

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

GEAN MARCOS XAVIER DA SILVA

**ALOCAÇÕES DE ESTRADA PRIMÁRIA PARA PLANO DE MANEJO
FLORESTAL, COMPARANDO DIFERENTES MODELOS DIGITAIS
DE ELEVAÇÃO.**

SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

GEAN MARCOS XAVIER DA SILVA

**ALOCAÇÕES DE ESTRADA PRIMÁRIA PARA PLANO DE MANEJO
FLORESTAL, COMPARANDO DIFERENTES MODELOS DIGITAIS
DE ELEVAÇÃO.**

Trabalho de Curso – TC, apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT -
Campus de Sinop, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Florestal.

Orientadora: Lígia Manccini de Oliveira Barros

SINOP
MATO GROSSO - BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586a Silva, Gean Marcos Xavier da.
ALOCAÇÃO DE ESTRADA PRIMÁRIA PARA PLANO DE
MANEJO FLORESTAL, COMPARANDO DIFERENTES
MODELOS DE ELEVAÇÃO DIGITAL / Gean Marcos Xavier da
Silva. -- 2017
76 f. ; 30 cm.

Orientadora: Lígia Mancini de Oliveira Barros.
TCC (graduação em Engenharia Florestal) - Universidade
Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e
Ambientais, Sinop, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Sig. 2. Modelo Digital de Elevação. 3. Superfície de custo. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
Campus Universitário de Sinop
Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais
Curso de Engenharia Florestal

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório

RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO

elaborado por
GEAN MARCOS XAVIER DA SILVA

como requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro(a) Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA



Fidel Candano Acosta
(Orientador)



Mauro Lúcio Frondoli Matricardi
(Supervisor)

Sinop, MT, 10 de Julho de 2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas graças alcançadas.

Agradeço especialmente a UFMT – *Campus* de Sinop e ao corpo docente que fez parte da minha graduação.

Aos meus pais, Jair Xavier da Silva e Nilza Matos da Silva por ter me amparado e incentivado sempre, e à minha irmã Geisse pelo apoio.

A minha namorada Pamella Souza por toda paciência, dedicação e amparo nos momentos difíceis.

A minha orientadora Ligia Manccini de Oliveira Barros pelos ensinamentos e dedicação para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Fidel Cándano Acosta pelas orientações.

Aos meus amigos, Abner França, Jhonatan Andrade e Jhony Ourives que contribuíram significativamente com minha formação, com o trabalho realizado e apoio nestes anos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBEJTIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Rede viária florestal	14
3.1.1 Estradas primárias	15
3.1.2 Variáveis relacionadas à otimização das estradas florestais	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área de estudo	20
4.2 Obtenção de dados	21
4.3 Processamento de dados	21
4.3.1 Análise geográfica	23
4.3.2 Inclinação	24
4.3.3 Sombreamento	24
4.3.4 Otimização	24
4.3.4.1 Análise do caminho de menor custo	28
4.3.4.1 Modelo digital do terreno.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Análise dos resultados de otimização	33
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	40
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
8 APÊNDICE	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da Área de Manejo Florestal, na Fazenda Duas Meninas, município de Cláudia, MT, Brasil	18
Figura 2 - Mapa da Área de Manejo Florestal, demonstrando a APP e hidrografia, e a estrada primária	19
Figura 3 - Passos das etapas de análise geográfica para gerar os mapas de custos para ocupação do solo (a), inclinação (b), sombreamento (b) e a etapa de otimização para gerar o caminho de menor custo (d)	20
Figura 4 - Resultado da análise geográfica para o fator de custo ocupação do solo.	21
Figura 5 – Representação dos valores atribuídos ao fator de custo inclinação.....	23
Figura 6 – Representação dos valores atribuídos ao fator de custo sombreamento.	25
Figura 7 - Localização dos pontos de origem e a linha de destino na AMF.	27
Figura 8 - Resultado da menor distância pela ferramenta CostDistance.....	28
Figura 9 - Resultado da menor direção pela ferramenta CostDistance.	29
Figura 10 – Traçado de menor custo entre o ponto de origem e possíveis destinos.	30
Figura 11 - Resultado da análise geográfica para o fator custo inclinação entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA	31
Figura 12 – Distribuição das diferenças altitudinais entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA.....	32
Figura 13 - Resultado da análise geográfica para o fator custo sombreamento entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA	33
Figura 14 - Resultado da análise de otimização para o fator custos totais entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA	34
Figura 15 - Resultado da análise de otimização para o fator custos distância entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA	35
Figura 16 - Resultado da análise de otimização para o fator custos direção entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA	36
Figura 17 - Resultado do traçado estrada primária otimizada entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA.....	37
Figura 18 - Resultado da estrada primária otimizada sobre as superfícies de menor custo, utilizando o modelo SRTM	38

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMF	-	Área de Manejo Florestal
APP	-	Área de Preservação Permanente
ASTER	-	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ETM+	-	Enhanced Thematic Mapper Plus
INPE	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	-	Land Remote Sensing Satellite
MDE	-	Modelo Digital de Elevação
MT	-	Mato Grosso
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
PDI	-	Processamento Digital de Imagens
PMFS	-	Plano de Manejo Florestal Sustentável
RGB	-	Red-Green-Blue
SCT	-	Superfície de Custos Totais
SEMA	-	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SIG	-	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	-	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	-	United States Geological Service

RESUMO

O planejamento florestal é fundamental para manejar uma floresta e garantir que os resultados esperados sejam atingidos. Com isso, o uso de modelos digitais de elevação têm sido crescente no suporte à decisão de projeções de estradas mais eficaz dentro do manejo. Este trabalho tem como objetivo aplicar o cálculo de rota otimizada no planejamento de estrada primária em uma área de manejo florestal, utilizando o comparativo entre imagens orbitais de radar (SRTM, ASTER e TOPODATA) para cálculos dos critérios relativos ao relevo. Os dados foram processados no ArcGis 10.1, sendo replicado para os três modelos digitais de elevação, em duas etapas: análise geográfica, pela qual gerou informações dos fatores de custo do relevo (ocupação do solo, sombreamento e declividade) e otimização, na qual se realizou os cálculos para definição do caminho de menor custo para estradas primárias, conforme a superfície de viabilidade de custos totais. Como resultados, obteve-se o traçado do caminho de menor custo, considerando os critérios de otimização o modelo SRTM. Ao comparar os resultados entre os modelos, o ASTER apresentou valores subestimados em locais com altitude elevada, enquanto que o TOPODATA, devido a superficialidade dos resultados, não é recomendado para estudos de relevo. Concluiu-se que a metodologia aplicada apresentou um resultado satisfatório em relação a otimização dos custos de estrada primária em uma área de manejo florestal, utilizando o modelo SRTM.

Palavras chaves: Sig, Modelo digital de elevação, Superfície de custo.

ABSTRACT

Forestry planning is critical to managing a forest and ensuring that the expected results are achieved. With this, the use of digital elevation models has been increasing in the decision support of road projections more effective within the handling. This work aims to apply the optimized route calculation in primary road planning in a forest management area, using the comparison between orbital radar images (SRTM, ASTER and TOPODATA) for calculations of the criteria related to the relief. The data were processed in ArcGIS 10.1 and replicated to the three digital elevation models, in two steps: geographic analysis, by which it generated information on the cost factors of the relief (soil occupation, shading and slope) and optimization, in which Carried out the calculations to define the path of least cost for primary roads, according to the area of viability of total costs. As results, the route of the lowest cost path was obtained, considering the optimization criteria the SRTM model. When comparing the results between the models, the ASTER presented underestimated values in places with elevated altitude, whereas TOPODATA, due to the superficiality of the results, is not recommended for relief studies. It was concluded that the applied methodology presented a satisfactory result in relation to the optimization of primary road costs in a forest management area, using the SRTM model.

Key-words: Sig, Digital lifting model, Cost surface.

1 INTRODUÇÃO

A heterogeneidade dos componentes florestais é a principal característica das florestas inequiâneas, as quais devem ser consideradas no planejamento das atividades a serem realizadas durante o manejo florestal. No entanto, nos atuais planos de manejo, há uma grande incoerência entre a diversidade, o planejamento de exploração e os tratamentos silviculturais previstos para essa floresta (SILVA, 2014).

O planejamento florestal é essencial para atingir, da melhor forma, as abordagens existentes dentro do manejo florestal. Sob essas condições, a prática do manejo é capaz de reduzir os impactos ecológicos da exploração, aumentando a capacidade de regeneração da floresta e permitindo a diminuição do ciclo de corte quando comparadas às explorações de prática predatória, além de aumentar a rentabilidade do setor florestal (VERÍSSIMO, 2009).

Caracterizadas como as principais vias de acesso as florestas, as estradas florestais no manejo viabilizam o tráfego de mão-de-obra e os meios de produção necessários para o investimento florestal. As estradas primárias ou principais, tornam possível o acesso a toda área florestal, portanto, tanto o planejamento como a implantação destas estradas devem seguir os critérios técnicos estabelecidos no Decreto nº 1.862, de 24 de Março de 2009 pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (CARMO et al., 2013; SEMA-MT, 2009).

O dimensionamento ótimo das estradas florestais é determinado através da atividade de extração. A densidade de estradas eleva-se com a diminuição da distância de extração da madeira, resultando em baixos custos de extração (ZAGONEL et al., 2008). Dessa forma, o planejamento e alocação das estradas florestais é muito importante, o qual deve ser realizado de acordo com as condições do terreno e estrutura da floresta, visando sempre melhorar a eficiência das operações

Atualmente, uso de *softwares de* geoprocessamento tem sido crescente no âmbito das atividades de planejamento de manejo no setor florestal, o qual têm permitido concentrar maior número de informações sobre a área, auxiliando na tomada de decisões para o planejamento operacional. Por isso, inserir neste processo uma ferramenta computacional capaz de dar suporte à decisão humana tornaria a projeção de estradas mais eficaz.

As imagens orbitais de sensoriamento remoto também têm auxiliado na definição de critérios restritivos ou não em relação ao traçado de estradas, permitindo assim a otimização com a diminuição dos custos e maximização da exploração consciente do meio-ambiente. Entretanto existem diversas fontes gratuitas de dados, tanto para imagens multiespectrais

(para análise do critério de uso do solo), como para imagens orbitais que atuam na faixa espectral do rádio ou microondas (para análise dos critérios de declividade e sombreamento). Sendo assim, compreender quais as características, limitações e discrepâncias entre cada um é de grande importância para a tomada de decisão no que se refere ao planejamento do traçado da estrada primária otimizada.

Portanto, este trabalho visa comparar diferentes resultados do traçado de rota otimizada para estrada primária em uma área de manejo florestal, obtidos por modelos digitais de elevação diferenciados, extraídos de três diferentes imagens orbitais de radar (SRTM, ASTER e TOPODATA). Essa comparação visa analisar as características dos dados de cada MDE e as possíveis discrepâncias dos resultados obtidos.

2 OBEJTIVOS

2.1 Objetivo geral

Comparar os resultados obtidos do cálculo de rota ótima para alocação de estrada primária em um Plano de Manejo Florestal por meio do uso de diferentes imagens orbitais para definição dos critérios de custo relativo ao relevo.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos são apresentados:

- Replicar a metodologia definida em Kazama (2015);
- Criar os mapas de rota otimizada para estrada principal, a partir dos resultados de menor custo, indicando o modelo de melhor precisão;
- Criar mapa comparativo, entre as rotas ótimas calculadas;
- Realizar considerações sobre as rotas calculadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Rede viária florestal

A rede viária florestal é definida como sendo a interação entre as estradas primárias, secundárias, trilhas e ramais, e apresenta como principal finalidade o acesso às regiões florestais; viabilizando a locomoção de mão de obra e meios de produção, os quais são essenciais para implantação e proteção da floresta, assim como para o transporte madeireiro (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Malinovski (2004), defini a rede viária ótima por meio do melhor traçado obtido sob o menor custo de implantação e manutenção, assim como de menor efeito danoso ao ambiente, o qual é fundamental para a atividade florestal. Porém, em estudos realizado por Garcia et al. (2003), a construção inadequada de estradas florestais têm sido uma das principais causa do alto potencial de impacto ambiental.

Em áreas de manejo florestal, a rede viária é composta por diferentes tipos de estradas, as quais são caracterizadas pelo tráfego associado aos parâmetros técnicos que possui, devendo sempre cumprir os critérios do PMFS estabelecidos pela SEMA (CORREA, 2005).

Portanto, o planejamento para implantação da rede viária é de suma importância no Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Segundo Correa et al., (2006), o bom planejamento se deve apresentar, de maneira equilibrada, as questões sociais, econômicas, ambientais e técnicas. O mesmo considera que sua construção deve começar pela elaboração de anteprojetos e projetos fundamentados em mapas e imagens das áreas (planejamento), seguido da implantação dos projetos em campo (construção) e dos procedimentos de manutenção e conservação, os quais consideram a qualidade da estrada, a classe de solo, os investimentos em sua construção, a forma do traçado geométrico, as precipitações e a intensidade de tráfego (GONZAGA, 2000). Para BRAZ (2010), a manutenção inadequada das estradas, além de aumentar os custos de exploração, podem aumentar o dano ao povoamento remanescente.

Portanto, a instalação de uma rede viária ótima deve apresentar a menor soma possível nos custos decorrentes da utilização de estradas, da construção de estradas florestais e do custo de extração florestal (SOUZA, 2004).

3.1.1 Estradas primárias

As estradas primárias são aquelas responsáveis pela ligação entre o centro consumidor e a área de produção, as quais devem apresentar melhor padrão de qualidade, devido, principalmente, às exigências de tráfego de veículos leves, pesados e extra-pesados durante todo o ano (LOPES et al., 2002).

Segundo o Decreto nº 1.862, as estradas primárias devem possuir largura do leito trafegável até 6 metros, apresentando um limite de 2 (dois) metros de faixa de abertura para cada lado (SEMA-MT, 2009).

Em estudo realizado por Lopes et al. (2002), as estradas principais apresentaram o maior custo de construção, isso devido ao melhor padrão de qualidade exigido devido à maior intensidade de tráfego e mais pesado, no entanto, Souza (2004) afirma que esses custos podem variar significativamente se considerado alguns fatores durante a implantação das mesmas, como por exemplo, a distância percorrida entre o ponto de partida no povoamento e o destino. Por isso, o uso de ferramentas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) são importantes na otimização do traçado de estradas primárias. O uso dessa tecnologia de informação espacial associada às variáveis relacionadas às estradas (geometria horizontal e vertical, declividade, qualidade do solo, etc), possibilita maior eficiência na tomada de decisão (OLIVEIRA FILHO et al., 2005).

3.1.2 Variáveis relacionadas à otimização das estradas florestais

A topografia é um componente físico de grande importância para o estudo do ambiente, responsável pelo estudo de padrões de uso e ocupação do solo, associados a vantagens locacionais e facilidade de deslocamento (SILVA JUNIOR; FUCKNER, 2010). Antonangelo (2004), afirma que o fator topográfico têm forte influência sobre a produção de sedimentos pelas estradas de uso florestal e podem ser obtidos a partir de mapas cartográficos e através de SIGs, fazendo com que critérios baseados nestes dados sejam mais simples e confiáveis, oferecendo maiores possibilidades de aplicação pelos administradores florestais.

Segundo Marcelino (2007), a construção inadequada de estradas florestais podem acelerar o processo de erosão devido o aumento dos gradientes de inclinação e a interrupção dos padrões de drenagem natural. De acordo com Vieira (2004), as estradas principais devem apresentar inclinação transversal capaz de possibilitar o escoamento da água para as laterais, diminuindo assim, os riscos de erosão.

Os riscos de erosão tendem a ser maior a partir do momento em que ocorre a retirada da cobertura vegetal. A exposição do solo, devido a construção de estradas, somado à quantidade e à intensidade de água em períodos de chuvas também são importantes fatores na formação de sedimentos (MARCELINO, 2007). Portanto, é importante que estradas que concentrem maior intensidade de tráfego, como as estradas primárias, possam ser traçadas em locais com maior incidência de luz, favorecendo as condições normais de tráfego durante todo o ano.

Segundo Carvalho (2000), é importante ter uma idéia do ponto ótimo entre o que deve ser construído de estradas e as distâncias de arraste, de acordo com as condições de terreno e estrutura da floresta.

Portanto, para um planejamento adequado das estradas principais deve-se considerar os divisores de água com solo e considerar a manutenção e limpeza periódica do sistema de drenagem e correções periódicas no pavimento, garantindo a integridade sobre o menor custo possível.

3.2 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento é utilizado para denotar a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas (MARCELINO, 2007). Para Rosa et al. (2013), o termo pode ser utilizado como sendo um conjunto de tecnologias, os quais se destinam a coletar e tratar informações espaciais. Sua função geral é produzir relatórios, mapas e/ou arquivos digitais seguindo padrões de coordenadas geográficas (DAINESE, 2001).

Várias técnicas de geoprocessamento podem ser usadas com o propósito de monitoramento ambiental, como por exemplo, o sistema de informações geográficas (SIG). Para Ribeiro (2002), esse sistema pode ser visto como um poderoso conjunto de ferramentas para capturar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real.

Segundo Bohrer et al. (2001), um SIG pode ser utilizado no planejamento regional ou ambiental integrando coleta de dados, análise espacial e processo de tomada de decisão. Portanto, o SIG pode ser usado como ferramenta para planejar o traçado de estradas e até impedir a sua construção em determinados trechos, evitando-se assim a perda de solos nas estradas em trechos mais susceptíveis a erosão.

No que diz respeito a geotecnologias, a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) é uma prática bastante recente, onde os primeiros modelos foram gerados a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo (MELGAÇO et al, 2005). Para Leda

et al. (2015), o MDE é a reprodução de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas e um valor de amplitude do pixel, compatível à elevação, simulando fontes para a informação do relevo da superfície terrestre, aceitando a derivação de dados sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas

Portanto, é de extrema importância avaliar as vantagens e limitações dos modelos digitais, pois estes exibem-se como um interessante instrumento no que diz respeito às geotecnologias.

3.2.1 Modelos digitais de elevação

❖ *ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

O sensor ASTER GDEM teve a produção de suas imagens por meio de um consórcio entre METI (*Ministry of Economy and Industry*), do Japão e da Nasa (*National Aeronautics and Space Administration*, dos Estados Unidos), os quais foram disponibilizados gratuitamente em 2009 e atualmente está na segunda versão lançada em 2011 (NASA ASTER, 2012).

A bordo do satélite Terra, representa um sensor capaz de adquirir pares estereoscópicos para quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 83° S e 83° N). Para tal, o sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER contam com dois telescópios. Um deles, o instrumento VIS-IVP, gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55 graus. Cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento, a mesma área é imageada com outro instrumento que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27 graus, em direção oposta à órbita do satélite. Essa operação possibilita a constituição de um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP, denominadas bandas 3N (*Nadir*) e 3B (*Backward looking*) (MELGAÇO et al., 2005).

Dado o curtíssimo intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem o par estereoscópico, praticamente não são verificadas diferenças radiométricas, nas condições de iluminação da cena e de cobertura de nuvens, o que não é verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes.

Mais recentemente é possível o acesso a dados de MDE com 30 metros de resolução, a partir de uma única cena (60 x 60 km²), com a utilização de imagens originais nível resolução 1 arco de segundo (30,87 metros), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84, sendo possível otimizar substancialmente a referida resolução dos MDEs, segundo Grego et. al (2013). Entretanto, para estes sensores, devido aos comprimentos de onda, não existe a transposição de obstáculos como grandes estruturas em dossel vegetal ou equivalente, inviabilizando assim medidas mais próximas dos valores reais do terreno.

Os dados do sensor ASTER DEM podem ser utilizados em estudos topográficos com escala até 1: 50.000 e curvas de nível com 20 m de equidistância; modelos de declive; estudos de uso e ocupação do solo, e outras aplicações derivadas (JENSEN, 2009).

❖ *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*

A missão SRTM objetivou gerar um modelo digital de elevação de 80% do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria, por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas. A missão foi lançada no ano 2000 com duração de 11 dias teve parceria entre a NASA, a *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais Alemã (*Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt- DLG*) (NASA SRTM, 2012).

Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de 3 arcos de segundo (~ 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84. Os produtos SRTM fazem parte de um conjunto de imagens de radar e são caracterizados por serem sensores de visada vertical e lateral, logo são capazes de reproduzir altitudes, tratando-se de um modelo digital do terreno, ou seja, representa em três dimensões espaciais o relevo, latitude, longitude e altitude (CARVALHO; BAYES, 2008). Ferreira et al. (2011) afirma que a resolução dos sensores são fundamentais para amenizar o erro altimétrico e as discrepâncias são comprovadas através das análises de altitudes.

O uso das imagens SRTM tem se tornado cada vez mais freqüente em estudos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos, dentre outros, em especial para análises quantitativas como qualitativas do relevo e seus agentes modificadores, em destaque na elaboração de mapas hipsométricos e clinográficos (declividade), e de perfis topográficos, dentre outros produtos elaborados a partir de variáveis relacionadas à topografia (CARVALHO; LATRUBESSE, 2004).

❖ *Topodata*

Além dos modelos diretamente resultantes do processamento das informações obtidas pelos diferentes sensores remotos, há também MDEs derivados destes. É o caso do modelo resultante do Projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais), gerado através de processamentos digitais do MDE do SRTM. Os dados disponíveis do TOPODATA sofreram correções, incluindo informações em pontos/áreas anteriormente com ausência de dados. Estes passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (*pixel*) para ~30 m (VALERIANO, 2004).

O refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo o universo de dados pelo método de *krigagem*, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que respondem melhor ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo demanda informações geoestatísticas (coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados (VALERIANO, 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma Área de Manejo Florestal – AMF aprovado pela SEMA – MT (coordenadas 55°8'30'' W, 11°15'20'' S) com 203,17 hectares, pertencente à Fazenda Duas Meninas no município de Cláudia, no norte do estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 1).

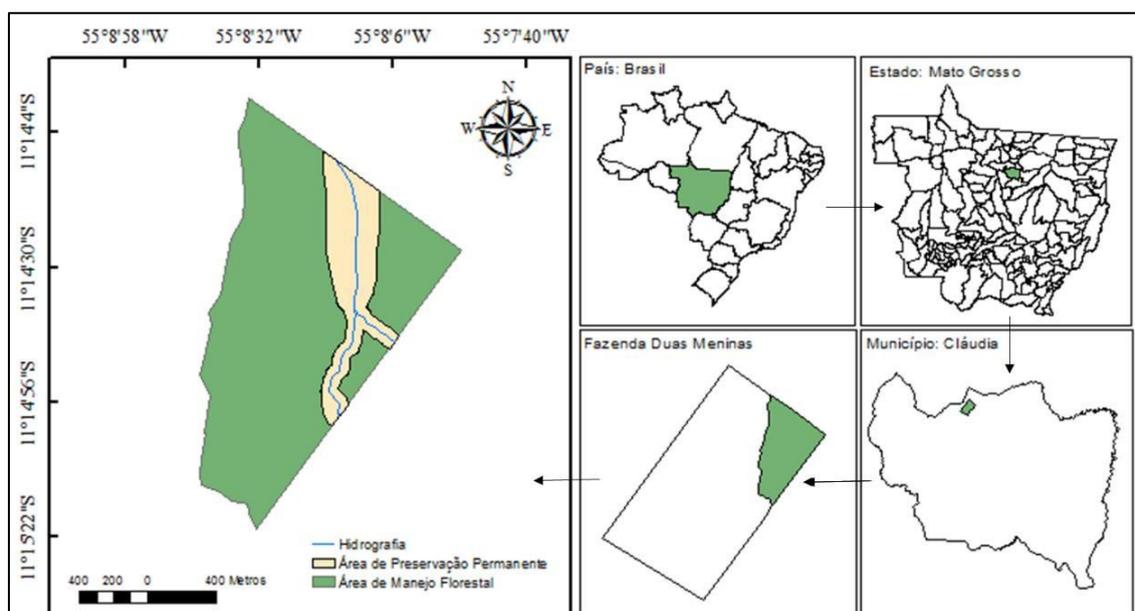


Figura 1. Localização geográfica da Área de Manejo Florestal, na Fazenda Duas Meninas, município de Cláudia, MT, Brasil. **Fonte:** Kazama (2015).

