

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ACURÁCIA DE CLASSES ALTIMÉTRICAS GERADAS A PARTIR
DE PRODUTOS DE SENSORES DE RADAR.**

BRUNO TIMÓTEO RODRIGUES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

JULHO/2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ACURÁCIA DE CLASSES ALTIMÉTRICAS GERADAS A PARTIR
DE PRODUTOS DE SENSORES DE RADAR.**

BRUNO TIMÓTEO RODRIGUES

ORIENTADOR: PROF. DR. SÉRGIO CAMPOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

JULHO/2016

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

R696a Rodrigues, Bruno Timóteo, 1987-
Acurácia de classes altimétricas geradas a partir de produtos de sensores de radar / Bruno Timóteo Rodrigues.
- Botucatu : [s.n.], 2016
xii, 64 f. : ils. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Sérgio Campos
Inclui bibliografia

1. Sensoriamento remoto. 2. Modelo de Correspondência (Processamento de imagem digital). 3. Geoprocessamento. 4. Análise espacial (Estatística). I. Campos, Sérgio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ACURÁCIA DE CLASSES ALTIMÉTRICAS GERADAS A PARTIR DE PRODUTOS DE SENSORES DE RADAR

AUTOR: BRUNO TIMÓTEO RODRIGUES

ORIENTADOR: SÉRGIO CAMPOS

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



Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. LINCOLN GEHRING CARDOSO
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Botucatu, 29 de julho de 2016.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador Professor Dr. **Sérgio Campos**, que depositou confiança em meu conhecimento e em minha pessoa, que aceitou me orientar, onde humildemente me amparou, me dando suporte, confiança e encorajamento para passar por todas as etapas do curso de Mestrado e na realização deste trabalho, pelos ensinamentos valiosos que irei usar, não somente na carreira profissional, como também ao longo da vida, especialmente, obrigado por sua amizade.

Ao meu irmão Dr. **Mikael Timóteo Rodrigues**, pelas valiosas orientações, pela parceria consolidada nas atividades acadêmicas junto ao grupo de pesquisa GEPEGEO e sobretudo pela enorme amizade e companheirismo diários, não só academicamente e profissionalmente, como no dia a dia social e familiar, onde aprendi muito durante estes anos de trabalho e convivência.

Serei sempre grato!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as graças concedidas, pela luz nos momentos difíceis, pela saúde e disposição que me cobriu em todos os momentos de minha vida, me tornando assim um homem de fé imutável.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Rural no qual tive o enorme prazer em conviver ao longo desses dois anos de pós-graduação em mestrado, pelos ensinamentos técnico-científico de suas respectivas disciplinas, pelos ensinamentos e convivência, pela acolhida e principalmente pela amizade. Principalmente, por fazerem da ciência e da extensão uma forma de minimizar as distâncias entre o conhecimento científico e a sociedade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA – UNESP), campus de Botucatu, e à Coordenadoria do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, pela oportunidade.

À todos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, especialmente a Débora e a Fabiana que nesses dois anos de Mestrado me ajudaram muito nos mais variados assuntos acadêmicos administrativos, bem como aos colegas e amigos coniventes de muitas prosas, Dorival Aparecido, Maury Torres da Silva, o Biral e o Silvio que sempre me ajudaram de alguma forma, seja com um assunto específico ou uma palavra de incentivo.

Aos funcionários da Seção de Pós Graduação e aos simpáticos e competentes funcionários da biblioteca, sempre dispostos a sanar e ajudar nossas solicitações e problemas.

Aos amigos e companheiros que fiz nesses dois anos de Pós-Graduação, fazendo disciplinas, trabalhando junto ao grupo de pesquisa, morando juntos, fazendo churrascos, bem como outros momentos de confraternização e descontração. Dentre estes estão: Miriam Büchler Tarumoto, Vitor Oliveira Maia (Vitão), Fernando João Bispo, Fernando Bezerra (Tocantins), Hugo Lennon Correa (Manaus), Luiz Gabriel (Luga), Gean Monteiro (Gaúcho), Dani Trafi, Ronaldo Pollo, Donizeti Nicoletti, em meio a vários outros... Enfim, irei levá-los sempre em minha memória, pois sem dúvidas, foram anos muito especiais ao

lado de todos vocês que ajudaram a deixar as lembranças e a caminhada mais leve e prazerosa.

Do Grupo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologia, Geoprocessamento e Topografia (GEPEGEO) do Depto de Engenharia Rural (UNESP - Botucatu) em especial, aos amigos Daniela Polizeli Traficante, Felipe Nogueira Tagliarini, Yara Garcia e Fernanda Leite, pelas valiosas trocas de conhecimento científico e claro, pela convivência diária e amizade.

Aos amigos e pesquisadores Wendell Fialho, Antonio José Pereira Almeida, Benicio Monte, pela valiosa troca de conhecimentos científicos durante toda minha jornada acadêmica.

Aos queridos familiares, Tias, Tios, primos e primas (na qual tenho como irmãos) pela sincera e afetuosa torcida e apoio em todas as fases da minha vida, principalmente, por todo carinho e amor.

Aos amigos de longa data, Raphael Camerino (Selva), Saulo Camerino, Felipe Rodrigues (Cabeça), Alexandre Barbosa (Mago), Matheus Barbosa (Mocota), Tiago Lima de Souza (Zebu), Marcus Vinicius, Rafael Acioli e Igor Madson (Xibiu), pela admiração e amizade fraterna e apoio em várias etapas da minha vida que já dura mais de 15 anos.

A todos os amigos da UFAL que tenho felicidade e orgulho de ter até hoje: Antonio José Pereira Almeida (Tony), Eric Fernando (Zig), Wendell Fialho (Gominho), Benicio Monte, José Henrique (Bruto) Marcus Antonio (Marcola) e Alex Telles (Garfanha). Muito obrigado pela amizade e apoio.

Por fim, agradeço à CAPES por viabilizarem meus estudos no Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura com ajuda financeira durante os dois últimos anos referentes fora e minha cidade e estado de origem, pois sem essa ajuda realmente não seria possível concluir mais esta importante etapa na minha vida.

A todos, minha eterna gratidão e reconhecimento!

O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer.

(Albert Einstein)

MENÇÃO ESPECIAL

Ofereço

Aos meus Pais, Evânia Timóteo Pereira Rodrigues e Jonas Luiz Rodrigues pela valiosa educação primária, no qual é à base de tudo, por acreditarem incondicionalmente que um dia eu pudesse chegar lá... Pela importância de uma palavra e de um gesto de apoio e de amabilidade... Sobretudo, pelo exemplo de amor, carinho, lealdade e respeito.

Ao meu irmão Mikael Timóteo Rodrigues pela fundamental troca de conhecimentos e experiências científicas durante toda minha jornada acadêmica), desde o período de graduação até agora no Mestrado(2006-2016), totalizando mais de uma década de companhia e apoio acadêmico. Também, pela valiosa parceria nas atividades de pesquisa e extensão que nos trouxe até aqui, e se Deus quiser, irá nos levar ainda mais longe... Acima de tudo, por ser um belo exemplo de cidadão de bem e de valores.

Parabéns pelo exemplo!

A vocês, ofereço!

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS _____	X
LISTA DE TABELAS _____	XI
LISTA DE FIGURAS _____	XII
RESUMO _____	1
SUMMARY _____	3
1. INTRODUÇÃO _____	5
2. REVISÃO DE LITERATURA _____	7
2.1. Uso do Solo _____	7
2.2. Topografia _____	9
2.3. Mapeamento cartográfico e Geoprocessamento _____	10
2.3.1. Sistemas de Coordenadas Geográficas _____	10
2.3.2. Sistema de coordenadas planas ou cartesianas _____	11
2.3.2.1. Sistema de Projeção UTM _____	12
2.3.3. Geoprocessamento _____	14
2.4. Sensoriamento Remoto _____	16
2.4.1. Sensores de RADAR / MDEs _____	17
2.4.1.1. Arquivos TOPODATA _____	17
2.4.1.2. Sensor de Radar SRTM 30 metros. _____	18
2.4.1.3. Sensor ASTER. _____	19
2.5. Sistemas de Informações Geográficas – SIG _____	19
2.6.1. Características dos SIG _____	22
2.7. Matriz de Confusão e o Índice Kappa _____	22
2.8. O Software QGIS _____	24

2.9. O Software TerraView	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Caracterização geral da área	26
3.2. Bases cartográficas	27
3.3. Procedimento Metodológico (Tratamento dos dados e variáveis utilizadas)	28
3.3.1. Verdade Terrestre	29
3.3.2. Arquivos de Sensores de Radar / MDEs	30
3.4. Matriz de Confusão e o Índice Kappa	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Verdade Terrestre para Matriz de Confusão	35
4.2. Dados TOPODATA	37
4.2.1. Sensor de radar dados TOPODATA para Matriz de Confusão	37
4.2.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x TOPODATA	39
4.3. Dados sensor SRTM 30 metros	45
4.3.1. Sensor de radar SRTM 30 metros para Matriz de Confusão	45
4.3.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x SRTM 30 metros.	47
4.4. Dados sensor ASTER	51
4.4.1. Sensor ASTER para Matriz de Confusão	51
4.4.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x ASTER.	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6. CONCLUSÕES	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Cartas topográficas do IGC referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Capivara.....	28
Quadro 2: Dados altimétricos subdivididos em classes topográficas com equidistâncias de 20 metros para os dos sensores de radar / MDEs da área da Bacia do Capivara.....	35
Quadro 3: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão.....	39
Quadro 4: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão SRTM 30m X Verdade Terrestre.....	47
Quadro 5: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão ASTER X Verdade Terrestre.....	53

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Intervalos de caracterização da acurácia em relação a verdade terrestre.....	33
Tabela 2: Matriz de Confusão gerada a partir das classes de altimetria do TOPODATA cruzada com a Verdade Terrestre.....	40
Tabela 3: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor SRTM 30m cruzada a Verdade Terrestre.....	48
Tabela 4: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor ASTER cruzada a Verdade Terrestre.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Sistema de coordenadas Geográficas, paralelos e meridianos.....	11
Figura 2: Representação Sistema de coordenadas planas ou Cartesianas.....	12
Figura 3: Sistema de projeção UTM.....	13
Figura 4: Relações interdisciplinares entre SIG e outras áreas.....	20
Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.....	26
Figura 6: Malha Irregular de Triangulação (TIN) e Modelo Digital de Elevação (MDE) da Verdade Terrestre (resolução espacial de 5 metros).....	29
Figura 7: Exemplo da ferramenta de Fatiamento de Imagens, feita por meio de histograma Fatiamento do MDT SRTM 30 metros.....	31
Figura 8: Verdade terrestre em Classes altimétricas com equidistância de 20 metros da bacia do Rio Capivara.....	36
Figura 9: TOPODATA em Classes altimétricas de 20 em 20 metros da bacia do Rio Capivara.....	38
Figura 10: Perfil topográfico longitudinal da bacia do Capivara seguindo o leito principal do Rio.....	43
Figura 11: Classes topográficas do TOPODATA com valores fora do eixo principal da Matriz e que se localizam na região correspondente à feição geomorfológica da Cuesta.....	44
Figura 12: SRTM 30 metros em Classes altimétricas com equidistâncias de 20 metros da bacia do Rio Capivara.....	46
Figura 13: ASTER em Classes altimétricas com equidistâncias de 20 metros da bacia do Rio Capivara.....	52

RESUMO

Os novos sensores orbitais e a aquisição contínua de imagens da superfície terrestre têm oferecido um volume e variedade cada vez maior de dados a comunidade de sensoriamento remoto. Como exemplo desse novo segmento da modelagem ambiental, o projeto SRTM assim como o ASTER, obtendo como produtos Modelos Digitais de Terreno (MDT) de até 80% da área terrestre do planeta. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade e precisão de dados altimétricos obtidos em Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Para tanto, foi elaborado um mapa altimétrico base (Verdade terrestre), o qual foi comparado, por análise do Índice Kappa, com três modelos digitais de terreno (MDT) obtidos dos projetos TOPODATA, SRTM 30 metros e ASTER. De acordo com a avaliação expressa pela Matriz de Confusão gerada a partir da Altimetria do TOPODATA cruzada a Verdade Terrestre, 19 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas não tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre da área, constatando um bom grau de acuracidade nos dados classificados do cruzamento do TOPODATA com a Verdade Terrestre. Observou-se que as classes que apresentaram os maiores valores um nível abaixo do eixo principal da matriz de confusão se localizam exatamente na região que corresponde à área com declividade muito acentuada, se tratando da feição geomorfológica da Cuesta. Desta forma

considera-se que a resolução espacial das imagens provenientes dos sensores de radar, neste caso o arquivo do TOPODADA, está diretamente ligada com a baixa acurácia em áreas de grandes declividades, pois quanto maior o tamanho do pixel, maior a dificuldade de capturar diferenças abruptas de declividade. No Modelo digital de elevação do sensor de Radar SRTM 30m, apenas 2 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas não tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre da área. Dessa forma, pode-se verificar um bom grau de acuracidade nos dados classificados. Para os dados analisados do sensor ASTER confrontados com a Verdade Terrestre, assim como os dados do SRTM 30m, somente 2 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas não tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre. Desta forma, também considera um bom grau de acuracidade do cruzamento do dados classificados dos sensores ASTER com a Verdade Terrestre. Por fim, observou-se que o sensor de radar SRTM 30 metros exibiu o melhor dos MDEs analisados, por apresentar resultados de índice Kappa, com 3,798% de acertos a mais em relação ao sensor ASTER e 6,43% a mais que o dados do TOPODATA.

Palavras-chave: Modelo Digital de Elevação, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Matriz de confusão, Índice Kappa.

ACCURACY OF SURVEYING SURVEYING METHODS FOR SENSORS RADAR OF THE BOWL HYDROGRAPHIC OF RIVER CAPIVARA.

Botucatu, 2016. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author : Bruno Timóteo Rodrigues

Advisor: Prof. Dr. Sérgio Campos

SUMMARY

The new orbital sensors and continuous acquisition of land surface images have offered a volume and increasing variety of data to remote sensing community. As an example of this new segment of the environmental modeling, SRTM project as well as ASTER, obtaining as products Digital Terrain Models (DTM) of up to 80% of the Earth's land area. To evaluate the quality and accuracy of altimetry data from Digital Elevation Models (DEMs). Thus, a altimetry basemap (terrestrial Truth) was prepared which was compared by analysis of Kappa Index, with three digital terrain models (DTM) obtained from TOPODATA projects, SRTM and ASTER 30 meters. According to the evaluation expressed by the confusion matrix generated from the altimetry of cross TOPODATA Truth Land, 19 of the 26 classes presented altimetric information did not have their greatest values expressed in the respective main axes of the classes faced with the ground truth area , finding a good degree of accuracy in the data classified as TOPODATA the intersection with Road Truth. It was observed that the classes that showed the highest values one level below the main confusion matrix axis is located exactly in the region that corresponds to the area with very steep slopes, in the case of geomorphological feature of Cuesta. Thus it is considered that the spatial resolution from images of the radar sensors, in this case TOPODADA file is directly connected with the low accuracy in areas of great slope, because the larger the pixel size, the more

difficult to capture sharp differences in steepness. In the digital elevation model of the radar sensor SRTM 30m, only 2 of the 26 classes of altimetric information submitted have not had their highest values expressed in the respective main axes of the classes faced with the ground truth of the area. Thus, it can be seen a good degree of accuracy in the data sorted. For the analyzed data ASTER faced with the Earth Truth, as well as data from SRTM 30m, only 2 of the 26 classes of altimetric information submitted have not had their highest values expressed in the respective main axes of the classes faced with the ground truth. Thus, also considers a good degree of accuracy of the data crossing the classified ASTER sensors with the Earth Truth. Finally, there was the SRTM 30 meters radar sensor exhibited the best of MOUs analyzed by presenting the results of Kappa index, 3.798% of the more hits against the ASTER and 6.43% more than the data the TOPODATA.

Keywords: Digital Elevation Model, Remote Sensing, Geoprocessing, Matrix Confusion, Kappa Index.

1. INTRODUÇÃO

Mapeamentos em pequenas escalas são e devem ser utilizados apenas para planejamento de grandes regiões, auxiliando na construção de rodovias e zoneamentos. De acordo com o Instituto de Geografia e Estatística - IBGE (2010), no Brasil os mapeamentos referente ao uso dos solos e suas respectivas pedologias, foram exercidos primeiramente para todo o território nacional, com escala na ordem de 1:1.000.000, por intermédio do Projeto RADAMBRASIL. Nos últimos anos essa ordem de escala vem sendo aumentado para 1:250.000 para diversos centros de pesquisas, como é o caso da EMBRAPA. Mesmo com o a escala ampliada e um melhor detalhe da superfície de interesse, tais escalas continuam pouco esclarecedoras, principalmente para aplicação no planejamento do uso do espaço agrícola, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e de solo, dentre outros fatores que remetem a acurácia e suas respectivas informações.

