pela facilidade de manutenção, manipulação e, principalmente, de baixo custo de aquisição.

No sistema desenvolvido precisa-se de um receptor GPS para a determinação da posição da estação de exposição e para enviar um pulso no instante da coleta dos dados, via porta serial, para um computador. O sinal, oriundo do receptor GPS, recebido pela porta serial e controlado por um programa foi utilizado para sincronizar a captura da imagem e a aquisição de dados posicionais. Esse procedimento assume um erro

sistemático constante no sincronismo entre o instante da coleta da posição pelo receptor GPS com o instante da coleta da imagem. O aplicativo administra a aquisição e o armazenamento dos dados em arquivos no disco rígido do computador. Para validar o processo o sistema foi montado em um monomotor Cessna PA-18 de propriedade da Universidade Federal de Lavras.

Neste trabalho o sistema de aquisição e processamento de dados georreferenciados é apresentado, bem com uma avaliação de sua performance para aplicações em Agricultura de Precisão. Nesse sentido foram realizados experimentos na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Uberaba/MG.

### 1.1 Considerações Sobre a Câmara Digital Infra-Vermelha MS3100-CIR

A câmara MS3100 – CIR adquire imagens nas bandas: verde, vermelho e infra-vermelho próximo. A energia radiante, composta dos diversos comprimentos de onda da energia solar ou equivalente, é coletada por uma objetiva a qual concentra a energia recebida sobre a face dianteira do prisma que integra o sistema de separação da radiação eletromagnética. O prisma separa a radiação eletromagnética de diferentes comprimentos de onda capturada pela lente em três canais ópticos. Um filtro e um conjunto de detectores CCD são colocados a cada um dos três planos de saídas do prisma. A imagem adquirida por cada conjunto de detectores é formada pela energia no comprimento de onda da radiação que foi transmitida através de cada trajetória óptica no prisma. A figura 1 mostra essa configuração.

Dados digitais da câmara são transferidos ao computador através de um *frame grabber* digital. Todas funções da câmara digital são controladas com comandos que se originam no PC e são transferidos à câmara através da porta de comunicação RS-232 (serial).

As imagens multiespectrais adquiridas com a câmara digital devem ser armazenadas, em tempo real, em memória de longo termo como discos rígidos. Uma das limitações desse procedimento de armazenamento está relacionada com o tempo necessário para armazenar os dados no disco rígido, o qual restringe a resolução espacial ou escala das imagens tomadas. De fato, enquanto a câmara digital é capaz de coletar até 7.5 “frames” num segundo, o disco rígido tem conexão adequada para receber e armazenar 1 “frame” em unidades de segundos, conforme a configuração do computador.

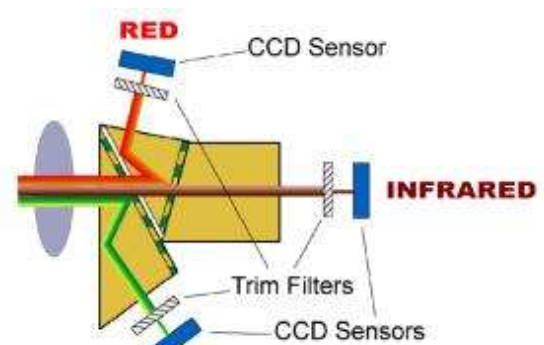


Figura 1 : Configuração da câmara digital infra-vermelha colorido – CIR. (fonte: DUNCANTECH)

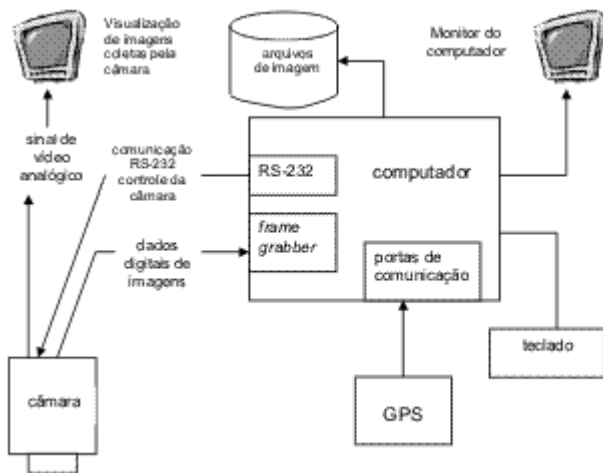
### 1.2 Sistema de Navegação – GPS

O NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging – Global Positioning System*), ou simplesmente GPS, é um sistema global de radionavegação capaz de proporcionar posicionamento 3-D, com precisão que varia de poucos milímetros, até alguns metros. Nos últimos anos, devido à acurácia do sistema e do desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu dos mais variados segmentos da comunidade civil (navegação, georreferenciamento, posicionamento topográfico e geodésico, agricultura de precisão, etc.).