Inserido no Bioma Amazônia, a região apresenta relevo plano e suavemente dissecado, com amplitude altimétrica de 400 a 500 m, e predominância do solo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 1999). A drenagem na área de manejo florestal (AMF) é feita por um pequeno córrego de água, de margens com áreas de vereda, que alagam nas chuvas. A formação vegetal é formada pela transição entre a Floresta Ombrófila e a Floresta Estacional (IBGE, 1992).

O clima da região é classificado como tropical. Na classificação de Köppen, o tipo climático é Am (MEDEIROS, 2004). A precipitação anual da região é de aproximadamente 2.000 mm, onde metade desse volume concentra-se na estação verão (dezembro a fevereiro), e apenas 1% é registrado para a estação inverno (junho a setembro). A temperatura apresenta média anuais em torno de 25°C (VOURLITIS et al., 2002).

4.2 Obtenção de dados

- ❖ Base cartográfica digital (contendo o limite da área de manejo florestal, área de preservação permanente – APP, estrada primária original, hidrografia), obtidos da base de dados de Kazama (2015) (Figura 2).
- ❖ Imagens de satélite Landsat 8 – ETM +, com resolução espacial de até 15 metros fusão com a banda 8, obtidos da base de dados de Kazama (2015).
- ❖ Imagem de radar SRTM, com resolução espacial de 30 metros, disponível pelo site United States Geological Survey – USGS (EarthExplorer).
- ❖ Imagem de radar ASTER, com resolução espacial de 30 metros, disponível pelo site United States Geological Survey – USGS (EarthExplorer).
- ❖ Imagem de radar TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros, disponível pelo site do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE.

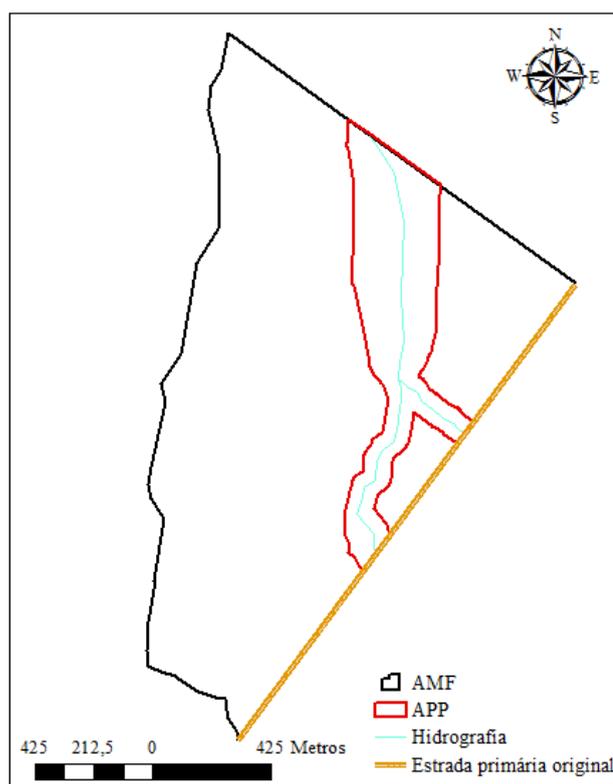


Figura 2. Mapa da Área de Manejo Florestal, demonstrando a APP, hidrografia e a estrada primária. Fonte: Kazama (2015).

4.3 Processamento de dados

Os dados foram processados conforme metodologia descrita em Kazama (2015), a

qual é subdividida em duas etapas: análise geográfica e otimização. A análise geográfica foi realizada com o intuito de identificar os locais mais adequados para a implantação de estradas primárias, como locais com menor discrepância de inclinação, menor sombreamento e que não transponha áreas de preservação. Já a etapa de otimização foi realizada para determinar os locais favoráveis à implantação da estrada primária pelo caminho de menor custo na AMF, levando em consideração o ponto de origem e destino.

A Figura 3 mostra os passos das etapas de análise geográfica para gerar os mapas de ocupação do solo (a), inclinação (b), sombreamento (c) e a etapa de otimização para gerar o caminho de menor custo (d).

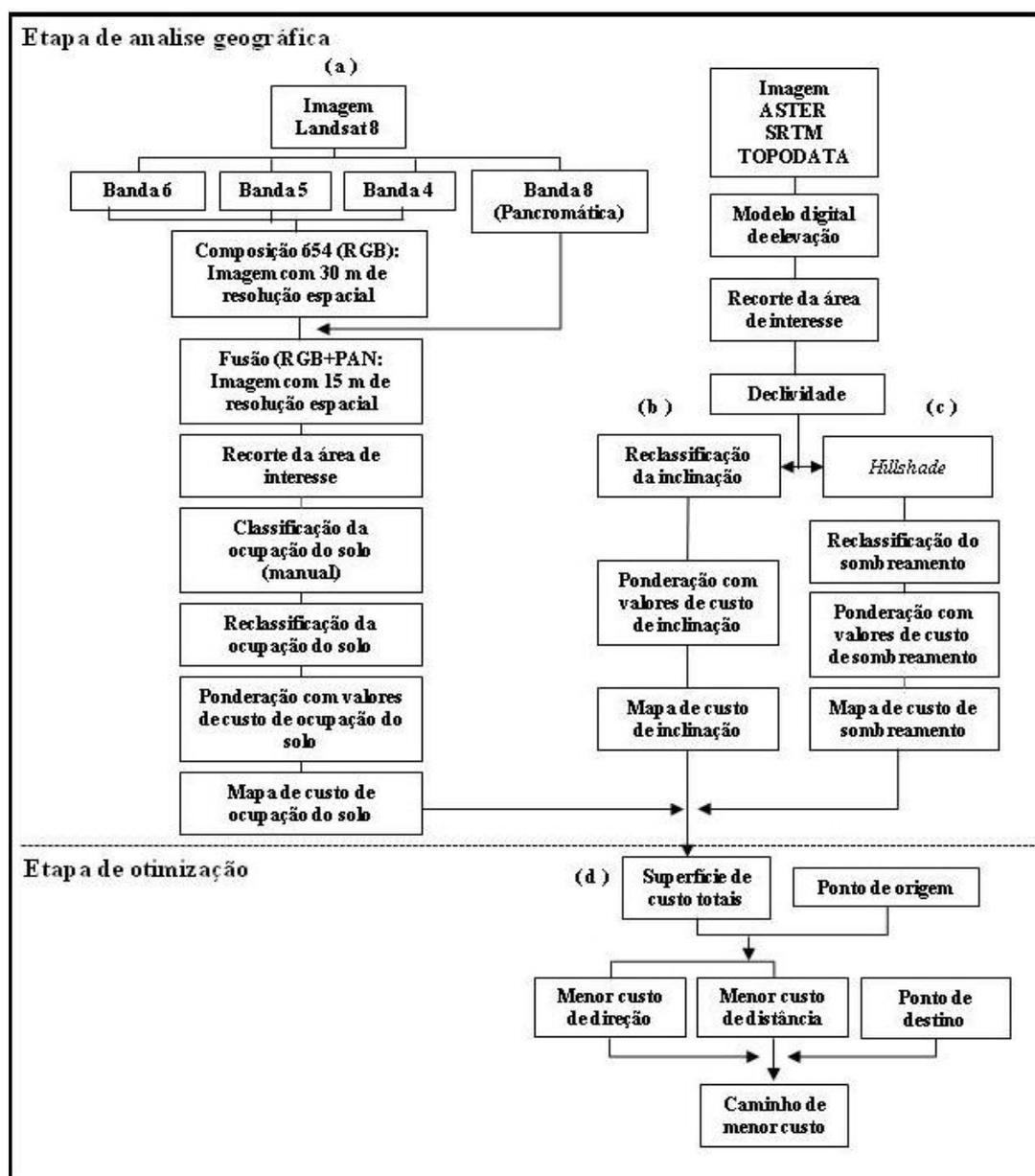


Figura 3. Passos das etapas de análise geográfica para gerar os mapas de custos para ocupação do solo (a), inclinação (b), sombreamento (b) e a etapa de otimização para gerar o caminho de menor custo (d). **Fonte:** Adaptado de Kazama (2015).

4.3.1 Análise geográfica

Para realização da análise geográfica, precisaram ser gerados 3 fatores de custos distintos associados ao terreno: ocupação do solo, inclinação e sombreamento, utilizando o *software* ArcGis10.1, sendo que o mapa de custo ocupação do solo utilizado foi fornecido por Kazama (2015), conforme a Figura 4.

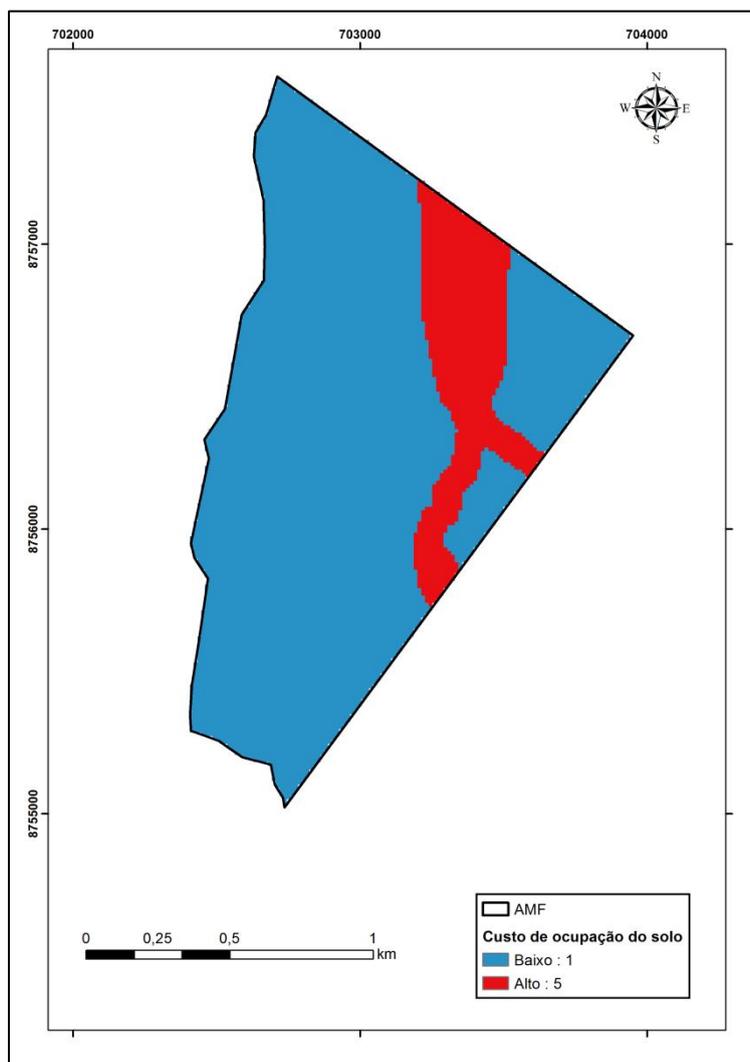


Figura 4. Resultado da análise geográfica para o fator de custo ocupação do solo. **Fonte:** Kazama (2015).

As áreas destinadas à construção de estradas estão representadas em azul, as quais são passíveis de exploração. Em vermelho, são representadas às áreas restritas para construção de estradas devido à presença de cursos de água e suas respectivas APPs. Portanto, o traçado da estrada principal deve ser evitado em locais que causem impactos ambientais, aumentando o risco de acidentes, permitindo maior segurança na trafegabilidade e melhor drenagem durante sua utilização, segundo Oliveira et al., (2013).

Para realizar os cálculos seguintes, todas as imagens foram projetadas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

4.3.2 Inclinação

Os mapas de custo de inclinação foram gerados a partir dos dados das imagens dos MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA. A mesma metodologia foi replicada para cada MDE utilizado, alterando apenas a imagem, com o objetivo de gerar três mapas para cada fator custo analisado.

Nesta etapa, primeiramente, foi realizado o recorte para imagens de acordo com o contorno da área de manejo (pela função *Clip*), e em seguida, calculou-se a declividade de cada MDE, utilizando a função *Slope* do Spatial Analyst Tools.

As declividades obtidas foram reclassificadas em: baixa ($\leq 8\%$), média (>8 a $\leq 10\%$) e difícil ($>10\%$), demonstradas na Tabela 1. De acordo com Da Rocha (2007) e Braz (1997), declividades acima de 10% já não são consideradas ideais para a construção de estrada primária.

Tabela 1. Classes utilizadas na reclassificação da inclinação.

Classe	Classificação	Cor
1 = $1 \leq 8\%$ de declividade	Baixa	Azul
3 = > 8 a $\leq 10\%$	Média	Amarelo
5 = $> 10\%$	Alta	Vermelho

Fonte: Kazama (2015).

Em seguida, ainda, com a janela de diálogo *Reclassify* aberta, realizou-se a operação de ponderação para atribuir os valores a cada classe de declividade reclassificada. Foi atribuído ao valor 1 as áreas que apresentam menor declividade, um valor médio de 2 foi atribuído as áreas com média declividade e o valor 3, foi atribuído as áreas com alta declividade (Figura 5). Os valores foram representados, respectivamente, pelas cores: azul, amarelo e vermelho.

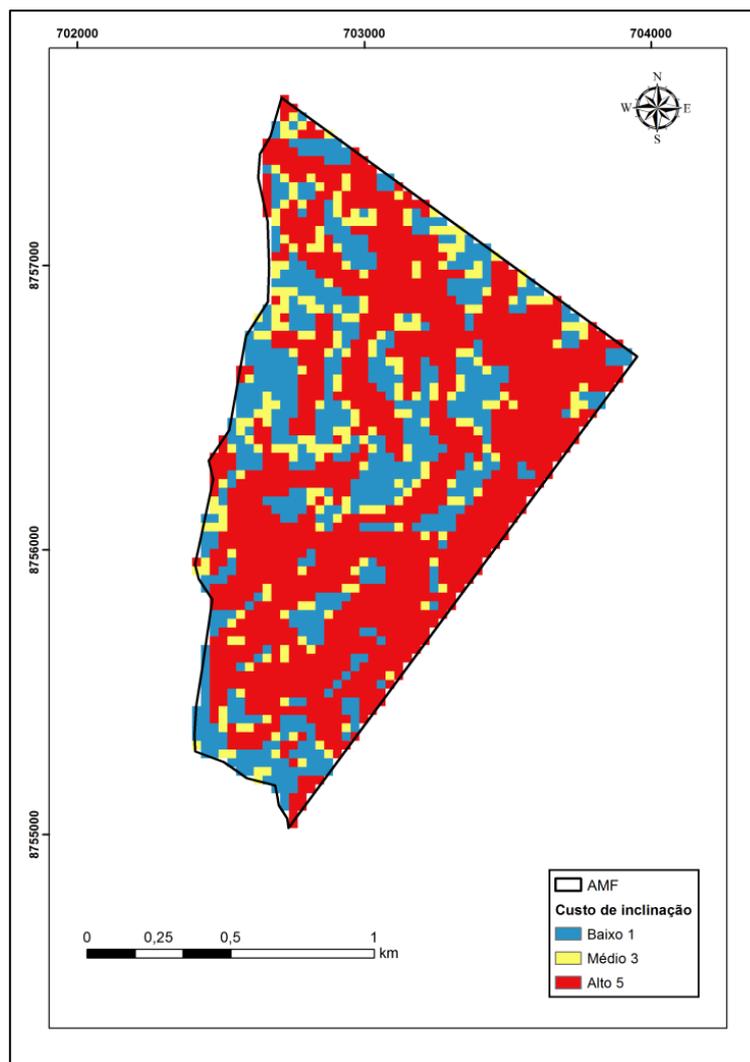


Figura 5. Representação dos valores atribuídos ao custo de inclinação.

Após o processo descrito acima, foi finalizado o processo que gerou **o mapa de custo de inclinação**.

4.3.3 Sombreamento

Os mapas de custo de sombreamento foram gerados por meio do comando *Hillshade*, da ferramenta Spatial Analyst Tools do Arcmap.

Para realizar essa etapa considerou-se o Z-factor de 0.00000912, indicado para a latitude onde se localiza a AMF. O Z-factor é definido com base na latitude, quando definido corretamente o brilho e o contraste são melhores ajustados pelo ângulo de iluminação, tendo uma melhor representação da superfície gerada por meio do *Hillshade* (FRYE, 2007).

Os resultados obtidos para o sombreamento foram reclassificados em: ruim, para as áreas com sombreamento, e como boa, as áreas sem sombreamento (Tabela 2). De acordo com Kazama

(2015), as áreas sem sombreamento são ideais para a construção de estradas florestais por possuir maior incidência solar, significando um ganho positivo na prevenção com futuras manutenções em relação a atoleiros.

Tabela 2. Classes utilizadas na operação de reclassificação do sombreamento.

Restrição	Classificação	Cor
Sem sombreamento	Boas	Azul
Com sombreamento	Ruim	Vermelho

Fonte: Kazama (2015).

Em seguida, ainda, com a janela de diálogo *Reclassify* aberta, realizou-se a operação de ponderação, o qual foram atribuídos os valores: 1 à classe de baixo custo sombreamento e 5 à classe para alto custo sombreamento (Tabela 3; Figura 6).

Tabela 3. Valor de custo hipotético para sombreamento.

Valor	Classificação	Cor
1	Baixo	Azul
5	Alto	Vermelho

Fonte: Kazama (2015).

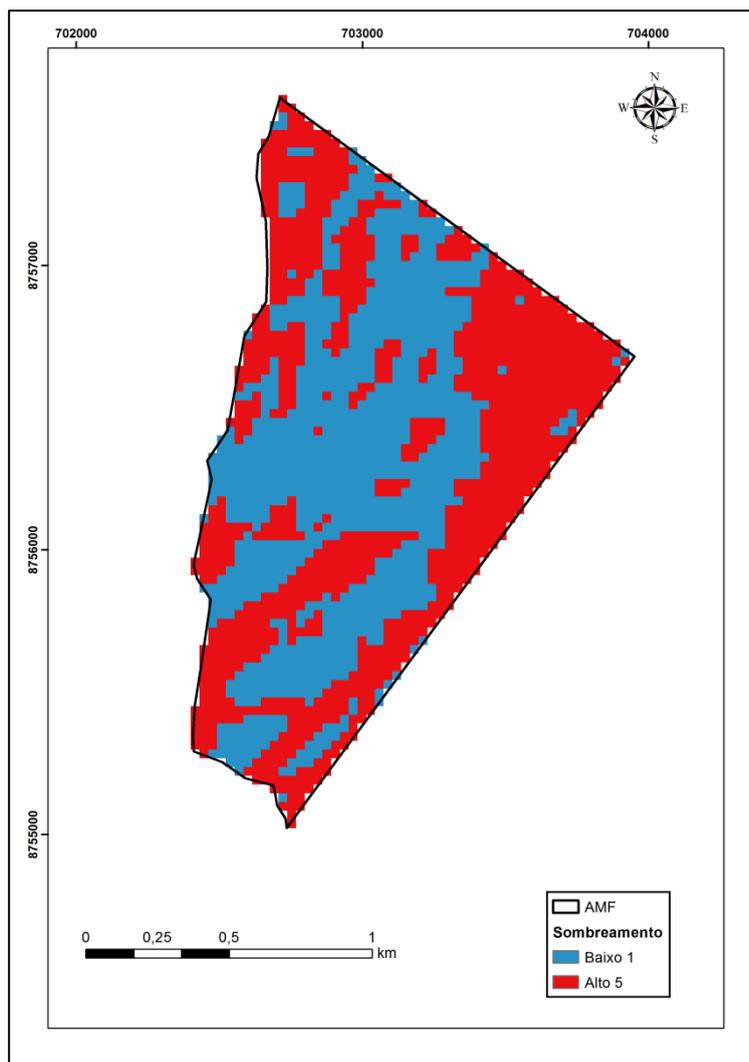


Figura 6. Representação dos valores atribuídos ao custo de sombreamento.

Após os passos descritos acima, foi finalizado os processos para gerar o **mapa de custo de sombreamento**.

4.3.4 Otimização

A otimização também foi processado em ambiente ArcMap. Nesta etapa, foi determinada a **rota ótima** para estrada primária por meio das informações de viabilidade de percurso obtidas por uma **superfície de custos totais**. A **superfície de custos totais** consiste em um mapa numérico com a somatória dos valores contidos nos mapas de custos de ocupação de solo, inclinação e sombreamento, geradas na etapa de análise geográfica. Porém, no cálculo considerou-se percentuais diferentes para cada mapa de custo. Os percentuais atribuídos a cada atributo foram definidos de forma empírica, de acordo com a metodologia de Kazama

(2015), a qual considerou de maior importância (peso) a ocupação do solo (50%), seguido da inclinação (40%) e um peso reduzido para sombreamento (10%). A seguir é apresentada a fórmula matemática utilizada para combinar as superfícies de custos:

$$SCT = [(OS * 50\%) + (IN * 40\%) + (SO * 10\%)]$$

Onde:

- SCT = Superfície de custos totais;
- OS = Ocupação do solo;
- SO = Sombreamento;
- IN = Inclinação.

O maior peso atribuído à ocupação do solo considerou estudos realizados por Itto (1990) apud Kazama (2015), o qual observou que devido às características da superfície do relevo, como áreas de APP e hidrografia, não são aconselháveis para traçar uma estrada já que a construção de ponte requer alto custo de construção e manutenção, considerando ainda evitar cruzar igarapés ou outros cursos, reduzindo o dano ambiental. O mesmo foi atribuído ao peso da inclinação, segundo maior percentual, por não ser considerado viável a construção de estradas em terrenos de declividade muito elevada, visto que dificulta o transporte e propicia a erosão ocasionada pelo escoamento superficial das águas das chuvas (BRAZ, 2010 apud KAZAMA, 2015). O fator sombreamento recebeu menor percentual na fórmula, por não ser um fator de custo direto na construção, no entanto, apresenta sua significância na redução de custo de manutenção futuramente, pois, as áreas sem sombreamento indicam a maior incidência luminosa ao solo, e assim tendem a diminuir as possibilidades de surgimento de atoleiros em meio as estradas (FIGUEIREDO et al., 2007 apud KAZAMA, 2015).

4.3.4.1 Análise do caminho de menor custo

Para traçar a rota ótima de estradas primárias, é necessário definir dois pontos de referências, o de origem e de destino. Como ponto de origem foi considerado o local onde a estrada de acesso (estrada já existente) intercepta a AMF (Figura 7).

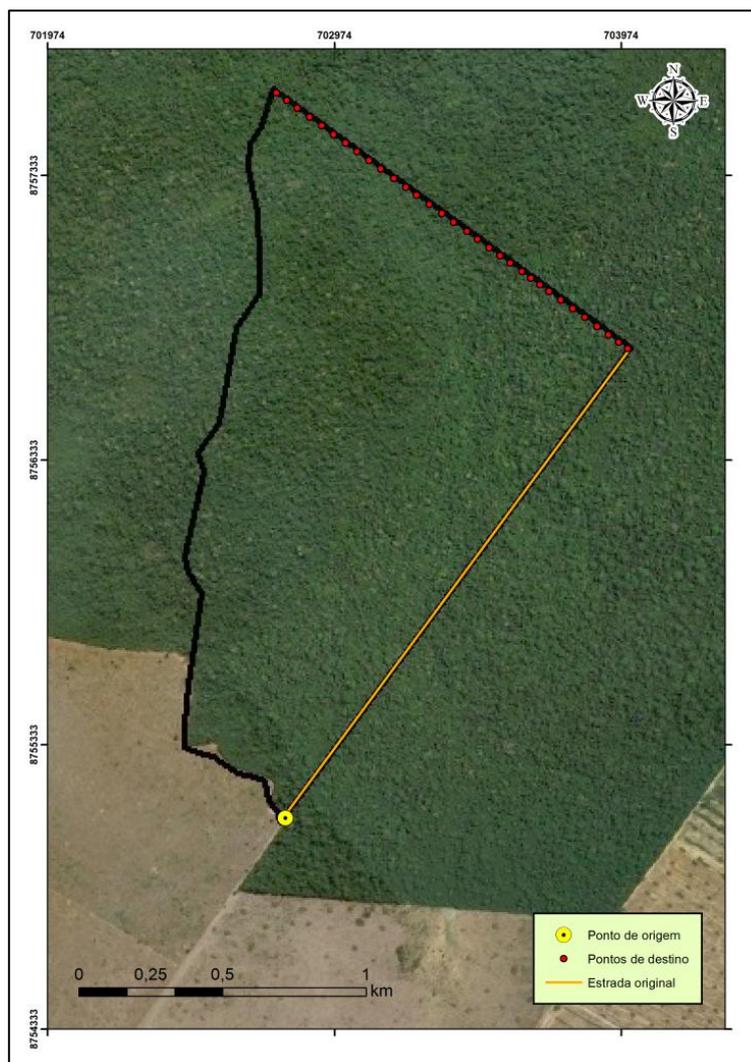


Figura 7. Localização dos pontos de origem e a linha de destino na AMF.