No entanto, com o surgimento de novas técnicas, como é o caso do Sensoriamento Remoto, que nas últimas décadas vem produzindo dados nos mais variados segmentos, como valores altimétricos e classes pedológicas, tanto em pequena como em grande escala, assim possibilitando mapear com acurácia mais confiável, os

produtos derivados do Sensoriamento Remoto apresentam também grande praticidade no seu manuseio, diminuindo tempo e custos.

Os novos sensores orbitais e a aquisição contínua de imagens da superfície terrestre têm oferecido um volume e variedade cada vez maior de dados a comunidade de sensoriamento remoto (FREITAS et al. 2011). Como exemplo desse novo segmento da modelagem ambiental, o projeto SRTM assim como o ASTER, obtendo como produtos Modelos Digitais de Terreno (MDT) de até 80% da área terrestre do planeta (JPL, 2016).

A utilização do Geoprocessamento como ferramenta é bastante eficaz na espacialização e quantificação dos recursos naturais de uma determinada área tanto a nível regional quanto a nível local, abrangendo o planejamento e emprego adequado da ocupação de determinado perímetro, assim se tornando uma alternativa viável na restrição das possíveis falhas e lacunas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem colaborado para o mapeamento e zoneamento, atuando como método de fiscalização e planejamento de áreas agrícolas em determinadas bacias hidrográficas e seus respectivos espaços e uso da terra, uma vez que as mudanças ocorrem em uma pequena escala temporal (RODRIGUES, et al., 2013).

O Sensoriamento Remoto tem papel significativo no ambiente SIG, como uma das alternativas mais viáveis para extração de informações sobre os diversos usos do solo, assim, gerando grande número de informações e possibilitando programação de ações adequadas para tomada de decisões por constituir ferramentas de articulação e informações geoespaciais (FUSHITA, et al, 2013).

Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade e precisão de classes altimétricas geradas a partir de dados provenientes de sensores de radar, que oferecem o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais, comparando por meio do índice Kappa sua acurácia confrontada à verdade terrestre da bacia hidrográfica do Rio Capivara.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso do Solo

Os métodos convencionais de identificação das características fisiográficas das bacias e para demarcação das áreas de preservação são processos complexos, intensivos e demorados, quando são utilizados os métodos convencionais da topografia e cartografia (GASPAR, 2011). Entretanto, técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, atendem em diversas escalas, às necessidades de informação e planejamento muito mais dinâmico e eficiente, permitindo o monitoramento, avaliação e, principalmente, a tomada de decisões para melhor gerenciar os recursos naturais disponíveis, bem como informações geológicas, agrícolas, florestais, entre outras (TRABAQUINI et al., 2009).

De acordo com Campos et al., (2004), o conhecimento do uso e cobertura da terra é um dos primeiros planos de informação que podem ser inserido em um SIG, esclarecendo diversas dúvidas, como quantidade, distribuição e localização de recursos em uma determinada composição político administrativa. Mapas de cobertura do solo são usados em numerosas aplicações para descrever a distribuição espacial e modelos de cobertura da terra, também são úteis para estimar áreas extensas de diferentes classes de coberturas. Nestes casos, a avaliação quantitativa da acurácia

dos mapas pode auxiliar os usuários a avaliarem a utilidade de cada mapa para cada aplicação (MEGIATO et al., 2007).

Com o desenvolvimento de sofisticados algoritmos e a sua incorporação ao conjunto de funções dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), tem sido possível o processamento rápido e eficiente dos dados necessários para caracterização das variáveis morfométricas do terreno, essenciais para análise das intervenções antrópicas em bacias hidrográficas (OLIVEIRA, 2002). A abordagem com base em produtos derivados a partir desses algoritmos tem substituído, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados (RIBEIRO et al., 2002), permitindo a obtenção de resultados menos subjetivos, em menor tempo e com facilidade de replicação. A funcionalidade e eficácia desses procedimentos, integrada às informações produzidas pelas imagens de satélite, sobretudo as de alta resolução espacial, podendo produzir diagnósticos e fornecer subsídios capazes de identificar e mensurar a ocorrência de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente, fortalecendo as ações ambientais de monitoramento (NASCIMENTO et al., 2005).

Para Rodrigues et al. (2013), a utilização do Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto na classificação e análise do uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas, são de grande utilidade no planejamento de limites em recomposição e de caráter indispensável no estudo racional do meio físico, possibilitando o monitoramento e avaliação de áreas de vegetação natural. Segundo Fink et al., (2007), as técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento constituem, um importante conjunto de ferramentas, necessários a obtenção de dados a serem utilizados no planejamento e zoneamento, tanto em nível regional quanto municipal. Essas tecnologias têm contribuído para o mapeamento, fiscalização e controle da cobertura vegetal de extensas áreas em várias regiões do Brasil.

Usualmente a última etapa de uma classificação envolve uma avaliação da exatidão do mapeamento. Tal avaliação pode ser feita através da geração de pontos aleatórios no mapa para serem verificados no campo (CAMPOS et al., 2004).

2.2. Topografia

Sempre houve a necessidade de conhecer o meio em que se vive por inúmeros motivos, tais como orientação, segurança, navegação, construção civil e até mesmo por interesse bélico. Inicialmente, o reconhecimento de um determinado espaço tomava como base a observação e descrição do meio, no entanto, modernas técnicas e ferramentas de medição que promoveram a obtenção de dados foram surgindo, como a ciência topográfica, passando a existir como uma das técnicas mais utilizadas para representação e modelação de levantamentos em áreas planas e/ou declivosas.

Desta forma, a topografia surge como descrição do lugar, onde Doubek (1989) afirmou que a ciência Topográfica aparece com objetivo de estudar os instrumentos e métodos utilizados para obter a representação gráfica de uma porção do terreno sobre uma superfície plana, com finalidade de determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre.

Com medidas lineares e angulares, realizadas sob a superfície da Terra, a Topografia atua calculando coordenadas, áreas, volumes, dentre outras variáveis. Ademais, estas distinções poderão ser simuladas por meio de mapas ou plantas, no entanto, torna-se imprescindível um adequado conhecimento referente a instrumentação, técnicas de medição, métodos de cálculo e estimativa de precisão (KAHMEN; FAIG, 1988).

De acordo com Brinker e Wolf (1977), o trabalho prático da Topografia pode ser dividido em cinco etapas:

1. **Tomada de decisão:** Onde se relacionam os métodos de levantamento, equipamentos, posições ou pontos a serem levantados;
2. **Trabalho de campo ou aquisição de dados:** Efetuam-se as medições e gravação de dados;
3. **Cálculos ou processamento:** Elaboram-se os cálculos baseados nas medidas obtidas para a determinação de coordenadas, volumes;

4. Mapeamento ou representação: Produz-se o mapa ou carta a partir dos dados medidos e calculados.

2.3. Mapeamento cartográfico e Geoprocessamento

A cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico. Geoprocessamento representa a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico. Isto estabelece de forma clara a relação interdisciplinar entre Cartografia e Geoprocessamento (D'ALGE, 2003).

2.3.1. Sistemas de Coordenadas Geográficas

Para representar a superfície da Terra é necessário estabelecer um sistema tal que, um ponto representado no mapa corresponda a um homólogo na superfície terrestre. Isto se faz através de um sistema de coordenadas (ALEXANDRA, 2011).

Cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo. Meridiano de origem (0°) passa pelo antigo observatório britânico de Greenwich (Meridiano de Greenwich), e o Paralelo de origem (0°) encontra-se na linha do Equador, e que divide a Terra em dois hemisférios (norte e sul) como pode ser visto na Figura 1.

Desta forma a Longitude de um lugar qualquer da superfície terrestre é a distância angular entre o lugar e o meridiano inicial ou de origem, cotada sobre um plano paralelo ao equador. Logo a Latitude é a distância angular entre o lugar e o plano do Equador, contada sobre o plano do meridiano que passa neste lugar.

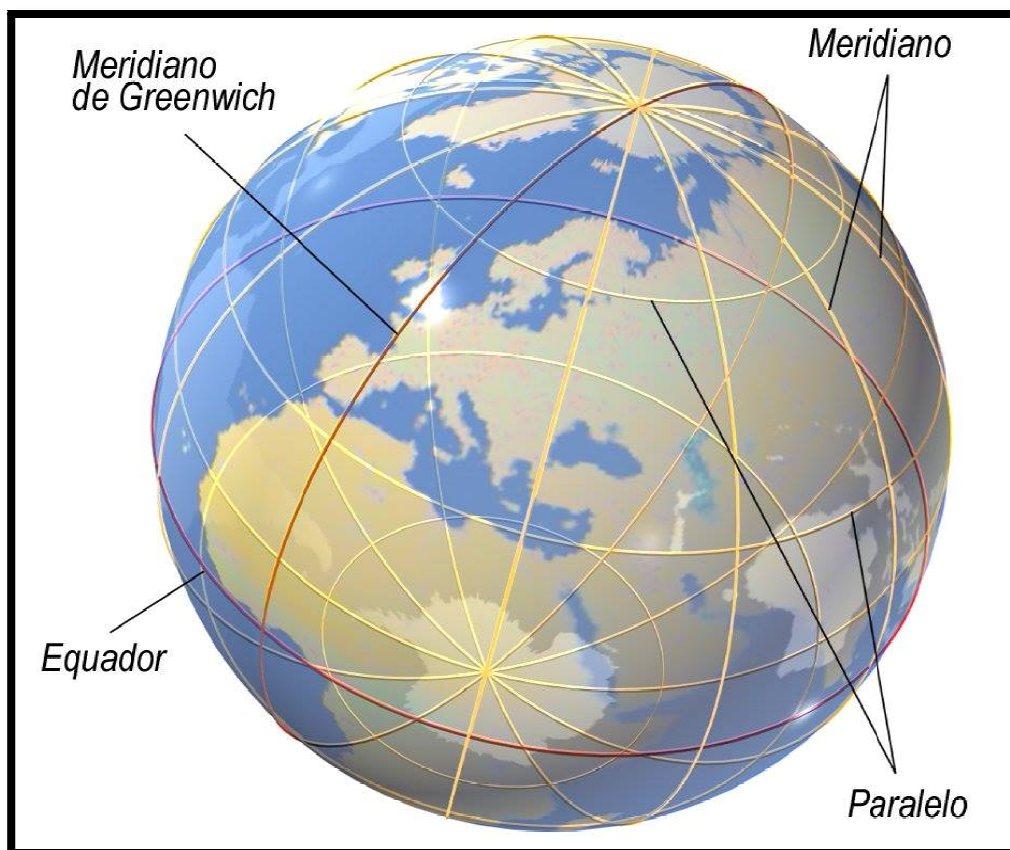


Figura 1: Sistema de coordenadas Geográficas, paralelos e meridianos.
Fonte: Universidade de Coimbra, departamento de física - Nautilus (2016)

2.3.2. Sistema de coordenadas planas ou cartesianas

As coordenadas planas ou cartesianas baseiam-se na escolha de dois eixos perpendiculares, cuja interseção é denominada origem, que é estabelecida como base para a localização de qualquer ponto do plano (ALEXANDRA, 2011). Esta afirmação pode ser observada na Figura 2.

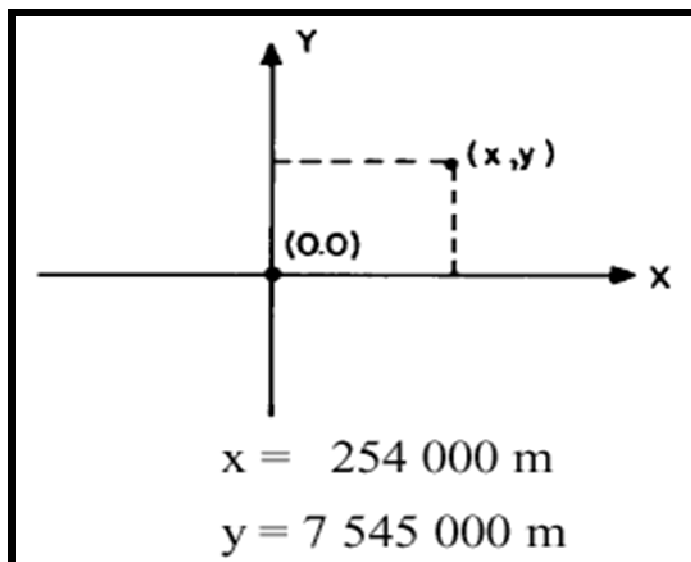


Figura 2: Representação Sistema de coordenadas planas ou Cartesianas.

Fonte: Rodrigues (2012)

O sistema de coordenadas planas, também conhecido por sistema de coordenadas cartesianas, um ponto é representado por dois números reais: um correspondente à projeção sobre o eixo x (horizontal) e outro correspondente à projeção sobre o eixo y (vertical) (D'ALGE, 2003).

As coordenadas podem ser representadas no plano através dos componentes Norte (N) e Leste (E) regularmente utilizadas em mapas e cartas, referidas a um determinado sistema de referência geodésico. Para representar uma superfície curva em plana é necessário que se apliquem formulações matemáticas chamadas de sistemas de projeção projeções.

2.3.2.1. Sistema de Projeção UTM

É um sistema de coordenadas baseado no plano cartesiano (eixo x,y) e usa um sistema métrico para medir distâncias e determinar a posição de um objeto. Diferentemente das Coordenadas Geográficas (ou Geodésicas), o sistema UTM, não acompanha a curvatura da Terra e por isso seus pares de coordenadas também são chamados de coordenadas planas.

Na projeção conforme de Mercator não existe coordenadas negativas, apenas dois eixos: E(x) e N(y), indicando, respectivamente, Longitude e Latitude. No hemisfério sul, as distâncias do eixo N(y) iniciam em 10.000.000m na linha do Equador e decrescem para o sul; enquanto o eixo E(x) começa em 500.000, no meridiano central de cada fuso, aumentando para o Leste e decrescendo para Oeste. No hemisfério Norte, as coordenadas de eixo E(x) se comportam da mesma maneira, enquanto que as do eixo N(y) têm sua origem no Equador e aumentam para o Norte (Figura 3).

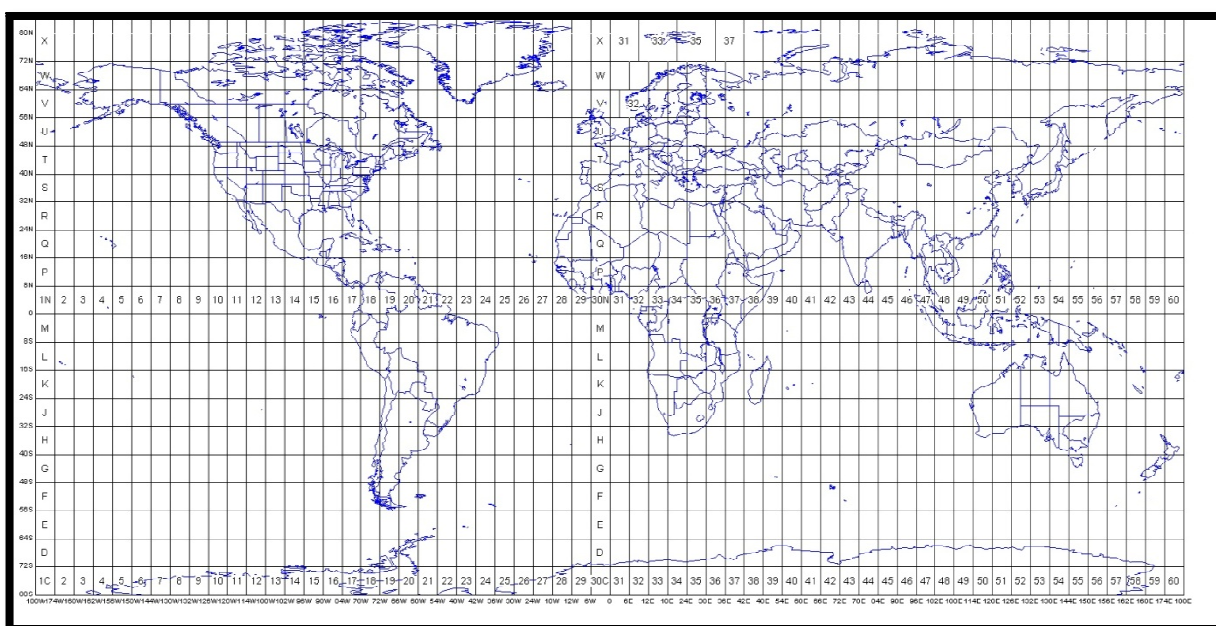


Figura 3: Sistema de projeção UTM.