O posicionamento, que consiste da determinação da posição de objetos, parados ou em movimento, na superfície terrestre ou próxima a ela, utilizando GPS pode ser realizado na forma absoluta, relativa ou DGPS (*Differential GPS*). No posicionamento absoluto ou por ponto necessita-se de apenas um receptor, e a posição do ponto é determinada em tempo real ou pós-processada, no sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, o WGS 84 (*World Geodetic System – 84*). Este método de posicionamento é muito utilizado em navegação e levantamentos expeditos. No posicionamento relativo, o usuário deve dispor de no mínimo dois receptores, ou utilizar apenas um, e dispor de dados obtidos de uma ou mais estações de referência dos Sistemas de Controle Ativos (SCA), como por exemplo, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC). Neste método a posição de um ponto é determinada em relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. As coordenadas do(s) ponto(s) conhecido(s) devem estar referenciadas ao WGS 84, ou a um sistema compatível, como o ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). No DGPS, um receptor GPS é estacionado numa estação de referência onde são calculadas correções de coordenadas ou de pseudodistâncias, que são transmitidas para os usuários da estação a ser posicionada (Monico, 2000).

Quando o objeto a ser posicionado está em movimento, deve-se aplicar as técnicas de posicionamento relativo cinemático ou DGPS, onde um receptor permanece fixo num ponto com coordenadas conhecidas, e o outro se desloca sobre as feições ou trajetória de interesse. A estação de referência deve ser instalada próxima ao local dos levantamentos, visando reduzir, principalmente, os efeitos da ionosfera quando se utilizam receptores GPS de uma portadora (Camargo, 1999).

No sistema de aquisição de imagens georreferenciadas desenvolvido, o GPS tem a função de determinar as posições da plataforma em movimento, onde se encontra instalado o sub-sistema de aquisição de imagens. Além disso, serve também para determinação dos pontos de apoio para a fototriangulação.



**Figura 2 :** Sistema de aquisição – Conexão da Câmera IR com o GPS a partir do computador – (Fonte: Duncan Tech - Manual).

No processo de aquisição, o receptor GPS integrado ao sistema deve fornecer dados auxiliares que podem contribuir para o tratamento da geometria das imagens tomadas com a câmera. Desta forma, o sistema foi projetado para registrar as imagens, simultaneamente, com os dados coletados pelo receptor GPS. Nesse sentido, foram realizadas ligações entre a câmera digital e o receptor GPS com o computador a partir das portas de comunicação RS-232 (serial). A figura 2.gif mostra um esquema dessas conexões.

## 2 Sistema de Aquisição de Imagens Georreferenciadas

Devido ao dinamismo associado aos fenômenos naturais, de interesse para as aplicações como Agricultura de Precisão, é primordial que as informações georreferenciadas, que subsidiam os processos de tomada de decisões, sejam adquiridas com a rapidez exigida pela evolução de cada fenômeno, o que é inviável quando a informação necessária não está disponível a tempo de interferir no processo evolutivo de interesse.

### 2.1 Sub-sistema Aquisição de Imagens.

A aquisição da imagem é realizada a partir de um sinal de disparo enviado para a câmera digital através de uma conexão pela porta serial do computador. Essa imagem é, então, armazenada em disco rígido, cujo tempo de gravação pode variar entre 1 e 5 segundos, conforme os recursos de comunicação do computador e a performance do disco rígido. Para os dados multiespectrais (MS3100) de uma cena o intervalo de tempo oscilou entre 1 e 2 segundos com o computador que compõe o sistema integrado para o experimento.

