



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-11238-RPQ/761

**IMAGENS FOTOGRÁFICAS DERIVADAS DE MNT DO PROJETO  
SRTM PARA FOTOINTERPRETAÇÃO NA GEOLOGIA,  
GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA**

Edison Crepani  
José Simeão de Medeiros

INPE  
São José dos Campos  
2004



## RESUMO

Este trabalho apresenta uma forma amigável ao fotointérprete de analisar dados do Projeto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) preparada com o software SPRING. Os dados da SRTM para uso científico e avaliação estão disponíveis para *download* gratuito a partir de <http://seamless.usgs.gov> em grades de Modelos Numéricos do Terreno (MNT) com resolução de 90 metros. O SPRING permite refinar a grade retangular original criando novas grades a partir das quais podem ser geradas imagens fotográficas em níveis de cinza (NC), transformando números reais da grade em valores inteiros dentro do intervalo de NC e imagens sombreadas onde se considera o ângulo azimutal e de elevação de uma fonte luminosa e o exagero de relevo. O SPRING também gera isolinhas, ou curvas de isovalores (para uma superfície que represente a altimetria do terreno gera curvas de nível), a partir de um modelo numérico de terreno (MNT).



# **PHOTOGRAPHIC IMAGES OBTAINED FROM DEM OF SRTM PROJECT TO PHOTOINTERPRETATION IN GEOLOGY, GEOMORPHOLOGY AND PEDOLOGY.**

## **ABSTRACT**

This work presents a friendly way to analyze Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) Project data processed using SPRING software. The SRTM data are available to free download in <http://seamless.usgs.gov>, for evaluation and scientific use, in research-quality Digital Elevation Models (DEM) with 90 meters. The SPRING allows to refine the original rectangular grid by creating new better resolution (for instance, 30 or 10 meters) grids from which can be generated photographic images in gray levels and shaded relief images using different azimuthal and elevation angles and vertical exaggeration. The SPRING also generates isolines, or isovalues curves (for a surface that represents the terrain altimetry generates contour-lines), from digital elevation models (DEM).



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	10
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. IMAGENS SRTM E LANDSAT DISPONÍVEIS GRATUITAMENTE NA WEB</b> .....	14
<b>3. REFINAMENTO DA GRADE DE MNT NO SPRING</b> .....	18
<b>4. GERAÇÃO DE IMAGENS A PARTIR DE MNT NO SPRING</b> .....	19
4.1 - Imagem em nível de cinza.....	20
4.2 - Imagem Sombreada.....	23
<b>5. COMPOSIÇÕES COLORIDAS DE IMAGENS SRTM SOMBREADAS</b> .....	31
<b>6. GERAÇÃO DE ISOLINHAS A PARTIR DAS GRADES RETANGULARES DA SRTM NO SPRING</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40



## LISTA DE FIGURAS

- 1 - Configuração da SRTM no Space Shuttle Endeavour.....13
- 2 - Imagens da região da Chapada Diamantina no Vale do Rio São Francisco: (a) mosaico SRTM da América do Sul (resolução de 928 metros); (b) Mosaico GeoCover Landsat 5 (resolução de 28,5 metros).....16
- 3 - Ampliação da área demarcada pelos retângulos vermelhos na Figura 2 com a finalidade de comparação entre a resolução espacial do Mosaico SRTM da América do Sul (a) (resolução espacial de 928 metros) e do Mosaico GeoCover Landsat 5 (b) (resolução espacial de 28,5 metros).....17
- 4 - Interpolador bicúbico.....18
- 5 - (a) Imagem em nível de cinza do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros; (b) mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.....21
- 6 - Ampliação do detalhe marcado pelo retângulo preto na Figura 5: (a) Imagem em nível de cinza gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 10 metros, criada por refinamento da grade original com resolução de 90 metros; (b) mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.....22
- 7 - (a) Imagem sombreada do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, com azimute de 135°, elevação de 45° e exagero de relevo 10; (b) para efeito de comparação e localização, mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.....26
- 8 - (a) Imagem sombreada do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, com azimute de 225°, elevação de 45° e exagero de relevo 10; (b) para efeito de comparação e localização, mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros .....27
- 9 - (a) Imagem sombreada da área marcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da Figura 7 (azimute = 135°, elevação = 45°, exagero de relevo = 10) criada a partir da grade retangular com resolução de 10 metros refinada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros original; (b) mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....28
- 10 - (a): Imagem sombreada da área marcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da Figura 8 (azimute = 225°, elevação = 45°, exagero de relevo = 10) criada a partir da grade retangular com resolução de 10 metros refinada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros original; (b): mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....29
- 11 - Ampliação da área demarcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da Figura 9: (a) Imagem sombreada (azimute = 135°, elevação = 45°, exagero de

	relevo = 10) obtida a partir da grade retangular de MNT original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros; (b) imagem sombreada (azimute = 135°, elevação = 45°, exagero de relevo = 10) obtida a partir da grade retangular de MNT original com resolução de 90 metros; (c) mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....	30
12 -	(a) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros); (b) mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 (resolução de 28,5 metros).....	33
13 -	Ampliação dos detalhes marcados pelos retângulos pretos na Figura 12: (a) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute 135°, elevação 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros); (b) mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....	34
14 -	Ampliação dos detalhes marcados pelos retângulos pretos na Figura 13: (a) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros); (b) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros); (c) mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....	35
15 -	Isolinhas de cota z obtidas pela projeção do plano xy.....	36
16 -	Isolinhas geradas a partir de uma grade retangular.....	36
17 -	Isolinhas, com equidistância de 10 metros, geradas a partir de grades retangulares de MNT do SRTM refinadas para 10 metros: (a) Isolinhas observadas sobre imagem sombreada com azimute de 135°, elevação de 45° e exagero de relevo 10 (imagem gerada a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros); (b) isolinhas observadas sobre composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros); (c) isolinhas observadas sobre mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).....	38



## 1. INTRODUÇÃO

O Projeto SRTM faz parte de um programa que visa examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e a vida como um sistema integrado. Os dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) são o resultado de um projeto cooperativo entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration), NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria. O Jet Propulsion Laboratory (JPL) da NASA, na Califórnia é o responsável pela pesquisa de qualidade dos dados produzidos, a NGA promove processamentos adicionais para gerar produtos de mapeamento e o United States Geological Survey (USGS) provê o arquivamento final e a distribuição dos dados do SRTM.

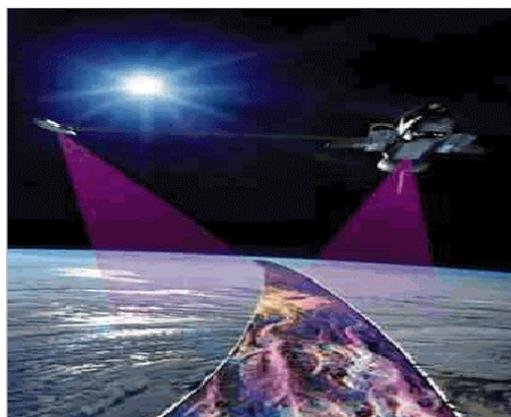


FIGURA 1 – Configuração do SRTM no Space Shuttle Endeavour. FONTE: Ilustração da NASA.

O Projeto SRTM representa a primeira experiência de interferometria a bordo de uma nave espacial. No período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 a bordo do Space Shuttle Endeavour (FIGURA 1), numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de  $57^\circ$ , um conjunto composto por duas antenas coletou 14 Terabytes de dados que permitiram a avaliação do perfil de altitude para criação de modelo digital tri-dimensional da Terra entre as latitudes  $60^\circ\text{N}$  e  $58^\circ\text{S}$ .

Este arranjo de antenas consiste em uma principal, americana do sistema SIR-C operando na banda C com comprimento de onda de 6,0 cm colocada no compartimento de carga da nave com função de transmissão e recepção e outra antena secundária, germano-italiana do sistema X-SAR operando na banda X com comprimento de onda de 3,1 cm com função de

recepção, colocada na extremidade de uma haste de 60 metros de comprimento fora da nave, configurando a linha de base interferométrica que garante a observação a partir de dois pontos ligeiramente diferentes (Koch, Heipke & Lohmann, 2002).

## **2. IMAGENS SRTM E LANDSAT DISPONÍVEIS GRATUITAMENTE NA WEB**

Está disponível no endereço <http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10> um mosaico de imagens SRTM da América do Sul no formato Tiff de Alta Resolução com relevo sombreado e cores representando diferentes altitudes. Para criar uma visão ampla de todo continente Sul Americano a resolução da imagem foi reduzida a 30 segundos de arco (928 metros de norte a sul e variável de leste para oeste). As imagens foram georeferenciadas em relação aos melhores dados topográficos digitais pré-existentes, do GTOPO30. Os dados topográficos foram colocados na projeção Mercator com *pixels* aproximadamente quadrados (de 0,6 a 1 km de cada lado).

No endereço <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> está disponível o mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 em composição SWIR (Short-Wavelength Infrared) com a banda 2 no azul, banda 4 no verde e banda 7 (ou 5) no vermelho, com projeção Universal Transverse Mercator (UTM) / World Geodetic System 1984 (WGS84) e tamanho de pixel em mistura de 28,5 e 30 metros. As imagens TM 5 do mosaico foram coletadas no intervalo de tempo de 1987 a 1993 e apresentam controle horizontal a partir de 6 a 12 pontos identificados por cena, precisão posicional absoluta com erro quadrático médio menor que 15 metros e controle vertical a partir de DTM com 3 segundos de arco, quando disponível, ou dados topográficos digitais do GTOPO30 (30 segundos de arco) quando não disponível. A precisão posicional absoluta do Mosaico GeoCover Landsat apresenta erro quadrático médio de 50 metros.