Fonte: Curso de cartografia básica, GPS e ArcGIS – UFSM, 2010.

Mesmo sendo considerada como um dos melhores sistemas de projeção para a cartografia de médias de grandes escalas, a projeção UTM apresenta algumas limitações para a representação do globo terrestre, pois mantém precisão dos ângulos, mas possui imprecisões nas medições de áreas e distâncias (INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA, 2013).

Para Silva et al. (2013), UTM é um sistema de projeção cartográfico sendo seu uso eficaz para mapeamentos em pequenas e médias escalas,

sendo assim, deve-se tomar cuidado com locações e levantamentos em escala grande isso porque o sistema apresenta ângulos sem deformação, sendo que o mesmo não acontece com as distâncias obtidas devido à curvatura da terra.

No exterior, alguns softwares consideram o hemisfério Sul como continuação do hemisfério Norte, alargando o sistema de coordenadas para o Sul negativamente como em um eixo cartesiano. A origem do Sistema também pode ser deslocado do centro do fuso para algum ponto que facilite o mapeamento de determinada região. É o que ocorre na Irlanda cuja origem de seu sistema UTM é em sua capital Dublin (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA-UERJ, 2013).

2.3.3. Geoprocessamento

Compreender e representar o espaço sempre foram grandes necessidades do ser humano, que o fez para as mais diversas finalidades e utilizando as tecnologias disponíveis à sua época. Embora por muito tempo os conhecimentos acerca do espaço não tivessem sido sistematizados, pode-se afirmar que o homem sempre se valeu deste tipo de conhecimento em sua vida cotidiana, seja na busca por melhores áreas para caça ou mesmo no atual uso das geotecnologias como apoio à instalação de grandes indústrias e equipamentos diversos. Esta necessidade de conhecer e gerir se torna ainda mais evidente em se tratando do espaço urbano, que é composto por uma grande quantidade de variáveis extremamente dinâmicas, as quais abrangem desde o substrato físico até os processos socioeconômicos. Com o avanço da informática a partir da segunda metade do século XX, tornou-se possível organizar e representar estas informações e dados em ambiente computacional, o que permitiu o surgimento do Geoprocessamento. (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Segundo Xavier da Silva (2001) Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante.

O termo Geoprocessamento, de acordo com Câmara (2001) *apud* Almeida (2011), consiste em trabalhar a representação dos dados espacialmente

referenciados, utilizando sistemas computacionais como instrumentos para implementação desta tarefa, nas diferentes formas de representação do espaço geográfico.

Outra definição para Geoprocessamento, conforme Xavier da Silva (2001) é um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que, atuando sobre bases de dados georreferenciados, por computação eletrônica, propicia a geração de análises e sínteses que consideram, conjugadamente, as propriedades intrínsecas e geotopológicas dos eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais.

Almeida (2011) alega que vários sistemas fazem parte do geoprocessamento, no qual reúnem maior capacidade de processamento e análise dos dados espaciais. Chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS, SGI ou SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados tornando ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (DAVIS; CÂMARA, 1999 *apud* SILVEIRA, 2007). O geoprocessamento, segundo a maioria dos autores da área, engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos (MOURA, 2000).

Segundo Assad e Sano (1998) o geoprocessamento é uma área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o manuseio de informações geográficas. Seu campo de aplicação é amplo, sendo utilizado na cartografia, na análise espacial de recursos naturais, no planejamento urbano - regional e também nos estudos de bacias hidrográficas (BONHAM-CARTER, 1994; ROCHA, 2000). Os instrumentos computacionais, ou seja, o conjunto de softwares e hardwares relacionados ao geoprocessamento são conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica – SIGs.

Xavier da Silva (1992) *apud* Moura (2005) considera a tarefa do geoprocessamento, um produto de contexto científico que compreende a realidade por outra visão, trata os problemas ambientais, considerando a sua localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos que serão analisados, contribuindo para a explicação e acompanhamento de sua evolução passada e futura.

Em um país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CÂMARA, 2004).

O uso de geoprocessamento tem-se tornado cada vez mais frequente para os estudos de impacto ambiental e planejamento regional. Dados digitais de diversas fontes podem ser organizados em planos de informação, segundo representações vetoriais, poligonais ou matriciais, que ao serem integrados com auxílio de procedimentos lógicos e matemáticos, produzem novas informações, de utilidade para a tomada de decisões (MEGIATO, 2007).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento (CAMPOS, 2004).

2.4. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto se fundamenta em um processo de interação entre a Radiação Eletromagnética emitida pelo sol e os diferentes alvos localizados na superfície terrestre. Para Ponzoni (2001), a aplicação do Sensoriamento Remoto e suas técnicas são viabilizadas através do cumprimento de diversas etapas que incluem a interação em si, caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a análise desses dados com o objetivo de extrair as informações pretendidas de um determinado objeto.

A tecnologia de Sensoriamento Remoto oferece uma grande potencialidade para ser utilizada no estudo do uso da terra, sobretudo na agricultura. Através desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda (MOREIRA; RUDOFF, 2001). Na previsão de safras, por

exemplo, o Sensoriamento Remoto pode ser utilizado em dois segmentos: no dimensionamento das áreas de plantio e na estimativa do rendimento.

Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto atendem, em diversas escalas, à necessidade de informação e planejamento muito mais dinâmico e eficiente, permitindo o monitoramento, a avaliação e, principalmente, a tomada de decisões para melhor gerenciar os recursos naturais disponíveis, bem como informações geológicas, agrícolas, florestais, entre outras (TRABAQUINI et al., 2009).

Além das características multiespectrais e multitemporais das imagens do satélite, o especialista em Sensoriamento Remoto utiliza também elementos da fotointerpretação tais como forma, sombreamento e textura. Por exemplo, para distinguir áreas irrigadas por sistema de pivô central de outros métodos de irrigação o analista baseia-se nas formas geométricas da superfície.

Bastian e Steinhardt (2002) designam o Sensoriamento Remoto e o SIG como as mais importantes ferramentas holísticas para análise, planejamento e gestão da paisagem, podendo fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos.

2.4.1. Sensores de RADAR / MDEs

2.4.1.1. Arquivos TOPODATA

Como exemplo desse novo segmento da modelagem ambiental, o projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), que foi sucedido da cooperação entre a NASA e a NIMA (National Imagery and Mapping Agency), coletaram e processam dados da banda C, obtendo como produto um Modelo Digital de Terreno (MDT) de 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60° N e 56° S (JPL, 2016).

O SRTM pode ser adquirido em diferentes níveis de processamento, como no site do Projeto TOPODATA, onde os dados disponibilizados passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho do pixel de 90 para 30m, sendo interpolados pelo método de krigagem (VALERIANO E ROSSETTI, 2009).

O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. Com isso desde que o Topodata foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções (INPE 2015).

2.4.1.2. Sensor de Radar SRTM 30 metros.

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi levado a bordo do ônibus espacial Endeavour 11 no dia 22 fevereiro de 2000. A *Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a Agência de Inteligência Geoespacial Nacional (NGA) participou de um projeto internacional para a aquisição de dados de radar que foram utilizados para criar o primeiro conjunto de grande parte do globo de elevações de terra.

Os radares usados durante a missão SRTM foram originalmente desenvolvidos em missões em 1994 para adquirir dados sobre o ambiente da Terra. A tecnologia foi modificada para a missão SRTM, que comparou duas imagens de radar tomadas em ângulos ligeiramente diferentes (EARTH EXPLORER - USGS, 2016).

Esta missão adquiriu dois sinais ao mesmo tempo usando duas antenas de radar diferentes. Enquanto uma antena localizada a bordo do ônibus espacial coletou um conjunto de dados, os outros conjuntos de dados foi coletado por uma antena localizada na extremidade de um mastro de 60 metros que se estendia desde a primeira antena. Desta forma as diferenças entre os dois sinais permitiu o cálculo da elevação da superfície (EARTH EXPLORER - USGS, 2016).

Ainda segundo Earth Explorer (2016), Endeavour orbitou a Terra 16 vezes por dia durante a missão de 11 dias, completando e totalizando 176 órbitas. Com isso o SRTM coletou dados de radar cobrindo com sucesso mais de 80% da superfície terrestre do planeta, abrangendo entre as coordenadas 60 ° norte e 56 ° de latitude sul, com pontos de dados publicados a cada 1 arco de segundo (aproximadamente 30 metros).

Os dados SRTM de elevação são disponibilizados de forma livre na rede mundial de computadores e são destinados para uso científico com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou outro software de aplicação especial.

2.4.1.3. Sensor ASTER.

A *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM / Modelo Digital de Elevação Global)* foi desenvolvido em conjunto pelos EUA *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* e do Ministério da Economia, Comércio do Japão, e Indústria (METI).

O ASTER GDEM cobre a superfície terrestre entre as coordenadas 83 ° N e 83 ° S e é composta de 22.702 cenas/quadrantes. É distribuído como arquivos com coordenadas geográficas (latitude, longitude) e em formato GeoTIFF. Os dados são lançados com resolução de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m no equador) e referenciados ao Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84) / 1996 Modelo Gravitacional da Terra (EGM96) geóide (EARTH EXPLORER - USGS, 2016).

No entanto, os usuários são aconselhados que os produtos ainda podem conter incoerências e componentes que irá reduzir a sua usabilidade para certas aplicações, porque pode haver erros de elevação grandes em escalas locais, como está exposto no decorrer do presente trabalho. Para tanto os dados são fornecidos diretamente e a NASA, assim como METI / ERSDAC, não serão responsáveis por quaisquer danos resultantes da utilização dos dados (EARTH EXPLORER - USGS, 2016).

2.5. Sistemas de Informações Geográficas – SIG

Maguire et al. (1991) relatam que, em razão histórica, o que reforça o vínculo que aqui se discute, é a precedência das iniciativas de automação da

produção cartográfica em relação aos esforços iniciais de concepção e construção das ferramentas de SIG. A Figura 4 sintetiza a discussão ora apresentada, estendendo-a apropriadamente às áreas de Sensoriamento Remoto, CAD (*Computer Aided Design*) e Gerenciamento de Banco de Dados. A razão principal da relação interdisciplinar forte entre Cartografia e Geoprocessamento é o espaço geográfico (ALEXANDRA, 2011).

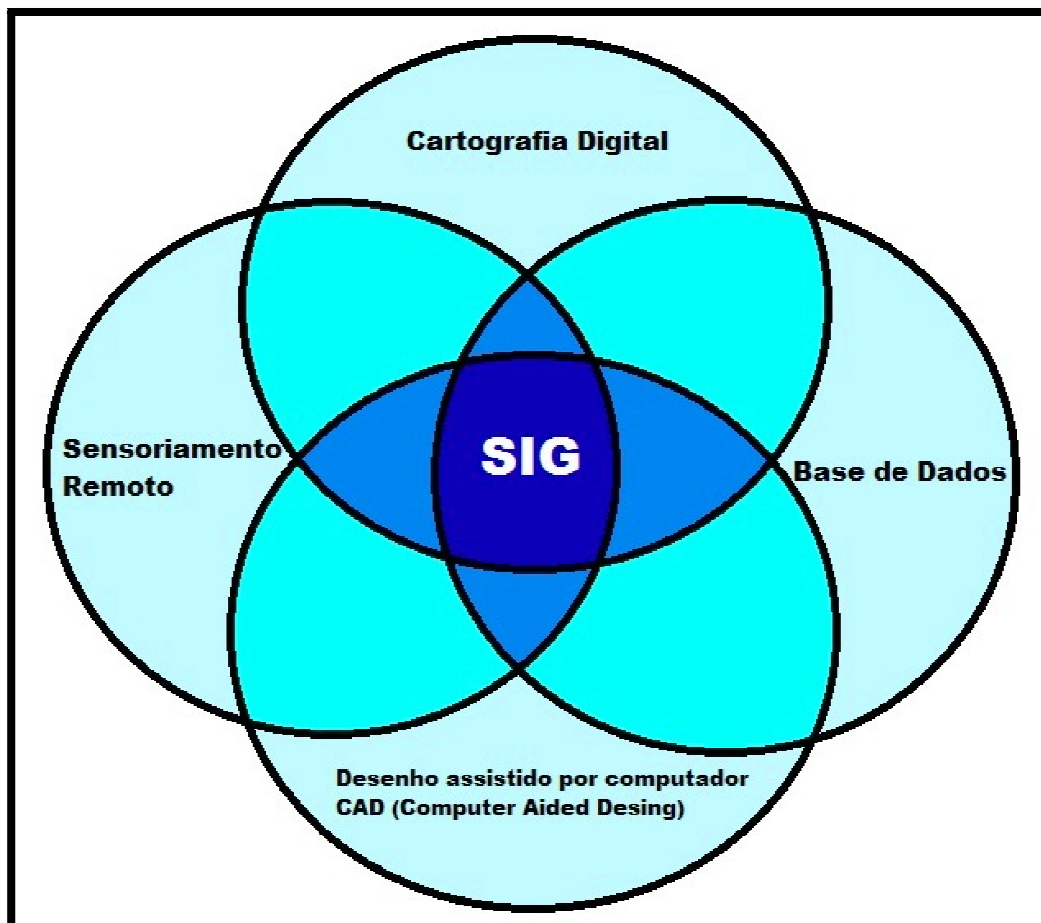


Figura 4: Relações interdisciplinares entre SIG e outras áreas.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2012).

Os Sistemas de Informação Geográfica não se restringem apenas ao armazenamento de dados, tendo evoluído no sentido de permitir ao usuário trabalhar as relações espaciais entre os dados, permitindo a elaboração de cenários, prognósticos e modelos (MOURA, 2005).

O uso e controle dos recursos naturais devem depender efetivamente de instrumentos fundamentais de gestão. Neste contexto, torna-se

fundamental nos dias atuais a aplicação de geotecnologias em estudos ambientais. (SOARES et al., 2007).

Segundo Freitas Filho (2004), a constante evolução dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG, com funções cada vez mais avançadas, tem disponibilizado aos estudos ambientais técnicas cada vez mais ágeis e precisas. O homem passou então a ter a sua disposição tecnologias as quais vêm oferecendo um grande avanço nas ciências cartográficas. Tarefas antes executadas manualmente, hoje são elaboradas de forma digital. Com isto passou-se a ter mapas com mais detalhes, precisão cartográfica e qualidade, elaborados em um espaço de tempo muito inferior em relação às técnicas tradicionais de mapeamento.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizam bancos de dados geográficos, os quais além de ter a capacidade de armazenar inúmeras informações a respeito do atributo que está sendo utilizado, como informações alfanuméricas, permite também a armazenagem de dados referentes à localização do objeto (ASSAD; SANO, 1998).

Um Sistema de Informação Geográfica é constituído por um conjunto de módulos computacionais destinados à aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Estes dados geográficos descrevem objetos do mundo real sob três aspectos: (a) seu posicionamento com relação a um sistema de coordenadas; (b) seus atributos, e (c) as relações topológicas existentes. Deste modo, é possível trabalhar com dados dos quais se conhecem a posição geográfica, o valor da característica naquele ponto e a sua estrutura de relacionamento espacial, tais como: vizinhança, proximidade e pertinência entre objetos geográficos. Por isso, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo real (BURROUGH, 1986).

2.6.1. Características dos SIG

A essência do SIG se destaca acima de tudo pela sua capacidade analítica (BELO, 2012), nomeadamente a espacial, atuando basicamente com dois tipos de dados geográficos:

- Vetorial – Composto por pontos, definidos por um conjunto de coordenadas X, Y e Z, que representam as coordenadas leste-oeste, norte-sul e altitude, respectivamente; Linhas, definidas, no mínimo, por dois conjuntos de coordenadas; Polígonos, definidos por conjuntos de coordenadas, dos quais o primeiro e o último são geograficamente coincidentes. Estes elementos podem ser topologicamente relacionados, ser analisados de forma conjunta ou disjunta (comprimentos, áreas, distâncias e outras relações estabelecidas entre os diferentes elementos passíveis de análise). Este tipo de dado permite a modelação a duas ou três dimensões e cálculos geométricos. Sua extensão mais popular é o *shapefile* (.shp);
- Matricial/Raster – uma matriz, ou imagem, que representa o espaço através de uma malha contínua, composta de células, ou grupo de pixel, identificando cada um deles por meio dos índices de linha e de coluna. Cada uma das células registra um único valor numérico, que pode traduzir informação diversa referente ao tema em análise. Este modelo considera-se mais adequado à análise de fenômenos com distribuição contínua. As matrizes favorecem alta capacidade de cálculo, devido à possibilidade de sobreposição (*overlay*) e álgebra de mapas, o que permite o estabelecimento de cálculos entre células próximas.

