

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA PLANIMETRIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO UTILIZADO EM UM PROCESSO DE ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS

Marconi Martins Cunha<sup>1</sup>

Guilherme Zavatti Ceccato<sup>1</sup>

Nilcilene das Graças Medeiros<sup>1</sup>

1. Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Civil - Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-000 ([marconi.cunha@ufv.br](mailto:marconi.cunha@ufv.br); [gzceccato@gmail.com](mailto:gzceccato@gmail.com); [nilcilene.medeiros@ufv.br](mailto:nilcilene.medeiros@ufv.br))

## RESUMO

O processo de aquisição das imagens orbitais utilizadas no Sensoriamento Remoto não é perfeito, ocorrendo distorções geométricas oriundas de várias fontes. Um dos métodos existentes para se realizar as correções geométricas é denominado ortorretificação e utiliza Modelos Digitais de Elevação (MDE). Diante da importância da ortorretificação de imagens, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto que a resolução espacial do MDE utilizado na ortorretificação possui na planimetria. Para isso, foi ortorretificada uma imagem Ikonos usando 4 MDEs com diferentes resoluções espaciais: SRTM (90 m), SRTM (30 m), TOPODATA (30 m) e ALOS PALSAR (12,5 m). A partir das imagens ortorretificadas foram calculadas as discrepâncias posicionais, tendo como referência 36 pontos levantados em campo com GNSS. As discrepâncias médias foram de 25,688 m (imagem sem correção), 5,712 m (SRTM 90 m), 4,651 m (SRTM 30 m), 5,111 m (TOPODATA) e 2,135 m (ALOS). Além destes, outros resultados indicaram que há indícios de que quanto melhor a resolução espacial, melhor a correção das distorções geométricas da imagem. Para os MDEs de mesma resolução, o SRTM apresentou melhor desempenho. Outra análise realizada foi a relação entre as discrepâncias posicionais e altitude. O coeficiente de determinação para a imagem sem correção foi de  $R^2 = 0,8353$ , o que indica uma grande correlação entre estas grandezas e que o procedimento de ortorretificação é indispensável, principalmente em regiões de elevadas altitudes.

**Palavras-chave:** Modelo Digital de Elevação. Resolução Espacial. Ortorretificação. Correção Geométrica.

## ABSTRACT

The process of acquiring orbital images used in Remote Sensing is not perfect, with geometric distortions arising from various sources. One of the existing methods to perform the geometric corrections is called orthorectification and uses Digital Elevation Models (DEM). Given the importance of image orthorectification, the objective of this study was to evaluate the impact that the spatial resolution of the DEM used in orthorectification has on planimetry. For this, an Ikonos image was orthorectified using 4 DEMs with different spatial resolutions: SRTM (90 m), SRTM (30 m), TOPODATA (30 m) and ALOS PALSAR (12.5 m). From the orthorectified images, positional discrepancies were calculated, having as reference 36 points surveyed in the field with GNSS. The mean discrepancies were 25,688 m (uncorrected image), 5,712 m (90 m SRTM), 4,651 m (30 m SRTM), 5,111 m (TOPODATA) and 2,135 m (ALOS). In addition to these, other results indicated that there are indications that the better the spatial resolution, better the correction of geometric distortions in the image. For MDEs of the same resolution, the SRTM presented better performance. Another analysis performed was the relationship between positional discrepancies and altitude. The coefficient of determination for the uncorrected image was  $R^2 = 0.8353$ , which indicates a strong correlation between these quantities and that the orthorectification procedure is essential, especially in high altitude regions.

**Keywords:** Digital Elevation Model. Spatial Resolution. Orthorectification. Geometric Correction.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, os satélites artificiais são desenvolvidos para diferentes finalidades, em diferentes áreas do conhecimento. Dentre as mais comuns, pode-se citar: posicionamento, como no caso dos satélites GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e receptores para navegação, telecomunicações (televisão, telefonia e *internet*, por exemplo), aplicações em astronomia e astrofísica, geofísica, atmosfera e clima, meteorologia e Sensoriamento Remoto (FLORENZANO, 2008). Além destas, pode-se ainda pensar nas áreas correlatas que se beneficiam destes dados.

Nas aplicações voltadas para o Sensoriamento Remoto, as imagens provenientes dos sensores dos satélites têm aplicações nas áreas de cartografia, monitoramento ambiental, levantamentos de recursos naturais e mapeamentos temáticos, detecção de desastres naturais, desmatamentos florestais, defesa, entre outras (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Entretanto, apesar do grande número de aplicações e do desenvolvimento tecnológico, tem-se que se destacar que o processo de aquisição dessas imagens não é perfeito. Sendo assim, as imagens de Sensoriamento Remoto possuem distorções geométricas oriundas de várias fontes, sendo as principais: a rotação da Terra (*skew*), as distorções panorâmicas, a curvatura da Terra, o arrastamento da imagem durante uma varredura (*Scan Time Skew*), e as variações de posição e velocidade do satélite e a de atitude da plataforma (D'ALGE, 2001; RICHARDS e JIA, 2006).

Segundo D'Alge (2001), além do objetivo principal de minimizar as distorções sistemáticas introduzidas durante a aquisição das imagens, a correção geométrica de imagens tem importante papel em estudos multi-temporais, comuns à área do Sensoriamento Remoto. Isso porque tais estudos requerem que uma imagem/dado seja registrada a outra imagem/dado para que se possa analisar o comportamento de ambas no espaço e no tempo. Este autor indica ainda que a motivação principal atualmente para a correção geométrica de imagens é a integração entre dados, com mapas e outros tipos de informações espaciais.

Existem diferentes métodos para se realizar as correções geométricas. Se o método utilizado corrige a influência do relevo, ele é denominado ortorretificação, e as imagens ortorretificadas podem ser utilizadas como carta ou mapa (GRIPP JR., 2009). Segundo Zhang (1999), esta imagem, agora denominada de ortoimagem, consiste em uma imagem corrigida de suas diversas distorções, especialmente as causadas pela posição do satélite, pela superfície física da Terra (relevo e curvatura) e pela projeção cartográfica.