A resolução espacial de imagens adquiridas com a câmera é determinada pela combinação da focal da objetiva, do tamanho e resolução do chip CCD, da qualidade óptica da lente e da altura do voo. Historicamente, as operações fotográficas (câmaras não métricas) eram realizadas em câmaras fotográficas projetadas para acomodar um filme com quadro de 36x24 mm, conhecidas como câmaras de 35 mm. Nas câmaras digitais, o CCD do sensor de imageamento usado é menor que as de 35 mm. Desta forma, para compatibilizar com as câmaras analógicas, assume-se que o tamanho do chip de CCD, utilizado seja de 36x24 mm, tornando-a equivalente a uma câmera analógica de 35 mm.



**Figura 3 :** Câmera digital Infra-Vermelho da Duncantech – MS3100 - ([www.duncantech.com](http://www.duncantech.com))

A câmera MS3100-CIR (Figura 3) possui um chip CCD de 6,4x4,8 mm com 1392x1040 detectores,

arranjados em forma matricial, com tamanho de 0,0046 mm. As objetivas (intercambiáveis) podem ser trocadas, as quais estão disponíveis nas distâncias focais de 17,00 e 28,00 mm. Para compatibilizar como uma equivalente de 35 mm, faz-se necessário manter o relacionamento da geometria interna da câmara para possibilitar aplicações métricas. Assim, a distância focal de 17,00 mm para quadros convencionais é convertida para a distância de 93,00 mm e a de 28,00 mm para 153,00 mm para serem usadas com o quadro do *chip* CCD e os pixels de dimensão de 0,025 mm. Para que a câmara tenha características métricas (habilitando-a para o mapeamento), deve-se calibrar os parâmetros intrínsecos da câmara (calibração dos elementos de orientação interior).

## 2.2 Sub-sistema de Georreferenciamento

O georreferenciamento das imagens pode ser entendido como determinação dos elementos de orientação exterior, ou seja, determinação da posição e da atitude da aeronave no instante da aquisição.

O processo de aquisição pode ser obtido por dois processos: indireto e o direto. No indireto os dados posicionais e de atitudes (geralmente obtidos por GPS/Sistema Inercial) são utilizados como valores aproximados e ajustados como observações adicionais. Ainda, no modo indireto, largamente utilizado nos dias atuais, usa-se o processo de triangulação fotogramétrica, cujos pontos de apoio são utilizados como injunções no ajustamento.

No georreferenciamento direto das imagens, os dados de posição e atitude são determinados utilizando-se de sensores auxiliares como, GPS e INS conectados à câmara. Os elementos de orientação exterior são medidos diretamente.

Neste trabalho, será determinada somente a posição da câmara no instante de aquisição da imagem, condição essa que para o georreferenciamento completo é preciso a realização de uma triangulação, pressupondo-se assim a necessidade de utilizar alguns pontos de apoio.

## 2.3 Integração de Sensores

Um sinal, oriundo do receptor GPS, recebido pela porta serial e controlado por um programa no computador foi usado para sincronizar a captura da imagem e a aquisição de dados posicionais. Esse procedimento assume um erro sistemático constante no sincronismo entre o instante da coleta da posição pelo receptor GPS com o instante da coleta da imagem.

O aplicativo administra a aquisição e o armazenamento dos dados em arquivos no disco do PC. O monitor de vídeo do computador e o teclado são usados como uma interface com o operador para controle do sistema. O sistema foi montado em Lavras – MG, em cooperação com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o Aeroclube de Lavras, no avião Cessna PA-18 de propriedade da UFLA. As imagens apresentadas na figura 4 mostram a estrutura montada na aeronave.



**Figura 4** : Avião PA-18 da Cessna da UFLA – Montagem do sistema de aquisição.

A integração dos sensores foi concretizada num monomotor Cessna PA-18, que é uma aeronave para duas pessoas e sem um compartimento específico para bagagens. Foi feito um furo no piso da aeronave (formado por tubos metálicos e moldurado com lona) e reforçado a parte inferior para fixar a câmara digital. A figura 5 mostra a estrutura da plataforma para instalar a câmara.



**Figura 5 :** Suporte e furo no piso da aeronave para instalar a câmara.



**Figura 6 :** Sistema de aquisição montado no Cessna PA-18.

Devido às pequenas dimensões da aeronave, os equipamentos foram instalados de forma a otimizar os espaços, pois além dos equipamentos necessários na operação (câmera digital, computador e receptores GPS – Reliance e navegação 12XL) foi necessário colocar a fonte de alimentação dos equipamentos (bateria e conversor). A figura 6 mostra o sistema montado na aeronave.

