

ANÁLISE E APRIMORAMENTO DO REGISTRO GEOMÉTRICO DAS IMAGENS
AVHRR/NOAA

Rovedy Aparecida Busquim e Silva
Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP
Orientador : Dr. Alberto W. Setzer, Pesquisador
Divisão de Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE

Um problema comum no uso de imagens fornecidas por satélites ambientais, provenientes de sensores remotos, é a determinação correta das coordenadas geográficas de seus elementos de resolução, ou píxeis, comumente conhecida por navegação. Tal problema pode ser originado por vários fatores: variação da altitude, atitude, e velocidade da plataforma do satélite, e rotação da Terra. O procedimento mais comum para contornar esse problema é estabelecer um relacionamento matemático entre feições encontradas na imagem, conhecidas como pontos de controle, e sua correta identificação em um mapa. Essa operação é conhecida como correção geométrica.

Nesse trabalho foi pesquisado o algoritmo de correção geométrica utilizado nas imagens dos satélites com órbitas polares da série NOAA (National Oceanographic And Atmospheric Administration) recebidas diariamente pelo INPE. Tal trabalho permitiu uma avaliação da precisão dos píxeis, para que os estudos provenientes das imagens possuam uma maior certeza com relação a coordenadas geográficas de cada pixel.

Este trabalho realizado no INPE é necessário devido à grande utilização das imagens digitais AVHRR/NOAA em estudos aplicados ao meio ambiente, tais como: a geração de imagens Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), úteis para o estudo de estados da vegetação e previsão de safra; a localização de desmatamentos a partir das bandas 1, 2 e 3 das imagens AVHRR corrigidas geometricamente; e a detecção, localização e quantificação de queimadas.

A correção geométrica das imagens NOAA/AVHRR é baseada no conhecimento preciso dos parâmetros orbitais do satélite e na definição de pontos de controle da área imageada. Um ponto de controle é uma característica geográfica fisicamente detectável em uma imagem. Suas coordenadas podem ser obtidas através de um mapa relativo à área da imagem onde se deseja localizar o ponto. O arquivo de parâmetros orbitais é composto por informações que caracterizam sua órbita (período orbital, longitude de cruzamento com equador, etc.).

Através das coordenadas do ponto de controle (dado por linha, coluna, latitude e longitude) são realizados cálculos que modificam os valores dos parâmetros orbitais originais. Nesse trabalho o algoritmo de correção foi

**RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
“ANÁLISE E APRIMORAMENTO DO REGISTRO GEOMÉTRICO DAS
IMAGENS AVHRR/NOAA “**

**Autor : Rovedy Aparecida Busquim E Silva
Orientador: Dr. Alberto W. Setzer**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
Junho/1997**

**RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
“ANÁLISE E APRIMORAMENTO DO REGISTRO GEOMÉTRICO DAS
IMAGENS AVHRR/NOAA “**

**Autor : Rovedy Aparecida Busquim E Silva
Orientador: Dr. Alberto W. Setzer**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
Junho/1997**

Resumo

Um problema comum no uso de imagens fornecidas por satélites ambientais, provenientes de sensores remotos, é a determinação correta das coordenadas geográficas de seus elementos de resolução, ou píxeis, comumente conhecida por navegação. Tal problema pode ser originado por vários fatores: variação da altitude, atitude, e velocidade da plataforma do satélite, e rotação da Terra. O procedimento mais comum para contornar esse problema é estabelecer um relacionamento matemático entre feições encontradas na imagem, conhecidas como pontos de controle, e sua correta identificação em um mapa.

Nesse trabalho foi estudada a operação de navegação para correção geométrica utilizada nas imagens dos satélites com órbitas polares da série NOAA (National Oceanographic And Atmospheric Administration) recebidas diariamente pelo INPE. É feita uma avaliação da precisão da localização dos píxeis, para que os estudos provenientes das imagens possuam maior certeza com relação às coordenadas geográficas dos píxeis. Os resultados mostram melhora significativa na localização em termos das coordenadas geográficas dos píxeis das imagens NOAA e consequente melhora na qualidade e precisão dos dados de queimadas obtidos pelo sistema desenvolvido pelo INPE.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1 - Imagens AVHRR/NOAA.....	2
2.2 - Parâmetros orbitais dos satélites NOAA.....	3
2.3 - Correção geométrica.....	5
2.3.1 - Correção geométrica das imagens AVHRR/NOAA.....	6
3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
3.1 - Materiais utilizados.....	11
3.2 - Metodologia.....	11
RESULTADOS	14
CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
APÊNDICE - PROGRAMAS DE COMPUTADOR	20

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 - Imagem AVHRR/NOAA banda 2 captada pelo INPE	2
2 - Definição dos sistemas de coordenadas mapa-imagem.....	5
3 - Tela do módulo “Ajuste” do sistema SIDeQ	12

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1 - Descrição do arquivo de parâmetros Noa.p	4
2 - Descrição do arquivo Noaa.pc	9
3 - Dados obtidos do satélite NOAA-14 com o ajuste utilizando 1 ponto de controle	14
4 - Dados obtidos do satélite NOAA-14 com o ajuste utilizando 2 pontos de controle	15
5 - Dados obtidos do satélite NOAA-12 com o ajuste utilizando 1 ponto de controle	16
6 - Dados obtidos do satélite NOAA-12 com o ajuste utilizando 2 pontos de controle	16

1 - INTRODUÇÃO

A utilização das imagens fornecidas pelo sensor “Advanced Very High Resolution Radiometer” - AVHRR, dos satélites NOAA, está sendo muito difundida entre órgãos de atuação ambiental tais como o Ibama/DF, a Fema/MT, a Embrapa/SP, a Cetesb/SP e o Inmet/DF. São vários os fatores importantes que levam à utilização dessas imagens, a saber: alta frequência temporal devido às duas passagens diárias de cada um dos dois satélites; baixa resolução espacial de 1 Km no nadir que proporciona uma largura de 2.700 Km na imagem; e acesso gratuito às imagens. Entretanto as imagens AVHRR, assim como outras fornecidas por sensores remotos, apresentam distorção geométrica na localização de seus elementos de resolução, ou píxeis. Para solucionar esse problema são utilizados algoritmos de correção geométrica.