É evidente que tais correções melhoram posicionalmente a imagem. A melhoria na precisão planimétrica provocada pela ortorretificação permite que as ortoimagens sejam

utilizadas para a realização de medidas de localização, distâncias, ângulos e áreas; o que nas imagens sem estas correções só pode ser feito de forma aproximada (JENSEN, 2009).

Diante do exposto, fica evidente a importância da correção geométrica para imagens orbitais. Os produtores de informações espaciais, que utilizam tais imagens como insumo para a confecção de produtos (cartas e mapas) que serão utilizados como base para uma tomada de decisão, devem pesquisar e conhecer sobre os impactos que os erros inerentes no processo de aquisição acarretam nas imagens. Isso porque, quando não se conhece os erros que podem estar presentes no insumo, também não se tem conhecimento dos possíveis erros no produto final e, assim, todas as tomadas de decisão realizadas a partir de tais produtos podem estar equivocadas e/ou gerar resultados não esperados.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo investigar o impacto que diferentes resoluções espaciais dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizados num processo de ortorretificação, têm na planimetria.

## **MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO**

Os modelos digitais de elevação são definidos como arquivos matriciais que possuem registros de altimetria organizados em linhas e colunas georreferenciadas e que representam o relevo da superfície terrestre (VALERIANO, 2008; LANDAU e GUIMARÃES, 2011). Existem diversos tipos de MDE disponíveis para *download* em portais na *internet*, sendo muitos gratuitos.

Um dos principais são as imagens *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) que desde seu lançamento, em 2000, gerou uma grande quantidade de dados topográficos. Os dados SRTM foram disponibilizados, inicialmente, para o Brasil em uma resolução espacial de 3 arcos de segundo (~90 m) e resolução vertical de 1 m (MARQUES et al., 2011; EMBRAPA, 2022). Em 2013, a NASA disponibilizou as imagens SRTM com 30 m de resolução espacial para as regiões que compreendessem as latitudes 60° N até 56° S, o que inclui o Brasil (ORLANDO e BIAS, 2020).

Outro MDE é o do projeto TOPODATA, lançado em 2008, e que de acordo com o Valeriano e Rossetti (2009), constitui-se de imagens SRTM que passaram por um processo de refinamento no tamanho do pixel de 90 m para 30 m por meio de interpolações pelo método da krigagem.

Por fim, de acordo com a Alaska Satellite Facility (2022), o projeto japonês da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), o sensor PALSAR, do satélite ALOS, fornece um MDE com função de mapeamento de 30 m, com amostragem aumentada para 12,5 m de resolução.

## ORTORRETIFICAÇÃO

Existem vários métodos para realizar a correção das distorções geométricas em imagens de Sensoriamento Remoto, um deles é a ortorretificação, que foi objeto deste trabalho.

O processo de ortorretificação consiste na correção da imagem devido às diversas distorções, especialmente as causadas pela posição do satélite, pela superfície física da Terra (relevo e curvatura) e pela projeção cartográfica. Para a realização da ortorretificação das imagens, deve haver necessariamente um MDE, sem o qual não seria possível a correção devido ao relevo (VOLOTÃO, 2001). Este processo faz com que cada pixel seja inserido na posição geométrica que estariam se fossem imageados na vertical ou muito próximo da vertical.

A ortorretificação compreende um processo de alteração da perspectiva central da imagem, comum nas imagens utilizadas no Sensoriamento Remoto, para uma perspectiva ortogonal. Sua aplicação é necessária para que as imagens possam ser utilizadas diretamente como fonte de informações métricas confiáveis (JENSEN, 2009). Com estas características, pode-se dizer que a ortorretificação compreende as duas etapas necessárias para a correção das distorções geométricas mencionadas por Meneses e Almeida (2012) (correção geométrica e mudança da perspectiva central). Chmiel et al. (2004) afirmam que nos últimos anos vários métodos foram desenvolvidos para se obter ortoimagens; sendo que estes métodos podem ser divididos em duas classes:

- a) paramétricos: modelos rigorosos, que corrigem todas as distorções relacionadas ao movimento da plataforma, do sensor, da forma e da representação da superfície da Terra e da projeção cartográfica; e
- b) não-paramétricos: modelos baseados em polinômios racionais 3D, o modelo de função racional (*Rational Function Model* - RFM), que é uma alternativa para quando não se dispõe das informações necessárias nos métodos paramétricos.

O conhecimento dos dados necessários para a aplicação dos modelos paramétricos não é trivial, e estes parâmetros não são fornecidos aos usuários. Entretanto, em 2001 a *Space Imaging*, antiga empresa responsável pelo satélite Ikonos II, passou a fornecer junto com as suas imagens um arquivo com os coeficientes de uma transformação polinomial racional (*Rational Polynomial Coefficient* - RPC), um caso particular de RFM; prática que se tornou comum entre as empresas do ramo (PISANI et al., 2015).

## METODOLOGIA

A área de estudo deste trabalho, representada na Figura 1, compreende parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Paula Cândido e Coimbra, no estado de Minas Gerais.

Esta área possui uma extensão aproximada de 11500 ha, sendo delimitada pelas latitudes  $20^{\circ} 43' 30''$  S e  $20^{\circ} 50' 52''$  S, e longitudes  $42^{\circ} 49' 14''$  W a  $42^{\circ} 55' 12''$  W.

