

SAMUEL ALMEIDA SANTOS DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS ALTIMÉTRICOS DE CARTAS DO IGC E IBGE
COM INSTRUMENTOS DE PRECISÃO NA FAZENDA EXPERIMENTAL
LAGEADO - BOTUCATU - SP**

Botucatu

2018

SAMUEL ALMEIDA SANTOS DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS ALTIMÉTRICOS DE CARTAS DO IGC E IBGE COM
INSTRUMENTOS DE PRECISÃO NA FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO -
BOTUCATU - SP**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Oliveira, Samuel Almeida Santos de, 1992-
O48c Comparação entre perfis altimétricos de cartas do IGC e IBGE com instrumentos de precisão na Fazenda Experimental Lageado - Botucatu - SP / Samuel Almeida Santos de Oliveira. - Botucatu: [s.n.], 2018
74 p.: grafs. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Zacarias Xavier de Barros
Inclui bibliografia

1. Georreferenciamento. 2. Topografia. 3. Morfometria. 4. Cadastro de imóveis rurais. I. Barros, Zacarias Xavier de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

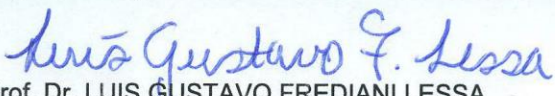
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS ALTIMÉTRICOS DE CARTAS DO IGC E IBGE COM INSTRUMENTOS DE PRECISÃO NA FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO - BOTUCATU - SP


AUTOR: SAMUEL ALMEIDA SANTOS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ZACARIAS XAVIER DE BARROS
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES
Depto de Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 28 de fevereiro de 2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Wilson e Silvana, minha irmã Sara e minha namorada Sara, por todo suporte e amor ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, que me proporcionou a oportunidade de desenvolver um mestrado, oferecendo todo o suporte necessário para a realização deste trabalho.

A minha companheira Sara Maciel Penachio pelo apoio profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu e à Coordenadoria do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura pela oportunidade.

Ao Departamento de Engenharia Rural (Docentes e Funcionários) pela estrutura para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Grupo GEPAG – Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, pelo apoio técnico e pelo convívio.

Aos participantes das bancas examinadoras de Qualificação e Defesa pelo enriquecimento deste trabalho.

Aos meus amigos de Pós Graduação pela parceria e companheirismo.

A agência de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

RESUMO

A atividade agrícola tem importância significativa na economia, justificando diversas pesquisas que busquem a aquisição de informações e desenvolvimento de tecnologias para que os processos envolvidos sejam mais eficientes. A topografia, geodésia e geoprocessamento têm sido utilizados de forma crescente e de diversas formas, tanto para monitoramento, quanto para planejamento na gestão agrônômica e dos recursos naturais. O presente trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, em Botucatu-SP e teve por objetivo aferir cartas do IGC e IBGE em comparação com equipamentos de alta precisão, nas quais foram confeccionadas linhas de perfis altimétricos e interpolação dos valores de altimetria. A geoestatística foi utilizada para uma interpolação com predição de erros, na qual os semi-variogramas e a validação cruzada permitiram analisar a correlação espacial e variância dos dados estimados. Como resultados foram obtidos mapas de altimetria, declividade e respectivos residuais altimétricos absolutos para a mensuração da confiabilidade de cartas na classificação de relevo, como também, o uso de cartas para traçado de limites de confrontações naturais, como linhas de cumeada e grotas. Pôde-se concluir que não é confiável utilizar as cartas para determinação de limites de confrontação natural como linhas de cumeadas e grotas para certificação de cadastro de registro de imóveis.

Palavras-chave: Georreferenciamento, Topografia, Morfometria, Cadastro de Imóveis Rurais.

ABSTRACT

The agriculture has a significant importance in economy, demanding several researches that allow information acquisition and technology development aiming an enhancing of the processes involved. Land surveying, geodetic sciences and geoprocessing have been more applied, and in different ways for land monitoring, soil and nature resources management. The present essay was developed on the Experimental Farm Fazenda Experimental Lageado Botucatu – SP, Brazil and aimed an altimetry analysis of IGC and IBGE contour maps with accurate instruments as parameters, in which altimetry profile lines and interpolation of the altitude values were made. The kriging process was used, likewise the semi variogram model, and further the cross validation was made to achieve a known function for the altimetry value's estimation, spatial correlation and value of variance. Digital elevation models, slope maps and the respective absolute altimetry residuals were made to measure the reliability of the IGC and IBGE contour maps as well as its usefulness for obtaining land topography and natural boundary from gardenbed or flume. It was concluded that the IGC and IBGE contour maps are not reliable for obtaining natural boundary from gardenbed or flume for certification of land registry in Brazil, although IGC contour maps were fine enough for morphometric analysis of small basins. IBGE contour maps as last option could be used for bigger basins analysis.

Keywords: Georeferencing, Survey, Land Surveying, Morphometry, Land Registration, Land Cadastre.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Topografia	18
2.2	Sensoriamento Remoto e Aerofotogrametria	22
2.3	Geotecnologias	24
2.3.1	Sistema de Informação Geográfica.....	24
2.3.2	Estação Total.....	24
2.3.3	GPS (<i>Global Positioning System</i>).....	26
2.4	Geoestatística	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Área de Estudo	33
3.2	Material	34
3.2.1	Cartas.....	34
3.2.2	Programas Computacionais	36
3.2.2.1	<i>Transit</i>	36
3.2.2.2	<i>OpenOffice Calc</i>	36
3.2.2.3	<i>QGIS</i>	36
3.2.2.4	<i>Equipamento e Softwares da Topcon</i>	37
3.2.2.5	<i>IBGE-PPP</i>	37
3.2.2.6	<i>Surfer</i>	38
3.3	Metodologia	38
3.3.1	Dados de Campo	38
3.3.1.1	<i>Marcos de Referência</i>	38
3.3.1.2	<i>Amostragem de Pontos</i>	39
3.3.2	Processamento dos Dados.....	41
3.3.2.1	<i>Transferência dos Dados</i>	41
3.3.2.2	<i>Estação Total X GPS</i>	41
3.3.2.3	<i>Geoestatística</i>	43
3.3.3	Traçado de Perfis Altimétricos.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Banco de Dados	46
4.1.1	Dados de Campo e Dados de Processamento	46
4.1.2	Processamento dos Mapas	50

5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola é uma das mais importantes áreas da economia, e portanto, existem diversas áreas da ciência que a torna mais eficiente, duas delas são a topografia e a geodésia, as quais fazem descrição minuciosa da morfologia do terreno, sendo que, na primeira não é considerada a posição do terreno na Terra em relação aos astros nem correções pela curvatura, o que a difere da segunda.

A topografia e geodésia assumem um papel importante em várias áreas da agronomia como, no auxílio à tomada de decisão, dando suporte à classificação de aptidão agrícola, na administração de propriedades, agricultura de precisão, melhor aproveitamento da luz solar, seleção de áreas mecanizáveis, planejamento de mecanização agrícola, cálculo de produtividade, cálculo de insumos, projeção de terraços para conservação de solo, desenho de perfil de terreno para planejamento de barragens, construções rurais, projetos de irrigação, certificação e registro de imóveis, assim como várias outras atribuições.

Pela importância da topografia e da agricultura, fazem-se necessários estudos que busquem avaliar as metodologias de execução de um levantamento topográfico quanto ao custo, eficiência e a qualidade dos dados obtidos, precisão e acurácia, sendo que, para a confecção mapa topográfico detalhado é necessário um levantamento minucioso, o que implica em altos custos.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo estudar a aplicabilidade das cartas topográficas para cálculo altimétrico e a avaliação das declividades da Fazenda Experimental Lageado, Botucatu - SP em diferentes perfis tendo como parâmetros de referência levantamentos realizados com os equipamentos Estação Total e GPS (*Global Positioning System*) de dupla frequência no modo clássico do RTK (*Real Time Kinematic*).

Os objetivos específicos deste trabalho foram: Obtenção de dados de campo e dados das cartas referentes às coordenadas tridimensionais de pontos da superfície do terreno; Aplicação da geoestatística para interpolação da malha amostral e validação dos dados interpolados; Obtenção de linhas de perfil altimétricas para análise; Análise dos dados de altimetria pixel a pixel.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Topografia

De acordo com Tuler e Saraiva (2014) o homem, nos tempos das primeiras civilizações, ao buscar água e alimentos deu início a uma demanda para seu senso de localização.

Segundo Cardão (1970), a topografia, com a definição de descrição de um lugar, é a ciência que descreve de forma detalhada um local específico considerado plano, tendo como finalidade o conhecimento da instrumentação e metodologia necessários para execução de uma representação gráfica do terreno num plano. A topografia provém da necessidade do homem de registrar e visualizar o local com detalhes de sua composição.

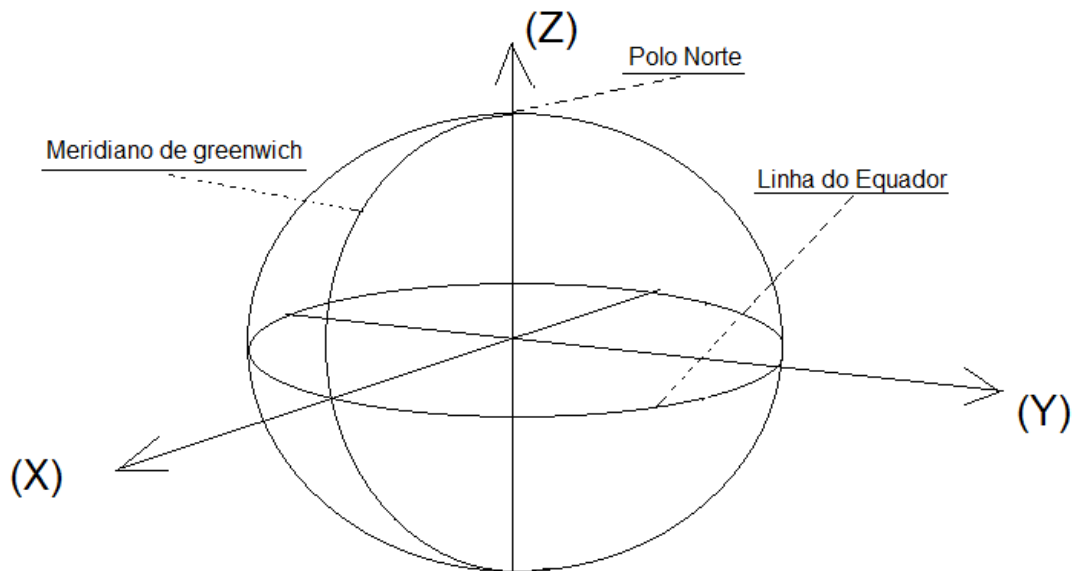
Ainda o mesmo autor difere os termos planta e carta, de forma que a planta, objeto da topografia, não considera a curvatura terrestre, já a carta, objeto da geodesia, considera a forma esferoide da Terra, sendo que ambas são representações gráficas da superfície da Terra.

Segundo Casaca et al. (2005), e concordando com Cardão (1970), a palavra topografia significa descrever um lugar, sendo que ela se encarrega da arte de representar de forma minuciosa um terreno local. A restrição a um local específico se dá para minimizar as distorções causadas pelas curvaturas das superfícies de nível. Devido a diferentes necessidades, a topografia não pode ser apenas local, deve ter referência no globo terrestre, contudo continua representando minuciosamente um terreno. No Brasil, utiliza-se o termo Topografia para levantamentos quando o modelo considera o terreno plano, e o termo Geodésia quando o modelo considera a curvatura terrestre.

A topografia e geodesia fazem uso de planos cartesianos para representações gráficas de uma dada superfície de três dimensões. Na topografia clássica, o plano cartesiano utilizado tem como referência o plano local ortogonal a vertical, tendo um ponto arbitrário ao técnico como origem. Uma representação tridimensional pode ser feita pelo uso de três retas mutuamente ortogonais (x,y,z) que num sistema de referência geodésico recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico (SCG), onde o eixo X está no plano equatorial com valores positivos na direção de longitude 0°; O eixo Y também

coincidente ao plano equatorial é positivo na direção de longitude 90° ; E o eixo Z é paralelo ao eixo de rotação e positivo em direção à latitude 90° . A origem é definida pela sua localização, que quando se encontra no centro de massa da Terra (Geocentro), tem as coordenadas denominadas geocêntricas (SILVA et al. 2013). A Figura 1 representa um SCG.

Figura 1 – Representação de um SCG



Autor: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Para toda planta ou carta é visível a necessidade de reduzir as dimensões do terreno para que seja feita uma representação em meio gráfico, seja no papel ou tela de dispositivo eletrônico, ao passo que essa redução das dimensões devem ser feitas de modo que o interprete do mapa saiba as distâncias reais do terreno. A proporção de redução de um mapa deve estar indicada numa escala, que pode ser gráfica ou numérica, a gráfica é um traço no desenho que representa uma distância no terreno, de forma que mesmo com a ampliação ou redução do mapa esta continua real; Já a numérica é representada pela fração $1:n$, sendo que n é o valor que uma unidade de distância no mapa é multiplicada para representar uma distância no terreno, porém perde sua validade quando é feita ampliação ou redução do desenho. Num mapa de escala $1:10000$, por exemplo, cada cm no mapa equivale a 10000 cm ou 100 m no terreno. A escala numérica

varia de acordo com o terreno a ser representado, para isso existem escalas mais comuns para determinadas finalidades, por exemplo escalas entre 1:100 e 1:1000 são mais utilizadas para representar construções rurais ou urbanas, informações a respeito de terraplanagem, fazendas e vilas; Já escalas entre 1:1000 e 1: 250000 são utilizadas para representar de pequenas cidades até países (CARDÃO, 1970).

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1994), carta ou mapa é uma representação gráfica em uma superfície plana dos objetos e estruturas da superfície terrestre, que faz uso de simbologias e recursos gráficos, os quais possibilitam a posterior obtenção de informações espaciais e geográficas daquelas que estão representando. A carta ou mapa podem ser divididos em folhas de forma sistemática, obedecendo a um plano nacional ou internacional e, mesmo os menores mapas ou cartas consideram a curvatura da Terra de forma rigorosa para posicionamentos em um sistema cartesiano referencial. Para melhor representação das informações e confecção de mapas de fácil interpretação, esses são gerados em classes, de forma que cada um tenha poucas ou somente um tipo de informação, por exemplo, mapa hidrográfico ou mapa hipsométrico.

Ainda de acordo com a ABNT (1994), desenho topográfico local é um item gráfico baseado em um original topográfico sobre base transparente com dimensionamento estável, possuindo formatação definida por essa mesma norma, com a escala e tamanho de folha que melhor enquadrem o levantamento topográfico, no qual este desenho é a aplicação de metodologias com dados obtidos de ângulos e distâncias medidas por instrumentação própria, na intenção de representar a forma plano-altimétrica do relevo local.

Existem diversas aplicações topográficas além daquela para superfícies do terreno, sendo que para Mc Donald et al. (2016), a topografia foi utilizada para o estudo da superfície de um esmeril possibilitando uma contagem do número de vértices cortantes por unidade de área, assim como a diferenciação das limalhas e pontas de ferro na superfície. Este estudo foi feito dada a importância da topografia do esmeril para a sua função de criar superfícies polidas.

A execução de trabalhos topográficos teve um aumento em sua demanda por condições de mercado desde meados da década de 1990. A construção civil, a evolução

das indústrias, exploração de minérios, aplicações financeiras em infraestrutura, cadastro de imóveis rurais, melhoras no sistema de cadastro urbano, planejamento de operações de engenharias agrícolas/agronômicas e outras atividades de engenharia formam um conjunto de usuários das ciências topográficas e geodésicas. É notável, entretanto, uma lacuna entre a produção topográfica e o uso eficiente dos equipamentos de alta tecnologia na ciência topográfica (TULER; SARAIVA, 2014).

Os mesmos autores afirmam que existe uma evolução tecnológica de grandes proporções, de forma que o ser humano tem dificuldades de perceber as consequências dessa evolução. Empresas competiram na busca da aquisição de equipamentos de alta tecnologia, como estações totais e receptores GPS com objetivo de inovar e produzir, contudo se depararam com a deficiência de mão de obra qualificada para operar tais equipamentos.

Assim Tuler e Saraiva (2014) evidenciam a importância da interface entre homem e máquina, na qual a tecnologia é desenvolvida pelo ser humano para que esse a use em prol da sociedade, porém esse é o ponto de maior dificuldade para a evolução da topografia, pois com frequência pessoas sem o conhecimento fundamental da topografia executam levantamentos topográficos. Assim vale ressaltar que o conhecimento fundamental não se sintetiza em “pressionar botões” de estações totais, que somente terão êxito se o operador tiver domínio dos conceitos e do equipamento em si.

Diversas atividades em engenharia agrônômica demandam um investimento considerável, entretanto é necessária uma estimativa de custo acurada para desenho e construção de projetos, que dependem de um levantamento topográfico bem executado para um correto dimensionamento de custos (KIZIL & TISOR, 2011).

Uma das atribuições de algumas engenharias inclusive a agrônômica é o registro e cadastramento de imóveis rurais, que de acordo com Henssen e Williamson (1990) desempenham um papel importante na sociedade, contanto que o façam de modo adequado e apropriado para as necessidades da população. Cada Estado tem um ponto de vista diferente no que se refere às adequações do que é apropriado, entretanto existem conceitos que são comuns a todos os Estados, assim, o registro de terras é entendido como um conjunto de documentos que determina os direitos de uma pessoa física ou jurídica sobre um imóvel, tendo como informações uma descrição detalhada do

imóvel, bem como, sua situação legal. O cadastro de imóveis é um inventário organizado de modo sistemático baseado nos limites e confrontações obtidos por levantamentos topográficos planimétricos, sendo que as informações obtidas pelo levantamento são sistematicamente identificadas e organizadas.

Os mesmos autores afirmam que as identificações dos limites e confrontações dos imóveis cadastrados e, se existentes, as respectivas parcelas são normalmente apresentadas na forma de mapas de grande escala, os quais, juntamente com o registro, devem apresentar para cada propriedade sua natureza, tamanho, valor, direitos legais juntamente com cada parcela. Os registros e cadastros devem conter informações referentes a quem pertence, descrição e a localização do imóvel.

Muitas vezes os procedimentos de registro e cadastramento de imóveis são feitos de forma independente e frequentemente não cooperam um com o outro, criando uma corrente de erros técnicos e causando problemas para o bom funcionamento do cadastramento. A evolução tecnológica algumas vezes ajuda a corrigir esses problemas para alguns, entretanto falha em ajudar o elo mais fraco dessa corrente, ou seja, objeções por parte dos indivíduos ou conjunto de indivíduos surgirão, de modo que um processo jurídico será instalado e serviços de aconselhamento técnico jurídico e de perícia serão necessários, os quais são caros e portanto não é de acesso a qualquer indivíduo, ocasionando prejuízos para a parte menos privilegiada (ZEVENBERGEN, 2004).