Para o georreferenciamento direto das imagens foi necessária a instalação da antena do GPS na parte externa da aeronave. A figura 7 mostra a antena do Reliance instalada na parte externa do teto da aeronave.



**Figura 7 :** Posição da antena GPS no teto da aeronave.

## 2.4 Programa de Integração dos Dados

O programa de aquisição de imagens digitais, controlado pelo sinal GPS, foi implementado a partir do programa disponibilizado pelo fabricante do frame *grabber* (*National Instruments*).

O sistema de aquisição, com as comunicações estabelecidas, realiza o processo de forma integrada: um programa recebe o sinal GPS e a outro adquire as imagens.

O receptor GPS envia ao computador, através da porta serial, um bloco de informações, com intervalo de um segundo. O programa que recebe o sinal GPS, desenvolvido em linguagem C, para ambiente DOS, cria um contador e o grava em um arquivo no disco rígido. O programa de aquisição das imagens faz a leitura desse arquivo e gravam, no disco rígido, o instante da aquisição (hora do computador) e a imagem contida no *buffer* da placa da câmara. A figura 8 mostra o fluxo de operação realizado no computador para adquirir as imagens georreferenciadas.



**Figura 8** : Fluxograma do processo de aquisição de imagens georreferenciadas.

## 3 Avaliação do Sistema

Com o objetivo de avaliar o sistema desenvolvido foi realizado um voo experimental com a aeronave da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e com a cooperação do Aeroclube de Lavras. No entanto, devido a problemas técnicos de segurança de voo e da disponibilidade de áreas específicas (canteiros experimentais de soja) os experimentos foram realizadas na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, da cidade de Uberaba.

No experimento realizado foi implantado um ponto de referência, a partir das estações GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Brasília e Viçosa, para o levantamento relativo cinemático da aeronave, ou seja, para o georreferenciamento das imagens. Para o estabelecimento do ponto de referência foi utilizado o receptor GPS Ashtech ZXII e para o levantamento cinemático o receptor GPS Ashtech Reliance.

Para capturar as imagens deve-se configurar os parâmetros de aquisição da câmara no começo de cada faixa, conforme a quantidade de energia refletida. O controle da energia radiante é feito com base no tempo de exposição e na abertura do obturador da objetiva.

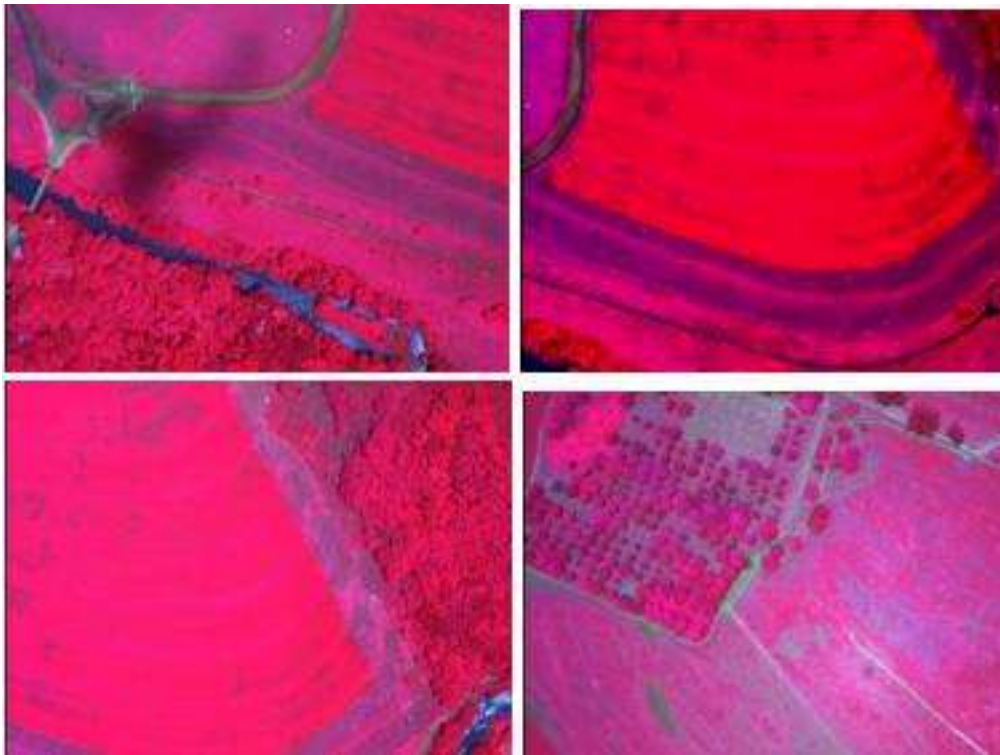
A abertura do obturador e a distância focal são definidas e configuradas na própria objetiva da câmara,

