

**DEFINIÇÃO E COMPARAÇÃO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM IMAGEM  
E MAPA PARA O RIO MADEIRA EM PORTO VELHO**

**Pezzi, Luciano Ponzi  
Provitina, Flávio**

**ABSTRACT**

Geosat altimetry data have been used as a tool to estimate the water level variability of the Amazon basin. The altimetry is supposed to record the distance from the spacecraft to the water surface (or land surface), through a radar signal reflected from its nadir point. The satellite return referred to as 'waveform' has exact coordinates which allows us to know if either its position is inside or outside the river width. The aim of this research is developing a methodology that enables us to identify the satellite tracks on the image and so, check out the 'waveforms' which are in fact reflected by the water surface. This should be done establishing a relation between map coordinates and image coordinates of the Madeira (Rondonia) river basin.

## 1. INTRODUÇÃO

A NASA tem realizado estudos a fim de utilizar dados do satélite altimétrico Geosat para estimar as mudanças de nível da água nos rios da Amazônia.

Este satélite tem um altímetro que registra as distâncias até as superfícies da crosta terrestre em pontos definidos por sua latitude e longitude. Os registros tomados pelo radar altimétrico a cada seiscentos e vinte metros, são definidos como retornos de onda altimétricos, os quais são tomados em trilhas afastadas entre si de cento e cinquenta quilômetros. Os retornos altimétricos, após processados e corrigidos, definem a variação do nível das águas, no entanto muito deles são recebidos e refletidos por superfícies não correspondentes as superfícies dos rios.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia capaz de identificar as seções das trilhas do Geosat que fornecem retornos altimétricos produzidos pelos rios, estabelecendo uma relação entre as coordenadas mapa e as coordenadas imagem da rede hidrográfica do Estado de Rondônia (Rio Madeira).

Utilizando-se mapas na escala 1:50.000 da região próxima a Porto Velho, RO, e uma imagem LANDSAT da mesma região, o trabalho constitui em :

I - estudo do mapa para encontrar pontos facilmente identificáveis na imagem: utilização da mesa digitalizadora para obtenção das coordenadas destes pontos.

II - manipulação da imagem para achar pontos identificados em I, obtenção das coordenadas dos mesmos, na escala da imagem.

III - cálculo de transformação mapa -> imagem, para que outros pontos com coordenadas dadas (latitude-longitude) possam ser identificados na imagem.

IV - identificação na imagem, das partes das trilhas do satélite Geosat, que cobrem o Rio Madeira na região de Porto Velho.

A importância da avaliação precisa do ponto nadir dos retornos altimétricos sobre o rio, justifica-se quando dos trabalhos de hidrometria do rio.

As imagens de satélite, neste caso o Landsat, não são entes geográficos, no sentido de não possuírem entre seus atributos, informações cartográficas. Além do mais, quando da sua obtenção, os dados de sensoriamento remoto adquirem certos erros de geometria resultantes de vários fatores. As causas podem ser :

- o movimento relativo do satélite em relação a Terra,
- o movimento relativo dos scanners e da Terra,
- sensores em condições não ideais,
- a curvatura da Terra,
  - variações não controladas da posição, velocidade e atitude da plataforma do sensor,
- o grande campo de visada de alguns sensores,
  - efeitos panorâmicos em relação a geometria da imagem.

A fim de corrigir estas distorções pode-se efetuar a modelagem da natureza e magnitude das fontes de distorção e usar estes modelos para estabelecer formulas de correção ou estabelecer as

relações matemáticas entre a localização dos pixels na imagem e as correspondentes coordenadas destes pontos no solo, via mapa cartográfico. Estas relações podem ser usadas para a correção da geometria da imagem independente do conhecimento do analista das fontes e tipos de distorção. Isto é conhecido como o REGISTRO DE UMA IMAGEM, o que a torna um ente verdadeiramente geográfico.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Materiais**

A imagem disponível para o trabalho é uma imagem Landsat-TM 5, multiespectral, bandas 1 a 7, cuja a localização na grade de referência é WRS 232/66, datada de oito de Julho de 1989, sobre o estado de Rondônia, na região de Porto Velho. Usou-se um mapa cartográfico da mesma região, executado pela DSG do Brasil em 1977 a partir de um levantamento aerofotogramétrico de 1977. A escala é de 1:50.000, projeção UTM.