Nesse trabalho foi estudado e aprimorado o algoritmo de correção geométrica utilizado nas imagens dos satélites com órbitas polares da série NOAA (National Oceanographic And Atmospheric Administration) recebidas diariamente pelo INPE. O estudo realizado possibilita uma avaliação da precisão dos píxeis nessas imagens.

Trabalhos realizados no INPE mostraram a viabilidade da utilização das imagens digitais AVHRR/NOAA em estudos aplicados ao meio ambiente. Estes trabalhos incluem, entre outros, a detecção de queimadas de Pereira (1988), a geração de imagens Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), úteis para o estudo de estados da vegetação e previsão de safra conforme Figueiredo (1990); a localização de desmatamentos a partir das bandas 1, 2 e 3 das imagens AVHRR corrigidas geometricamente, segundo Amaral (1992) e DiMaio-Mantovani (1994); e a detecção, localização e quantificação de queimadas na região dos cerrados de acordo com os trabalhos realizados por Pereira Jr. (1992) e França (1994).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é melhorar a precisão das coordenadas geográficas (latitude e longitude) das imagens AVHRR/NOAA navegadas. A motivação principal está relacionada a extração dos focos de queimadas fornecidos aos órgãos de fiscalização ambiental.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Imagens AVHRR/NOAA

As imagens AVHRR são obtidas a partir dos satélites da série NOAA do tipo "Advanced TIROS-N" (ATN) que transitam em órbitas circulares heliossíncrona com altitudes nominais da ordem de 833 Km e $98,89^\circ$ de inclinação (quase polar), período aproximado de 102 minutos (Kidwell, 1993). Devido a essa periodicidade o satélite realiza 14,1 circunvoluções na Terra por dia. Atualmente encontram-se em operação os satélites NOAA-12 e 14. Cada linha da imagem gerada pelo sensor AVHRR possui 2048 "píxeis", com uma distância de 0,95 miliradianos entre si, resultando em um campo de visada (FOV) de $\pm 55,4^\circ$ correspondendo a uma faixa de imageamento no terreno de aproximadamente 2700 Km (Kidwell, 1993). Os atuais satélites NOAA em operação possuem cinco bandas espectrais: banda 1 (visível) ; banda 2 (infravermelho próximo) e bandas 3,4,5 (termais).

Na Figura 1 é apresentada uma imagem AVHRR na banda 2, captada pela antena instalada no INPE de Cachoeira Paulista e utilizada neste trabalho.

