

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E  
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA - CITA**

**ALISSON MELLO MUNARETTI**

**OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE TRILHAS EM ÁREAS DE MANEJO PARA  
PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS (PFNM<sub>s</sub>)**

**RIO BRANCO – AC**

**2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E**  
**TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA - CITA**

ALISSON MELLO MUNARETTI

**OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE TRILHAS EM ÁREAS DE MANEJO PARA**  
**PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS (PFNMs)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia.

Orientadora: Dra. Lúcia Helena de Oliveira Wadt

RIO BRANCO – AC

2016

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar todas as condições para alcançar meus objetivos e a realização desta dissertação.

Aos meus pais, queridos, especiais e essenciais na minha vida, sempre me encorajando, apoiando e confortando nas horas que mais preciso.

À toda minha família que de alguma maneira incentivaram esta nova etapa da minha vida, em especial meus queridos irmãos Anderson e Alessandra.

À Gabriela, minha companheira de todas as horas, por estar sempre ao meu lado nos dias de alegria e dificuldades, sempre com sua positividade e com todo o seu amor e carinho.

À pesquisadora Dra. Lúcia Wadt pela orientação deste trabalho, dedicação, conselhos, simplicidade e na confiança depositada em mim através de oportunidades, sendo exemplo para minha vida profissional e a quem tenho admiração.

Ao Prof. Dr. Carlos Antônio da Universidade Federal de Viçosa pela coorientação na pesquisa, orientando sobre os pontos principais que norteavam o trabalho, instigando o conhecimento e o desenvolvimento da dissertação.

À pesquisadora da Embrapa Dra. Kátia Emidio pelo auxílio prestado no intermédio para o desenvolvimento do trabalho da dissertação.

Ao Daniel Papa, analista da Embrapa Acre, por valiosas contribuições e auxílio no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

À Fernanda Fonseca, analista da Embrapa Acre, pelo grande auxílio na logística de diversas viagens para a Resex Chico Mendes.

À todos os moradores da Resex Chico Mendes pela receptividade e auxílio em todas as horas, em especial o Sr. Peixoto e Sr. Silva e seus familiares por aceitarem a proposta do trabalho.

Ao Sr. Silva e sua família por me acolherem em sua residência e compartilhar muitos conhecimentos e conversas.

Ao Deusimar e Roseney, moradores da reserva que tiveram participação fundamental na coleta de dados e pela descontração em campo.

À CAPES pela bolsa concedida.

À Embrapa Acre pelo suporte em materiais, local de estudo, viagens, em especial aos auxiliares de campo.

Por fim, a todos aqueles, mesmo que não citados, que de alguma forma ajudaram e colaboraram diretamente ou indiretamente na realização deste trabalho.

## RESUMO

Considerando a importância dos Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNMs) para a região amazônica, este trabalho teve como objetivo desenvolver e testar metodologia, implementada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para modelar e otimizar o traçado de trilhas usadas em áreas de coleta de PFMNs. O trabalho foi realizado na RESEX Chico Mendes, onde foi feito o mapeamento e localização espacial de espécies selecionadas pelo produtor e posteriormente foi gerada uma superfície de custo para a topografia e hidrografia utilizada na análise de rede para geração de rotas virtuais otimizadas. O Modelo Digital de Terreno foi importante ferramenta para a compreensão das características do relevo de cada local de estudo. As rotas mais otimizadas para o aproveitamento das espécies foram aquelas que priorizaram a seringueira e a castanheira, uma vez que foram as de maior tamanho, maior número de árvores mapeadas e maior importância econômica das espécies. As trilhas que os produtores utilizam para a coleta e extração dos produtos florestais foram consideradas otimizadas, sem a necessidade de alteração nas rotas para maior eficiência da atividade. As duas ferramentas combinadas em ambiente SIG mostraram-se eficientes para otimização do traçado, evidenciando o potencial do uso de geotecnologias para definição de trilhas para coleta de PFMNs em áreas em que estes acessos não estão disponíveis.

**Palavras-chave:** Otimização florestal. Caminho de menor custo. Geotecnologias

## ABSTRACT

Considering Non-Timber Forest Products (NTFPs) importance to Amazon region, this study aimed to develop and test GIS methodology to model and optimize tracks used in NTFP's collect areas. The study was conducted in Chico Mendes Extractive Reserve, where was done specie's mapping and spatial location and after generated a cost surface for topography and hydrograph of each site for network analysis in generating optimized virtual tracks. The Digital Terrain Model was an important tool for understanding the relief. The tracks most optimized were those that gave priority to Rubber and Brazil nut, with the larger size, greater number of mapped trees and most economically important of species. We consider that local tracks used to forest product's collection were optimized without need to change. The two tools combined in a GIS environment proved to be efficient to route optimization, indicating the potential use of geotechnologies for defining tracks to collect NTFPs in areas where such access is not available.

**Key-words:** Forest optimization. Least cost path. Geotechnologies

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa temático dos locais de estudo. Destaque para a localização do estado do Acre (A); Destaque para a localização da Reserva Extrativista Chico Mendes (B); Destaque para a área da RESEX Chico Mendes e municípios compreendidos (C)..... 35
- Figura 2 – Localização e área total das áreas de estudo. Destaque para a localização na RESEX Chico Mendes (A); Destaque para a colocação Encontro I e respectiva área (B); Destaque para colocação Boa Água (C) Destaque para o local de estudo na colocação Boa Água..... 36
- Figura 3 – Mapa temático com linhas-base paralelas entre si para os locais de estudo. Orientação das rotas na colocação Encontro I (A); Orientação das rotas no local de estudo na colocação Boa Água (B); Detalhe da distância fixa entre linhas (C)..... 39
- Figura 4 – Fluxograma demonstrando o processo de recorte da imagem SRTM de acordo com os limites dos locais de estudos através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS..... 44
- Figura 5 – Fluxograma demonstrando o processo da criação da imagem Raster da superfície de custo para os locais de estudo através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS..... 45
- Figura 6 – Fluxograma demonstrando o processo de conversão da imagem Raster da superfície de custo para Shapefile dos locais de estudos através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS..... 46
- Figura 7 – Ambiente de análise para rota otimizada através da camada (*Layers*) de rota para inclusão de paradas, restrições, custos e geração da rota..... 46
- Figura 8 – Fluxograma demonstrando o processo da criação da camada de rota e inserção dos pontos de interesse na opção “*Model Builder*” do ArcGIS..... 47
- Figura 9 – Fluxograma demonstrando todo o processo para a criação das rotas otimizadas para os diferentes cenários na opção “*Model Builder*” do ArcGIS..... 47
- Figura 10 – Mapa de localização das árvores mapeadas por espécie nos locais de estudo..... 51
- Figura 11 – Representação dos locais de estudo com o mapeamento das trilhas e algumas outras atividades e usos do solo..... 53
- Figura 12 – Modelo Digital de Terreno (MDT) para os dois locais de estudos e visualização 3D com suas respectivas classes de altitude..... 54

Figura 13 – Ilustração com a visualização gráfica da imagem Raster SRTM para os dois locais de estudo com seus respectivos valores de elevações máximas e mínimas.....	56
Figura 14 – Superfície de custo representada pela declividade dos locais de estudo. Superfície de custo baseada somente na declividade para o local de estudo da colocação Boa Água (A); Superfície de custo baseada somente na declividade para a colocação Encontro I (B).....	57
Figura 15 – Superfície de custo do local de estudo da colocação Boa Água com região em detalhe (A); Detalhe da imagem Raster da superfície de custo para declividade em vermelho (B); Detalhe do MDT para a declividade em curvas de nível (C).....	58
Figura 16 – Conversão e inclusão da rede hidrográfica somada à superfície de custo para os locais de estudo com os pesos/classes.....	59
Figura 17 – Superfície de custo e conversão para uma grade em um conjunto de análise de rede para o local de estudo da colocação Boa Água (A); Superfície de custo e conversão para uma grade em um conjunto de análise de rede para a colocação Encontro I (B).....	60
Figura 18 – Exemplo do conjunto de rede para a análise da melhor rota da colocação Encontro I, com detalhe para os custos ou pesos associados a passagem em cada segmento de linha.....	60
Figura 19 – Rotas virtuais construídas para o local de estudo na colocação Boa água. Rotas virtuais para o cenário 1 (A); Rotas virtuais para o cenário 2 (B); Rotas virtuais para o cenário 4 (C); Rotas virtuais para o cenário 5 (D); Rotas virtuais para o cenário 6 (E); Rotas virtuais para o cenário 7 (F).....	61
Figura 20 – Rotas virtuais construídas para o local de estudo na colocação Encontro I. Rotas virtuais para o cenário 1 (A); Rotas virtuais para o cenário 2 (B); Rotas virtuais para o cenário 3 (C); Rotas virtuais para o cenário 6 (D); Rotas virtuais para o cenário 7 (E).....	63
Figura 21 – Equivalência entre as trilhas reais e as virtuais dispostas no local de estudo. Buffer de 30 metros das trilhas virtuais construídas na colocação Encontro I (A); Linhas das trilhas reais mapeadas na colocação Encontro I (B); Intersecção entre as trilhas virtuais e reais na colocação Encontro I (C).....	65
Figura 22 – Número de árvores e os comprimentos das trilhas virtuais para os diferentes cenários no local de estudo da colocação Encontro I (A); Número de árvores e os comprimentos das trilhas virtuais para os diferentes cenários no local de estudo da colocação Boa Água (B).....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Produtos Florestais Não Madeireiros de acordo com os defensores representados por pesquisadores e instituições.....	19
Tabela 2 – Diferentes cenários com suas respectivas características com relação ao grupo de espécies.....	41
Tabela 3 – Atributos considerados para custos na definição do traçado ótimo com suas classes e peso/custo atribuídos respectivamente.....	44
Tabela 4 – Fatores considerados para a avaliação do melhor traçado ótimo dos diferentes cenários com respectivos parâmetros.....	48
Tabela 5 – Quantidade de árvores mapeadas e inventariadas (n) por espécie dentro de cada local de estudo com suas respectivas densidades (árv.ha <sup>-1</sup> ).....	49
Tabela 6 – Quantidades de árvores mapeadas e inventariadas das diferentes espécies nos cenários (Cx) para os locais de estudo.....	50
Tabela 7 – Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para as altitudes dos dois locais de estudo.....	55
Tabela 8 – Informações registradas de cada cenário com a solução da rota virtual construída no local de estudo da colocação Boa Água.....	62
Tabela 9 – Informações registradas de cada cenário com a solução da rota virtual construída no local de estudo da colocação Encontro I.....	64

## LISTA DE SIGLAS

CAR	- Cadastro Ambiental Rural
DAP	- Diâmetro à Altura do Peito
ESRI	- Environmental Systems Research Institute
FAO	- Food and Agriculture Organization of the United Nations
GLONAS	- GLOBAL'naya NAVigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GPS	- Global Positioning System
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IUCN	- International Union for Conservation of Nature
LiDAR	- Light Detection and Ranging
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MDT	- Modelo Digital de Terreno
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MNT	- Modelo Numérico de Terreno
Modeflora	- Modelo Digital de Exploração Florestal
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NAVSTAR	- Navigation System for Timing and Ranging
ONU	- Organizações das Nações Unidas
PCV	- Problema do Caixeiro Viajante
PFNM	- Produto Florestal Não Madeireiro
PQFNM	- Produto Químico Florestal Não Madeireiro
RESEX	- Reserva Extrativista
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro
SIG	- Sistemas de Informação Geográfica
SR	- Sensoriamento Remoto
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
TIN	- Triangular irregular network
TSP	- Traveling-salesman problem
USGS	- United States Geological Survey
UTM	- Universal Transverse Mercator
VANT	- Veículos Aéreos Não Tripulados
WGS84	- World Geodetic System 1984

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS (PFNMs) .....	14
2.1.1 Conceito de PFMNs .....	15
2.1.2 Classificação, exploração e usos de PFMNs .....	18
2.2 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À CIÊNCIA FLORESTAL.....	23
2.2.1 Custo e otimização de caminhamento .....	28
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	33
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	34
4.1 OBJETIVO GERAL.....	34
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	34
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
5.1 LOCAL DE ESTUDO.....	35
5.2 COLETA DE DADOS .....	37
5.2.1 Mapeamento das espécies para simulação de diferentes cenários para modelos de traçados.....	37
5.2.2 Mapeamento das trilhas, do uso/cobertura do solo e da topografia.....	40
5.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	40
5.3.1 Simulação com as espécies mapeadas em diferentes cenários para modelos de traçados.....	40
5.3.2 Trilhas, uso/cobertura do solo, topografia .....	42
5.3.3 Otimização do traçado .....	43
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	49
6.1 MAPEAMENTO DAS ESPÉCIES PARA SIMULAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS PARA MODELOS DE TRAÇADOS .....	49
6.2 TRILHAS, USO/COBERTURA DO SOLO E TOPOGRAFIA.....	52
6.3 OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO.....	56
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	70
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a importância das florestas tropicais tem ganhado maiores proporções, devido principalmente à crescente taxa de desmatamento e alteração dos ecossistemas naturais, sendo que tal importância parte tanto de países com ocorrência destas florestas em seus territórios, como também de outros países. Esse crescente interesse é motivado também pela preocupação com relação ao futuro das florestas e as consequências para o ser humano.

Através de conferências mundiais, como por exemplo, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO 92) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (RIO+20) (ONU, 2015), esse assunto ganhou pauta para diálogo entre governantes de várias nações. No contexto mais atual, através da Conferência de Paris ou a COP21 (21ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas), chegou-se a um documento de cooperação entre países para a definição de como ocorrerá o combate ao aquecimento global nas próximas décadas (ONU, 2015). Contudo, busca-se fazer diagnósticos da situação mundial das florestas e planejar a adoção de medidas futuras visando o desenvolvimento sustentável e a conservação da biodiversidade.

Apesar de mais de duas décadas de negociações e ações para a conservação da biodiversidade, ainda é um desafio conciliar o desenvolvimento socioeconômico com o uso sustentável e racional dos recursos naturais, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. A partir do desenvolvimento contínuo de estudos e ações sobre estes aspectos acredita-se que a qualidade de vida das comunidades pode gradativamente melhorar em harmonia com o uso dos recursos florestais.

As florestas tropicais representam o maior abrigo de diversidade biológica do mundo, contemplando um conjunto de florestas com destaque para a principal e maior representante, a floresta Amazônica. O Brasil detém a maior parte da ocorrência deste bioma em seus limites de território. Em virtude da extensão da floresta Amazônica, esta ocorre também no Peru, Colômbia, Bolívia, Equador, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa e Suriname (INPE, 2015). No Brasil o bioma amazônico distribui-se integralmente pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, quase totalidade de Rondônia, mais da metade de Mato Grosso e parte dos territórios do Maranhão e Tocantins, ocupando ao todo praticamente metade do território nacional (IBGE, 2015; MMA, 2015).

Com imensa reserva em biodiversidade é notável a importância da floresta amazônica quando se pensa em riquezas naturais e o papel socioambiental que desempenha. Mas apesar deste conhecimento sua conservação não acontece efetivamente, com medidas que ainda não atingem a eliminação, ou ainda, o alcance a níveis mínimos aceitáveis nas taxas de desmatamentos.

Considerando que este ecossistema apresenta uma gama de produtos com muitas possibilidades de uso, variando nas diversas formas de exploração e comercialização, o manejo florestal insere-se como alternativa para o uso sustentável e a conservação dos recursos naturais. O manejo representa a forma de gerenciar e administrar a floresta a fim de se obter produtos e serviços, garantindo a perpetuação dos recursos naturais para as futuras gerações, apontando uma direção para o desenvolvimento com o meio ambiente valorizado. Neste mesmo contexto cita-se, com destaque, o manejo de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNMs).

No passado, na exploração de florestas tropicais de modo geral, considerava-se somente a madeira comercial, sendo que os demais produtos eram ignorados ou até mesmo subestimados quanto a sua valoração (MYERS, 1988). Nas últimas décadas esse interesse tem se modificado e multiplicado, destacando a exploração de produtos não madeireiros como uma alternativa para obtenção de recurso econômico (AHENKAN; BOON, 2011; BAURI et al., 2015; FIDLER et al., 2008). Ainda, nota-se o aumento significativo da demanda pelos produtos florestais não madeireiros ao redor do mundo, principalmente ao considerar o ambiente amazônico (ALVES et al., 2012; BAURI et al., 2015; FACHINELLO, 2010). Desta maneira, é prudente levar em consideração os recursos florestais não madeireiros em um plano de manejo de uso múltiplo, pois o que se observa é a valorização de alguns produtos, como por exemplo, a castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).