O sistema de tratamento de imagens (SITIM) foi um dos equipamentos utilizados neste trabalho. Trata-se de um sistema destinado a extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto, obtidos principalmente por satélites. Esta extração de informações pode se dar de forma qualitativa, através da observação de imagens realçadas pelo sistema, ou de forma quantitativa, através da utilização de procedimentos de classificação automática, cujas saídas são imagens temáticas e tabelas de área associada a cada classe discriminada na imagem. Outro equipamento utilizado foi o SGI (sistema geográfico de informações) que trata-se de um banco de dados geográficos, que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente. No que se refere a este trabalho, a importância da aplicação do SGI está no REGISTRO DE IMAGENS com base em mapas.

### **2.2. Descrição dos erros geométricos nas imagens**

A) Efeitos de rotação da Terra: Sensores de rastreamento linear, como o Landsat MSS e TM, levam um tempo finito para adquirirem uma partição dos dados da imagem. Durante este tempo de aquisição a Terra gira de oeste para leste de modo que um ponto imageado no final da partição estaria um pouco mais a oeste que quando o imageamento iniciou. Portanto, para dar aos pixels sua posição correta em relação ao solo, é necessário deslocar o final da imagem para oeste da quantidade de movimento do solo durante a aquisição da imagem, com todas as linhas de intervenção deslocadas proporcionalmente. A quantidade pela qual a imagem deve ser envezada para oeste no final da partição depende da velocidade relativa do satélite e da Terra, e do comprimento da partição gravada.

B) Distorção panorâmica: Para os rastreadores utilizados em plataformas de sensoriamento remoto o IFOV (Instantaneous field of view) é constante. Como resultado o tamanho efetivo do pixel no solo é maior nas extremidades do rastreador que no nadir. Quando os dados do sensor são arranjados em imagem, todos os pixels são imprimidos no mesmo tamanho numa emulsão fotográfica. Portanto os

pixels mostrados são iguais ao longo da linha de rastreamento enquanto as áreas equivalentes no solo não são. Isto dá uma compreensão dos dados da imagem através de suas bordas. Há uma segunda distorção introduzida com sistemas de largo campo de visada e que se refere a posição dos pixels ao longo da linha de rastreamento. O rastreador registra pixels a incrementos angulares constantes, os quais são mostrados numa grade de centros uniformes. No entanto, o espaçamento efetivo dos pixels no solo, aumenta com o ângulo do scanner. Posicionando-se os pixels numa grade uniforme a imagem sofrerá uma compressão ao longo da trilha. Novamente o efeito para sistemas de pequenos ângulos de visada, será negligenciado em termos do espaçamento adjacente relativo dos pixels. Contudo quando o efeito é considerado para determinar a localização de um pixel no limite da área de varredura relativa ao nadir, o erro pode ser significativo.

C) Curvatura da Terra: sistemas de obtenção de imagens de pequena altitude, não são afetados pelo efeito de curvatura da Terra. Sistemas como o Landsat e Spot, também não são afetados por este problema devido a pouca largura do campo de visada (swath). No entanto sistemas de swath mais largo são afetados como o NOAA, por exemplo.

D) Variações na altitude da plataforma, velocidade e atitude: variações na altitude ou elevação da plataforma de sensoriamento remoto, levam a uma mudança de escala a constante IFOV e campo de visada. Similarmente se a velocidade da plataforma muda, uma mudança de escala ocorre na direção da trilha. Para uma plataforma de satélite, variações de velocidade na órbita de satélites podem resultar da excentricidade e da não esfericidade da Terra. As variações de atitude da plataforma levam a uma rotação da imagem, ao longo e através do deslocamento da trilha. Enquanto estas variações podem ser descritas matematicamente, pelo menos em princípio, um conhecimento das efemérides do satélite é requerido e permite que suas magnitudes sejam computadas. As variações de altitude em sistemas de sensoriamento remoto podem potencialmente ser bem significantes devido aos efeitos de turbulência atmosférica. Isto pode ocorrer num curto período, levando a distorções localizadas nas imagens.