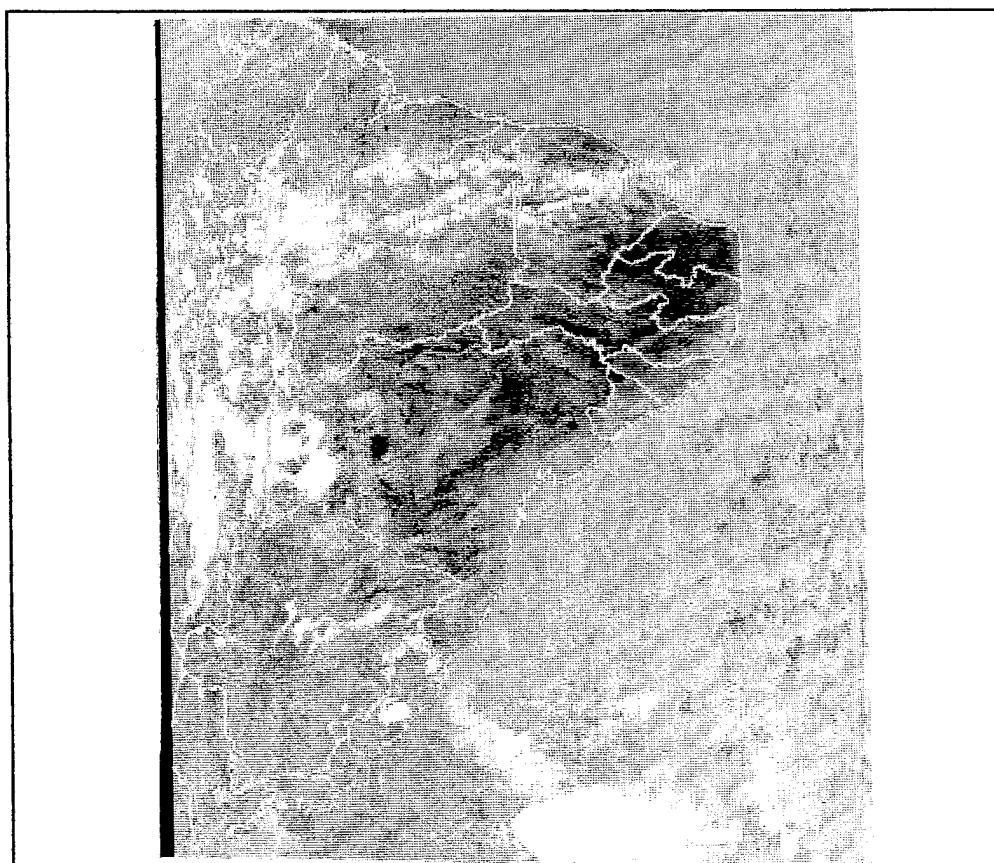


Figura 1- Imagem AVHRR banda 2 captada pelo INPE/CP

2.2 - Os Parâmetros Orbitais da Imagens NOAA

São recebidos diariamente os parâmetros orbitais dos satélites NOAA através da agência NOAA, que é responsável pelos satélites e seu controle orbital. Entretanto, devido a pequenas alterações orbitais entre órbitas consecutivas e à falta de parâmetros de controle de atitude do satélite (“yaw-pitch-roll”), é necessário um ajuste dos dados recebidos (Setzer et al. 1992). Esses dados são armazenados em um arquivo denominado pelo INPE de "Noa.p" e são necessários na “correção geométrica” e consequente determinação das coordenadas geográficas de cada “píxel” de queimada. O arquivo Noa.p está descrito na Tabela 1.

Atualmente, o processo de ajuste do arquivo de parâmetros Noa.p é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- a) visualização da imagem AVHRR;
- b) seleção dos pontos de controle;
- c) atribuição das coordenadas geográficas do ponto de controle ao ponto correspondente na imagem.

O processo de seleção manual requer muita atenção do operador, uma vez que a identificação equivocada de um ponto de controle, por menor que seja, poderá comprometer a precisão das coordenadas dos “píxeis” obtidos na imagem.

TABELA 1 DESCRIÇÃO DO ARQUIVO DE PARÂMETROS Noa.p.

13081994	201725.0	202702	307.3403	1	99.175522	101.9662	7224.41	BNQ28/94	NOAA-11	3194	2
Onde cada grupo de dígitos é detalhado abaixo											
13081994	:	Data de aquisição da imagem (dia 13, mês 08 e ano 1994)									
201725.0	:	Horário de início de gravação da imagem:									
		20 horas, 17 minutos e 25.0 segundos									
202702	:	Horário de cruzamento do satélite com o equador:									
		20 horas, 27 minutos e 02 segundos									
307.3403	:	Longitude de cruzamento do satélite com o equador em graus leste									
1	:	Sentido da órbita (1 ascendente (Sul -> Norte); -1 descendente (Norte -> Sul))									
99.175522	:	Inclinação da órbita em graus									
101.9662	:	Período orbital em minutos									
7224.41	:	Raio da órbita em Km									
BNQ28/94	:	Identificação da fita onde está armazenada a imagem									
NOAA-11	:	Nome e número do satélite									
3194	:	Número de linhas da imagem									
2	:	Número da passagem do satélite									

Um ponto de controle é uma característica geográfica detectável em uma imagem. Suas coordenadas geográficas podem ser obtidas através de um mapa relativo à área da imagem onde se deseja localizar o ponto de controle.

Uma vez que o operador forneça a localização do ponto de controle em linha e em coluna da imagem, o programa *Ajuste.c* se encarrega de ajustar o arquivo de parâmetros visto no item anterior de modo que os novos parâmetros resultem na linha e coluna corretas. Esse programa altera, no arquivo Noa.p, os valores de tempo de início de gravação da imagem e da longitude de cruzamento da passagem do satélite pelo equador. Esse arquivo servirá como referência para a obtenção precisa das coordenadas dos “píxeis” de interesse na imagem.

A técnica de alterar o tempo de início de gravação da imagem e a longitude de cruzamento com o equador corresponde a se fazer um registro translacional na imagem, modificando-se a linha e coluna respectivamente. O algoritmo de ajuste é realizado por aproximações sucessivas deslocando a imagem por translação. A precisão deste processo é a própria resolução do sensor, ou seja, um “píxel” (Setzer et al., 1992).

No processo de ajuste todos os parâmetros do arquivo Noa.p são levados em consideração. Uma vez ajustado, o arquivo de parâmetros é armazenado junto com a imagem.

2.3 - Correção Geométrica

As imagens geradas por sensores remotos apresentam distorções espaciais, não possuindo exatidão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos nelas representados. Para que imagens de satélite tenham precisão cartográfica é necessário que sejam inseridas em sistema de coordenadas.

O processo de transformação no qual as imagens adquirem as propriedades de escala e de projeção de um mapa é conhecido por correção geométrica. Comumente, a integração dessas imagens com mapas é realizada através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para se corrigir a geometria de uma imagem é necessário conhecer os coeficientes de um modelo matemático que, através de equações, permitirão calcular as distorções existentes na imagem. A técnica mais utilizada para a correção geométrica depende da relação matemática entre os "píxeis" da imagem e as coordenadas dos pontos que lhes correspondem na superfície da Terra. Esta relação corrige a imagem independentemente das fontes e tipos de distorções.

Através do mapa e da imagem relativa à área desse mapa, definem-se dois sistemas de coordenadas cartesianas como mostrado na Figura 2. Um sistema descreve a localização dos pontos na imagem (u, v) e o outro a localização no mapa (x, y).