Já é reconhecido que os PFNMs podem gerar renda e promover a manutenção dos serviços ecológicos da floresta. A ideia de utilização deste tipo de produto vem aumentando, principalmente pela possibilidade de ampliação tanto da renda familiar quanto dos produtos a serem utilizados por comunidades tradicionais, além do maior número de pessoas envolvidas nesta atividade (FIEDLER et al., 2008). Brito (2003) indica que a geração de empregos em florestas onde se obtêm estes produtos é da ordem de 5 a 15 vezes maior que na exploração madeireira. Desta forma, o manejo não madeireiro representa uma complementação e não a substituição dos atuais modelos de produção praticados por comunidades tradicionais.

Apesar da constante busca por técnicas de manejo sustentáveis e o conhecimento ecológico já adquirido para algumas espécies, ainda não se tem informações, métodos e tecnologias de manejo que considerem o aproveitamento de uma cesta de produtos ao mesmo tempo, além da maioria dos estudos focarem poucas espécies, como Castanha, Andiroba, Borracha, Copaíba e Açaí. Assim, o tão desejado manejo florestal de uso múltiplo ainda não é uma realidade, sendo necessário a busca por informações de modo a viabilizar e contribuir para a estruturação e o desenvolvimento deste segmento florestal.

Um dos obstáculos a ser vencido é o conhecimento de aspectos de mercado destes produtos, entre outros produtos potenciais, como também conciliar o conhecimento científico e tecnológico ao conhecimento das próprias populações tradicionais (IMBIRIBA, 2002). De forma semelhante, e de igual importância, o desafio também passa por promover o desenvolvimento tecnológico nestas áreas visando à consolidação de técnicas de manejo sustentável, aplicado desde as etapas iniciais do aproveitamento de um PFNM até a coleta e beneficiamento. Assim, essa fonte de recurso natural baseado em produtos florestais não madeireiros, pode tornar-se um modelo eficiente na conservação do ecossistema, desempenhando o papel no qual tanto se vislumbra por diferentes pesquisadores e instituições.

Com o atual nível tecnológico vivenciado pela ciência, o desenvolvimento de tecnologias para o manejo dos PFNMs mostra-se como um dos caminhos para alcançar o uso sustentável dos recursos florestais, gerando produtos e tecnologias que sirvam de base para a solidificação da atividade, ideia defendida por diversos autores (BALZON et al., 2004; CARVALHO, 2010; PAULA, 2009; PEDROZO et al., 2011).

Um dos pontos iniciais para o manejo de qualquer produto não madeireiro é o mapeamento, inventário e localização das árvores de interesse. Isso proporciona a quantificação do potencial produtivo, identificando a viabilidade da comercialização de tal produto, além de acesso a fontes de financiamentos agrícolas, e etapa de aprovação do plano de manejo junto aos órgãos competentes.

Após a localização dos indivíduos, a etapa de planejamento para o acesso e coleta a estes exemplares é de igual importância para a estruturação do manejo. Para ambas as etapas é importante o uso de tecnologias, proporcionando maior eficiência e precisão nos dados coletados e, principalmente, de otimização do tempo e do esforço laboral para a coleta e extração. Assim, a geotecnologia apresenta um conjunto de tecnologias que auxilia no tratamento desse tipo de informação espacial.

A geotecnologia insere-se no contexto florestal como uma ferramenta para planejamento, coleta de dados, caracterização, visualização, análise e interpretação do ambiente. Pode ser integrada aos inventários e mapeamentos e, ainda, utilizados algoritmos que definem o menor caminho pensando no melhor rendimento e aproveitamento da floresta.

A otimização do traçado de trilhas é uma metodologia que pode ser aplicada na identificação do traçado ótimo, combinando ampla variedade de fatores que determinam o grau de dificuldade de se percorrer determinada região e a maior eficiência de acesso aos indivíduos de interesse, culminando com a identificação do trajeto ótimo. Com os estudos de variáveis regionalizadas, tais como as topográficas e modelos digitais de terreno, a contribuição para ampla caracterização e modelagem facilita a tomada de decisões sobre o manejo. Contudo, a otimização do acesso em áreas de manejo é vital não só para redução de esforço na coleta, mas também nos impactos ambientais decorrentes do estabelecimento, uso e manutenção de trilhas de acesso desnecessárias.

De uma forma geral, percebe-se atualmente o aumento do interesse por produtos de origem florestal, o que impulsiona as comunidades e produtores agroextrativistas a explorarem novas áreas. Desta maneira, a tecnologia que este trabalho pretende desenvolver pode ser útil para o uso sustentável de ecossistemas florestais com base no manejo de PFNMs, manejo de produtos madeireiros e/ou manejo de uso múltiplo. Propõe-se a aplicação, principalmente, em locais onde os produtores não conhecem tão bem suas áreas, como por exemplo, algumas Terras Indígenas e outras formas de Unidades de Conservação. Baseia-se, portanto, com o estudo da realidade de moradores da RESEX Chico Mendes onde há uma relação direta do produtor com a área da colocação, servindo de validação do traçado gerado pela tecnologia com o conhecimento tácito do morador.

O objetivo principal deste trabalho é adequar uma metodologia, em interface gráfica, visando modelar e otimizar o traçado de trilhas de acesso em áreas de floresta natural, com vistas ao melhor aproveitamento da área, além do menor tempo e esforço laboral. Busca-se dar subsídios para uso de potenciais produtos não madeireiros, contribuindo para o desenvolvimento da cadeia produtiva de produtos consolidados, com o emprego da geotecnologia para etapas iniciais, como quantificação do potencial produtivo, e planejamento das etapas de coleta, como melhor caminho a ser percorrido para acesso a determinado produto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS (PFNMs)

Na região amazônica, os recursos florestais têm estado presentes entre muitas discussões, destacando na atualidade a alta valoração de produtos advindos deste ambiente, seja pela exploração ou pelos benefícios e serviços ambientais gerados. Gradualmente, em um contexto macroeconômico, este valor vem se modificando de puramente madeireiro, ficando evidente que a floresta proporciona uma gama enorme de outros produtos e benefícios (SANTOS et al., 2003). No entanto, a valoração da diversidade oriunda das florestas limita-se em maiores perspectivas para os produtos madeireiros (BITTENCOURT, 2006).

Quando se considera os produtos além da madeira, a floresta amazônica, assim como as florestas tropicais, apresentam diversas opções e alternativas de uso para o homem, que variam desde frutos a óleos, de cascas a folhas, demonstrando a imensa riqueza em biodiversidade (PAULA, 2009). Em uma pesquisa desenvolvida na floresta tropical da Malásia, o número de espécies com potencial para oferecer algum bem de consumo chegou a cerca de 15.000 (MYERS, 1988). Relacionando com a Amazônia, intitulada a floresta com maior biodiversidade do mundo, este número de espécies pode ser muito maior, principalmente quando incluído a fauna. Contudo, o crescimento de estratégias relacionadas a identificação e usos destes produtos como forma de se minimizar impactos, considerando a Amazônia em particular, experimenta diversos modelos produtivos. E ainda, para atingir tal *status* é necessário que haja uma política eficaz de valorização dos produtos que tem como base a floresta (CARVALHO, 2010) definindo, assim, aspectos mercadológicos. Assim, surge neste cenário a exploração e uso de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNMs).

Os PFMNs são considerados importantes fontes alternativas de renda com potencial de incentivo econômico, capaz de minimizar e eliminar a devastação das florestas (FIEDLER et al., 2008). Desempenha, também, papel fundamental para a subsistência de populações tradicionais que possuem ligação direta com a floresta (MACHADO, 2008), com real importância no fornecimento de alimento e saúde (PAULA, 2009). Assim, assume função no fornecimento de insumos, promovendo emprego e renda para comunidades (FAO, 1996).

Desde as pesquisas pioneiras até as mais recentes, os produtos florestais não madeireiros ainda são tidos com descrédito no sentido de fornecer fontes alternativas de

comercialização para comunidades rurais, principalmente considerando as condições e barreiras de mercado impostas a esses produtos, passando até por denominação de produtos menores da floresta, dado o seu pequeno valor em magnitude comparado à madeira (MAYERS, 1988; SANTOS et al., 2003; BENTES-GAMA, 2005). Arelado a esta questão, problemas que partem desde a origem conceitual destes produtos são encontrados em diversos níveis. Desta maneira, a definição de conceitos envolvendo os produtos ainda é controversa. Em adição, questões básicas relacionadas a base conceitual e definições ao redor do tema permanecem ainda sem solução (AHENKAN; BOON, 2011).

Entretanto, um estudo comparativo com os valores envolvidos na exploração madeireira contra a não madeireira, desenvolvido por Peters et al. (1989), concluiu que as receitas líquidas relacionadas na produção em floresta tropical úmida na Amazônia são diferentes. Os rendimentos, subtraindo valores de custos, envolvidos na exploração dos PFNMs, mais especificamente o látex e frutos, mostraram-se superiores quando comparados a valores da exploração madeireira para a época, além da extração não madeireira provocar danos consideravelmente menores na floresta. Apesar de ser um trabalho relativamente antigo, denota-se a noção clara da importância do uso desse tipo de produtos, principalmente por atualmente a cadeia produtiva de alguns destes estarem em fases mais avançadas, e conseqüentemente atingindo valores maiores.

Considerando todos os princípios, os recursos florestais não madeireiros apresentam características que podem atender essa demanda atual de desenvolvimento econômico integrado à conservação ambiental. Contudo, maiores estudos devem ser direcionados para comprovar a viabilidade econômica, identificando, assim, se realmente é viável explorar e comercializar estes recursos de maneira otimizada, elucidando diversas questões que envolvem as etapas de produção, assim como a particularidade de cada produto em específico.

### 2.1.1 Conceito de PFNMs

Frequentemente são utilizados no Brasil os termos “Produtos Florestais Não Madeireiros” (ALVES et al., 2012; MACHADO, 2008), e com menor expressão “Produtos Florestais Não Madeiráveis” (CALDERON, 2013), “Produtos Extrativos” (IBGE, 2013) e “Produtos da sociobiodiversidade” (BRASIL, 2009). Já na língua inglesa são diversas as formas encontradas, como “*Nontimber Forest Products*” (BELCHER et al., 2005; PILZ et al., 1998), “*Nontimber Tropical-Forest Products*” (GODOY; LUBOWSK, 1992), “*Non-*

*Timber Tropical Forest Products*” (HALL; BAWA, 1993), “*Non-Timber Forest Resources*” (GUNATILLEKE et al., 1993; NEWTON et al., 2012a) e “*Non-Wood Products*” (MYERS, 1988). Entretanto, o termo mais frequentemente encontrado é “*Non-Timber Forest Products*” (DAWSON et al., 2014; NEWTON et al., 2012b; WICKENS, 1991). Estes são apenas alguns sinônimos, haja vista que outros podem pertencer a lista, como evidenciado por Belcher (2003), em que destacou 16 terminologias diferentes associadas ao tema.

Assim como para a denominação para estes produtos, o conceito que define os produtos florestais não madeireiros também apresenta muitas distinções. Existem variações entre ideologias mais restritas, que consideram apenas algum conjunto de produtos e ambiente específico, e outras mais abrangentes em ambos os sentidos. De acordo com Alves (2010), o conceito de produto florestal não madeireiro pode ser entendido de muitas maneiras, com conceitos variados e extremamente amplos. O mesmo autor considera que isso se deve à gama de produtos e suas particularidades e características, não havendo um consenso por parte de pesquisadores e instituições quanto à definição de um conceito genérico.

O primeiro ponto em que os conceitos se divergem, antes mesmo da definição de quais produtos podem ser incluídos, diz respeito ao ambiente em que os produtos não madeireiros podem ser coletados. Existe um conjunto de pesquisadores e instituições que admitem a coleta mais restritamente a florestas, ou seja, estes produtos são coletados exclusivamente das florestas naturais excluindo outros tipos de ambientes manejados (LEITE, 2004; MACHADO, 2008; SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL, 2001). Entretanto, há aqueles que, além das florestas naturais, consideram florestas plantadas e sistemas agroflorestais como sendo de origem para estes produtos, ou seja, ecossistemas naturais ou plantios manejados com espécies em graus variados de domesticação (PEDROZO et al., 2011; SANTOS et al., 2003; SHANLEY, 2005; WICKENS, 1991). Também há a linha de definições em que o ambiente é desconsiderado, contextualizando como conceito apenas os produtos não madeireiros independentemente de onde for extraído (CARVALHAES et al., 2007; FAO, 1994; GANESAN, 1993; IBGE, 2013; LÓPEZ, 2008).

O segundo ponto é representado por pesquisadores e instituições que divergem na inclusão ou não da madeira para uso, com exclusão unânime para ambos da madeira destinada a serraria. Para alguns, os PFMNs são todos os produtos fornecidos exclusivamente por espécies vegetais pertencentes ao ecossistema florestal que não englobam a madeira, seja para qualquer fim (CARVALHAES et al., 2007; FAO, 1994;

LEITE, 2004; MACHADO, 2008; MOK<sup>1</sup>, 1991 citado por FACHINELLO, 2010; SANTOS et al., 2003; WICKENS, 1991). No entanto, pode-se assumir a inclusão da madeira como PFNM, com restrições ao seu uso e observado os fins destinados (por exemplo, para artesanato e lenha) (PEDROZO et al., 2011; SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2001; SHANLEY, 2005).

O próximo e terceiro ponto da falta de consenso na formulação de um conceito para PFNM está nos produtos secundários que os ecossistemas florestais podem oferecer, como por exemplo, os serviços ambientais. Alguns pesquisadores e instituições consideram os serviços ambientais (sequestro de carbono, manutenção dos recursos hídricos, proteção do solo, etc.) como parte integrante desta gama de produtos florestais não madeireiros (CALDERON, 2013; FIGUEIREDO, 2000). Em contrapartida, há aqueles que fazem a distinção entre os produtos que o ecossistema florestal oferece e os serviços ambientais gerados pelo mesmo (ALVES, 2010; FAO, 1994; MYERS, 1988; PETERS et al., 1989; WICKENS, 1991).

Neste contexto, a definição de PFNMs também tem variações. No âmbito nacional, os produtos florestais não madeireiros são definidos por instituições como Ministério do Meio Ambiente (MMA), Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Definem de modo geral como todo material de origem vegetal, que não a madeira, tais como resina, fibras, folhas, látex, cipó, óleo, gomas, frutas, raízes, sementes, castanhas, plantas ornamentais e medicinais, entre outros. Compreende a coleta de produtos florestais para subsistência ou para comercialização, de origem de florestas naturais, primárias ou secundárias, florestas plantadas ou sistemas agroflorestais. Somam-se ainda serviços sociais e ambientais, como reservas extrativistas, sequestro de carbono, conservação genética e outros benefícios oriundos da manutenção da floresta (MMA, 2015).

Quando se amplia este conceito de produto incluído para uma visão global e com base científica, não há uma diferenciação notável, apenas a inclusão ou exclusão de determinados produtos. Desta forma o conceito geral para produtos florestais não madeireiros são todos os produtos advindos da floresta que não sejam madeira, como: folhas, frutos, flores, sementes, castanhas, palmitos, raízes, bulbos, ramos, cascas, fibras, óleos essenciais, óleos fixos, látex, resinas, gomas, cipós, ervas, bambus, plantas

---

<sup>1</sup> MOK, S. T. Production and promotion of non-wood forest products. In: CONGRÈS FORESTIER MONDIAL, 10., 1991, Paris. *Anais...* Paris: Revue Forestière Française, 1991. p. 103-111.

ornamentais, fungos (CASTRO, 2007; FAO, 1996; LEITE, 2004; LÓPEZ, 2008; MACHADO, 2008; PEDROZO et al., 2011; SHANLEY, 2005). Outros autores incluem corantes (ALVES, 2010; CARVALHAES et al., 2007), ratam (planta de origem asiática que se assemelha ao bambu), taninos, orquídeas (LEITE, 2004; MOK, 1991 citado por FACHINELLO, 2010), produtos e plantas medicinais, (APPASAMY, 1993; BRAZ, 2005; CARVALHAES et al., 2007; CASTRO, 2007; MYERS, 1988; PEDROZO et al., 2011; SHANLEY, 2005), tubérculos (SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL, 2001), bálsamos (PAULA, 2009), sendo considerado até subprodutos gerados a partir de algum recurso florestal, como por exemplo, vários itens de uso diário, tais como, perfumes, loções, antisséptico bucal, produtos de higiene pessoal, cereais, ervas culinárias, entre outros (FAO, 1994).