E) Distorção entre a escala vertical e horizontal: esta distorção ocorre por mecanismos que levam a uma superposição de IFOV. O sistema Landsat é um bom exemplo disto. Ocorre que pixels tendo 56 metros de centro são amostrados com um IFOV de 79 metros. Consequentemente, o tamanho efetivo do pixel é 79 m x 56 m e isto não é um quadrado. Como resultado, se os pixels são apresentados numa grade quadrada, a imagem será muito larga para a sua altura quando relacionada a correspondente região no solo.

## 2.3. Correções das distorções geométricas

### 2.3.1. Correção da imagem por polinômios de mapeamento

Neste procedimento assume-se que haja um mapa da região correspondente à imagem, que será corrigida geometricamente.

Define-se então dois sistemas de coordenadas cartesianas. Um que descreve a localização dos pontos no mapa (x,y) e outro sistema de coordenadas que define a localização dos pixels na imagem (u,v). Supõe-se então, que os dois sistemas de coordenadas podem estar relacionados via um par de funções de mapeamento f e g, de modo que

$$u = f(x,y)$$
$$v = g(x,y)$$

Se estas funções são conhecidas pode-se localizar um ponto na imagem conhecendo-se sua posição no mapa. Em princípio o reverso também é verdade. Com esta técnica pode-se construir uma versão geometricamente corrigida da imagem do seguinte modo. Primeiro define-se uma grade sobre o mapa que funcione como o centro da grade de pixels na imagem corrigida. Esta grade deveria realmente ser paralela a grade de coordenadas do mapa, descrito por latitudes e longitudes, coordenadas UTM, etc.. Por simplicidade refere-se a esta grade como a grade de display; por definição este é geometricamente correto. Move-se de centro a centro dos pixels da grade de display e usa-se as funções de mapeamento para encontrar o correspondente pixel na imagem para cada posição da grade de display. Na conclusão do processo tem-se a imagem corretamente corrigida construída na grade de display utilizando-se a imagem original como uma fonte de pixels.

Enquanto o processo é um processo simples há algumas dificuldades práticas que devem ser mencionadas. Primeiro não se sabe a forma explícita das funções de mapeamento. Segundo, mesmo que soubéssemos, eles poderiam não corresponder exatamente a um pixel na imagem correspondente a localização da grade de display. Além do mais alguma forma de interpolação pode ser requisitada.

### 2.3.2. Polinômios de mapeamento e pontos de controle

A partir do momento que formas explícitas para as funções de mapeamento não são conhecidas, elas geralmente são escolhidas como simples polinômios de primeiro, segundo e terceiro grau. Por exemplo, no caso de segundo grau :

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

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

às vezes ordens maiores que três são usadas mas deve-se tomar cuidado para evitar a introdução de erros maiores que aqueles para serem corrigidos.

Se os coeficientes  $a_i$  e  $b_i$ , nas equações acima, fossem conhecidos então os polinômios de mapeamento poderiam ser usados para relacionar qualquer ponto no mapa com o seu ponto correspondente na imagem. No entanto estes pontos são desconhecidos. Valores podem ser estimados identificando-se um conjunto de feições no mapa que possam ser também identificadas na imagem. Estas feições, comumente chamadas de pontos de controle no solo são bem definidas e espacialmente pequenas, podem ser: intersecções de rodovias, pistas de aeroportos, etc. Uma quantidade suficiente destes pontos são escolhidos de modo que os coeficientes

do polinômio possam ser estimados por substituição nos polinômios de mapeamento para gerar um conjunto de equações naquelas desconhecidas. Segundo a equação acima, verifica-se que o número mínimo de pontos requerido para um polinômio de mapeamento de segunda ordem é seis. Da mesma forma, um mínimo de três é desejável para mapeamento de primeira ordem e dez para mapeamento de terceira ordem. Na prática contudo, um número maior de pontos são escolhidos e os coeficientes são avaliados usando-se estimativas de mínimos quadrados. Desta maneira qualquer ponto de controle que contenha erros de posição significantes tanto no mapa como na imagem, não terá uma influência indevida nos coeficientes polinomiais.