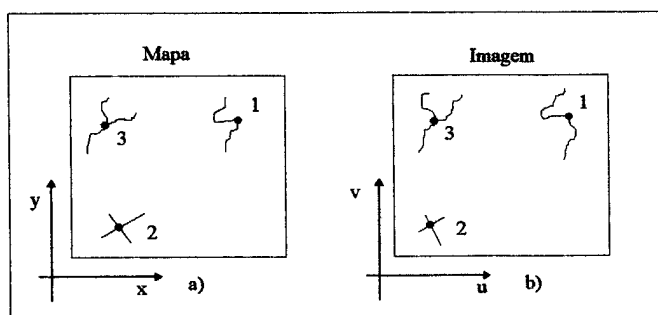


Fig. 2 - Definição dos sistemas de coordenadas mapa-imagem

Fonte: Adaptada de Richards, 1986

Pode-se relacionar os dois sistemas de coordenadas através de um par de funções de mapeamento f e g , de modo que:

$$u = f(x,y); \quad v = g(x,y);$$

onde: u e v correspondem às coordenadas dos pontos selecionados com relação à imagem e x e y com relação ao mapa, sendo f e g as funções que relacionam essas coordenadas.

Se essas funções forem determinadas, é possível localizar-se um ponto na imagem conhecendo sua posição no mapa e vice-versa. Em geral, essas funções são determinadas através da escolha de polinômios de primeira, segunda ou terceira ordem. Como exemplo de polinômio de segunda ordem, temos:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Os coeficientes a_i e b_i do polinômio escolhido são obtidos a partir da identificação de elementos geográficos na imagem que possam ser também localizados no mapa e obtidas as suas coordenadas. Essas referências geográficas são denominados pontos de controle. Assim, define-se uma malha de coordenadas sobre um mapa onde as interseções das latitudes e longitudes correspondem às posições dos centros dos “píxeis” da imagem corrigida.

O processo de correção das distorções geométricas resulta na produção de uma nova imagem. A distribuição dos “píxeis” dessa nova imagem não corresponde espacialmente à dos “píxeis” da imagem original, e assim um modelo matemático de interpolação é necessário para atribuir valores de níveis de cinza a essa nova imagem. Os métodos mais comuns de interpolação são: vizinho mais próximo, bilinear, e convolução cúbica (Richards, 1986).

2.3.1 - A Correção Geométrica das Imagens AVHRR/NOAA

Como todas as imagens de sensoriamento remoto, as imagens AVHRR possuem distorção geométrica. Assim, as coordenadas de um “píxel” numa imagem sem correção geométrica encontram-se afetadas por erros decorrentes das variações da plataforma do satélite e movimento de rotação da Terra.

A fim de corrigir essas distorções inicialmente se faria necessária a correção geométrica em toda imagem. Entretanto, devido ao elevado tempo requerido para essa operação foram desenvolvidos algoritmos, que serão discutido adiante, que permitem a obtenção das coordenadas dos “píxeis” sem que houvesse a necessidade de correção de toda a imagem.

Figueiredo (1990) desenvolveu, através de estudos realizados por Medeiros et al. (1986), as rotinas básicas de navegação nas imagens AVHRR. Essas rotinas foram utilizadas em seu trabalho de geração de imagens AVHRR de índice de vegetação.

De acordo com Medeiros et al. (1986), a navegação é um processo analítico de determinação de parâmetros dinâmicos do satélite, necessários para gerar uma transformação matemática exata entre o sistema de referência do satélite (linha e coluna de uma imagem) e o de coordenadas geográficas (latitude e longitude).

Essas transformações matemáticas foram implementadas em linguagem de programação "C" e denominadas de *Lc_ll.c* onde, através da linha e da coluna da imagem AVHRR é obtida a latitude e longitude terrestre correspondente do “píxel” e de *Ll_lc.c*, onde através da latitude e da longitude terrestre obtém-se a linha e a coluna da imagem AVHRR.

As rotinas *Lc_ll.c* e *Ll_lc.c* utilizam como dados de entrada o arquivo de parâmetros Noa.p ajustado, descrito na Tabela 1. Essas rotinas formam a base de todos os processamentos relacionados à navegação em imagens AVHRR, quer para a obtenção de coordenadas geográficas ou obtenção de linha e coluna do “píxel” de interesse. Essas rotinas fornecem os meios necessários à extração de informações das imagens AVHRR “brutas” (sem correção), sem que haja a necessidade da correção geométrica na própria imagem.

Como exemplo de aplicações que podem ser obtidos a partir de imagens AVHRR com a utilização das rotinas de navegação tem-se: determinação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), levantamento de novos desmatamentos e detecção de focos de queimada.

Visando a determinação das coordenadas geográficas de cada “píxel” de queimada, foram utilizadas as chamadas equações de navegação, onde a partir da posição de um “píxel” na imagem AVHRR, dada por sua linha e coluna, são obtidas a latitude e a longitude terrestres correspondentes. Como dados de entrada para essas rotinas têm-se: o arquivo de parâmetros, a linha e coluna do “píxel” de interesse.

No processo de ajuste do arquivo de parâmetros o operador deve identificar e fornecer as coordenadas de pontos de controle na imagem com o auxílio de um mapa, no qual estes pontos estão pré-definidos. Este procedimento requer familiaridade com a operação e condições de visibilidade do ponto de controle na imagem. O arquivo de parâmetros ajustado servirá para referenciar a navegação de todos os “píxeis” da imagem.