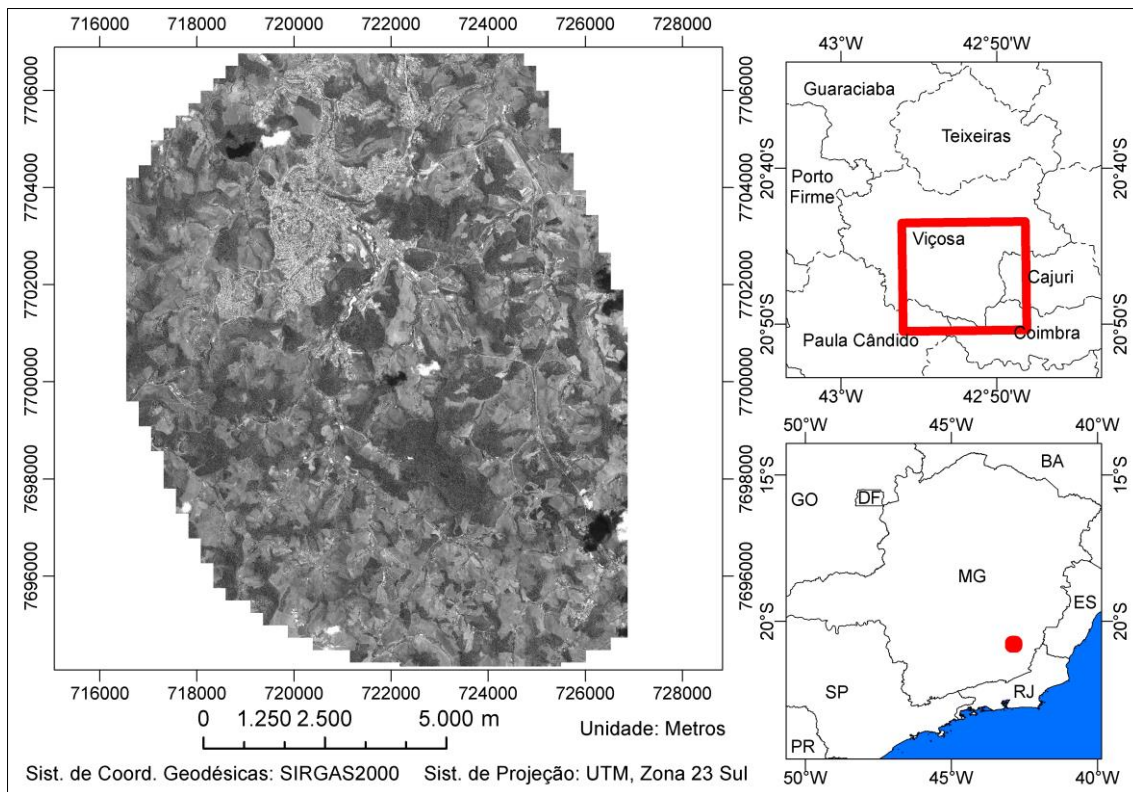


Figura 1. Área de Estudo.

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem orbital Ikonos, com resolução espacial nominal de um metro, com os RPCs correspondentes;
- Modelo Digital de Elevação SRTM, com resolução espacial nominal de 90 metros;
- Modelo Digital de Elevação SRTM, com resolução espacial nominal de 30 metros;
- Modelo Digital de Elevação TOPODATA, com resolução espacial nominal de 30 metros;
- Modelo Digital de Elevação ALOS/PALSAR, com resolução espacial nominal de 12,5 metros;
- Pontos rastreados com GNSS na região do *campus* Viçosa da Universidade Federal de Viçosa; e
- *Software* ArcMap v10.8.

Já a metodologia utilizada neste trabalho, seguiu o fluxograma apresentado na Figura 2, e pode ser dividida em duas etapas principais: processo de ortorretificação e cálculo das discrepâncias posicionais planimétricas.

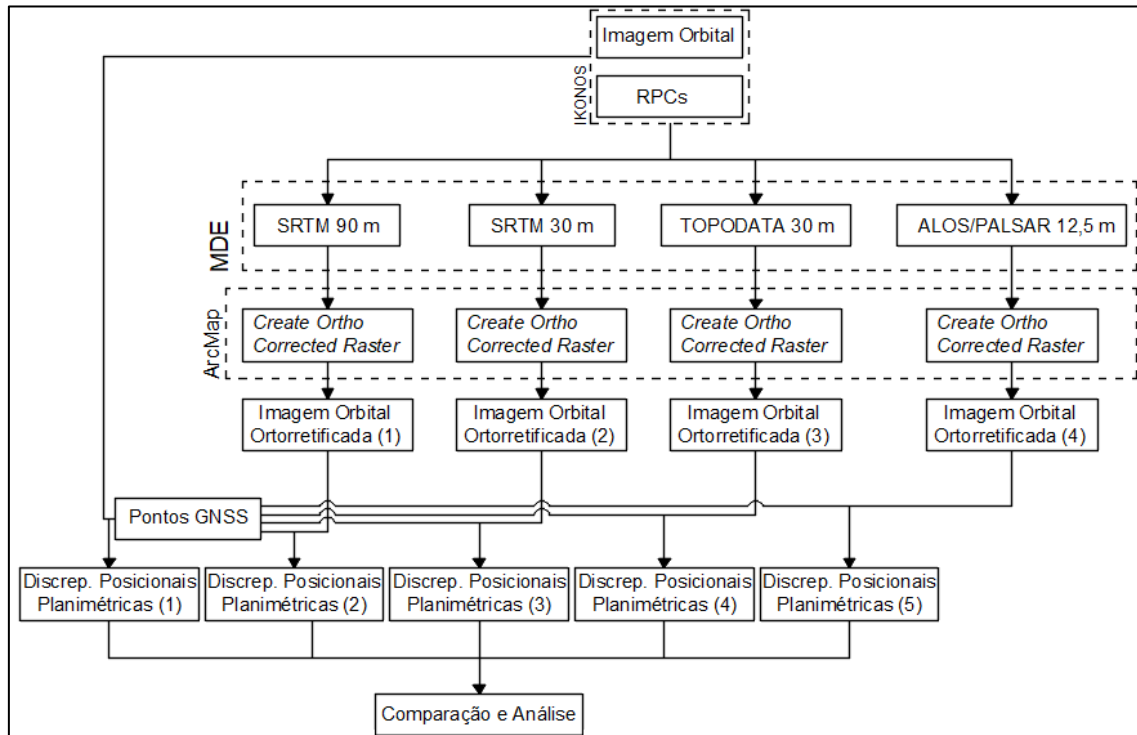


Figura 2. Metodologia.

A primeira tarefa realizada neste estudo foi a ortorretificação da imagem Ikonos, com o auxílio dos quatro MDEs selecionados e os RPCs correspondentes da imagem.