2.7. Matriz de Confusão e o Índice Kappa

Segundo Colgaton (1991) uma das técnicas mais utilizadas na realização de avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto é

o emprego da matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão. A matriz de confusão pode ser usada como ponto de partida para uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas. A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades da amostra (pixels, grupos de pixels ou polígonos) atribuído a uma categoria particular relativo à categoria atual, conforme foi verificado em campo (SUAREZ; CANDEIAS, 2012). Geralmente, as colunas representam os dados de referência, enquanto as linhas representam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto.

Segundo Serra e Pons (2008), a análise comparativa da acurácia específica local, na matriz de confusão, pode fornecer métodos mais eficientes e com produtos para comparar a precisão de mapeamentos de uso da terra que uma simples comparação de precisão de estimativa global.

O coeficiente Kappa mede o grau de concordância em escalas nominais assumindo que as unidades são independentes, as classes ou categorias da escala nominal são independentes e mutuamente exclusivas, bem como o classificador e os pontos de referência operam de forma independente (COHEN, 1960).

Porém, Gong e Howarth (1990) já utilizavam o índice Kappa (K) como um grau de exatidão importante associado à matriz de confusão, por ser considerada inteiramente, ou seja, analisando e considerando todos os elementos da matriz e não apenas os dados derivados dos encontrados nos cruzamentos das classes, onde os mesmos se situam na diagonal principal, como acontece com o índice de Exatidão Global.

Deste modo, a influência do uso de dados marginais localizados na matriz de confusão derivados do produto final de classificação de imagens orbitais foram também analisados por Shao et al. (2003) e concluíram que a estimativa de área poderia tornar-se mais confiável se fossem utilizadas informações da matriz de confusão localizadas fora da diagonal principal, para ajustar os respectivos valores.

2.8. O Software QGIS

O software QGIS, segundo a página oficial do organização (QGIS, 2016), é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. Desta forma o QGIS é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) e é resultado das atividades de um grupo de desenvolvedores, autores de documentação e tradutores, ajudando no processo de lançamento de novas versões.

Por ser de um programa feito em uma biblioteca digital de código aberto, os usuários tem a possibilidade de participar de processos de desenvolvimento de extensões / plug-ins que são acoplados dentro do programa. Grande parte dessas extensões / plug-ins são disponibilizadas aos usuários do QGIS, onde podem ser pesquisadas e instaladas a partir do próprio software, tais plug-ins são aplicativos capazes de aumentar a capacidade de processamento e funcionalidades do Programa QGIS.

Tem a possibilidade de se trabalhar tanto com arquivos Vetoriais (Shapefiles, DXF, KML, GPX, DGN, etc.) quanto arquivos Matriciais (geoTIFF, TIFF, BMP, JPEG MrSID, ECW, etc.). Onde também pode ser feito o georreferenciamento desses arquivos matriciais a partir de dados georreferenciados previamente conhecidos.

Na página do QGIS, acessível na rede mundial de computadores (<http://www.qgis.org/pt_BR/>), são difundidos distintas opções de download para diferentes tipos de sistemas operacionais (Linux, Unix, Mac, OSX e Windows), onde são oferecidas também como essas aplicações devem ser instaladas.

2.9. O Software TerraView

Assim como o QGIS, o TerraView é pertencente das categorias de software livre, que são aqueles pertencentes aos códigos abertos, podendo ser modificado, trabalhado, estudado e redistribuído sem quaisquer problemas.

O TerraView é um aplicativo de Sistemas de Informação Geográfica, direcionado para profissionais gerais, pesquisadores e acadêmicos, que

necessitam de uma ferramenta para a realização de pesquisas acerca do espaço geográfico (INPE, 2010). O software TerraView é desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais por meio da Divisão de Processamento de Imagens (DPI), em parceria com o Centro de Estudos da Metrópole. O aplicativo foi estabelecido com base na biblioteca de geoprocessamento TerraLib, tendo como principais objetivos apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta e análise destes dados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização geral da área

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do rio Capivara, situada no Município de Botucatu, região Centro-Oeste do Estado de São Paulo entre as coordenadas geográficas $22^{\circ} 47' 10''$ a $22^{\circ} 52' 38''$ de latitude S e $48^{\circ} 22' 07''$ a $48^{\circ} 26' 38''$ de longitude W e Coordenadas UTM de 761500 a 778000 metros a Leste e 7458000 a 7484000 metros a Sul dentro do Fuso 22 e Zona K (Figura 5).

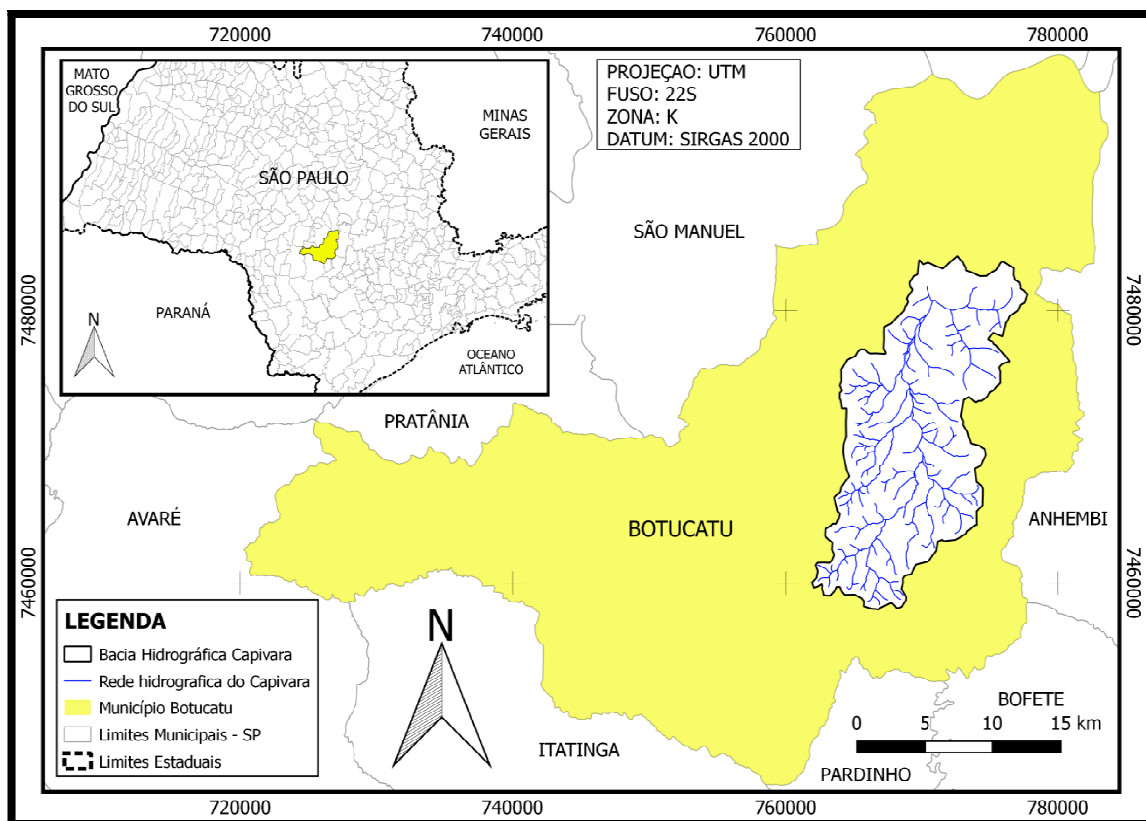


Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.

3.2. Bases cartográficas

Para a viabilização do desenvolvimento deste estudo foram utilizados dois tipos de formas de dados, arquivos matriciais e vetoriais. Para os arquivos matriciais foram utilizados os arquivos oriundos dos sensores de radar que são expressos como Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para a área que corresponde à bacia hidrográfica do Capivara.

Inicialmente, foi utilizado o arquivo do quadrante "22S495" referente à base de dados Mapa Índice TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Posteriormente, foram acessados os dados do site do serviço geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey-USGS*) para captura dos dados referentes aos demais sensores de radar SRTM 30m e ASTER. Para o sensor SRTM 30m foi utilizado o arquivo do quadrante "s23_w049_1arc_v3" e para o sensor ASTER foi usado o arquivo referente ao quadrante "ASTGTM2_S23W049_dem", de acordo com a base de dados específica de cada sensor.

Para os arquivos vetoriais, para representação e caracterização da verdade terrestre, foi feito uso das cartas topográficas do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo) datadas de 1978 descritas no Quadro 1. Esses arquivos foram gerados por meio de aerofotogrametria juntamente com levantamentos *in loccus*, assim, gerando uma base ortorretificada com escala de 1:10.000, desta com uma representação de curvas de nível com equidistâncias verticais de 5 metros.

Quadro 1: Cartas topográficas do IGC referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Capivara.

Código Internacional	Nome da Folha
SF-22-Z-B-VI-3-NO-B	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NO-D	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NO-F	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SO-B	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SO-D	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SO-V	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NE-A	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NE-C	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NE-D	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-NE-E	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SE-A	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SE-B	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SE-C	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SE-D	Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SE-E	Botucatu

Fonte: IGC (2016), adaptado de Traficante (2016).

3.3. Procedimento Metodológico (Tratamento dos dados e variáveis utilizadas)

Para se trabalhar com esse tipo de avaliação comparativa entre diferentes tipos de dados foi necessário uma padronização e tratamento de ambos os tipos de arquivos, para tanto, foi indispensável aplicar procedimentos de formatação que serão descritos em seguida.

Para esse tipo de análise foi imprescindível a disposição dos dados em formato matricial e subdivididos por classes, para assim, tornar possível a utilização dos métodos estatísticos.

3.3.1. Verdade Terrestre

Primeiramente foram trabalhados em plataforma CAD os dados das curvas de nível pertencentes à Bacia hidrográfica do rio Capivara, fazendo a digitalização destas com equidistâncias de 5 metros (como expresso nas cartas do IGC).

Após os tratamentos preliminares em plataformas CAD, os arquivos foram importados para o software QGIS, este sendo uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde, neste ambiente, os dados foram convertidos para o formato Shapefile (.shp) com o sistema de coordenadas UTM e Datum SIRGAS 2000. Logo depois foi aplicada a ferramenta de interpolação TIN (malha irregular de triangulação). Essa ferramenta servindo para a criação/geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato matricial representando a Verdade Terrestre com resolução (dimensão do pixel) de 5 metros (Figura 6).

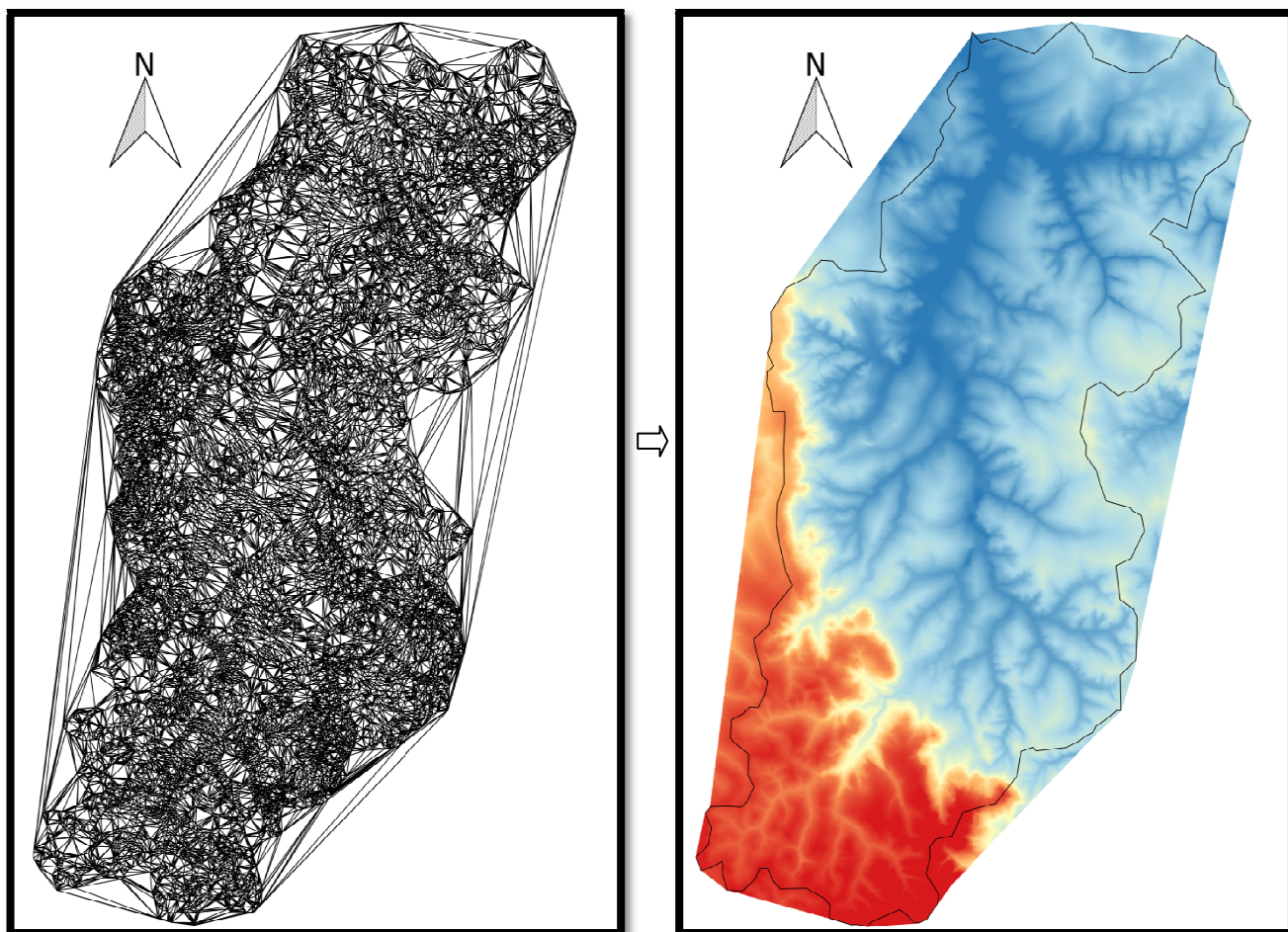


Figura 6: Malha Irregular de Triangulação (TIN) e Modelo Digital de Elevação (MDE) da Verdade Terrestre (resolução espacial de 5 metros).

Em seguida foi aplicado a ferramenta “cortador” (clip), isolando somente as áreas pertinentes à área de estudo e também excluindo as áreas fora de análise e conseqüentemente com valores não pertinentes à área de estudo. Desta foi obtido o arquivo de MDE (Modelo Digital de Elevação) somente com as áreas de interesse do estudo e com os valores altimétricos com adequada representação da verdade terrestre. Com a posterior exportação deste MDE foi obtido um arquivo matricial em formato GeoTiff com sistema de coordenadas UTM e Datum SIRGAS 2000, sendo compatível com qualquer software com ambiente de SIG.

Posteriormente, houve a necessidade de se utilizar uma ferramenta para “Fatiamento de Imagens”, onde tal extrai as classes altimétricas a serem estudadas por meio do histograma. Desta forma é possível ser gerado um novo arquivo em formato matricial, não mais como representação de um MDE e sim com representação de Classes Altimétricas com equidistâncias de 20 metros.

3.3.2. Arquivos de Sensores de Radar / MDEs

Inicialmente foram necessárias pesquisas e análises para a identificação das cenas e/ou quadrantes correspondentes à área de estudo para que conseqüentemente fossem feitos os downloads dos arquivos matriciais dos Sensores de Radar / MDEs.

Estando de posse dos arquivos de MDE dos diferentes sensores, estes foram importados para uma plataforma de SIG, onde foi aplicada a ferramenta “Cortador” (clip), isolando as áreas de real interesse e também excluindo as áreas fora de análise.

Posteriormente, de posse dos arquivos dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) da área de estudo com origem dos diferentes Sensores (TOPODATA, SRTM 30m e ASTER), estes foram exportados para o formato GeoTiff (sistema de coordenadas UTM e Datum SIRGAS 2000) com o objetivo do fatiamento por classes de altimetria de cada Sensor. A vista disso, mais uma vez foi necessário a utilização da ferramenta “Fatiador” de Imagens, para ser feita, por meio de histograma (Figura 7), a

extração das classes altimétricas com dados dos arquivos das fontes de sensores em análise.