Para o processo de ajuste do arquivo de parâmetros em imagens AVHRR foi criado um arquivo denominado **Noaa.pc** que contém as coordenadas geográficas dos pontos de controle definidos para o País, e pequenas janelas de uma imagem AVHRR que contém cada ponto de controle. Esse arquivo é detalhado na Tabela 2. Os valores de latitudes e longitudes são armazenados em graus decimais. Para latitudes norte os valores são positivos e latitudes sul negativos. Já, para as longitudes oeste os valores são sempre negativos; as longitude leste não serão utilizadas pois o Brasil fica a oeste do meridiano de Greenwich.

Na Tabela 2 são apresentadas as seguintes informações: na coluna *Ponto de Controle* são identificados os pontos de controle cadastrados no sistema; nas colunas *Latitude* e *Longitude* os valores em graus decimais da localização geográfica correta dos pontos de controle; na coluna Janela de imagem que contém o PC o nome do arquivo da janela que contém o ponto de controle; nas colunas *Linha do PC* e *Coluna do PC* a localização do ponto de controle na janela da imagem de referência.

TABELA 2 DESCRIÇÃO DO ARQUIVO Noaa.pc.

Ponto de Controle	Latitude (em graus)	Longitude (em graus)	Janela de imagem que contém o PC	Linha do PC	Coluna do PC
Rio_Grande_X_Paraná	-20.0825	-51.0625	tri_2.i	134	311
Represa_Jupiá	-20.7766	-51.6236	tr2_2.i	244	508
Barragem_de_Promissão	-21.2953	-49.7833	tr2_2.i	329	676
Barragem_de_São_Simão	-19.0203	-50.4928	tr2_2.i	90	670
Represa_Capivara	-22.6594	-51.3572	tr2_2.i	434	481
Rio_Tocantins	-7.1830	-47.7420	toc_2.i	108	237
Rio_Tapajós	-7.3580	-58.1250	tap_2.i	51	358
Rio_Paraná	-27.2833	-58.6000	rpr_2.i	240	74
Represa_de_Itaipu	-25.4211	-54.5975	it2_2.i	532	666
Ilha_Bela	-23.9667	-45.2500	bel_2.i	250	288
Cabo_Frio	-23.0000	-42.0000	cab_2.i	112	383
Lagoa_Rio_Grande	-32.1475	-52.0767	lag_2.i	346	117
Sobradinho	-9.4420	-40.8250	sfs_2.i	107	285
Foz_Rio_Sao_Francisco	-10.5125	-36.4008	sfs_2.i	289	772
Salvador	-13.0081	-38.5375	sfs_2.i	499	470
Tucuruí	-3.8328	-49.6400	tat_2.i	26	225
Tocantins_x_Araguaia	-5.3500	-48.6920	tat_2.i	194	302

Através do conhecimento das coordenadas de pontos de controle apresentadas na Tabela 2 será realizada uma primeira navegação na imagem com o arquivo de parâmetros original. Esse processo visa, num primeiro passo, localizar o ponto de controle na imagem.

As rotinas de navegação localizam o valor de linha e coluna da imagem correspondentes às coordenadas fornecidas para todos os pontos de controle que se encontram armazenadas no arquivo Noaa.pc. Entretanto, esses pontos localizados por suas linhas e colunas não coincidem com suas verdadeiras posições na imagem, mas servem como uma inicialização do posicionamento em linha e coluna do ponto de controle na imagem. Dessa forma, o número de iterações necessárias à localização precisa do ponto de controle será reduzido, em comparação ao número de iterações que se efetuariam, caso não se tivesse nenhum conhecimento de sua posição na imagem.

É selecionado o ponto de controle correspondente à melhor correlação, tomando-se os seus valores de linha e de coluna como dado de referência para o programa Ajuste.c, que efetuará o ajuste do arquivo de parâmetros Noa.p. Desta maneira, o arquivo Noa.p proporcionará melhores resultados para as coordenadas de “píxeis” a serem obtidas pelas rotinas de navegação Lc_ll.c e Ll_lc.c. Abaixo é apresentado, em pseudo linguagem, o algoritmo da função responsável pelo ajuste da imagem AVHRR.

```
início
obtem Ponto de Controle do operador (linha, coluna, latitude e longitude)
enquanto
navega Ponto de Controle com Noa.p original
enquanto diferença de latitude e longitude forem altas
início
    calcular nova navegação em diferença de latitude e longitude
    alterar o horário inicial da imagem e a longitude de cruz. com o equador
    realiza a navegação com Noa.p alterado
    calcular nova navegação em diferença de latitude e longitude
fim
fim
```

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Materiais utilizados

Para a realização deste estudo foram utilizadas as imagens NOAA/AVHRR recebidas pelo INPE de Cachoeira Paulista juntamente com o arquivo de parâmetros originais de cada imagem (Noa.p).

As imagens foram visualizadas na tela do monitor do micro através do sistema SDeQ que foi desenvolvido no INPE (Fernandes,1996). O estudo visa justamente melhorar a precisão da correção geométrica do programa de navegação desse sistema que atualmente está em uso operacional no INPE.

O sistema de detecção de queimadas, SDeQ, possui uma biblioteca de pontos de controle. Esses pontos de controle são janelas imagens AVHRR/NOAA de 512x512 píxeis de referências geográficas do Brasil. Esses pontos de controle são essenciais no processo da correção geométrica.