A ortorretificação da imagem orbital foi realizada com o auxílio da ferramenta *Create Ortho Corrected Raster Dataset*, do ArcMap. Esta ferramenta incorpora dados de elevação (modelo digital de elevação) e metadados de imagem (RPCs) para realizar a ortorretificação da imagem. Nela, o parâmetro de entrada “*Input Raster*” se refere a imagem a ser ortorretificada. No caso deste estudo, é a imagem Ikonos. Já em “*Output Raster Dataset*”, o usuário deve indicar o nome o diretório onde a imagem ortorretificada deverá ser salva. Quanto ao tipo de ortorretificação (“*Orthorectification Type*”), este *software* oferece duas opções: utilizar um valor de elevação constante ou entrar com um MDE. Segundo ESRI (2022), o uso de um valor de elevação constante não produz resultados precisos e deve ser usado apenas quando nenhum modelo digital de elevação estiver disponível e o trabalho a ser realizado aceite uma precisão posicional aproximada. Por outro lado, quando se deseja obter um resultado mais preciso, a opção de modelo digital de elevação no tipo de ortorretificação deve ser utilizada. Este MDE é



usado no processo de ortorretificação para corrigir erros geométricos causados pelo deslocamento do relevo.

Além destes parâmetros, há outros três opcionais. O primeiro é o “*Z Factor*”, que apresenta o valor 1 como padrão. A alteração deste valor é útil quando se trabalha com diferentes unidades. O valor 1 corresponde às unidades em metros. Se o usuário, por exemplo, possuir um MDE em pés (*feet*), deve alterar o “*Z Factor*” para 0,3048. Já o “*Z Offset*”, que vem por padrão com o valor 0, aplica-se uma translação na vertical no MDE. Esta opção é útil quando se trabalha com modelos digitais de elevação que não estão referenciados ao nível do mar. O último parâmetro opcional desta ferramenta, “*Geoid*”, que vem desmarcado. Esta opção deve ser marcada quando os RPCs forem referenciados a altitudes geométricas.

Todos estes parâmetros não foram alterados neste estudo, pois, os MDEs possuíam suas unidades em metros; estavam referenciados ao nível do mar, fornecendo altitudes ortométricas; e RPCs utilizados não são referenciados a altitudes geométricas.

É importante ressaltar que o usuário deve se atentar à localização dos RPCs. Este arquivo deve estar na mesma pasta que a imagem a ser ortorretificada, e será “chamado” pela ferramenta.

Este processo foi realizado quatro vezes, uma com cada um dos MDEs, gerando quatro imagens Ikonos ortorretificadas.

Após a obtenção da ortoimagem, foram calculadas as discrepâncias posicionais para mensurar a influência desta correção nas posições planimétricas da imagem. Para o cálculo das discrepâncias posicionais planimétricas ( $d_{2D}$ ) é necessário obter as coordenadas de referência (R) e as coordenadas de teste (T). As discrepâncias são obtidas conforme a Equação 1.

$$d_{2D} = \sqrt{(X_T - X_R)^2 + (Y_T - Y_R)^2} \quad (1)$$

Para este trabalho, as coordenadas de referência utilizadas provêm de 36 pontos levantados com GNSS, espalhados pela área de estudo. Estes pontos cobrem a área do *campus* Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e estão representados na Figura 3.