2.2 Sensoriamento Remoto e Aerofotogrametria

Segundo Jensen (2009), o Sensoriamento Remoto possui diferentes terminologias, ao passo que alguns cientistas acreditam em uma definição máxima, que é a obtenção de dados de um determinado objeto sem tocá-lo. Outros pesquisadores sugerem uma definição mínima e mais abrangente, que é a aquisição de dados das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas, presentes no espectro eletromagnético, sem contato direto, por meio de diferentes instrumentos, sendo um deles a câmera fotográfica. Com este instrumento se torna possível a aplicação da fotogrametria, que é a arte e a ciência de realizar medições precisas por meio de fotografia aérea.

Marchetti e Garcia (1978) comentam que um aspecto fundamental da Fotogrametria

é a possibilidade de obtenção de curvas de nível.

Com uso de uma fotografia aérea é possível obter inúmeras medições assim como informações quantitativas, sendo elas: localização planimétrica e altimétrica precisa de objetos (coordenadas cartesianas). Com essas informações, algumas técnicas dentro da Fotogrametria, aplicadas à fotografia aérea podem gerar um modelo digital de elevação (JENSEN, 2009).

Em 1970 foi criado o projeto RADAM – Radar na Amazônia, que coletou dados sobre recursos minerais, solos, vegetação, uso da terra e cartografia. Em 1971 iniciou-se o aerolevante. Com bons resultados o projeto foi expandido para território nacional, passando a se chamar RADAMBRASIL. Para a obtenção de dados foi utilizado um avião Caravelle com altitude média de 11 Km e velocidade média de 690 Km / h, tendo como sistema imageador o GEMS (*Goodyear Mapping System 1000*), atuando na banda X (comprimento de onda em torno de 3 cm e frequência entre 8 a 12,5 GHz). A altitude da aeronave foi controlada pelo radar altímetro Stewart – Warner, com precisão de 50 metros (IBGE, 2016).

Segundo o mesmo autor o avião teve sua localização obtida por uma plataforma inercial do tipo Litton, o qual foi apoiado por estações SHORAN, cujo alcance é de 400 km e também por estações de posicionamento global no Datum Córrego Alegre via satélite TRANSIT, que possui uma precisão de aproximadamente 15 m. O voo seguiu um trajeto norte sul, ortofotografando com espaçamento de 27,5 km com ângulos de depressão máximo e mínimo de 45° e 15° respectivamente, permitindo obtenção de imagens de aproximadamente 37 km de largura e sobreposição lateral de aproximadamente 25%.

A partir deste projeto RADAMBRASIL é possível encontrar 550 mosaicos semicontrolados de escala 1:250.000 que foram disponibilizados ao público, os quais cobrem todo território nacional e encontram-se organizados de acordo com o Mapa Índice de Referência – MIR do IBGE (IBGE, 2016).

2.3 Geotecnologias

Para a execução e processamento de levantamentos topográficos são necessárias as geotecnologias, que abrangem uma grande quantidade de técnicas e instrumentos.

2.3.1 Sistema de Informação Geográfica

Sistema de Informação Geográfica é qualquer programa computacional que possui algoritmos para o processamento de dados georreferenciados, podendo trabalhar com vetores (arquivos com dados de pontos, linhas e polígonos) ou rasters (imagens) (ESDRAS, 2012).

O QGIS é um software colaborativo e portanto tem inúmeras ferramentas que vão contribuir para todo tipo de trabalho geoespacial. Foi desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (QGIS, 2016).

2.3.2 Estação Total

Segundo a ABNT(1994), as estações totais são medidores eletrônicos de ângulos e distâncias, devem ser classificadas segundo a Tabela 1, representada a seguir.

Tabela 1 – Classificação de estações totais

Classe de estações totais	Desvio-Padrão Precisão angular	Desvio Padrão Precisão linear
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10 \text{ ppm X D})$
2 - precisão media	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5 \text{ ppm X D})$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3 \text{ ppm X D})$

Fonte: (ABNT, 1994)

Medição de Distância Remota é o método utilizado por uma Estação Total para mensurar distâncias e diferenças de nível indiretamente entre dois pontos. Este método é normalmente utilizado quando existem condições que impedem o uso de outros

instrumentos de medição direta (trena). A Estação Total pode ser utilizada para mensurar deslocamentos de túneis, por exemplo, com a vantagem de poder ser instalada em um ponto aleatório no túnel para observação dos pontos de interesse. A distância horizontal, diferença de nível e distância inclinada podem ser obtidas pelo princípio de nivelamento trigonométrico e pelo teorema do triangulo cosseno (LUO et al., 2016).

Gomes (2007) afirma a possibilidade de obtenção de desníveis de precisão por meio de estação total e confirma também a necessidade de se fazer medições em dias nublados e de temperatura amena. O mesmo autor ainda sugere uma análise prévia para estabelecer o número de séries de leituras conjugadas necessárias, de acordo com a precisão nominal angular do equipamento, a fim de se obter a precisão especificada e a melhoria dos trabalhos de campo.

Luo et al. (2016) ainda afirmam que a Estação Total quando utilizada em condições ideais e com metodologia apropriada, pode-se obter resultados com acurácia maior do que a especificada pelo instrumento, sendo que para estações totais de alta precisão pode-se obter acurácia na ordem de décimos de milímetros.

Para Silva (2016) uma possibilidade, em levantamentos topográficos com estações totais, é a utilização de um único fator de correção, que agrupa correções de distâncias devido à altitude, correção da curvatura da Terra, refração atmosférica e fator de escala UTM. O mesmo autor afirma também que os fatores de correção de escala variam muito no sentido Leste-Oeste e quase não variam no sentido norte-sul.

Friedmann (2013) sugere a robotização de uma estação total para projetos de risco, pois contribui para a segurança do trabalhadores envolvidos, tanto para o operador da estação, quanto para o técnico que caminha com o prisma. Para Nadal (2017), a robotização de estações totais não é importante somente para a segurança de trabalhadores em situação de risco, como também para repetitividade de tarefas, incluindo o monitoramento geodésico.

Como exemplo de Estação Total, tem-se a Nikon Total Station NPL 322+ 5", que é um instrumento com componentes para mensuração eletrônica de distância com laser de 630 – 680 nm de comprimento de onda, goniômetro com leitura digital simples de precisão de 5" que possui computador de bordo para criação de trabalhos e cálculo de coordenadas, cujos arquivos podem ser exportados para um computador. Em resumo, é

um instrumento de topografia de alta precisão para medição eletrônica de ângulos e distâncias, além do cálculo de coordenadas (NIKON POSITIONING, 2016).

2.3.3 GPS (*Global Positioning System*)

O GPS, ou NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Timing And Ranging*), é um sistema de posicionamento global desenvolvido pelos militares americanos com a finalidade de navegação das forças armadas americanas. Pelo modo como foram dispostas as órbitas ao redor da Terra, um receptor GPS terá pelo menos quatro satélites em seu campo de rastreamento, o que possibilita que o receptor tenha sua localização no globo terrestre em tempo real (MONICO, 2000).

O sistema de GPS é utilizado em diversas atividades humanas para localização, por exemplo, transportes a longas distâncias, como no caso de navios e aviões, construções, transportes públicos e geologia (AQEL, 2016) além de operações locais, como no caso da agricultura de precisão (LI, 2011), como também controle de frota de táxis e estudo de fluxo de tráfego urbano (SHAN, 2015).

É um método comum de utilização, em parte pela facilidade de uso, como também pelo baixo custo para aquisição da posição absoluta em escala global. No mercado existem receptores GPS para todo tipo de usuários, desde GPS para consumidores leigos com fácil manuseio até receptores relativamente caros de alta precisão, que demandam certo conhecimento do operador (SCHRADER, 2016).

Com relação aos receptores de alta precisão, tem-se o GPS Geodésico Hiper Lite, que de acordo com a Hayes Instrument (2016) é um conjunto de receptores rover e base, dois GPSs que se comunicam, onde a base fica estacionada em uma coordenada conhecida e o rover faz o caminhamento, sendo corrigido em tempo real pela base por determinado método de correção. O sistema utiliza um banco de dados de observações do receptor para posicionamento que pode ser melhorado pelo sistema PPP (*Precision Point Positioning*) utilizado pelo IBGE.

O PPP é processado pelo programa CSRS (*Canadian Spatial Reference System*) desenvolvido pela NRCan-GSD (*Geodetic Survey Division of the Natural Resources Canada*). O CSRS-PPP é um aplicativo para posicionamento preciso de acesso online

utilizado para dados de receptores GPS/GNSS (*Global Navigation Satellite System*) independentes (YIGIT et al., 2016). Os parâmetros estimados pelo PPP são posições de estação, situação do relógio da estação, atrasos no zênite da troposfera local e ambiguidades da fase portadora, que é o número de ciclos inteiros estimados da primeira época (KOUBA; HÉROUX, 2001).

Tem-se aumentado o interesse pelo método PPP (KOUBA; HÉROUX, 2001; ZUMBERGE et al., 1997), que é um método eficaz no processamento de medições coletadas por receptores GNSS para posicionamento de alta acurácia. Esse método tem-se tornado uma técnica economicamente viável para alcançar níveis centimétricos de acurácia (LI, et al. 2013).

O método PPP pode ser utilizado como forma alternativa ao método relativo estático, o qual faz uso de estações de referência para correção, para monitorar movimentos de crosta terrestre e comportamento de construções civis em função do tempo. O método relativo tem melhor desempenho em relação ao método PPP à medida que o tempo de observação diminui, já que o PPP necessita de um tempo de observação para aumentar sua precisão. Com um tempo de observação de 12 horas o método PPP é equivalente a 6 horas pelo método relativo (YIGIT et al., 2016).

O sistema PPP retorna dados no ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), que é um sistema ECEF (*Earth Centered Earth Fixed*), um sistema cartesiano com origem no centro de massa da Terra, e tem rotação no eixo z que acompanha sua rotação, porém o eixo z não coincide com o eixo instantâneo de rotação da mesma. Para calcular a distância horizontal as coordenadas devem ser transformadas para um sistema topocêntrico (LEICK, 1995 apud YIGIT, 2016). O SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) tem como objetivo principal desenvolver e manter um sistema de referência confiável para a América Latina e Caribe, sendo uma densificação regional do ITRF, assim como colaborar com o ITRF. O sistema de referência SIRGAS é composto atualmente por 418 estações de observação GNSS. (CIOCE et al., 2017)

O ITRF, Rede de Referência Terrestre Internacional, é um conjunto de dados levantados por um CTRS (*Conventional Terrestrial Reference System*), que é um sistema fixo à Terra, pautadas nas seguintes diretrizes: ser Geocêntrico; ter escala correspondente a um sistema de referência terrestre levando em conta a teoria da

gravitação; orientação dada pelo BIH (*Bureau International de L'Heure*) na época de 1984 e a evolução temporal não pode criar rotação residual global com relação a crosta. O CTRS quando realizado precisa ser especificado em coordenadas cartesianas. A partir deste é feito um banco de dados de coordenadas e velocidades de um conjunto de estações do IERS (*International Earth Rotation Service*) denominado ITRF-yy, sendo que o número yy deriva dos dois últimos dígitos do ano em que o banco de dados foi levantado (MONICO, 2000).

A POD (Determinação de Órbitas Precisas), é um componente essencial para a realização de um quadro de referência atual com alta acurácia. A POD é necessária para se obter com alta precisão as órbitas dos satélites rastreados de GPS, DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) e SLR (*Satellite Laser Ranging*). Possuir órbitas precisas leva a uma estimativa mais precisa de várias referências geodésicas, como marcos geodésicos e EOP (Parâmetros de Orientação Terrestre) (STEPÁNEK et al., 2014). Alguns destes satélites tem como característica instrumentos com mais de uma técnica para rastreamento. Esses satélites apresentam um interesse especial na POD por meio da combinação dessas diversas técnicas, a fim de estimar as órbitas precisas (ZOULIDA et al., 2016).

A POD desempenha um papel importante para a altimetria dos satélites, na qual a órbita altimétrica dos mesmos é utilizada como referência para calcular o nível médio não perturbado dos mares por meio de observações altimétricas do nível do mar. A qualidade requerida para o monitoramento do nível dos mares somente pode ser obtida se os satélites de monitoramento terrestre possuírem órbitas de alta acurácia. A calibração de instrumentos altimétricos depende dessas órbitas precisas (FU; HAINES, 2012).

De acordo com a ABNT (1998), a altura geométrica é o comprimento do menor segmento de reta que liga um ponto da superfície física à superfície do elipsoide de referência, enquanto que a altura ortométrica é o comprimento do menor segmento de reta, que liga um ponto na superfície física ao geoide que representa o nível não perturbado dos mares.

Ainda com relação a ABNT (1998), tem-se o conceito de geocodificação, que é a atribuição de códigos para pontos coletados, os quais possuem coordenadas planas num Datum especificado e que são ordenados de forma sistemática para localização

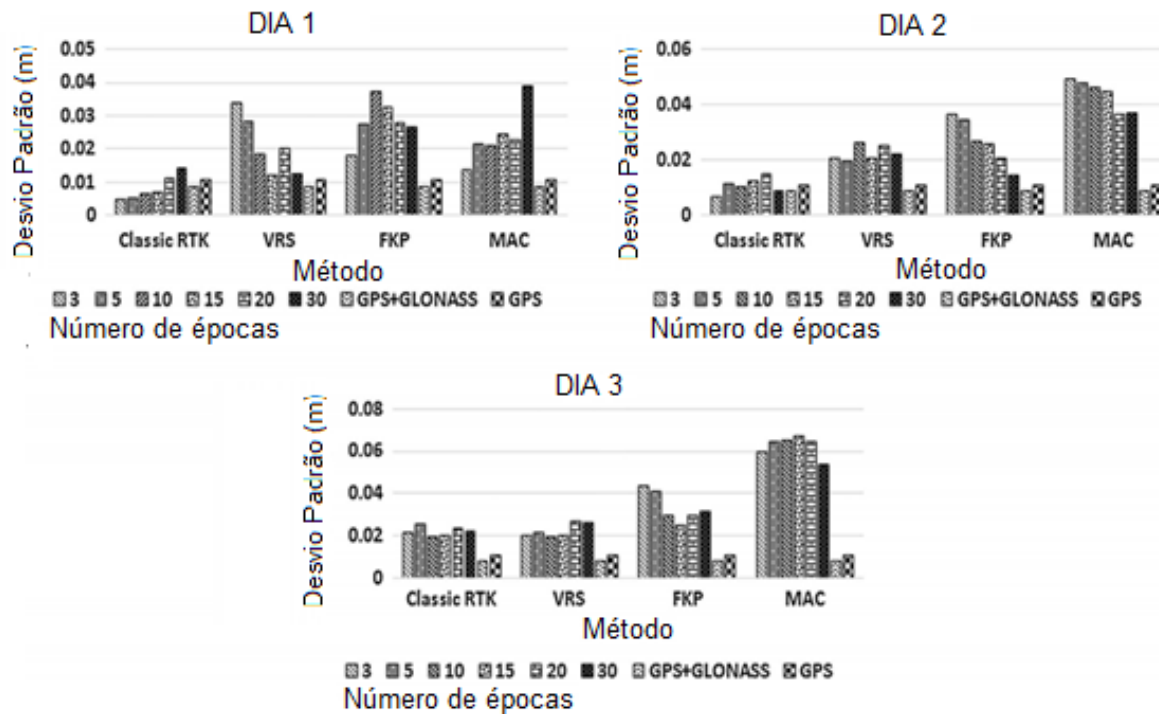
geográfica. O geocódigo é o conjunto de informações num sistema cartesiano que fornece a localização de pontos no globo terrestre.

Um método para obtenção de coordenadas geodésicas, que serve para diversas áreas da engenharia de alta tecnologia é o clássico RTK (*Real Time Kinematic*) com estação base de calibração com referência GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), onde uma base é instalada previamente em um ponto de coordenada conhecida, que pode ser obtida pelo PPP ou outro método estático de alta precisão, para posterior correção em tempo real (GUMUS, 2016). Existem outras três metodologias recentes de correção RTK, as quais fazem uso da internet para correção, sendo elas o método VRS (*Virtual Reference Station*), o FKP (*Flächenkorrekturparameter*) e MAC (*Master Auxiliary Concept*) (GUMUS, 2015).

O mesmo autor afirma que no método VRS é gerada uma estação de referência virtual cujos dados de correção são obtidos pela interpolação dos dados das estações de referência, assim as correções aplicadas para os pontos coletados serão obtidas desta estação virtual. No método FKP as correções para cada ponto calculado são obtidas por meio de um plano criado pela interpolação dos dados das estações de referência, assim para cada ponto corrigido é feita uma interpolação das correções das estações de referência para sua coordenada. Para o método MAC o rover manda seus dados para uma estação de referência, a qual determina qual é a estação mais próxima e atribui a ela a função de estação mestre, a partir daí o rover, via internet, tem a correção de suas coordenadas obtidas desta estação mestre que utiliza dados de estações auxiliares para enviar a correção ao rover, sendo que esses três últimos métodos são chamados de Network RTK.

Segundo Gumus (2016), de maneira geral o RTK clássico apresentou melhores resultados em comparação com o *Istanbul Water and Sewage Administration* (ISKI) Network RTK com correções dos métodos VRS, FKP e MAC, segundo apresenta a Figura 2.

Figura 2 - Desvios padrões das diferenças de altura no nivelamento de precisão geométrica



Fonte: Adaptado de GUMUS (2016) por Samuel Almeida Santos de Oliveira (2018).

Uma vez que o atraso causado pela ionosfera é origem da maior parte dos erros na precisão relativa do posicionamento de satélites, diversos modelos e algoritmos ainda têm sido desenvolvidos para reduzir essa influência. As correções ionosféricas podem ser obtidas de modelos absolutos baseados nos dados de combinação linear da pseudodistância fina da fase portadora (distância do satélite ao receptor estimada por uma relação entre duas frequências de onda eletromagnética emitidas pelos satélite) (KRYPIAK et al., 2013). Para Krypiak et al. (2013) e Paziewsky (2015), as correções de alta precisão da ionosfera são importantes para um posicionamento preciso.

Segundo Kisil e Tisor (2011) a comparação entre duas técnicas, Estação Total e RTK-GPS em local sem interferência nos sinais GPS, indicou que o levantamento topográfico feito por RTK-GPS não só se mostrou prático e rápido, como também gera mapas topográficos mais acurados para desenhos de engenharia.

De acordo com Lee et al. (2013) uma estação total comum pode trabalhar com dois

ou mais operadores, um para instalar a estação total e realizar as medições, os demais para transportar a haste com prisma até os pontos de interesse, dessa forma se estabelece um mínimo de dois operadores para trabalhar com a estação total e uma maior eficiência quando se tem mais de um operador para carregar o prisma. Já o RTK-GPS necessita apenas de um operador, pois após a instalação da base de correção o operador pode percorrer os pontos de interesse, já que não é necessário nenhum operador na base após sua instalação.

Os mesmos autores comentam também que tanto a estação total quanto o sistema RTK-GPS possuem alta acurácia, assim como indicado pelos fabricantes, sendo que grande parte dos erros derivam ou por erro humano, ou por movimento inesperado do equipamento.