A primeira etapa para gerar a rota otimizada implica em calcular a superfície de custo distância. A ferramenta *Cost Distance* calcula a menor distância de custo acumulado de cada pixel da superfície de custo total em relação a sua proximidade com o ponto de partida. Ou seja, são definidos os pixels com menor valor acumulado e menor distância do ponto de origem, resultando na Figura 8.

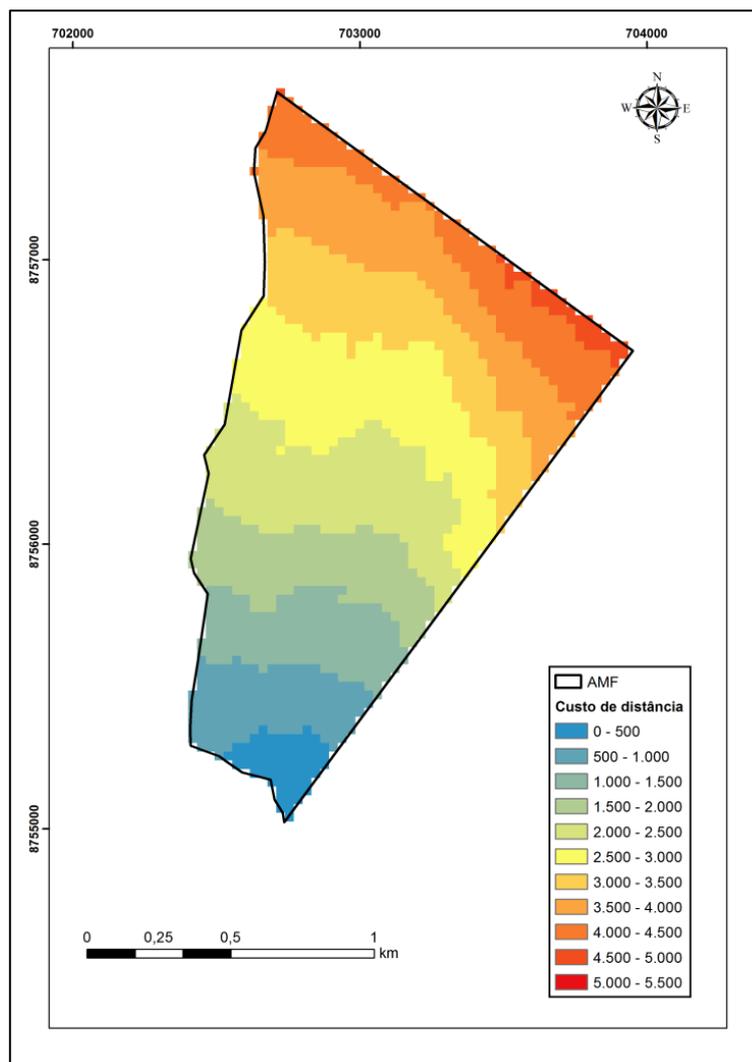


Figura 8. Resultado de menor distância pela ferramenta *Cost Distance*.

Juntamente com a menor distância de custo acumulado, foi gerada também a superfície de custo de direção, que definiu qual o pixel vizinho que é a próxima célula de menor caminho de custo acumulado (Figura 9), sendo uma superfície complementar à informação da superfície de custo de menor distância acumulada.

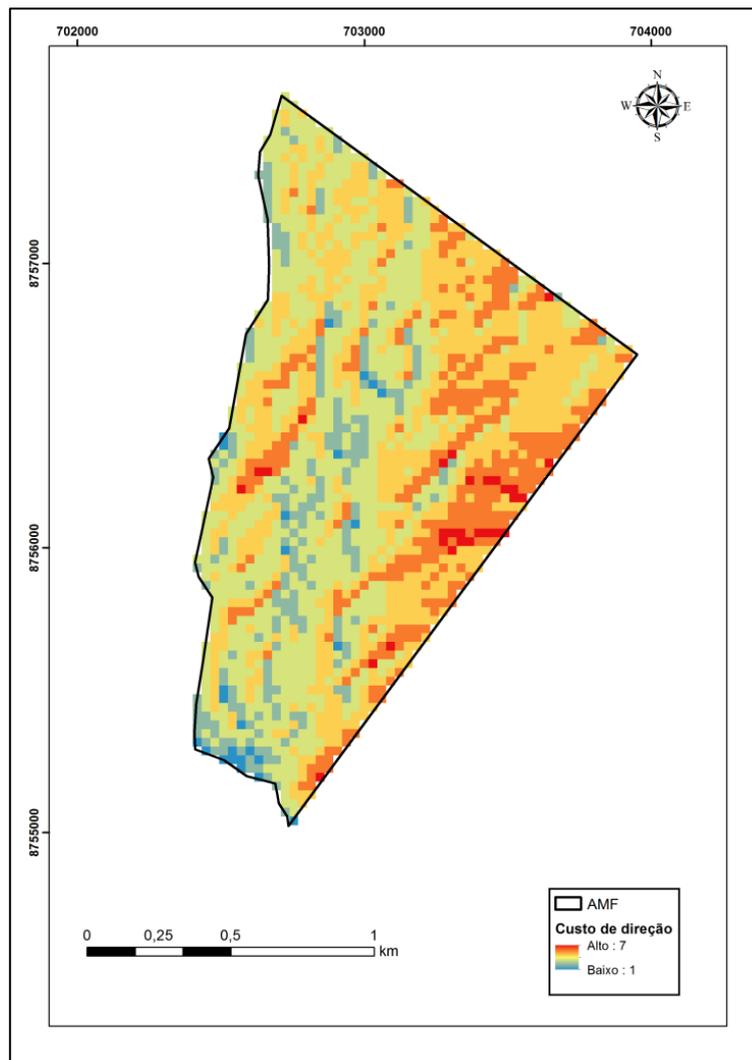


Figura 9. Resultado de menor direção pela ferramenta *Cost Distance*.

Em seguida é calculado o caminho de menor custo entre o ponto de partida e os possíveis destinos. Com base na superfície de custo de distância acumulado e o custo de direção, são realizados os cálculos para definir o traçado que apresenta a rota de menor custo entre a origem e o destino (representados por vários pontos amarelos consecutivos dispostos ao longo da linha de origem), resultando na Figura 10.

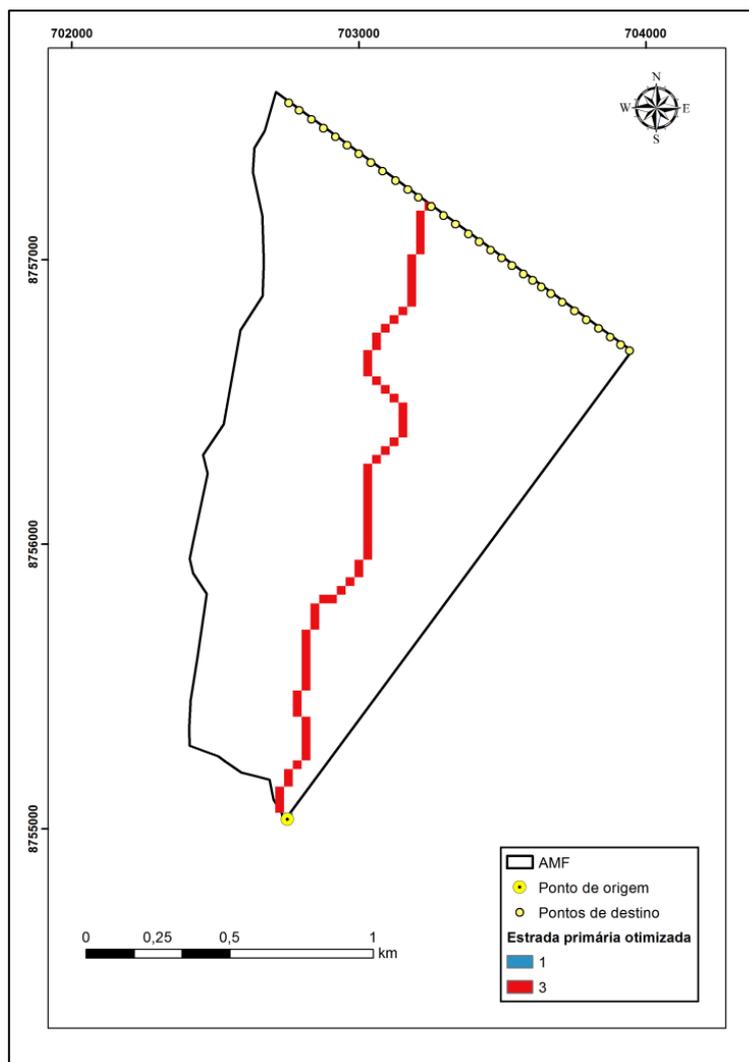


Figura 10. Traçado de menor custo entre o ponto de partida e possíveis destinos.

O resultado obtido originalmente no formato de imagem, foi convertido em vetor pela ferramenta de conversão *Raster to Polyline*, obtendo-se assim o traçado da linha de menor custo e, portanto, a rota otimizada para implantação da estrada primária.

4.3.4.2 Modelo digital do terreno

Para melhor visualização do traçado otimizado sobre o terreno, foi realizado o modelo digital do terreno em um aplicativo de visualização tridimensional, ArcScene, presente no pacote do ArcGis. Para tanto, foram gerados os MDTs por meio de triangulação (TIN), sendo necessário, primeiramente, extrair as informações de curva de nível dos modelos (ferramenta *Countour* do *3D Analyst Tools*), gerando curvas com equidistância vertical de 30 m.

As curvas geradas foram suavizadas e então aplicadas na ferramenta *Create TIN*, gerando o **mapa de modelo digital do terreno**.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2 Análise dos resultados de otimização

O primeiro resultado da análise refere-se ao custo de inclinação (Figura 11). Para Malinovski et al. (2006), o fator inclinação é limitante quando relacionado ao custo de deslocamento e extração florestal, podendo interferir diretamente na produtividade do transporte no manejo florestal.

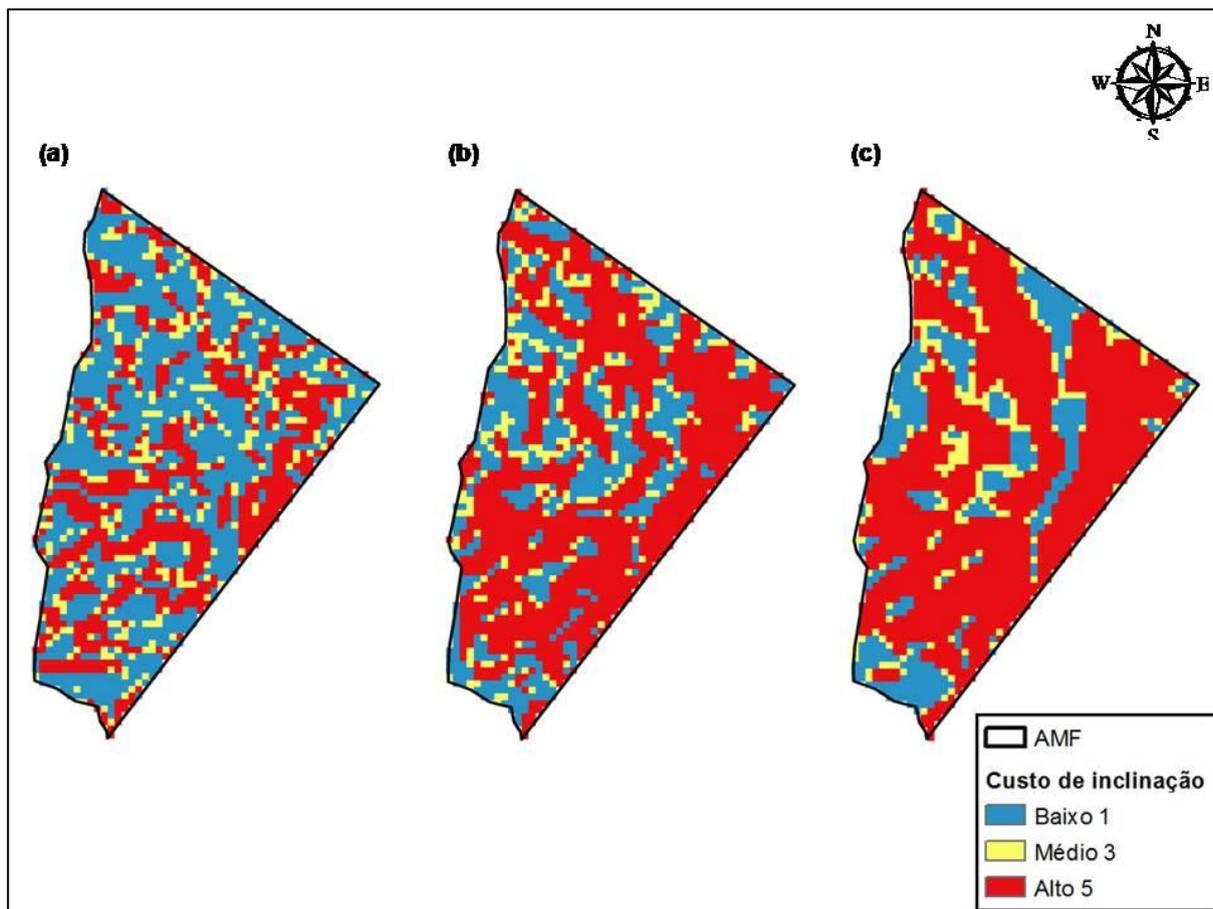


Figura 11. Resultado da análise geográfica para o fator de custo de inclinação utilizando os MDEs ASTER (a), SRTM (b) e TOPODATA (c).

Observa-se que as imagens resultantes das análises de custo inclinação baseadas nos MDEs SRTM (b) e Topodata (c) mostraram-se similares, apresentando maior quantidade de áreas de alto custo. Já a superfície de custo de inclinação obtida pelo MDE ASTER (a), apresenta uma alteração considerável no padrão encontrados nas imagens anteriores.

Na Tabela 4, pode-se verificar que, em análise geral, a quantidade de pixels classificados como baixo custo (classe 1) e alto custo (classe 3) para o ASTER demonstra valores invertidos em relação aos valores obtidos nos MDEs SRTM e TOPODATA, ou seja,

enquanto que a maior parte dos pixels do SRTM e TOPODATA apresentaram alto custo para o fator inclinação (com 59,48% e 68,26%, respectivamente), o ASTER apresentou apenas 35,19% de seus pixels nessa classe, situação essa que apresenta-se invertida no caso da classe 1 de baixo custo.

Tabela 4. Quantificação de área ocupada na AMF segundo as classes de custo de inclinação.

CLASSES	ASTER			SRTM			TOPODATA		
	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %
1	1078	97,02	49,98%	607	54,63	28,14%	443	39,87	20,71%
3	320	28,8	14,84%	267	24,03	12,38%	236	21,24	11,03%
5	759	68,31	35,19%	1283	115,47	59,48%	1460	131,4	68,26%
TOTAL	2157	194,13	100,00%	2157	194,13	100,00%	2139	192,51	100,00%

Em que: QT = quantidade.

Em análise sobre a distribuição das diferenças altitudinais entre os modelos, nota-se que a diferença altitudinal entre os MDEs ASTER – SRTM e ASTER – TOPODATA apresentaram discrepâncias nos valores, se comparado entre os modelos SRTM – TOPODATA (Figura 12).

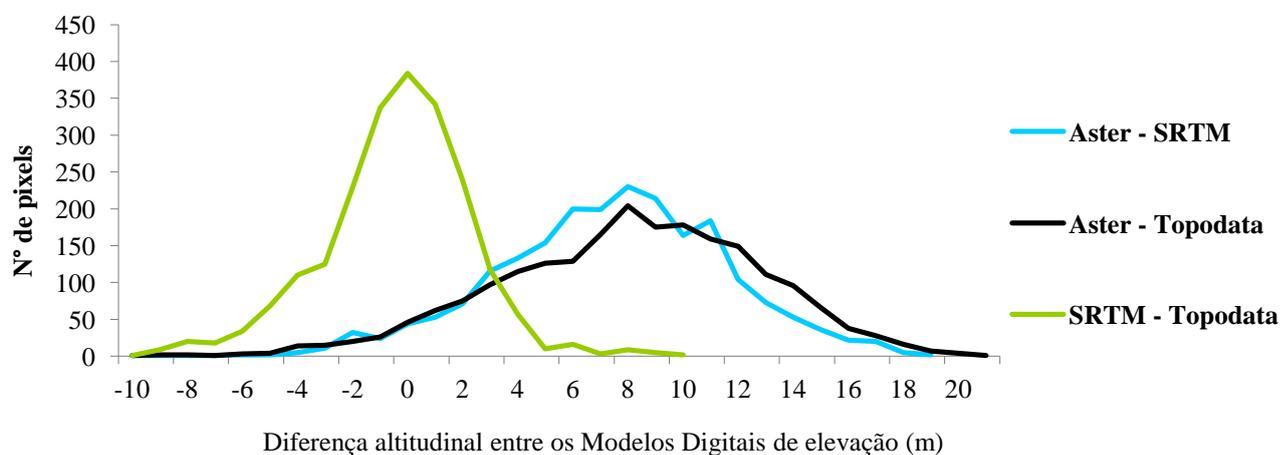


Figura 12. Distribuição das diferenças altitudinais entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA.

No geral, as diferenças entre o ASTER e o TOPODATA e o ASTER e SRTM variaram em torno de 6 a 12 m nos valores de altitude.

Após uma busca na literatura, constatou-se que os valores de altitudes apresentados pelo modelo ASTER tendem a ser subestimados quando as áreas apresentam maior inclinação e superestimados quando as áreas tendem a ser mais planas, conforme resultados obtidos por

Landau e Guimarães (2011) e Alba et al. (2010) em estudos comparativos de elevação utilizando os mesmos MDEs, onde o ASTER aparentemente subestimou altitudes em locais mais elevados. Portanto, a diferença nos mapas de declividade entre tais MDEs era esperada.

Outro critério definido refere-se ao fator custo de sombreamento (Figura 13).

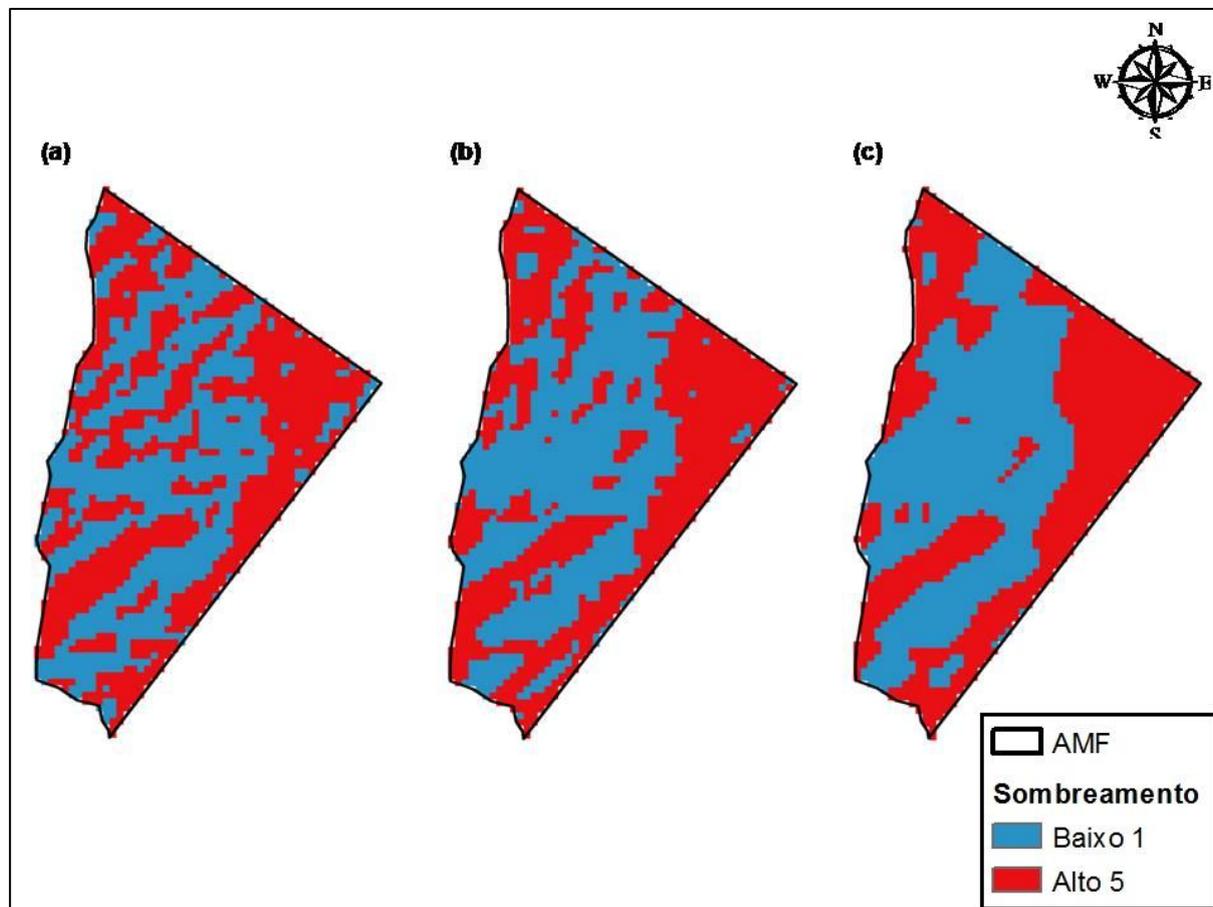


Figura 13. Resultado da análise geográfica para o fator de custo sombreamento utilizando os MDEs ASTER (a), SRTM (b) e TOPODATA (c).

Grohmann (2015), analisando a variação de elevação e sombreamento nas regiões amazônicas apresentou, entre os modelos SRTM e TOPODARA, boa representação nas formas de relevo, enquanto que os dados ASTER não representaram adequadamente o relevo da região, com valores muito discrepantes quando comparados ao SRTM e TOPODATA.

No entanto, na Tabela 5 são representadas a quantificação de área ocupada por cada classe de custo sombreamento, a partir da quantidade de pixel apresentada em cada MDE. Pode-se verificar que, apesar da possível discrepância nos valores ASTER, a representação em área para a classe de baixo custo são similares para os três modelos utilizados.

Tabela 5. Quantificação de área ocupada na AMF segundo as classes de custo de sombreamento.

CLASSES	ASTER			SRTM			TOPODATA		
	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %	QT. PIXELS	AREA (ha)	AREA %
1	1014	91,26	47,01%	1059	95,31	49,10%	1088	97,92	50,86%
5	1143	102,87	52,99%	1098	98,82	50,90%	1051	94,59	49,14%
TOTAL	2157	194,13	100,00%	2157	194,13	100,00%	2139	192,51	100,00%

Em que: QT = quantidade.

A Figura 14 mostra as superfícies de custos totais, originadas a partir dos MDEs ASTER (13a), SRTM (13b) e TOPODATA (13c). As áreas que apresentam maiores custos para a construção das estradas, conforme os critérios adotados, estão representadas na cor vermelho e as áreas de menor custo apresentam-se em tons de azul.