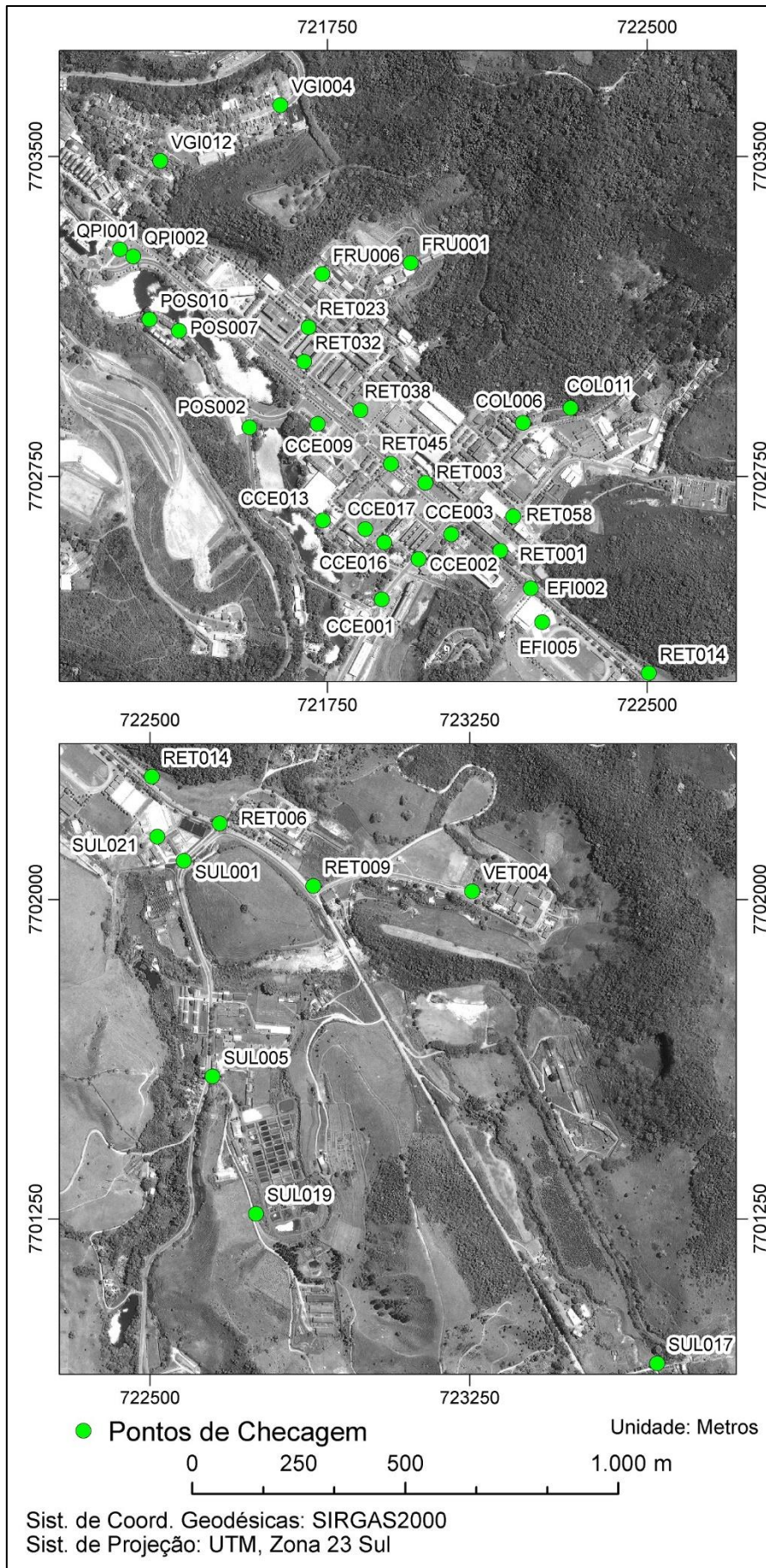


Figura 3. Pontos de Referência.



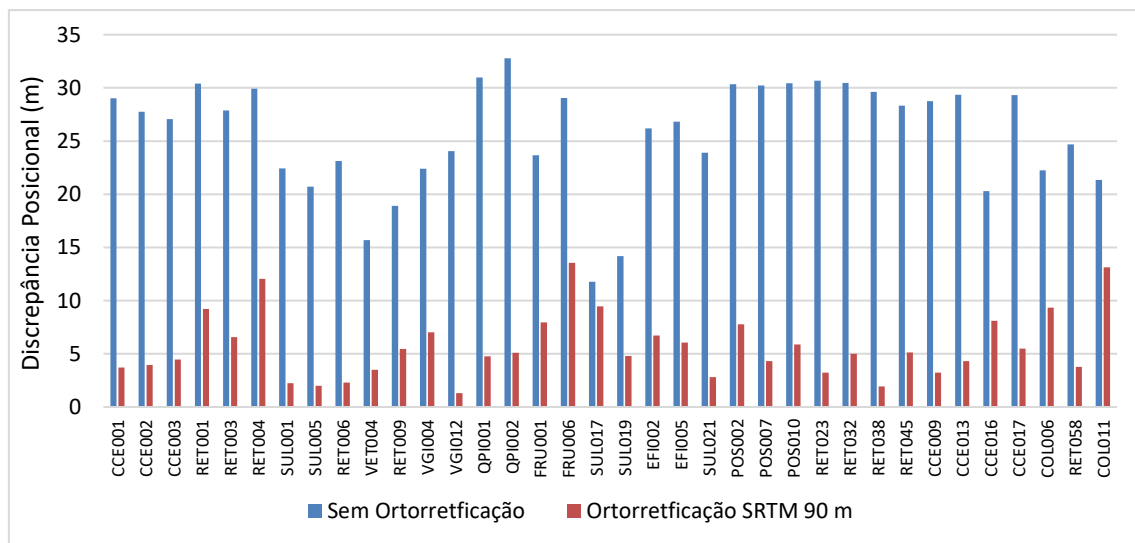
Já as coordenadas de teste, mencionadas na Equação 1, se referem aos pontos homólogos obtidos sobre a imagem sem correção e os pontos homólogos obtidos sobre as ortoimagens. Vale ressaltar que nesta etapa devem ser escolhidos pontos bem identificáveis no produto avaliado.

Portanto, foram obtidos cinco conjuntos de discrepâncias posicionais: um da imagem sem correção e os outros quatro referentes às ortoimagens, cada uma obtida se utilizando um MDE. Após obtidos tais conjuntos, foi realizada a comparação e a análise dos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros produtos obtidos neste trabalho foram as imagens ortorretificadas. Além do caráter posicional, não há nenhuma outra diferença entre as imagens ortorretificadas e a imagem original sem esta correção, apresentada na Figura 1.

Após a obtenção destas imagens corrigidas foi possível, com o auxílio dos pontos de referência rastreados com GNSS (Figura 3), obter as discrepâncias posicionais planimétricas, segundo a Equação 1. Os seus respectivos valores estão apresentados nos gráficos da Figura 4.