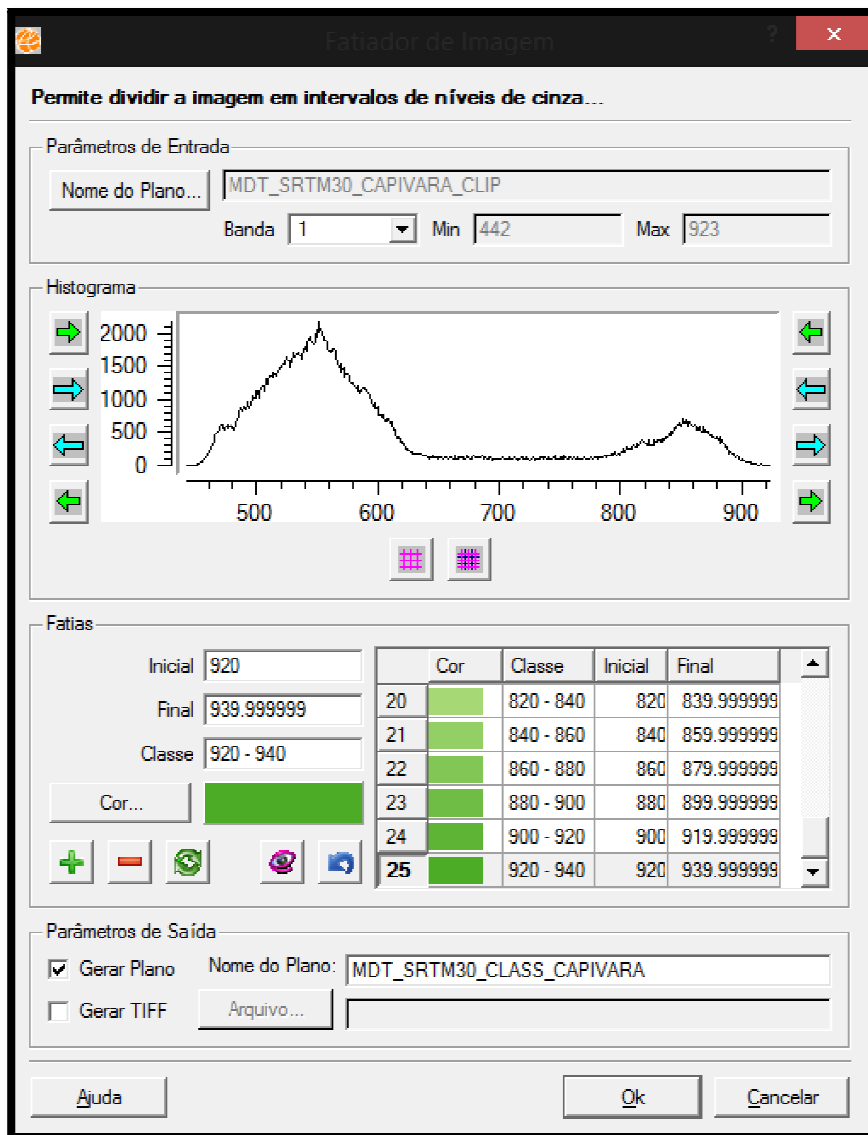


Figura 7: Exemplo da ferramenta de Fatiamento de Imagens, feita por meio de histograma Fatiamento do MDT SRTM 30 metros.

Consequentemente, foram gerados novos arquivos matriciais representativos dos arquivos oriundos dos Sensores de Radar / MDEs com classes altimétricas com equidistâncias de 20 metros (mesmas classes de representação da verdade terrestre) e não como um MDE.

3.4. Matriz de Confusão e o Índice Kappa

O índice Kappa é definido como um coeficiente de concordância para escala nominal que pede a proporção de concordância depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração (COHEN, 1960). O coeficiente Kappa considera todos os elementos da matriz de erros ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, assim sendo, estima também a soma da coluna e linha marginais.

Contudo, há a necessidade de fazer a importação dos arquivos matriciais com as feições das classes altimétricas, representando os dados da Verdade Terrestre e os Dados dos arquivos dos Sensores de Radar / MDEs para a plataforma de SIG QGIS.

Desta forma a matriz de confusão pode ser obtida em um arquivo de texto (.txt) a partir de um dos complementos do QGIS chamado *Accuracy Assessment*, onde neste foi utilizado como arquivo/fonte de Referência (valores corretos, reais) os dados das classes altimétricas a partir da Verdade Terrestre; como arquivo/fonte de Comparação (valores a serem julgados) foi utilizado os dados das classes altimétricas geradas a partir dos arquivos dos Sensores de Radar/MDEs (TOPODATA, SRTM 30m e ASTER).

Estes arquivos de texto gerados pela ferramenta *Accuracy Assessment* foram organizados, transformados em forma de tabela e trabalhados de forma para propiciar a sua utilização em plataforma Office Excel. Estando na plataforma Office Excel são aplicados os cálculos e fórmulas sobre a referida Matriz de Confusão para a extração do Índice Kappa:

$$K = \frac{n \left(\sum_{i=1}^c x_{ii} \right) - E_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})} \quad (1)$$

em que:

n = número total de pixels amostrados;

x_{ii} = número de pixels da i -ésima classe classificados corretamente;

c = número total de classes;

x_{i+} = número de pixels selecionados (amostras) para comporem a i -ésima classe (linha); e

x_{+i} = número de pixels classificados como pertencentes à i -ésima classe (total da coluna).

O índice Kappa (Tabela 1) é o mais recomendado por utilizar todas as células da matriz ao invés de somente os elementos diagonais - diferentemente de métodos que fazem uso apenas da Exatidão Global, utilizando dados derivados dos cruzamentos das classes, onde os mesmos se situam na diagonal principal da matriz de confusão - o que garante ao índice Kappa uma maior acurácia em relação aos outros métodos devido à medição de um pixel estar corretamente classificado, em relação à probabilidade de o outro pixel equivalente e em comparação estar incorretamente classificado, avaliando a acurácia temática por ser mais sensível as variações de erros de omissão e comissão, também conhecido na literatura como erro de inclusão. (DEMARCHI et. al, 2011). Desta forma, o erro de omissão representa os pixels “perdidos” para outras classes, bem como o erro de comissão reflete os pixels “recebidos” de outras classes.

Tabela 1 – Intervalos de caracterização da acurácia em relação a verdade terrestre.

Valor de Índice Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977) e adaptados por Piroli (2010)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiros resultados do estudo, após alguns testes de viabilidade e exequibilidade da pesquisa no tocante da elaboração da Matriz de Confusão, foi decidido obter a subdivisão das classes topográficas com equidistâncias de 20 metros para os arquivos dos sensores de radar / MDEs (TOPODATA, SRTM 30m, ASTER) pertinentes à área que corresponde à bacia hidrográfica do Rio Capivara (Quadro 2). Esta bacia apresenta uma característica peculiar de variações de cotas altimétricas, na qual pode-se observar uma variação de classes desde 420m até 940m de altitude.

Quadro 2: Dados altimétricos subdivididos em classes topográficas com equidistâncias de 20 metros para os dos sensores de radar / MDEs da área da Bacia do Capivara.

Classes Verdade	Classes TOPODATA	Classes SRTM 30m	Classes ASTER	Cotas das Classes
VERD 1	TOP 1	SRTM 1	ASTER 1	420 - 440
VERD 2	TOP 2	SRTM 2	ASTER 2	440 - 460
VERD 3	TOP 3	SRTM 3	ASTER 3	460 - 480
VERD 4	TOP 4	SRTM 4	ASTER 4	480 - 500
VERD 5	TOP 5	SRTM 5	ASTER 5	500 - 520
VERD 6	TOP 6	SRTM 6	ASTER 6	520 - 540
VERD 7	TOP 7	SRTM 7	ASTER 7	540 - 560
VERD 8	TOP 8	SRTM 8	ASTER 8	560 - 580
VERD 9	TOP 9	SRTM 9	ASTER 9	580 - 600
VERD 10	TOP 10	SRTM 10	ASTER 10	600 - 620
VERD 11	TOP 11	SRTM 11	ASTER 11	620 - 640
VERD 12	TOP 12	SRTM 12	ASTER 12	640 - 660
VERD 13	TOP 13	SRTM 13	ASTER 13	660 - 680
VERD 14	TOP 14	SRTM 14	ASTER 14	680 - 700
VERD 15	TOP 15	SRTM 15	ASTER 15	700 - 720
VERD 16	TOP 16	SRTM 16	ASTER 16	720 - 740
VERD 17	TOP 17	SRTM 17	ASTER 17	740 - 760
VERD 18	TOP 18	SRTM 18	ASTER 18	760 - 780
VERD 19	TOP 19	SRTM 19	ASTER 19	780 - 800
VERD 20	TOP 20	SRTM 20	ASTER 20	800 - 820
VERD 21	TOP 21	SRTM 21	ASTER 21	820 - 840
VERD 22	TOP 22	SRTM 22	ASTER 22	840 - 860
VERD 23	TOP 23	SRTM 23	ASTER 23	860 - 880
VERD 24	TOP 24	SRTM 24	ASTER 24	880 - 900
VERD 25	TOP 25	SRTM 25	ASTER 25	900 - 920
VERD 26	TOP 26	SRTM 26	ASTER 26	920 - 940

4.1. Verdade Terrestre para Matriz de Confusão

Para a elaboração do arquivo da Verdade Terrestre de modo que se tornasse possível a sua utilização no estudo com a Matiz de Confusão, foi aplicada a referida subdivisão de classes aos dados altimétricos. Com a subdivisão em classes altimétricas o arquivo se torna o mapa base de referência da área de estudo (Figura 8), desta forma alcançando a informação fundamental para que possa ser feito o estudo de comparação com as classificações dos MDEs oriundos dos diversos Sensores com a utilização da matriz de confusão.

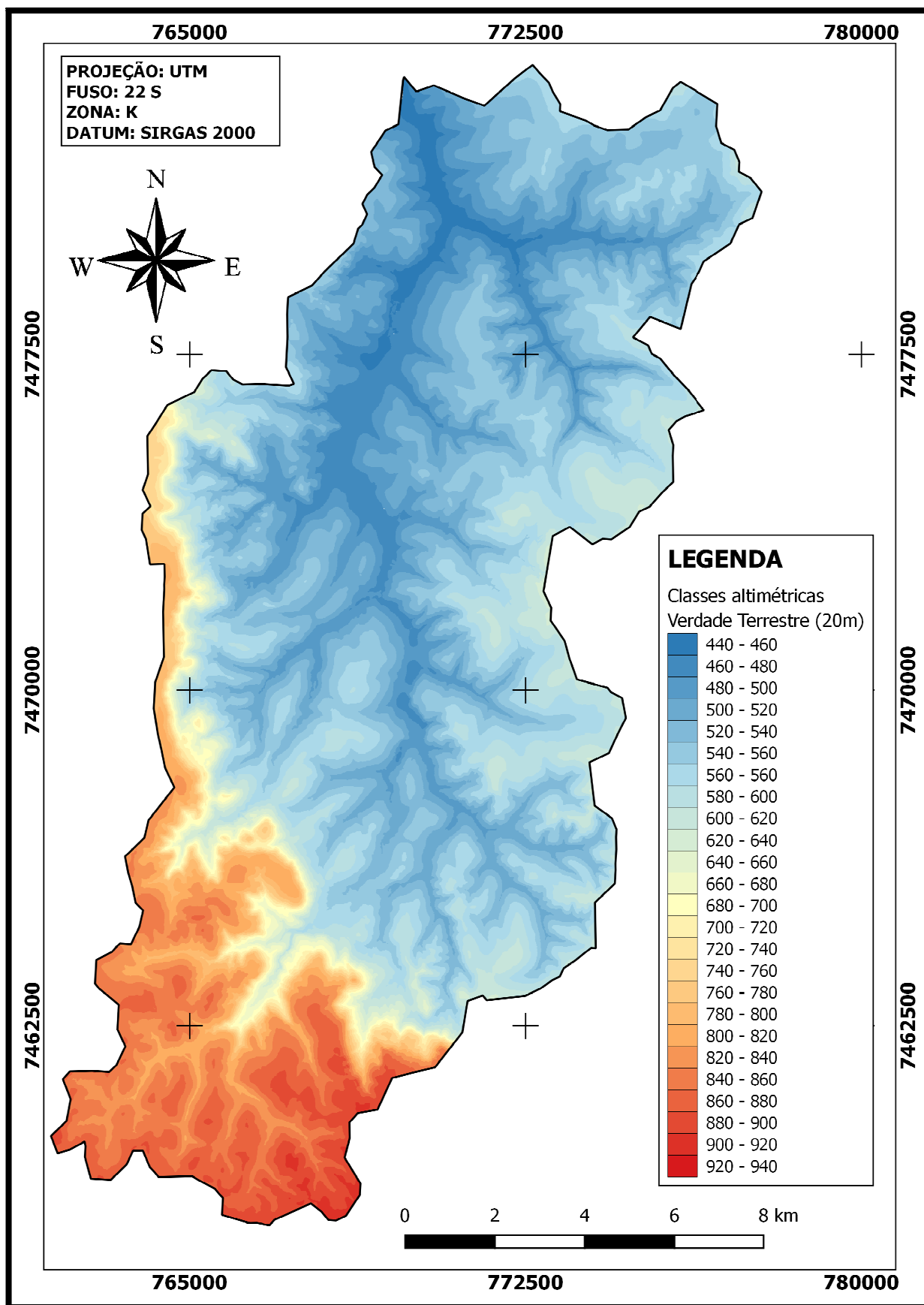


Figura 8: Verdade terrestre em Classes altimétricas com equidistância de 20 metros da bacia do Rio Capivara.

4.2. Dados TOPODATA

4.2.1. Sensor de radar dados TOPODATA para Matriz de Confusão

O resultado da altitude derivada dos arquivos TOPODATA (Figura 9) através dos arquivos de MDE de altimetria da base de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com 90 metros de resolução e processados no Projeto TOPODATA com resolução de 30 metros, com intervalos de classes de elevação com equidistâncias de 20 metros (mesmas classes de representação da verdade terrestre) apresentou resultado boa qualidade de classificação, especialmente tendo em vista as características morfométricas geradas pelo MDE da área estudada.

Pode-se observar de acordo com o mapa de classificação dos dados altimétricos dos sensores processados ao TOPODATA que existe uma boa similaridade entre as feições expostas no mapa de classes da verdade terrestre.