3.2- Metodologia

Através do módulo “Ajuste“ do sistema SDeQ, foi possível realizar o estudo que será apresentado a seguir.

O módulo “Ajuste” é um dos principais módulos do SDeQ. É nesse módulo que é definida a precisão do sistema relacionada à navegação dos píxeis da imagem; seja para a obtenção de suas coordenadas geográficas ou de sua posição em linha e coluna da imagem . Neste módulo, o operador consegue visualizar a imagem, o mapa da América do Sul , as linhas de grade e os pontos de controle definidos na tabela 2. A Figura 3 mostra a tela do utilitário “Ajuste” usado para este estudo.

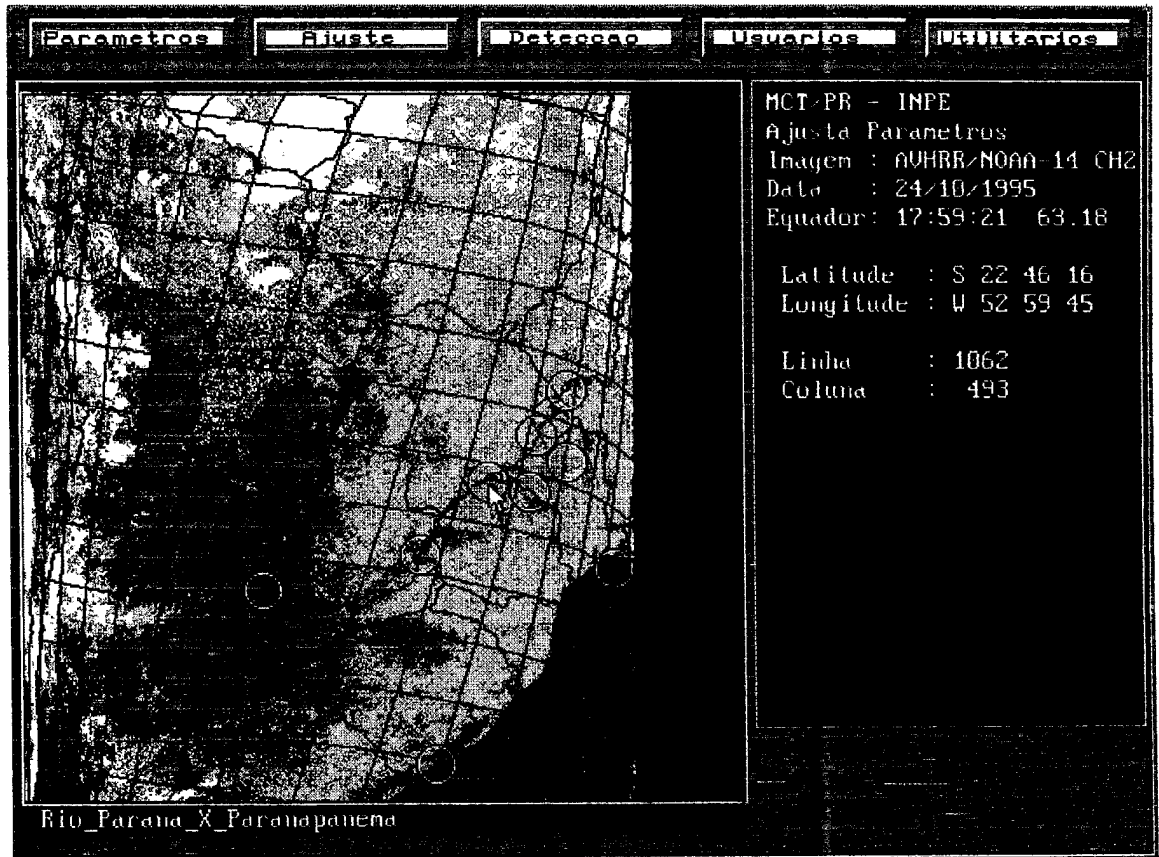


Fig 3 - Tela do módulo de “Ajuste” do sistema SIDEQ

O algoritmo básico até então utilizado no processo de ajuste das imagens AVHRR/NOAA tinha como base de entrada apenas um ponto de controle. Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo utilizando-se dois pontos de controle. Este algoritmo foi inserido no programa de ajuste do sistema SIDEQ e está descrito no apêndice deste relatório.

O algoritmo de ajuste foi desenvolvido com base na diferença entre o primeiro e o segundo ponto de controle combinando-se os valores de latitudes reais dos pontos de controle e os valores de latitudes obtidos na imagem bruta. A partir desses dados foram implementadas operações matemáticas com atualização dos dados do arquivo de parâmetros Noa.p. Abaixo é representado, em pseudo linguagem, a parte do algoritmo responsável pelos cálculos citados.

```

início
obtem Ponto de Controle do operador e suas coordenadas

armazena os valores de latitude e longitude reais obtidos do arquivo noaa.pc

verifica se existe um segundo ponto de controle
se existir
início
    calcula as diferenças de latitude entre o primeiro e segundo ponto de
    controle
    calcula o fator de ajuste com base na diferença encontrada
    atualiza arquivo Noa.p
fim
fim

```

Após esta etapa foram realizados testes com duas imagens NOAA: uma imagem do satélite 14 do dia 31/07/1996 e uma imagem do satélite 12 do dia 03/10/1996. As imagens foram escolhidas de forma a visualizar uma área que contivesse vários pontos de controle e com boa visibilidade livre de nuvens e ruídos.