2.4 Geoestatística

A geoestatística tem como foco a estimativa dos valores de uma variável pertencente a um conjunto existente em uma determinada região. É responsável pela caracterização espacial de uma variável de interesse. O estudo feito por meio da geoestatística, a princípio, necessita de informações de natureza quantitativa ou qualitativa que são denominadas amostras, que posteriormente são usadas para inferir propriedades de um determinado fenômeno espacial intrínseco a esta determinada variável (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Os mesmos autores ainda afirmam que o conjunto amostral é um grupo de valores retirados do fenômeno espacial, que quando em quantidade suficiente, possibilita a representação da distribuição e variabilidade espacial. A estimativa feita com base no conjunto amostral está sujeita a uma incerteza, que pela geoestatística pode ser também representada.

Mello et al. (2005) afirmam que em trabalhos de geoestatística é necessário começar a execução pela avaliação da dependência espacial. O semivariograma ou variograma mostra como o grau de dependência espacial varia entre as amostras em função da distância, sendo utilizado pelo método interpolador krigagem (LANDIM, 2003). Segundo Mello (2003) a validação cruzada é um meio de aferir o desempenho das estimativas

obtidas por meio da krigagem.

Segundo Souza (2014), uma recomendação para a viabilidade do uso da geoestatística e da krigagem na elaboração de mapas temáticos é a coleta de no mínimo 100 pontos amostrais, pois diminui o erro da estimativa. O mesmo autor ainda afirma que o erro da estimativa por krigagem é semelhante quando se trata de 105 e 208 pontos amostrais, provando a necessidade de um valor mínimo, contudo depois desse valor o aumento de dados amostrais se torna desnecessário.

A geoestatística é uma ferramenta que pode ser utilizada para analisar dados topográficos, no contexto de análise de tamanho da área e densidade amostral. A krigagem, método de interpolação, é um meio de realizar mapas de estimativas e estatística espacial, que difere dos métodos de interpolação determinísticos. Na krigagem um valor estimado depende de dois fatores, a tendência e a variabilidade (KIZIL; TISOR, 2011).

A krigagem pode ser utilizada para interpolação de parâmetros altimétricos, cujos dados interpolados podem passar por processos de validação (NGUYEN, 2005). Um estudo feito com dados altimétricos por batimetria permitiu verificar que o método krigagem para interpolação apresentou melhores resultados para este tipo de dado, tanto para amostras dispersas quanto densas, e pôde-se verificar também que o cálculo de volume para estudos de barragem é mais acurado quando a krigagem universal é aplicada em amostras esparsas em comparação ao método do inverso do quadrado da distância em amostras mais abundantes (FERREIRA, 2017).

O mesmo autor ainda afirma que a aplicação da Geoestatística é recomendada na modelagem de superfícies por batimetria. Considerou também a krigagem como superior na construção de superfícies, ressaltando a necessidade de mais estudos para definir melhor a malha amostral.

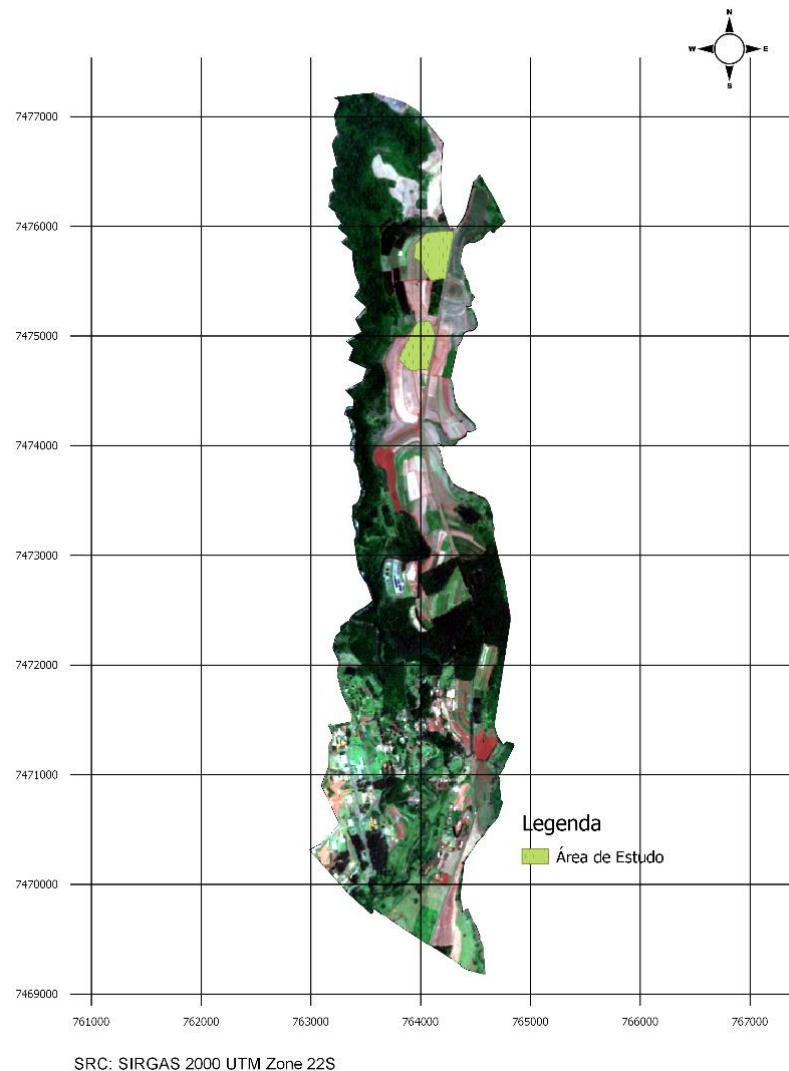
Archela (2013) afirma que um mapa de relevo obtido por aproximação geoestatística, por meio do processo de krigagem mostrou-se incontestável em comparação com cartas topográficas geradas por topografia convencional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

As áreas utilizadas para a pesquisa se localizam na região norte da Fazenda Experimental Lageado, representadas por polígonos verdes na Figura 3, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS, 2016).

Figura 3 - Fazenda Lageado



Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

O mesmo autor ainda diz, que a Fazenda foi uma área de produção de café de grande importância para o histórico da expansão dessa cultura no oeste paulista, cujas instalações históricas desta época estão em uso pela universidade e pelo atual museu do café.

3.2 Material

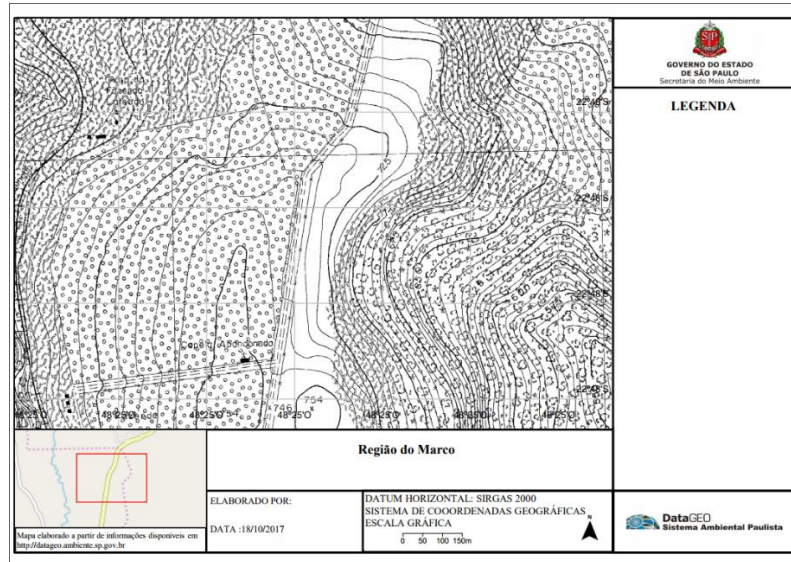
3.2.1 Cartas

Mosaicos de fotografias foram processados de maneira analógica com técnicas de reprodução e ampliação fotográfica, onde através de processo manual foram montadas cópias em papel. Esses produtos fotográficos possuem resolução menor do que as imagens originais, esses mosaicos foram utilizados para realizar a aerofotogrametria (CPRM, 2016). Os produtos são bases cartográficas restituídas ou digitalizadas de cartas topográficas existentes em papel, em diversas escalas (1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000) e formatos de arquivos (pdf, geotiff e DGN) (IBGE, 2016).

O Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC disponibiliza cartas topográficas na escala 1:10000 do estado de São Paulo feitas pelo processo de aerofotogrametria pela sobreposição de fotografias aéreas em Preto e Branco (IGC, 2016).

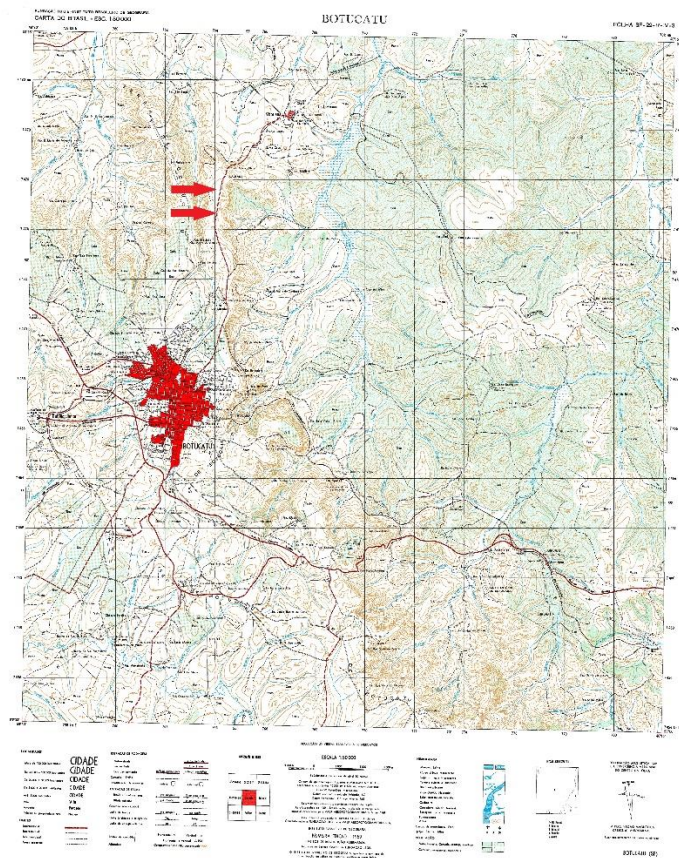
As cartas do IGC e IBGE utilizadas estão representadas pelas Figuras 4 e 5. A Carta do IGC utilizada, Figura 4, é uma cópia digitalizada, com escala de origem de 1:10.000 com curvas de nível de equidistância vertical de 5 metros. A carta do IBGE, Figura 5, é uma digitalização da FÔLHA SF-22-R-IV-3 de escala 1:50.000 com curvas de nível de equidistância vertical de 20 metros.

Figura 4 – Carta do IGC



Fonte: IGC, 2017.

Figura 5 – Carta do IBGE



Fonte: IBGE, 2017.

3.2.2 Programas Computacionais

3.2.2.1 Translt

O programa Translt foi desenvolvido pela Nikon para baixar dados da estação total para o computador, deste modo o software permite que o operador configure o computador para receber os dados nas mesmas configurações utilizadas no levantamento, como por exemplo: a configuração de azimute no norte ou sul; taxa de transferência de dados ou *baud rate*; a porta COM utilizada; ordem de coordenadas (x,y,z ou y,x,z); tipo de projeção e unidades de medidas utilizadas, como sistema imperial ou sistema métrico, sistemas de goniometria, graus, minutos, segundos, décimos de grau, radiandos ou ainda gônios.

3.2.2.2 OpenOffice Calc

O OpenOffice Calc é uma extensão do Apache OpenOffice, um pacote de outros softwares para processamento de textos, criação de planilhas de cálculo, apresentações, gráficos e banco de dados. A extensão utilizada é referente a planilha de cálculo, é uma aplicação para trabalhar com dados numéricos de forma a transformar em informações novas para se trabalhar. É capaz que importar dados em diversos formatos e exportar.

Podendo realizar algumas operações de SIG para pontos, que permite uma melhor manipulação dos dados. (APACHE, 2016.)

A planilha feita pelo OpenOffice permite trabalhar com os dados de forma a realizar operações matemáticas em larga escala, fazendo com que as correções obtidas para a base possam se repetir para todos os pontos, já que esses foram georreferenciados pelo GPS geodésico.

3.2.2.3 QGIS

O SIG utilizado foi o QGis, versão 2.8.6 Wien tem como função disponibilizar ferramentas de processamento de dados georreferenciados, que neste trabalho foram

úteis para a interpolação dos valores de altimetria para outros pontos.

3.2.2.4 Equipamento e Softwares da Topcon

O GPS utilizado possui um sistema de receptor com duas frequências simultâneas de rádio, os quais tem taxa de atualização de frequência 1hz, possui 8mb de memória para armazenamento que corresponde 40 horas de dados, com intervalo de 15 ", possui alcance de 2,5 km em RTK com tecnologia *bluetooth* integrada para comunicação com coletor (HAYES INSTRUMENT, 2016).

O *software Topcon Receiver Utility* foi desenvolvido pela Topcon, permite a comunicação direta de um equipamento com dispositivo *bluetooth* ao GPS *Hiper Lite*, desse modo é possível fazer o *download* do arquivo do tipo .tps.

O *software Topcon Tools* possibilita a conversão de arquivos .tps em RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) possibilitando o processamento dos dados no site do IBGE para correção. Além dessa função, o programa possui outras ferramentas de geoprocessamento, contudo, neste trabalho somente foi utilizado a ferramenta para conversão dos arquivos.

O *Topsurv* é o programa utilizado no coletor fc-100 da Topcon que acompanha o GPS Geodésico e é responsável pela interface com o *Hiper Lite*. A partir dele é possível programar o GPS para a função RTK, como também armazenamento dos dados coletados no levantamento, que posteriormente foram transferidos para o computador via cabo.

3.2.2.5 IBGE-PPP

O IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso) é uma ferramenta disponibilizada no site do IBGE para a correção das coordenadas obtidas por GPS, que posteriormente são apresentadas no Datum SIRGAS 2000,4. Para a realização dessa correção o IBGE utiliza um programa canadense, o CSRS-PPP desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of the Natural Resources Canada* (NRCan-GSD) (IBGE, 2016).

3.2.2.6 Surfer

O surfer é o software responsável pela confecção do variograma e krigagem para interpolação dos dados altimétricos. É um software multifuncional para trabalhar com modelagem de superfícies, visualização de terrenos, análise de superfícies, criação de curvas de nível e manipulação de todos os parâmetros (GOLDEN SOFTWARE, 2016).

3.3 Metodologia

3.3.1 Dados de Campo

3.3.1.1 Marcos de Referência

Para a coleta dos dados de campo, parte inicial do trabalho, foi necessária a escolha de dois pontos aleatórios na área de estudo, sendo que, um deles serviu de base e o segundo tem função de referência azimutal para a Estação Total. Para a base foi utilizado o marco do IBGE (Latitude: $-22^{\circ} 48' 17,2502''$; Longitude: $-48^{\circ} 25' 38,7716''$; Altitude Geométrica: 745,27 m), localizado na região norte da Fazenda Lageado, e para a referência azimutal foi instalado um marco auxiliar de concreto (Latitude: $-22^{\circ} 48' 13,7550''$; Longitude: $-48^{\circ} 25' 33,3609''$; Altitude Geométrica: 734,17 m) instalado a uma distância de aproximadamente 170 m do marco do IBGE. O par de GPS geodésico foi deixado no marco do IBGE e no marco auxiliar para a coleta do banco de dados de observações de sinais de satélite, durante um período de seis horas para o marco do IBGE e quatro horas para o marco auxiliar, sendo que a área não tinha nenhuma obstrução antrópica ou natural para os sinais GPS. A partir desse período de coleta de dados os arquivos gerados se encontram no formato .tps.

Os arquivos gerados foram passados para o computador por meio do *Topcon Receiver Utility*, que posteriormente foram convertidos para o tipo de arquivo RINEX no *Topcon Tools*, para possibilitar a correção pelo PPP do IBGE, obtendo as coordenadas de alta precisão.

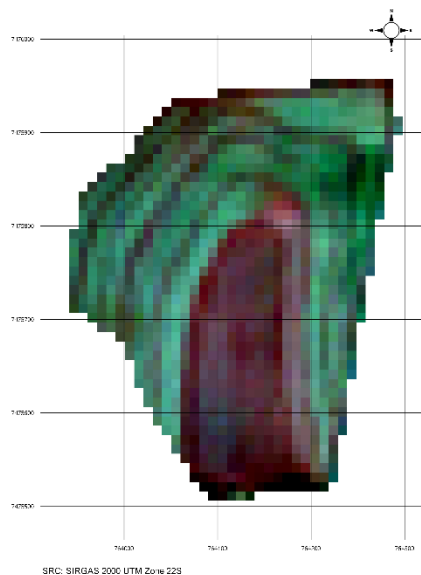
3.3.1.2 Amostragem de Pontos

Para dar início à coleta de dados amostrais, o receptor base foi instalada no marco do IBGE com o auxílio do coletor, de modo que a base ficou fixa e foi responsável pela correção dos dados coletados pelo rover por meio do método RTK clássico. Um terceiro ponto foi locado no campo onde a estação total foi instalada, a ré foi dada no marco do IBGE e foi feita uma vante no marco auxiliar, garantindo o posterior georreferenciamento do levantamento feito pela estação total.

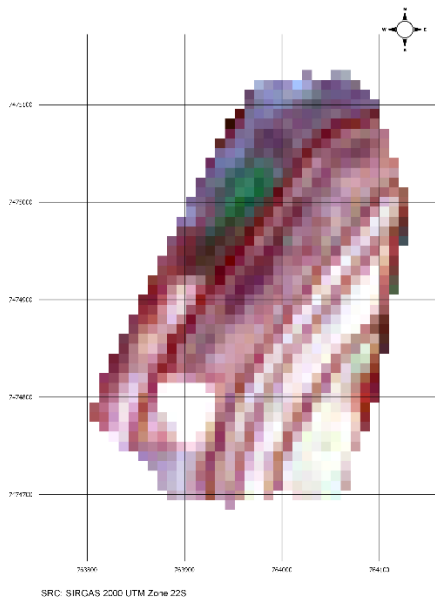
O levantamento foi realizado em duas partes, na primeira (Figura 6), parte da área ao norte teve uma irradiação em conjunto, assim a Estação Total e o RTK-GPS tiveram os mesmos pontos de levantamento, onde cada ponto coletado para um equipamento foi coletado para o outro.

Na segunda parte (parte da área norte e área sul) (Figura 7), tiveram uma irradiação executada somente pela Estação Total, conforme os croquis representados pelas Figuras 6 e 7.

A primeira parte serviu para aferir a precisão das metodologias de precisão (RTK – GPS, Estação Total) e as cartas, enquanto a segunda parte aferiu somente a precisão nas cartas topográficas.

Figura 6 – Imagem da Área Norte

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 7 – Imagem da Área Sul

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

3.3.2 Processamento dos Dados

3.3.2.1 Transferência dos Dados

Os dados da Estação Total foram descarregados com auxílio do *Translt*, assim como os dados do GPS *Hiper Lite* que foram descarregados por meio do *Topsurv* da Topcon, que pertence ao coletor FC-100 com sistema operacional Windows. Ambos dados do GPS e Estação Total foram importados no formato .txt com informações referentes as coordenadas. Os dados importados pelo GPS tiveram sua altimetria referente a altitude geométrica.