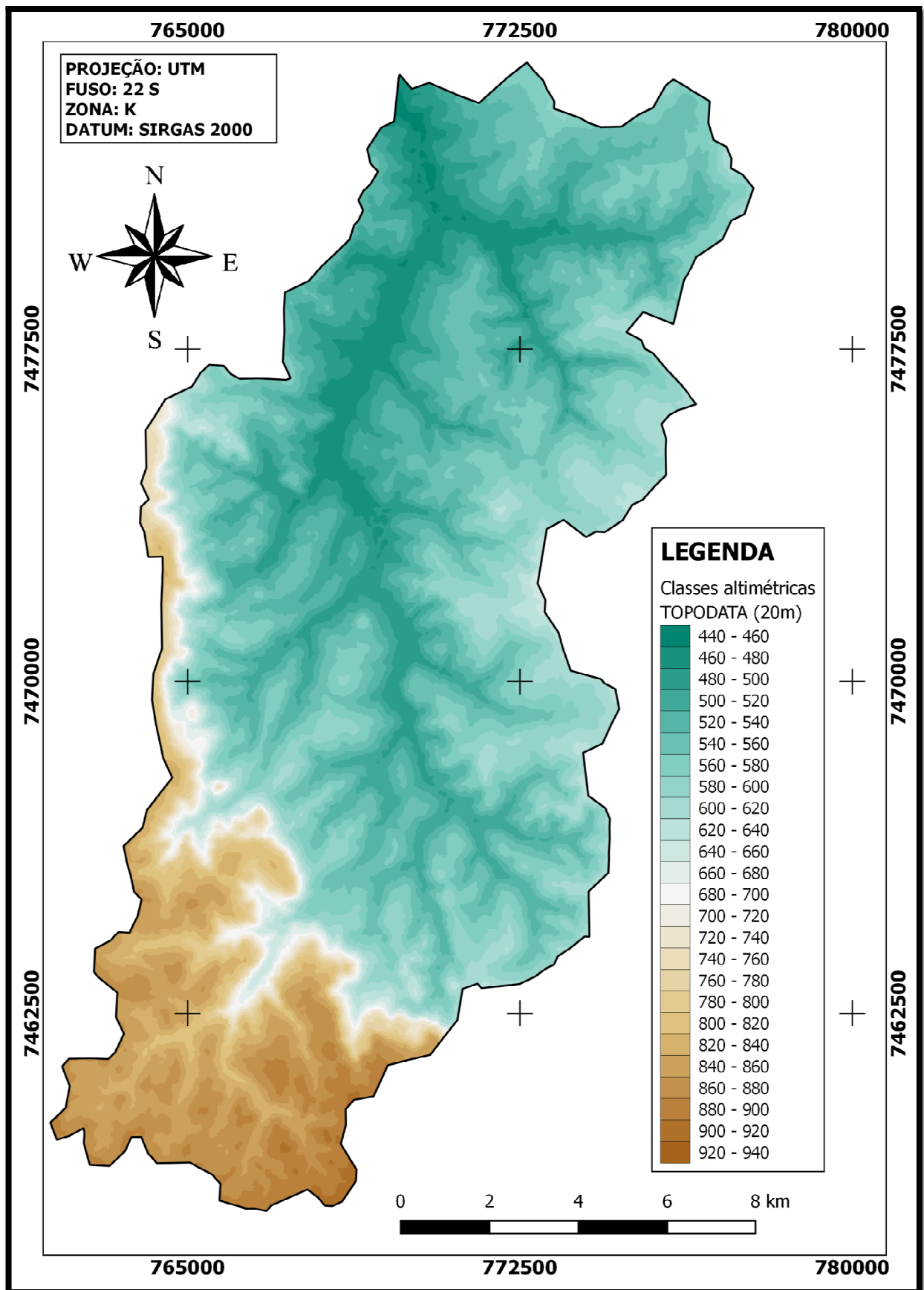


Figura 9: TOPODATA em Classes altimétricas de 20 em 20 metros da bacia do Rio Capivara.

4.2.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x TOPODATA

De acordo com a avaliação expressa pela Matriz de Confusão gerada a partir da Altimetria do TOPODATA cruzada a Verdade Terrestre (Tabela 2), levando em consideração o método da Matriz de Confusão de que quanto mais alto o valor estiver no eixo principal da matriz mais elevada será a acurácia, 19 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas (classes de 20 em 20 metros) tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre da área. Desta forma, pode-se constatar um bom grau de acuracidade nos dados classificados do cruzamento do TOPODATA com a Verdade Terrestre, apresentando um valor de 0,50114, o que segundo Landis e Koch (1977) adaptados por Piroli (2010) indica uma classificação dentro do intervalo 0,40 a 0,60 (Tabela 2).

Para um melhor entendimento dos dados dispostos na Tabela 2 analise o Quadro 3 para que este sirva de legenda de interpretação.

Quadro 3: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão.

VERD. XX	- Linhas referentes aos valores dos arquivos da Verdade Terrestre.
TOP. XX	- Colunas referentes aos valores dos arquivos do sensor TOPODATA
90091	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre com os dados TOPODATA
20738	- Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão (Ex.: VERD. 01 x TOP. 01, VERD. 02 x TOP. 02,... VERD. 25 x TOP. 25.)
24019	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre coincidindo com as Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão
17160000	- Total dos somatórios dos valores, tanto da Verdade Terrestre quanto para o TOPODATA

Tabela 2:Matriz de Confusão gerada a partir das classes de altimetria do TOPODATA cruzada com a Verdade Terrestre (Parte 1 de 2)

	TOP. 1	TOP. 2	TOP. 3	TOP. 4	TOP. 5	TOP. 6	TOP. 7	TOP. 8	TOP. 9	TOP. 10	TOP. 11	TOP. 12	TOP. 13	TOTAL
VERD. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3640
VERD. 1	0	797	1312	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3640
VERD. 2	0	0	20738	90091	1370	0	0	0	0	0	0	0	0	112604
VERD. 3	0	0	2082	240019	182452	10726	245	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	0	24133	352673	297579	27666	995	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	0	161	54703	510360	389124	26410	347	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	0	411	93647	629610	466001	27573	694	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	0	212	105204	761737	407083	28835	473	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	0	130	87093	563779	283464	16460	194	0	952720
VERD. 9	0	0	0	0	0	0	0	807	67778	400408	199510	5896	385	676568
VERD. 10	0	0	0	0	0	0	0	0	1054	50045	186898	60641	5266	306058
VERD. 11	0	0	0	0	0	0	0	0	37	3251	33898	43212	21622	107377
VERD. 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	202	4876	28088	26317	83855
VERD. 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	781	6509	27989	89149
VERD. 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	1248	9201	87217
VERD. 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112	1305	73566
VERD. 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	72427
VERD. 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85340
VERD. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83530
VERD. 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23948
TOTAL	0	797	24215	354616	591727	912633	1152507	1343771	1068892	768696	443010	145900	92086	17160000

Tabela 2: Matriz de Confusão gerada a partir das classes de altimetria do TOPODATA cruzada com a Verdade Terrestre (Parte 2 de 2)

	TOP. 14	TOP. 15	TOP. 16	TOP. 17	TOP. 18	TOP. 19	TOP. 20	TOPO. 21	TOP. 22	TOP. 23	TOP. 24	TOP. 25	TOP. 26	TOTAL
VERD. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3640
VERD. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112604
VERD. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	952720
VERD. 9	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	676568
VERD. 10	457	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306058
VERD. 11	4307	394	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107377
VERD. 12	17653	4721	1758	184	16	0	0	0	0	0	0	0	0	83855
VERD. 13	27432	17229	6464	2322	354	48	0	0	0	0	0	0	0	89149
VERD. 14	26390	26043	13544	6848	2895	880	33	0	0	0	0	0	0	87217
VERD. 15	9423	24208	17250	11141	6816	2329	950	0	0	0	0	0	0	73566
VERD. 16	1128	11097	20787	18294	11377	5898	2992	674	96	0	0	0	0	72427
VERD. 17	129	1752	11238	20578	29494	13204	6144	2051	621	0	0	0	0	85340
VERD. 18	1	107	2281	12239	17552	26989	18009	4848	1211	46	0	0	0	83530
VERD. 19	0	0	70	2467	10296	22999	47216	38010	2973	687	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	23	1235	5473	26920	112977	58420	4113	589	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	0	104	409	2157	29650	161337	107659	2876	53	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	123	34	305	34657	269244	96614	403	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	0	134	37292	233234	42836	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	357	27202	121135	7908	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8717	14892	23948
TOTAL	87014	85588	73602	74140	80421	78717	104756	188515	259824	419398	360515	173144	23061	17160000

Entretanto, as classes 1, 2, 12, 13, 14, 15 e 16 do TOPODATA apresentaram os valores expressos fora do eixo principal da Matriz de Confusão. As classes de altimetria 1 e 2 que correspondem às cotas 440 - 460m e 460 - 480m respectivamente, interpretaram os maiores grupos de pixels como sendo uma classe acima, onde os maiores valores da classe 1 do TOPADOTA foram interpretados na classe 2 e subsequentemente os maiores valores da classe 2 do TOPODATA foram interpretados como sendo da classe 3 da Verdade Terrestre.

Deverá ser considerado que esse pequeno grupo de classes (1 e 2) está localizado em áreas muito planas, podendo ter ocorrido confusão na interpretação por parte do algoritmo de processamento do TOPODATA.

Já para o grupo de classes 12, 13, 14, 15 e 16, estes com as cotas variando desde 660m até as cotas de 760m, apresentaram os maiores grupos de pixels cruzados como sendo de classes inferiores às classes esperadas (Tabela 2), onde os maiores valores das classes 12, 13, 14, 15 e 16 foram apresentados como sendo das classes 11, 12, 13, 14 e 15 (640m até 740m) respectivamente.

Essa ocorrência pode ser observada devido ao fato de que esse grupo de classes está disposto exatamente nas áreas que apresentam o relevo mais escarpado e consequentemente com uma declividade bem definida. Declividades estas que podem ser observadas na Figura 10 que apresenta o perfil topográfico longitudinal da bacia, perfil representativo do leito principal do rio Capivara.

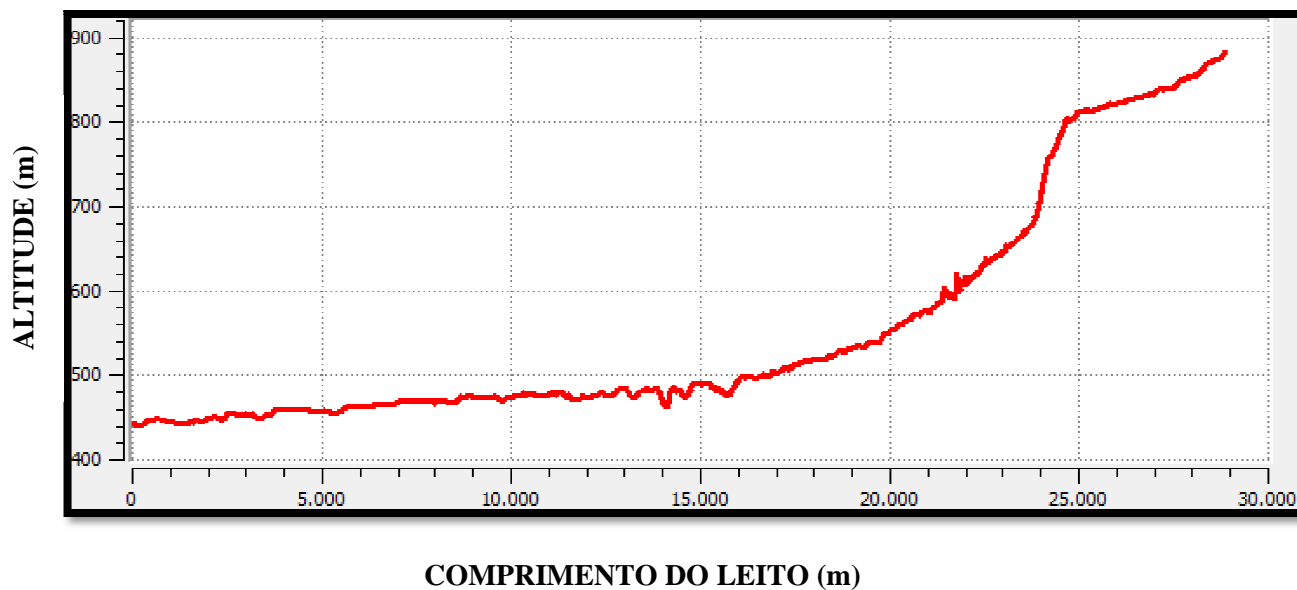


Figura 10: Perfil topográfico longitudinal da bacia do Capivara seguindo o leito principal do Rio.

Para uma melhor visualização e interpretação da ocorrência do fato, em que as classes que apresentaram os maiores valores um nível abaixo do eixo principal da matriz de confusão, observa-se na Figura 11, onde essas classes estão representadas em destaque na cor vermelha, que se localizam exatamente na região que corresponde à área da feição geomorfológica da Cuesta.

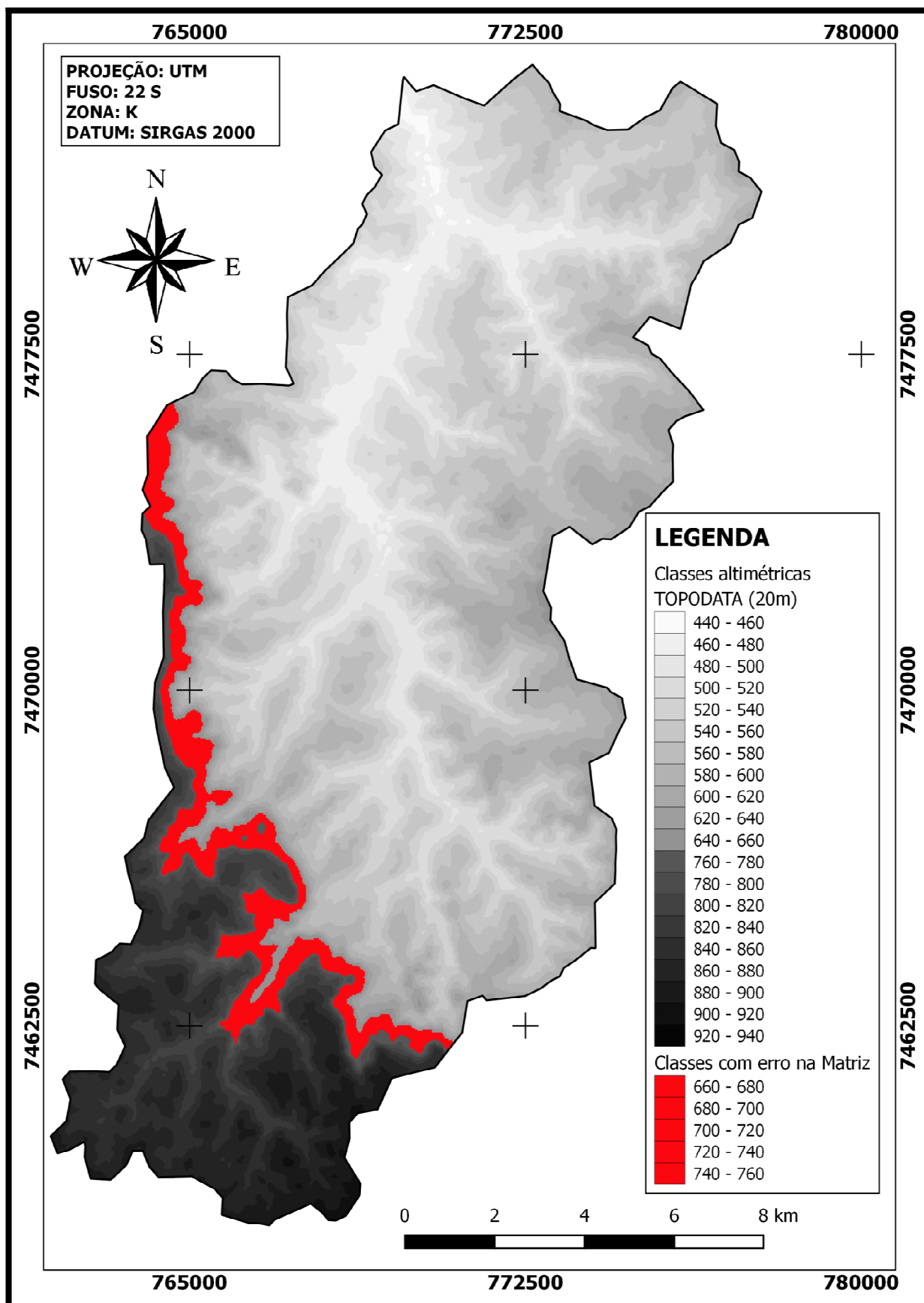


Figura 11: Classes topográficas do TOPODATA com valores fora do eixo principal da Matriz e que se localizam na região correspondente à feição geomorfológica da Cuesta.

Desta forma considera-se que a resolução espacial das imagens provenientes dos sensores de radar, neste caso o arquivo do TOPODADA, estão diretamente ligadas com a baixa acurácia em áreas de grandes declividades, pois quanto maior o tamanho do pixel, maior a dificuldade de capturar diferenças abruptas de declividade.

Observa-se que as classes cujo os maiores valores foram apresentados fora do eixo principal da Matriz localizadas em áreas muito planas apresentaram os maiores valores de grupos de pixels em um nível acima para o qual deveriam apresentar, desta forma exibindo uma superestimação das possíveis modificações do relevo. Já os valores fora do eixo principal da Matriz que se localizam em áreas com declividade acentuada se observou que os grupos de pixel foram expostos em níveis abaixo do que deveriam se encontrar, com isso expondo uma subestimação do relevo.

4.3. Dados sensor SRTM 30 metros

4.3.1. Sensor de radar SRTM 30 metros para Matriz de Confusão

O resultado das classes de altimetria derivadas dos arquivos de MDE da base de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com 30 metros de resolução (1 arco de segundo) com as mesmas classes de representação da verdade terrestre (equidistância de 20 metros) pode ser observados na Figura 12, onde este apresentou uma boa qualidade de classificação, sobretudo devido às características morfométricas geradas pelo MDE da área analisada.

Desta forma também pode ser observado de acordo com o mapa de classificação dos dados dos sensores de radar SRTM de 30 metros que existe uma boa paridade entre as feições expostas no mapa de classes da verdade terrestre, mesmo este apresentando uma certa desagregação de alguns pixels em relação ao TOPODATA, onde alguns desses pixels aparentam estar soltos de suas respectivas classes.