O teste consistiu em ajustar a mesma imagem com um único ponto de controle, e depois com dois pontos de controle, a fim de comparar os resultados obtidos e verificar a precisão dos dados. Para cada imagem foram realizadas três operações de ajuste com pontos de controle distintos, sempre baseados no arquivo de parâmetros original.

O processo de ajuste (correção geométrica) é realizado através da correção dos valores do horário inicial de gravação da imagem e na longitude de cruzamento do satélite com o Equador no arquivo Noa.p. A alteração desses dados no arquivo influencia nos valores de linha e coluna da imagem (translação) e conseqüente precisão nas coordenadas geográficas obtidas.

Tab. 6 - Dados obtidos do satélite NOAA-12 com o ajuste utilizando 2 pontos de controle

NOAA-12 Data: 03/10/1996													
1 P.C.: Itaipu				1 P.C.: Barragem São Simão				1 P.C.: Barragem de Promissão					
2 P.C.: Barragem São Simão				2 P.C.: Barragem de Promissão				2 P.C.: Itaipu					
		P.C.	C.C	Dif		P.C.	C.C	Dif		P.C.	C.C	Dif	
Lagoa Rio Grande	LIN												Obs:
	COL												P.C. coordenadas do ponto
Barragem São Simão	LIN	1420	1420	0		1420	1420	###		1420	1422	-2	de controle obtido
	COL	623	624	-1		623	623	###		623	623	0	C.C. coordenadas do centro
Rio Grande x Paraná	LIN												do círculo
	COL												Dif. diferença de lin e col
Jupia	LIN	1265	1266	-1		1266	1266	0		1266	1267	-1	entre o ponto real e o obtido
	COL	813	813	0		812	812	0		811	810	1	Teste feito com dois
Barragem de Promissão	LIN	1188	1188	0		1185	1185	0		1188	1186	##	pontos de controle
	COL	610	610	0		610	611	-1		610	610	##	Os P.C que não possuem
Represa de Capivara	LIN	1078	1078	0		1076	1077	-1		1076	1077	-1	informação não estavam bons.
	COL	838	840	-2		838	838	0		836	837	-1	
Rio Tocantins													
Rio Tapajós													
Rio Paraná													
Itaipu	LIN	851	851	##		851	852	-1		851	851	0	
	COL	1329	1329	##		1329	1329	0		1328	1328	1	
Ilha Beta													
Cabo Frio	LIN												
	COL												
Sobradinho													
Foz-do-São-Francisco													
Salvador													
Tucuruí													
Tocantins x Araguaia													

Observa-se nas tabelas que com a nova metodologia usando 2 pontos de controle, o maior valor de diferença encontrada entre o ponto de controle e o valor ajustado é de 2 pixels (desconsiderando os valores obtidos por causa da distorção nas bordas da imagem como por exemplo Cabo Frio na tabela 4).

Portanto, através da análise das tabelas, pode-se concluir que se obtém uma melhor precisão utilizando-se dois pontos de controle, quando comparado com o uso de um ponto de controle no ajuste da imagem. Desta forma, a correção geométrica se torna mais precisa.

Assim, o processo de ajuste da imagem AVHRR apresentou um resultado melhor ao se utilizar mais de um ponto de controle, exceto quando a imagem não seja apropriada (esteja com ruídos ou nuvens).

6 - CONCLUSÃO

Através desse trabalho a aluna aprofundou seus conhecimentos na área de processamento digital de imagens de satélites, familiarizando-se com os algoritmos comumente utilizados, tais como: navegação e correção geométrica; ambos possuem aplicação direta nas áreas de desmatamento e detecção de queimadas.

Verificou-se, nesse trabalho, o quanto é importante a obtenção de dados que contenham a confiabilidade em suas coordenadas geográficas, realizadas através da correção geométrica da imagem.

A aluna espera ter contribuído com esse trabalho de forma significativa para vários aspectos do processamento digital de imagens AVHRR realizados no INPE, onde a precisão da correção geométrica será sempre uma grande necessidade para a extração precisa de informações contidas nessas imagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, S. **Imagens do sistema sensor AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na floresta amazônica - relações com dados do sistema TM/Landsat.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1992. 195 p. (INPE-5501-TDI/5116).
- DiMaio Mantovani, A. C. **Detecção de desmatamentos na floresta Amazônica através de imagens AVHRR/NOAA e do sistema de informações geográficas SGI: Metodologia e teste de um sistema potencial de alerta.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1994. 114 p. (INPE-5580-TDI/543).
- Fernandes, A.E., 1996. **Sistema Computacional de Detecção de Queimadas com imagens AVHRR/NOAA.** (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas, São José dos Campos, 1996
- Figueiredo, D.C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990. 107 p. (INPE-5068-TDI/407).
- França, H. **Um estudo fenológico com imagens AVHRR/NOAA nos cerrados do Parque Nacional das Emas, GO** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994, 96p.(INPE-6120-TDI/581).
- Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA -9, NOAA-10, NOAA-11 and NOAA-12): User guide.** Washington, DC, NOAA, 1993. 1v.
- Medeiros, V.; Tanaka, K.; Yamazaki, Y. 1986. **Sistema de navegação dos dados AVHRR dos satélites da série NOAA.** Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto 1, São José dos Campos, INPE, pp. 464-471.
- Pereira Jr, A.C. **Monitoramento de queimadas na região dos cerrados utilizando dados AVHRR/NOAA corrigidos por dados TM/Landsat.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. 187 p. (INPE-5490-TDL/507).
- Pereira, M. C.. **Detecção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e**