Os arquivos .txt tiveram a formatação interna da seguinte forma: ID (n° de identificação), X, Y, Z (coordenadas tridimensionais), CD (Código de classificação do ponto se existente) ou separados por outro caractere delimitador de coluna, nos quais a sequência pode ser alterada apenas nas colunas X e Y, que foram padronizadas no *OpenOffice Calc*.

Os dados da Estação Total foram processadas pelo *software OpenOffice Calc* para transformar as coordenadas plano local para coordenadas georreferenciadas, a fim de que as coordenadas obtidas tanto por GPS quanto pela estação Total possam ser correlacionadas.

3.3.2.2 Estação Total X GPS

Por meio da metodologia de translação e rotação, os dados da Estação Total foram ajustados pelos dados obtidos por RTK, ou seja, como os dados obtidos pela estação total estão em coordenadas plano locais, foi feita uma translação para que suas coordenadas estivessem Georreferenciadas no mesmo sistema de referência que os dados obtidos por RTK. Para o arraste foi utilizado como referência as coordenadas do marco do IBGE, de modo que, foram calculadas as diferenças para os valores de x, y e z obtidos de ambos os instrumentos.

Como o GPS é o instrumento de referência, o valor da diferença foi somado nas coordenadas obtidas pela estação total, em seus respectivos eixos. Para completar a

translação foi necessária a rotação dos dados da estação total (já que eles foram levantados arbitrariamente sem uma referência de Norte Verdadeiro), ou seja, para calcular o azimute de visada do marco auxiliar a partir do marco do IBGE, para as duas metodologias, usou-se as diferenças dos valores de X e Y (marco auxiliar menos o marco do IBGE) no cálculo de Arco Tangente, obtendo-se então os valores de azimute para ambos os equipamentos com relação ao caminhamento marco IBGE - marco AUX. A diferença entre estes valores de azimute é o ângulo pelo qual os dados da estação total devem ser rotacionados.

Para rotacionar todos os pontos da Estação Total, foram obtidas as distâncias horizontais de todos os pontos amostrais até o marco do IBGE, assim como os valores de azimute a partir deste mesmo marco, tornando possível acrescentar os valores de azimute pelo ângulo de rotação para cada ponto amostral, assim têm-se valores de azimutes rotacionados e distâncias horizontais. Por fim, para o total ajuste das coordenadas da estação total foram aplicadas as equações 1 e 2.

$$x_n = \sin AZ_{rot_n} * DH_n + x_{IBGE} \quad (1)$$

Onde: x_n é o valor de x transladado e rotacionado do ponto amostral n obtido pela estação total; AZ_{rot_n} é o valor de azimute do ponto amostral n em relação ao marco do IBGE acrescido do ângulo de rotação; DH_n é o valor da distância horizontal do ponto amostral n em relação ao marco do IBGE obtido por pitágoras; x_{IBGE} é o valor de x da coordenada do marco do IBGE.

$$y_n = \cos AZ_{rot_n} * DH_n + y_{IBGE} \quad (2)$$

Onde: y_n é o valor de y transladado e rotacionado do ponto amostral n obtido pela estação total; AZ_{rot_n} é o valor de azimute do ponto amostral n em relação ao marco do IBGE acrescido do ângulo de rotação; DH_n é o valor da distância horizontal do ponto amostral n em relação ao marco do IBGE obtido por pitágoras; y_{IBGE} é o valor de y da coordenada do marco do IBGE.

Para possibilitar a análise de precisão das coordenadas obtidas pela Estação Total

foi calculada a distância horizontal e altimétrica para cada ponto amostral pelos diferentes instrumentos. A análise foi feita por meio da aplicação do desvio padrão.

3.3.2.3 Geoestatística

A geoestatística foi utilizada na interpolação dos dados trasladados da Estação Total e validação dos dados e para isso fez-se o uso do programa *Surfer*, onde importou – se uma planilha de dados de um arquivo do tipo .txt com os dados de coordenadas dos pontos amostrais. No programa foi executada a função de variograma para valores residuais da altimetria em relação a uma superfície de tendência obtida por meio de uma regressão polinomial, onde é gerado um gráfico para análise da variabilidade dos valores de altimetria em relação a uma dada distância horizontal, a partir do qual é feita uma modelagem baseada em funções pré-definidas, que melhor descrevam essa variabilidade dos valores de altimetria em função da distância da amostra.

Estabelecido o modelo gaussiano para o variograma da área norte e o esférico para a área sul, foi possível aplicar, ainda no mesmo programa, a krigagem universal, método de interpolação que considera as tendências e variabilidade. Baseado numa superfície de tendência dos pontos amostrais foram obtidos valores residuais, os quais foram interpolados para depois serem somados à superfície de tendência.

Com isso foram gerados mapas que representam ponto a ponto a altimetria da área de estudo como um todo, assim como mapas de desvio padrão baseados na distribuição amostral e informações do variograma, sendo necessário ainda a validação do método de interpolação para análise da variabilidade dos valores estimados.

A validação cruzada foi feita pelo programa *surfer*, o qual gerou um relatório com informações relativas à krigagem para interpolação dos dados altimétricos, que foram, dentre outras, as medianas e quartis do erro, assim como os valores residuais em uma planilha, e para o erro médio foi necessário o *OpenOffice Calc*. A execução foi feita a partir da retirada de pontos amostrais do conjunto, para a obtenção de dois valores para cada ponto, um valor estimado e outro medido, chegando-se assim a um conjunto de valores residuais.

Os mapas gerados pelo programa *Surfer* foram exportados no formato ESRI

shapefile .shp.

3.3.2.4 QGIS

Após realizado o levantamento dos dados de campo, foram obtidas de forma digital as cartas topográficas do IGC e IBGE, as quais tiveram o georreferenciamento digitalizados e devidamente projetados para o SRC SIRGAS 2000 pelo QGIS, para posterior vetorização em arquivos do tipo *shape*.

A carta topográfica do IGC foi obtida pelo site geoportal do IGC pelo seguinte endereço <http://geoportal.igc.sp.gov.br:8080/GeoPortalIGC/Internet/> , enquanto a carta do IBGE foi obtida pelo site do IBGE pelo endereço URL ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/bo_tucatu27353.pdf.

Os mapas vetores em curvas de nível tanto pela krigagem quanto pela vetorização das cartas foram transformados de linhas para pontos pela extração de nós, possibilitando a interpolação dos dados pela ferramenta *multilevel with b spline refinement*, obtendo-se um mapa raster para cada método de medição planialtimétrica, os quais tiveram uma faixa de bordadura de 30 m removidas a fim de desconsiderar possíveis efeitos de bordadura.

Os mapas rasters foram utilizados para a geração de mapas residuais absolutos, obtidos pela diferença direta dos valores de altimetria, e também para a geração de mapas de declividade que foram utilizados para mapas residuais, em que fez-se a diferença da declividade obtida pelas cartas e a declividade obtida pela estação total.

3.3.3 Traçado de Perfis Altimétricos

Os mapas em formato raster já georreferenciados foram utilizados para comparação dos perfis altimétricos. Para tanto foram traçadas quatro linhas nas áreas norte e sul, as quais foram utilizadas para selecionar cortes transversais em cada mapa, a fim de visualizar na mesma linha de perfil, as diferenças de altitude em cada distância horizontal estabelecida nos diferentes mapas, assim como, foi feita também a diferença de valor da

declividade para todos os métodos.

As análises realizadas foram feitas por meio de mapas residuais, que são resultado das diferenças entre os mapas obtidos por instrumentos de precisão e as cartas, possibilitando a visualização da precisão das cartas em metros. A partir dos pontos de máxima dos perfis altimétricos das cartas foi possível analisar o deslocamento planimétrico destas pelos divisores de água.

Sabendo que o aerolevanteamento foi realizado a algumas décadas atrás, deve-se ter como hipótese, que se esse deslocamento existe pode ter diferentes causas além do erro de georreferenciamento do aerolevanteamento, por exemplo, processos erosivos, deslocamento de terra por mecanização, entre outros. Uma outra análise foi feita pela obtenção de mapas residuais de declividade, variável muito utilizada pela Engenharia Agrônômica na determinação de áreas mecanizáveis, locação de terraços de conservação de solo e aptidão agrícola.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio da metodologia aplicada estão expostos nos itens abaixo.

4.1 Banco de Dados

Compõem o banco de dados todos mapas, tabelas, gráficos e valores obtidos, gerados, medidos ou calculados durante este trabalho, os quais permitiram observações, análises, discussões e conclusões a respeito da metodologia aplicada.

4.1.1 Dados de Campo e Dados de Processamento

Para a comparação entre as metodologias RTK e Estação Total foram utilizados 18 pontos amostrais coletados na área de estudo norte, os quais geraram valores de resíduos horizontais e verticais pela diferença dos instrumentos para cada ponto amostral, representados pela Tabela 2.

Tabela 2 - Valores residuais de coordenadas - RTK versus Estação Total

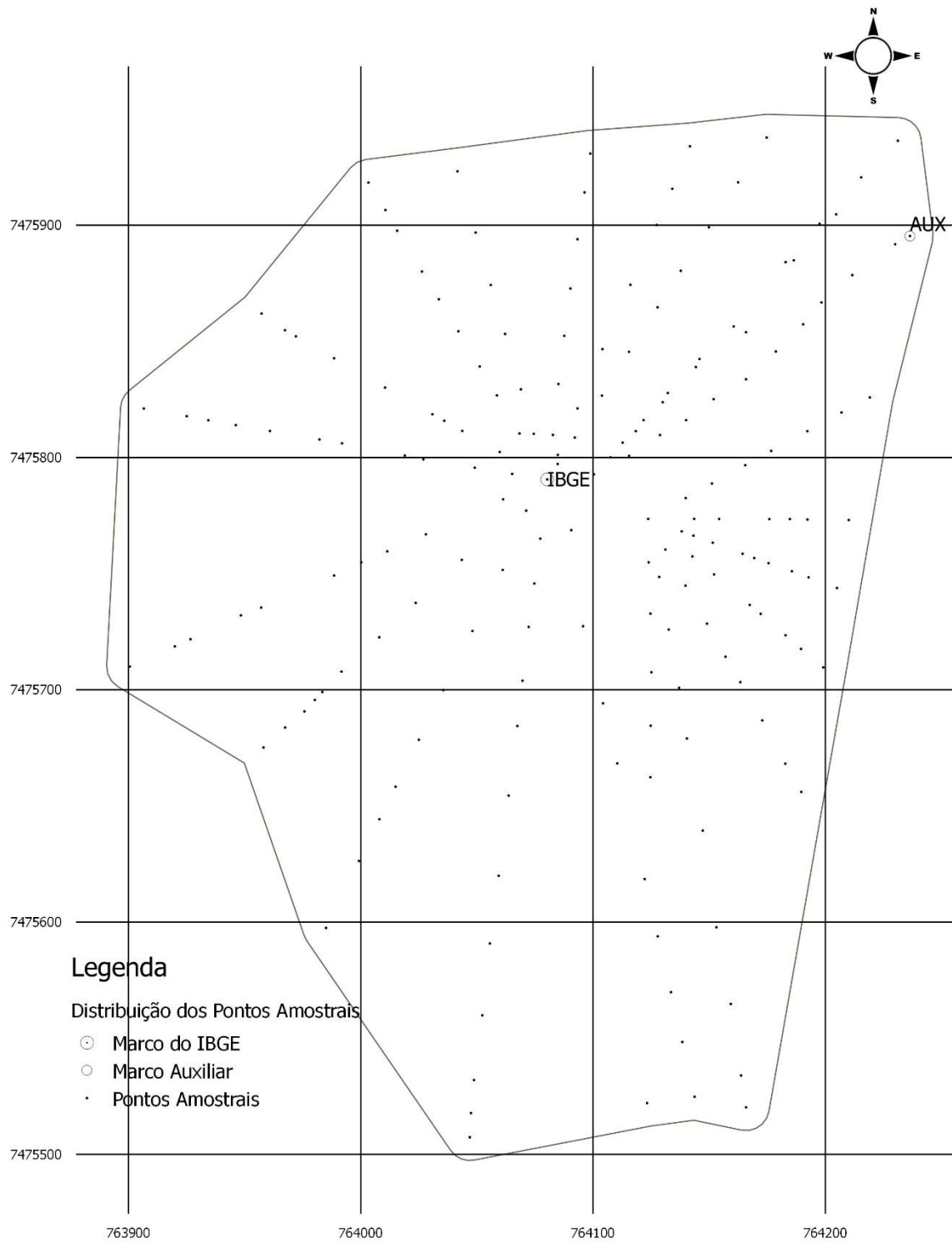
Residual Horizontal (m)	Residual altimétrico (m)
0.000	0.000
0.062	0.124
0.067	0.137
0.052	0.133
0.046	0.139
0.055	0.128
0.029	0.120
0.020	0.141
0.036	0.130
0.034	0.126
0.017	0.128
0.005	0.100
0.017	0.110
0.020	0.121
0.018	0.118
0.034	0.135

Residual Horizontal (m)	Residual altimétrico (m)
0.083	0.159
0.056	0.134
0.056	0.131
0.067	0.133
0.080	0.121
0.005	0.091

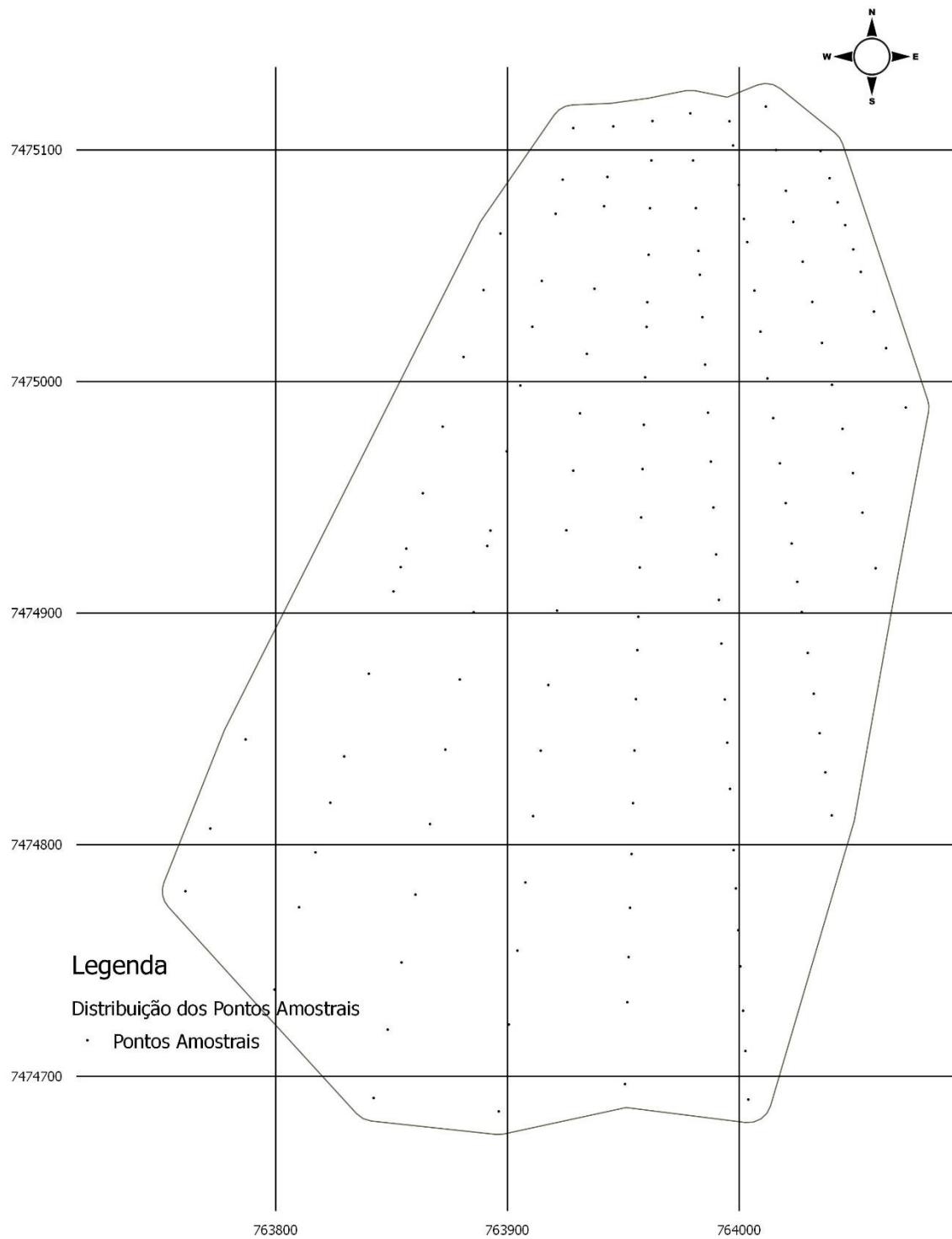
Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Para os dados acima, os valores de desvios padrão para distância horizontal e vertical foram respectivamente 0,025 e 0,030 metros, o que representa uma proximidade dos dados obtidos por ambos equipamentos, destaca-se que uma fonte de erros no levantamento para ambos equipamentos é o erro humano, pois este foi executado sem bipé. Esses valores concordam com Kisil e Tisor (2011) mostrando a acurácia de ambos equipamentos para realização de trabalhos topográficos confiáveis. Mesmo a metodologia de análise sendo diferente daquela utilizada pelo autor acima, foi possível verificar uma correlação semelhante entre os valores de altimetria.

O levantamento topográfico feito pela Estação Total nas áreas norte e sul tiveram para altimetria respectivamente 190 e 135 pontos amostrais para interpolação, representados pelas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Mapa Dispersão de Pontos Amostrais Norte da Estação Total

SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Figura 9 - Mapa Dispersão de Pontos Amostrais Sul da Estação Total

SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

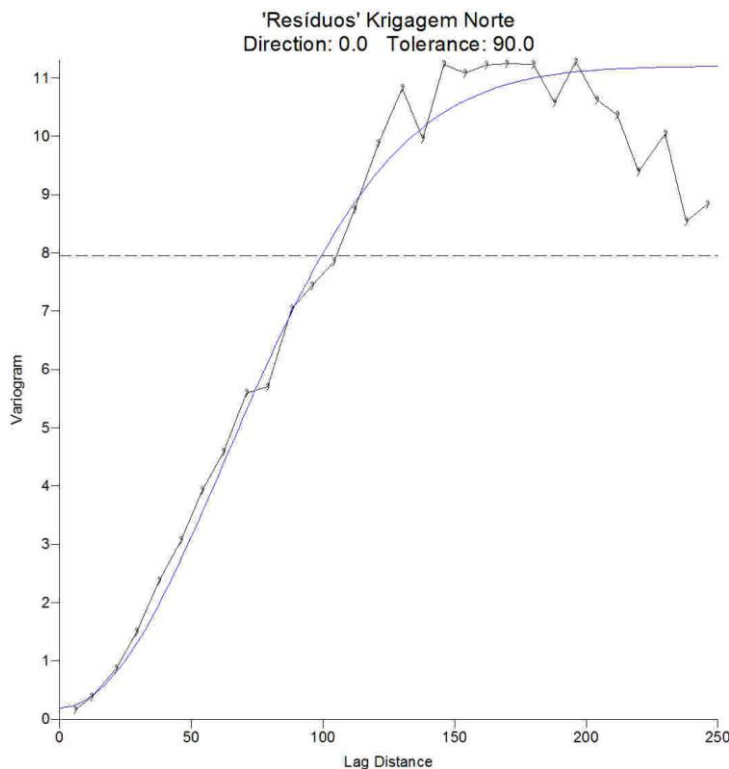
4.1.2 Processamento dos Mapas

A partir da Krigagem Universal aplicada nos pontos amostrais das áreas norte e sul obtiveram-se os mapas topográficos descritos nas Figuras 12 e 13. Para a execução da krigagem Universal foram gerados os variogramas dos resíduos (superfície de tendência), Figuras 10 e 11, que tiveram parâmetros que melhor se ajustaram.