No mesmo endereço encontra-se disponível o mosaico ortorretificado de imagens ETM+ do Landsat 7 resultante do “*sharpening*” das bandas 7, 4, 2 e 8. Este processamento realiza a transformação RGB-IHS utilizando as bandas 7, 4, e 2 com resolução espacial de 30 metros, e posteriormente a transformação IHS-RGB utilizando a banda 8 na *Intensidade* (I) para aproveitar a resolução espacial de 15 metros. Este procedimento junta as características espaciais da imagem com resolução de 15 metros às características espectrais das imagens com resolução de 30 metros resultando numa imagem mais “aguçada”. As imagens do

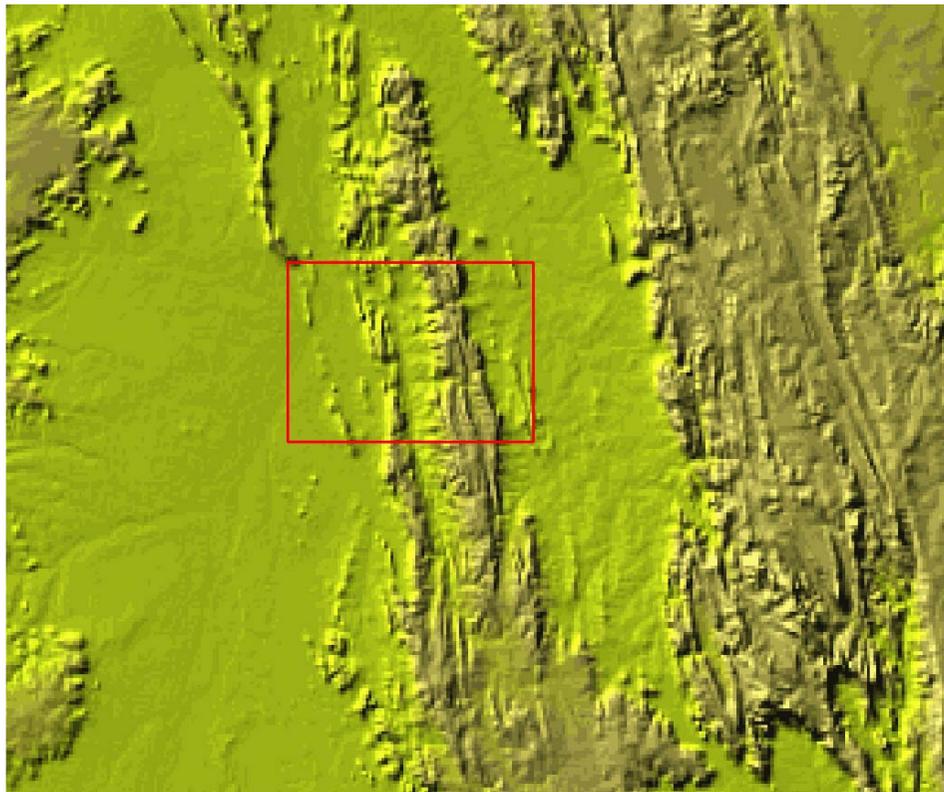
Mosaico Geocover Landsat 7 foram coletadas no período de 1999/2000 e apresentam resolução espacial de 14,25 metros. As outras características deste mosaico permanecem as mesmas daquelas do Mosaico Geocover Landsat 5.

A FIGURA 2 ilustra um trecho do Mosaico SRTM da América do Sul (a) do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina e, para efeito de comparação e localização, a mesma área observada no Mosaico Geocover Landsat 5 (b).

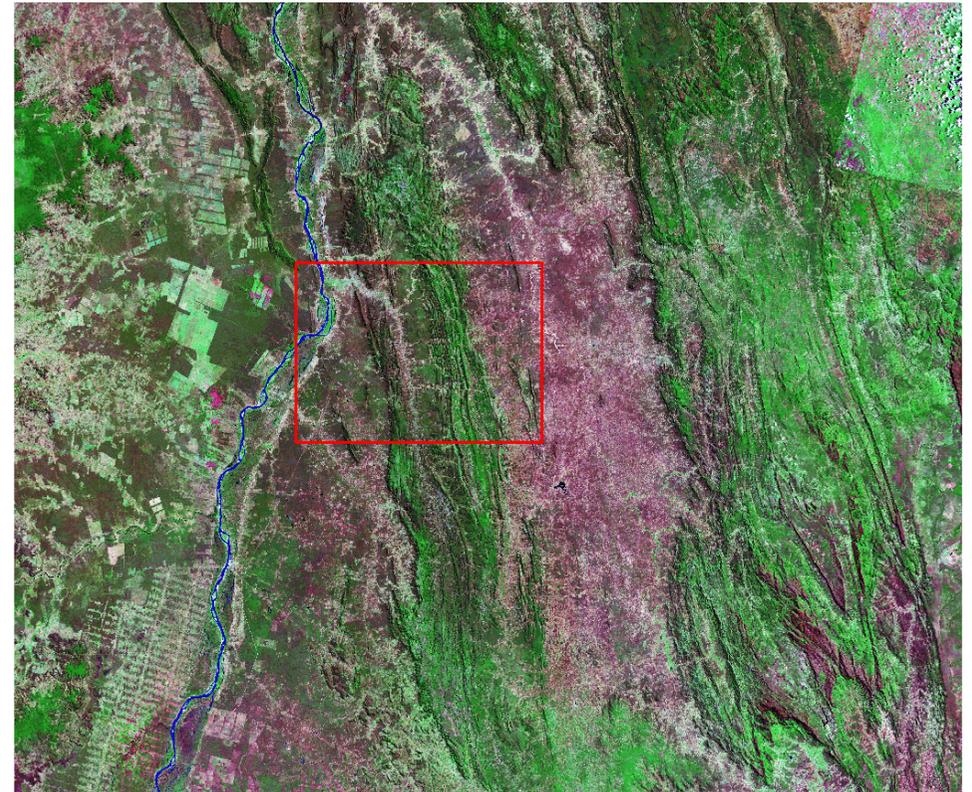
A FIGURA 3 apresenta uma ampliação das áreas demarcadas pelos retângulos vermelhos na FIGURA 2 com a finalidade de comparar a resolução espacial do Mosaico SRTM da América do Sul (a) com a do Mosaico GeoCover Landsat 5 (b).

As figuras mostram que os dois mosaicos apresentam registro perfeito, uma vez que utilizaram os mesmos dados topográficos digitais do GTOPO30 para seu controle. A grande diferença entre os dois mosaicos, além daquelas inerentes ao fato de se tratarem de sensores completamente diferentes com suas vantagens e desvantagens, é a qualidade da imagem ampliada para fotointerpretação, pois o Mosaico GeoCover Landsat 5 (resolução de 28,5 metros) permite ampliação com qualidade muito maior do que aquela do Mosaico SRTM da América do Sul (928 metros).

A alternativa para se obter imagens fotográficas derivadas de dados SRTM com melhor resolução espacial seria utilizar os dados SRTM disponíveis para *download* gratuito em <http://seamless.usgs.gov>, na forma de grade de Modelos Numéricos do Terreno com resolução de 90 metros, para criar imagens a partir do refinamento da grade de MNT no SPRING, gerando produtos para utilização conjunta com os Mosaicos GeoCover Landsat para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia.



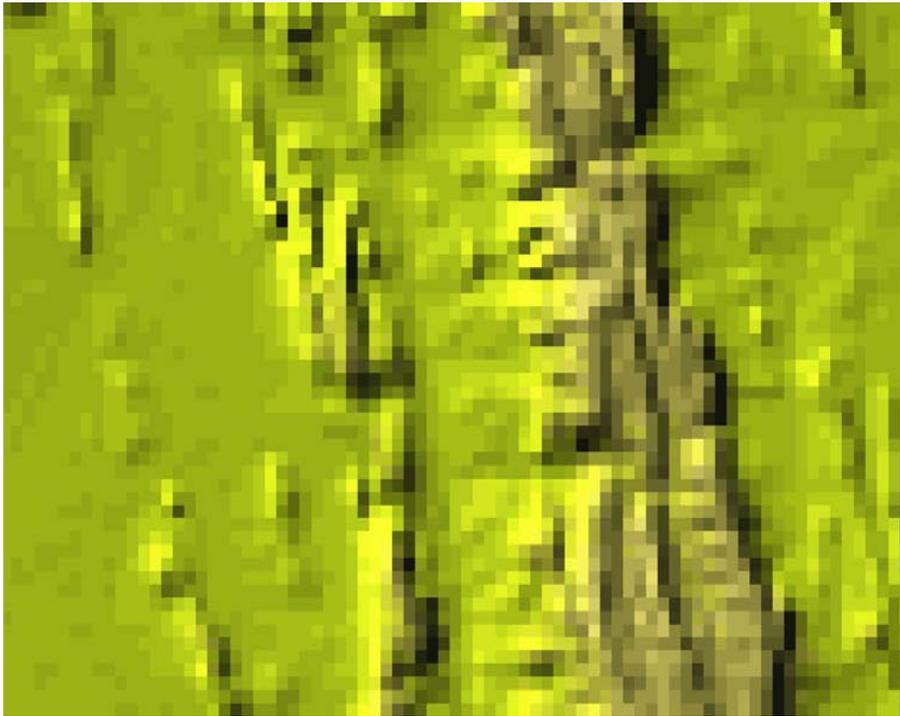
(a)