- LANDSAT, e dados de aeronave.** São José dos Campos, SP, INPE/CNPq, 1988. 268p. (INPE-4503-TDL/326).
- Richards, J.A. Remote sensing digital image analysis,** Germany, Springer-Verlag, 1986, 281p.
- Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; Pereira Jr, A.C. O uso do satélite NOAA na detecção de queimadas no Brasil. Climanálise 7, (8): 40-53, 1992.**

APÊNDICE

PROGRAMAS DE COMPUTADOR

```

/* ajuste dos parâmetros orbitais do satélite NOAA (arquivo noa.p)*/
ajusta pc(st main,stpcs)
struct parametros st main;
struct pc correla stpcs[2]; /* estrutura de pontos de controle
{
double latptc, /* latitude do P.C. */
longptc, /* longitude do P.C. */
diflat=1.0, /* diferenca entre lat calculada e fornecida */
diflong=1.0, /* diferenca entre long calculada e fornecida */
difkm, /* diferenca encontrada em km */
difseg, /* diferenca encontrada em segundos */
latnoaa, /* latitude de um ponto, recebido da navegacao */
longnoaa; /* longitude de um ponto recebido da navegacao*/
struct parametros stl; /* estrutura parametros local `a rotina */
struct p noaa asci stp; /* estrutura parametros local `a rotina ASCII */

latptc=stpcs[0].lat; longptc=stpcs[0].lon;

/* Transforma longitude do ponto de controle para radianos Leste */
longptc = (longptc + 360.0) * RADIANOS;

/* enquanto diferenças de lat. e long. forem "altas" e iterações for menor que 20 */
while( ((fabs(diflat) > ERRO LAT) || (fabs(diflong) > ERRO LON)) && (stl.iteracoes <
{
/* Navegacao */
stl.linha noaa =(double)stpcs[0].linha;
stl.coluna noaa=(double)stpcs[0].coluna;

/* navegacao Linha e Coluna para obter Latitude e Longitude */
lc ll(&stl);

/* transforma latitude navegada em radianos para graus */
latnoaa=stl.lat noaa * GRAUS;

/* ajuste do tempo inicial em funcao da diferenca em latitude */
diflat = latptc - latnoaa;

difkm = (diflat *
difseg= difkm * stl.per orbital/(R*DOIS PI);

/* altera tempo de inicio da gravacao da imagem */
stl.tinicio = stl.tinicio + difseg * stl.sentido;

/* navegacao Linha e Coluna para obter Latitude e Longitude */
lc ll(&stl);

/* ajuste da longitude de cruz c/equador em funcao da diferenca em longitude */
diflong = (longptc - stl.lon noaa);
stl.longcruz= stl.longcruz + diflong;

/* incrementa # de iteracoes */
stl.iteracoes++;
}
}

```

```

ase F4: // Operador optou por ajuste

//verifica dentro de qual pc houve o click e retorna o seu indice
indice=localiza_pc(lin_nav,col_nav);
//ponto de controle invalido
if(indice== -1 )
                                break;

//guarda a lat e lon real do ponto de controle
latnav=pcs[indice].lat_pcs;
longnav=pcs[indice].lon_pcs;

//Testa se o 1 PC e' igual ao 2 PC escolhido
if((ind > 0) && (strcmpi(pc_aj,pcs[indice].reg)==0))
{
    display(29,2,"Ponto de controle ja ajustado!");
    getch();
    display(29,2,"");
    break;
}

//mostra informacoes de linha e coluna do ponto ao usuario
setcolor(15);
display(20,57,"Operador");
sprintf(mensagem,"%s",pcs[indice].reg);
display(21,54,mensagem);
sprintf(mensagem,"Lin: %4d Col: %4d",lin_nav,col_nav);
display(22,54,mensagem);

// guarda o valor de latitude da imagem sem ajustar
lat_ima[ind]=lat_aux;

// armazenar a lin e col da imagem do P.C escolhido
linpc[ind]=lin_nav;
                                colpc[ind]=col_nav;

// armazena o valor REAL de lat e lon do P.C.
latpc[ind]=latnav;
                                lonpc[ind]=longnav;

// salva o nome do primeiro PC
if( ind == 0 ) strcpy(pc_aj,pcs[indice].reg);
// testa PC antes do ajuste
testa_ajuste(stpara,pcs[indice].reg,lin_nav,col_nav,latnav,longnav);

// confirma o ponto de controle a ser ajustado
flag=confirma_pc(pcs[indice].reg);
if( flag==1)
                                ind++;
//incrementa o indice da Lat e Lon do PC
// calcular a diferenca para os dois pontos de controle
if( ind > 1)
{
    // diferenca em Latitude (reais) dos PCs
    dlatgeo1_2=fabs(latpc[0])-fabs(latpc[1]);
    dlatgeo1_2=fabs(dlatgeo1_2);

    // diferenca em Latitude (imagem) dos PCs
    dlatima1_2=fabs(lat_ima[0])-fabs(lat_ima[1]);
    dlatima1_2=fabs(dlatima1_2);

    // fator de ajuste do novo periodo orbital e do semi-eixo
    fator_aj=(1 + ((dlatima1_2-dlatgeo1_2)/dlatgeo1_2));

    // o calculo do periodo influencia na latitude da imagem
    stpara.per_orbital = stpara.per_orbital * fator_aj;
}

break;

```