Para a área norte foram adotadas componentes do tipo efeito pepita com erro de variância de 0,1 m e modelo Gaussiano com variância espacial de 11 m e amplitude de 90 m; Para a área sul foram adotadas componentes do tipo efeito pepita com erro de variância de 0,1 m e modelo esférico com efeito pepita de 0.15 m, variância espacial de 3,3 m e amplitude de 280 m.

O modelo que melhor se ajustou no variograma norte foi o gaussiano, e para a área sul foi o esférico, que segundo Kisil e Tisor (2011) são os que melhor se ajustam em dados topográficos.

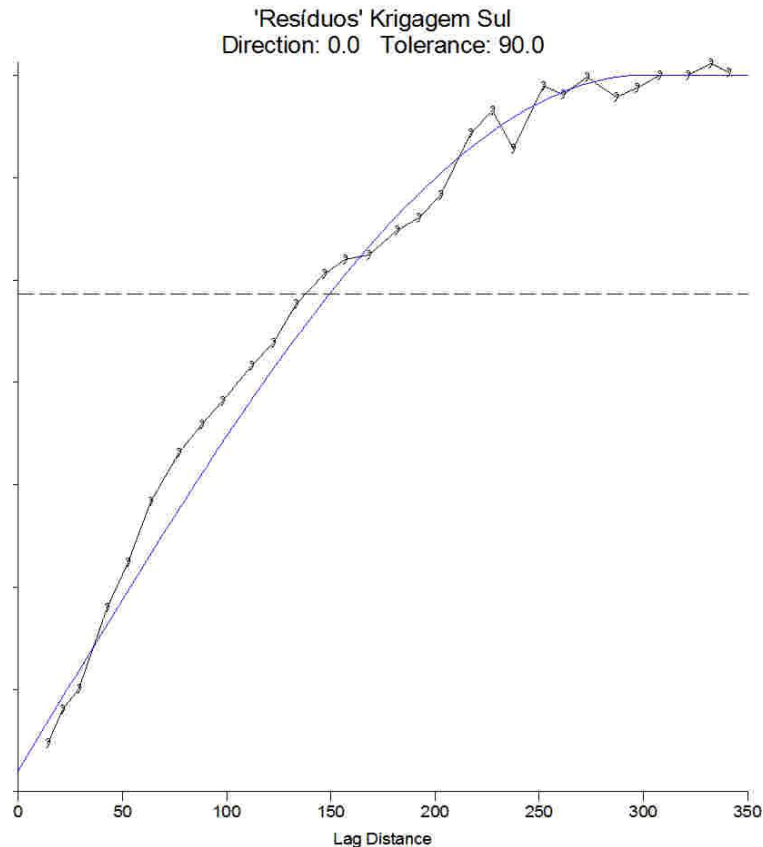
Figura 10 – Variograma Área Norte Estação Total



Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Os variogramas indicam uma alta dependência espacial para dados altimétricos, enquanto que o efeito pepita baixo indica um bom sinal para a predição dos valores interpolados e uma baixa rugosidade do terreno.

Figura 11 – Variograma Área Sul Estação Total



Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

A ferramenta de krigagem também gerou relatórios a respeito da validação cruzada, que para a área norte obtiveram-se valores de variância, desvio padrão e erro médio respectivamente de 0,22; 0,47; 0,007 para os valores residuais de z. A área sul teve valores de variância, desvio padrão e erro médio respectivamente de 0,11; 0,33; 0,014. A correlação entre os valores observados de altimetria e os estimados de altimetria tiveram para a área norte e sul respectivamente 0,986 e 0,970.

Baseado na metodologia de validação cruzada vale ressaltar que os valores residuais de z são obtidos pela diferença entre o valor estimado e o valor real de cada

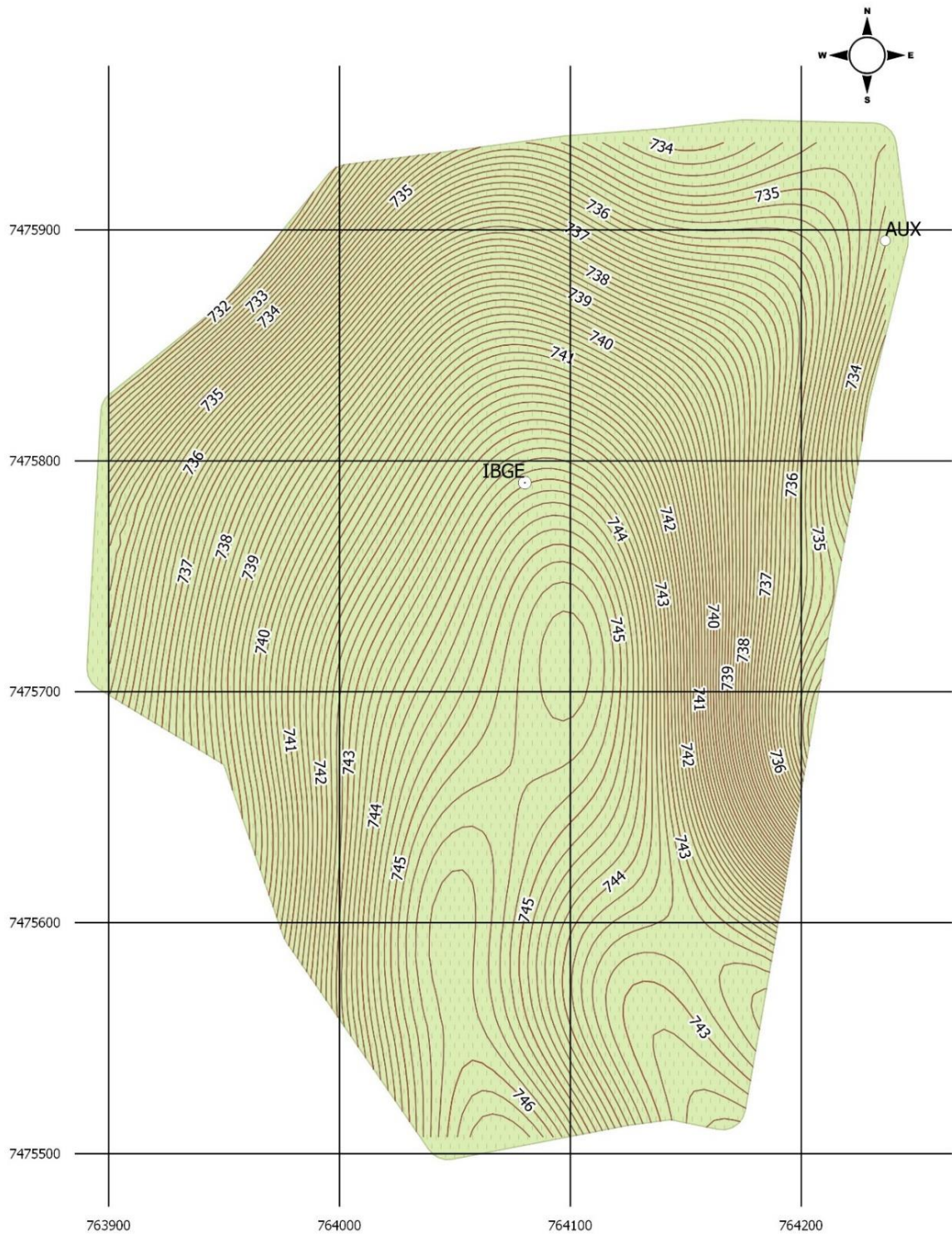
ponto amostral. Por meio dos variogramas obtidos é possível saber que quanto maior a distância de um ponto estimado em relação a uma amostra, maior a variância do valor de altimetria neste ponto. Por estas informações é possível deduzir que a variância obtida pela validação cruzada é maior do que aquela dos pontos estimados pela krigagem, pois ao retirar um ponto do conjunto amostral para validação, a estimativa deste ponto terá como base os pontos amostrais circunvizinhos que estão a uma distância maior que aqueles estimados sem a retirada de um ponto.

Os mapas obtidos pela Estação Total tem como equidistância vertical de 20 centímetros, Figuras 12 e 13, indicando uma riqueza de detalhes superior àqueles obtidos pelas cartas.

Os dados vetorizados das cartas do IBGE e IGC estão representados pelos mapas nas Figuras 14 e 15, onde é possível observar as curvas de nível com equidistância vertical de 20 e 5 m já indicando uma maior riqueza de detalhes na carta do IGC em relação a do IBGE. Outra observação é a diferença altimétrica entre as duas cartas, que na carta do IGC vê-se picos variando de 754 a 756 m enquanto que a carta do IBGE tem picos de 784 e 785 m, onde é necessário destacar que a carta do IBGE tem como Datum altimétrico o marégrafo de Imbituba – SC, enquanto a carta do IGC foi disponibilizada no SRC SIRGAS 2000, porém não é indicada se a referência altimétrica é geométrica ou ortométrica.

Os gráficos de perfil gerados a partir das diferentes metodologias estão representados nas Figuras de 16 a 19, onde o eixo das abscissas representam a distância horizontal e o eixo das ordenadas representa os valores de altimetria.

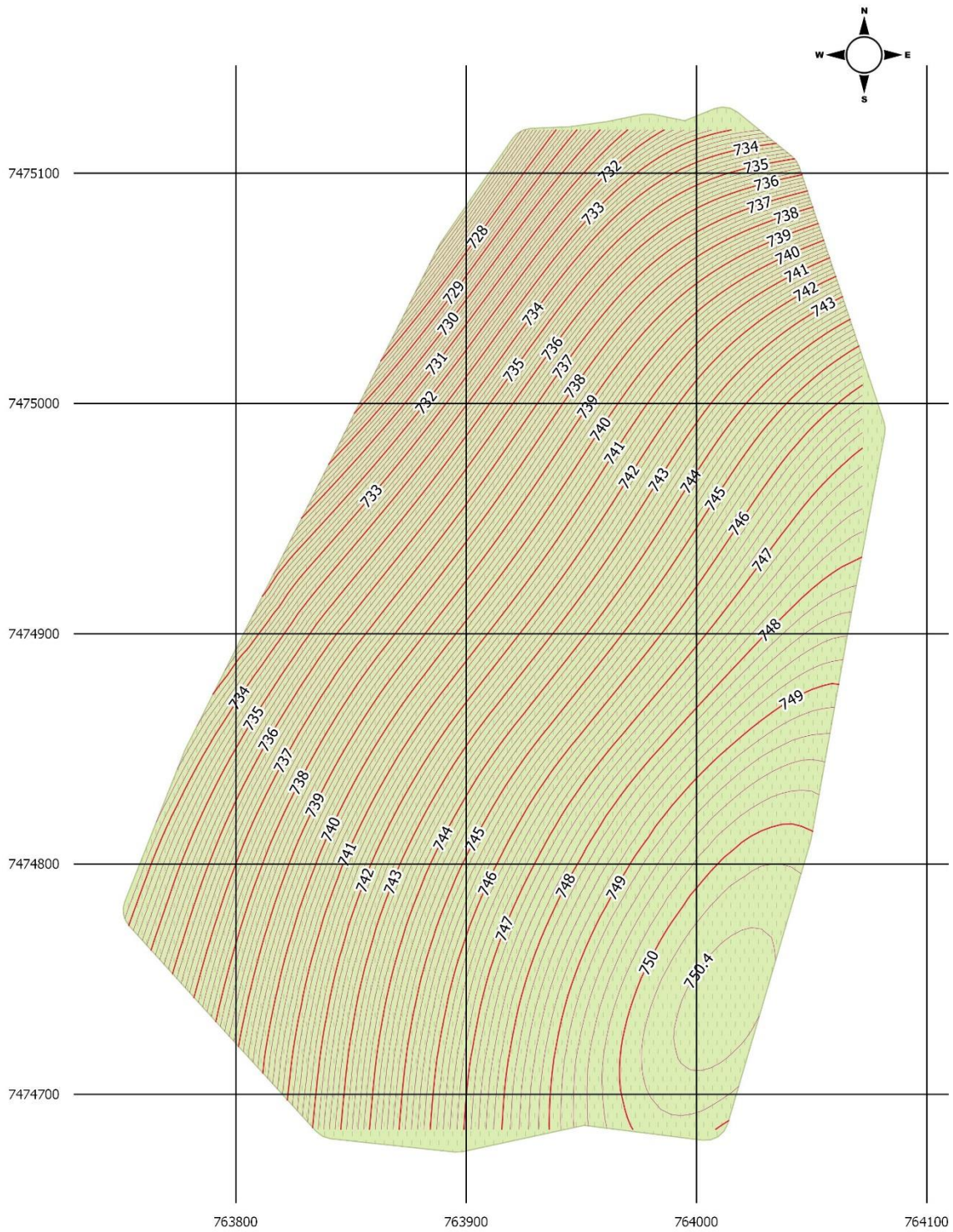
Figura 12 - Mapa Topográfico da Área Norte por Estação Total



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

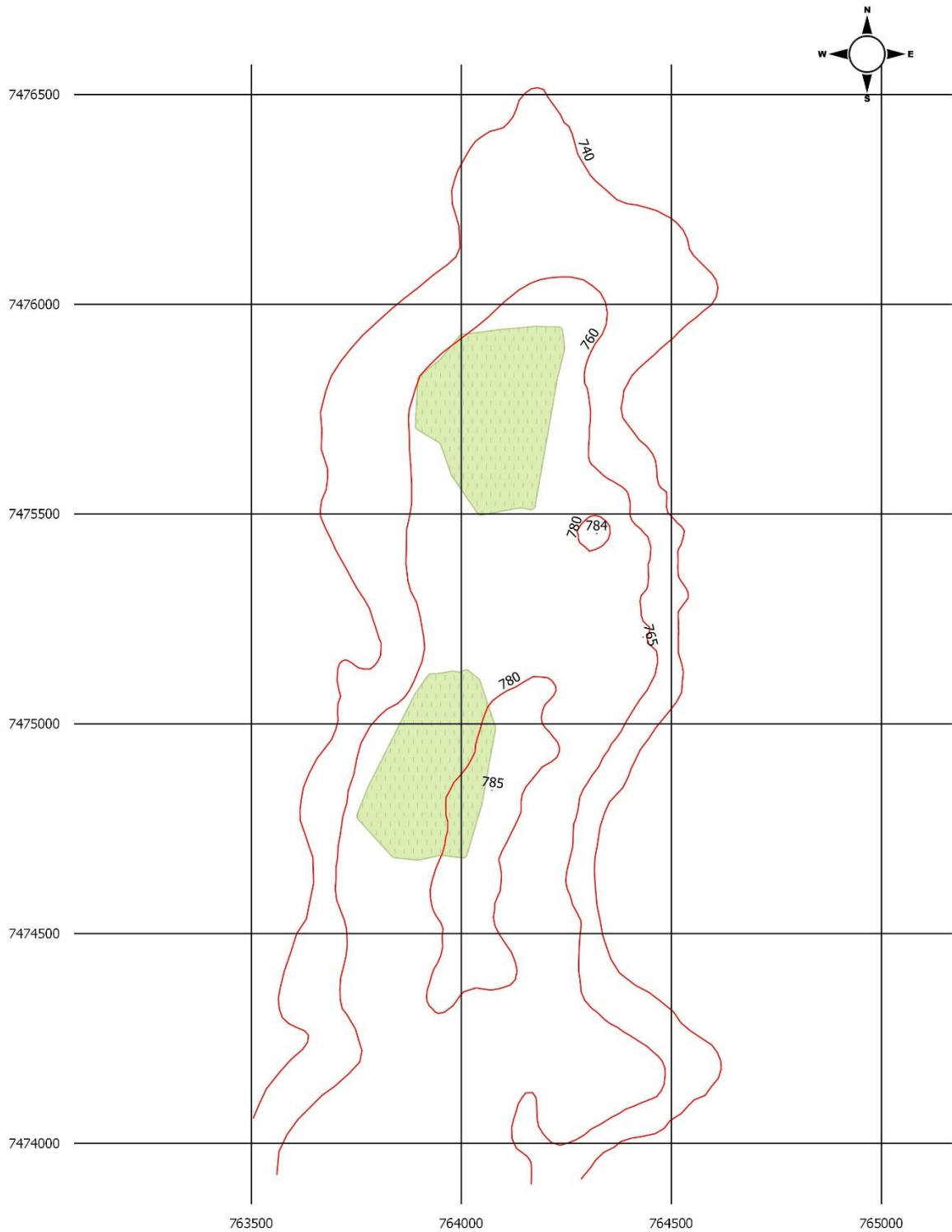
Figura 13 - Mapa Topográfico da Área Sul por Estação Total