### 2.3.3. Reamostragem

Após determinar os polinômios de mapeamento pelo uso dos pontos de controle o próximo passo é encontrar pontos na imagem correspondentes a cada localização na grade de pixels previamente definida sobre o mapa. O espaçamento da grade é escolhido de acordo com o tamanho de pixel requerido na imagem corrigida e não precisa-se usar o mesmo que aquele da imagem original geometricamente distorcida. Supõe-se agora que os pontos localizados na imagem correspondem exatamente ao centro dos pixels da imagem. Então estes pixels são simplesmente transferidos a localização apropriada na grade de amostragem para construir a imagem retificada.

### 2.3.4. Interpolação

Bem como espera-se, os centros das grades de pixels e do mapa registrado, não se projetarão sobre a localização exata do centro do pixel na imagem. Alguma decisão deve ser tomada portanto, para saber-se qual nível de cinza deverá ser escolhido para acentamento na nova grade. Três técnicas são usadas para tanto:

A) Reamostragem por vizinho mais próximo: escolhe o pixel que tem seu centro o mais próximo do ponto localizado na imagem. Este pixel será transferido para a correspondente localização na grade de amostra. Esta é a técnica preferida se a nova imagem deva ser classificada, desde que ela consista de níveis de cinza originais simplesmente rearranjados numa posição que dê uma geometria correta.

B) Interpolação bilinear : usa três interpolações lineares sobre os quatro pixels que circundam o pixel achado na imagem correspondente a uma dada posição na grade de amostra. Duas interpolações lineares são efetuadas ao longo das linhas de rastreamento para encontrar os interpoladores  $\phi(i, j')$  e  $\phi(i+1, j')$ . Segue:

$$\phi(i, j') = j' \phi(i, j+1) + (1-j') \phi(i, j)$$

$$\phi(i+1, j') = j' \phi(i+1, j+1)$$

C) Interpolação de convolução cúbica: utiliza-se de dezesseis pixels circunvizinhos. As polinomiais cúbicas são ajustadas ao

longo de quatro linhas dos quatro pixels ao redor do ponto na imagem para formar os quatro interpoladores. Uma polinomial cúbica será ajustada através destes pontos para sintetizar o nível de cinza para a correspondente localização na grade de amostragem.

A forma real do polinômio que é usado para a interpolação é derivada das considerações em teoria de amostragem e relaciona-se com a construção de funções contínuas a partir de um conjunto de amostras.

A interpolação de convolução cúbica, ou reamostragem, gera uma imagem que é geralmente mais suave em aparência e mais usada, se o produto final for tratado com fotointerpretação.

### 2.3.5. Escolha de pontos de controle

Deve-se escolher os pares de pontos de controle, suficientemente bem definidos, para assegurar que as polinomiais de mapeamento sejam mais confiáveis. É necessário um cuidado na escolha dos pontos, cuja a regra geral é uma distribuição de pontos de controle junto as bordas da imagem para serem corrigidos com o espalhamento dos pontos sobre o corpo da imagem. Isto assegura um bom comportamento das polinomiais de mapeamento sobre toda a imagem.