O que pode ser ressaltado a respeito dos conceitos é a variedade de produtos e subprodutos que são incluídos. A utilização destes produtos vem de longo prazo por parte das comunidades tradicionais e rurais que tiram deles o meio de subsistência, somando-se muitos produtos. Porém, os esforços para a definição de um conceito para estes tipos de produtos oriundos das florestas são recentes, verificado pela existência de trabalhos que relatam sobre o tema a partir da década de 1980.

Vale ressaltar que neste trabalho, de acordo com o contexto do tema, será considerado para a contextualização somente os produtos florestais não madeireiros de origem vegetal, sabendo que pode ser aceito a inclusão da fauna dentro desta categoria de produtos (APPAMASY, 1993; MYERS, 1988).

### 2.1.2 Classificação, exploração e usos de PFNMs

Com todas estas variações, discussões e controvérsias entre pesquisadores, instituições e organizações sobre a concepção de terminologias para produtos florestais não madeireiros, a classificação por sua vez encontra o mesmo obstáculo para definição. Outro agravante destacado é o fato de uma mesma espécie vegetal, seja ela arbórea, arbustiva ou herbácea, ter diferentes destinações e usos para produtos não madeireiros, assim como também madeireiros.

Como exemplo, a andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) é considerada como uma espécie multiuso pela exploração extrativista de suas sementes para a produção de óleo (BOUFLEUER, 2004) e pela sua madeira de excelente qualidade (WADT et al., 2008). O mesmo pode ser dito da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) que apresenta

excelentes condições para o uso da sua madeira (apesar de atualmente ser proibido o corte), cascas, ouriços e, principalmente, as castanhas como alimento.

Com isso, a inclusão de determinado produto em classe específica é uma tarefa dificultosa quando elucidado suas opções para uso. Além disso, diferentes critérios são utilizados por diversos autores e instituições na classificação destes produtos (ALVES, 2010; BELCHER et al., 2005), aplicando adaptações conforme seus interesses e objetivos focados na linha de pesquisa da qual atuam, com ênfase para a realidade da região estudada (AHENKAN; BOON, 2011; BELCHER et al., 2005). Isso proporciona diferentes linhas de pensamentos com a inclusão ou exclusão de determinada classe, como por exemplo, “temperos e condimentos”, citados por Paula (2009).

Em uma elaboração criteriosa de classificação destes produtos, considerando todo o conjunto de florestas tropicais, pode-se identificar muitas categorias, caso relatado por Rutter (1990) citado no documento “*Desarrollo de productos forestales no madereros em America Latina y el Caribe*”, elaborado pela FAO (1996), onde o autor identificou 249 categorias de produtos somente com os usos medicinais e mais de 160 categorias para usos diferentes de medicinais.

Desta forma, existe a correlação do termo “uso” e “classificação” de produtos não madeireiros, pois a definição de um conceito dá condições de construção ao outro. As diferentes categorias com seus respectivos defensores formados por pesquisadores, organizações e instituições estão relacionados na Tabela 1.

TABELA 1 - Classificação dos Produtos Florestais Não Madeireiros de acordo com os defensores representados por pesquisadores e instituições.

CLASSIFICAÇÃO	AUTORES, INSTITUIÇÕES E ORGANIZAÇÕES
Alimentícios e bebidas/alimentícios	Cherkasov <sup>(1)</sup> (1988, citado por SANTOS et al., 2003), Wickens (1991), Mok <sup>(2)</sup> (1991, citado por FACHINELLO, 2010), FAO (1994), Silva (1996), De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003), De La Peña e Illsley (2001), Zamora <sup>(4)</sup> (2001, citado por SOARES et al., 2008), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011), Belcher et al. (2005), Machado (2008), Soares et al. (2008), IBGE (2013)
Aromáticos	Silva (1996), Soares et al. (2008), IBGE (2013)
Artesanais	De La Peña e Illsley (2001), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011)

Continua...

---

 Continuação Tabela 1.
 

---

<b>Bioquímicos</b>	Wickens (1991)
<b>Borracha</b>	Silva (1996), IBGE (2013)
<b>Cera</b>	Silva (1996), IBGE (2013)
<b>Combustível</b>	Myers (1988), Wickens (1991), De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003)
<b>Corantes</b>	Silva (1996), Belcher et al. (2005), Soares et al. (2008), IBGE (2013)
<b>Derivados</b>	FAO (1994)
<b>Energéticos e industriais</b>	Cherkasov <sup>(1)</sup> (1988, citado por SANTOS et al., 2003), Zamora <sup>(4)</sup> (2001, citado por SOARES et al., 2008), Soares et al. (2008)
<b>Ervas medicinais</b>	De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003)
<b>Extrativos</b>	FAO (1994)
<b>Exsudatos</b>	Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011)
<b>Fibras</b>	Wickens (1991), Silva (1996), Belcher et al. (2005), IBGE (2013)
<b>Forragem</b>	Cherkasov <sup>(1)</sup> (1988, citado por SANTOS et al., 2003), Wickens (1991), De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011)
<b>Gomas</b>	Myers (1988), Silva (1996), IBGE (2013)
<b>Instrumentos rituais/religioso</b>	Wickens (1991), De La Peña e Illsley (2001)
<b>Materiais estruturais</b>	Mok <sup>(2)</sup> (1991, citado por FACHINELLO, 2010), De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011), Machado (2008)
<b>Medicinais/medicina tradicional</b>	Cherkasov <sup>(1)</sup> (1988, citado por SANTOS et al., 2003), Mok <sup>(2)</sup> (1991, citado por FACHINELLO, 2010), Wicken (1991), FAO (1994), Zamora <sup>(4)</sup> (2001, citado por Soares et al., 2008), De La Peña e Illsley (2001), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2001), Belcher et al. (2005), Soares et al. (2008), Machado (2008), IBGE (2013)
<b>Oleaginosas</b>	Silva (1996), IBGE (2013)
<b>Perfumes e cosméticos</b>	Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011)
<b>Pinheiros</b>	Silva (1996)
<b>Plantas ornamentais</b>	Mok <sup>(2)</sup> (1991, citado por FACHINELLO, 2010), Silva (1996), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011), Belcher et al. (2005)

---

 Continua...
 

---

---

 Continuação Tabela 1.
 

---

<b>Químicos</b>	De Beer <sup>(3)</sup> (1996, citado por SANTOS et al., 2003), Mok <sup>(2)</sup> (1991, citado por FACHINELLO, 2010), Brito (2003)
<b>Serviços florestais</b>	Cherkasov <sup>(1)</sup> (1988, citado por SANTOS et al., 2003), Myers (1988), Wickens (1991), FAO (1994)
<b>Subproduto da silvicultura</b>	IBGE (2013)
<b>Tanantes/tintas</b>	Silva (1996), Shiva e Verma <sup>(5)</sup> (2002, citado por AHENKAN e BOON, 2011), IBGE (2013)
<b>Temperos e condimentos</b>	Paula (2009)

<sup>(1)</sup> CHERKASOV, A. Classification of non-timber resources in the USSR. *Acta Botanica Fennica*, Finland, n. 136, p. 3-5, 1988.

<sup>(2)</sup> MOK, S. T. Production and promotion of non-wood forest products. In: CONGRÈS FORESTIER MONDIAL, 10., 1991, Paris. *Anais...* Paris: Revue Forestière Française, 1991. p. 103-111.

<sup>(3)</sup> DE BEER, J. H. Subsistence use and market value of non-timber forest products: the example from Southeast Asia. *Netherlands Committee for IUCN*, 1996, Netherlands. p. 9-11.

<sup>(4)</sup> ZAMORA, M. *Análisis de la información sobre productos forestales no madereros em America Latina*. San Tiago: FAO, 2001. p. 88.

<sup>(5)</sup> SHIVA, M. P.; VERMA, S. K. *Approaches to sustainable Forest Management and Biodiversity Conservation: with pivotal role of non-timber forest products*. Dehra Dun: Centre for Minor Forest Products, Valley Offset Printers, 2002.

Embora muitas destas classificações são úteis na organização e compreensão ecológica sobre o assunto, na maior parte das vezes torna-se inadequada para o monitoramento destes produtos em níveis mais detalhados, perdendo informações de implicações e consequências da atividade na conservação e manejo dos recursos não madeireiros para uma região em específico (GONZÁLEZ, 2003). Ainda prejudica a comparação de estudos estatísticos, pois é facilmente encontrado casos de uso do mesmo termo para definições diferentes (CARVALHO, 2010).

Desta maneira, os verdadeiros esforços em pesquisas devem ser direcionados para conhecer quais produtos podem ser explorados por populações tradicionais, contribuindo como um meio de subsistência e com o mínimo de dano possível à floresta (AHENKAN; BOON, 2011). Assim, questões relacionadas a terminologias dos recursos florestais não madeireiros, com intuito para definição e aceitação global, podem ser direcionadas para uso e conservação efetiva destes produtos, sem se preocupar momentaneamente com conceitos e terminologias. Ainda, a real questão que deve ser considerada é a propriedade e controle dos recursos naturais de maneira geral (BELCHER, 2003).

A respeito da exploração destes produtos, é atribuído valor tanto a partir de populações rurais quanto da população urbana (PEDROZO et al., 2011). De acordo com estes autores, destaca-se para as populações rurais e tradicionais por integrar um meio de subsistência e propósitos culturais e sociais, enquanto que no processamento e

comercialização destes torna-se valioso para a população urbana. Ainda, ao quantificar e reconhecer a contribuição significativa para a subsistência de comunidades que dependem da floresta, estes recursos ganham um valor ainda maior (AHENKAM; BOON, 2010). Desta forma, várias pesquisas apontam que a dependência de populações tradicionais para estes produtos pode ser muito forte ao considerar as florestas como fonte de subsistência (KUSTERS et al., 2006; MARSHALL et al., 2006; RUIZ-PÉREZ et al., 2004).

A exploração dos produtos não madeireiros destina-se quase na sua totalidade para alimentação (considerado por Dawson et al. (2014) mais explorado e importante recurso em florestas tropicais), fins comerciais, ou com significado social, cultural ou religioso além de fins medicinais (DE LA PEÑA, 2001; GUERRA, 2008; WICKENS, 1991). A floresta amazônica é a maior fonte de fornecimento de todos esses produtos (PEDROZO et al., 2011), com demanda nos mercados regionais, nacionais e internacionais (PAULA, 2009).

A exploração e comercialização dos produtos florestais não madeireiros é diretamente ligada a comunidades tradicionais, caracterizando o extrativismo, com presença muito forte na Amazônia. De maneira bastante geral, o extrativismo pode ser considerado como a atividade da coleta de recursos naturais para obter produtos, sejam eles minerais, animais ou vegetais (REGO, 1999). Se mantem com base na maioria formados por colonos, índios e seringueiros (BALZON et al., 2004), constituindo assim as comunidades tradicionais ou povos da floresta.

Com base nisto, historicamente foi o que desencadeou o surgimento de Reservas Extrativistas (RESEXs) para possibilitar o conceito de desenvolvimento aliado a conservação ambiental com a concessão de uso regulado e com a presença humana no interior dos seus limites (FACHINELLO, 2010), consolidando a atividade no país. A categoria de RESEXs foi criada a partir de iniciativas no estado do Acre, como um modelo ajustado a atividade seringueira (MENEZES, et al., 2011) e legitimada pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN), como categoria IV, definidas por áreas protegidas por recursos manejados.

Por sua vez, a efetividade da sustentabilidade da exploração de PFNMs também é questionada por algumas organizações e pesquisadores, colocando em pauta se realmente a exploração destes produtos pode contribuir para a redução dos níveis de pobreza das comunidades florestais. Muitos destes destacam que o uso econômico destes produtos pode ser apenas uma ilusão (FIEDLER et al, 2008), embaraçado pelo possível exaurimento do recurso extraído, além das dificuldades inerentes da cadeia produtiva. Neste sentido, Ahenkan e Boon (2011) defendem que está atividade poderá tornar sustentável com

processos de domesticações graduais em sistemas modificados pelo homem, como sistemas agroflorestais, evitando a extinção de um produto de interesse pela exploração desenfreada ou degradação do ambiente.

Em contraste, Homma (1990, 1993, 2000) destaca que os produtos extrativos podem sofrer declínio na sua valoração, pois necessariamente passam por processo de domesticação o que inviabiliza a atividade extrativa. De acordo com o autor, à medida que a demanda destes produtos cresce a tendência é passarem por processo de cultivo ou domesticação ou, ainda, serem substituídos por produtos artificiais, chegando ao ponto da baixa valoração dos produtos naturais extrativos, e por consequência, levando o extrativismo a falência.

Mas para alguns pesquisadores, a domesticação pode ser vista como uma vantagem quanto ao possível alívio da pressão sobre estes recursos, considerando que o incremento da demanda aumenta proporcionalmente com crescimento da população com interesse a estes produtos. Dawson et al. (2014) aponta que a domesticação pode ter um papel importante no fornecimento de determinado produto, pois quando se evidencia elevado custo de coleta, com baixos rendimentos e aumento da demanda de um produto em particular, estes podem inibir o uso e comercialização.

Ainda, a execução somente deste tipo de manejo não é suficiente economicamente para as comunidades tradicionais, mesmo considerando o potencial de aumento da renda. O manejo dos PFMNs deve ser conduzido com outras atividades, somando e complementando ou até formando a principal fonte de renda, porém nunca sendo uma fonte substitutiva e única (MACHADO, 2008), combinando com vários sistemas de culturas agrícolas (BELCHER et al., 2005).

## 2.2 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À CIÊNCIA FLORESTAL

Atualmente, a geotecnologia é largamente utilizada para a melhor compreensão de fenômenos físicos, mostrando-se eficaz na definição de ações para a tomada de decisões em diversas áreas. Considerando a quantidade de variáveis e dados a serem analisados, a utilização de técnicas associadas à geotecnologia torna-se essencial para otimização da gestão do ambiente florestal (MARCATTI, 2013), principalmente ao considerar sua complexidade. Desta maneira, pode-se fazer uso de medidas e definir intervenções para uso e conservação das florestas, bem com a integração do meio ambiente a novas tecnologias.

Genericamente, a geotecnologia pode ser definida como um conjunto de tecnologias de produtos e processos para a coleta, processamento e análise de informações com o uso de

uma referência geográfica (CARMO; AMARAL, 2012; MACEDO et al., 2014). Proporciona, assim, o armazenamento e manipulação de dados, combinando diversas variáveis temáticas representando o espaço real (BOLFE et al., 2014; PINTO; GARCIA, 2005). Ainda, integra métodos científicos empregados para a conservação dos recursos naturais em diferentes escalas e informações espaciais (FURTADO et al., 2014).

A geotecnologia está em constante desenvolvimento e aperfeiçoamento. Exemplo disto é o atual emprego de suas funcionalidades para identificação, espacialização, caracterização e quantificação no monitoramento de áreas de interesse para adequar propriedades rurais ao novo Código Florestal Brasileiro, através do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Destacam-se, também, produtos como os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou *Drones*, com função científica, militares ou diversas outras (TOSTO et al., 2014).

No escopo das geotecnologias, diversos usos voltados à questão ambiental e florestal podem ser destacados, tais como: gestão de reservas ambientais (DIAS, 2008); zoneamentos, mapeamento e monitoramento do uso e cobertura da terra; indicadores de sustentabilidade envolvendo florestas e meio ambiente (TOSTO et al., 2014); caracterização da paisagem (topografia, hidrografia, geologia e geomorfologia), variáveis ambientais (temperatura, pluviosidade e radiação solar), prevenção de desastres naturais (enchentes, terremotos e erupções) (FURTADO et al., 2014); mapeamento de recursos naturais como florestas, solos e recursos hídricos; estimativa de biomassa (BOLFE et al., 2014); estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade (OLIVEIRA et al., 2015), entre outras.