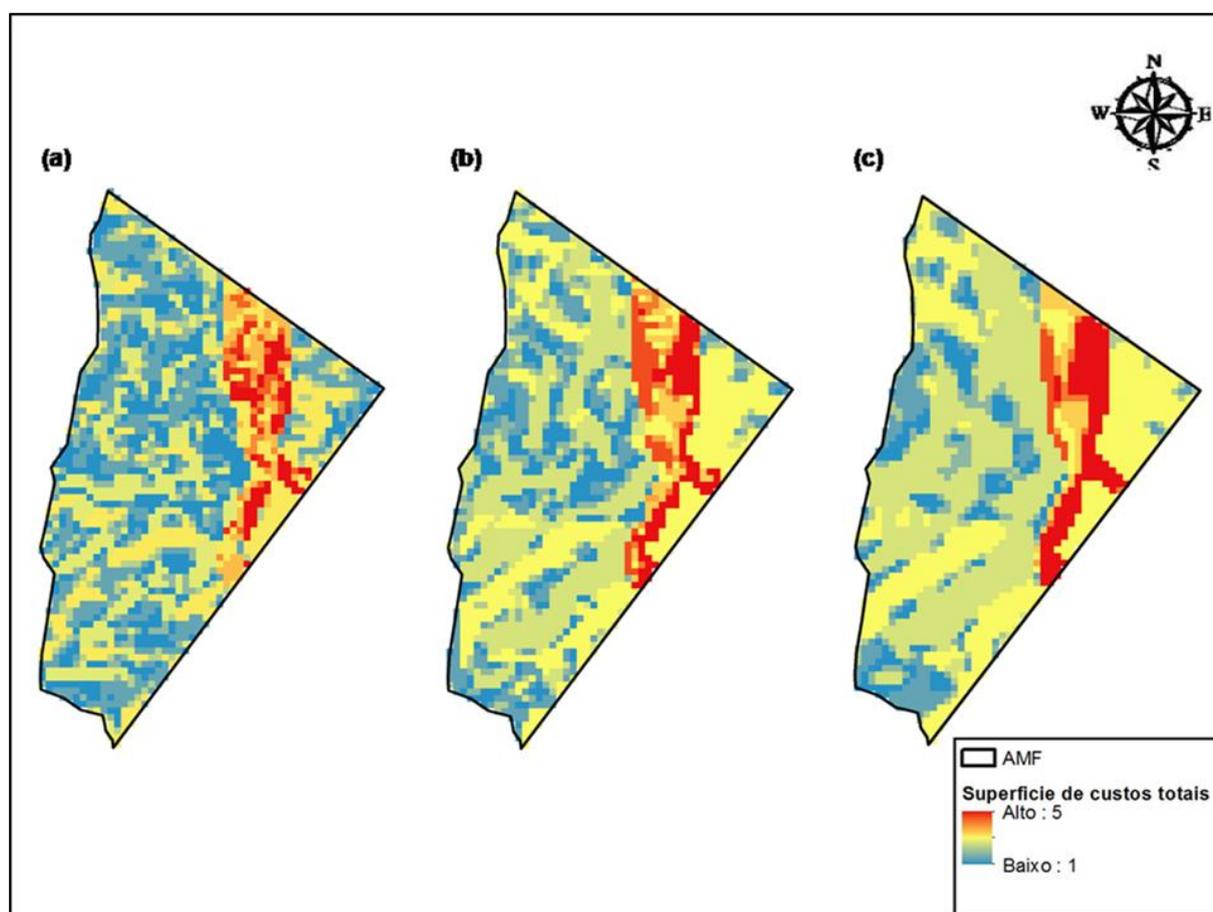


Figura 14. Resultado da superfície de custos totais utilizando os MDEs ASTER (a), SRTM (b) e TOPODATA (c).

É possível verificar uma diferença expressiva dos valores na região centro-norte e ao sul da área estudada. Ressalta-se que a representação dos valores em custo sombreamento não se sobressaiu no resultado final do cálculo de superfície de custos totais, devido sua atribuição

a um peso reduzido. O mesmo se aplica para o custo de ocupação do solo, uma vez que utilizou da mesma superfície classificada em todos os MDEs. Logo, a variação no resultado final do cálculo de superfície de custos totais se deve, principalmente, a atribuição de maior peso no fator de custo de inclinação, pelo fato da área em estudo apresentar discrepância nos resultados entre os modelos ASTER, SRTM e TOPODATA.

As superfícies de custo distância estão apresentadas na figura 15. As áreas mais próximas do ponto de origem recebem menor custo e são representadas pela cor azul. Conforme a distância aumenta, considerando as superfícies de custos totais, vão se formando áreas de custo até o maior custo, representado pela cor vermelha.

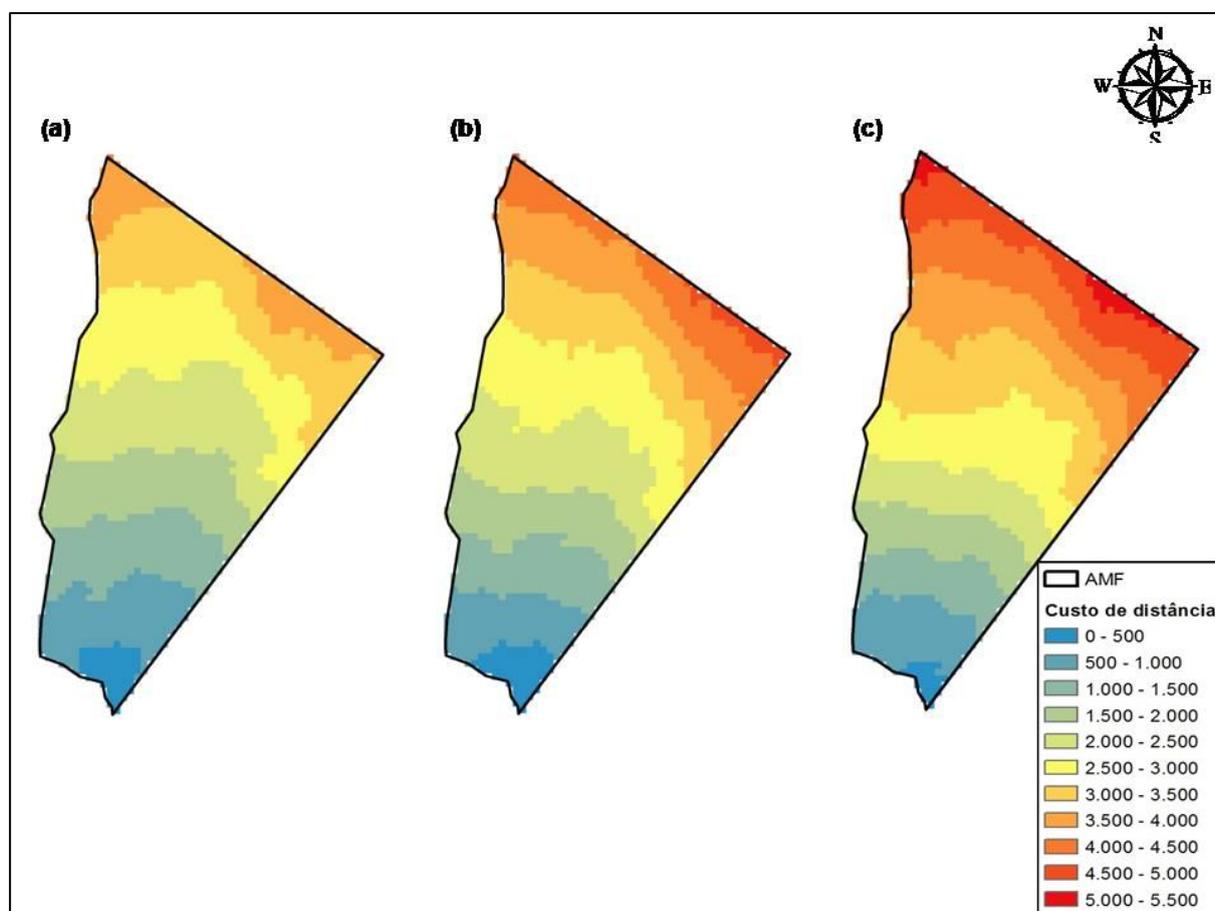


Figura 15. Resultado da superfície custo distância utilizando os MDEs ASTER (a), SRTM (b) e TOPODATA (c).

Na superfície de custo de direção (Figura 16), as áreas em azul representam o menor custo de direção, enquanto que as áreas em vermelho, representam o de maior custo. Essa superfície pode ser descrita como um mapa de rotas que identifica o custo para se sair de um determinado pixel para o pixel vizinho. Dependendo da direção, esse custo pode ser mais alto ou mais baixo. A criação dessa superfície é fundamental para o cálculo do traçado da rota otimizada, uma vez que esta deve percorrer as direções de menor custo.

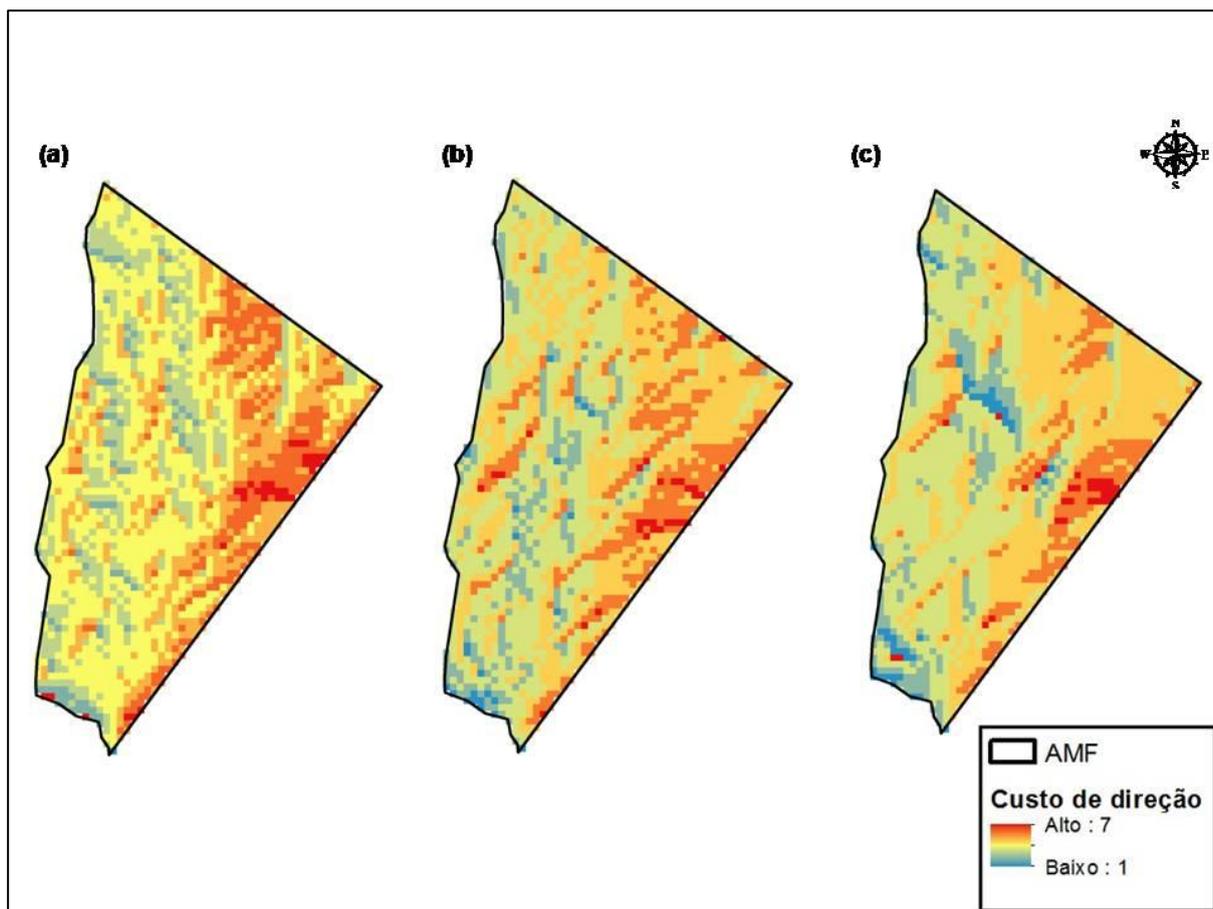


Figura 16. Resultado da superfície custo direção utilizando os MDEs ASTER (a), SRTM (b) e TOPODATA (c).

Para Machado et al. (2000), a distância representa um dos fatores relacionados ao elevado custo de transporte florestal, o qual também é influenciado pelo padrão de qualidade das estradas.

A Figura 17 mostra a estrada primária otimizada considerando os fatores de custos analisados, para os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA. O traçado dos caminhos restringiram-se, desde o ponto de origem até o destino, nas áreas passíveis de exploração, respeitando as áreas de cursos d'água e APP. Apesar de apresentarem a mesma direção, a distância das estradas otimizadas referente aos MDEs são distintas, onde o ASTER apresenta 2.366 m, o SRTM 2.432 m e o TOPODATA 2.328 m até o ponto de destino.

Apesar da pequena variação encontrada nas análises de superfície entre os MDEs SRTM e TOPODATA, Leda et al (2015), em estudos de análise comparativa de mapas de declividade, afirma que o uso do TOPODATA não deve ser indicado para áreas que não apresentem mapeamentos planialtimétricos mais detalhados, as quais tenham a possibilidade de detectar mudanças abruptas do relevo devido sua superficialidade nos resultados obtidos.

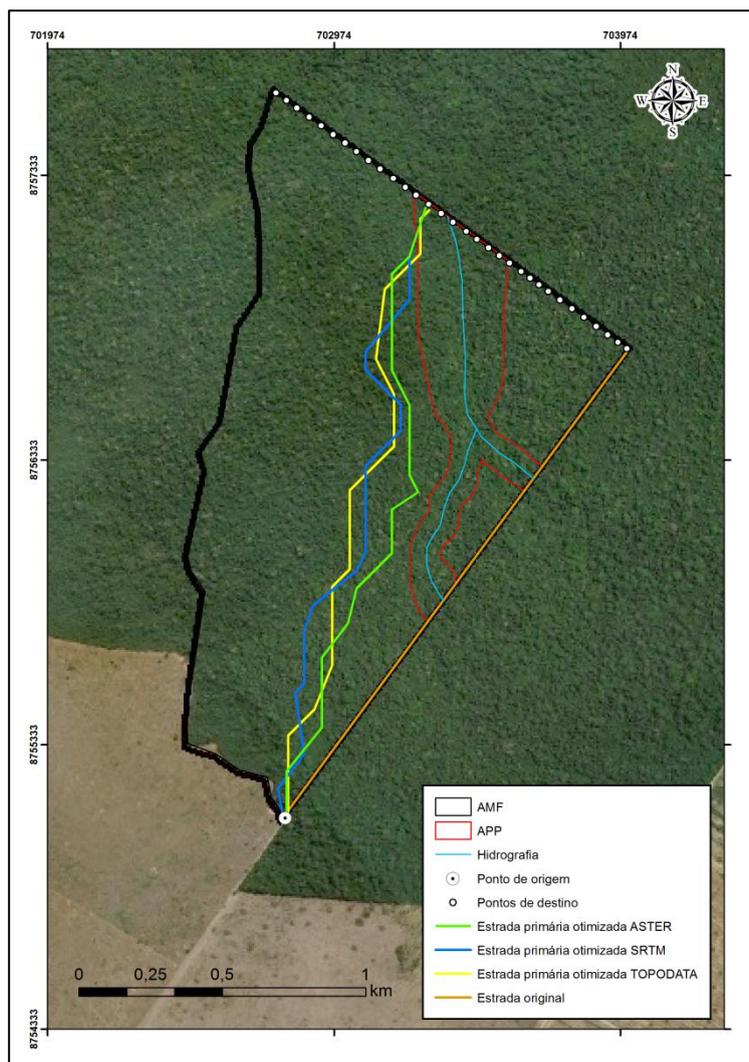


Figura 17. Resultado do traçado da estrada otimizada para os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA.

De acordo com a literatura, os dados ASTER apresentaram discrepâncias nos resultados dos diferentes custos analisados, com baixa correlação com a superfície morfológica presente nos demais MDEs, o qual não foi indicado para uso nessa finalidade. Para Souza et al. (2007), a ocupação do solo em determinada área deve considerar informações que possibilitem a melhor forma de utilização dos recursos naturais disponíveis, portanto, a metodologia proposta para a alocação de estrada primária utilizando rota otimizada indica o uso do modelo SRTM como eficiente por apresentar maior continuidade das informações, representados sobre o modelo digital de elevação do relevo (a), custos inclinação (b), sombreamento (c), custos totais (d) e custo de distância (d) e custo de direção (f) (Figura 18).

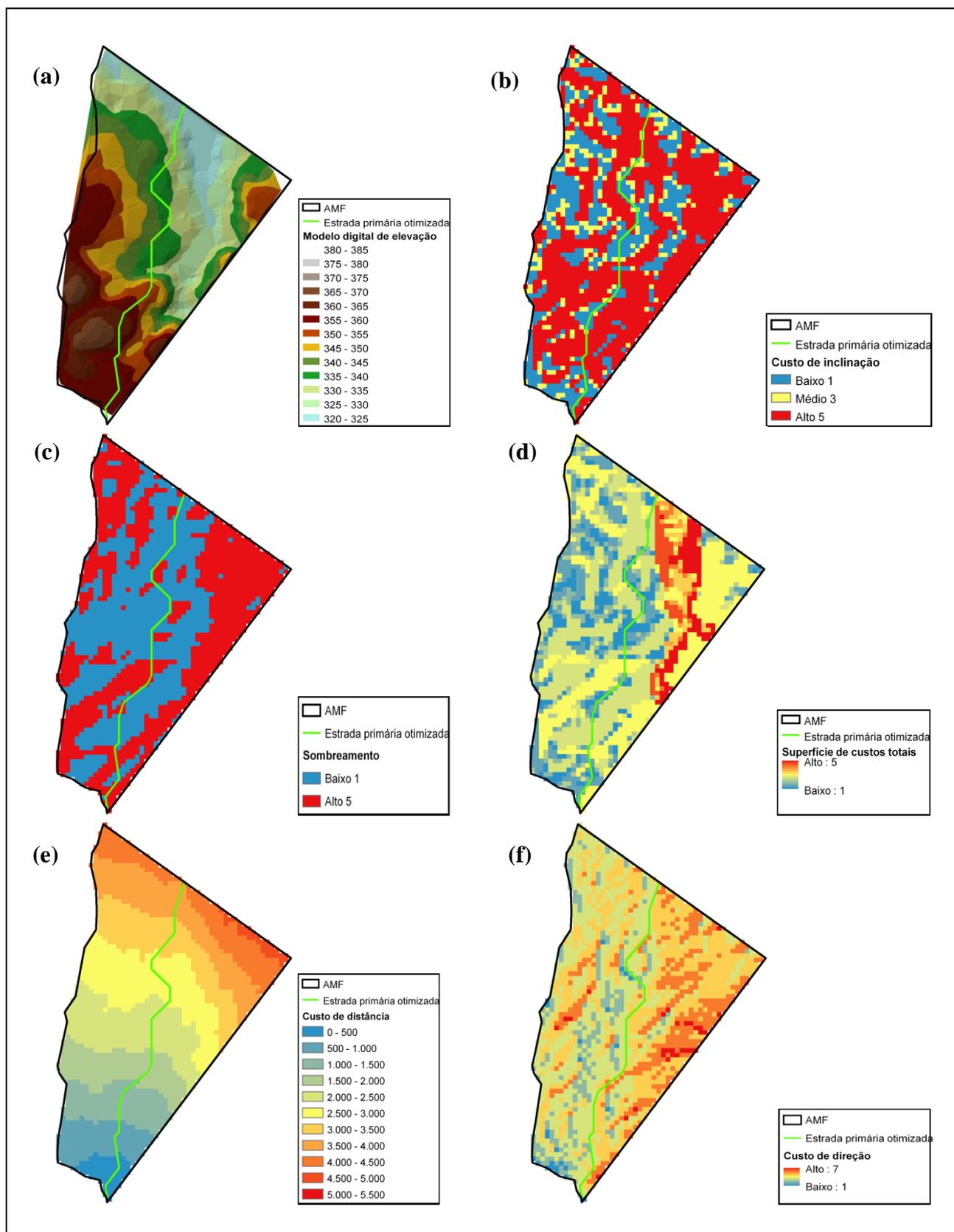


Figura 18. Resultado de estrada primária otimizada sobre a superfície de menor custo, utilizando o modelo SRTM.

Costa et al. (2010), em análise da influência vegetacional na altimetria de dados SRTM afirma que, os dados altimétricos SRTM possibilitam melhor representação quanto ao relevo, disponibilizando melhor conhecimento quanto ao uso e ocupação de uma determinada área, o que pode ser observado na figura Figura 18(a).

O percurso traçado pela estrada otimizada no modelo SRTM em áreas mais baixas pode ser considerado como uma medida de prevenção à erosão (Figura 18b). Correa et al. (2006), afirmam que locais com menor declive tendem a minimizar o potencial erosivo do solo pelas águas da chuva, visto que a água é o principal agente desencadeador de processos erosivos, capaz de provocar a instabilidade nas encostas resultando na perda de área produtiva e comprometimento do sistema de drenagem.

Verifica-se que o traçado abrange as áreas representadas com baixo custo sombreamento (Figura 18c), as quais encontram-se amplamente distribuídas no sentido latitudinal da AMF, permitindo que a construção da estrada primária seja no sentido Norte-Sul e o traçamento de estradas secundárias no sentido Leste-Oeste, conforme estabelecido no Decreto nº 1.862 pela SEMA (SEMA-MT, 2009). O resultado da rota também mostrou-se favorável na redução da erosão, pois o traçado percorre áreas que possibilitam maior incidência de luz, prevenindo possíveis atoleiros em época de chuva.

Para Machado et al. (2000), a distância ótima está associada à menor distância entre o ponto de partida e chegada. Porém, Oliveira Filho et al. (2005), em estudo na determinação de rota ótima com auxílio de SIG, comprovou a teoria que nem sempre a menor distância é a mais econômica na determinação da rota ótima, o que pode ser observado nos resultados de menor custo total obtidos nessa metodologia (Figura 18d), onde o SRTM apresentou o maior traçado distância até o ponto de destino (Figura 18e), no entanto, seguindo o menor custo direção possível (Figura 18f). Este resultado corrobora com trabalhos realizados por Motta (1996) e Kazama (2015), que apresentam em seus estudos que a escolha da rota ótima não significou a mais curta, e sim aquela que teve o máximo alcance econômico. Portanto, novamente se comprova que a metodologia SRTM utilizada para otimizar a estrada primária demonstrou – se a mais satisfatória.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma metodologia pra otimização da alocação de estrada primária em áreas de florestas nativas, sendo a principal vantagem, o potencial para realizar um diagnóstico espacial da área de forma remota, sem a necessidade de ir *in loco*. Contudo, visitas ao local são recomendadas para uma melhor caracterização e identificação das áreas, principalmente se não houver imagem de satélite atualizada.

A potencialidade de aplicações dos modelos está relacionada com a sua resolução espacial horizontal e vertical, o que determina a escala e área para a qual poderão ser utilizados.

O MDE ASTER tem maior resolução espacial, porém apresenta uma certa discrepância em alguns fatores analisados, além de aparentemente subestimar altitudes de locais mais elevados.

O MDE SRTM apresentou maior continuidade das informações que os MDEs ASTER e TOPODATA comparados, possibilitando melhor representação de relevo da área.

O MDE TOPODATA apesar de apresentar melhor resolução quando comparado ao ASTER, apresenta limitações relacionadas a superficialidade dos dados obtidos.

Modelos digitais de elevação apresentam diversas aplicações no ramo das geotecnologias, sendo importante avaliar cada para alcançar os melhores resultados conforme o objetivo de cada trabalho.

Os resultados encontrados foram satisfatórios e mostrou que o modelo SRTM é útil para auxiliar na tomada de decisão durante o planejamento da demarcação de uma estrada primária. Deve ser usado em combinação com a abordagem empírica e intuitiva como é feito atualmente, para facilitar e melhorar os resultados, lembrando que não apenas os custos devem ser considerados, mas também o impacto ambiental.

Portanto, este estudo pode ser considerado um fomento para que novos estudos possam ser realizados com base na metodologia proposta.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C., NICOLOSO, R. S.; SCHOSSLER, D. S.; TRINDADE, B. S. Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados. In: **Anais** do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, Ribeirão Preto/SP, 2010. Disponível em: . Acesso em: 14.jun.2017.