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

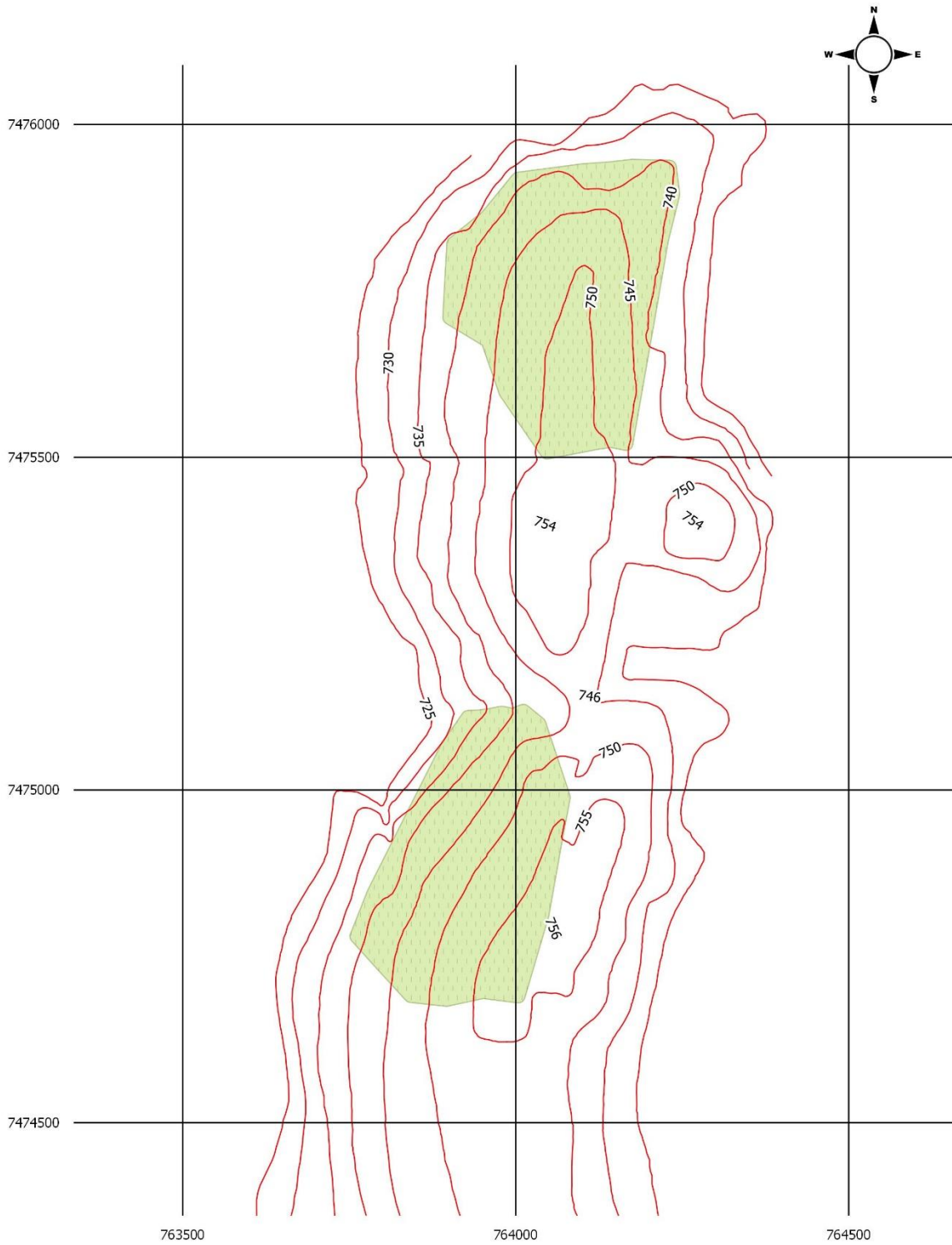
Figura 14 - Mapa Topográfico das Áreas Norte e Sul pela carta do IBGE



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

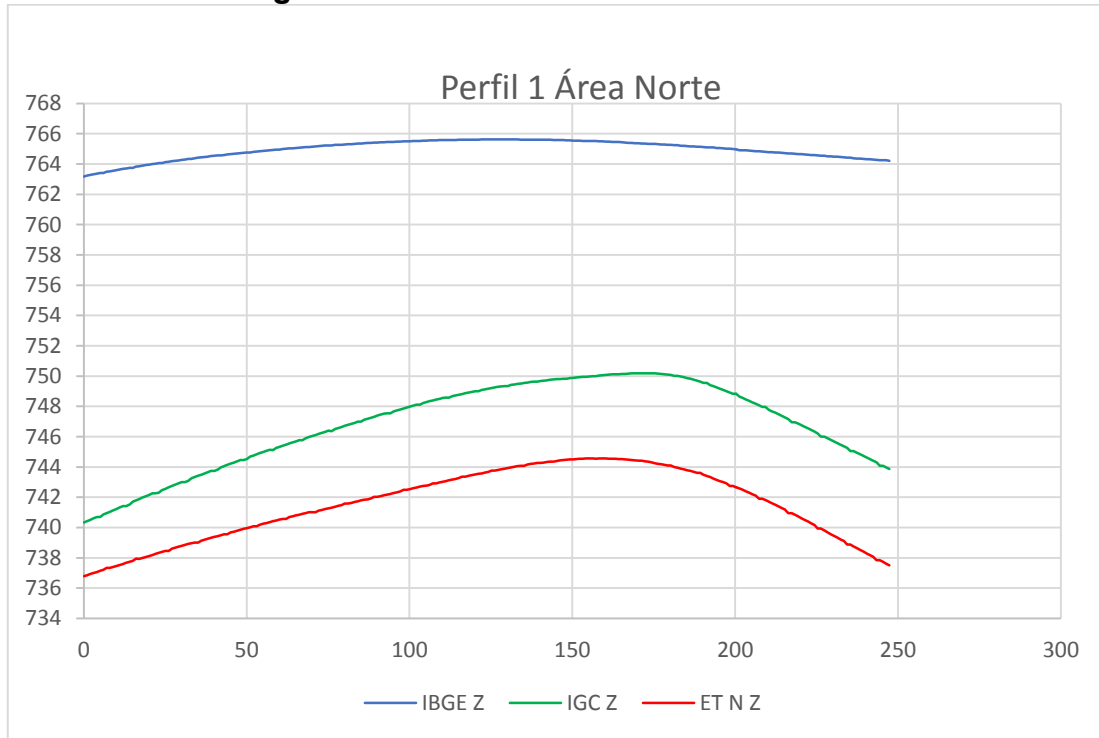
Figura 15 - Mapa Topográfico das Áreas Norte e Sul pela carta do IGC



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

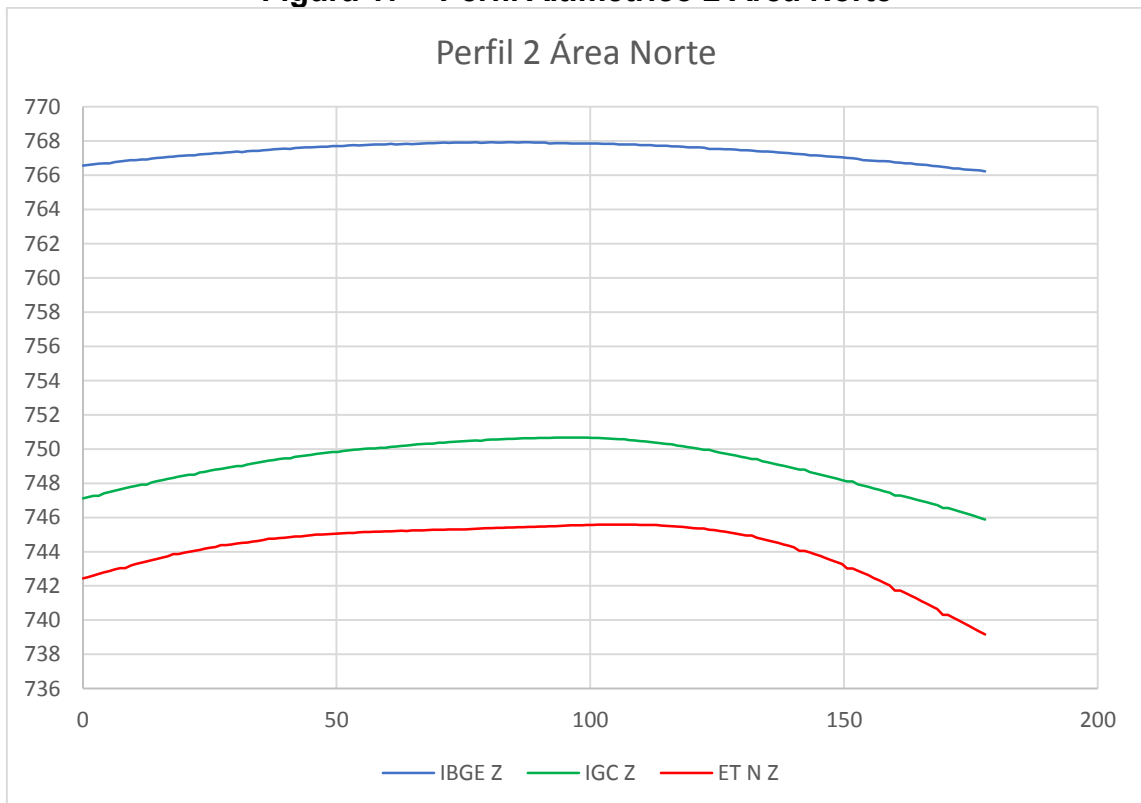
Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 16 – Perfil Altimétrico 1 Área Norte



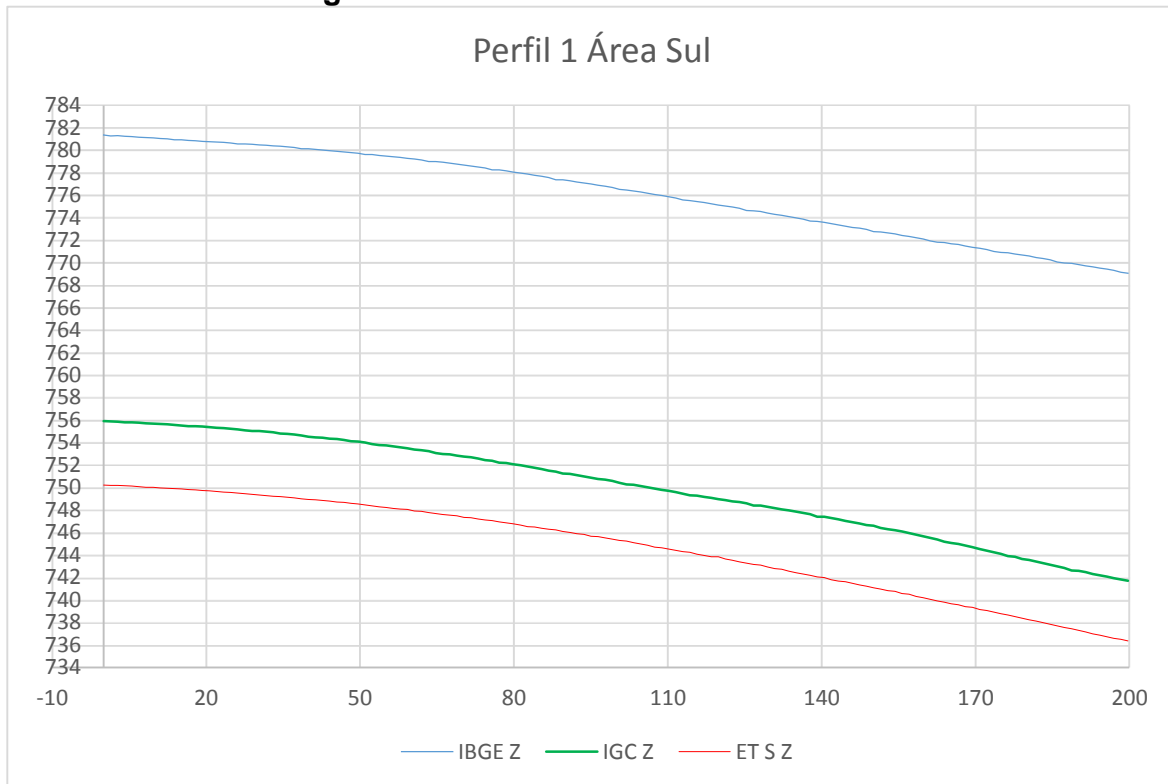
Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 17 – Perfil Altimétrico 2 Área Norte



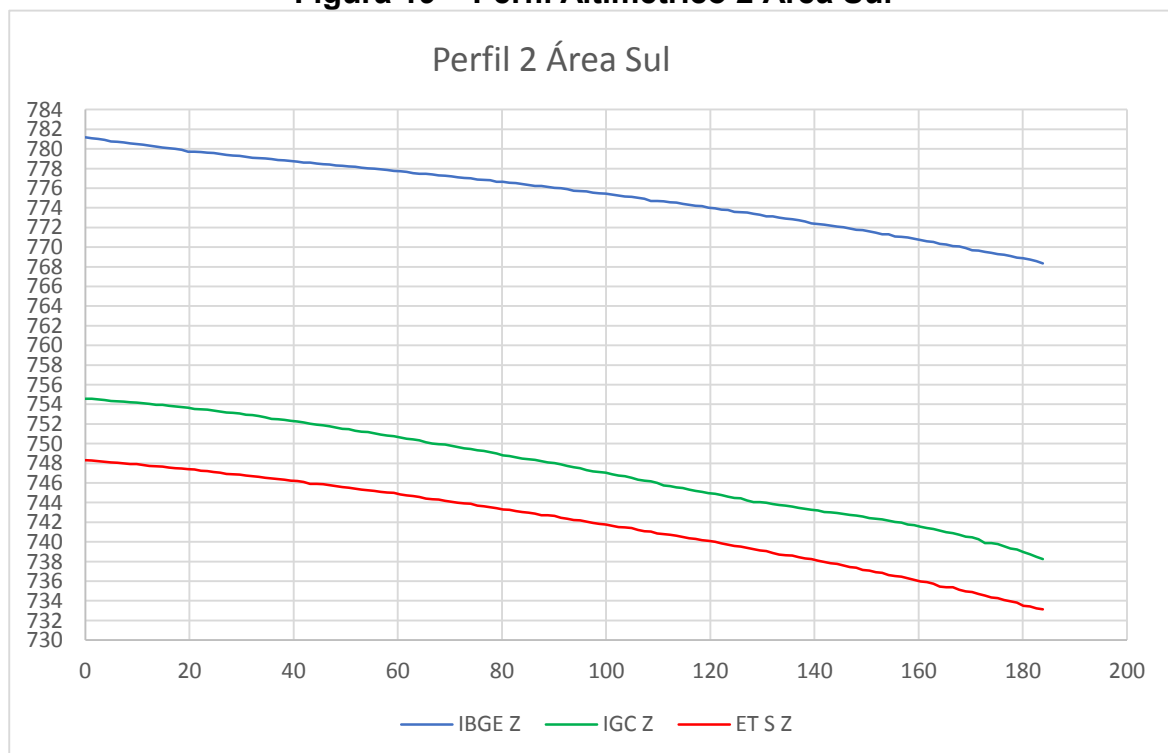
Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 18 – Perfil Altimétrico 1 Área Sul



Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 19 – Perfil Altimétrico 2 Área Sul



Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

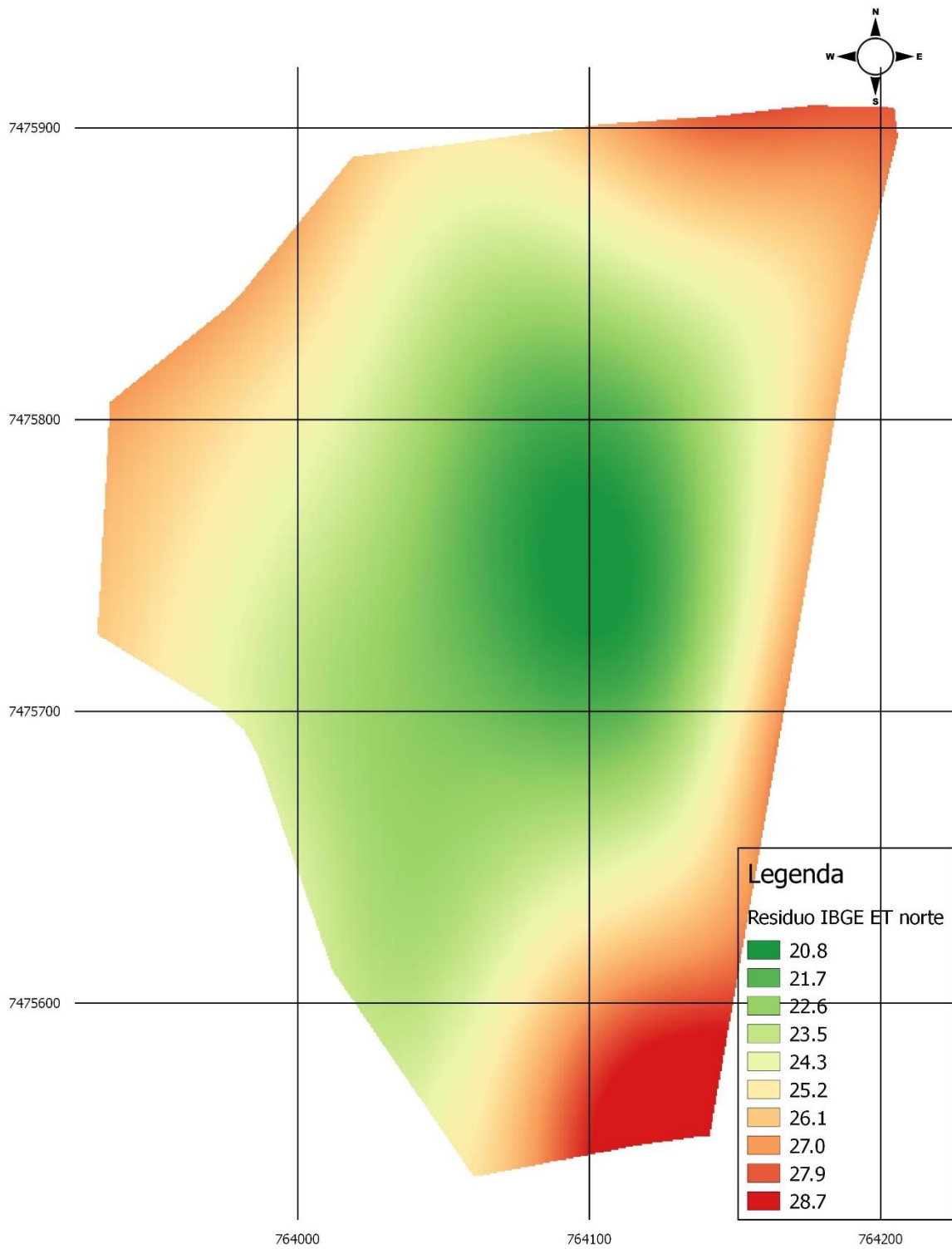
Os gráficos de perfil altimétrico permitem uma visualização dos valores de altimetria obtidos pelos diferentes métodos de levantamento topográfico ao longo de uma distância horizontal para comparação dos métodos. Os quatro gráficos mostram em consonância que os valores altimétricos obtidos pela carta do IBGE superestimam os valores em relação aos altimétricos tanto geométricos (elipsoide), quanto ortométricos (Geóide). É possível observar também que os valores altimétricos obtidos pela carta do IGC superestimam os altimétricos geométricos e se aproximam, embora não coincidam, do ortométrico pois a ondulação geoidal tem valor de -5,58 m em relação ao elipsoide.

Pela análise comparativa das áreas norte e sul é possível observar que a área norte é mais acidentada em relação a sul e que os pontos de máxima na área norte não coincidem, indicando uma variação horizontal de divisores de água ou linha de cumeada. A carta do IBGE teve uma variação nos pontos de máxima dos perfis 1 e 2 da área norte em aproximadamente 27 e 24 m na horizontal, enquanto a carta do IGC teve uma variação de 15 e 8,4 m na horizontal, obtidas no *OpenOffice Calc* pela simples ordenação dos pontos de maior altimetria para os de menor, dessa forma é possível medir a distância horizontal entre os pontos de máxima obtidos pelos diferentes métodos.

De acordo com o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (2013) as linhas de cumeadas são utilizadas como limites naturais de confrontação no registro de imóveis rurais e de acordo com INCRA (2013) a precisão máxima aceitável para determinação de vértices naturais é de 3 m quando acessíveis e 7,5 m quando não acessíveis).

Os mapas apresentados pelas Figuras 20 até 23 representam a diferença entre as altimetrias obtidas por cartas topográficas e as obtidas por levantamento topográfico por Estação Total. Dessa forma pode-se observar que cada mapa residual absoluto (diferença de valores absolutos de altimetria) apresentou variações ao longo da área de estudo, indicando que a morfometria obtida pelas cartas difere da obtida pela Estação Total.