Assim como os diversos usos, existem muitas ferramentas disponíveis para responder determinados objetivos. Destacam-se as seguintes ferramentas: Sensoriamento Remoto (SR) (FURTADO et al., 2014; QUARTAROLI et al., 2014); Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sistema de navegação global por satélite (GNSS) (BOLFE et al., 2014), entre outros.

Um das fontes mais utilizadas atualmente para as análises ambientais, embasando o SR, são os dados de elevação da superfície terrestre, como por exemplo, o projeto “*Shuttle Radar Topography Mission*” (SRTM), disponíveis gratuitamente. Os dados SRTM, ou ainda, Missão Topográfica Radar da Shuttle, gerado em fevereiro de 2000, é um banco de dados topográfico digital com alta resolução espacial, gerado pelo “*National Aeronautics and Space Administration*” (NASA), com o objetivo de gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) para toda a superfície terrestre (FIGUEIREDO et al., 2007; MIRANDA, 2015).

Os MDEs consistem em um modelo de dados espacial que define o espaço como uma matriz de células de tamanho igual, dispostos em linhas e colunas, e valores de atributo

para cada célula. Células com valores de altitudes iguais representam características geográficas semelhantes de relevo. Com o fornecimento de dados com estas características, o seu emprego possibilitou grandes avanços no gerenciamento e manejo em diversas áreas ligadas à pesquisa florestal, pois o tratamento destes dados gera produtos das mais diversas ordens. Os dados SRTM, que podem ser considerados como atuais dados disponíveis, podem ser obtidos por qualquer usuário gratuitamente, com precisão horizontal de 30m (um arco-segundo) e áreas de 900m<sup>2</sup> mapeadas, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Diante disto, a ferramenta que é a base para diversos destes processos são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais realçam a importância e a versatilidade do emprego de geotecnologias. O SIG pode ser conceituado de maneiras distintas, sendo encontradas na literatura diversas abordagens relacionadas aos mais distintos ramos da ciência e pesquisa. Esses sistemas estão em constantes mudanças e tem evoluído com a abrangência de novos campos de aplicações (MIRANDA, 2015).

Os SIGs associam uma interface gráfica a uma base de dados georeferenciados, possibilitando análise e planejamento espacial a partir de ferramentas computacionais partindo de determinado banco de dados (PATERLINI, 2014; VICTORIA et al., 2014), além de criar, unir e armazenar várias fontes e bancos de dados (NUNES et al., 2015). Permitem, portanto, a elaboração de mapas, gráficos, tabelas e relatórios que representam a realidade do mundo real de forma digital (FURTADO et al., 2014). Os dados são sempre associados a um sistema de referência ou localização espacial por meio de um sistema de coordenadas (MIRANDA, 2015). Desta maneira, registra os mais variados tipos de dados espaciais, como por exemplo, a localização e delimitação de áreas de interesse, topografia, incluindo muitos outros atributos (VICTORIA et al., 2014).

Vários setores contribuíram para o desenvolvimento dos SIGs, atores principais representados por colaboradores e instituições, como por exemplo, o “*Environmental Systems Research Institute*” (ESRI), que atualmente representa um dos principais desenvolvedores desta tecnologia.

Receptores e satélites na órbita terrestre são amplamente utilizados para a coleta de dados georreferenciados. Esse sistema é conhecido como sistema de navegação, definido por “*Global Navigation Satellite System*” (GNSS) ou Sistema Global de Navegação por Satélite. É constituído por uma constelação de satélites que permite determinar a localização e o posicionamento de um receptor em qualquer parte da superfície terrestre (MARQUES et al., 2009; VICTORIA et al., 2014).

Apesar de o sistema ter iniciado na década de 60, o termo GNSS foi criado em 1991 (MARQUES, 2012) e atualmente, existe um conjunto de sistemas de posicionamentos que compõem a tecnologia GNSS. Dentro deste conjunto cita-se: o sistema GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema) e Galileo, desenvolvidos e de responsabilidade dos Estados Unidos, Federação da Rússia e União Europeia, respectivamente, além de outros sistemas (MARQUES, 2012; PINTO et al, 2013).

Dentro destes, o mais popular e consolidado ao uso é o sistema GPS. Também conhecido como “*Navigation System for Timing and Ranging*” (NAVSTAR), representa um sistema de navegação por satélites, no qual oferece serviço de posição, navegação e tempo, a partir de uma rede de vários satélites operacionais orbitando ao redor da terra, transmitindo informações precisas (FURTADO et al., 2014; MIRANDA, 2015). Com a configuração de distribuição destes satélites, no mínimo, quatro satélites GPS estão sempre visíveis em qualquer local e hora na superfície terrestre ou acima dela, permitindo o posicionamento em tempo real (MONICO, 2000). Quantidade esta suficiente pelo fato de apenas três, dos quatros satélites, serem necessários para a tomada das coordenadas pelo receptor.

O sistema GPS permite obter a posição de um objeto em qualquer lugar do globo terrestre, com a vantagem da possibilidade de associação de dados a cada ponto coletado (VÁSQUEZ, 1999). A informação da posição é tridimensional, pois é possível ao usuário verificar a latitude, longitude e altitude instantaneamente, disponibilizadas em interface gráfica pelo receptor ao usuário. Entretanto, há pouco tempo esta tecnologia estava restrita a determinados tipos de públicos por ser desenvolvida inicialmente para fins militares, mas atualmente está liberado para o uso civil (FURTADO et al., 2014; MIRANDA, 2015).

Outro grande avanço na área de geotecnologias aos recursos naturais é o Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Numérico de terreno (MNT). O MDT é um tipo de MDE (Modelo Digital de Elevação), pois representa o relevo topográfico com base no terreno. Basicamente, o MDT pode ser definido pela representação matemática de uma superfície real usando atributos de pontos com as coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ , representando a posição e altitude, e descreve a variação contínua da superfície (VICTORIA et al., 2014). O mesmo pode ser dito para o MDE, pois também representa o fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Com base no MDE pode-se gerar o MDT, e isso se dá pelo uso de imagens ou dados de radares, como os dados SRTM.

O MDT possibilita identificar a topografia detalhada de cada área, sendo uma ferramenta aplicada à otimização, pois aliado a outras informações relevantes, é a

representação real da superfície computacional em interface gráfica. Ainda, possibilita a caracterização do ambiente, subsidiando o planejamento da gestão territorial (LOBÃO; VALE, 2006). Isso é possível devido às características envolvidas na edição destes dados, pois a preparação e tratamento necessários à geração do modelo proporciona uma boa qualidade técnica e visual ao usuário.

Com base em todas estas ferramentas e produtos oriundos da geotecnologia, busca-se a consolidação de técnicas associadas a este tipo de tecnologia que possam ser utilizadas no manejo dos recursos florestais, podendo ser considerado como uma tendência natural de desenvolvimento. Desta maneira, desde 2006, a Embrapa Acre juntamente com a Embrapa Florestas e empresas madeireiras, desenvolveram o Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora) (FIGUEIREDO et al., 2007; FIGUEIREDO; LIMA, 2008), o qual caracteriza-se num processo fundamentado no método de georreferenciar e geomonitorar as etapas envolvidas desde elaboração até a execução do Manejo Florestal Madeireiro Sustentável (FIGUEIREDO, 2008).

Este processo tem por objetivo reduzir os custos de elaboração e execução de planos de manejo florestal, aumentando a eficiência do processo e monitoramento com elevada precisão de informações, além de promover o impacto reduzido com a informatização e rastreio das operações de inventário e exploração (CARMO; AMARAL, 2012). Contudo, busca unir com maior precisão o SIG, o inventário florestal com uso das tecnologias atualmente disponíveis do GNSS, e imagens de sensores remotos (radar e satélites) (FIGUEIREDO et al., 2007).

Para o uso de todas as ferramentas de geotecnologia e geração de um produto final é necessário apoio computacional. Para isto, atualmente existe um conjunto de principais “softwares”, variando em níveis comerciais ou acadêmicos. Dentre os quais, existem aqueles de código aberto (“open source”) no qual o uso é livre para todos os públicos, como Quantum GIS ou QGIS, GRASS, gvSIG e Spring, sendo este último exemplo de *software* desenvolvido em nível acadêmico. Ou ainda, com o uso mais amplo, em contrapartida, disponível através da aquisição de licenças, como ArcGIS. As principais características que definem estes “softwares” são as técnicas e as habilidades de se modelar o ambiente natural espacial para o manejo de ecossistemas, tudo integrado em um ambiente de informação geográfica (MARCATTI, 2013). Existem vários “softwares” com este caráter geotecnológico, no qual o uso vai estar sujeito aos objetivos do estudo, capacitação de quem opera e do tipo dos dados e resultados que se deseja obter, além de recurso monetário disponível.

Ao analisar a evolução do cenário das geotecnologias verifica-se um grande avanço ao longo dos anos, com maior empregabilidade e funcionalidades no contexto de ambiente e floresta. De acordo com Tosto et al. (2014) este cenário deverá acompanhar o desenvolvimento de tecnologias e, aliado ao uso contínuo das geotecnologias, gerará a redução de custos de produtos, surgimentos de novas aplicações, processos tecnológicos mais versáteis, melhores equipamentos, e outras potencialidades. Também, considerando seu caráter tecnológico adaptável para as diversas condições ambientais, constitui uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento à comercialização de PFNMs da Amazônia, através de dados mais precisos e confiáveis com a real quantificação do potencial produtivo de determinado produto.

### 2.2.1 Custo e otimização de caminhamento

A otimização tem sido uma ferramenta importante para definição de medidas direcionadas a características e eventos de interesse, motivado por pesquisas operacionais voltadas ao estudo do desenvolvimento urbano e logística nas mais diversas áreas da pesquisa. Para estudos desse caráter entende-se que para chegar a uma solução deve-se considerar a otimização como um problema para a sua solução, principalmente do ponto de vista computacional (ZIVIANI, 2015).

Vários são os termos que remetem a este tipo de problema, podendo ser denominado de caminho ótimo, caminho mínimo, melhor caminho, otimização do caminhamento, caminho de menor custo, ou ainda, em literatura inglesa, “*Least cost path*”, “*Shortest path*”, etc. (BARR et al, 2015; LIU; WONG, 2011). Apesar da distinção, todos passam a mesma ideia e o “melhor”, implícito ou explícito no termo, significa a característica que atende as necessidades e objetivos do usuário (ANTUNES, 2008).

Escolher o caminho mais rápido, o percurso mais bonito ou qual o trajeto mais econômico do ponto de vista da característica de interesse, entre outros, nunca foi uma tarefa fácil, entretanto, busca-se como ponto comum entre todos estes objetivos o melhor caminho. Importante ser destacado que ao considerar o melhor caminho não significa necessariamente o menor caminho, mas sim aquele que soluciona o problema de acordo com as características definidas. Por exemplo, o caminho mais curto entre dois pontos é uma linha reta, em contrapartida, o caminho de menor custo não obrigatoriamente funcionara de tal forma.

Este problema do caminho mínimo se aplica a diversas situações práticas, amplamente encontradas em literatura. A mais conhecida e estudada talvez seja o roteamento de veículos, seja de transporte de cargas, carros policiaes, carros de bombeiros, serviço de entrega, com várias opções de recursos computacionais disponíveis (MIRANDA, 2015). Destacam-se também aplicações que apoiam o planejamento territorial e urbano.

O caminho ótimo pode ser definido como o processo de cálculo da melhor rota entre localizações ou vértices, passando por todas as outras localizações, ponderando entre fatores assinalados (FERNANDES, 2013). Tais fatores estão intrinsicamente relacionado à opção definida, pois a otimização pode ser interpretada através de uma ótica de diferentes atributos (ANTUNES, 2008). A otimização do caminharmento pode ser tomado como uma função inerente dos modelos vetoriais (representação gráfica de feições), considerado como análise de rede. Este conceito de análise de rede, ou ainda, análise de conectividade, pode ser definido como o conjunto de elementos lineares interconectados, aplicado ao estudo de recursos que podem ser movimentados de um lugar a outro (MIRANDA, 2015).

Atualmente, a resolução desses problemas tornou-se mais difundida com o advento da tecnologia computacional e, neste panorama, os algoritmos propõe a resolução de grande parte, proporcionando o desenvolvimento de análises complexas. De forma simples, os algoritmos podem ser definidos como uma sequência de ações executáveis para a obtenção de solução para um tipo de problema desejado, fazendo parte também do dia a dia das pessoas (ZIVIANI, 2015). O autor cita como exemplos instruções para o uso de um remédio, uma receita culinária, instruções para uso de um aparelho, etc.

Um dos algoritmos mais conhecidos e aplicados em estudos acadêmicos para obter o melhor caminho entre pontos é o Dijkstra (TOYAMA, 2011). A proposta do algoritmo Dijkstra (DIJKSTRA, 1959) conduz a uma solução rápida e permite a utilização em modelos de imagens (LAURO et al, 2001), com técnicas computacionais atualmente implementadas e documentadas. Funciona com custos associados aos arcos ou arestas, sempre positivos, envolvendo problemas de localização em redes com origem e destino (FERNANDES, 2013). Para melhor entendimento, as arestas ou arcos representam a ligação entre dois pontos de interesse, que são os vértices. Ainda, este algoritmo simula a visita por todos os nós, iniciando no nó ou ponto fixo e encontrando sucessivamente o nó mais próximo, o segundo mais próximo, e assim por diante, até que todos os nós tenham sido visitados (HOFFMANN et al, 2006).

Quando se trata de algoritmo que envolve solução em vários vértices, tem-se uma situação em que a solução será uma rede. Assim, estes algoritmos são chamados de grafo

quando um conjunto de destinos deve ser interligado por uma rota ou caminho ótimo. Um grafo é uma estrutura abstrata matemática usada para modelar situações que consideram um conjunto de conexões e movimentos entre pares de objetos ou pontos representativos de vértices e arestas conectando os pares de vértices (ANTUNES, 2008; ZIVIANI, 2015), permitindo modelar o relacionamento entre pares de objetos para resolver problemas (FIGUEIREDO, 2011). Os nós são considerados os pontos de parada do fluxo inicial e final de determinado caminho associado à conectividade, enquanto que os arcos, ou ainda ligações, são as linhas que unem tais nós representando o fluxo entre os nós.

Os grafos podem ser empregados para modelar e solucionar problemas das mais variadas áreas como: engenharia, matemática, informática, indústria, etc. (TOYAMA, 2011). Existe um grande número de tipos de grafos que podem ser destacados, cada um com suas respectivas características e aplicações, no entanto, este trabalho não abordará tais tipos de grafos, tendo em vista que não é o objetivo esta fundamentação teórica.

Um grafo pode ser considerado ponderado, ou seja, são atribuídos pesos (valores) as suas arestas, os quais podem ser baseados em diversos tipos de métricas, dependendo do contexto e do problema a ser solucionado. São exemplos de algumas métricas que podem ser utilizadas: distância física em metros, quilômetros, etc.; tempo em minutos, horas, etc.; custos de percurso como financeiros e materiais; densidade de tráfego; entre outros. (ANTUNES, 2008; TOYAMA, 2011).

Neste contexto, integra ao desenvolvimento do algoritmo uma superfície de custo que é a base para decisão de qual direção tomar. Desta maneira, toda rede apresenta intrínseco um fator ou fatores de impedância, condicionantes e determinantes que afetam o deslocamento entre pontos em uma área. Assim, o caminho do menor custo utiliza-se de superfícies de distâncias relacionadas aos custos ponderados de maneira a determinar o caminho entre uma origem e um destino. Ambientalmente, pode ser citado como exemplo a declividade acentuada da área e o cruzamento de cursos d'água como exemplo de custos.

Existem problemas em rede que são considerados difíceis de serem resolvidos por algoritmos, comuns na natureza e nas diversas áreas de conhecimento. Um desses problemas é o do caixeiro viajante. O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) ou “*Traveling-salesman problem*” (TSP) pode ser definido, basicamente, através de uma lista de cidades com distâncias diferentes entre elas, onde o objetivo é encontrar o menor caminho possível para se percorrer e visitar todas as cidades, apenas uma vez, e ao final retornar ao ponto inicial, ou seja, a cidade de origem (APPLEGATE et al, 2006; HOFFMANN et al, 2006; ZIVIANI, 2015).