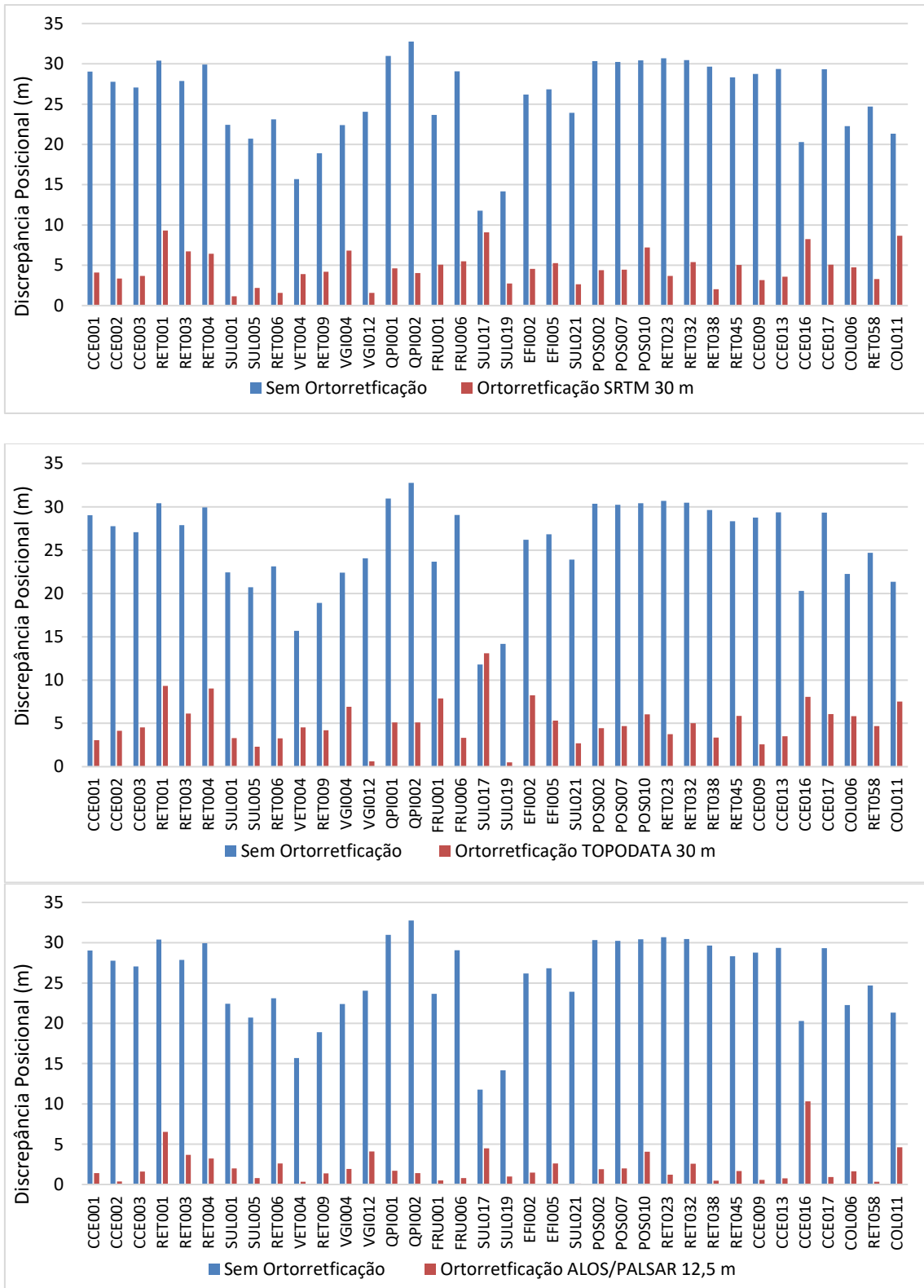


Figura 4. Discrepâncias posicionais planimétricas dos pontos de referência.

Para auxiliar na avaliação quantitativa destes resultados, foram calculadas algumas estatísticas básicas, presentes na Tabela 1.

**TABELA 1: ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS DISCREPÂNCIAS POSICIONAIS.**

Estatística	Sem Ortorretificação	Com Ortorretificação			
		SRTM 90 m	SRTM 30 m	TOPODATA 30 m	ALOS/PALSAR 12,5 m
Mínimo (m)	11,785	1,298	1,152	0,494	0,107
Máximo (m)	32,770	13,563	9,312	13,084	10,323
Média (m)	25,688	5,712	4,651	5,111	2,135
Desvio-Padrão (m)	5,126	3,077	2,095	2,517	2,026

Pela Figura 4 e pela Tabela 1 foi possível notar a influência que a ortorretificação tem sobre as coordenadas. Comparando com qualquer uma das imagens ortorretificadas, a diminuição das discrepâncias posicionais planimétricas foi considerável. Sendo assim, a primeira constatação foi que, independentemente da resolução espacial do modelo digital de elevação disponível, para os valores testados, o processo ortorretificação melhora consideravelmente a qualidade posicional da imagem. A diminuição média das discrepâncias posicionais (diferença entre as barras azuis e vermelhas da Figura 4) ao se realizar a ortorretificação foi de 19,976 m para o SRTM de 90 m, 21,038 m para o SRTM de 30 m, 20,578 m para o TOPODATA, e de 23,553 m para o ALOS/PALSAR.

Em média, o SRTM com resolução espacial de 90 m foi o que apresentou pior desempenho, com discrepâncias médias de 5,712 m. Em seguida, com desempenho semelhante, aparecem os dois MDEs com resolução espacial de 30 m: o SRTM, com discrepância média de 5,111 m, e o TOPODATA, com 4,651 m, respectivamente. Por fim, o processo de ortorretificação que apresentou o melhor resultado posicional foi aquele realizado com o MDE ALOS/PALSAR, de resolução espacial de 12,5 m, com discrepância média de 2,135 m. Este valor médio de discrepância é 12 vezes menor do que o valor da imagem sem correção geométrica (2,135 m contra 25,688 m).

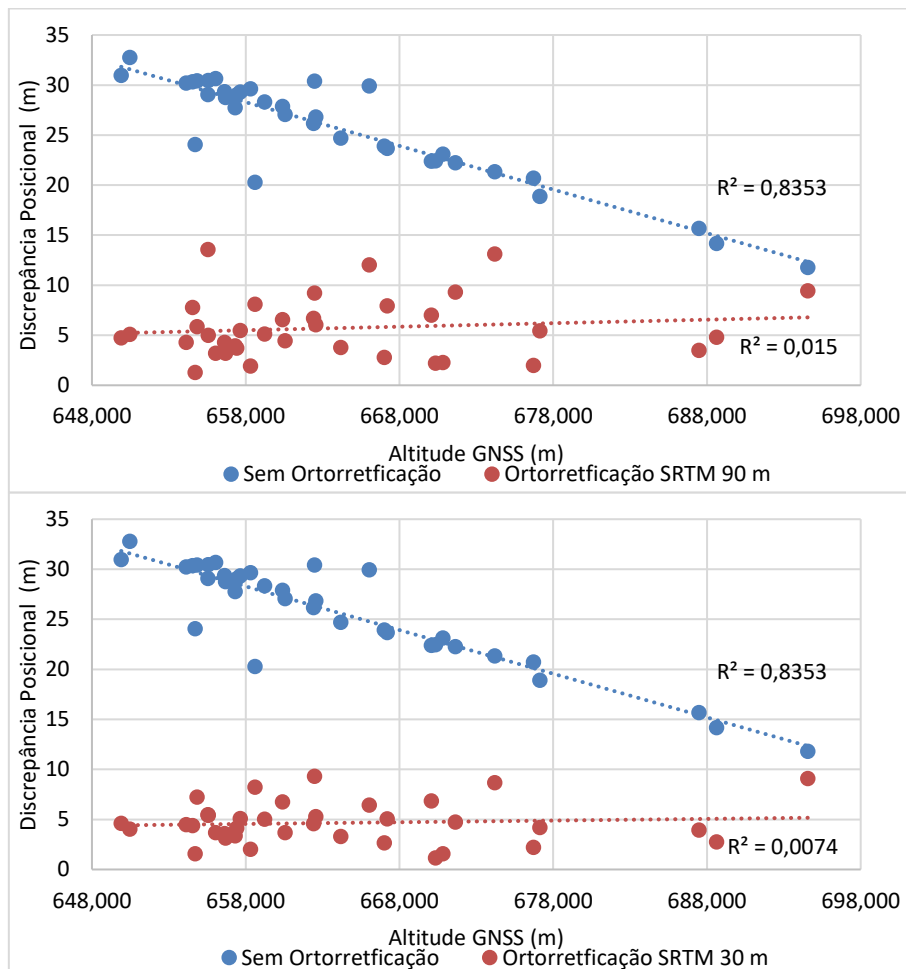
Analisando estes resultados, de modo geral, há indícios de que quanto melhor a resolução espacial melhor a correção das distorções geométricas da imagem e, por consequência, a qualidade posicional da imagem ortorretificada.