manualmente. A abertura do diafragma ( $n^{\circ}f$ ) varia de 3,5 a 22 (maior e menor respectivamente), e a distância de focalização de 0,4 m ao infinito. A abertura é definida conforme a quantidade de energia disponível e a focalização utilizada foi para o infinito.

O voo foi realizado com as seguintes características:

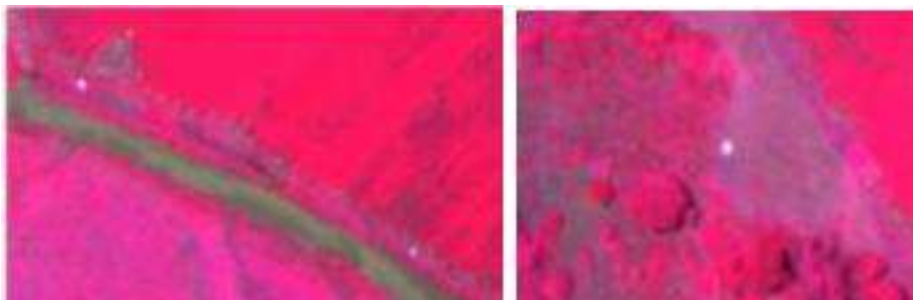
- Altura de voo: 700 m;
- Distância focal: 92 mm;
- Escala = 1/7500;
- Intervalo entre as tomadas: 2 segundos;
- Tempo de exposição: 1/500 segundo;
- Velocidade da aeronave = 160 km/h.

A figura 9 mostra algumas imagens obtidas neste voo.



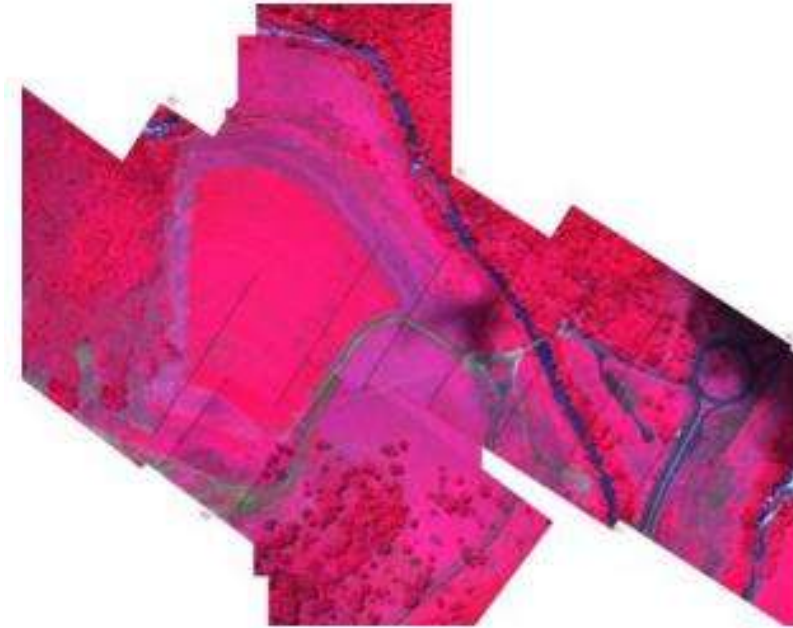
**Figura 9** : Imagens IR falsa-cor adquiridas da área teste de Uberaba – MG.

Os pontos de apoio foram determinados com o receptor GPS Reliance, num levantamento relativo semicinemático. Os pontos foram sinalizados com tecidos coloridos com dimensão de 60cm, formando um quadrado. A figura 10 mostra os alvos colocados no terreno.



**Figura 10** : Imagens com pontos sinalizados.

Na figura 11 é apresentado o mosaico da área experimental, montado a partir das imagens digitais obtidas.