## 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Tomou-se a imagem Landsat TM 5, banda 5 de Porto Velho, RN, da qual com o SITIM, extraiu-se uma área (janela) cujas as coordenadas na fita são :

Banda : 5  
Disco coordenada: X1=0 NP=512 Y1=0 NI=697  
Fita coordenada : X1=0 NP=6121 Y1=0 NI=5920  
Fita janela : X1=755 NP=924 Y1=3083 NI=923  
Pixel : 30.00 x 30.00

Esta foi a área da imagem trabalhada que contém a cidade de Porto Velho e o Rio Madeira, a qual foi registrada. Escolheu-se a banda cinco do Landsat TM 5, por ser a mais adequada no discernimento dos padrões de água, vegetação e solo que compõe a cena para a escolha dos pontos de controle e para a exata identificação dos corpos d'água. Para efeito de registro, usou-se a banda cinco do Landsat TM 5, situada na faixa de 1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ , que oferece a absorção total da energia eletromagnética pelos corpos d'água, tornando-os completamente escuros e permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento dos corpos d'água. A vegetação, no entanto, feição preponderante da região, por refletir mais energia eletromagnética, dentro do contexto nesta banda, aparece bem clara na imagem.

Após este tratamento no SITIM, a imagem foi transferida para o SGI. Não foi possível analisar uma área maior da imagem por limitações técnicas do equipamento, tais como:

- armazenamento dos dados em disquetes de baixa densidade compatíveis com os sistemas SITIM e SGI.

- limitações de espaço na memória dos equipamentos (SGI), uma vez que este necessita de espaço para armazenar a imagem que se quer registrar, e a imagem após o registro. Uma vez transferida a área de interesse da imagem do SITIM para o SGI, iniciou-se o registro propriamente dito, no qual o software considera todas as distorções geométricas da imagem, efetua as devidas correções para assim geocodificar a área. Esta área analisada, foi estrategicamente escolhida, ou seja, onde pressupõe-se a passagem do satélite Geosat.

Com uma carta da área calibrou-se a mesa digitalizadora, ou seja, através dos pontos adquiridos na mesa, determinou-se uma função de calibração da mesa em relação ao mapa, que consistiu em:

- Aquisição do meridiano central,
- Posicionamento do mapa na mesa,
- Aquisição dos pontos de controle (quatro pontos que circundam a cena observada)

Os pontos escolhidos na calibração e a precisão desta, feita pelo ajuste de mínimos quadrados, podem ser observada na tabela abaixo.

Meridiano Central:

U=253,925 V=634,75 X=394000 Y=9046000

U=612,75 V=639,3 X=412000 Y=9046000

U=616,175 V=279,45 X=412000 Y=9028000

U=257,35 V=274,95 X=394000 Y=9028000

Delta X=-0.00503219 Delta Y=-0.624706

Delta X= 0.0072852 Delta Y= 0.625188

Delta X=-0.00502934 Delta Y=-0.624875

Delta X= 0.00728411 Delta Y= 0.625526

Resíduo médio em x = 0.00625998

Resíduo médio em y = 0.625074

Tolerância máxima = 0.5 (mm) x escala

Além dos pontos para a calibração, adquiriu-se pontos de controle para o registro. Escolheu-se cinco pontos que associavam feições perfeitamente identificáveis tanto na carta como na imagem. Foram somente cinco pontos devido as dificuldades de discernimento na área, pois trata-se de uma região de mata e poucas construções, ou seja, os recursos naturais com o transcorrer do tempo vão modificando e alterando os seus padrões, o que dificultou bastante na escolha dos pontos. Além do mais, a carta utilizada estava um tanto desatualizada em relação a imagem utilizada. Procurou-se nos cinco pontos uma boa distribuição sobre a imagem, bem como uma boa precisão, o que pode ser observado na boa qualidade do registro, considerando-se o número relativamente pequeno de pontos.

No quadro a seguir têm-se os pontos escolhidos com os respectivos erros após o ajuste do polinômio.

Erro interno para os pontos utilizados no mapeamento:

Horizontal : 0.284 Vertical :0.556 Total :0.0000

Grau do polinômio de mapeamento : 1		
Resíduo em módulo para cada ponto		
Nome do ponto	ResX	ResY
P1	0.2	0.5
P2	0.3	1.1
P3	0.4	0.1
P4	0.3	0.3
P5	0.0	0.1

Como o número de pontos de controle foi menor que seis, o programa assumiu que o grau do polinômio deveria ser um. Do contrário o usuário deveria informar o grau do mesmo. Após a tomada dos pontos, e feito o ajuste entre as suas posições na imagem e na carta pelo método de mínimos quadrados e apresentados os respectivos resíduos na direção x e y.