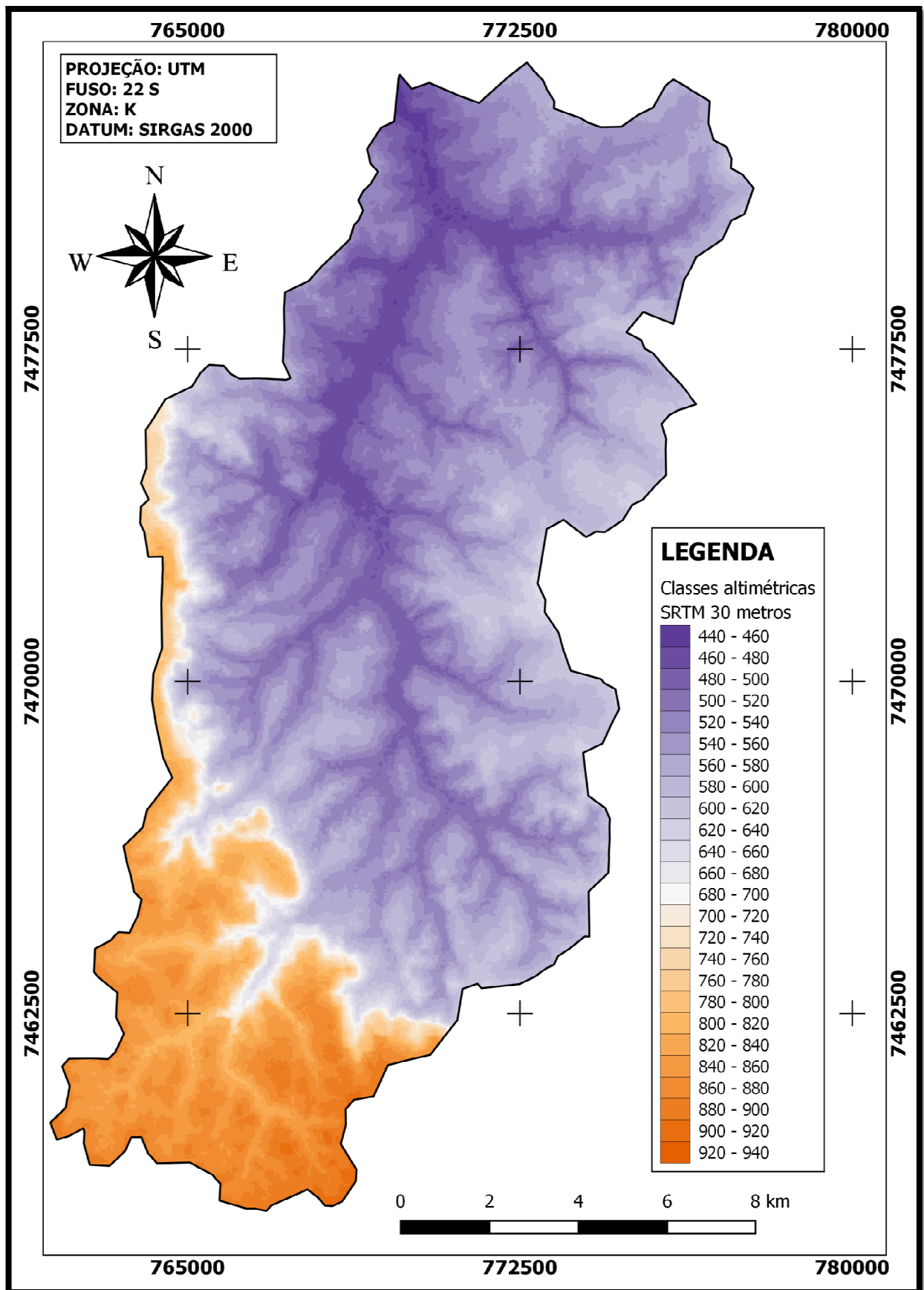


Figura 12: SRTM 30 metros em Classes altimétricas com equidistâncias de 20 metros da bacia do Rio Capivara.

4.3.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x SRTM 30 metros.

Na avaliação anunciada pela Matriz de Confusão determinada a partir do cruzamento das classes de Altimetria (com equidistâncias de 20 metros, referidas anteriormente) do Modelo digital de elevação do sensor de Radar SRTM (resolução de 30 metros) com a Verdade Terrestre (Tabela 3), levando em consideração o método da Matriz de Confusão de que quanto mais alto o valor estiver no eixo principal da matriz mais elevada será a acurácia, apenas 2 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas não tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre da área. Com isso, pode-se verificar um bom grau de acuracidade nos dados classificados do cruzamento do SRTM 30 metros com a Verdade Terrestre apresentando um valor de 0,56544, o que indica uma classificação dentro do intervalo de 0,40 a 0,60 apresentados na Tabela 1 (LANDIS e KOCH,1977).

Para melhor compreensão dos dados dispostos na Tabela 3 analise o Quadro 4 para que este sirva de legenda de interpretação.

Quadro 4: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão SRTM 30m X Verdade Terrestre.

VERD. XX	- Linhas referentes aos valores dos arquivos da Verdade Terrestre.
SRTM XX	- Colunas referentes aos valores dos arquivos do sensor SRTM 30 metros
90091	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre com o SRTM 30 metros
20738	- Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão (Ex.: VERD. 01 x SRTM 01, VERD. 02 x SRTM 02,... VERD. 25 x SRTM 25.)
240019	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre coincidindo com as Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão
17160000	- Total dos somatórios dos valores, tanto da Verdade Terrestre quanto para o SRTM 30 metros

Tabela 3: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor SRTM 30m cruzada a Verdade Terrestre (Parte 1 de 2)

	SRTM 1	SRTM 2	SRTM 3	SRTM 4	SRTM 5	SRTM 6	SRTM 7	SRTM 8	SRTM 9	SRTM 10	SRTM 11	SRTM 12	SRTM 13	TOTAL
VERD. 1	0	1504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1504
VERD. 2	364	26598	85298	1241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113906
VERD. 3	0	1127	253754	174587	6023	98	0	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	11459	389332	283726	18215	308	0	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	0	26569	560508	376824	16653	335	0	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	8	42776	701709	456331	16036	521	0	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	7	45056	835603	401241	21395	239	0	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	0	43671	615637	279130	12438	140	0	0	952720
VERD. 9	0	0	0	0	0	0	129	36549	434718	198751	4320	136	6	676568
VERD. 10	0	0	0	0	0	0	0	146	30977	207606	62357	2666	87	306058
VERD. 11	0	0	0	0	0	0	0	0	465	22644	59697	21957	1878	107377
VERD. 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1466	20551	40356	18438	83855
VERD. 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	2414	21372	42156	89149
VERD. 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	275	3016	20614	87217
VERD. 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	3353	73566
VERD. 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	72427
VERD. 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85340
VERD. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83530
VERD. 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23948
VERD. 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL	364	29521	350793	591905	893303	1142243	1353229	1071902	770091	445857	150660	89695	86588	17160000

Tabela 3: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor SRTM 30m cruzada a Verdade Terrestre (Parte 2 de 2)

	SRTM 14	SRTM 15	SRTM 16	SRTM 17	SRTM 18	SRTM 19	SRTM. 20	SRTM 21	SRTM 22	SRTM 23	SRTM 24	SRTM 25	SRTM 26	TOTAL
VERD. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1504
VERD. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113906
VERD. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	952720
VERD. 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	676568
VERD. 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306058
VERD. 11	36	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107377
VERD. 12	2460	469	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83855
VERD. 13	18693	3718	531	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89149
VERD. 14	38974	18598	4420	1130	116	0	0	0	0	0	0	0	0	87217
VERD. 15	18723	32149	13526	4693	852	11	0	0	0	0	0	0	0	73566
VERD. 16	3341	19208	30351	14071	4169	836	349	8	0	0	0	0	0	72427
VERD. 17	98	4033	21359	39610	15283	3524	963	413	0	0	0	0	0	85340
VERD. 18	0	198	4384	19105	35583	20625	2981	505	0	0	0	0	0	83530
VERD. 19	0	0	207	3307	19290	58665	40527	2712	23	0	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	67	1558	19047	131557	55032	2446	16	0	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	0	30	789	20196	175735	106174	1383	0	0	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	9	253	22426	286090	92183	384	0	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	58	26128	243734	43202	40	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	185	24475	122815	8470	72	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8111	15488	36	23948
VERD. 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL	82327	78414	74923	82901	77540	103977	196826	256889	421046	361791	174512	24543	109	17160000

As classes de altimetria 1 e 2 que correspondem às cotas 440 - 460m e 460 - 480m respectivamente, interpretaram os maiores grupos de pixels como sendo uma classe acima, onde os maiores valores da classe 1 do SRTM 30 metros foram interpretados na classe 2 e subsequentemente os maiores valores da classe 2 do SRTM 30 metros foram interpretados como sendo da classe 3da Verdade Terrestre.

Deve ser considerado que esse pequeno grupo de classes (1 e 2) está localizado em áreas muito planas, mesmo fato ocorrido com os dados do TOPODATA (SRMT 90 metros processados) onde ocorre nessa mesma área essa superestimação.

Outro fator que deve ser considerado é o fato que, diferentemente dos dados do TOPODATA, os dados do SRTM 30 metros não apresentaram valores incorretos (fora do eixo principal da Matriz de confusão) na região que corresponde à Cuesta. O que tende a se considerar que a resolução do levantamento (originalmente de 30 metro) está diretamente ligado à sua melhor acurácia, principalmente em regiões com declividade acentuada, como pôde ser observada na Figura 8 que apresenta perfil topográfico longitudinal da bacia seguindo o leito principal do rio Capivara.

Entretanto não pode ser notado uma melhoria muito grande em relação aos dados processados do TOPODATA, desta forma deve ser considerada a possibilidade de que, no caso dos dados do SRMT 30 metros, os dados obtiveram uma melhor acurácia mas que não tiveram tanto desempenho em relação à precisão dos dados.

4.4. Dados sensor ASTER

4.4.1. Sensor ASTER para Matriz de Confusão

O resultado das classes de altimetria derivadas dos arquivos de MDE da base de dados dos sensores ASTER com 30 metros de resolução (1 arco de segundo) com as mesmas classes de representação da verdade terrestre (equidistância de 20 metros) podendo ser observado na Figura 13, ofereceu um resultado com adequada qualidade de classificação, especialmente pelas características morfométricas originadas pelo MDE da área considerada.

Também pode ser observado, de acordo com o mapa de classificação dos dados dos sensores ASTER de 30 metros, que existe uma boa uniformidade entre as feições expostas no mapa de classes da verdade terrestre mas que, assim como no caso dos sensores de radar SRTM de 30 metros, o ASTER também apresentou certa desagregação de alguns pixels em relação ao TOPODATA, onde estes pixels aparentam estar soltos e conseqüentemente fora de suas respectivas classes.

Desta forma, o que já pode ser considerado é que o processamento e tratamento dos dados como feito nos dados do TOPODATA proporcionam uma melhor uniformização e agregação dos pixels em suas respectivas classes.

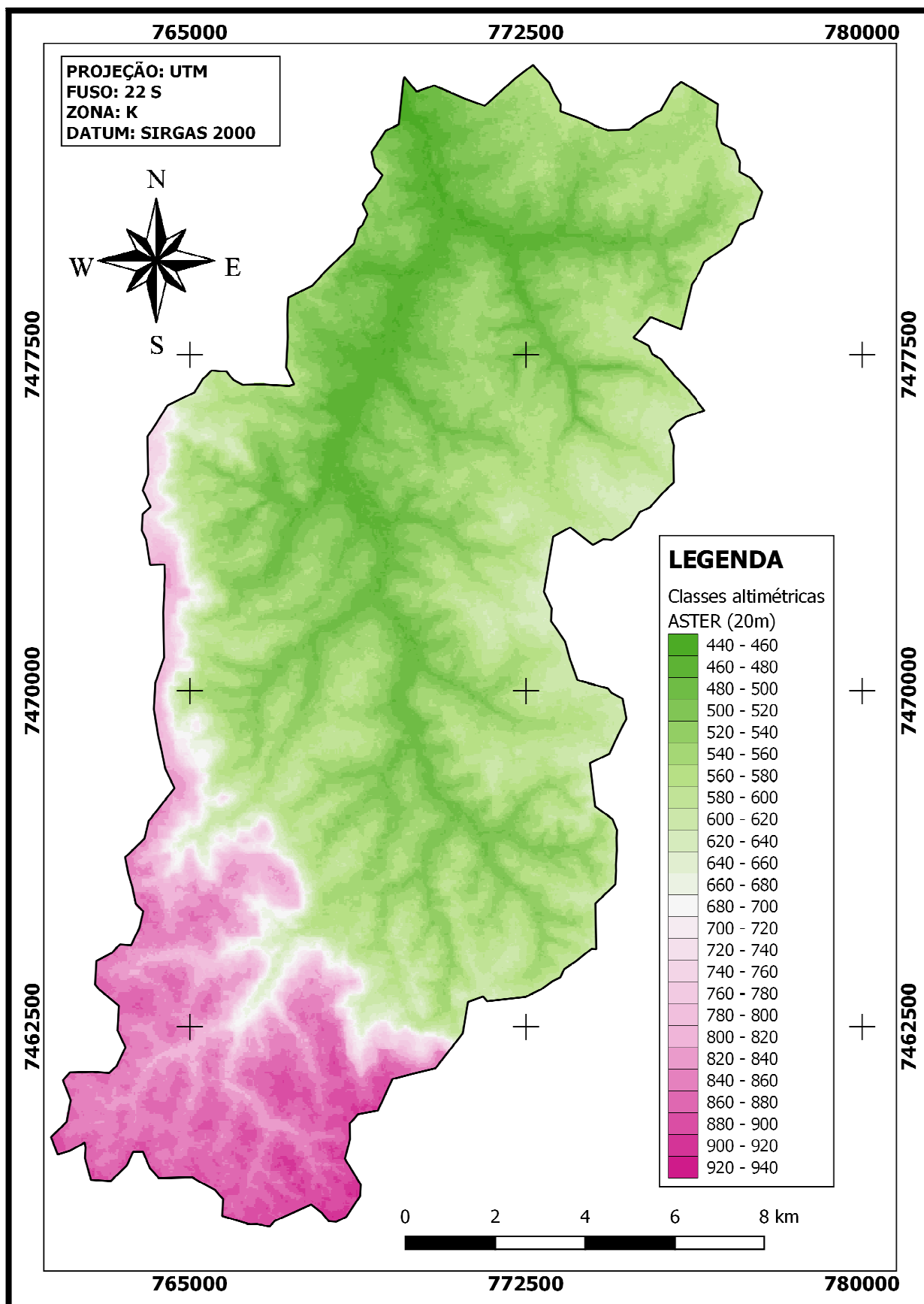


Figura 13: ASTER em Classes altimétricas com equidistâncias de 20 metros da bacia do Rio Capivara.

4.4.2. Matriz de Confusão VERDADE TERRESTRE x ASTER.

Segundo o julgamento divulgado pela Matriz de Confusão gerada a partir das classes de Altimetria do sensor ASTER confrontado com a Verdade Terrestre (Tabela 4), considerando o método da Matriz de Confusão de que quanto mais alto o valor estiver no eixo principal da matriz mais elevada será a acurácia, somente 2 das 26 classes de informações altimétricas apresentadas (classes de 20 metros de equidistância) não tiveram os seus maiores valores expressos nos respectivos eixos principais das classes confrontadas com a verdade terrestre da área, da mesma forma como ocorreu com os dados do sensor SRTM 30 metros. Desta maneira, também deve-se considerar um bom grau de acuracidade do cruzamento do dados classificados dos sensores ASTER com a Verdade Terrestre, apresentando um valor de 0,52746, indicando uma classificação dentro do intervalo de 0,40 a 0,60 apresentados na Tabela 1 (LANDIS e KOCH,1977).

Para um melhor entendimento dos dados dispostos na Tabela 4 considere o Quadro 5 para que este sirva de legenda de interpretação.

Quadro 5: Legenda de interpretação e entendimento da Tabela Matriz de Confusão ASTER X Verdade Terrestre.