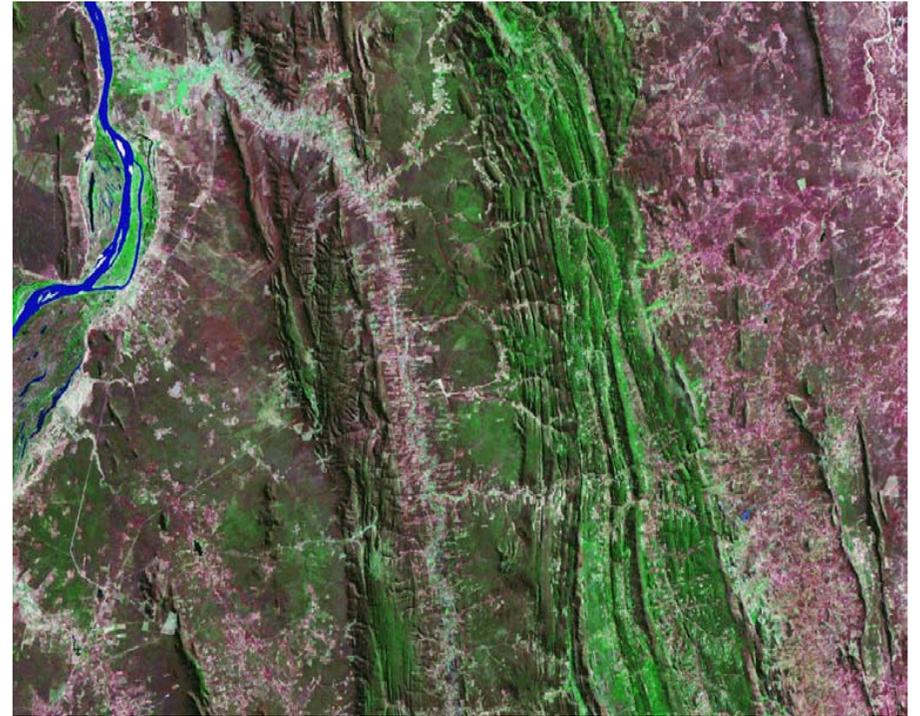
(b)

45 km

FIGURA 2 – Imagens da região da Chapada Diamantina no Vale do Rio São Francisco: (a) Mosaico SRTM da América do Sul (resolução de 928 metros); (b) Mosaico GeoCover Landsat 5 (resolução de 28,5 metros).



(a)



(b)

12 km

FIGURA 3 - Ampliação das áreas demarcadas pelos retângulos vermelhos na Figura 2 com a finalidade de comparação entre a resolução espacial do Mosaico SRTM da América do Sul (a) (resolução espacial de 928 metros) e do Mosaico GeoCover Landsat 5 (b) (resolução espacial de 28,5 metros).

### 3. REFINAMENTO DA GRADE DE MNT NO SPRING

O SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de 2ª geração, desenvolvido pelo INPE (<http://www.dpi.inpe.br/spring/>) para ambientes UNIX e Windows, que tem entre seus objetivos integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento e fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

O refinamento de uma grade retangular de MNT no SPRING consiste em diminuir o espaçamento entre os pontos da grade original por interpolação criando uma nova grade. O valor da cota  $z$  da nova grade é estimado através de interpolador bicúbico ou bilinear. O refinamento bicúbico requer mais tempo de processamento, mas apresenta resultados mais interessantes.

Para realizar um refinamento bicúbico, segundo a relação de vizinhança, o número de vizinhos a serem considerados será igual a 16 (FIGURA 4), a estimativa do novo valor da cota  $z$  é feita da seguinte maneira:

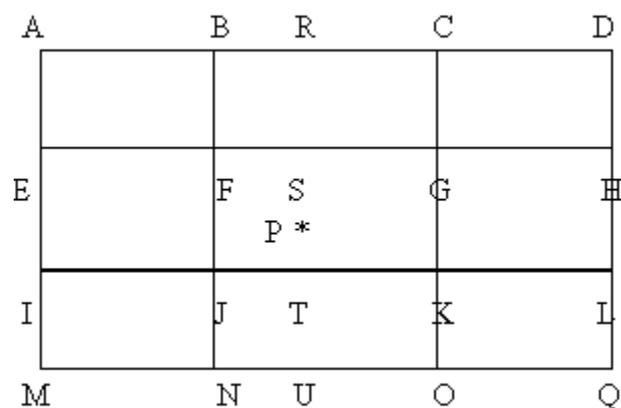


FIGURA 4 - Interpolador bicúbico. FONTE: Ajuda SPRING.

Dado um ponto P posicionado dentro dos limites, no plano xy da grade original, os quatro pontos mais próximos desse ponto P são os pontos extremos da célula a qual o ponto P é interno e os pontos extremos das células adjacentes à primeira. Esses extremos estão representados na figura abaixo pelas letras A até Q. Para avaliar o valor da cota no ponto P usa-se o seguinte procedimento: 1) calculam-se os valores de cota dos pontos R, S, T, e U a partir de uma interpolação cúbica (2-D) entre os valores de cota dos pontos A-B-C-D, E-F-G-H, I-J-K-L e M-N-O-Q, respectivamente; 2) a partir dos valores de cota dos pontos R, S, T

e U, obtém-se o valor da cota do ponto P, utilizando o mesmo interpolador cúbico sobre esses pontos.

O refinamento bicúbico, apesar de ser mais lento computacionalmente que o bilinear, fornece resultados mais interessantes, pois garante continuidade de primeira e segunda ordem entre as funções que representam cada célula do modelo. Desta forma, a superfície resultante é suave nos pontos da grade e também ao longo dos segmentos que formam os retângulos, ou seja, a grade é mais suave e cada retalho da grade é contínuo e suave em relação aos seus vizinhos.

A partir da grade retangular original do SRTM obtida por *download* com resolução de 90 metros construiu-se, por refinamento bicúbico, uma nova grade retangular de MNT com resolução de 10 metros.

#### **4. GERAÇÃO DE IMAGENS A PARTIR DE MNT NO SPRING**

É impossível para um fotointérprete extrair de uma grade de MNT a informação necessária para uma eficiente fotointerpretação, simplesmente porque este produto não mostra os elementos de textura de relevo e de drenagem que definem estruturas e formas, por isso é necessário transformar a grade em um produto possível de ser analisado, segundo regras de fotointerpretação que permitam estabelecer algumas características físicas e químicas dos materiais da superfície (solos e rochas) e inferir os processos criadores e modificadores da paisagem.

O SPRING permite gerar imagens em níveis de cinza (NC) a partir de um MNT considerando o intervalo entre 0 (preto) e 255 (branco) transformando números reais da grade em valores inteiros dentro do intervalo de NC, ou imagens sombreadas onde se consideram o ângulo azimutal e o ângulo de elevação de uma fonte luminosa, além do exagero de relevo.

##### **4.1 - Imagem em Nível de Cinza**

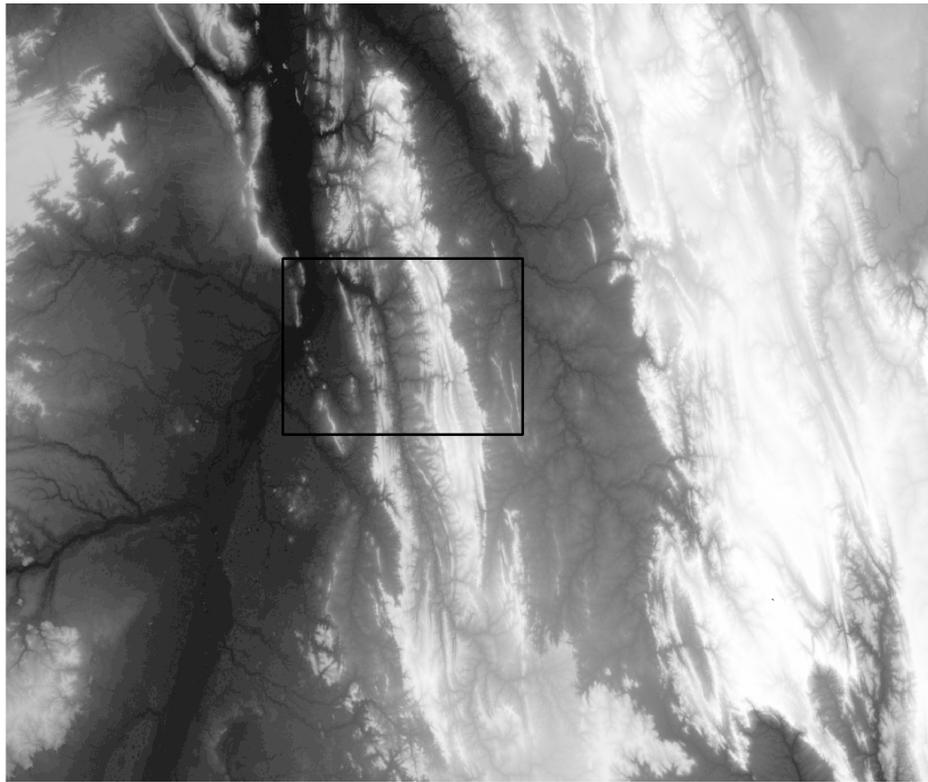
A geração de imagens em nível de cinza a partir de um modelo numérico de terreno consiste em distribuir os valores mínimos e máximos das cotas, obtidos a partir da grade retangular,

em pixels que conterão níveis de cinza em valores de 0 a 255, isto é, números reais da grade são transformados em valores inteiros dentro do intervalo de nível de cinza por meio de uma equação linear ( $y=ax+b$ ).