É importante destacar que, dada sua natureza, ainda não existe um algoritmo capaz de resolver este problema em um tempo razoável, uma vez que este é uma função polinomial do número de pontos a serem visitados. Para este tipo de problema usam-se dois algoritmos para obter a solução ótima, algoritmos heurísticos e aproximados (ZIVIANI, 2015). Heurística é um algoritmo que pode produzir um bom resultado, ou até a solução ótima, mas pode não produzir nenhuma solução ou distante da ótima, enquanto que um algoritmo aproximado gera soluções aproximadas dentro de um limite entre a razão produzida e a ótima (ZIVIANI, 2015).

Existem muitas soluções desenvolvidas para o cálculo do caminho de menor custo entre dois pontos ou uma rede, entretanto, não será adentrado no mérito do aprofundamento e análise de qual se propõe a resolver diferentes complexidades de determinados conjuntos de dados. Cabe ao usuário adequar e utilizar aquele que mais se encaixa as características do seu banco de dados.

Igualmente ao estudo da teoria dos grafos, não se busca nesta ocasião realizar revisão detalhada e crítica sobre os diversos modelos de algoritmos propostos a estes tipos de problemas envolvendo traçados ótimos. Entretanto, aqui se faz uma ressalva que existe uma vasta quantidade de técnicas exatas, heurísticas e algoritmos aplicados separadamente ou em conjunto, formulando soluções para o problema.

Nos dias atuais, com os avanços em técnicas de otimização e, sobretudo, em tecnologia computacional, o uso, conhecimento e adoção de softwares para resolução desse tipo de problema é cada vez mais difundido. Neste contexto, a tecnologia SIG oferece uma solução prática para o problema de rotas otimizadas, apresentando resultados significativos e interessantes. Esse sistema tem a capacidade de considerar várias fontes de informações de componentes físicos para determinação de rotas (ANTUNES, 2008).

Os SIGs, através de suas ferramentas e funcionalidades, são cada vez mais aprimorados para análises espaciais, auxiliando na tomada de decisões para determinação de traçados (LACERDA, 2011). Diante disto, os dados de imagem de satélites são importantes dados que podem ser facilmente implementados para estes problemas, seja pela fácil e gratuita aquisição ou pela qualidade das imagens. Contudo, com valores de elevação associados às células ou pixels, apresenta a possibilidade do cálculo de distâncias de caminhos ótimos entre pontos definidos geograficamente. Assim, destacam-se vários softwares com estes opcionais em ambiente SIG de análises disponíveis em seu conteúdo, como por exemplo, o ArcGIS. As extensões “*Spatial Analyst*” e o “*Network Analyst*” do ArcGIS, oferecem a solução de problemas com essas características de complexidade.

A extensão “*Network Analyst*” fornece ferramentas de análise espacial de conjunto de dados geográficos, baseadas em rede para a resolução de problemas complexos de roteamento, proporcionando uma gama de cálculos, como serviços mais próximos, cálculos de melhores rotas, otimização e alocação de recursos, direções de viagens, áreas de influências e serviço, matriz de custo origem e destino, etc. (ANTUNES, 2008; ESRI, 2015). Estas ferramentas são frequentemente utilizadas por empresas, serviço público, e outras organizações, ajudando a executar operações de forma mais eficiente e estratégica, além de pesquisadores e analistas utilizarem para os mais diversos ramos da pesquisa (ESRI, 2015). Assim, a execução desta ferramenta é comumente associada à análise de rede incluindo a escolha de melhores rotas para encontrar o caminho mais curto entre pontos, de acordo com o atributo considerado.

A extensão “*Spatial Analyst*” também possui a característica de encontrar o melhor caminho entre pontos, no entanto, fornece um rico conjunto de ferramentas de análise e modelagem espacial para dados matriciais ou Raster (imagens que contêm a descrição de cada pixel, baseada em células) e apresentam dados (vetor). Esta extensão fornece ampla gama de capacidades de modelagem e análise espacial, úteis para criar, consultar, mapear e analisar dados Raster (ESRI, 2015).

Com esta última ferramenta, é possível identificar o melhor caminho entre os locais, estradas, oleodutos ou migração animal, baseado em critérios econômicos, ambientais, etc, calcular a densidade populacional, reclassificar dados em classes, entre outros. O que pode ser destacado da extensão “*Spatial analyst*” é a possibilidade da criação de imagens evidenciando a declividade, aspecto e sombreamento de dados de elevação (ESRI, 2015). Outra característica importante é a criação de superfícies de custo através da distância ponderada ou outra informação considerada, permitindo uma ampla aplicação em resolução de problemas de menor caminho.

Importante destacar que o algoritmo Dijkstra é a base para as análises das ferramentas “*Network analyst*” para solução de problemas em análise de rede (ESRI, 2015). No entanto, quando empregado estas ferramentas com conjunto de pontos para visita (Problema do Caixeiro-Viajante), no qual há o reordenamento da sequência de visita, a solução é condicionada a partir de uma meta-heurística chamada de “*tabu-search*”, desenvolvida pela própria ESRI, onde não garante a obtenção da solução ótima (FERNANTES, 2013; ESRI 2015).

### **3 HIPÓTESES**

3.1 Considerando o conhecimento tácito dos extrativistas da Resex Chico Mendes sobre a hidrografia, topografia, tipologia florestal, etc., as trilhas definidas e utilizadas pelos produtores, podem ser consideradas otimizadas para o acesso aos principais PFNMs.

3.2 Usando ferramentas da geotecnologia, é possível construir trilhas de acesso otimizadas para a coleta de PFNMs.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e validar uma metodologia com interface gráfica, baseada em sistema de informação geográfica, para modelar e otimizar o traçado de trilhas de acesso usadas em áreas de manejo florestal para produtos florestais não madeireiros em comunidades extrativistas da região amazônica.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar um Modelo Digital de Terreno para cada área de estudo dando suporte a compreensão das características do terreno e a otimização das trilhas;
- Gerar uma superfície de custo das declividades e propor o traçado otimizado para acesso aos recursos florestais não madeireiros de interesse do produtor, com base em uma metodologia em SIG.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo a comunidade e os produtores foram envolvidos desde a seleção da área de estudo até a seleção das espécies de interesse. Buscou-se integrar os produtores à pesquisa, discutindo com os mesmos os objetivos pretendidos, considerando seus anseios, ideias e demandas quanto ao manejo dos Produtos Florestais Não Madeireiros.

### 5.1 LOCAL DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido na Reserva Extrativista Chico Mendes (RESEX Chico Mendes) (FIGURA 1), uma Unidade de Conservação de uso direto e sustentável, localizada no estado do Acre - AC, pertencente ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e classificada como categoria VI pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (UICN), definidas por áreas protegidas por recursos manejados.

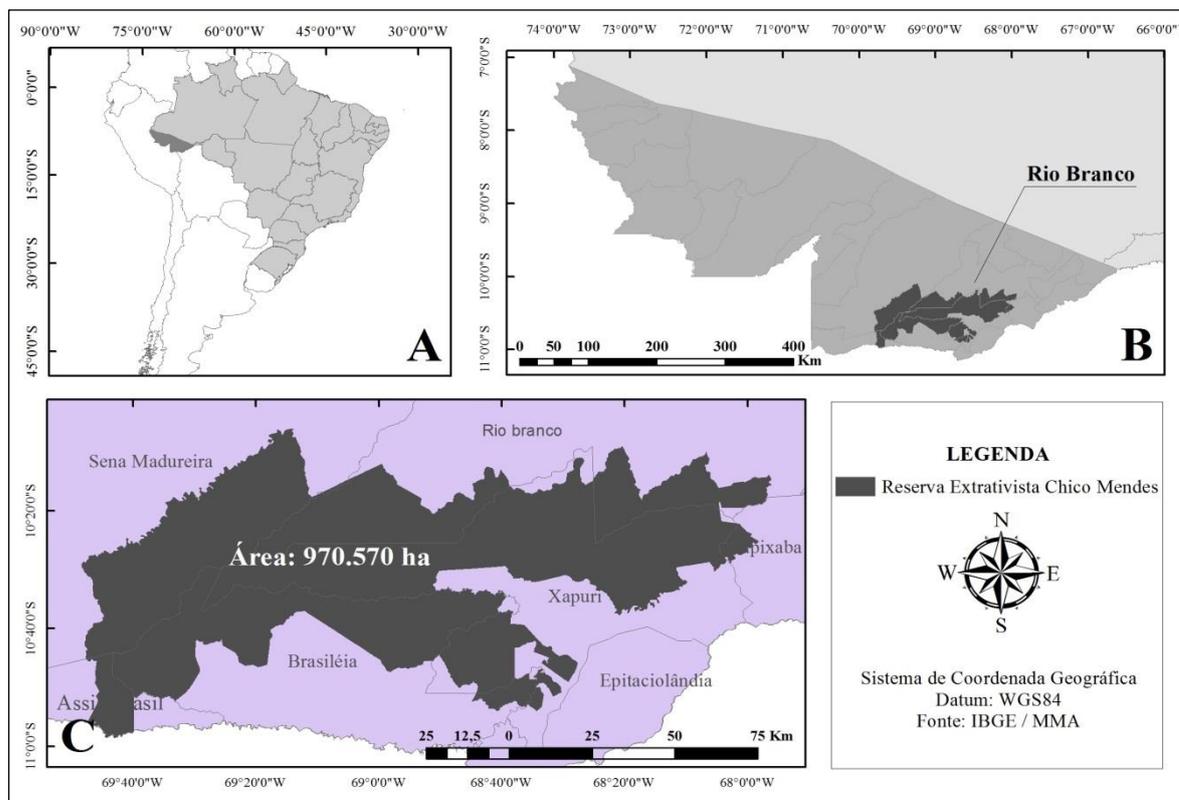


FIGURA 1 - Mapa temático dos locais de estudo. Destaque para a localização do estado do Acre (A); Destaque para a localização da Reserva Extrativista Chico Mendes (B); Destaque para a área da RESEX Chico Mendes e municípios compreendidos (C).

Duas áreas da RESEX foram selecionadas, localizadas no município de Epitaciolândia - AC, pertencentes ao Seringal Porvir (FIGURA 2). As áreas de estudo ou “colocações” (área de moradia e atividade do extrativista), são assim denominadas: colocação Encontro I e colocação Boa Água, com áreas totais aproximadas de 145 ha e 538 ha (FIGURA 2B e 2C), respectivamente. Para a colocação Encontro I, toda a área foi objeto de estudo, enquanto que para a colocação Boa Água apenas uma porção foi considerada (área pouco explorada pelo produtor) (FIGURA 2D). A distância entre as duas áreas é de aproximadamente 3,5 km.

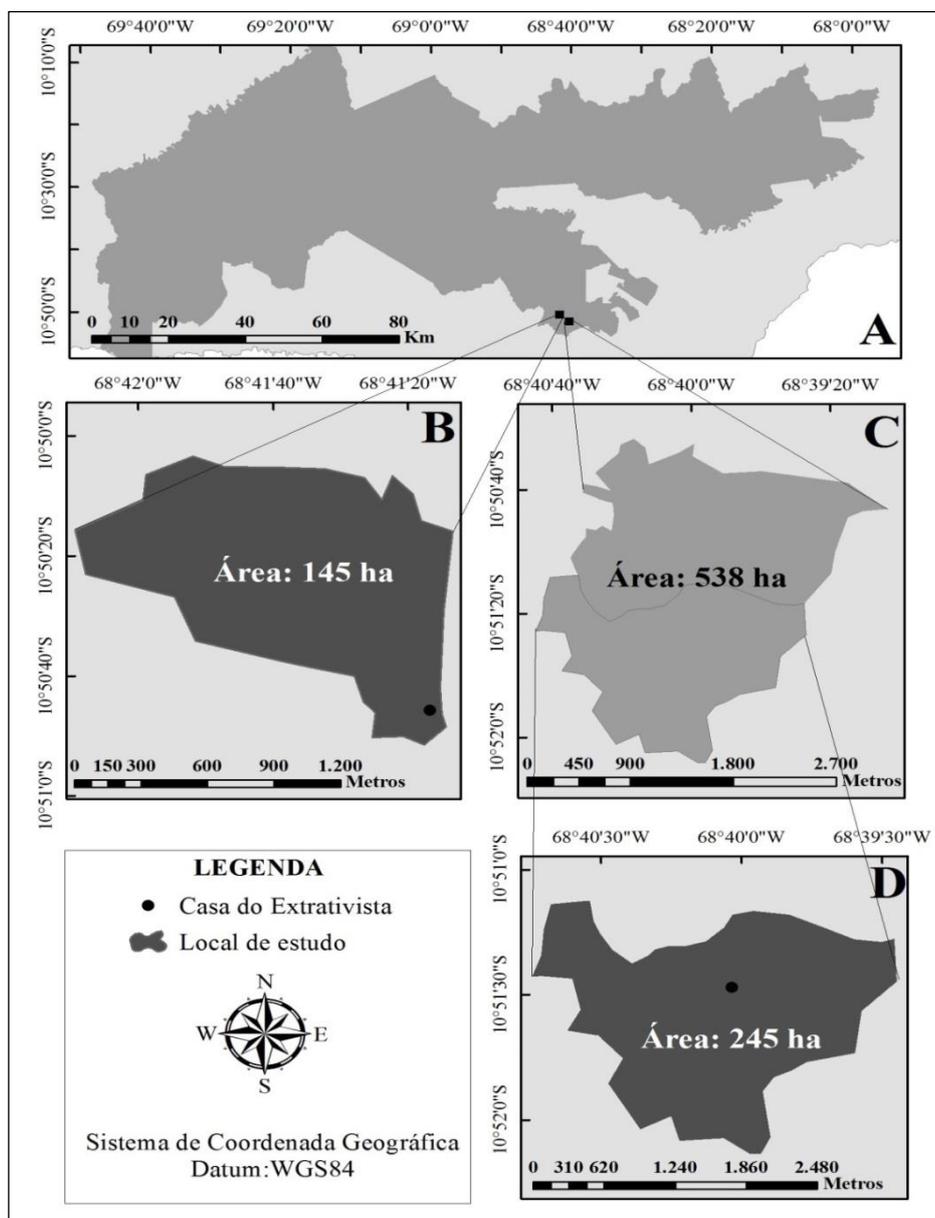


FIGURA 2 - Localização e área total das áreas de estudo. Destaque para a localização na RESEX Chico Mendes (A); Destaque para a colocação Encontro I e respectiva área (B); Destaque para colocação Boa Água (C); Destaque para o local de estudo na colocação Boa Água.

A escolha das duas áreas levou em consideração fatores como a melhor logística para o mapeamento, local de maior ocorrência das espécies selecionadas e, principalmente, o interesse do proprietário na exploração de determinada área florestal para o manejo não madeireiro. A delimitação das áreas foi realizada com o auxílio do proprietário da colocação, pois é este quem detém o conhecimento desses limites físicos. Foram observadas, também, as estradas ou trilhas de seringas/castanhas, varadouros (passagens) ou até mesmo árvores como referência na identificação das divisas com as áreas adjacentes.

Ao serem localizados e identificados, os limites de ambas as áreas, foram registrados com um receptor GPS, modelo Gamin GPSMap<sup>®</sup> 78S. Todo o perímetro foi registrado através da tomada de coordenadas geográficas de cada vértice (*waypont*) e registro do caminhar pelos limites das áreas (*track*). Por convenção, todos os dados foram coletados em Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84.

O clima para o estado do Acre é classificado como do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, elevados índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar (ACRE, 2010). Para a Reserva Extrativista Chico Mendes, o clima na região segundo classificação de Köppen é do tipo AM (clima tropical úmido). A temperatura média mensal apresenta reduzida oscilação entre 24 e 26°C, com a precipitação média anual variando entre 1.800 a 2.200 mm (IBAMA, 2006), e com presença de Floresta Tropical Densa e Floresta Tropical Aberta (UICN, 1995; IBAMA, 2006). Os principais tipos de solos encontrados são o Podzólico Vermelho Amarelo, Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico e os Hidromórficos Gleyzados Eutróficos (IBAMA, 2006).