**Figura 11** : Mosaico montado com as imagens IR – Uberaba MG.

A sincronização dos vários sensores é dada pelo relacionamento entre os tempos do computador e GPS. Para estimar uma transformação entre os dois referenciais de tempo (do computador e do GPS) foi gravado em arquivo, no computador, o instante GPS e o do computador. A figura 12 mostra o arquivo que contém esses dados.



**Figura 12** : Arquivo contendo o instante do computador e do GPS.

Assim, pode-se determinar a diferença entre os referenciais de tempo que existe entre os dois para depois associar a posição dada pelo GPS com a imagem adquirida. A figura 13 e 14 mostram os valores utilizados para o relacionamento.

```

nomea316.bmp = Tue Feb 17 11:08:33 2004
nomea317.bmp = Tue Feb 17 11:08:35 2004
nomea318.bmp = Tue Feb 17 11:08:37 2004
nomea319.bmp = Tue Feb 17 11:08:39 2004
nomea320.bmp = Tue Feb 17 11:08:41 2004
nomea321.bmp = Tue Feb 17 11:08:43 2004
nomea322.bmp = Tue Feb 17 11:08:45 2004
nomea323.bmp = Tue Feb 17 11:08:47 2004
nomea324.bmp = Tue Feb 17 11:08:49 2004
nomea325.bmp = Tue Feb 17 11:08:51 2004
nomea326.bmp = Tue Feb 17 11:08:53 2004
nomea327.bmp = Tue Feb 17 11:08:55 2004

```

**Figura 13** : Arquivo contendo o nome da imagem e o instante da captura.

```

02/17/04,14:08:45,-19.72247736,-47.95116663,1524.400,0,10,0,16,0,14
02/17/04,14:08:46,-19.72220404,-47.95084990,1525.308,0,10,0,16,0,14
02/17/04,14:08:47,-19.72193167,-47.95053061,1525.532,0,10,0,16,0,14
02/17/04,14:08:48,-19.72165911,-47.95021061,1525.444,0,10,0,16,0,14
02/17/04,14:08:49,-19.72138801,-47.94988823,1525.456,0,10,0,16,0,14
02/17/04,14:08:50,-19.72111951,-47.94956171,1525.565,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:51,-19.72085728,-47.94922830,1525.179,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:52,-19.72060673,-47.94888391,1524.293,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:53,-19.72037404,-47.94852531,1523.712,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:54,-19.72016215,-47.94815134,1524.182,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:55,-19.71997389,-47.94776256,1523.990,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:56,-19.71981418,-47.94735867,1523.745,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:57,-19.71968280,-47.94694210,1523.723,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:58,-19.71957945,-47.94651555,1523.388,0,10,0,16,0,15
02/17/04,14:08:59,-19.71950717,-47.94608131,1523.307,0,10,0,16,0,15

```

Figura 14 : Arquivo com as coordenadas dos pontos e o instante da observação.

#### 4 Considerações e Conclusões

A versatilidade e o baixo custo de desenvolvimento e manutenção, do sistema de aquisição e processamento indica um grande potencial para aplicações em atividades que necessitem de informações em curto espaço de tempo.

Os dados coletados nos experimentos realizados na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais estão sendo processados e os resultados logo serão divulgados.

Há grandes perspectivas em aplicar esse sistema em mapeamentos de pequenas áreas, não concorrendo assim com o processo de mapeamento convencional.

#### 5 Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros do CNPq (Proc. nº 475932/2003-0) e da FAPESP (nº 98/10062-1 e 97/10956-0), com apoio da EMBRAPA-SOJA/Londrina, Universidade Federal de Lavras, Aeroclube de Lavras e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, e com os dados GPS da RBMC.

#### 6 Referências Bibliográficas

**CAMARGO P. O.:** *Modelo Regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores de Uma Frequência*, Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, PR, 191p. 1999.

**DUNCANTECH (1):** *Configuration of Remote Sensing System based on DuncanTech Multispectral Cameras*, documentação de dispositivo, DuncanTech.

**DUNCANTECH (2):** *Spectral Configuration Guide for DuncanTech 3-CCD Cameras*, documentação de dispositivo, DuncanTech.

**MONICO J. F. G.:** *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*, Editora UNESP, São Paulo, SP. 2000.