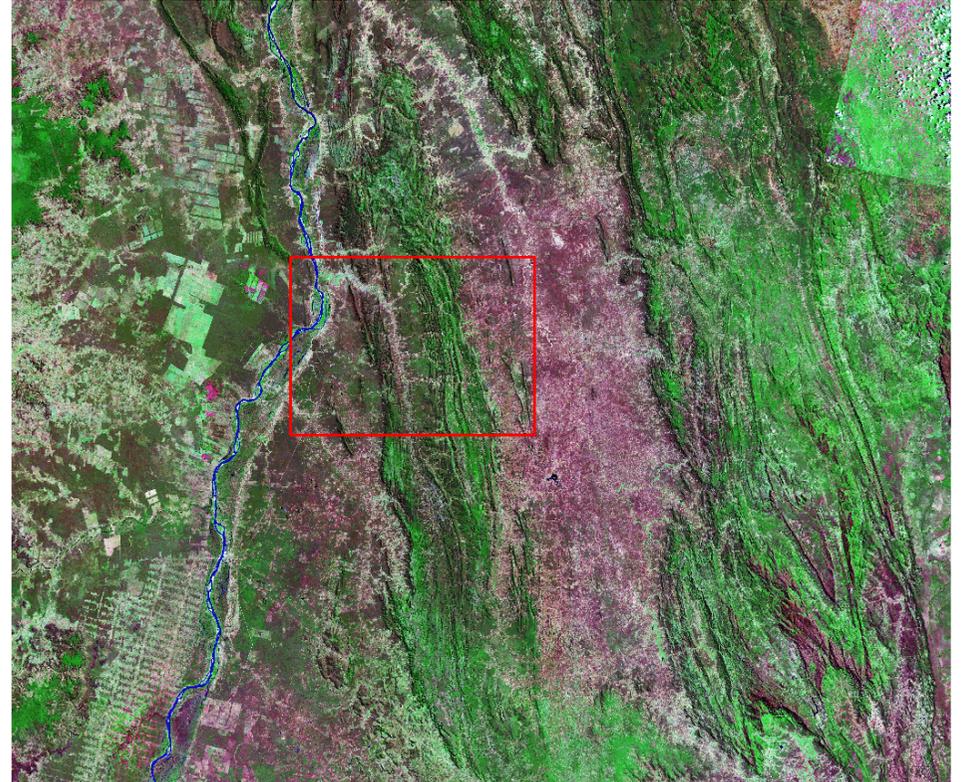
A resolução (em metros) da imagem de saída será a mesma da grade retangular que a gerou porque cada célula da grade corresponderá exatamente a um pixel na imagem de saída, onde os valores mínimos de cota serão representados por pixels escuros e os valores máximos por pixels claros.

A FIGURA 5 mostra a imagem em nível de cinza (a), gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, da região do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina e, para efeito de comparação e localização, a mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 (b) com resolução espacial de 28,5 metros.

A FIGURA 6 ilustra a ampliação das áreas demarcadas pelos retângulos vermelhos na FIGURA 5 mostrando a melhor definição dos elementos de textura de drenagem na imagem em nível de cinza (a) gerada a partir da nova grade retangular de MNT refinada com resolução de 10 metros, definindo uma rede de drenagem assimétrica em candelabro interna à estrutura, enquanto o mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 (b) mostra melhor a assimetria dos elementos de textura de relevo.



(a)



(b)

45 km

FIGURA 5: (a) Imagem em nível de cinza do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros; (b) mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.

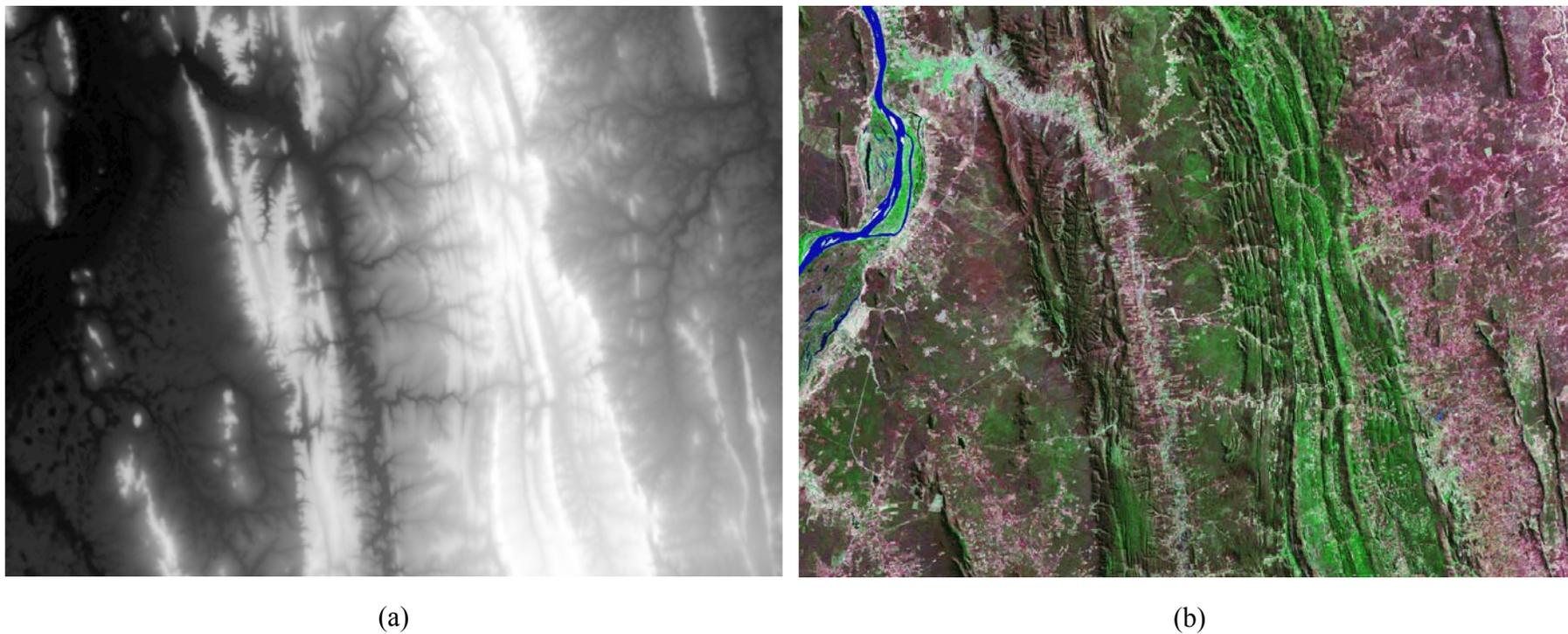


FIGURA 6 – Ampliação do detalhe marcado pelo retângulo preto na Figura 5: (a) Imagem em nível de cinza gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 10 metros, criada por refinamento da grade original com resolução de 90 metros; (b) mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.

## 4.2 - Imagem Sombreada

A imagem sombreada gerada a partir de um MNT no SPRING possibilita visualizar as diferenças de relevo em uma dada região. A imagem sombreada é gerada a partir de uma grade retangular sobre a qual é aplicado um modelo de iluminação. Este modelo de iluminação determina a intensidade de luz refletida em um ponto da superfície considerando uma determinada fonte de luz. O modelo depende da fonte de luz, que pode ser a luz ambiente ou outra fonte de luz, e da reflexão da superfície.

A luz ambiente proporciona uma intensidade de iluminação  $a$  da superfície e pode ser modelada por  $I = IaKa$ , onde  $Ia$  é a intensidade da luz ambiente e  $Ka$  é o coeficiente de reflexão do material. A reflexão depende do material da superfície ( $Kd$ ), da intensidade da fonte de luz ( $Ip$ ) e do ângulo entre a direção da fonte da luz e a normal à superfície ( $\cos q$ ), sendo dada pela equação  $IpKd\cos q$ . O modelo de iluminação composto pela reflexão da luz ambiente é dado pela Equação (4.1), onde  $Kd$  é considerada igual para qualquer superfície:

$$I = IaKa + IpKd\cos q \quad (4.1)$$

A direção da fonte da luz é definida a partir do azimute medido no sentido horário a partir do Norte (eixo  $y$ ), e do ângulo de elevação medido a partir do plano  $xy$ . No SPRING a intensidade mínima de iluminação da superfície é igual a  $IaKa$ , equivalente ao nível de cinza 30, ou seja, quando o ângulo entre a fonte de luz e a normal a superfície é  $90^\circ$ . A intensidade de luz máxima equivale ao nível de cinza 230 e ocorre quando  $IpKd\cos q$  corresponde ao nível de cinza 200, ou seja quando o ângulo entre a fonte de luz e a normal à superfície é  $0^\circ$ .

Para o cálculo do co-seno de  $q$ , ou seja, o ângulo entre a normal à superfície e a direção da fonte de luz, é elaborado o produto escalar  $\cos q = N \cdot L$ , onde o vetor  $N$  é calculado em função das derivadas parciais dos valores de  $x$ ,  $y$  e  $z$  da grade retangular, os quais são constantes para cada célula. E o vetor  $L$  definido a partir da direção do observador, ou seja, o azimute  $q$ , medido no sentido horário a partir de  $y$ , e do ângulo elevação a partir do plano  $xy$ .

O exagero de relevo é utilizado para aumentar a escala vertical em relação à escala horizontal da imagem sombreada, o que possibilita melhorar a visualização de formas e estruturas da superfície não realçadas na escala original. Este exagero provoca um acréscimo no valor angular da inclinação original da superfície e é calculado a partir do fator  $f$  obtido na Equação (4.2):

$$\tan \theta = \left( \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{2R} \right)^f \quad (4.2)$$

onde:

$\theta$  é o ângulo de inclinação da superfície.