A escolha da Reserva Extrativista foi motivada por ser historicamente a principal fonte de provimento de PFNMs; portanto, ambiente ideal para a implementação da metodologia experimental, com a possível expansão posterior para qualquer área rural com cobertura florestal presente, como Reserva Legal. Já a escolha das áreas dentro da Reserva, partiu do interesse dos proprietários e também na identificação das áreas com maior abundância de espécies com valor para Produtos Florestais Não Madeireiros.

## 5.2 COLETA DE DADOS

### 5.2.1 Mapeamento das espécies para simulação de diferentes cenários para modelos de traçados

As espécies selecionadas pelos produtores foram as seguintes: castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Seringueira (*Hevea brasiliensis* L.), Catuaba (*Qualea* spp.), Jatobá (*Hymenaea coubaril* L.), Jutaí (*Hymenaea* spp.) e Copaíba (*Copaifera* spp.). Os critérios utilizados pelos produtores levaram em consideração importância econômica, como no caso da castanheira e seringueira, e também o potencial para utilização dos produtos gerados, além do valor histórico, social e econômico. Destas espécies a Copaíba (*Copaifera* spp.) não foi considerada no estudo pela ausência de registro nos dois locais de estudo e também o Jatobá (*Hymenaea coubaril* L.) pela ocorrência de apenas um indivíduo no local de estudo da colocação Boa Água.

Os produtos obtidos a partir dessas espécies são de conhecimento tradicional dessas comunidades e destinam-se para alimentação e uso medicinal, podendo ter usos industriais. Da castanheira coleta-se o fruto (ouríços) visando sementes (castanhas) em seu interior, com uso para alimentação e extração de óleo para cosméticos. A seringueira é explorada para obtenção do látex, transformado em borracha e utilizado para a fabricação de pneus, preservativos, luvas, etc. Para a catuaba o uso é medicinal, utilizando principalmente o chá das cascas e folhas, indicado como revigorante, contra estresse, esgotamento, fraqueza, insônia, etc. O mesmo para o jutaí, sendo que a seiva, retirada por meio de orifícios no fuste, é que é apreciada medicinalmente. Neste caso, a seiva do jutaí é indicada para constipações, resfriados, problemas respiratórios, etc.

O mapeamento das árvores de interesse foi realizado conforme metodologia proposta neste estudo a qual será detalhada a seguir. Após a definição dos limites do polígono da área, foram confeccionadas dentro destes limites linhas paralelas que serviram de base para a condução e controle do mapeamento, representando um inventário censitário. Estas linhas foram alocadas paralelamente umas às outras em uma distância fixa de 50 m, abrangendo toda a extensão de cada área e na orientação mais adequada ao desenvolvimento do trabalho (FIGURA 3). A principal função destas linhas foi gerar setores menores através de picadas virtuais para a orientação e localização dos indivíduos de interesse. Estas linhas foram construídas em software em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (GPS TrackMaker<sup>®</sup>), e transferidas para o receptor GPS como rotas.

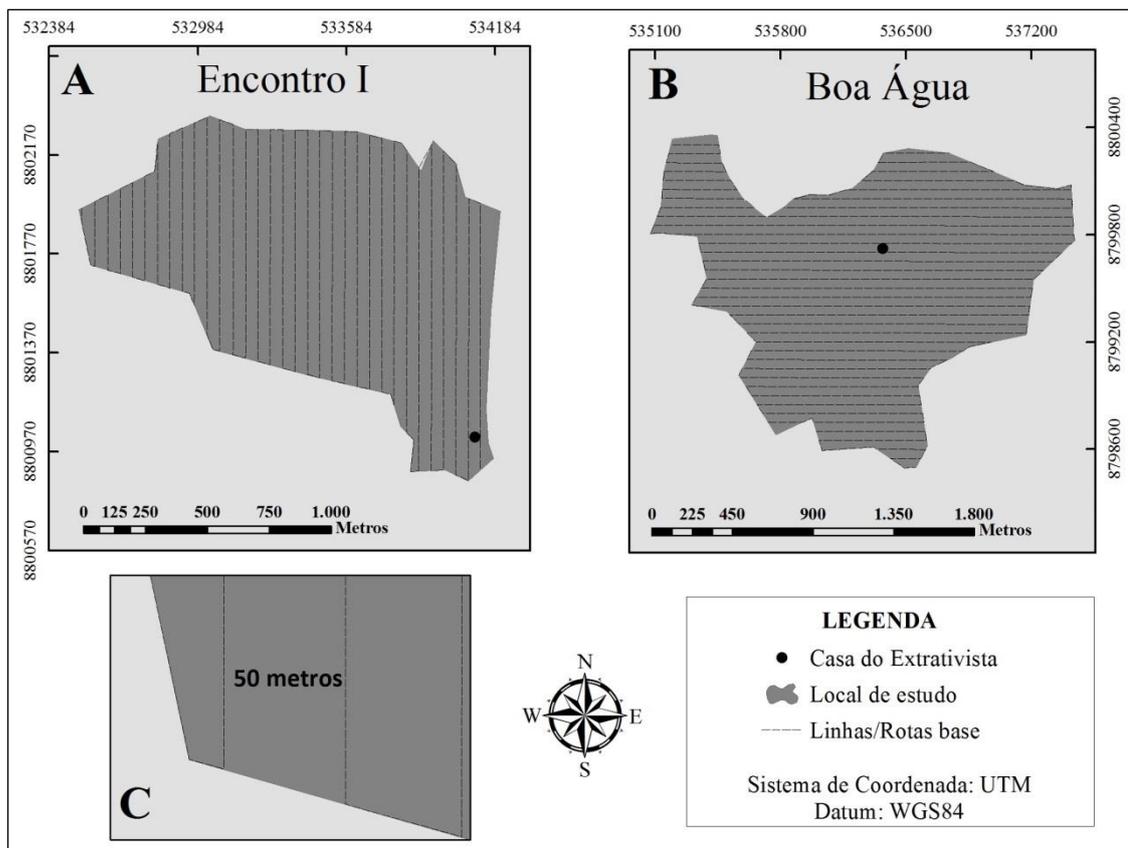


FIGURA 3 - Mapa temático com linhas-base paralelas entre si para os locais de estudo. Orientação das rotas na colocação Encontro I (A); Orientação das rotas no local de estudo na colocação Boa Água (B); Detalhe da distância fixa entre linhas (C).

A partir da linha-base transferida para o receptor GPS foi realizado o caminhamento na picada virtual e mapeamento das espécies de interesse dentro de uma faixa de visada de 25 metros para cada lado, simultaneamente. Para cada árvore identificada registrou-se: nome comum; coordenadas geográficas transformadas para UTM (Zona 19L); identificação numérica com fixação de placas de alumínio no fuste; diâmetro à altura do peito (DAP), com a inclusão de árvores com  $DAP \geq 10$  cm; posição no relevo em áreas mais altas e secas ou mais baixas e alagadiças; situação reprodutiva (fisiologicamente madura ou não); posição da copa (dominante, codominante, intermediária ou suprimida); forma da copa (boa, tolerável, pobre ou muito pobre); presença e intensidade de cipós (0%, até 25%, 25 a 75%, mais de 75% da copa coberta por cipós). A identificação de cada árvore foi feita por um parobotânico (mateiro), tendo sempre a presença de um membro da família do produtor.

Todos os dados foram manipulados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas com o auxílio dos softwares GPS TrackMaker<sup>®</sup> (FERREIRA, 2014), ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014).

### 5.2.2 Mapeamento das trilhas, do uso/cobertura do solo e da topografia

Por se tratar de áreas de reserva extrativista, onde as atividades econômicas se baseiam no uso da terra, as colocações possuem malhas ramificadas de trilhas e estradas usadas para acesso aos recursos florestais. Todas as trilhas existentes dentro da colocação Encontro I foram mapeadas com o auxílio do proprietário, a fim de servirem como base para a conferência das trilhas otimizadas e, possivelmente, propor a melhoria do traçado. O registro destas trilhas seguiu a mesma metodologia usada na definição do limite da área, tratando do caminhamento e registro do trajeto com receptor GPS.

Além do traçado das trilhas, foram coletadas outras informações que poderiam representar alguma interferência na passagem, tanto para facilidade ou dificuldade de caminhamento. Estas informações foram coletadas com o auxílio do receptor GPS e consistiram de: rede hidrográfica detalhada dentro de cada área, através do caminhamento pelos cursos d'água; benfeitorias dentro das áreas, como área de pastagens ou campo, culturas agrícolas (roçados), casas, escolas, galpões, etc.

Em função do tempo necessário e a complexidade envolvida na coleta de dados altimétricos em campo por levantamento topográfico convencional, ou ainda, coleta de pontos barométricos, usou-se como base dados altimétricos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Desta maneira, o MDT foi obtido através de imagens de radares do SRTM, tipo “GeoTiff” disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos ou “*United States Geological Survey*” e disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>, com resolução espacial do pixel (ou precisão horizontal) de 30x30m, sendo utilizada a cena s11\_w069\_1arc\_v3.

Os dois locais de estudo tiveram as suas respectivas superfícies topográficas representadas por um Modelo Digital de Terreno detalhado, confeccionado conforme a metodologia definida pelo Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora) (FIGUEIREDO et al., 2007), com a imagem SRTM.

## 5.3 ANÁLISE DOS DADOS

### 5.3.1 Simulação com as espécies mapeadas em diferentes cenários para modelos de traçados

Para construir os modelos de traçado foram considerados diferentes cenários em função das espécies, por estas apresentarem características distintas, como época de

produção, distribuição espacial, além das práticas adotadas para a extração do produto em questão. Desta forma, foram definidos sete cenários para as análises, descritos na Tabela 2.

TABELA 2 - Diferentes cenários com suas respectivas características com relação ao grupo de espécies.

	CENÁRIOS	DIÂMETRO (DAP) (cm)
1°	Castanheira	≥ 50
2°	Castanheiras produtivas	-
3°	Castanheiras coletadas pelo produtor	-
4°	Castanheira e Seringueira	≥ 40
5°	Seringueira	≥ 40
6°	Catuaba	≥ 40
7°	Jutaí	≥ 40

A produção de uma árvore individual de castanheira é bastante variável nas safras, sendo comum ter castanheiras adultas com grande porte sem produzir um único ouriço (CYMERYS et al., 2005). A identificação dessas árvores na colocação faz parte do cotidiano do produtor por se tratar de um produto tradicional com muito conhecimento acumulado ao longo do tempo. Desta maneira, o segundo cenário considera somente as castanheiras classificadas com base nesse conhecimento, denominadas de castanheiras produtivas.

O terceiro cenário foi baseado nas castanheiras com coleta de ouriços em todas as safras, servindo de base para a avaliação da situação atual das trilhas usadas pelos extrativistas na colocação Encontro I. Assim, será possível visualizar e, talvez, propor a otimização do traçado usado para as coletas.

Pelo contexto histórico destas áreas, a exploração de algumas espécies é realizada através de um único traçado, mesmo sendo em épocas diferentes. Assim, muitos traçados definidos pelos produtores locais já visam o aproveitamento de ambas as espécies, como por exemplo, as castanheiras e seringueiras. Aliando o valor econômico e maior desenvolvimento da cadeia produtiva, o quarto cenário faz a junção da castanheira e seringueira em um mesmo modelo de traçado, na tentativa de manter esta tradição de aproveitamento.

Para a castanheira, foi considerado o diâmetro mínimo (DAP) de 50 cm para inclusão nos cenários, por ser este o tamanho correlacionado com a maior probabilidade de a árvore

já estar na fase produtiva (WADT et al, 2005); para as demais espécies considerou-se o DAP mínimo de 40 cm por ser mais indicado e sensato para exploração, principalmente porque a obtenção de seus produtos (cascas, folhas, frutos, seiva e látex) envolve ações que podem ser danosas para as árvores com diâmetros menores.

Por último, considerando os parâmetros indicativos de boa produtividade e árvores perfeitamente sadias para o objetivo de coleta de PFNMs, as árvores de todas as espécies passaram por uma seleção, permanecendo somente os indivíduos registrados no inventário com copa boa e tolerável e sem a presença de cipó na copa.

### 5.3.2 Trilhas, uso/cobertura do solo, topografia

Com as trilhas reais mapeadas foi realizada a comparação com as trilhas virtuais construídas. A comparação foi feita apenas na colocação Encontro I, com o terceiro cenário composto pelas castanheiras coletadas pelo extrativista. Assim, as mesmas árvores coletadas pelo produtor no traçado real também foram usadas para a construção do traçado virtual. Para a comparação, foi criado um *buffer* de 15 m para ambos os lados da trilha virtual e realizado a análise visual da equivalência e calculado a porcentagem de sobreposição com a trilha real.

Para esta etapa utilizou-se do software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014), através da extensão *Analysis Tools*, acessível em *Analysis Tools>Proximity>Buffer*. Os dados de uso/cobertura do solo foram analisados graficamente e visualmente para verificar a disposição dentro do local de estudo, identificando possível interferência no traçado. Cada atributo coletado (benfeitorias, cultura agrícola, rede hidrográfica, etc.) foi considerado quanto à relevância na otimização. A partir de então, foi decidido quais dados entram como condicionantes, influenciando o traçado virtual.

Com o MDT detalhado para cada área foi possível identificar as características topográficas de cada colocação e, em virtude do detalhamento para a região, foi possível verificar as dificuldades e impedimentos que possam representar problemas para o algoritmo do menor caminho sobre o traçado das trilhas de acesso as espécies. O MDT permite visualizar graficamente em ambiente SIG as áreas de maior declividade com melhor homogeneização das curvas de nível do terreno; assim, ao lançar graficamente o traçado construído sobre a área é possível identificar com mais clareza a proposta de otimização do traçado.

### 5.3.3 Otimização do traçado

Com base na imagem SRTM original foram realizadas análises para extrair e destacar as características de interesse para definição do traçado e para a própria construção das rotas virtuais. Tais análises foram desenvolvidas em ambiente SIG no software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014), com o uso de suas extensões disponíveis na biblioteca “*ArcToolbox*”. Todo o processo implementado está descrito progressivamente a seguir.

- *Imagem SRTM para os locais de estudo*

Usando o MDE gerado a partir da imagem de radar do SRTM tipo Raster cena s11\_w069\_1arc\_v3, disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, foi possível construir uma superfície de custo onde a maior diferença de altura do terreno em uma célula, representou o maior “custo” de se passar por ela. Apesar de ser conhecida a referência espacial de origem (WGS84), foi necessário definir a projeção para a imagem, realizada através da extensão “*Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection*”.

Posteriormente, a imagem foi reprojeta para o sistema de coordenadas planas “*Universal Transverse Mercator*” (UTM), por serem os locais de estudos pequenas áreas que se enquadram no mesmo fuso (19S) e para possibilitar os cálculos de distâncias na análise de rede. Para esta etapa foi usada a extensão “*Data Management Tools > Projections and Transformations > Project Raster*”.

Por último, a imagem SRTM foi recortada de acordo com os limites dos locais de estudo, considerando que a extensão da imagem fora dos limites não seria necessária e diminuindo, assim, o tempo de processamento. Esta etapa foi realizada pela ferramenta encontrada na extensão “*Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask*”.

Abaixo é apresentada uma imagem com as diferentes etapas de desenvolvimento para este processo.

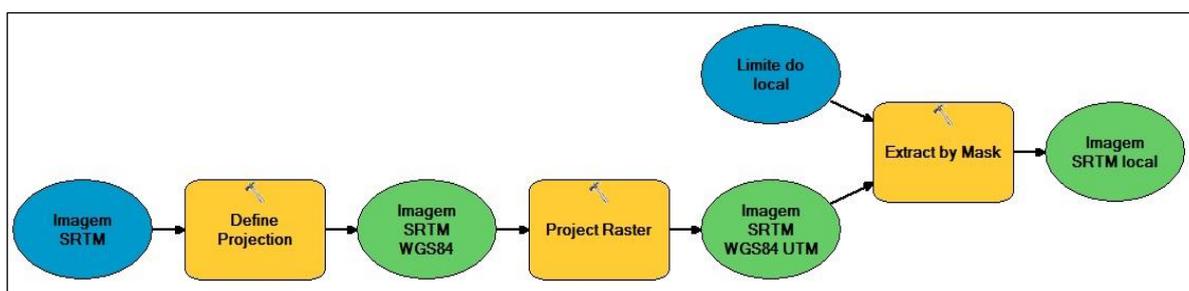


FIGURA 4 - Fluxograma demonstrando o processo de recorte da imagem SRTM de acordo com os limites dos locais de estudos através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS.