ANTONANGELO, A. **Avaliação do sistema de informações geográficas GRASS para predição dos riscos de erosão em estradas de uso florestal**. 2004. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

BOHRER, C. B. A.; FIORAVANTE, H.; Oliveira, L. C.; FARIA, C. P.; Silva, A.L.G. Desenvolvimento de um sistema de informações espaciais ambientais e sócio-econômicas para a Amazônia Legal. In: I Seminário de acompanhamento nemeses, seminário de estudos regionais e urbanos, 2001, São Paulo. **Anais**. São Paulo: 2001, p. 431-437.

BRAZ, E. M. **Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável em manejo de floresta tropical**. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC, Circular Técnica, 15, 1997.36p.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais na Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; LOPES, E. S.; PEREIRA, D. P.; MARIN, H. B.; SILVA, E. N. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 451-459, 2013.

CARVALHO, L. A. A rede viária e sua interação com o meio ambiente. In: SEMINAR ON HARVESTING AND WOOD TRANSPORTATION, 2000, Curitiba. **Anais**. Paraná: INPE, p. 54-72.

CARVALHO, T.M.; LATRUBESSE, E.M. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 85-93, 2004.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da “shuttle radar topography mission” (srtm) no mapeamento geomorfológico do estado de goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2008.

CORREA, C. M. C. **Perda de solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no planalto catarinense**. 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

CORREA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R.; ROLOFF, G. Bases para Planejamento de Rede Viária em Reflorestamento no Sul do Brasil . **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, maio-ago. p. 277. 2006.

COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; LUCENA, A. M. P.; CASTRO, M. A. H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciências Agrônômicas**, v. 41, n. 2, abr-jun, p. 222-230, 2010.

DA ROCHA, E. S; DE BARROS, P. L. C., MACIEL, M. N.; ERLER, J. Avaliação da densidade ótima de estradas florestais em dois sistemas de exploração florestal no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 47, n. 1, p. 49-58, jan/jun 2007.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 186 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Pecuária**. 1999. **Sistema brasileiro de levantamento e classificação de solo**. EMBRAPA solos, Rio de Janeiro.1999, 412p.

ENGESAT (2010). **Altimetria Aster**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/?system=news&eid=378>. Acessado em 27/04/2017.

FERREIRA, G. F.; COSTA, A. P. P. R.; CANDEIAS, A. L. B. Análise comparativa de modelos digitais de elevação. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais**. Paraná: INPE, 2011, p. 2324.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo de precisão: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa, AC, 2007.p. 17-31.

FRYE, C. **Setting the Z Factor parameter correctly**. 2007. Disponível em: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2007/06/12/setting-the-z-factor-parameter-correctly/> Acesso em: 22 jun. 2017.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; ALVES, F. M. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

GARCIA, A. R.; MACHADO, C. C.; SILVA, E. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 535-542, 2003.

GONZAGA, L. **Estratégia para manutenção de estradas rurais de SP**. Palestra durante encontro do Grupo de Discussão de Rede Viária – Visita ao GRUPO ORSA, São Paulo, 2000.

GREGO, C. R.; LONG, R. M.; VICENTE, L. E.; LOEBMANN, D. G. S. W.; VEDOVATO, L. B.; OLIVEIRA, B. P.; LEIVAS, J. F.; VICTÓRIA, D. C. Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise geoestatística. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. Paraná: INPE, 2013, P. 1237 – 1244.

GROHMANN, C. H. Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais**. Pernambuco: INPE, 2015 p. 5728 -5730.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série manuais técnicos em geociências, 1. Rio de Janeiro. 1992. 92p.

ITTO - International Tropical Timber Organization. **Guidelines for sustainable management of natural tropical forests**. Japan, Technical Series 5.,1990.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Ed. Parêntese, São José dos Campos - SP, 2009.

KAZAMA, V. S. **Planejamento de rota ótima da estrada primária em um plano de manejo florestal sustentável apoiado por geoprocessamento**. 2015. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, 2015.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais**. Paraná: INPE, 2011, p. 4003.

LEDA, V. C.; POLONIO, V. D.; SARTORI, A. A. C.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; ZIMBACK, C. R. L. Análise comparativa de mapas de declividade na bacia do Ribeirão da Prata em Lençóis Paulista – SP. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais**. Pernambuco: INPE, 2015, p. 3273.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2002.

LOPES, E. S.; CRISTO, J. F.; PIEPER, M. Avaliação técnica de um sistema de pesagem no carregamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 575-581, 2006.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário**. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2000.

MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. C. **Estradas florestais**. Irati: GTZ, p. 100, 1990.

MALINOVSKI, J. R., CARVALHO, L. C.; CARVALHO, M. **Planejamento de rede viária**. Relatório Técnico Kablin, 2004.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Revista Floresta**, v. 36, n. 2, p. 179, 2006.

MARCELINO, F. A. Avaliação dos sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão. 2007. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

MATO GROSSO. **Decreto nº 1.862, de 24 de Março de 2009**, Secretaria do Meio Ambiente do estado de Mato Grosso. <http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=3392&Itemid=421>. Acesso em 25 abr. 2017.

MEDEIROS, R. A. **Dinâmica de sucessão secundária em floresta de transição na Amazônia Meridional**. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2004.

MELGAÇO, L. M.; SOUZA FILHO, C. R.; STEINMAYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação geradas por sensores ópticos e por radar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005, p. 1215-1220.

MOTTA L. P. Utilização de sistemas de informações geográficas e da distância virtual na otimização do transporte florestal rodoviário. **Revista Árvores**, Viçosa, MG, v. 20, n. 3, p. 381-394, 1996.

NASA. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível<<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>>. Acesso em: 18 nov 2017.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; CORDEIRO, S. A.; LEITE, H. G.; SILVA, J. V. Análise de processo hierárquico para gerir as estradas florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 38-44, 2013.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; LOPES, E. S.; MAGRAF, W.; DISPERATI, A. A. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 403-409, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S. **Floresta de precisão**. In: MACHADO, C.C (Org). Colheita florestal. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002. p. 311-374.

SILVA JUNIOR, O. M.; FUCKNER, M. A. Avaliação da correlação entre modelo digital de elevação ASTER e carta topográfica para a região de Marabá – Estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 2010, Recife. **Anais**. Recife: INPE, 2010, p. 27-30.

SILVA, P. H. **Desenvolvimento de um modelo para alocação ótima de pátios de estocagem de madeira**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOUZA D. O. **Algoritmos genéticos aplicados ao Planejamento do transporte principal de madeira**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUZA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; COSTA FILHO, A. B. Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 04, p. 327-334, 2007.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBRS, 2005, São José dos Campos. **Anais**. São Paulo, INPE, 2004, p. 72.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBRS, 2005, São José dos Campos. **Anais**. São Paulo: INPE, 2005, p. 3595-3602.

VIEIRA, G. A. Logística de projeto florestal – uma abordagem gerencial. In: Seminário de Atualização sobre Sistema de Colheita e Transporte Florestal, 2004, Curitiba, Paraná. **Anais**, Curitiba : UFPR, 2004.

VERÍSSIMO, A. O desafio do manejo florestal na Amazônia. In: FUJIHARA, M. A. et al. **O valor das florestas**. São Paulo: Terra das Artes, 2009.

VOURLITIS, G. L., N.; PRIANTE FILHO, M. M. S.; HAYASHI, J.S.; NOGUEIRA, F. T.; CASEIRO E J. H.; CAMPELO J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water resources research**, v. 38, n. 6, p. 30-1-30-11, 2002.

ZAGONEL, R. **Análise da densidade ótima de estradas de uso florestal em relevo plano de áreas com produção de *Pinus taeda***. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

8. APÊNDICE

Segue em apêndice o passo a passo realizado no ArcMap para elaboração dos mapas e os mapas gerados no estudo.

Apêndice A: Inclinação

Para encontrar a **declividade** foram seguido os seguintes passos:

- ❖ A partir do menu Spatial Analyst Tool, selecionou-se Surface > Slope.
- ❖ Na janela de diálogo da função *Slope*:
 - Em *Input Raster*, selecionou-se **Imagem do MDE**.
 - Em *Output Raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Declividade**.
 - Em *Output measurement*, selecionou-se **DEGREE**.
 - Clicou-se OK.

>> Foi adicionada a imagem de declividade ao ArcMap.

Para realizar a operação de **reclassificação**, seguiram-se os seguintes passos:

- ❖ A partir do menu Spatial Analyst Tool, selecionou-se Reclass > Reclassify.
- ❖ Na janela de diálogo da função *Reclassify*:
 - Em *Input Raster*, selecionou-se **Declividade**.
 - Em *Classify... > Classes*, selecionou-se **3**.
 - Em *Break Values*, selecionou-se o botão >
 - No primeiro valor, substituiu-se por **8%**.
 - No segundo valor, substituiu-se por **10%**.
 - No terceiro valor, substituiu-se por **100%**.
 - Clicou-se OK.

Para realizar a operação de **ponderação**, seguiram-se os seguintes passos:

- ❖ Ainda na janela de diálogo *Reclassify*, selecionou-se na tabela *Reclassification*, > coluna *New valores*:
 - Na primeira linha, substituiu-se por **1**.
 - Na segunda linha, substituiu-se por **3**.
 - Na terceira linha, substituiu-se por **5**.
- ❖ Em *Output Raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Mapa de custo inclinação**.

- Clicou-se OK.

Apêndice B: Sombreamento

Para realizar este processo, seguiram-se os seguintes passos:

- ❖ A partir do menu Spatial Analyst Tool, selecionou-se Surface> Hillshade.
- ❖ Na janela de diálogo da função *Hillshade*:
 - Em *Input Raster*, selecionou-se a **Imagem do MDE**.
 - Em *Output Raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Sombreamento**.
 - Em *Z factor* digitou-se **0.00000912**.
 - Clicou-se OK.

>> Foi adicionada a imagem de sombreamento ao ArcMap.

Para realizar a operação de **reclassificação**, os seguintes passos foram efetuados:

- ❖ A partir do menu Spatial Analyst Tool, selecionou-se Reclass > Reclassify.
- ❖ Na janela de diálogo da função *Reclassify*:
 - Em *Input Raster*, selecionou-se **Sombreamento**.
 - Em *Classify... > Classes* selecionou-se **2**.
 - Em *Break Values*, selecionou-se
 - O primeiro valor substituiu-se por **0%**, para separar as áreas sem sombreamento.
 - O segunda valor substituiu-se por **100%**, nessa classe inclui todas as demais áreas com qualquer porcentagem de sombreamento.
- Clicou-se OK.

Para realizar a operação de **ponderação** do sombreamento, seguiu-se os passos:

- ❖ Ainda na janela de diálogo *Reclassify*, selecionou-se na tabela *Reclassification*, > coluna *New valores*:
 - Na primeira linha, substituiu-se por **1**.
 - Na segunda linha, substituiu-se por **5**.
- ❖ Em *Output Raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Mapa de custo sombreamento**.
- ❖ Clicou-se OK.

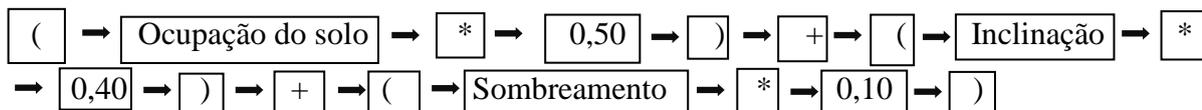
Apêndice C: Otimização

Para realizar o cálculo da fórmula descrita (**SCT**), seguiram-se os passos:

- ❖ A partir do menu *Spatial Analyst*, selecionou-se *Map Algebra > Raster Calculator*.

❖ Na janela de diálogo da função *Raster Calculator*:

➤ Em *Map Algebra expression*, selecionou-se os seguintes comandos:



❖ Em *Output raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Superfície de custos totais**.

❖ Clicou-se OK.

>> Foi adicionada a nova imagem de Superfície de custos totais ao ArcMap.

Apêndice D: Custo de menor caminho

Os passos para gerar a **estrada primária** otimizada foram:

❖ A partir do menu Spatial Analyst, selecionou-se Distance > Cost Distance.

❖ Na janela de diálogo da função *Cost Distance*:

➤ Em *Input raster or feature*, selecionou-se **Ponto de origem**.

➤ Em *Input cost raster*, selecionou-se **Superfície de custos totais**.

➤ Em *Output distance raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Custo de Distância**.

➤ Em *Output backlink raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Custo de Direção**.

❖ Clicou-se OK.

>> São adicionadas dois *layers*: superfícies de custo distância e direção.

A partir do menu Spatial Analyst, selecionou-se Distance > Cost Path.

❖ Na janela de diálogo da função *Cost Path*:

• Em *Input raster or feature*, selecionou-se o **Ponto destino**.

• Em *Input cost distance raster*, selecionou-se **Custo de distância**.

• Em *Input cost backlink raster*, selecionou-se **Custo de direção**.

• Em *Output raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Estrada primária otimizada**.

• Em Path type, selecionou-se **Best Single**.

❖ Clicou-se OK.

>> Foi adicionado a imagem da estrada otimizada no ArcMap.

Os passos para realizar a conversão de estrada otimizada foram:

❖ A partir do menu Conversion, selecionou-se From Raster > Raster to Polyline.

- ❖ Na janela de diálogo da função *Raster to Polyline*:
- Em *Input raster*, selecionou-se **Estrada primária otimizada**.
- Em *Output polyline feature*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo
- **Estrada primária otimizada**.
- ❖ Clicou-se em Ok.

Apêndice E: Modelo digital do terreno

Para realizar este modelo, seguiu-se os passos:

- ❖ A partir do menu 3D Analyst Tools, selecionou-se Raster Surface > Contour.
 - ❖ Na janela de diálogo da função *Contour*:
 - Em *Input raster*, seleciona-se a imagem SRTM recortada e no campo
 - Em *Output raster*, salvou-se na pasta **Projeto** o novo arquivo **Curvas de nível**.
 - Em *Contour interval*, digitou-se a escala de 3 metros. Figueiredo et al. (2007) afirma que a escala de 3 metros proporciona um nível de detalhamento adequado para planejamentos florestais.
 - ❖ Clicou-se OK.
- >> O arquivo de Curva de nível foi adicionada ao ArcMap.

Após realizar este processo, as **curvas de nível foram suavizadas** para melhor visualização. Para realizar o processo de suavização das linhas, os passos efetuados foram:

- ❖ A partir do menu do *Editor*, selecionar **Start Editing**.
- ❖ Na janela do ArcMap, Clicou-se com o botão direito e ativou-se a ferramenta **Advanced Editing**.
- >> É adicionado na barra de ferramentas do ArcMap uma nova barra > **Advanced Editing**.
- ❖ No Arquivo Curva de nível, clicou-se com o botão direito e selecionou-se *Open Attribute Table > Select All*.
- ❖ Na barra de ferramenta Advanced Editing, selecionou-se Smooth tools > maximum allowable offset.
- ❖ Na janela de diálogo da função *maximum allowable offset*, digitou-se **1**.
- ❖ Clicou-se OK.

Realizado o processo de **suavização das curvas de nível**, foi criado em seguida o arquivo TIN. Para realizar este processo seguiu-se os passos:

- ❖ A partir do menu 3D Analyst Tools, selecionou-se Data Management > TIN > Create TIN.
- ❖ Na janela de diálogo *Create TIN*:

- Em *Output TIN*, salvou-se na pasta Projeto o novo arquivo **TIN**.
- Em *Coordinate System*, selecionou-se *Layer >*
- **WGS_1984_UTM_Zone_21S**.
- Em *Input Features*, selecionou-se **Curvas de nível**.
- ❖ Clicou-se OK.

>> Foi adicionado o novo arquivo TIN ao ArcMap.

Após gerado o arquivo TIN, foi aberto a janela do ArcScene da seguinte forma:

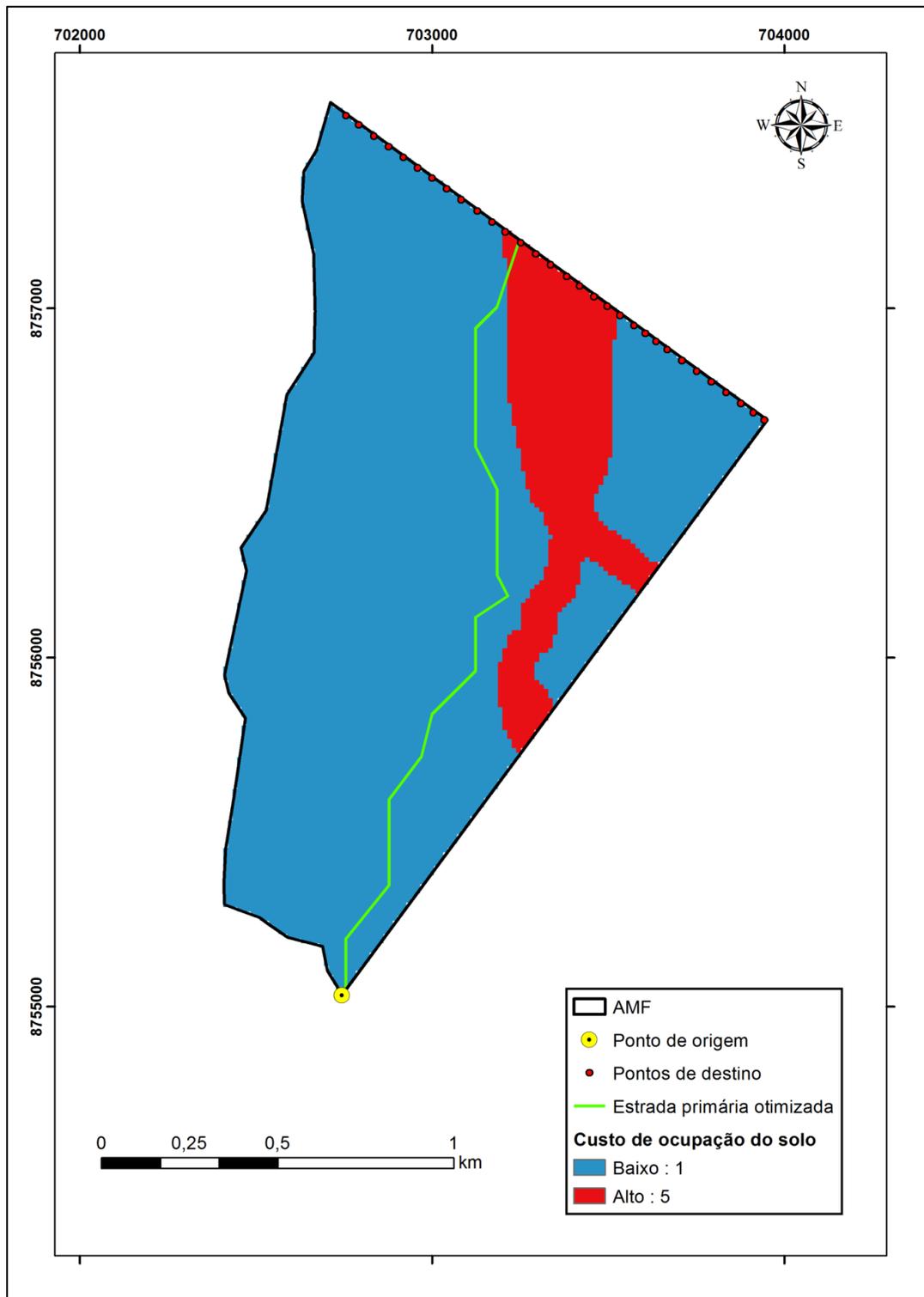
- ❖ Na janela do ArcMap, clicou-se com o botão direito e ativou-se a ferramenta **3D Analyst**.
- >> Foi adicionado na barra de ferramentas do ArcMap uma nova barra > **3D Analyst**.
- ❖ Na barra de ferramentas do **3D Analyst** selecionou-se **ArcScene**.
- ❖ Na janela de diálogo do aplicativo **ArcScene – Getting Started**, selecionou-se *New Scenes*:
- ❖ Clicou-se OK.

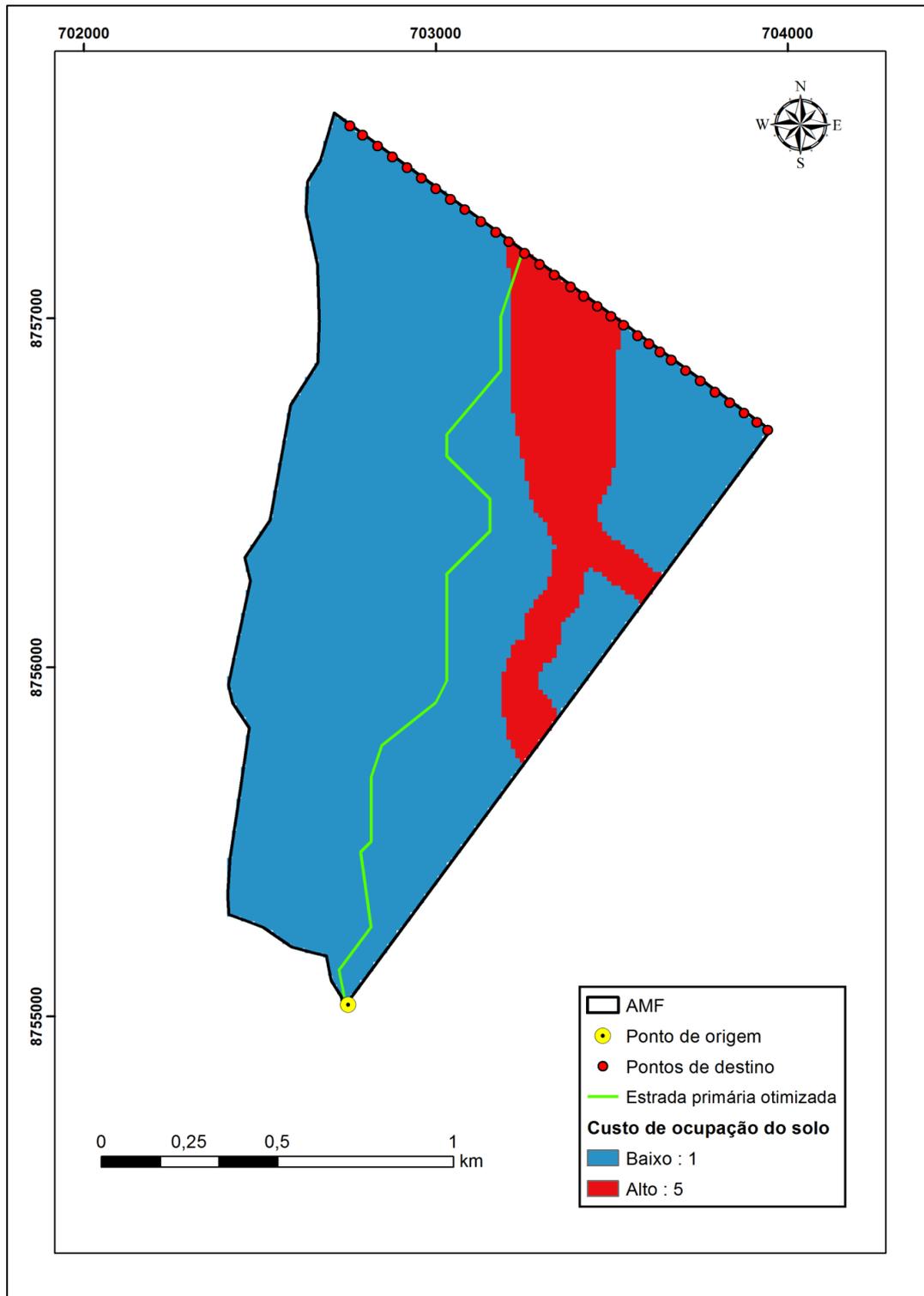
Na barra de ferramentas do **ArcScene**, selecionou-se no *Add Data* e adicionou-se os arquivos:

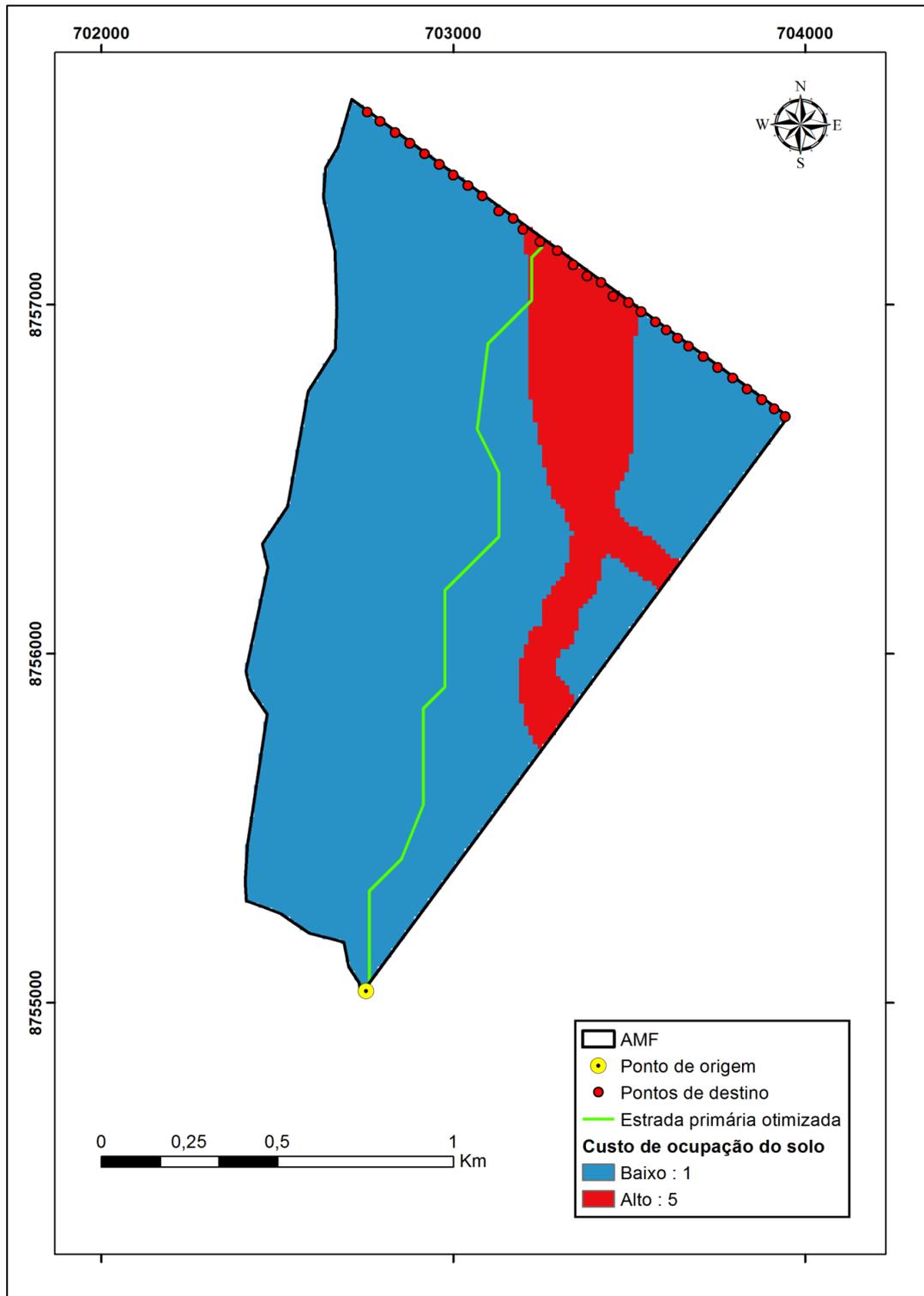
- ❖ **TIN**.
- ❖ Estrada primária otimizada.
- ❖ Estrada primária original.
- ❖ Na janela do ArcScene, clicou-se com o botão direito sobre cada arquivo e selecionou-se *Properties > Base Heights > Floating on a custom surface > Factor to convert layer elevation values to scene units > Custom*, e digitou-se o valor de **exagero 5**.
- ❖ Clicou-se OK.

Após realizado este processo o **mapa de modelo digital do terreno** foi concluída.

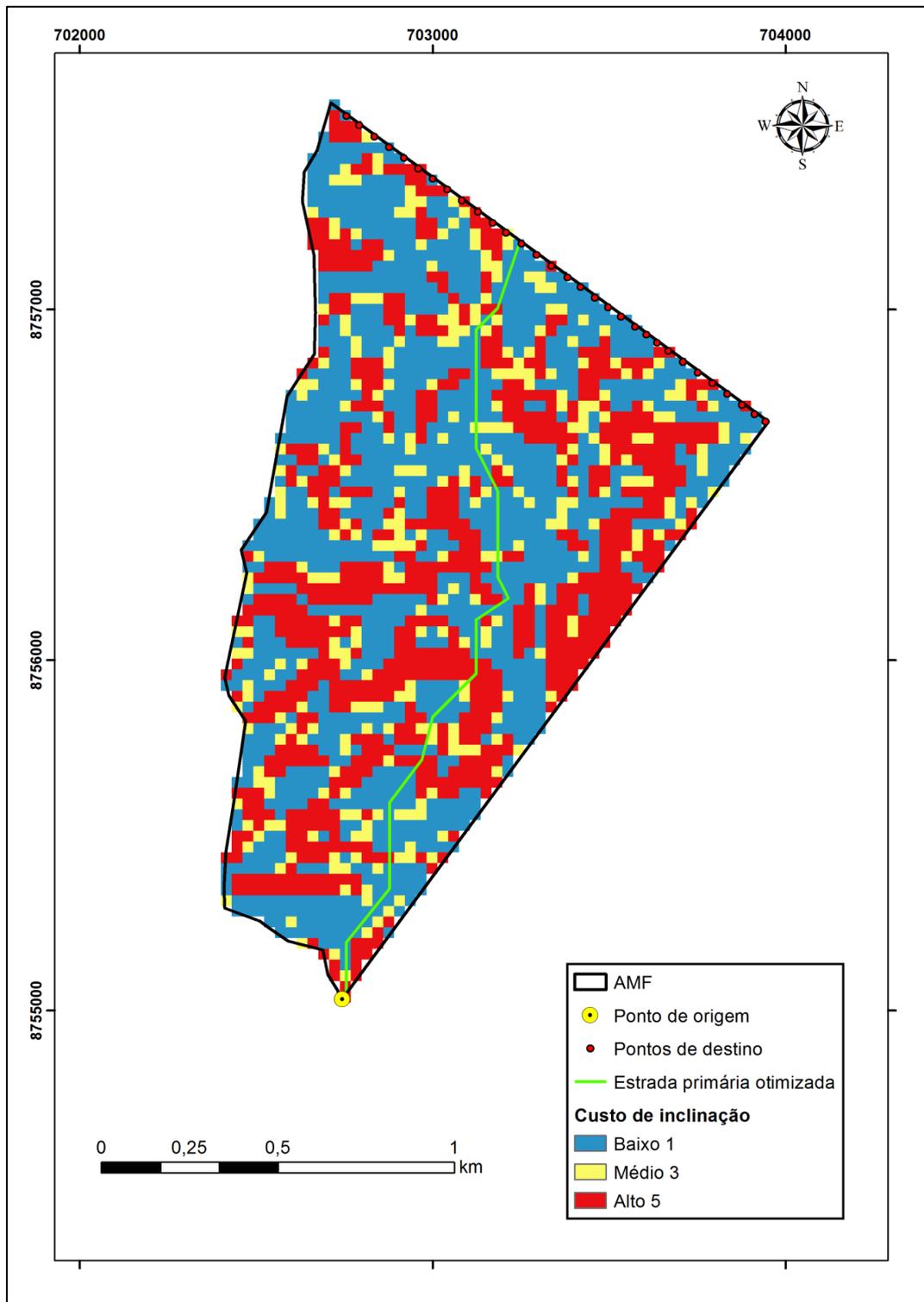
Apêndice F: Resultados das análises de caminho de menor custo das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente, sobre o resultado da análise geográfica para o fator custo de ocupação do solo.

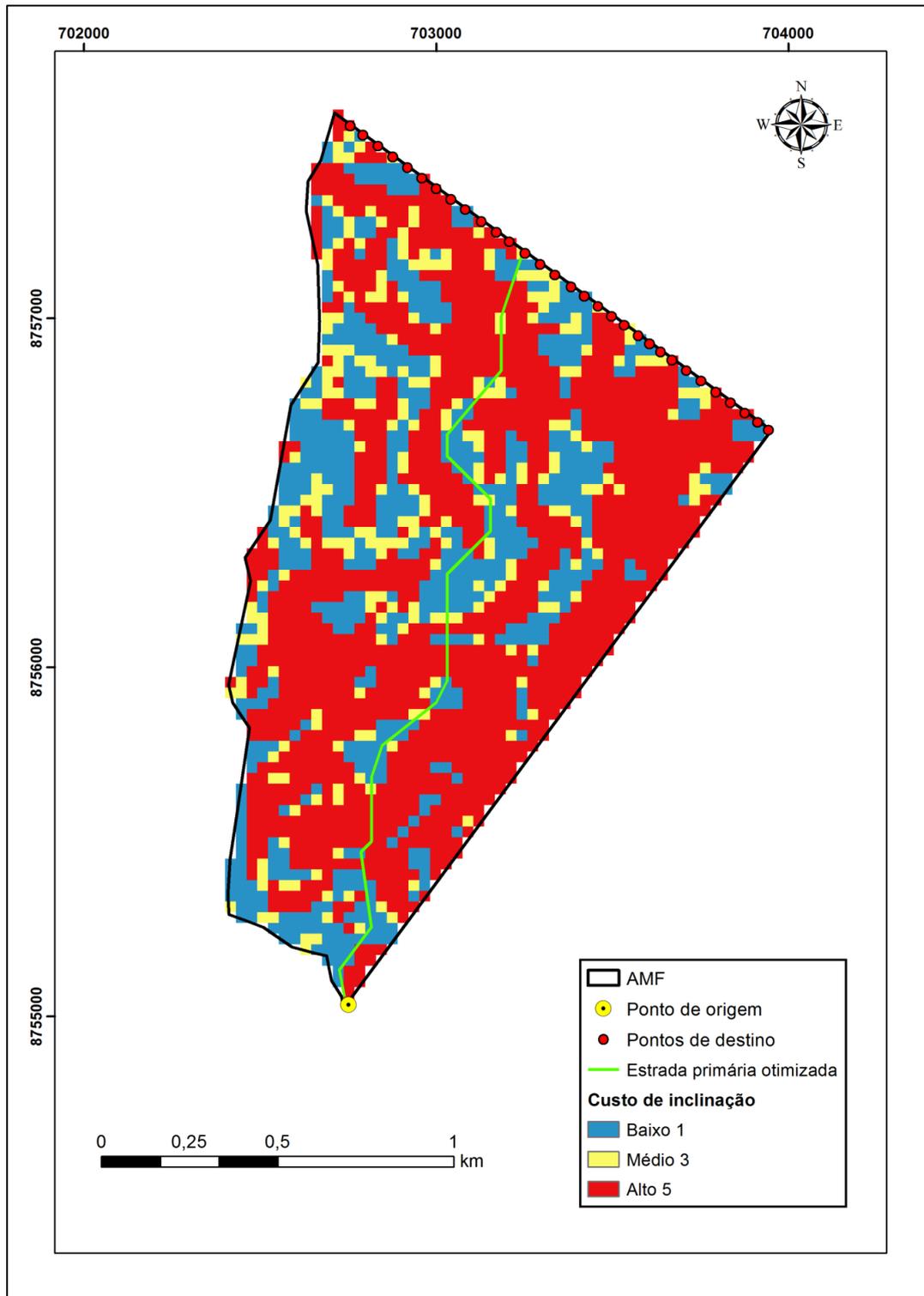


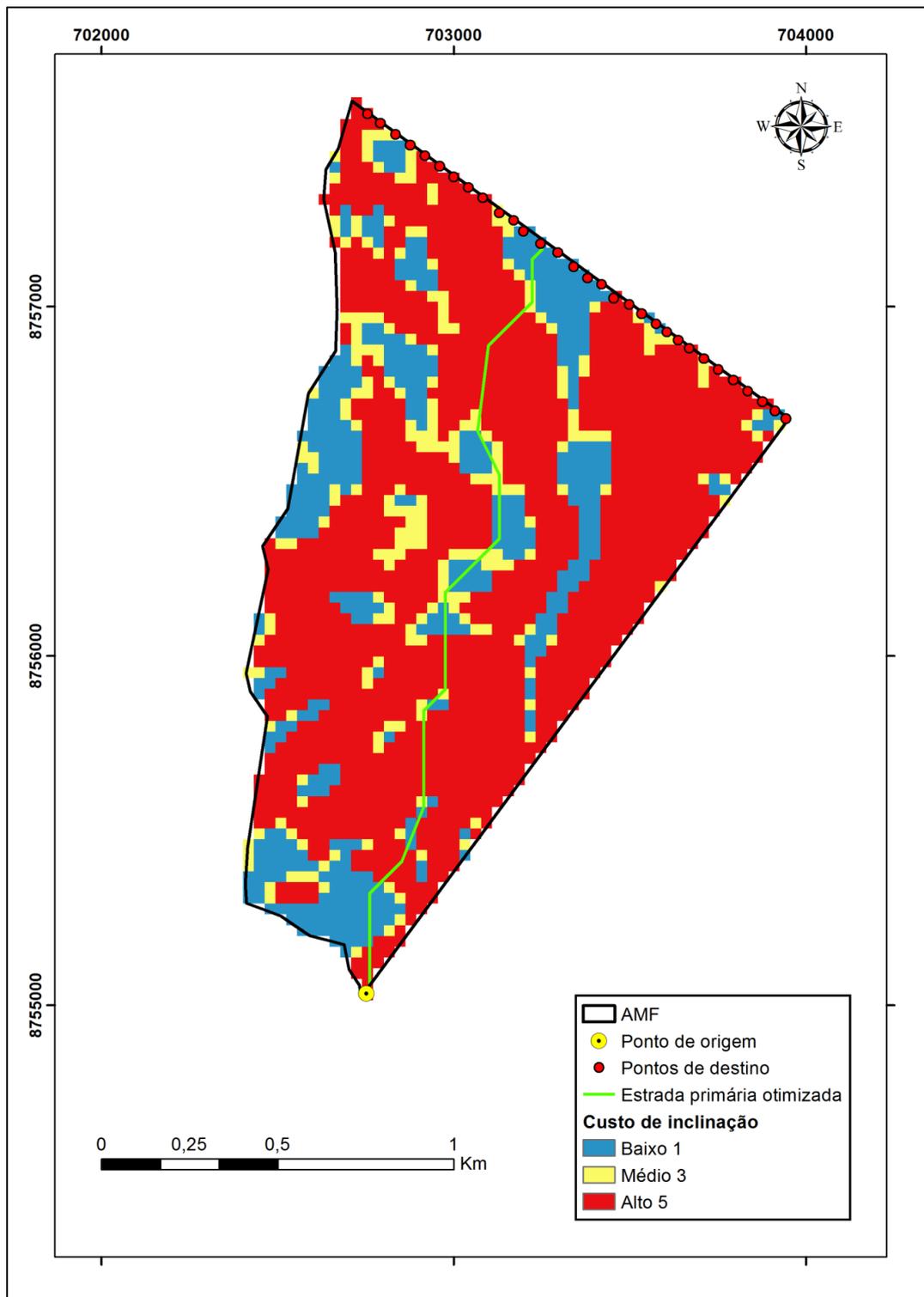




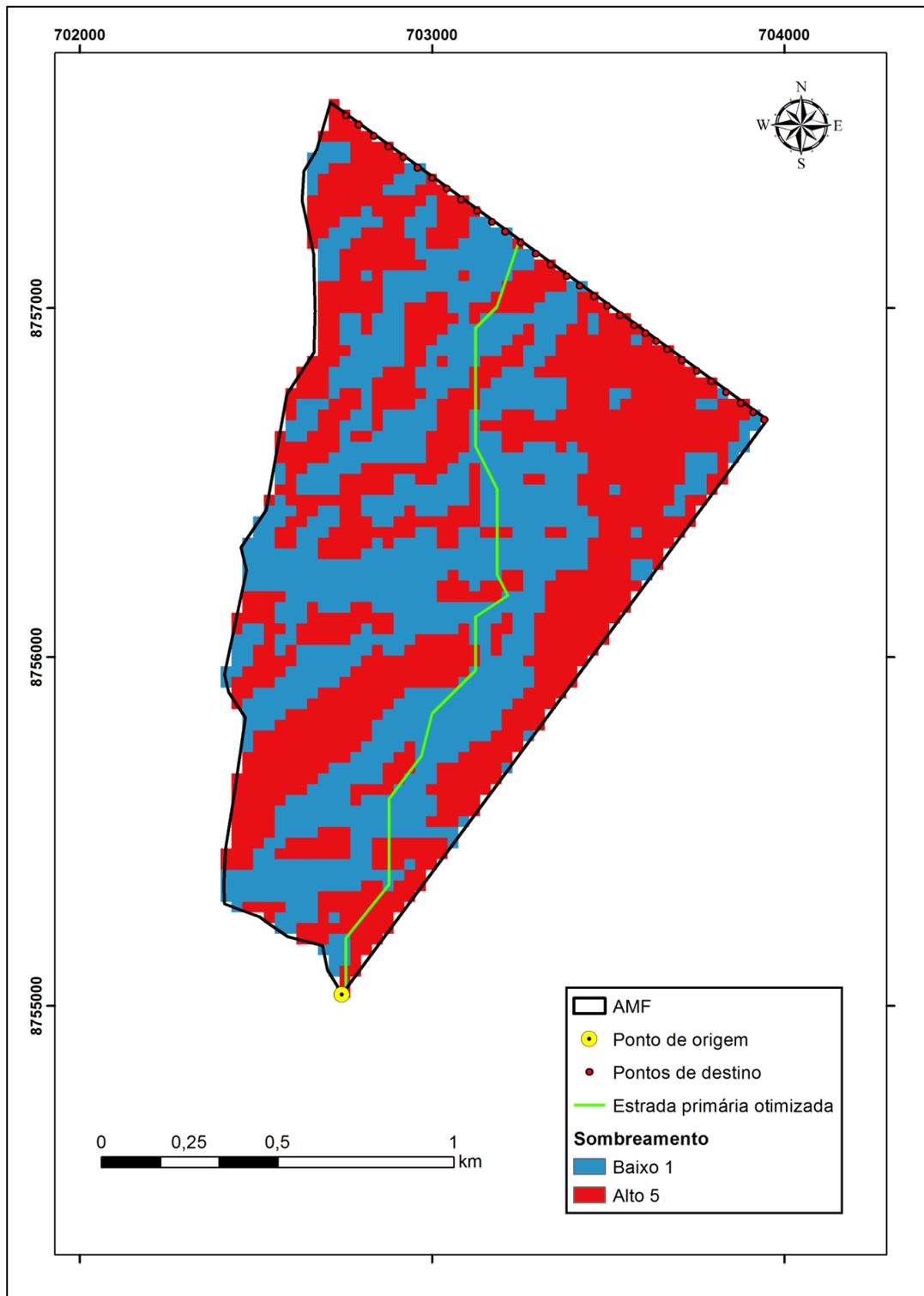
Apêndice G: Resultados das análises de caminho de menor custo sobre os resultados das análises geográficas para o fator custo inclinação das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.