$z_i$  é o valor de elevação do  $i$ -ésimo ponto da grade.

$f$  é o valor do fator de exagero.

$R$  é o valor do elemento de resolução da grade.

A escolha dos valores do ângulo azimutal e do ângulo de elevação da fonte luminosa, e do exagero de relevo, é feita pelo fotointérprete a partir da análise da qualidade para a fotointerpretação da imagem resultante da aplicação de cada conjunto de valores. Estes valores podem variar em função das características topográficas e da atitude das estruturas geológicas da área observada.

Após inúmeras análises chegou-se aos seguintes valores que geraram as melhores imagens para fotointerpretação na maioria das áreas observadas:

<p>Azimute = 135° e 225°  Elevação = 45°  Exagero de Relevo = 10</p>
--

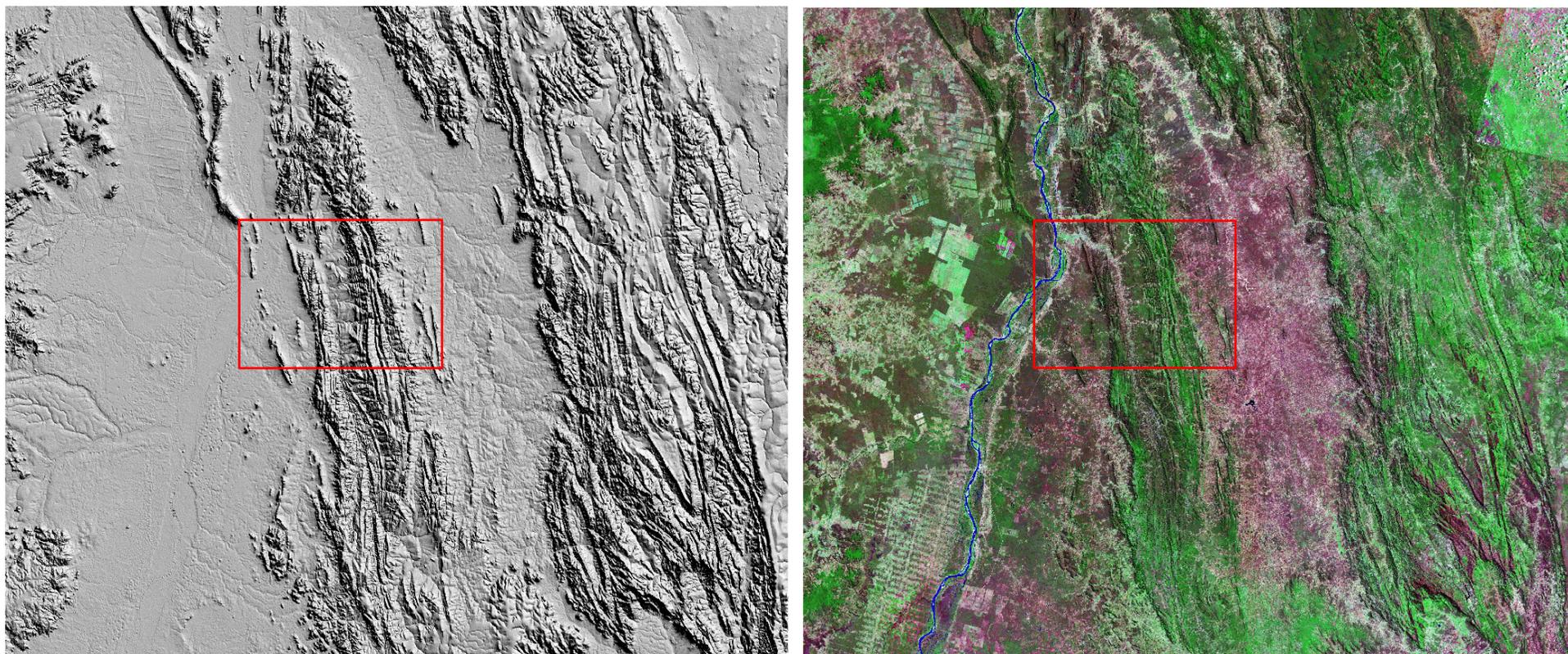
As imagens geradas a partir desses parâmetros se apresentam em tonalidades de cinza, onde as áreas iluminadas aparecem em tonalidades claras e as áreas sombreadas em tonalidades escuras, numa gradação entre o branco e o preto. As áreas planas apresentam-se em tonalidades intermediárias.

A FIGURA 7 mostra a imagem sombreada (a) do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada no SPRING a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, com azimute de 135°, elevação de 45° e exagero de relevo 10. Para efeito de comparação e localização, apresenta a mesma área observada no mosaico ortorretificado (b) de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.

Na FIGURA 8 é mostrada a mesma área em imagem sombreada (a), variando o azimute para 225° e mantendo a elevação de 45° e o exagero de relevo 10. No lado direito da figura a mesma área no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 (b).

O refinamento bicúbico foi usado para criar uma nova grade retangular de MNT com resolução espacial de 10 metros que, embora não altere a informação original da grade (resolução espacial de 90 metros e resolução altimétrica de 1 metro), permite gerar imagens com melhor qualidade para fotointerpretação em escalas maiores. As FIGURAS 9 e 10 mostram ampliações das áreas marcadas pelos retângulos vermelhos nas FIGURAS 7 e 8 em imagens sombreadas (a) geradas a partir de grade retangular de MNT com resolução de 10 metros, refinada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros original. No lado direito das figuras a mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (b) (resolução de 14,25 metros).

A FIGURA 11 mostra, para efeito de comparação entre as imagens de diferentes resoluções, uma ampliação das áreas demarcadas pelo retângulo vermelho na imagem sombreada (a) da FIGURA 9 (resolução de 10 metros), na imagem sombreada (b) da FIGURA 7 (resolução de 90 metros) e no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros) (c).

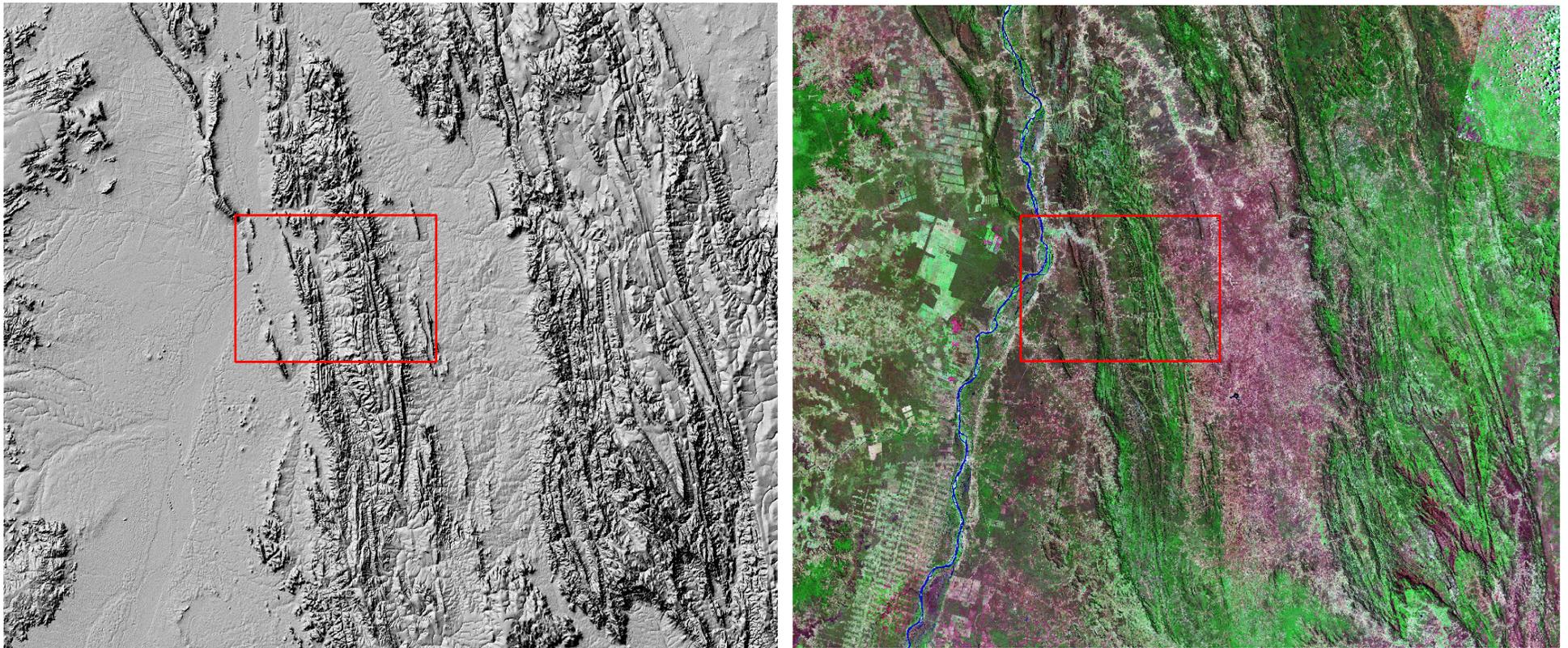


(a)

(b)

45 km

FIGURA 7 - (a) Imagem sombreada do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, com azimute de  $135^{\circ}$ , elevação de  $45^{\circ}$  e exagero de relevo 10; (b) para efeito de comparação e localização, mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.