Além destes, outros dados chamaram a atenção. Primeiro, fica evidente a efetividade em minimizar as distorções utilizando o MDE ALOS/PALSAR: 12 valores de discrepância foram menores que 1 m, resolução espacial nominal da imagem Ikonos. Além disso, somente um valor (o máximo obtido com o SRTM de 90 m - 13,563 m) de todos os conjuntos de discrepâncias posicionais obtidos com ortorretificação foi maior que as discrepâncias presentes na imagem sem a correção geométrica (mínimo de 11,785 m), o que, novamente, reafirma que, independentemente da resolução espacial,

realizar o processo de ortorretificação é fundamental quando se deseja qualidade posicional de uma imagem orbital.

Outra análise pertinente é comparar os MDEs de mesma resolução espacial. De modo geral, o SRTM apresentou melhor desempenho. Além de ter apresentado menor média, menor valor máximo e menor desvio-padrão, em 69,44% dos pontos GNSS analisados a ortorretificação realizada com este MDE possuía menores discrepâncias, se comparado aquela produzida com o TOPODATA.

Apesar da ortorretificação, além do relevo, levar em consideração a questão da alteração da perspectiva central da imagem, percebeu-se um certo padrão entre altitude e a discrepância posicional planimétrica nos dados analisados. Como era de se esperar, quanto maior a altitude, maior o deslocamento (discrepância) provocado pelo relevo. Os gráficos presentes na Figura 5 apresentaram esta relação. Cabe ressaltar que as altitudes do GNSS, que são geométricas, foram convertidas para altitudes ortométricas, para compatibilização com as altitudes dos MDEs por meio do Mapgeo 2015. Esta etapa foi realizada obtendo-se a ondulação geoidal de cada ponto (Figura 3) e aplicando a conversão.





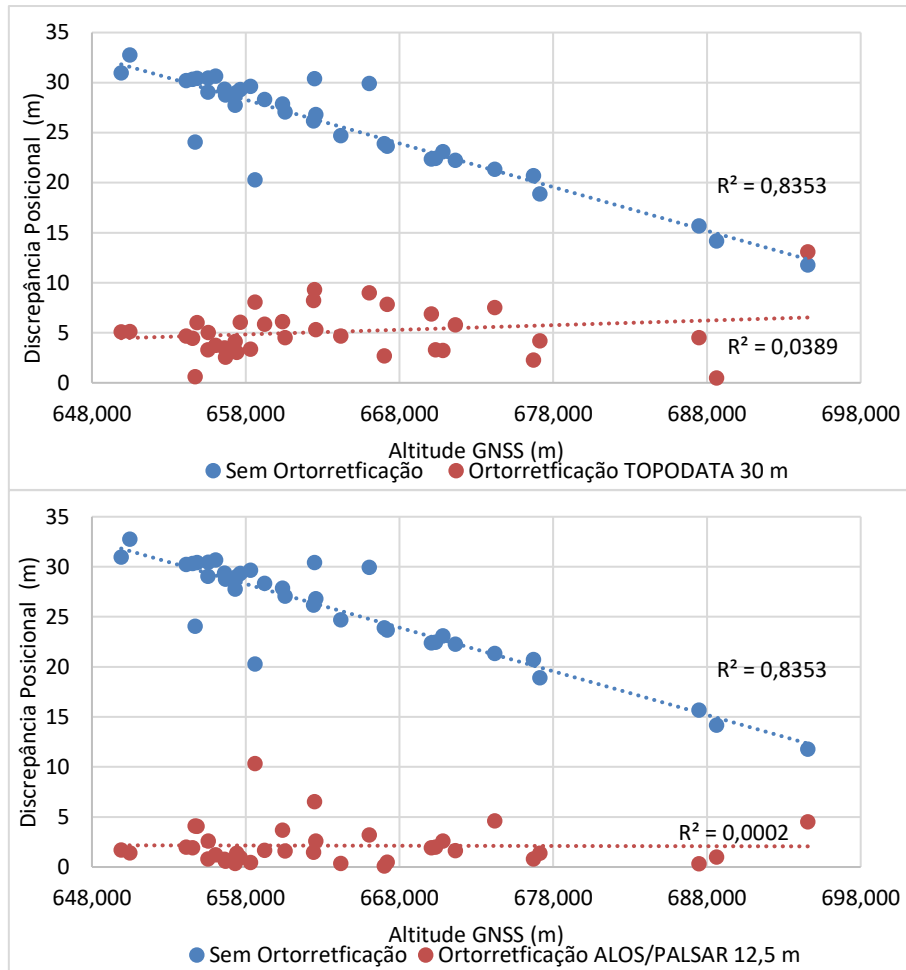


Figura 5. Relação entre a discrepância planimétrica e a altitude dos pontos de referência.