- *Superfície de custo*

Para a declividade foi utilizado como padrão a classificação em 10 (dez classes enumeradas em sequência (1,2,3,4...,10), onde 1 (um) significa área mais plana e 10 (dez) área mais declivosa (TABELA 3), assim as classes de declividade mais acentuadas receberam maior numeração, ou seja, maior custo para a passagem do caminho. A declividade foi representada em dez classes distribuídas igualmente no intervalo da declividade zero e máxima de cada local de estudo. A hidrografia foi considerada na superfície por ser importante na definição do traçado, pois os locais de estudo são cortados por riachos e igarapés, os quais representam resistências físicas ao traçado. Para a hidrografia foi atribuído o peso máximo de custo (10) (TABELA 3) e não restringindo o cruzamento por ela, pois a abundância de igarapés nos locais faz com que em determinados momentos não haja outra alternativa que não seja o seu cruzamento.

TABELA 3 - Atributos considerados para custos na definição do traçado ótimo com suas classes e peso/custo atribuídos respectivamente.

ATRIBUTO	CLASSES	PESO/CUSTO
Declividade	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5
	6	6
	7	7
	8	8
	9	9
	10	10
Hidrografia	1	10

Foi criada a superfície que exaltasse as características de declividade dos locais, ou seja, uma nova imagem Raster foi gerada com a distinção entre áreas declivosas e planas em porcentagem. Para isto foi usado a ferramenta “*Slope*” que pode ser traduzido como encosta ou declividade. A realização deste processo foi feita com a extensão “*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*”.

Na imagem Raster “*Slope*” gerada é possível visualizar as diferentes classes de declividades; entretanto, não é possível usar estes valores de classes para atribuir os pesos. Assim, as imagens foram reclassificadas, para que as classes de declividade fossem representadas por valores únicos inteiros e em sequência lógica nas 10 (dez) classes. Para isto foi utilizada a extensão “*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*”.

Para inclusão da hidrografia detalhada de cada local na superfície foi necessário fazer a conversão da feição tipo vetor para o tipo Raster, através da extensão “*Conversion Tools > To Raster > Polyline to Raster*”.

Por último, foi criada a superfície de custo com a atribuição dos pesos, sendo possível nas próximas etapas o cálculo do custo acumulado ao percorrer as células ou pixels. Para esta etapa foi usada a extensão “*Spatial Analyst Tools > Overlay > Weighted Overlay*”, unindo as imagens da declividade e hidrografia e atribuindo os pesos (FIGURA 5).

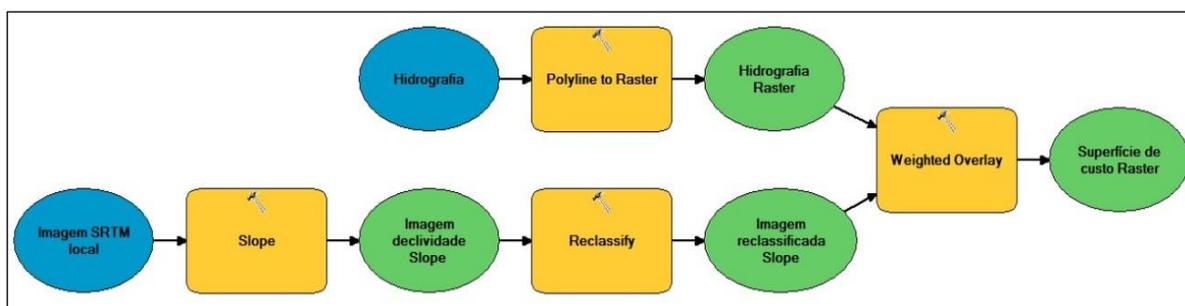


FIGURA 5 - Fluxograma demonstrando o processo da criação da imagem raster da superfície de custo para os locais de estudo através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS.

- *Conversão de Raster para Shapefile*

Posteriormente, a imagem da superfície de custo de cada local de estudo foi convertida para uma feição de linhas em *Shapefile*, mais uma vez por meio da extensão “*Conversion Tools > From Raster > Raster to Polyline*”. Desta forma, os dados foram representados por uma malha de linha onde os cruzamentos dos pixels são os vértices e os segmentos da grade que ligam os pixels são as arestas com seus respectivos pesos atribuídos na superfície (FIGURA 6).

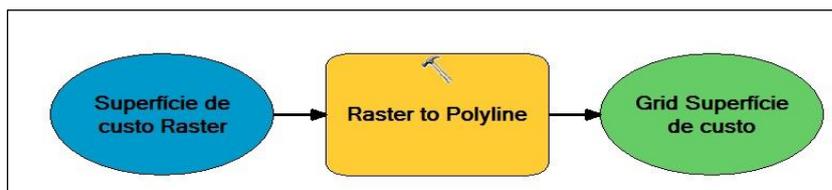


FIGURA 6 - Fluxograma demonstrando o processo de conversão da imagem Raster da superfície de custo para Shapefile dos locais de estudos através da opção “*Model Builder*” do ArcGIS.

- *Conjunto de dados de rede e melhor rota*

Para a parte final da metodologia, foi criado um modelo de redes a partir do arquivo *Shapefile* da grade da superfície de custo, utilizando a ferramenta “*New Network Dataset*”. Este modelo é parte essencial da criação da rede, pois é o formato de entrada para o uso da extensão “*Network Analyst Tools*” com o padrão condizendo com a topologia arco nó exigida pelos algoritmos de grafos na implementação em ambiente SIG. Para isto foi adicionado um atributo de custo referente aos pesos atribuídos, considerando que o padrão para análise desta ferramenta é o cálculo pela distância.

Em seguida, foi criada uma camada de análise de rotas, permitindo que fossem incluídos os pontos de paradas (árvores) e gerado a rota otimizada (FIGURA 7). Esta camada foi criada através da ferramenta “*Network Analyst Tools > Analysis > Make Route Layer*”. Nesta camada a casa do extrativista foi definida como ponto inicial e final da rota, sendo configurada para reorganizar a sequência de paradas para encontrar a melhor rota preservando o ponto final e inicial.

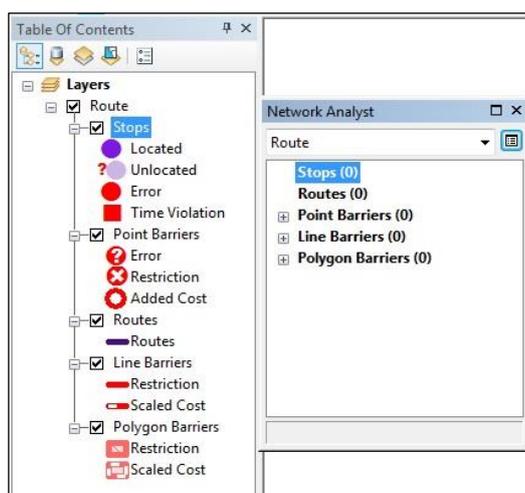


FIGURA 7 - Ambiente de análise para rota otimizada através da camada (*Layers*) de rota para inclusão de paradas, restrições, custos e geração da rota.

As etapas referentes a este processo de criação de rede estão representadas na figura 8 e a metodologia implementada para a construção do traçado ótimo na figura 9.

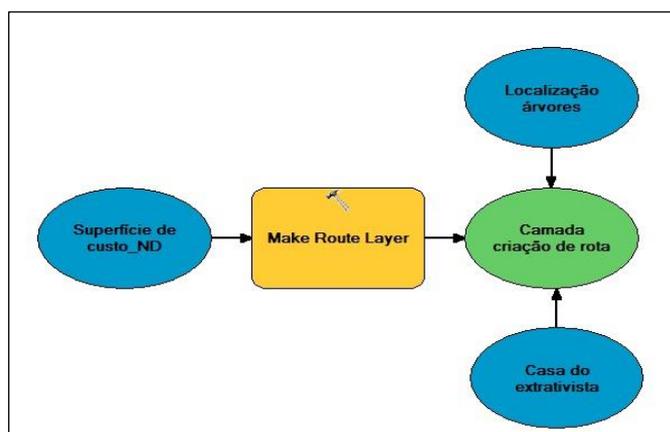


FIGURA 8 - Fluxograma demonstrando o processo da criação da camada de rota e inserção dos pontos de interesse na opção “*Model Builder*” do ArcGIS.

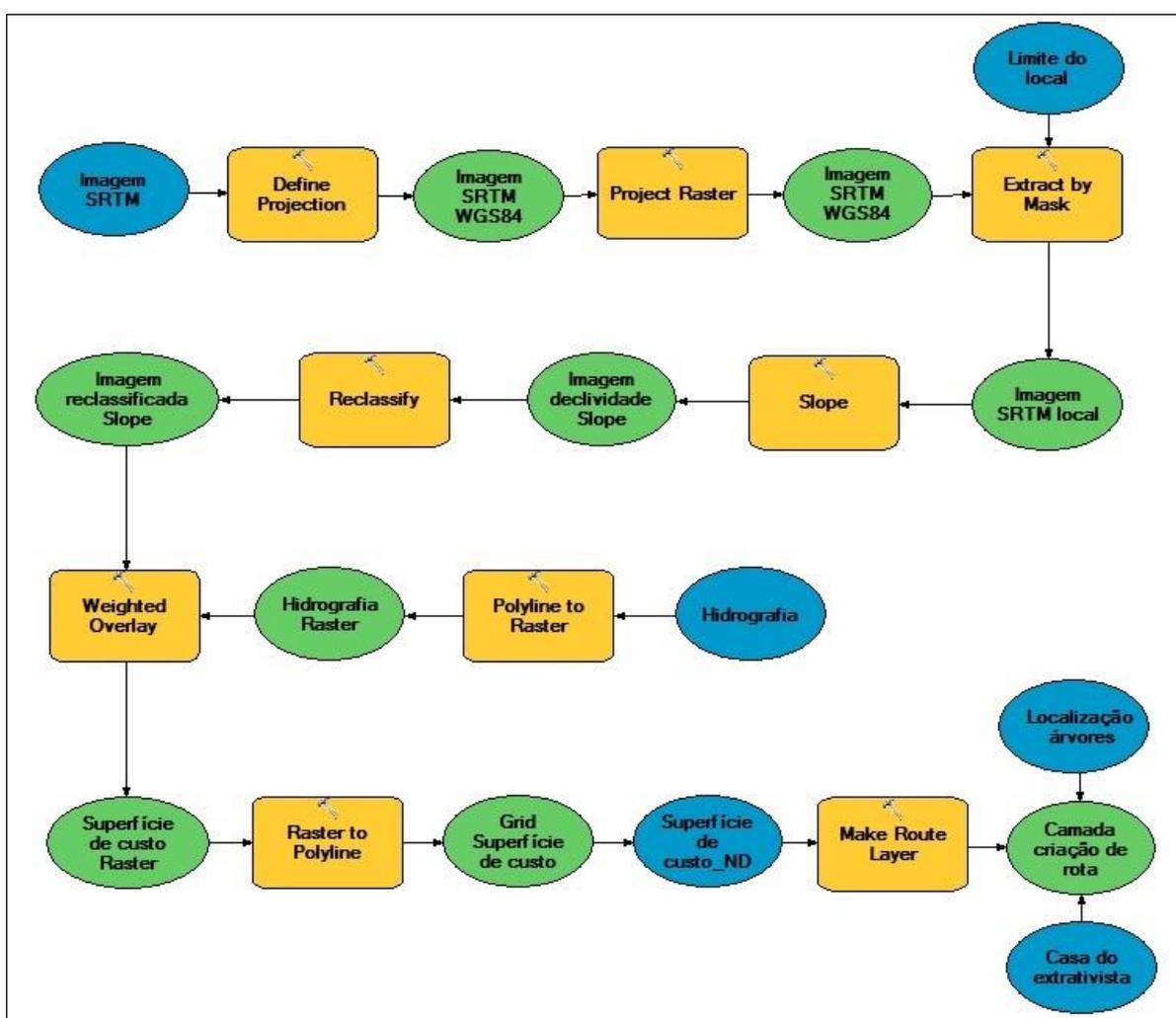


FIGURA 9 - Fluxograma demonstrando todo o processo para a criação das rotas otimizadas para os diferentes cenários na opção “*Model Builder*” do ArcGIS.

Após a construção das trilhas para cada cenário proposto, foram extraídas as informações das rotas e armazenadas em uma tabela para verificação do comportamento de cada cenário, observadas características consideradas melhores (TABELA 4). Analisaram-se os seguintes fatores: comprimento da trilha; quantidade de árvores compreendidas na trilha; custo total ao percorrer a trilha.

TABELA 4 - Fatores considerados para a avaliação do melhor traçado ótimo dos diferentes cenários com respectivos parâmetros.

<b>FATOR</b>	<b>MELHOR CARACTERISTICA</b>
Comprimento da trilha (quilômetros)	< Metragem
Quantidade de árvores (unidade)	> Quantidade
Custo total	< Valor

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 MAPEAMENTO DAS ESPÉCIES PARA SIMULAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS PARA MODELOS DE TRAÇADOS

Considerando os dois locais de estudo foram mapeadas e inventariadas 1567 árvores no total. Na colocação Encontro I foram 358 árvores, enquanto que na área de estudo da colocação Boa Água foram registradas 1209 árvores (TABELA 5). A espécie com maior quantidade de árvores mapeadas, na colocação Encontro I, foi a castanheira (252), enquanto que no outro local de estudo foi a seringueira (697). No entanto, deve ser levado em consideração que no primeiro local não foi realizado mapeamento de seringueiras. O jutaí e a catuaba tiveram poucas ocorrências, destacando o jutaí em maior quantidade para ambas as áreas. A densidade de árvores foi maior para a seringueira, na colocação Boa Água, e castanheira para a colocação Encontro I. A castanheira, jutaí e catuaba tiveram uma densidade de árvores semelhantes em ambos os locais de estudos.

TABELA 5 - Quantidade de árvores mapeadas e inventariadas (n) por espécie em cada local de estudo com suas respectivas densidades (árv.ha<sup>-1</sup>).

ESPÉCIE	ENCONTRO I		BOA ÁGUA	
	Árvores	Árvores/ha	Árvores	Árvores/ha
Castanheira	252	1,74	379	1,55
Seringueira	-	-	697	2,84
Jutaí	89	0,61	92	0,37
Catuaba	17	0,11	41	0,17
<b>TOTAL</b>	358		1209	

Após a seleção das espécies com base nos cenários propostos, a quantidade de árvores por espécie, teve o mínimo de 16 e máximo de 498 árvores para a construção do traçado ótimo. O cenário com a maior quantidade de árvores foi o segundo (castanheiras produtivas) para a colocação Encontro I, enquanto que em Boa Água foi o quarto cenário (castanheira e seringueira). No local de estudo da colocação Boa Água, o quarto cenário foi mais numeroso por serem agrupadas duas espécies e, ainda, serem as de maiores densidades (TABELA 6).

TABELA 6 - Quantidades de árvores mapeadas e inventariadas das diferentes espécies nos cenários (Cx) para os locais de estudo.

ESPÉCIE	ENCONTRO I							BOA ÁGUA						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Castanheira	153	166	120	-	-	-	-	246	225	-	261	-	-	-
Seringueira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	237	237	-	-
Jutaí	-	-	-	-	-	-	79	-	-	-	-	-	-	83
Catuaba	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	20	-
<b>TOTAL</b>	<b>153</b>	<b>166</b>	<b>120</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>79</b>	<b>246</b>	<b>225</b>	<b>-</b>	<b>498</b>	<b>237</b>	<b>20</b>	<b>83</b>

C1=Castanheiras; C2=Castanheiras produtivas; C3=Castanheiras coletadas pelo produtor; C4=Castanheira e seringueira; C5=Seringueira; C6=Catuaba; C7=Jutaí.

As espécies apresentaram uma distribuição próxima de homogênea dentro dos limites dos locais, com exceção para a catuaba que teve tendência de ocorrer em áreas prioritárias e concentradas. A distribuição espacial das árvores foi analisada visualmente a partir da localização das coordenadas geográficas de ambas (FIGURA 10).