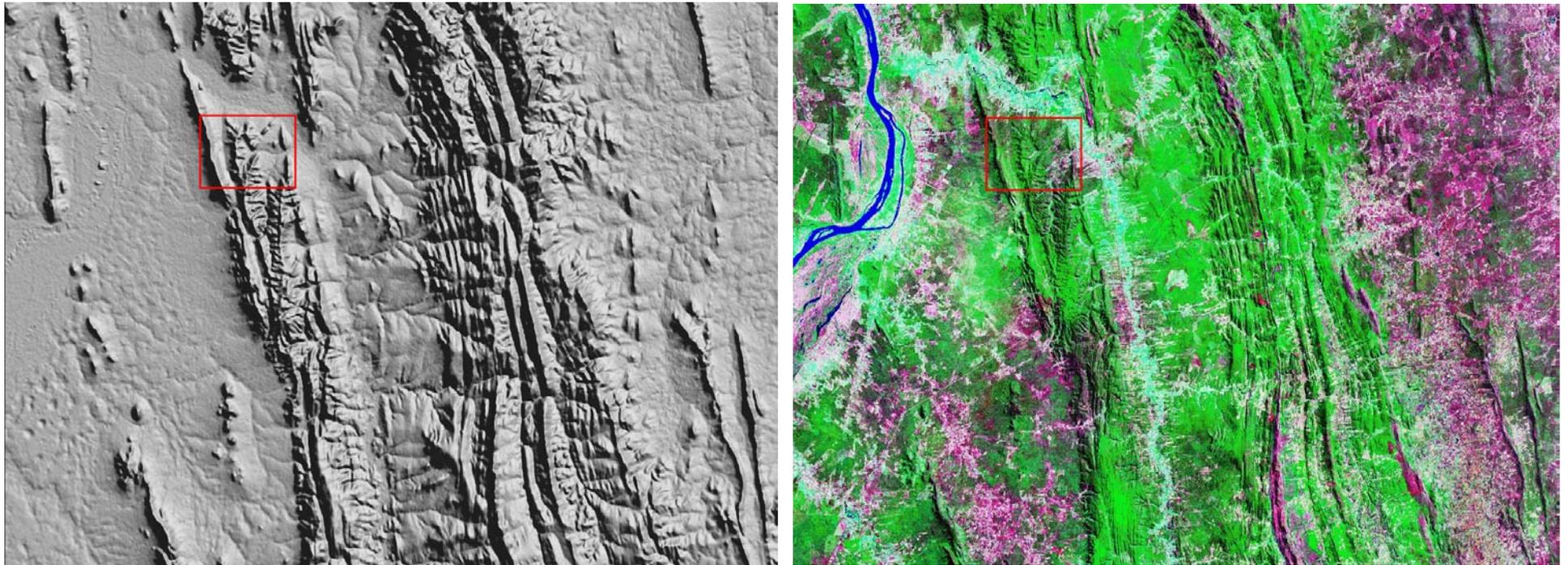


(a)

(b)

45 km

FIGURA 8 - (a) Imagem sombreada do Vale do Rio São Francisco na região da Chapada Diamantina gerada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros, com azimute de 225°, elevação de 45° e exagero de relevo 10; (b) para efeito de comparação e localização, mesma área observada no mosaico ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 com resolução espacial de 28,5 metros.

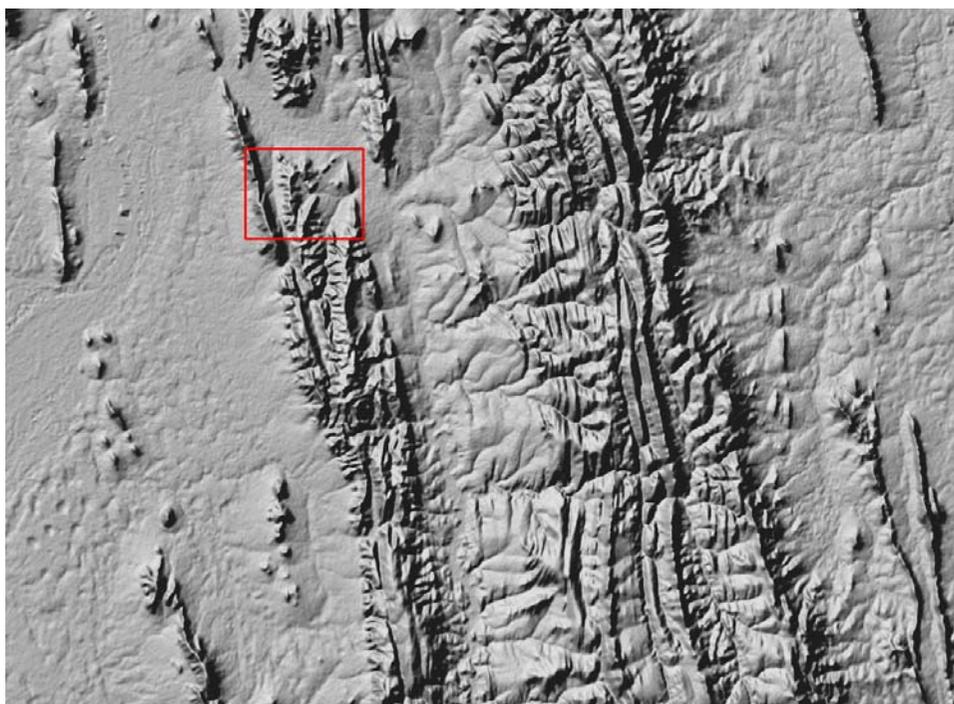


(a)

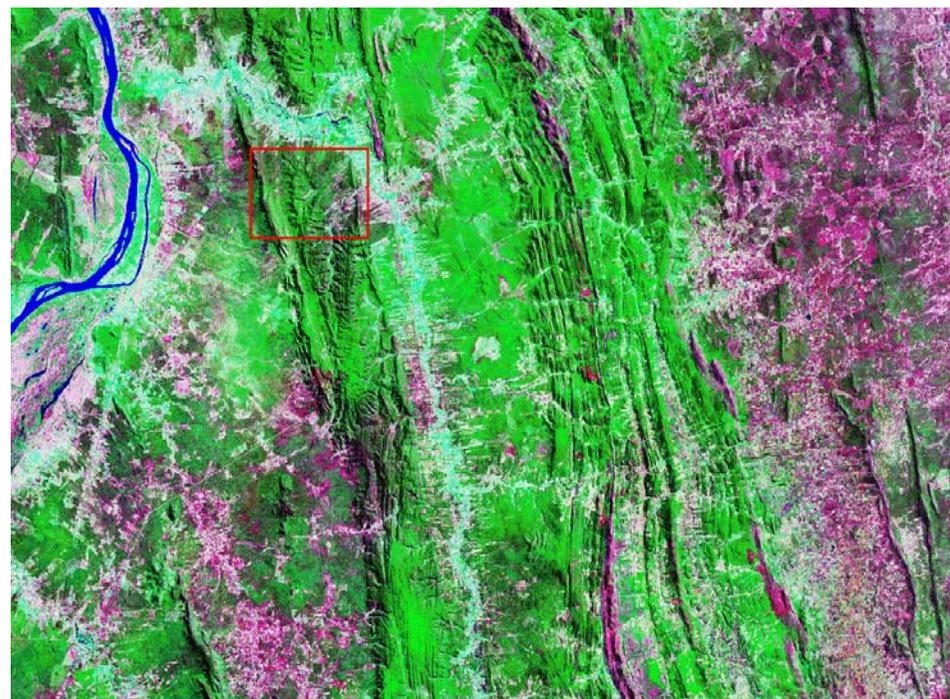
(b)

12 km

FIGURA 9 – (a) Imagem sombreada da área marcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da FIGURA 7 (azimute =  $135^\circ$ , elevação =  $45^\circ$ , exagero de relevo = 10) criada a partir da grade retangular com resolução de 10m refinada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros original; (b) mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).



(a)



(b)

12 km

FIGURA 10 – (a): Imagem sombreada da área marcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da FIGURA 8 (azimute =  $225^\circ$ , elevação =  $45^\circ$ , exagero de relevo = 10) criada a partir da grade retangular com resolução de 10m refinada a partir da grade retangular de MNT com resolução de 90 metros original; (b) mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

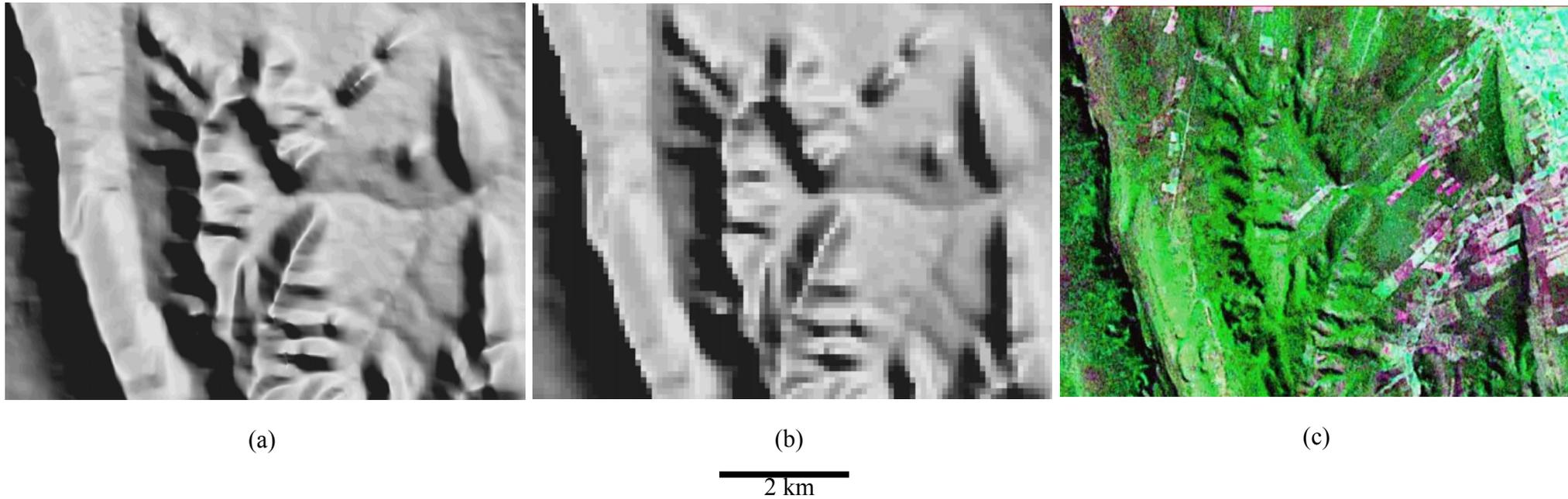


FIGURA 11 - Ampliação da área demarcada pelo retângulo vermelho na imagem sombreada da FIGURA 10:

- (a): Imagem sombreada (azimute =  $135^{\circ}$ , elevação =  $45^{\circ}$ , exagero de relevo = 10) obtida a partir da grade retangular de MNT original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros;
- (b): Imagem sombreada (azimute =  $135^{\circ}$ , elevação =  $45^{\circ}$ , exagero de relevo = 10) obtida a partir da grade retangular de MNT original com resolução de 90 metros,
- (c): Mesma área vista no mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

## 5. COMPOSIÇÕES COLORIDAS DE IMAGENS SRTM SOMBREADAS

Com a finalidade de aumentar a capacidade do fotointérprete em discriminar variações topográficas buscou-se uma maneira de associar estas variações aos diferentes matizes de cores, uma vez que o olho humano consegue discriminar muito mais matizes de cores do que tonalidades de cinza.

Para se criar composições coloridas, a partir das imagens sombreadas que se apresentam em tonalidades de cinza, atribuiu-se a cada imagem gerada com diferentes valores de ângulo azimutal, de ângulo de elevação da fonte luminosa e do exagero de relevo, cores aditivas primárias (RGB) de modo a associar às áreas sombreadas de cada imagem uma das cores primárias e às áreas planas uma cor complementar resultante da mistura das cores primárias.

Os melhores resultados de composições coloridas são obtidos quando se associa a cor verde (G) à imagem sombreada com azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$  e exagero de relevo igual a 10 e a cor vermelha (R) à imagem sombreada com azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$  e exagero de relevo igual a 10. Nessa combinação as encostas voltadas para leste apresentam-se coloridas em matizes do verde e as encostas voltadas para oeste coloridas em matizes do vermelho enquanto as áreas planas apresentam-se coloridas em matizes do amarelo.

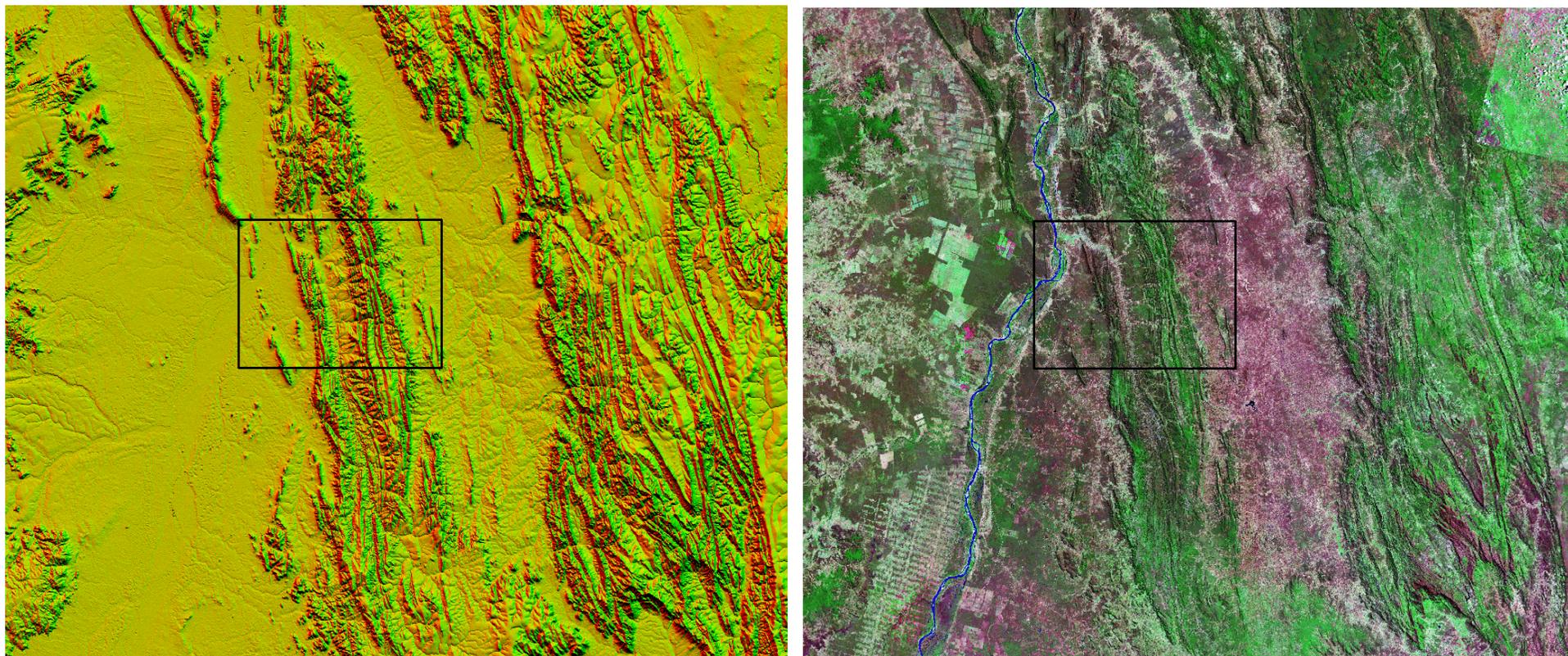
A FIGURA 12 mostra uma composição colorida das imagens sombreadas, geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros, obtida pela combinação que mostra os melhores resultados: Verde = azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10. Nesta figura, à direita, aparece, para efeito de comparação e localização, a mesma área coberta pelo mosaico ortorretificado de imagens TM (D) GeoCover Landsat 5 com resolução de 28,5 metros.

A FIGURA 13 mostra a mesma combinação para imagens sombreadas geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros, e a direita aparece a mesma área coberta pelo mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

A FIGURA 14 mostra uma ampliação dos detalhes marcados pelos retângulos pretos na Figura 13 com a finalidade de comparar o efeito do refinamento da grade original de 90 metros para 10 metros no aspecto final da imagem fotográfica. Apesar de não alterar a

resolução original, já que os dados disponíveis foram coletados com resolução de 90 metros, pode-se observar sensível melhora na qualidade da imagem para fotointerpretação.

Nesta figura observa-se, à esquerda, a composição colorida das imagens sombreadas (Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10) geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros; na parte central está a mesma composição colorida obtida das imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros e à direita, para comparação, a mesma área coberta pelo mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

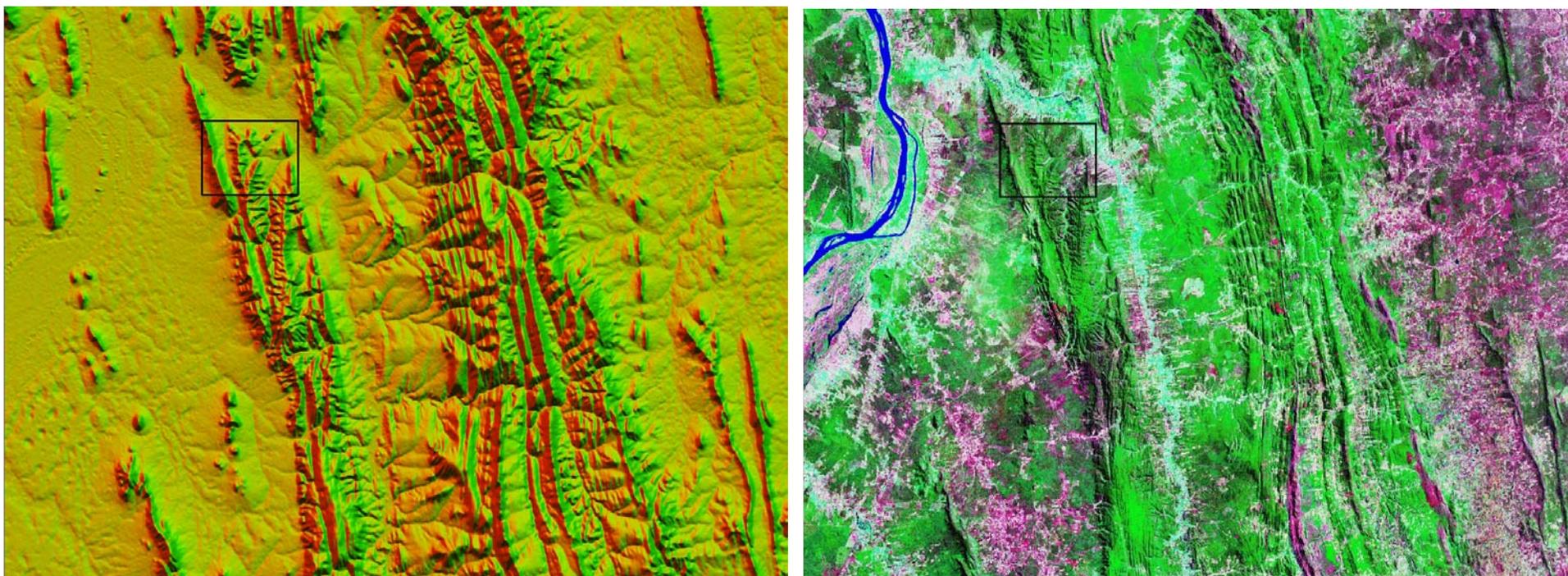


(a)

(b)

45 km

FIGURA 12 – (a) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros); (b) mosaico ortorretificado de imagens TM (D) GeoCover Landsat 5 (resolução de 28,5 m).