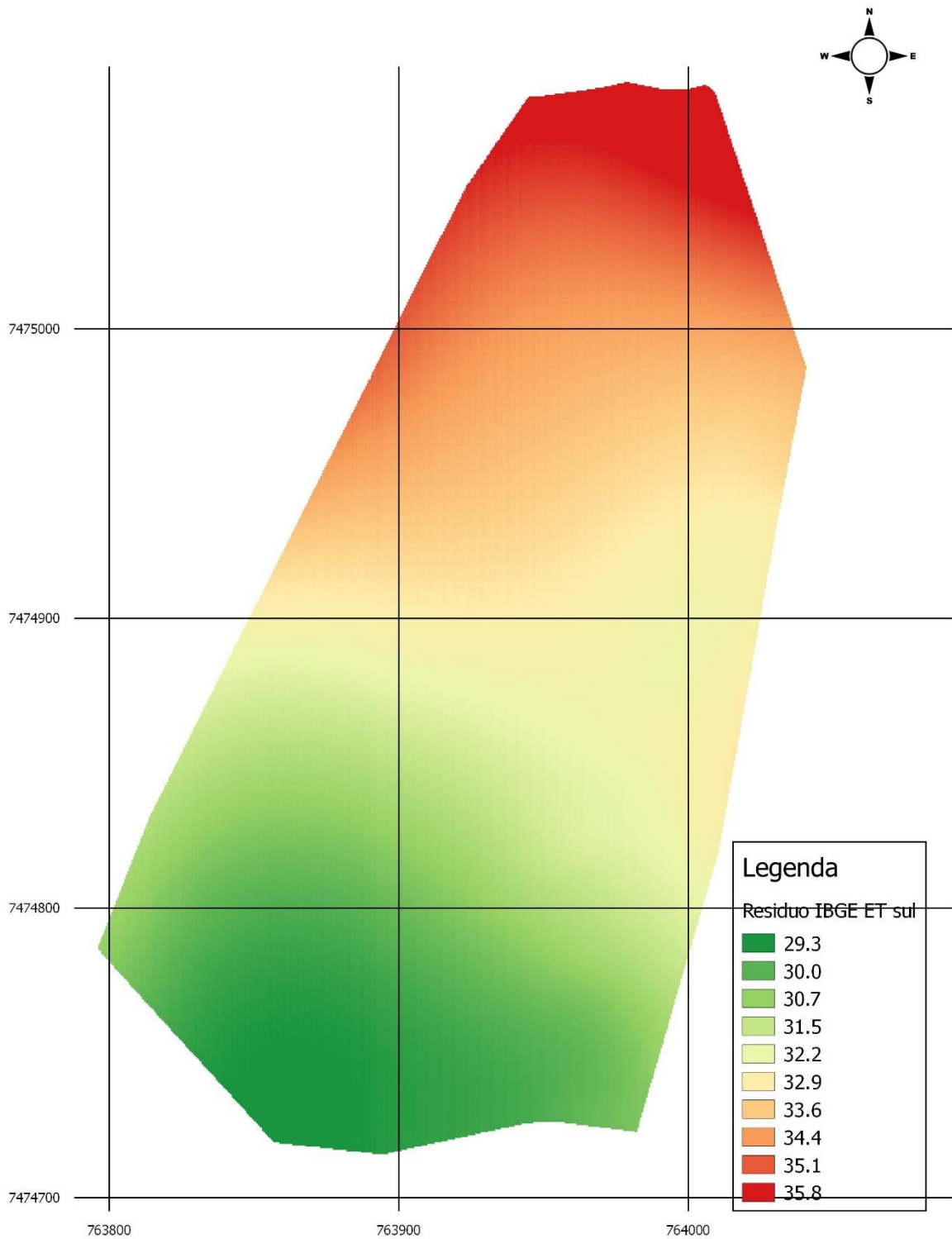
Figura 20 - Mapa Residual IBGE X ET Norte



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

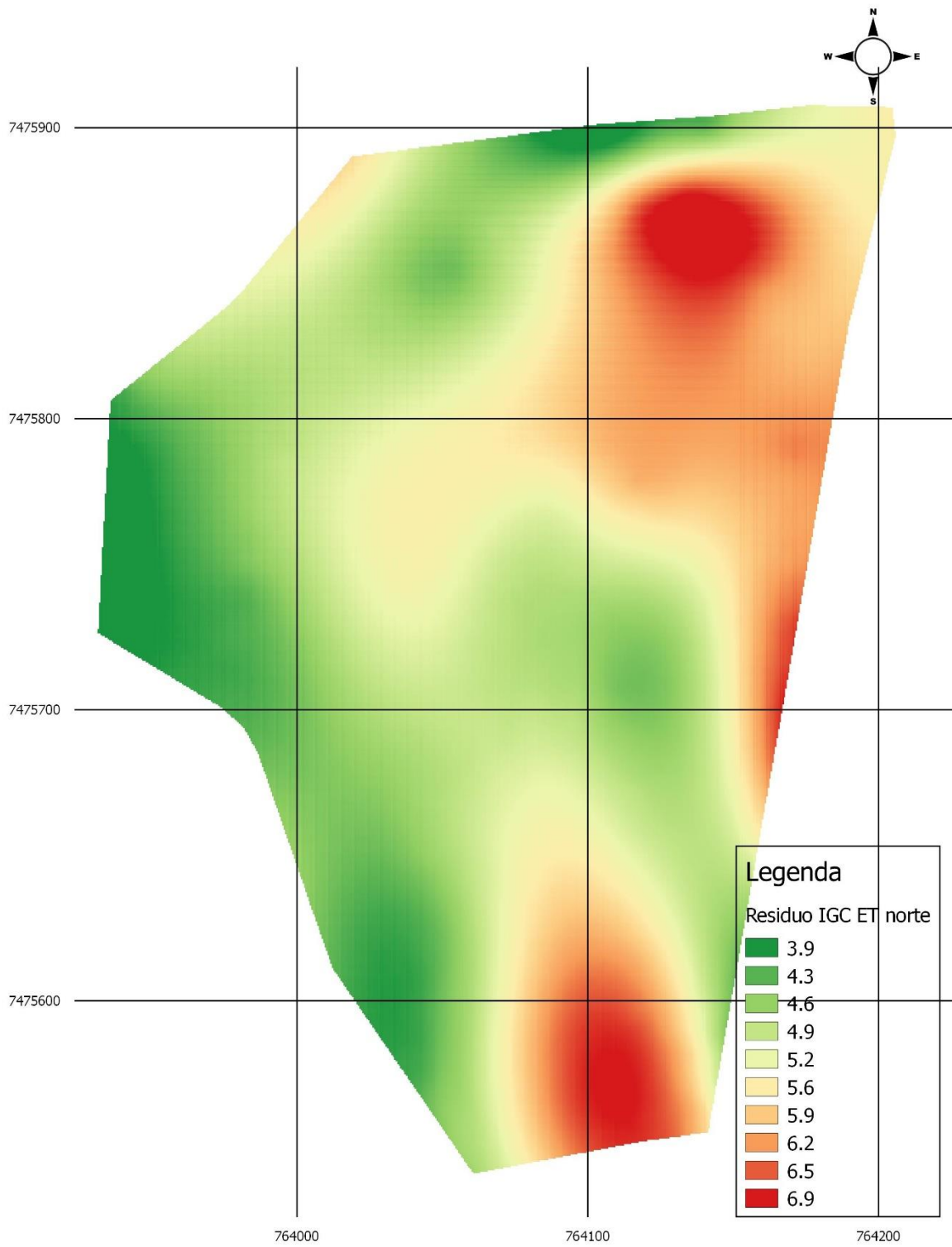
Figura 21 - Mapa Residual IBGE X ET Sul



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

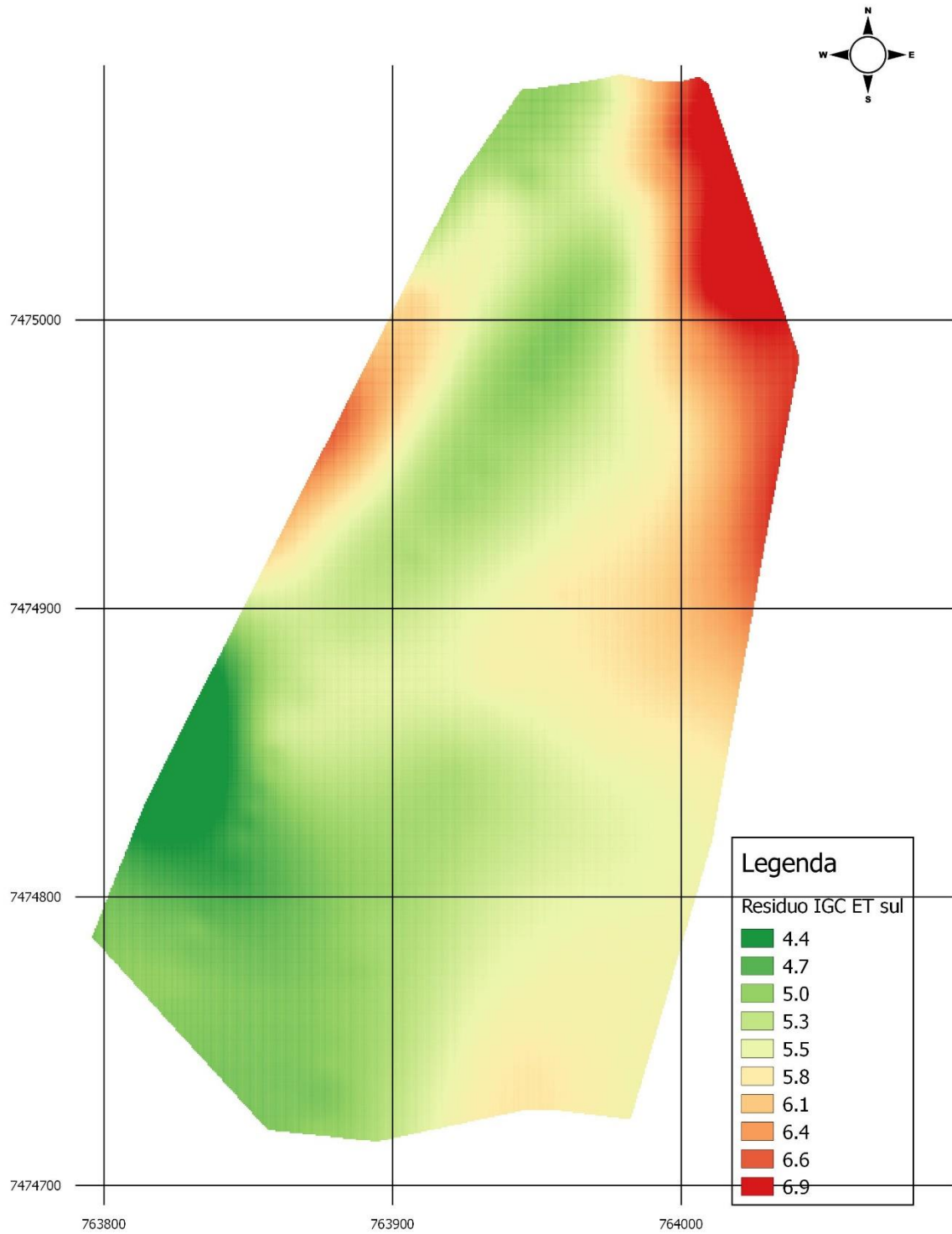
Figura 22 - Mapa Residual IGC X ET Norte



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 23 - Mapa Residual IGC X ET Sul



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Os mapas residuais da carta do IBGE tiveram variações de 8 e 7 m para as áreas norte e sul e os mapas residuais da carta do IGC tiveram variações de 3 e 2,5 m para as áreas norte e sul, o que indica um resultado mais próximo da superfície real em razão do melhor detalhamento da carta que possui equidistância vertical menor, o que não exclui a presença de um erro para declividade.

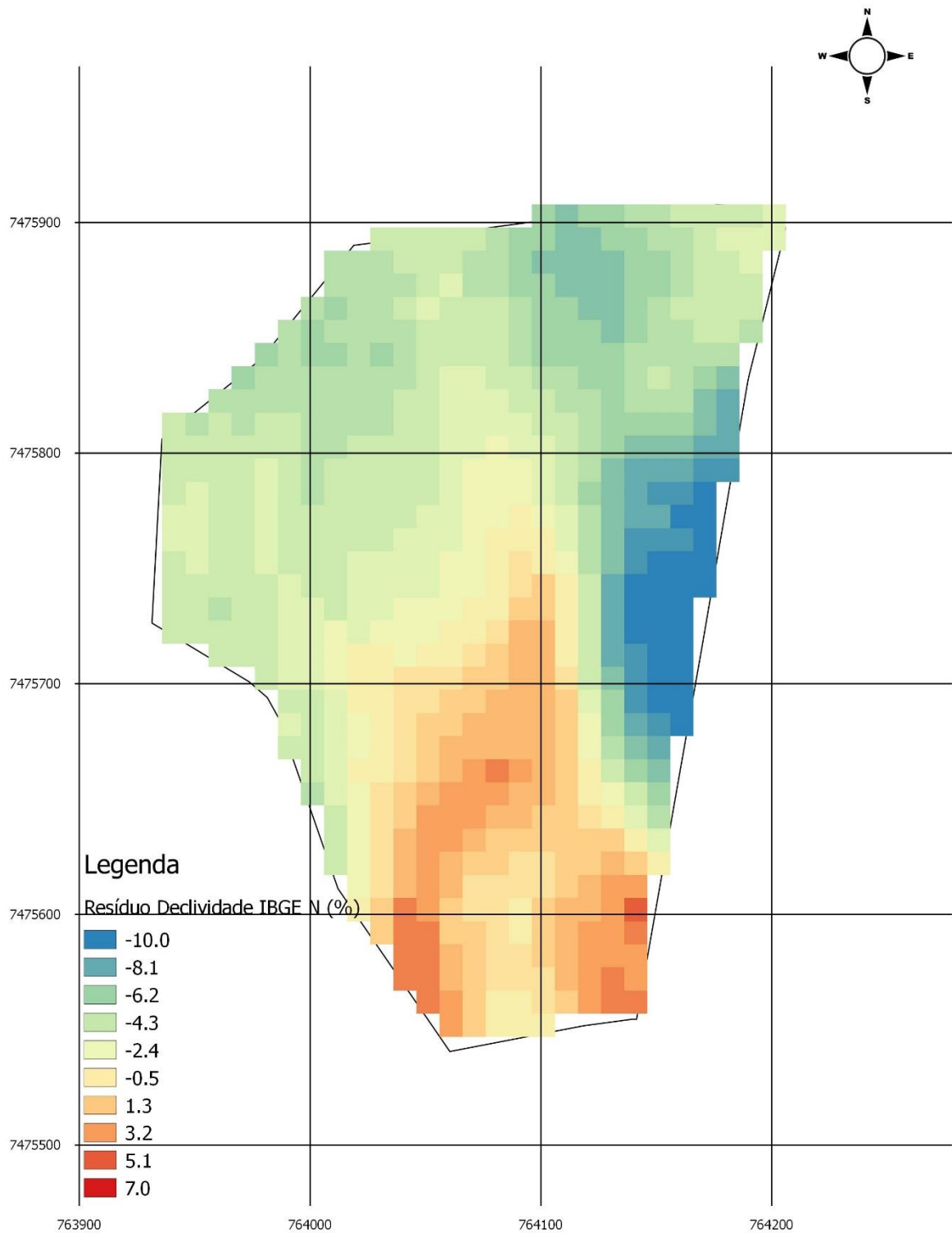
Pela análise dos gráficos de perfil é possível perceber que a área norte é mais acidentada que a área sul e para ambas as cartas o mapa residual teve uma maior variação na área norte que na sul, é possível verificar, portanto, que na área mais acidentada tiveram mais erros nos levantamentos aerofotogramétricos, concordando com Barros (1985), que afirma existir uma maior sensibilidade dos erros médios verticais absolutos ao traçar curvas de nível por meio de estereoscópio em terrenos mais acidentados.

As Figuras de 24 a 27 representam os mapas residuais de declividade, os quais estão classificados em porcentagens que variam conforme as declividades obtidas por meio das altimetrias das cartas, que diferem da declividade obtida pela altimetria dos mapas norte e sul por Estação Total.

É possível observar que no mapa residual de declividade pela carta do IBGE norte, Figura 24, indica valores que chegam a uma diferença de -10% em relação ao obtido pela estação total. Essa diferença na declividade pode fazer com que uma área seja equivocadamente classificada, e que, para classificação quanto a aptidão agrícola, essas áreas possam ser classificadas como aptas para determinada cultura enquanto não o são.

Os mapas residuais de declividade das cartas do IGC norte e sul e IBGE sul indicam a existência de áreas foco com diferenças de pelo menos 3% para mais ou para menos, valores que podem levar a uma classificação errônea para aptidão agrícola.