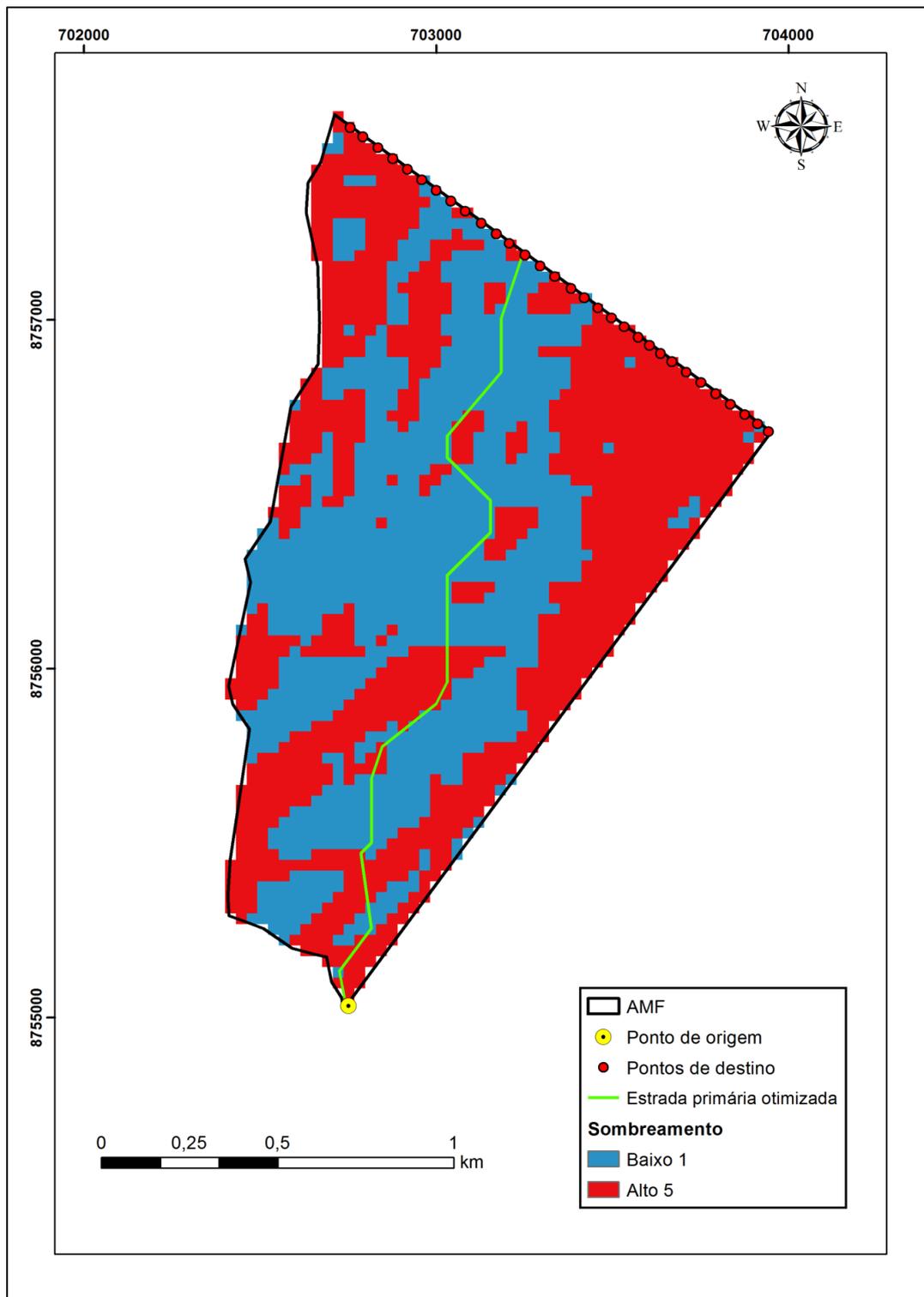


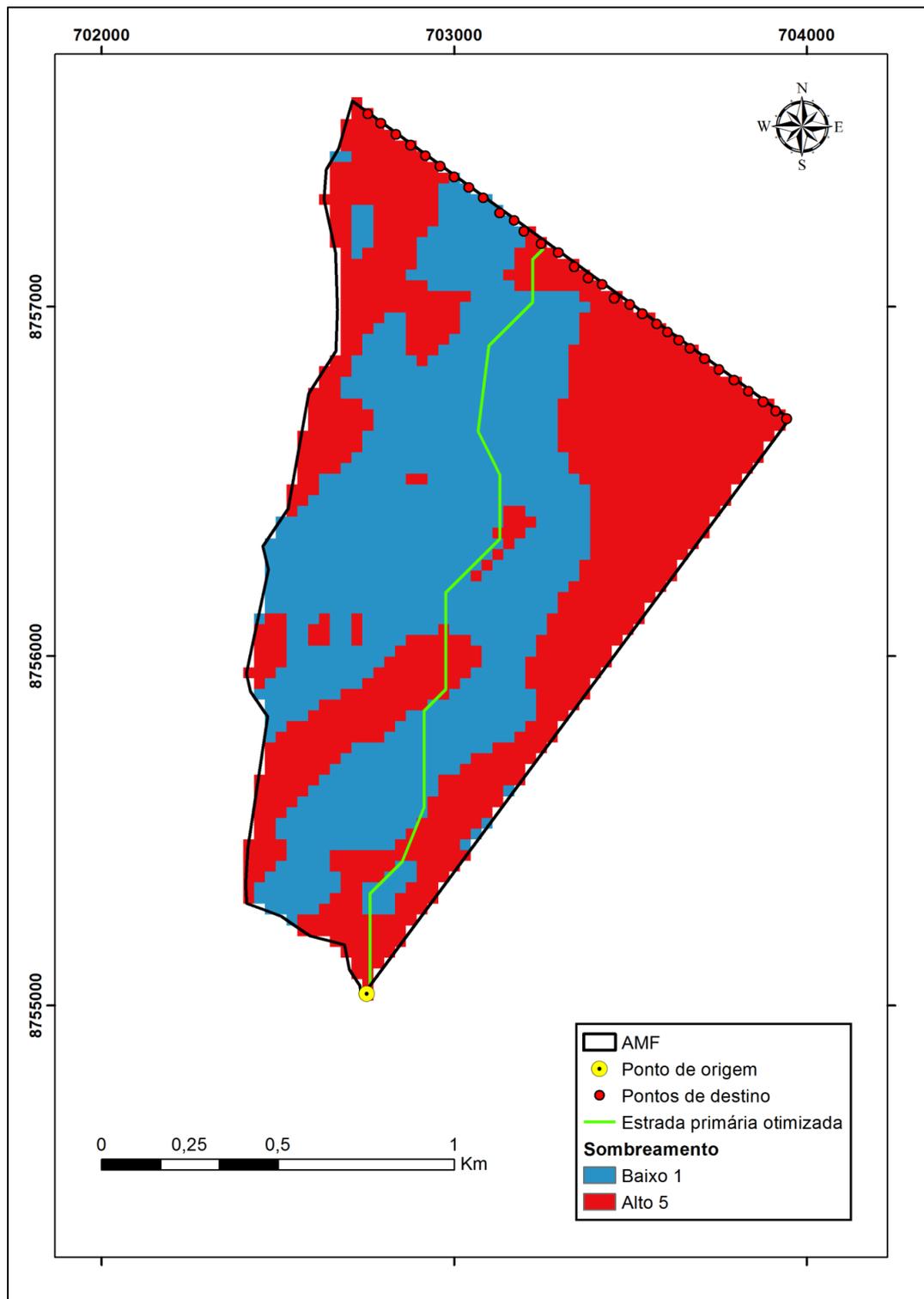




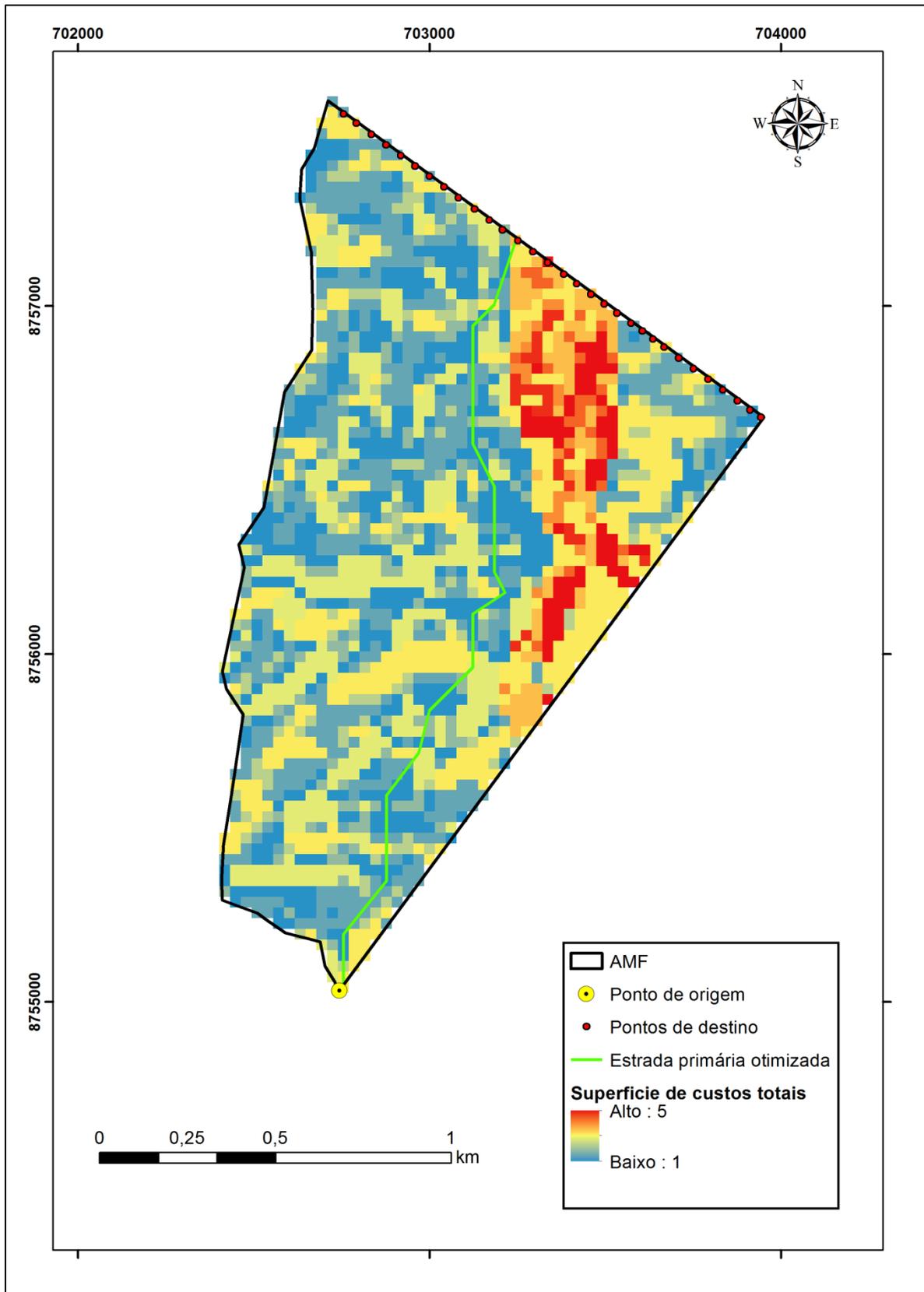
Apêndice H: Resultados das análises de caminho de menor custo sobre os resultados das análises geográficas para o fator custo sombreamento das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.

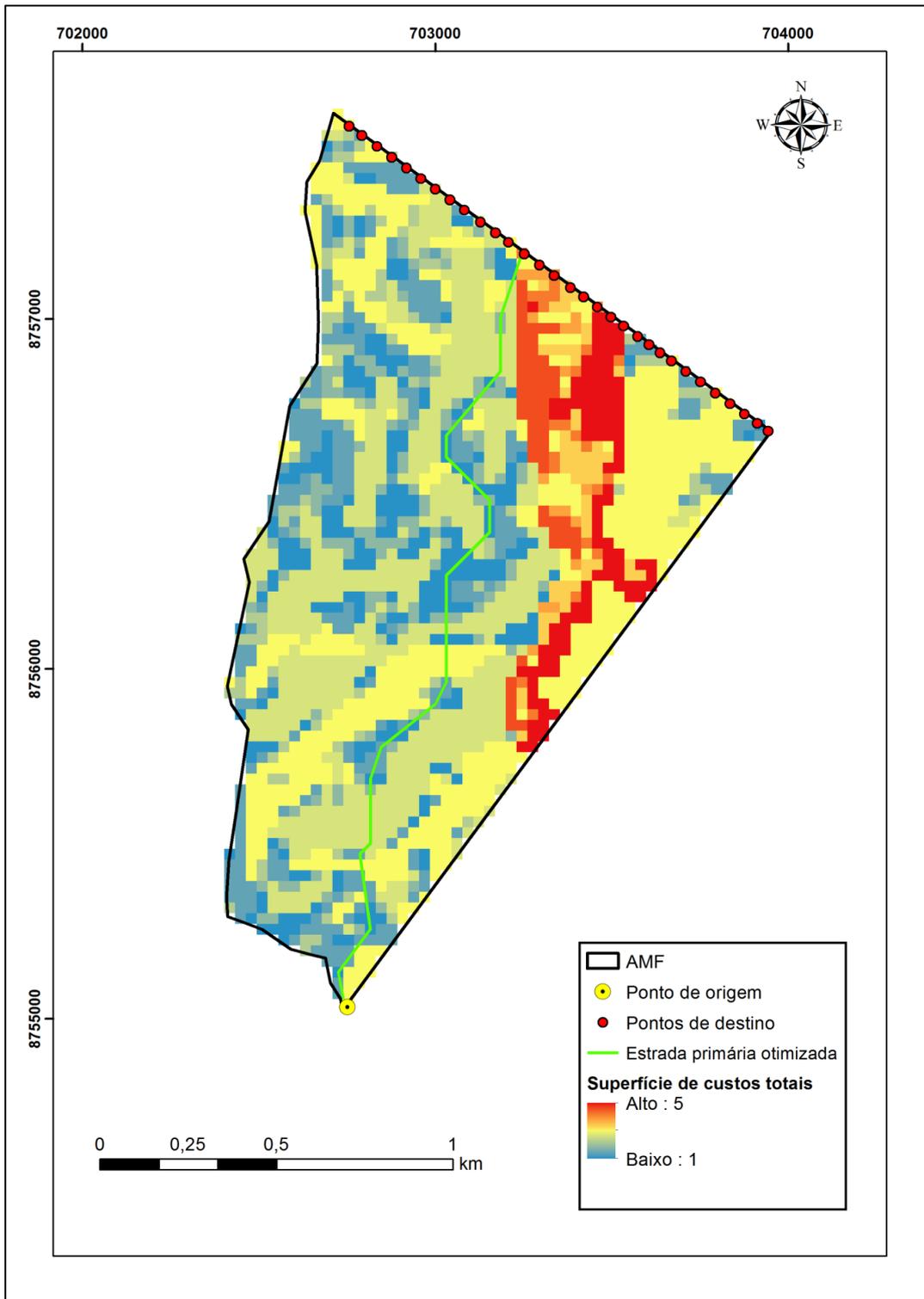


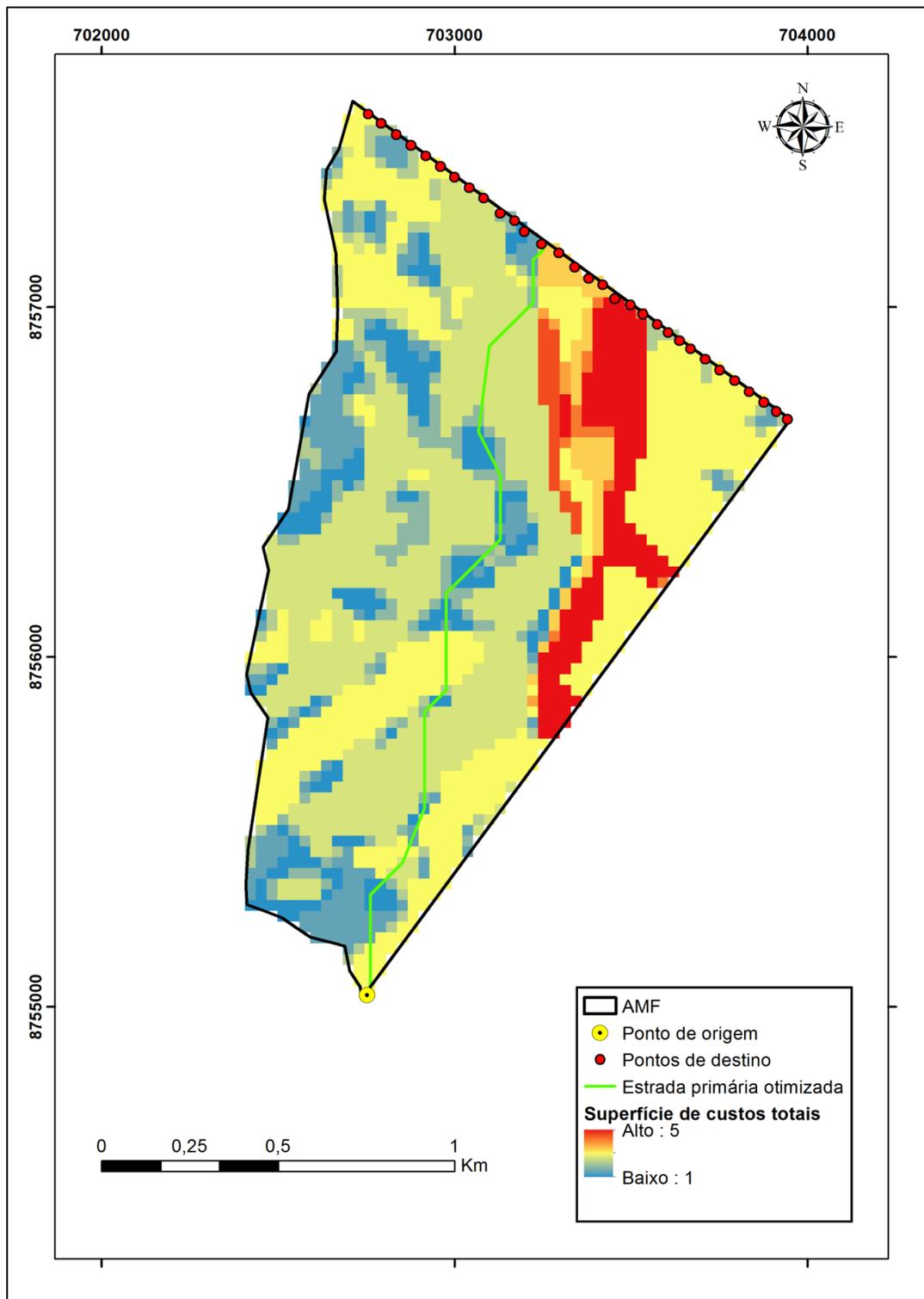




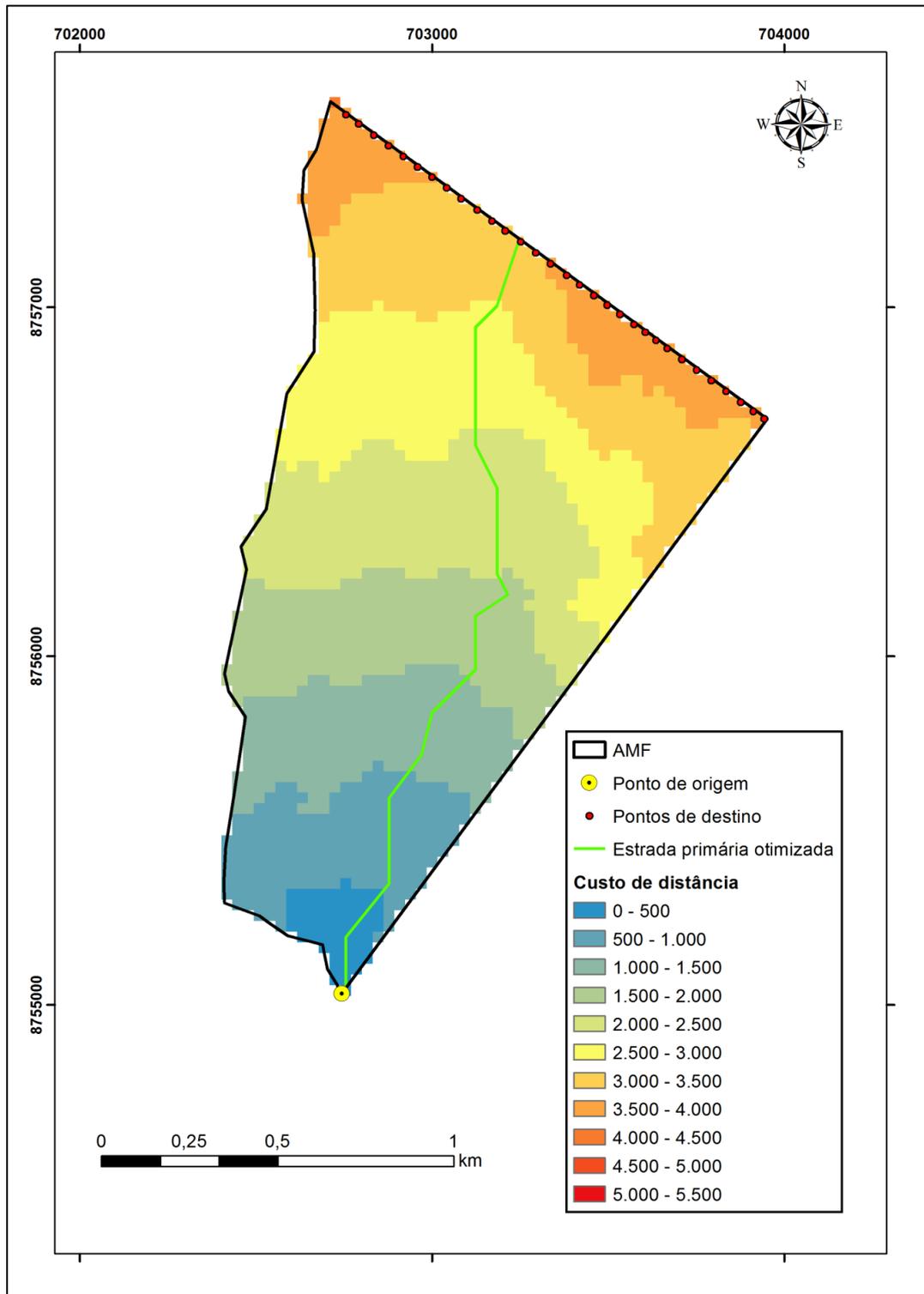
Apêndice I: Resultados das análises de caminho de menor custo sobre os resultados das superfícies de custo totais das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.