Tendo em vista a dificuldade de localizar os pontos da imagem na carta, pode-se considerar os resíduos dos pontos escolhidos bastante satisfatórios. Observando a tabela supra mencionada, tem-se que os resíduos se aproximam bastante de zero, o que é a situação ideal.

A seguir foi feito o cálculo da matriz de reamostragem, cujo objetivo é criar o espaço no qual será alocado a imagem registrada. Juntamente com os pontos de controle, calibragem da mesa, e matriz de reamostragem, parte-se definitivamente o registro da imagem.

Tendo-se a imagem registrada, partiu-se para a digitalização do rio tanto na carta como na imagem (registrada), com o intuito de criar dois arquivos de pontos de coordenadas UTM. Estes arquivos permitem então a definição da variação que existe entre as coordenadas que definem o rio na imagem (verdadeiras) e as coordenadas observadas na carta (portadoras de erros).

O processo de digitalização, efetuado pelo software presente no SGI pode ser explicado como segue. A digitalização exigiu uma nova calibração da mesa digitalizadora. Usou-se o modelo numérico do terreno para a criação dos arquivos, sendo então os valores do parâmetro z sempre zero.

Criou-se por meio da digitalização dois arquivos. O primeiro foi o PMAPA, cujas as coordenadas são referentes ao mapa. O segundo arquivo foi o PCENA, cujas as coordenadas são da imagem registrada. Ambos os arquivos foram adquiridos por meio da digitalização de pontos e não de linhas, o que permitiu uma análise de ajuste estatístico.

### 3.1. Um método alternativo

Para registrar a imagem, o software do SITIM considerou todas as correções necessárias e assim equalizou a função que relaciona as coordenadas mapa e imagem. No entanto com os arquivos PMAPA e PCENA tentou-se através de um ajuste estatístico chegar a uma equação linear que relaciona ambas as coordenadas, de forma que poder-se-ia localizar as coordenadas mapa e imagem no próprio SITIM, uma vez que se tenha a imagem registrada com a carta. Esta relação foi calculada com as coordenadas extraídas da imagem registrada. O software utilizado para fazer a REGRESSÃO SIMPLES foi

o MINITAB.

Dentro do arquivo PCENA, as coordenadas X e Y foram chamadas de C1 e C2 respectivamente, sendo X as coordenadas de longitude e Y as coordenadas de latitude. Em contra partida para PMAPA, a X e Y chamou-se C4 e C5. Obtiveram-se então as seguintes equações :

$C1 = -2739 + 1.01C4$ , que está relacionando as coordenadas longitude da carta (C4) com longitude da imagem (C1).

$C2 = 2319545 + 0.744C5$ , que está relacionando as coordenadas latitude da carta (C5) com latitude da imagem (C2).

Observou-se que a correlação da primeira equação não foi satisfatória, melhorando na segunda equação. Provavelmente pode-se atribuir este fato a obtenção aleatória de pontos na carta e na imagem. Outro problema diz respeito ao tamanho do arquivo PMAPA que foi de 164 pares de pontos em detrimento aos 125 pares do arquivo PCENA. Como o MINITAB somente trabalha com colunas iguais em tamanho, foram suprimidos aleatoriamente trinta e nove pares de pontos do arquivo PMAPA.

Este método de ajuste pode ser melhorado a fim de que se tenha uma relação matemática mais funcional e operacional para o problema de definição das coordenadas mapa na imagem, e assim melhor avaliar as waveforms de interesse nos estudos de altimetria.

#### BIBLIOGRAFIA

- NOTAS DE AULA, do curso Processamento Digital de Imagens, CEPSRM.
- RICHARDS, John A. Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction.
- RYAN, Barbara F. Minitab Handbook, Second Edition.
- SCHOWENGERDT, Robert Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing.
- SITIM 150, Sensoriamento Remoto - Manual do Usuário.
- SGI, Sistema de Informações Geográficas, Manual do Usuário.