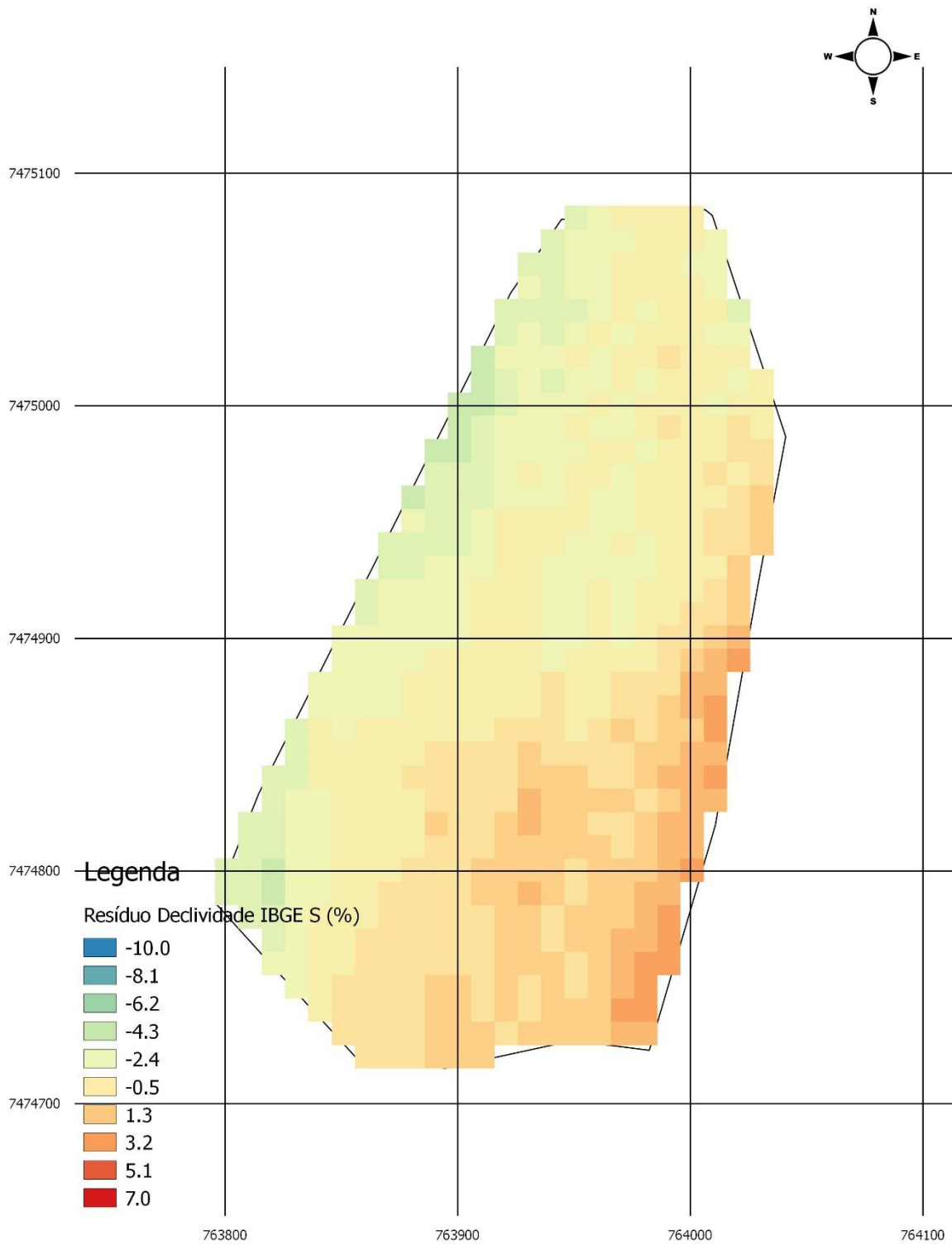
Figura 24 - Mapa Residual de Declividade IBGE X ET Norte



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

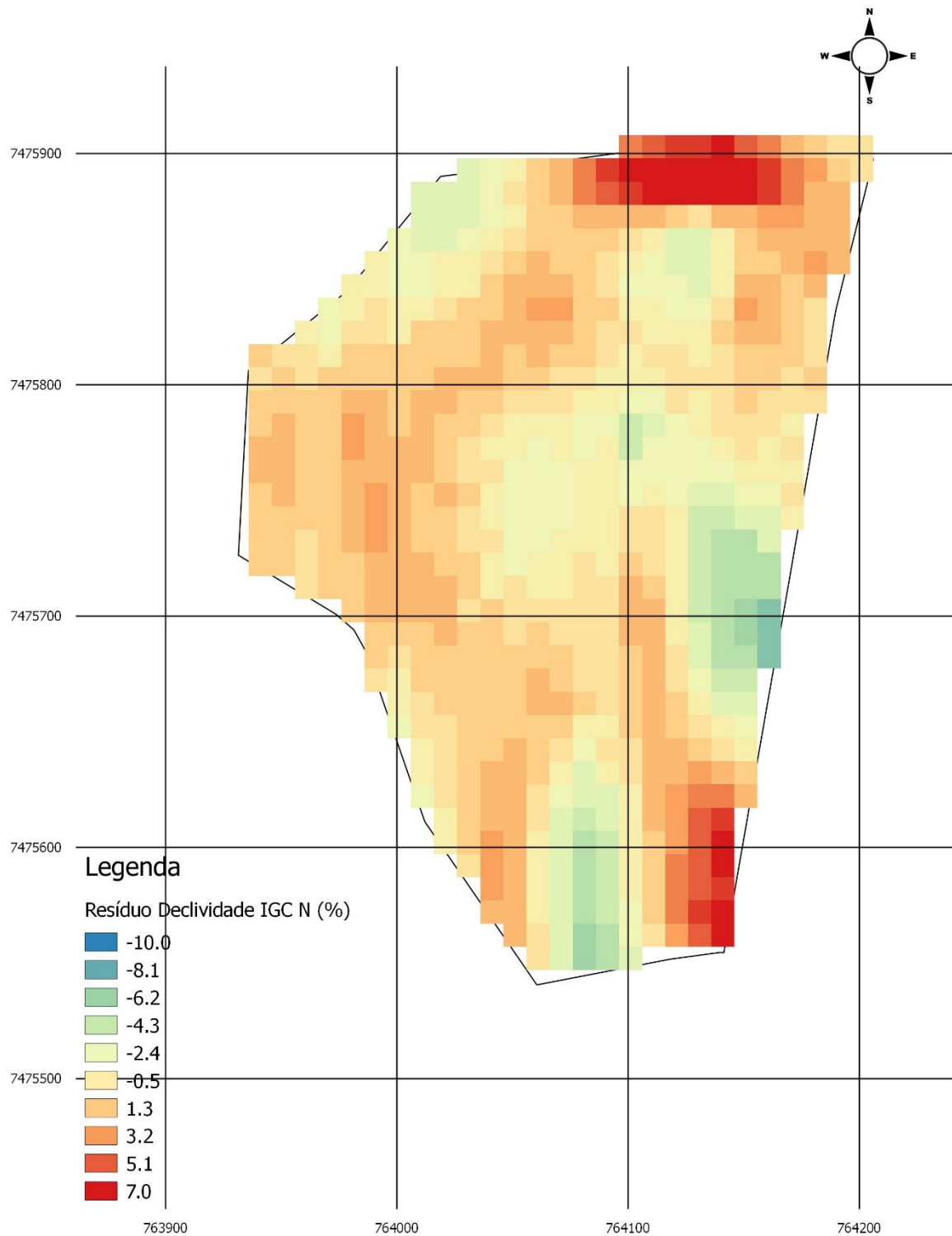
Figura 25 - Mapa Residual de Declividade IBGE X ET Sul



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

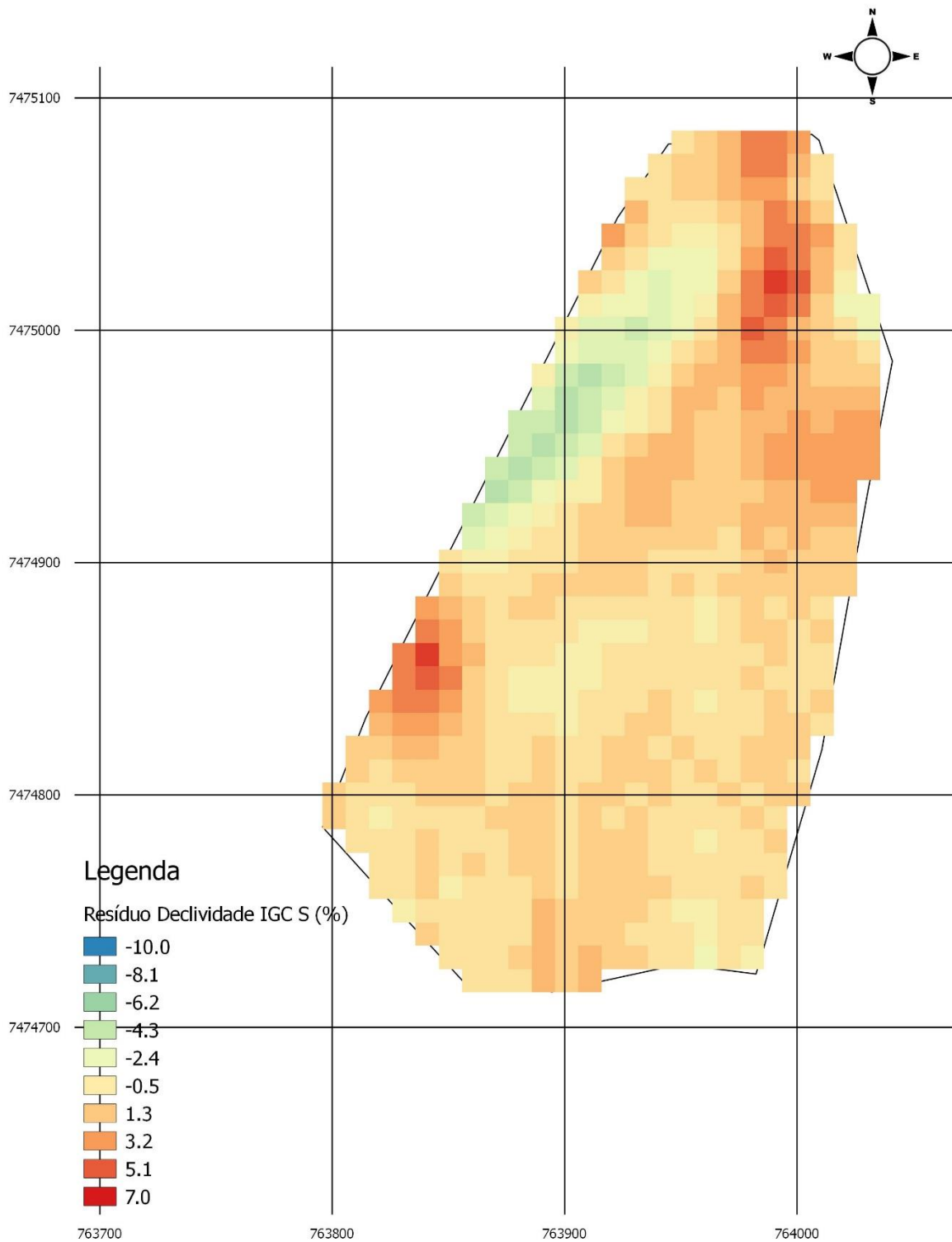
Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 26 - Mapa Residual de Declividade IGC X ET Norte



SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

Figura 27 - Mapa Residual de Declividade IGC X ET Norte

SRC: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S

Fonte: Samuel Almeida Santos de Oliveira, 2018

5 CONCLUSÃO

As cartas do IBGE com escala 1:50.000 não são confiáveis para análise morfométrica de áreas pequenas, pois suavizam terrenos acidentados e podem esconder feições próprias do terreno, que podem influenciar algumas tomadas de decisão no campo agrônomo e outras engenharias. Os valores absolutos altimétricos estão com erro de 20 a 30 metros, que são valores previstos pelo erro do aerolevanteamento RADAMBRASIL. Para análise morfométrica de bacias hidrográficas podem ser utilizadas, contanto que sejam considerados erros por suavização de feição de terreno.

As cartas do IGC são detalhadas e se aproximam bastante da superfície real do terreno, mesmo para os valores absolutos altimétricos se considerado o geoide. Entretanto, não é confiável para determinação de limites de confrontação natural como linhas de cumeadas e grotas para a certificação de cadastro de registro de imóveis. Para análises morfométricas de microbacias e bacias, apresentam detalhamento e precisão suficientes, quando em áreas representadas por escalas de valores menores. Também podem ser utilizadas para fins de planejamento para projetos no campo agrônomo e outras engenharias, não devendo ser utilizado na execução.

Algumas diferenças encontradas nas feições apresentadas pela carta do IGC podem ter ocorrido devido a mecanização ou erosão que justificam estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- APACHE. **OpenOffice**. Versão 4.1.2. 2016. Disponível em:
< <https://www.openoffice.org/product/calc.html>> Acesso em 29Ago. 2016.
- AQEL, M. O. A. et al. Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications. **SpringerPlus**, v.5, n. 1897, p. 1-26, 2016.
- ARCHELA, E.; COSTA, S. C.; RAMINELLI, J. A. Aplicação de modelagem geoestatística por krigagem para mapeamento do relevo exposto e do paleo-relevo sotoposto à bacia sedimentar de Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 69-79, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: execução de levantamento topográfico. citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. Citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 1998. 23 p.
- BARROS, Z. X. **Emprego de foto interpretador tipo estereomicrometro auxiliado por gráficos de correção na obtenção de cartas planialtimétricas**. 1985. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1985.
- CARDÃO, C. **Topografia**. 4 ed. Belo Horizonte: Edições Arquitetura e Engenharia, 1970. 505 p.
- CASACA, J. et al. **Topografia Geral**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LIDEL, 2005. 208 p.
- CIOCE, V. et al. SIRGAS: the core geodetic infrastructure in Latin America and the Caribbean. **Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior**, Kobe, Japão, jul./ago. 2017.
- ESDRAS, M. Geotecnologias aplicadas ao estudo de formação e de risco ambiental das favelas de Montes Claros/MG. **O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 24, p.176-198, 2012.
- FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS: **Fazenda Lageado**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2016. Disponível em:
<<http://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/fazendas/fazenda-lageado/>> . Acesso em: 31 Ago. 2016.

FERREIRA, I. O. et al. In bathymetric surfaces: idw or kriging? **Bulletin of Geodetic Sciences**, Curitiba, PR, v. 23, n. 3, p. 493-508, jul./set. 2017.

FRIEDMANN, R. M.; ULBRICHT, L.; VEIGA, L. A. K. Veículo terrestre não tripulado como equipamento de proteção nos levantamentos topográficos em áreas de risco. **Revista Uniandrade**, v. 14, n. 2, p. 145-157, 2013.

FU, L. L.; HAINES, B. J. The challenges in long-term altimetry calibration for addressing the problem of global sea level change. **Advances in Space Research**, n. 51, p. 1284-1300, jun, 2012.

Golden Software: SURFER 13. Colorado, 2016. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com/products/surfer#>>. Acesso em: 31 Ago. 2106.

GOMES, J. P. et al. Determinação de desníveis de precisão com nivelamento trigonométrico utilizando estação total. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 127-150, 2007.

GUMUS, K. A research on the effect of different measuring configurations in Network RTK applications. **Measurement**, v. 78, p. 334-343, out, 2015.

GUMUS, K.; SELBESOGLU, M.O.; CELIK, C.T. Accuracy investigation of height obtained from Classical and Network RTK with ANOVA test. **Measurement**, v.90, p. 135-143, abril, 2016.

Hayes Instrument: **TOPCON Hiper Lite**. Tóquio, 2016. Disponível em: <http://www.hayesinstrument.com/cgi-bin/webc.cgi/GPS_Topcon_HiPer_Lite.html>. Acesso em 31 Ago. 2016.

Henssen, J.L.G.; Williamson, I.P. Land registration, cadastre and its Interaction - a world perspective, **Proceedings XIX FIG Congress**, Helsinki, p. 14-43, jun, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA, **Manual Técnico de Limites e Confrontações**: georreferenciamento de imóveis rurais. 1. ed. Brasília: Diretoria de Ordenamento da Estrutura Fundiária Coordenação Geral de Cartografia, 2013. 24 p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA, **Manual Técnico de Posicionamento**: georreferenciamento de imóveis rurais. 1. ed. Brasília: Diretoria de Ordenamento da Estrutura Fundiária Coordenação Geral de Cartografia, 2013. 34 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso

em: 29 Ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>>. Acesso em: 29 Ago. 2016.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC, 2106. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapeamento.html>> . Acesso em: 31 Ago. 2016.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

KIZIL, U.; TISOR, L. Evaluation of RTK-GPS and Total Station for applications in land surveying. **Journal of Earth System Science**, v.120, n. 2, p. 215-221, abril, 2011.

KOUBA, J.; HÉROUX, P. Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products. **GPS Solutions**, v. 5, n. 2, p. 12-28, 2001.

KRYPIAK, G. A. et al. Validation of approximation technique for local total electron content mapping. **Acta Geodynamica et Geomaterialia**, v.10, n.3, p. 275-283, mar, 2013.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 253 p.

LEE, J.; PARK, J.; CHOI, J. Evaluation of Sub-aerial Topographic Surveying Techniques Using total Station and RTK-GPS for Applications in Macrotidal Sand Beach Environment. **Journal of Coastal Research**, n. 65, p. 535-540, 2013.

LI, T.; WANG, J.; LAURICHESSE, D. Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization. **GPS Solut**, v. 18, p. 429-442, out, 2013.

LI, Y. et al. Attitude determination by integration of MEMS inertial sensors and GPS for autonomous agriculture applications. **Springer-Verlag**, p. 41-52, fev, 2011.

LUO, Y. et al. Analysis of tunnel displacement accuracy with total station. **Measurement**, v. 83, p. 29-37, jan, 2016.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1978. 257 p.

MC DONALD, A.; BAUER, R.; WARKENTIN, A. Design and validation of a grinding wheel optical scanner system to repeatedly measure and characterize wheel surface topography. **Elsevier**, Halifax, Canada, p. 541 – 551, July, 2016. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/measurement>> Acesso em: 29 Ago. 2016.

MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia forestalis**, v. 69 p. 25 – 37, dez. 2005.

MELLO, C.R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da Equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.925-933, 2003.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

NGUYEN, A.T.; HERRING, T. A. Analysis of ICESat data using Kalman filter and kriging to study height changes in East Antarctica. **Geophysical Research Letters**, Cambridge, v. 32, p. 1-4, nov., 2005.

NADAL, M. A. D. et al. Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 1, p. 18-30, 2017.

Nikon Positioning: **NPL- 322+**. Tóquio, 2016. Disponível em: <<http://www.nikonpositioning.com/npl-322.aspx>>. Acesso em: 31 Ago. 2016.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION. **Qgis**, 2016. Disponível em: <<http://www.qgis.org/en/site/about/index.html>>. Acesso em: 29 Ago. 2016.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION. **Qgis**, 2016. Disponível em: < <http://www.osgeo.org/content/foundation/about.html>> Acesso em 29 Ago. 2016.

PAZIEWSKI, J. Study on desirable ionospheric corrections accuracy for network-RTK positions and its impact on time-to-fix and probability of successful single-epoch ambiguity resolution. **Advances in Space Research**, v. 57, p. 1098-1111, dez, 2015.

SCHRADER, D. et al. Real-time averaging of position data from multiple GPS receivers. **Measurement**, v. 90, p. 329-337, abril, 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM, 2016. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Sensoriamento-Remoto-e-Geofisica/RADAM-D-628.html>> Acesso em 29Ago. 2016.

SHAN, Z.; ZHU, Q. Camera location for real-time traffic state estimation in urban road network using big GPS data. **Neurocomputing**, v.169, p. 134-143, maio, 2015.

SILVA, C. H. S. et al. Coordenadas topográficas X Coordenadas UTM. **MundoGEO**, p. 1-7, maio, 2013. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/coordenadas-topograficas-x-coordenadas-utm/>> Acesso em 18 out. 2017.

SÁNCHEZ, L.; DREWES, H. Crustal deformation and surface kinematics after the 2010

earthquakes in Latin America. **Journal of Geodynamics**, v. 102, p. 1-23, 2016.

SILVA, D. C.; FREDERICO, L. N. S.; COSTA, G.C. Cálculo aproximado de fator de escala UTM para uso direto em estações totais. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 1, p. 59-67, 2016.

SOUZA, Z. M. et al. Número de amostras na análise geoestatística e na Krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 261-268, fev. 2014

STEPÁNECK, P. et al. Impact of orbit modeling on DORIS station and Earth rotation estimates. **Advances in Space Research**, v.53, p. 1058-1070, jan, 2014.

TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Topografia**. 1.ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 308 p.

ZEVENBERGEN, J. A Systems Approach to Land Registration and Cadastre. **Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research**, v. 1, p. 11-24, 2004.

ZOULIDA, M. et al. Multi-technique combination of space geodesy observations: Impact of the Jason-2 satellite on the GPS satellite orbits estimation. **Advances in Space Research**, v. 58, p. 1376-1389, jun, 2016.

ZUMBERGE, J. F. et al. Precise ponto positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. b3, p. 5005-5017, mar, 1997.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

YIGIT, C. et al. The potential of GPS Precise Point Position method for point displacement monitoring: A case study. **Measurement**, v. 9, p. 398-404, maio, 2016.