O alto valor do coeficiente de determinação  $R^2$  (0,8353), demonstrou a grande relação entre a discrepância planimétrica e a altitude dos pontos. O coeficiente de determinação reflete a quantidade de variabilidade dos dados explicada ou considerada pelo modelo de regressão (MONTGOMERY e RUNGER, 2009). Ou seja, na imagem sem ortorretificação, 83,53% das discrepâncias presentes podem estar relacionadas com a altitude do relevo. Obviamente, há outros fatores (fontes de erros) que afetam a qualidade posicional da imagem.

Após a realização do processo de ortorretificação, a relação entre as discrepâncias posicionais e a altitude ponto passou a ser praticamente inexistente: foi de 1,5% para o SRTM de 90 m, 0,74% para o SRTM de 30 m, 3,89% para o TOPODATA e de 0,02% para ALOS/PALSAR, o que demonstra que, independentemente do MDE, a correção geométrica foi efetiva.

Apesar dos resultados anteriores por si só já demonstrarem a importância e a magnitude da discrepância posicional quando não se realiza a correção geométrica da imagem, estes resultados destacaram que tal procedimento é indispensável, principalmente em regiões de elevadas altitudes.

## CONCLUSÕES

O processo de correção geométrica de imagens é um processo fundamental para que se tenha qualidade posicional em imagens orbitais, permitindo utilizá-las para se obter medidas.

Este procedimento, realizado neste estudo por meio de uma ortorretificação, reduziu significativamente as discrepâncias posicionais planimétricas. Considerando a região central da UFV, sem grandes variações de relevo, a imagem que ainda não havia passado pela ortorretificação apresentou discrepância máxima de 32,770 m e média de 25,688 m. Já as imagens corrigidas geometricamente, ortorretificadas com MDEs de diferentes resoluções espaciais, apresentaram discrepâncias máximas de 13,563 m, 9,312 m, 13,084 m, e 10,323 m; e médias de 5,712 m, 4,651 m, 5,111 m, e 2,135 m, relacionadas aos modelos digitais de elevação SRTM (90 m), SRTM (30 m), TOPODATA (30 m) e ALOS/PALSAR (12,5 m), respectivamente. Tais resultados indicam que há relação entre a resolução espacial do MDE e a qualidade da correção geométrica, sendo que quanto melhor a resolução espacial melhor é esta correção.

Outro fato que ficou evidente neste estudo é a relação entre a discrepância posicional planimétrica e a altitude. Na área analisada, para a imagem sem correção, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre estas grandezas foi de 0,8353. Quando a ortorretificação foi aplicada, os valores de  $R^2$  foram de 0,015, 0,0074, 0,0389 e 0,0002, para os MDEs SRTM (90 m), SRTM (30 m), TOPODATA (30 m) e ALOS/PALSAR (12,5 m), respectivamente.

Os resultados mostraram que se deve saber escolher o MDE a ser utilizado em um processo de ortorretificação de imagens, tendo em vista que a resolução espacial influencia na qualidade posicional da imagem. Mas, mesmo que o MDE disponível não seja o ideal, o processo de ortorretificação melhora consideravelmente a qualidade posicional planimétrica da imagem e, conseqüentemente, dos produtos derivados dela. Como melhorias para trabalhos semelhantes, recomenda-se realizar a mesma análise, mas utilizando MDE com resolução espacial igual ou maior que a imagem a ser ortorretificada. Esta investigação irá possibilitar verificar se um MDE com resolução espacial compatível com a resolução da imagem gera resultados melhores que um MDE com resolução maior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASF - ALASKA SATELLITE FACILITY. (2022). [ALOS PALSAR – About](https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/). Alaska. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>. Acesso em: 16/05/2022.

CHMIEL, J.; KAY, S.; SPRUYT, P. Orthorectification and geometric quality assessment of very high spatial resolution satellite imagery for common agricultural policy purposes. In: THE 20TH ISPRS CONGRESS, 2004, Istanbul-Turkey. Anais... Istanbul, 2004.

D'ALGE, Júlio César Lima. Cartografia Para Geoprocessamento. In: CÂMARA, G., DAVIS, C., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE, São José dos Campos, 2001.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. 2022. Acesso: 20 de jan. de 2022.

ESRI. ArcGIS Pro. Create Ortho Corrected Raster Dataset (Data Management). Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/create-ortho-corrected-raster-dataset.htm>>. 2021. Acesso: 20 de jan. de 2022.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Os satélites e suas aplicações. São José dos Campos: SindCT, 2008.

GRIPP Jr, J. Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação em cadastro técnico rural e mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2009.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011., 2011.

MARQUES, H. G., PENATTI, N. C., PARANHOS FILHO, A. C., FROEHLICH, O., ALMEIDA, T. I. R., SHIMABUKURO, Y. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, v. 30, p. 1271-1278, 2011.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T (Orgs.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ORLANDO, Francisco Cristiano; BIAS, Edilson Souza. Análise da Qualidade dos dados SRTM ao Longo de Todo o Território Brasileiro. Anuário do Instituto de Geociências, v. 43, n. 2, p. 340-348, 2020.

PISANI, Rodrigo José; DELANEZE, Marcelo Elias; SILVA, Camila Amélia Coelho da; RIEDEL, Paulina Setti. Análise comparativa entre técnicas de ortorretificação em imagens de alta resolução. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), João Pessoa, 2015. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 75-82, 2015.

RICHARDS, John Alan; JIA, Xiuping. Remote sensing digital image analysis. 4 ed. Berlin: Springer, 2006.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: Guia Para Utilização De Dados Geomorfológicos Locais. INPE-15318-RPQ/818. São José dos Campos: INPE, 2008. 73p. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso: 15 de mar. de 2022.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2009.

VOLOTÃO, C.F.S. Geração de Ortoimagens para Aplicações Urbanas: Desenvolvimento das Equações e Protótipo Experimental. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos, 2001.

ZHANG, Z. Determining the epipolar geometry and its uncertainty: a review. International Journal of Computer Vision, 27(2), 161–198, 1999.