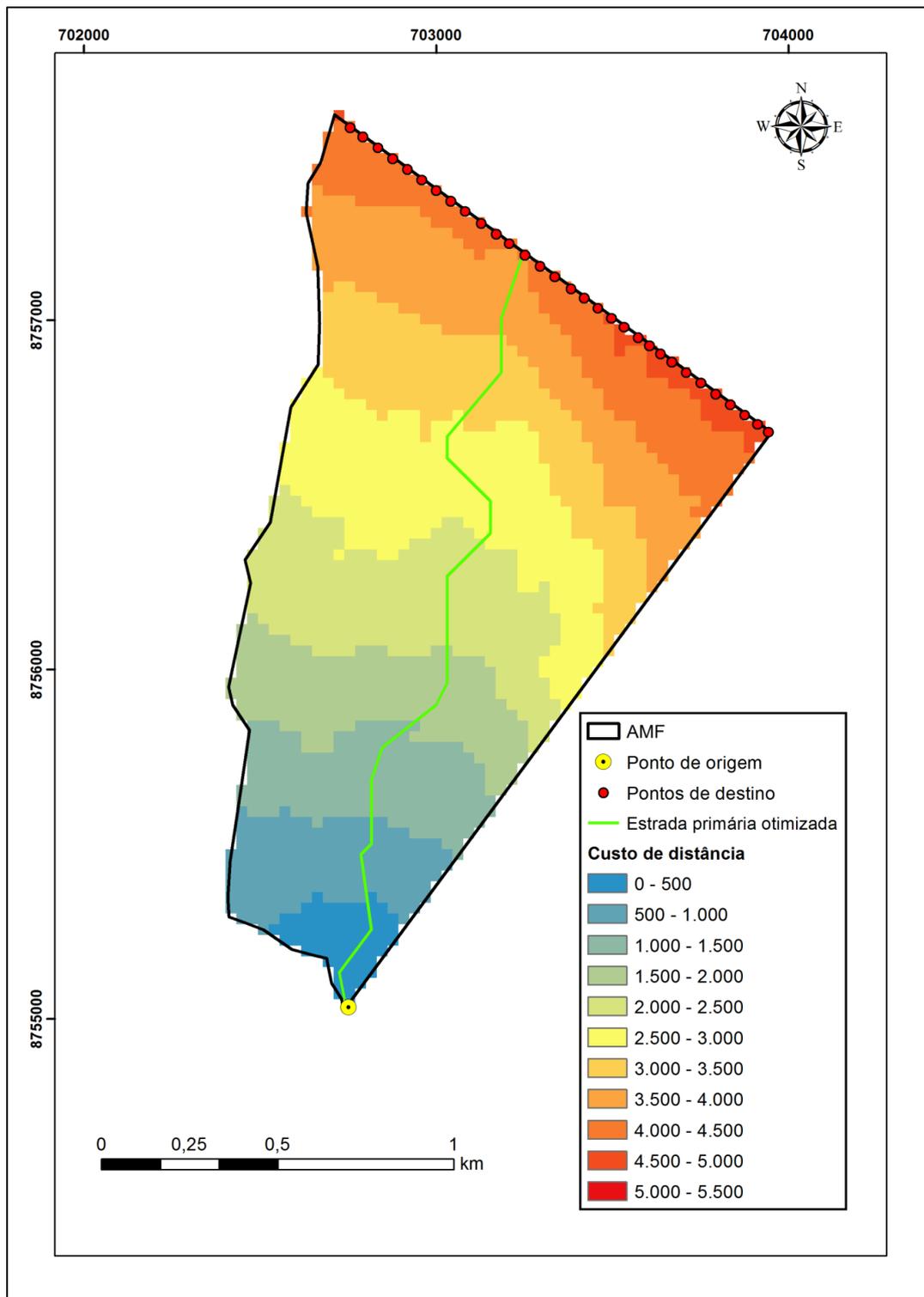


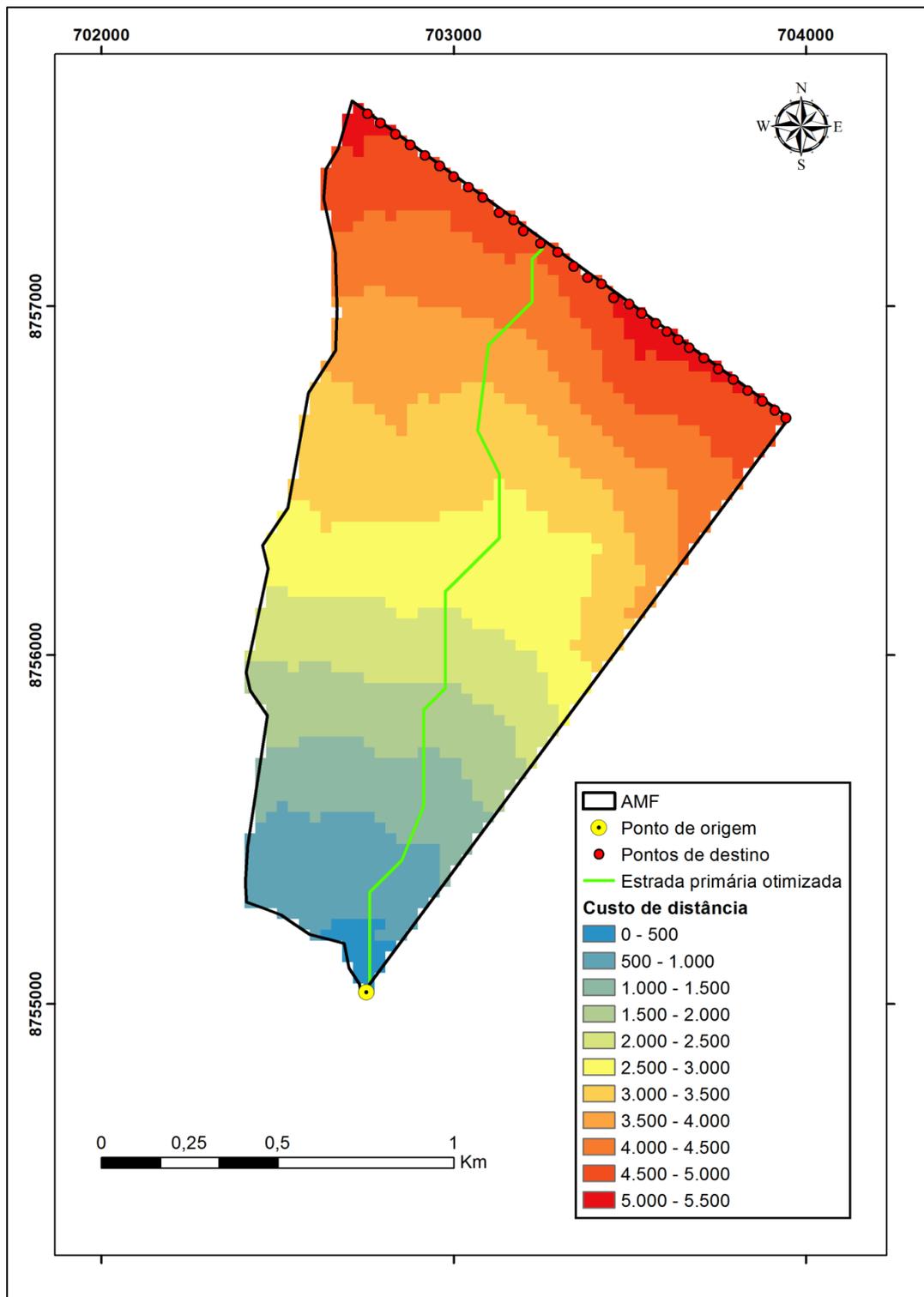




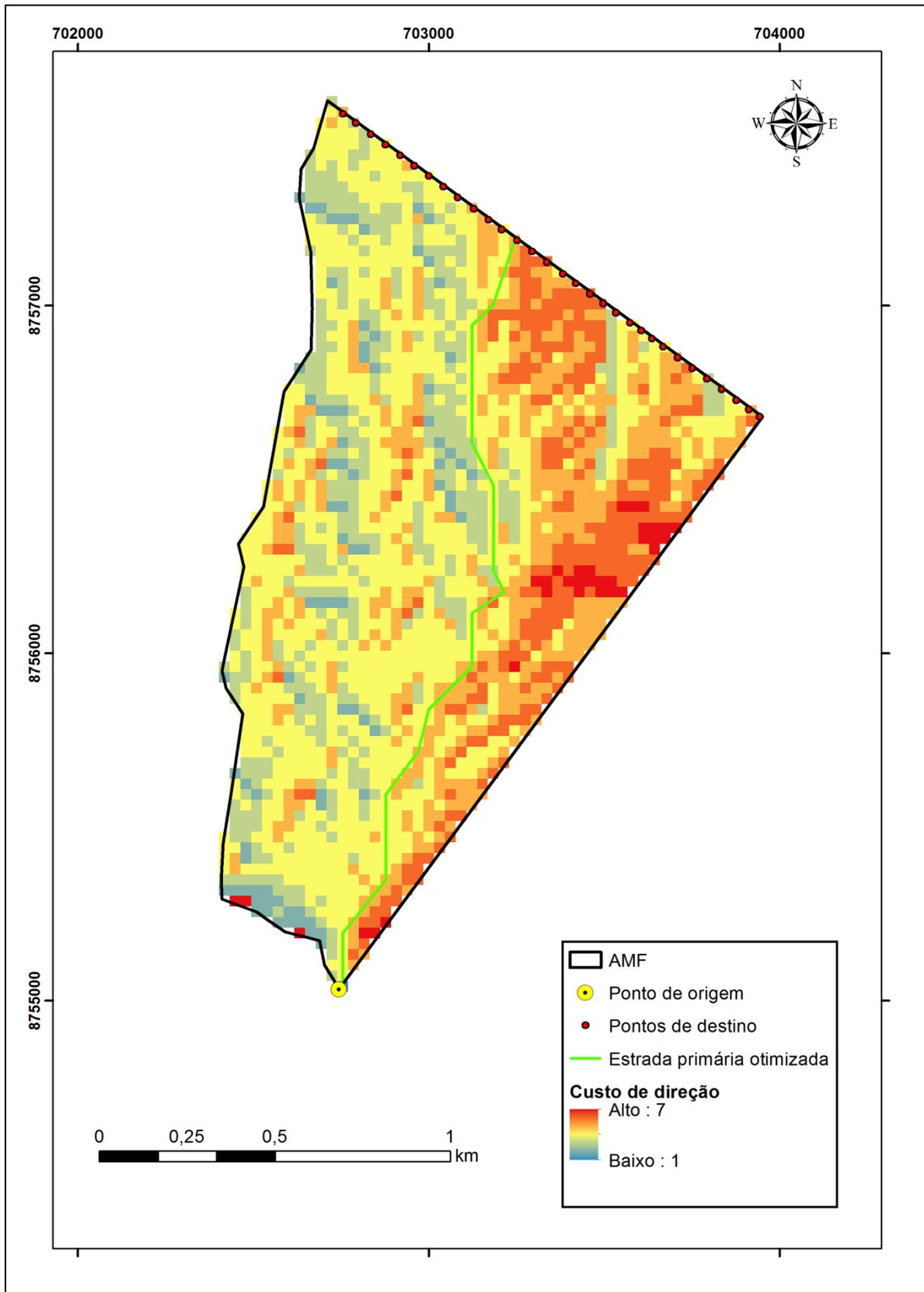
Apêndice J: Resultados das análises de caminho de menor custo sobre os resultados das superfícies de custo de distância das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.

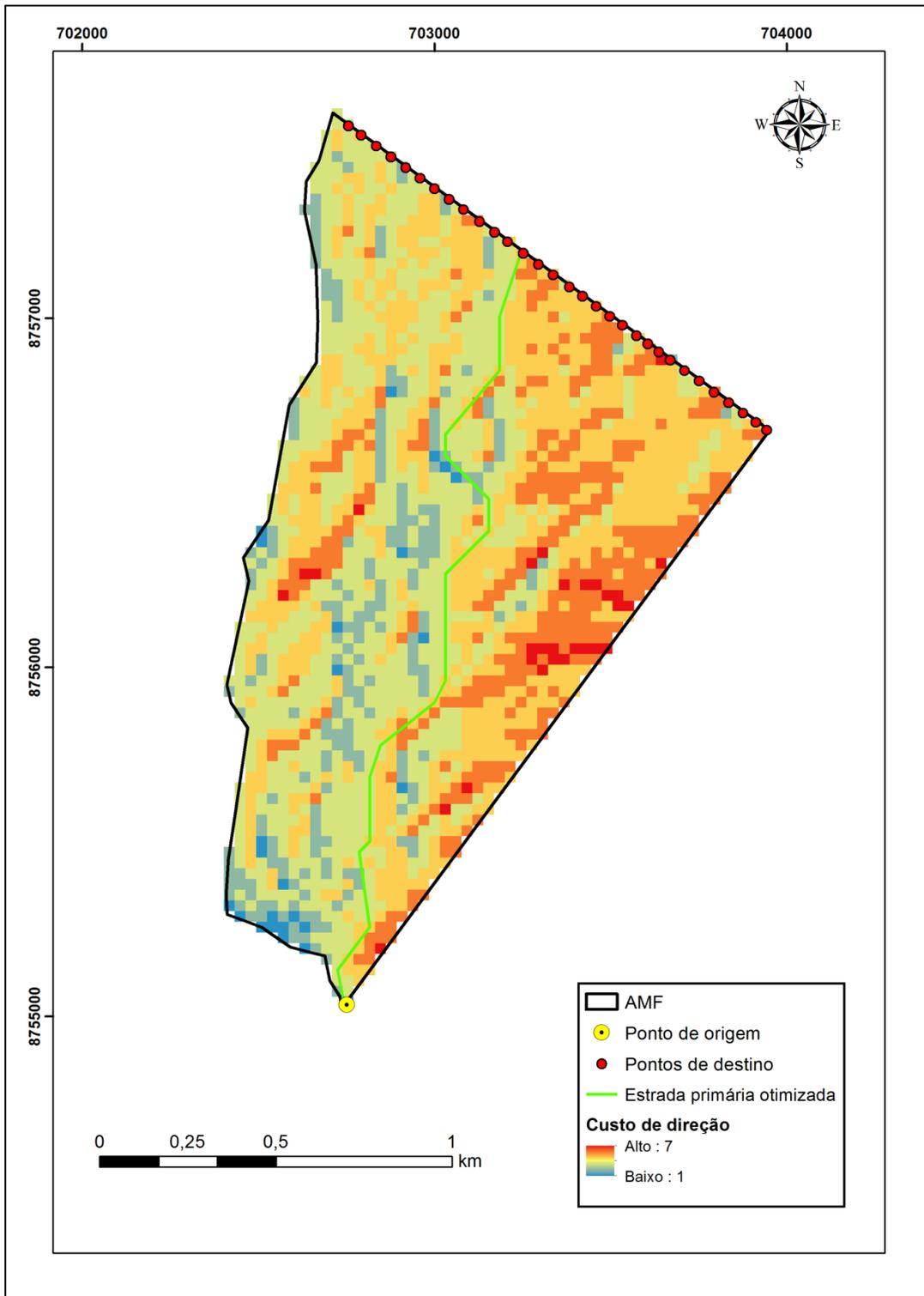


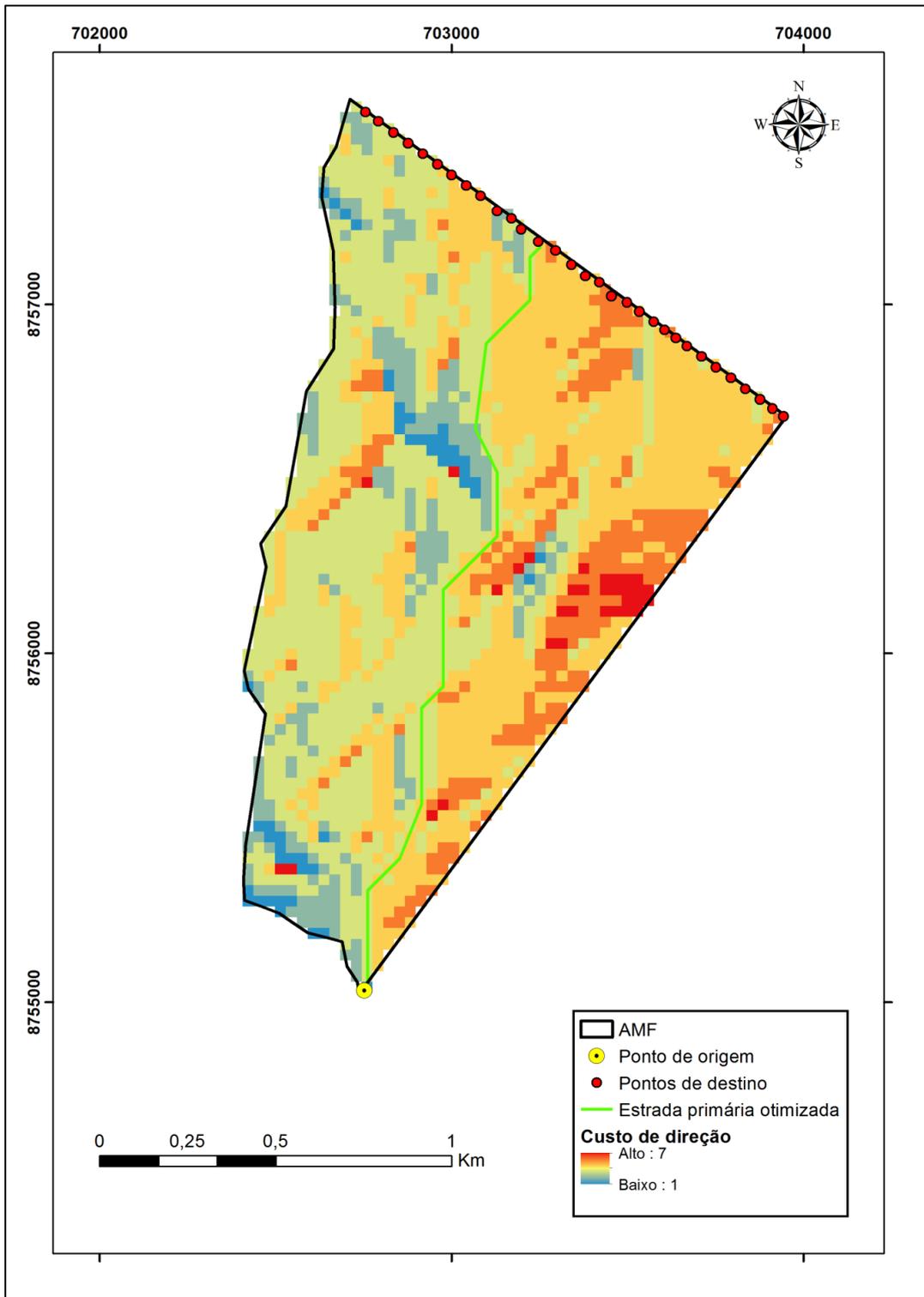




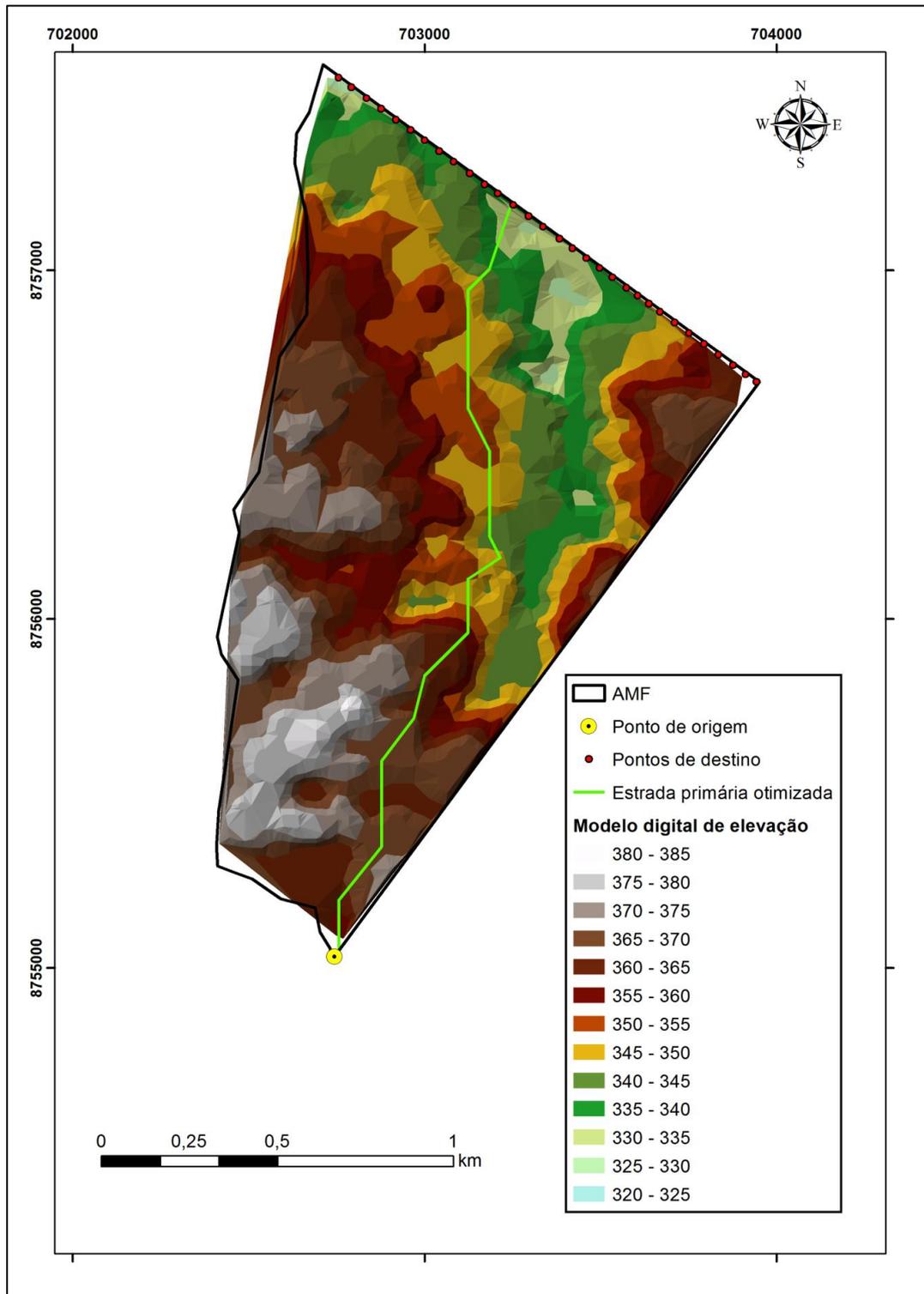
Apêndice K: Resultados das análises de caminho de menor custo sobre os resultados das superfícies de custo de direção das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.

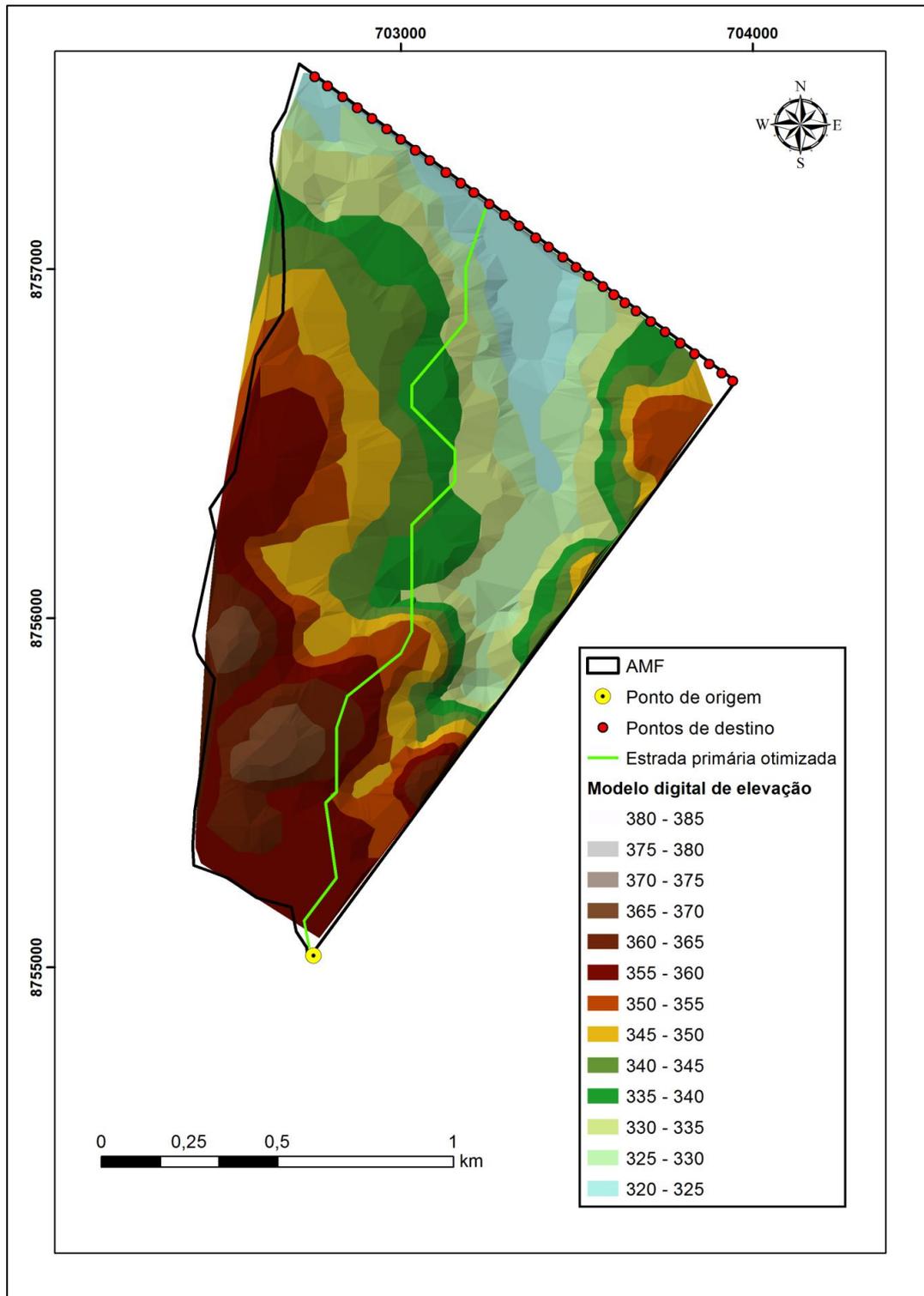


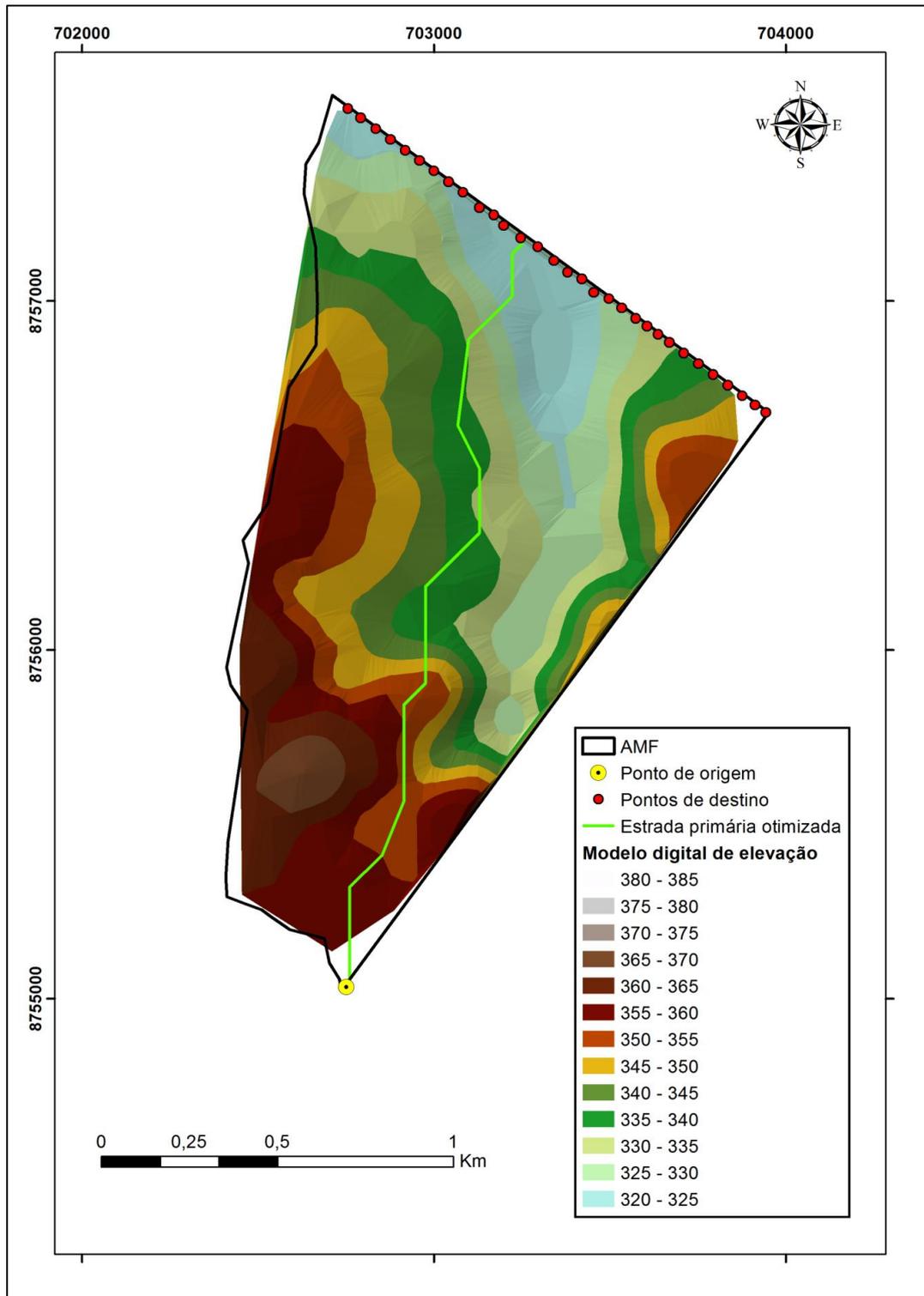




Apêndice L: Resultados das análises do caminho de menor custo sobre o modelo digital de elevação das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente.







Apêndice M: Resultados das análises de caminhos de menor custo das imagens Aster, SRTM e Topodata respectivamente, sobre o resultado da análise geográfica para o fator de custo de ocupação do solo.