(a)

(b)

12 km

FIGURA 13 – Ampliação dos detalhes marcados pelos retângulos pretos na Figura 12: (a): Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de 135°, elevação de 45°, exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de 225°, elevação de 45°, exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros); (b) Mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

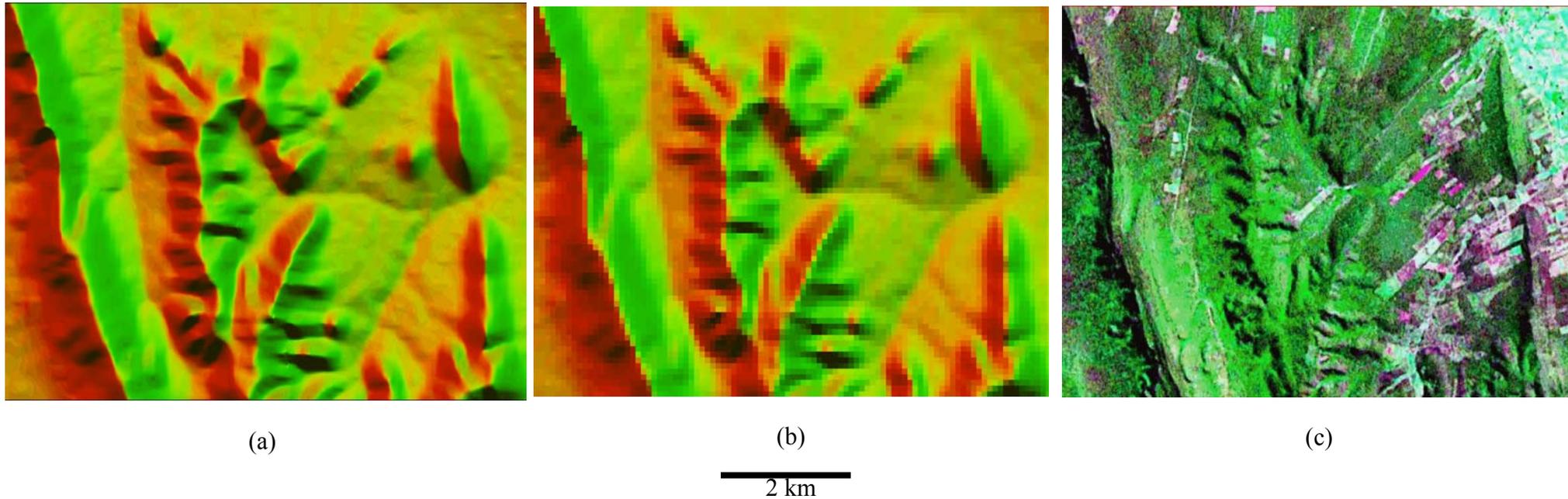


FIGURA 14 - Ampliação dos detalhes marcados pelos retângulos pretos na Figura 13:

(a) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros);

(b) Composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros);

(c) Mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).

## 6. GERAÇÃO DE ISOLINHAS A PARTIR DAS GRADES RETANGULARES DO SRTM NO SPRING.

As Isolinhas são curvas que unem entre si pontos da superfície que tenham o mesmo valor de cota. O significado do valor da cota depende da magnitude física da superfície que se pretende modelar. Para uma superfície que represente a altimetria do terreno se obtém curvas de nível.

As isolinhas podem ser visualizadas como sendo a projeção no plano  $(x, y)$  das interseções entre a superfície e uma família de planos horizontais equidistantes (FIGURA 15).

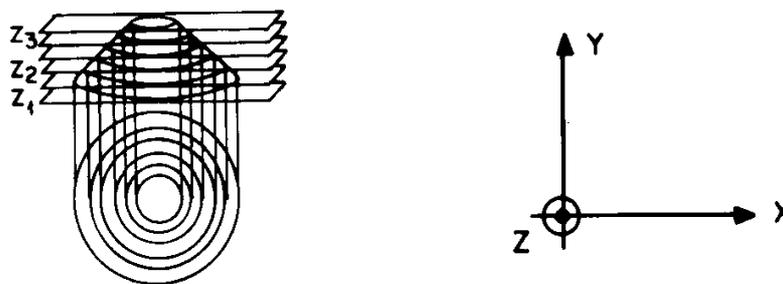


FIGURA 15 - Isolinhas de cota  $z$  obtidas pela projeção do plano  $xy$ . FONTE: Ajuda SPRING.

O SPRING gera isolinhas, ou curvas de isovalores, a partir de um modelo numérico de terreno (MNT) na forma de grade retangular, ou triangular, utilizando o método das células. Neste método para cada célula são geradas todas as curvas de isovalor que a interceptam. Os segmentos de reta são armazenados para, em uma fase final, serem ligados formando uma curva fechada de isovalor (FIGURA 16).

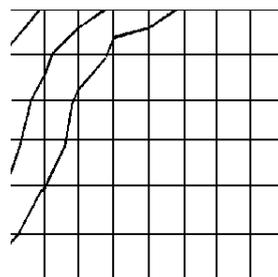


FIGURA 16 - Isolinha gerada a partir de uma grade retangular. FONTE: Ajuda SPRING.

As isolinhas assim geradas apresentam valores de cota que podem ser verificados na Edição Vetorial de linhas do SPRING e são muito úteis na fotointerpretação quando usadas conjuntamente com as imagens.

A FIGURA 17 mostra as isolinhas sobre as imagens.

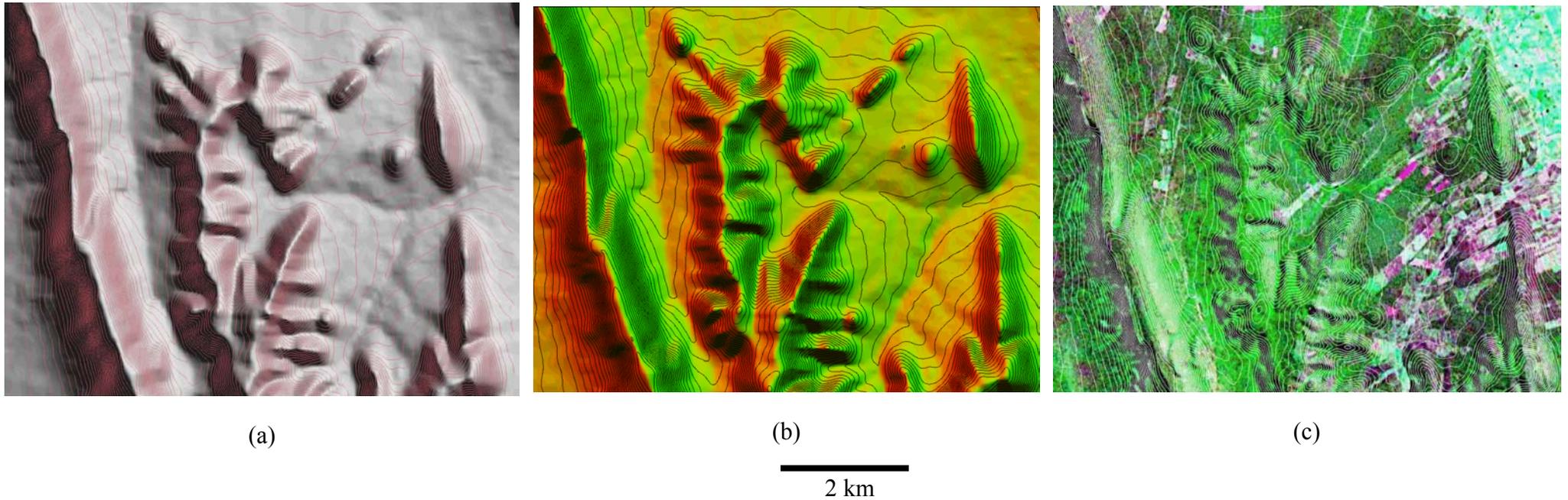


Figura 17 – Isolinhas, com equidistância de 10 metros, geradas a partir de grades retangulares de MNT do SRTM refinadas para 10 metros:

(a) Isolinhas observadas sobre imagem sombreada com azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$  e exagero de relevo 10 (imagem gerada a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros);

(b) Isolinhas observadas sobre composição colorida das imagens sombreadas: Verde = azimute de  $135^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10; Vermelho = azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$ , exagero de relevo 10 (imagens geradas a partir da grade retangular original com resolução de 90 metros refinada para 10 metros);

(c) Isolinhas observadas sobre mosaico ortorretificado de imagens ETM+ GeoCover Landsat 7 (resolução de 14,25 metros).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.dpi.inpe.br/spring/>

<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10>

<http://seamless.usgs.gov>

<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

Koch, A; Heipke, C.; Lohmann, P. – **Analysis of SRTM DTM methodology and practical results**. ISPRS, Commission IV, WG IV/6. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications. Ottawa, 2002.6p.