VERD. XX	- Linhas referentes aos valores dos arquivos da Verdade Terrestre.
ASTER XX	- Colunas referentes aos valores dos arquivos do sensor ASTER
90091	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre com o ASTER
20738	- Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão (Ex.:VERD. 01 x ASTER 01, VERD. 02 x ASTER 02,... VERD. 25 x ASTER 25.)
240019	- Maiores valores do cruzamento da Verdade Terrestre coincidindo com as Células referentes ao Eixo principal da Matriz de Confusão
17160000	- Total dos somatórios dos valores, tanto da Verdade Terrestre quanto para o ASTER

Tabela 4: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor ASTER cruzada a Verdade Terrestre (Parte 1 de 2)

	ASTER 1	ASTER 2	ASTER 3	ASTER 4	ASTER 5	ASTER 6	ASTER 7	ASTER 8	ASTER 9	ASTER 10	ASTER 11	ASTER 12	ASTER 13	TOTAL
VERD. 1	0	1241	159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1400
VERD. 2	384	25519	85065	2724	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114146
VERD. 3	0	3054	238958	182691	10859	27	0	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	16619	369652	291172	25580	17	0	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	26	38526	515589	409839	16725	184	0	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	704	60253	658785	484209	13422	8	0	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	255	66279	788624	435135	12900	348	0	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	57	61570	601997	280616	6732	44	0	0	952720
VERD. 9	0	0	0	0	0	0	510	57180	411807	201065	3770	277	0	676568
VERD. 10	0	0	0	0	0	0	0	641	39714	184211	77368	1855	50	306058
VERD. 11	0	0	0	0	0	0	0	0	1242	25743	58330	19724	1617	107377
VERD. 12	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2557	22088	37861	18289	83855
VERD. 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	564	3125	23769	38708	89149
VERD. 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	681	4692	21299	87217
VERD. 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	469	5195	73566
VERD. 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	270	72427
VERD. 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85340
VERD. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83514
VERD. 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23948
VERD. 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL	384	30129	341103	594529	878331	1160898	1352299	1110861	748466	424212	166219	88648	85428	17160000

Tabela 4: Matriz de Confusão gerada a partir das classes altimétricas do sensor ASTER cruzada a Verdade Terrestre (Parte 2 de 2)

	ASTER 14	ASTER 15	ASTER 16	ASTER 17	ASTER 18	ASTER 19	ASTER 20	ASTER 21	ASTER 22	ASTER 23	ASTER 24	ASTER 25	ASTER 26	TOTAL
VERD. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1400
VERD. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114146
VERD. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435615
VERD. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	703147
VERD. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	981328
VERD. 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1218664
VERD. 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1304434
VERD. 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	952720
VERD. 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	676568
VERD. 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306058
VERD. 11	42	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107377
VERD. 12	2621	368	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83855
VERD. 13	18636	3885	416	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89149
VERD. 14	36975	17255	5213	954	71	0	0	0	0	0	0	0	0	87217
VERD. 15	19023	28151	15301	4437	875	8	0	0	0	0	0	0	0	73566
VERD. 16	4991	17765	30398	13625	4440	837	56	0	0	0	0	0	0	72427
VERD. 17	585	4942	23696	36352	14066	4464	878	294	6	0	0	0	0	85340
VERD. 18	0	830	5852	19923	32734	20166	3307	495	58	0	0	0	0	83514
VERD. 19	0	87	551	4031	17831	57124	42226	2714	167	0	0	0	0	125091
VERD. 20	0	0	0	327	2096	19790	118272	66417	2737	84	0	0	0	209861
VERD. 21	0	0	0	34	212	658	20571	166001	114842	1988	1	0	0	304649
VERD. 22	0	0	0	0	0	15	252	25423	270243	105016	396	0	0	402483
VERD. 23	0	0	0	0	0	0	0	0	36503	228683	47788	188	0	314553
VERD. 24	0	0	0	0	0	0	0	0	359	32282	113818	9506	52	157353
VERD. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9815	13509	308	23948
VERD. 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL	82883	73295	81519	80788	72950	103333	185977	261344	424915	368056	171818	23553	361	17160000

Assim como nos dados observados para os sensores SRTM de 30 metros, os dados obtidos na Matriz de confusão do ASTER cruzados com a verdade terrestre apresentaram que as classes de altimetria 1 e 2 que correspondem às cotas 440 - 460m e 460 - 480m respectivamente, interpretaram os maiores grupos de pixels como sendo uma classe acima, onde os maiores valores da classe 1 do sensor ASTER foram interpretados na classe 2 e subsequentemente os maiores valores da classe 2 do ASTER foram interpretados como sendo da classe 3da Verdade Terrestre.

Com isso observa-se que esse pequeno grupo de classes (1 e 2) está localizado em áreas muito planas, assim como citado anteriormente com os valores provenientes dos dados SRTM 30 metros e dos dados originários do TOPODATA (SRMT 90 metros processados) onde ocorre o mesmo fato de superestimação para essas mesmas classes.

Também como os dados do SRTM 30 metros, os valores obtidos na Matriz de Confusão do ASTER não apresentaram valores incorretos (fora do eixo principal da Matriz de confusão) na região que corresponde à Cuesta. Desta forma, mais uma vez considerando que a resolução do levantamento do sensor ASTER (originalmente de 30 metro, assim como o SRTM de 30m), está inteiramente ligado a uma melhor acurácia, o que em regiões com relevos acentuados é de extrema relevância.

No entanto, mesmo com uma melhor representação dos valores dispostos no eixo principal da matriz, os resultados para as classes oriundas do MDE dos sensores ASTER não alcançaram notória diferença em relação aos dados do TOPODATA, que por sua vez são dados SRMT 90 metros processados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos resultados obtidos, a avaliação da acurácia das classes topográficas geradas a partir do TOPODATA, SRTM 30 metros e ASTER processadas à Verdade Terrestre da Bacia Hidrográfica do Rio Capivara, exibiram respectivamente 50,114%, 56,544% e 52,746% de número de amostras representadas de forma correta. Desta forma apresentaram Modelos Digitais de Elevação com "boa classificação" segundo método de Landis e Koch (1977), o que admite tais produtos como uma alternativa economicamente viável e rápida para mapeamento e modelagem ambiental.

No entanto, alguns locais com relevo plano, como o caso das classes topográficas 1 e 2, todos os MDEs apresentaram superestimações das classes topográficas. Em relação às áreas com relevo acidentado e com declividade acentuada, os dados do TOPODATA mostraram uma subestimação das classes topográficas.

Por fim, considera-se que o método de interpolação por krigagem do projeto TOPODATA se mostrou muito eficaz, pois conseguiu exercer um refinamento dos dados (90 metros para 30 metros) com acurácia próxima aos modelos que possuem resolução inicial de 30 metros.

6. CONCLUSÕES

As classes topográficas provenientes do arquivo de Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo do sensor de radar SRTM 30 metros, exibiu o melhor produto dos dados analisados, por apresentar resultados de índice Kappa com 3,798% de acertos a mais em relação ao sensor ASTER e 6,43% a mais que os dados do TOPODATA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRA, I. **Cartografia Digital e Geoprocessamento: Fundamentos e Aplicações**. Versão digital, 2011. Disponível em: <<http://www.obusca.com/pdf/ciencia-e-aplicacoes.html>>. Acesso em 19 maio 2015.

ALMEIDA, A. J. P. **Ocupação em áreas de preservação permanente das bacias hidrográficas na área urbana de Maceió, Alagoas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió. 2011.

AMORIM, R. F.; ALMEIDA, S. A. S.; CUELLAR, M. Z.; COSTA, A. M. B.; GOMES, C. Mapeamento de Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.. 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 3710.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA - CPAC 1998. 434 p.

BARROS, B. S. X.; **Inventário das áreas de produção de eucalipto por meio de imagens aéreas, Landsat e Google, no município de Botucatu/ SP**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCA, Campus Botucatu. Botucatu - SP. 2013.

BASTIAN, O.; STEINHARDT, U. Development and perspectives of landscape ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Ed. 2002.

BELO, J. P. R. **Os SIG aplicados à análise do risco de inundação progressiva do rio Tejo, entre Belver e Vila Nova da Barquinha, Região do Médio Tejo**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) – Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 2012.

BONHAM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists. **Pergamon. Computer Methods in the Geosciences**. Ottawa: v. 13, p. 397, 1994.

BRINKER, R. C; WOLF, P. R. Elementary Surveying. New York, Harper & Row, 568 p. 1977.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resource assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 194p.

CÂMARA, G. et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: 2004. 78 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43>>. Acesso em: 21 maio 2015.

CAMPOS, S. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu/SP. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 431-435, 2004.

CHAVEZ, JR., P. S. An Improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, 1988.

COHEN, J. A. Coeficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Measurment**. v. 20, p. 37-46, 1960.

COLGATON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

D'ALGE, J. C. L. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Versão digital, 2003. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAQgQAI/cartografia-geoprocessamento>> Acesso em: 19 maio 2015.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L.. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. **Ra'e ga (UFPR)**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA-UERJ. Engenharia cartográfica. Disponível em: <<http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=utm.htm>>. Acesso em: 18 set. 2015.

EIPHANIO, J. C. N. **Satélites de Sensoriamento Remoto**. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. v 1, Ed. UFSCar, São Carlos – SP, p. 23. 2005.

FINK, J.; POELKING, E. L.; CLAUDINO, A. E.; DALMOLIN, R. S. D. Uso da Terra em Função das Classes de Declividade no Município de Itaara, RS. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, 2007. 3-7p.

FREITAS FILHO, M. R. de, **Análise geoambiental com aplicação de geotecnologias nas nascentes do riacho dos Macacos: bacia do rio Acarajú-CE**. 2004, 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2004.

FREITAS, M. I. S.; PANCHER, A. M. **Curso de Classificação de Imagem**. Ed. UNESP, Rio Claro – SP, v 1, p 33. 2013.

FREITAS, R. M., ARAI, E., ADAMI, M., SOUZA, A. F., SHIMABUKURO, Y. E., RUDORFF, B. F. T., YUZO, F., ROSA, R. R. Visualização Instantânea de Séries Temporais EVI2-MODIS na América do Sul. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p.68611.

FUSHITA, A. T.; REIS, R. R.; FARESIN, L.; SANTOS, J. E. Desempenho da classificação supervisionada em diferentes programas: comparação por meio do uso da terra e do índice de naturalidade da paisagem. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 6465.

GASPAR, J.; FRANSCSCHINI, M. H. D.; DEMATTÊ, J. A M.; ALKIMIM, A. F.; CASTRO, A. C. Uso de Imagens SPOT na identificação, quantificação e Planejamento de Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.. 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 5849.

GONG, P.; HOWARTH, P. J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.

GÜRTLER, S. **Planilha para transformação dos números digitais das imagens dos satélites Landsat 5 e 7 em valores de significado físico - refletância**. São José dos Campos: INPE, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2ª ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo - **GeoPortal - IGC**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR-INPE). **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php/>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraView 4.2.2**. São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/terraview>. Acesso em: 09 jul. 2015.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA. Engenharia topográfica. Disponível em: <http://www.estig.ipbeja.pt/~hjmo/coordenacao_top.html>. Acesso em: 13 maio 2015.

JENSEN, J. **Introductory digital image processing**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 316 p.

JPL. Jet Propulsion Laboratory, Disponível em :<<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

- KAHMEN, H., FAIG, W. Surveying. Berlim: Walter Gruyter e Co, 1988.578 p.
- LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, Mar. 1977.
- LOURENÇO, R. W.; LANDIM P. M. B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada /NDVI” utilizando krigagem indicativa. **HALO Enviroment**, v. 4, n.1, 2004 – p. 38-55.
- MAGUIRE, D., M. GOODCHILD and D. RHIND. **Geographical Information Systems**. Ed. Longman, London. 1991.
- MEGIATO, E. I. et al. **Geoprocessamento para delimitação da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas**. Trabalhos acadêmicos de geoprocessamento desenvolvidos no laboratório de planejamento ambiental em 2007 Embrapa, 2007.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologia de aplicação**. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 2001.
- MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. **Sensoriamento Remoto aplicado à agricultura**. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 2001.
- MOURA, A. C. M. **Contribuições Metodológicas do Geoprocessamento à Geografia**. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento, UFMG, 2000. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento>>. Acesso em: 12 maio 2015.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2ª Edição. Belo Horizonte. 2005.
- NASCIMENTO, F. M.; MOREIRA, K. F.; BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; CAMPOS, S.; RODRIGUES, J. G. L.. Cobertura do solo e determinação de conflitos na rede de drenagem das fazendas Lageado e Edgardia, Botucatu – SP, obtidas de fotografias aéreas. **Revista Pesquisa Aplicada &Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 236-244, 2011.
- NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. **Revista Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat program**. Disponível em: <landsat.gsfc.nasa.gov>. Acesso em: 20 set. 2015.
- OLIVEIRA, M. J. **Proposta metodológica para delimitação automática de Áreas de Preservação Permanente em topos de morro e em linha de cumeada**. 2002. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PACHECO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. **Uma Contribuição do Sensoriamento Remoto para Detecção de Áreas Degradadas na Caatinga Brasileira**. Instituto de estudos sócio-ambientais. Goiânia – GO, 2006.

PIROLI, E. L.; CAMPOS, S. Análise do uso da terra por classes de declividade em microbacia hidrográfica usando geoprocessamento. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. Guarapuava – PR, v.3, n.1, p.43 – 53, 2010.

POZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 2001.

QGIS Equipe de Desenvolvimento, 2016. QGIS Sistema de Informação Geográfica. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>> Acesso em: 10 out. 2015.

RIBEIRO, C. A. A. S.; OLIVEIRA, M. J.; SOARES, V. P.; PINTO, F. A. C., Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros e em linhas de cumeada: metodologia e estudo de caso. In: Seminário de atualização em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicadas à engenharia florestal, 5., 2002. Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, 2002. 7-18p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 220 p.

RODRIGUES, M. T.; CERIGNONE, F. J.; RODRIGUES, B. T.; MALHEIROS, J. M.; MONTE, B. E. O.; CARDOSO, L. G. Utilização do geoprocessamento na classificação do uso da terra em áreas conflitantes da bacia hidrográfica do rio capivara no município de botucatu-sp. IV Workshop Internacional de Planejamento em Bacias Hidrográficas. 2013, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, SP: UNESP/FCT, 2013.

RODRIGUES, B. T.; **Utilização de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento das línguas negras das praias urbanas de Maceió - al**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió. 2012.

RUDORFF, B.F.T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V.G. C. Estimativa de Área Plantada com Cana-de-Açúcar em Municípios do Estado de São Paulo por Meio de Imagens de Satélites e Técnicas de Geoprocessamento: ano safra 2004/2005. **INPE-11421-RPQ/762**. 54p. 2004

SERRA, P.; PONS, X. Monitoring farmer's decisions on Mediterranean irrigated crops using satellite image time series. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p.2293-2316, 2008.

SILVA, C. H. S.; GUALBERTO, S.; TUPINAMBÁS, W. J. M.; SARAIVA, C. Coordenadas Topográficas X Coordenadas UTM. 2013. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/coordenadas-topograficas-x-coordenadas-utm/>>. Acesso em: 12 set. 2015.

SILVEIRA, C. J. A. **Determinação do Conflito entre as Áreas Antropizadas e a Legislação Ambiental na Zona Rural de Piedade dos Gerais, MG**. Belo Horizonte,

2007. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SOARES, A. M. L. et al. Aplicação de geotecnologias na identificação de conflitos entre o uso da terra e a legislação ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 2651-2657.

SUAREZ, A. F.; CANDEIAS, A. L. B. Avaliação de Acurácia da Classificação de Dados de Sensoriamento Remoto para o Município de Maragogipe. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, DeCart - UFPE, Recife, 2012

TRABAQUINI, K.; GARCIA, M. M.; ROMAGNOLLI, R.; FERNANDES, M. V. Avaliação das APPs em áreas de fundo de vale na cidade de Londrina-PR utilizando imagens de alta resolução. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2009, Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 1047-1054.

TRAFICANTE, D. P., Fragilidade ambiental da APA Corumbataí - Botucatu - Tejuapé (Perímetro Botucatu, SP, Brasil) na bacia hidrográfica do Rio Capivara. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCA, Campus Botucatu. Botucatu - SP. 2016.

UC. Universidade de Coimbra, Departamento de física - Nautilus. Disponível em: <<http://nautilus.fis.uc.pt/>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

UFSM, Colégio Politécnico. **Curso de cartografia básica, GPS e ArcGIS**. Ed. UFSM, Santa Maria – RS v 1, p 228. 2010.

USGS. Science for a changing world - Earthe Explorer. **Search Criteria Summary**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 maio 2016.

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

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRRNDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. **Acta Ecologica Sinica**, v.23, n.5, p.979 - 988. 2003.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro**. Ed. Do Autor, 2001.