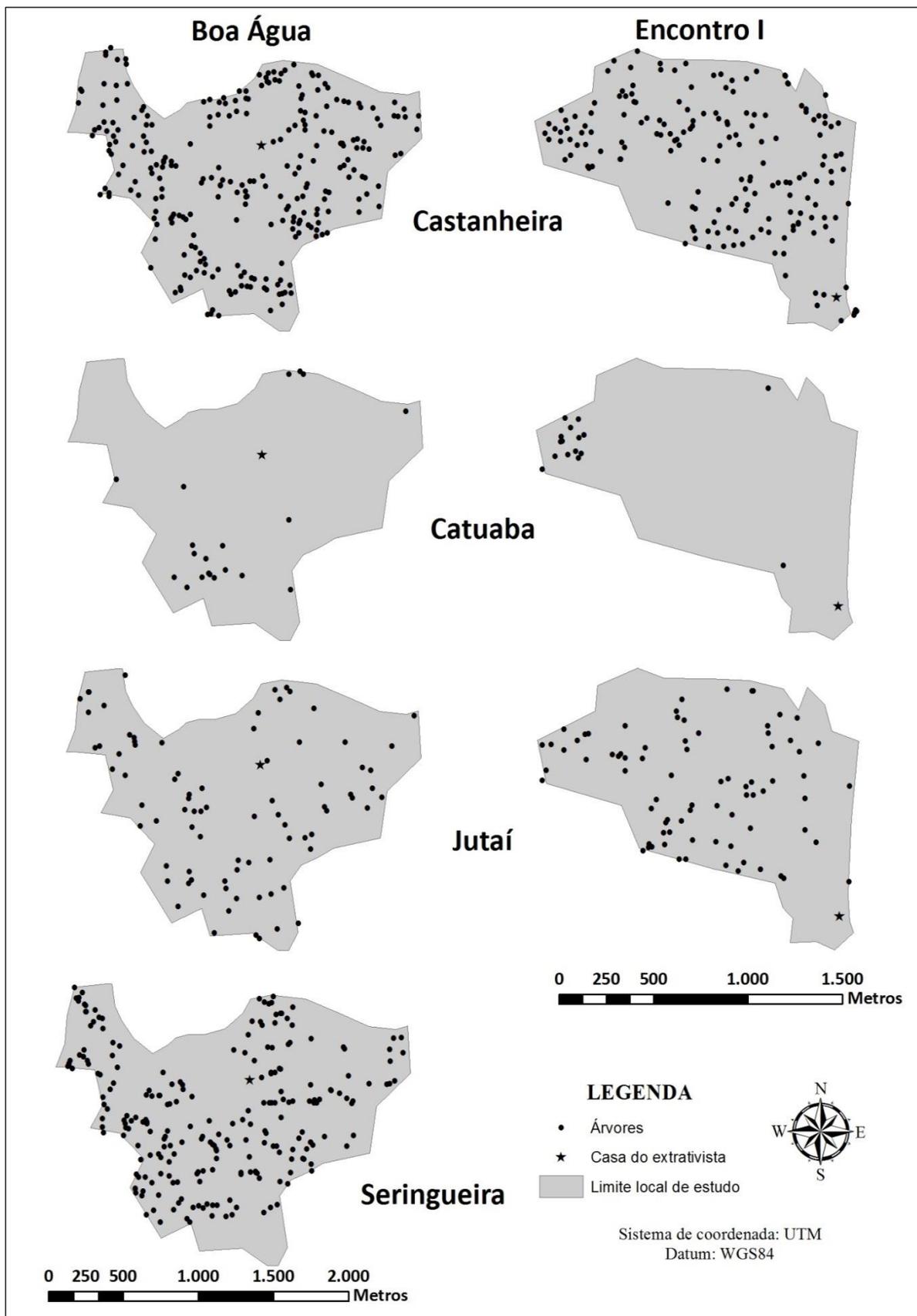


FIGURA 10 - Mapa de localização das árvores mapeadas por espécie nos locais de estudo.

## 6.2 TRILHAS, USO/COBERTURA DO SOLO E TOPOGRAFIA

As trilhas mapeadas e registradas na colocação Encontro I, ou seja, aquelas usadas pelo extrativista, tiveram a extensão máxima de 14,44 Km e foram distribuídas por toda a área. A distribuição destas trilhas revela o conhecimento e aproveitamento de toda a área, sendo esta colocação bastante explorada pelo extrativista. As trilhas são ramificadas em diversas ocasiões e muitas vezes uma ramificação, ou “perna”, como localmente falada, representa atalhos passando de uma trilha principal para outra. Portanto, esta área possui grande quantidade de trilhas, apesar de não possuir grandes extensões.

Confrontando os dados do levantamento detalhado da hidrografia do local com a disposição das trilhas, verifica-se que esta pode ser considerada otimizada quanto a evitar o encontro e passagem por igarapés. A passagem de uma trilha pela malha hidrográfica ocorre somente quando necessário, pois é a única condição para se explorar toda a área tendo em vista que é seccionada por igarapé em sua parte central (FIGURA 11).

Na colocação Encontro I os igarapés de maiores dimensões estão localizados na parte central da área, enquanto que no outro local não existe um curso d’água central e sim nascentes, olhos d’água e pequenos córregos que desaguam em igarapés principais, conforme hierarquia hidrográfica. Toda a extensão da hidrografia dentro dos limites dos locais de estudo foi de 4,86 e 9,10 Km, respectivamente na área Encontro I e Boa Água. O registro da hidrografia mais abundante no local de estudo da colocação Boa Água, entre outros fatores, pode ser atribuído pela maior dimensão da área.

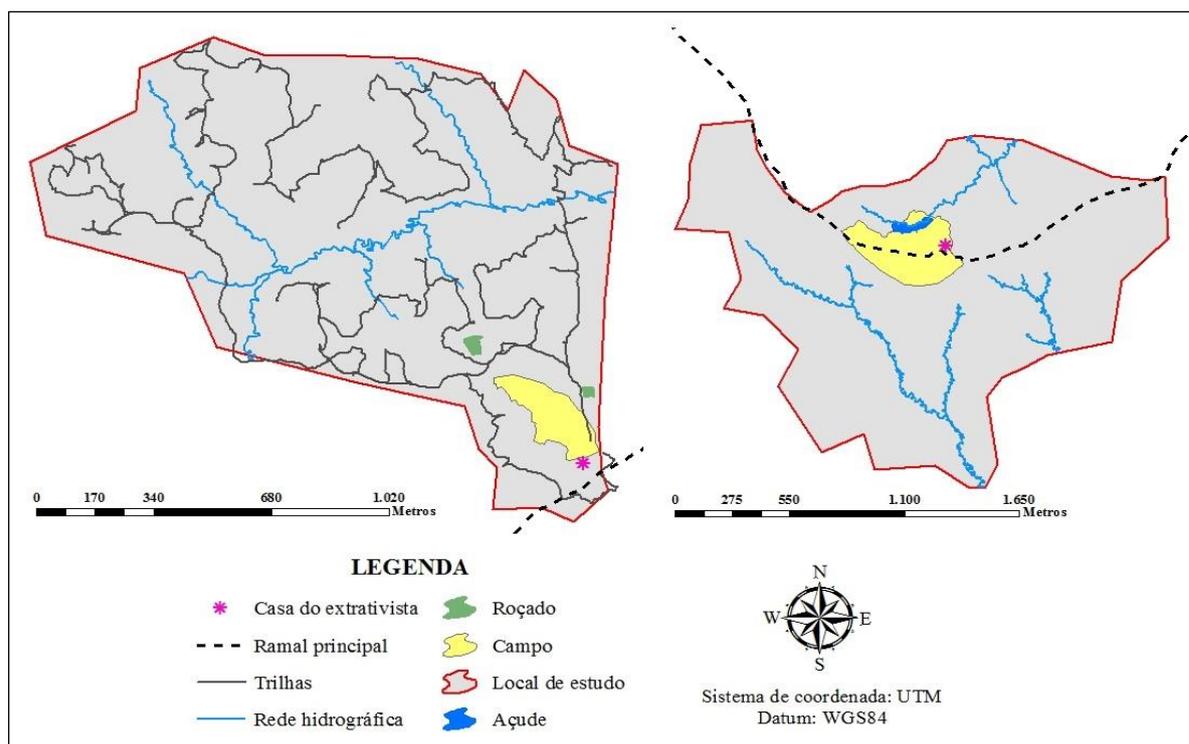


FIGURA 11 - Representação dos locais de estudo com o mapeamento das trilhas e algumas outras atividades e usos do solo.

Estas áreas apresentaram uma diversificação de usos do solo e benfeitorias, o que já era esperado por serem características do contexto extrativista, onde o produtor baseia sua subsistência no uso dos recursos disponíveis e construção de locais físicos em suas colocações. Os dois locais de estudo tiveram essas características identificadas. Foram registrados campos, pastagens e roçados para cultivo agrícola de base familiar (FIGURA 11). Além desses, foram registrados para a colocação Encontro I: campo de futebol, residência de familiares (filho e avô), casa de farinha, igreja e paiol. Já na área da colocação Boa Água: apicultura, galpão da associação de moradores, campo de futebol, residência de familiares (filho), escola, galpão de armazenamento de castanha e quintal de frutas.

Todas essas benfeitorias e áreas de uso estão próximas da residência do extrativista, visto que facilita a realização de diferentes atividades pelo produtor. Com esses dados georreferenciados foi identificada a disposição e dinâmica de uso de cada área, auxiliando na determinação da relevância de tais feições para próxima etapa de otimização, conforme será descrito mais adiante.

Com o MDT foram identificados aspectos texturais, topográficos, longitudinais e hidrológicos que serviram para a compreensão da forma do terreno; entretanto, consistiram apenas de análise visual em ambiente SIG (FIGURA 12). Essa característica proporciona a implementação, nesta metodologia de mais um fator de otimização, considerando que a

percepção do profissional e posterior edição das feições geradas de trilhas construídas pode tornar o modelo mais adaptado e específico para os olhos do usuário ou contratante, se for o caso.

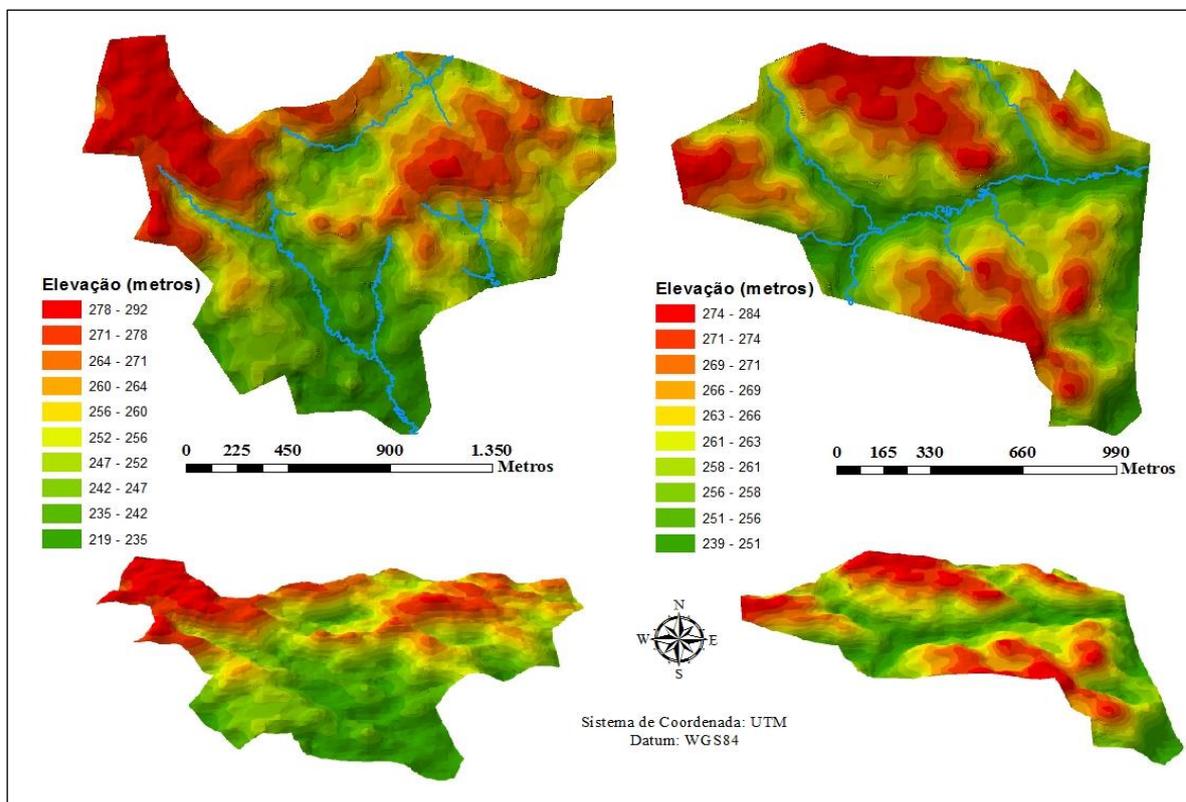


FIGURA 12 - Modelo Digital de Terreno (MDT) para os dois locais de estudos e visualização 3D com suas respectivas classes de altitude.

Verifica-se que o MDT representou consideravelmente os locais, mesmo não sendo realizados testes. Exemplo disso pode ser visualizado com a integração dos dados de mapeamento da hidrografia detalhada com o modelo digital, coincidindo perfeitamente com as áreas de menores cotas ou altitudes (FIGURA 12). Desta forma, o escoamento das águas, as nascentes e os igarapés integraram harmoniosamente com o MDT, mais aparente na colocação Encontro I.

As estimativas realizadas com os valores mínimo, máximos, média e desvio padrão das altitudes geradas do modelo digital não variaram muito, indicando que não existem áreas com alta declividade (TABELA 7). Entretanto, deve-se considerar a mudança abrupta do terreno, o que seria indesejado para o modelo. O local de estudo localizado na colocação Boa Água foi o que apresentou a maior variação de altitude entre os mínimos e máximos (73 metros), porém, a média da altitude foi inferior comparado ao outro local. Estes valores não levam à conclusão de que existem mais áreas abruptas em determinado local do que em

outro, mas serviu para compreender a área e melhorar a percepção do usuário quanto ao relevo.

TABELA 7 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para as altitudes dos dois locais de estudo.

<b>LOCAL</b>	<b>MÍNIMO (m)</b>	<b>MÁXIMO (m)</b>	<b>MÉDIA (m)</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
Encontro I	239	284	263,78	8,47
Boa Água	219	292	256,58	15,64

Com a visualização do relevo pode-se concluir que as áreas apresentam relevo ondulado e mudanças drásticas de perfil topográfico, com características peculiares a cada uma. Com os dados do mapeamento, percebe-se visualmente que a distribuição das espécies identificadas foi próxima de homogênea em todas as altitudes. Assim, fica claro que o desenvolvimento de uma metodologia de otimização para o traçado ao acesso a estas espécies é útil para a identificação de qual o caminho que representa o menor custo (esforço laboral), tendo em vista que em determinados locais não há a possibilidade de acesso a um indivíduo sem ter um “custo” para isto.

O MDT foi de grande valia para a análise da gestão dos recursos dentro dos locais de estudo e tipologia do terreno, mesmo em se tratando de uma etapa inicial e baseada apenas na visualização. Isto indica a grande importância deste tipo de produto para planejamento de atividades relacionadas ao meio ambiente, baseado nas informações obtidas e analisadas. Fato este já testado por diversos autores, com resultados promissores (CHAGAS et al., 2010; SAITO, 2011; FOLHARINI et al., 2015).

É importante considerar que os erros embutidos em um MDT são inevitáveis, levando em conta que são visualizações simplificadas da realidade, submetidas a um processo de generalização (CHAGAS et al., 2010). Porém, esses erros podem ser aqui ignorados, considerando o uso requerido para a pesquisa.

Muitas técnicas e análises com diferentes abordagens podem ser aplicadas no estudo de modelos digitais de elevação para o controle de qualidade dos modelos, sem a realização de técnicas de pós-processamento, como aprofundado por Saito (2011). Entretanto, novamente, não é o principal objetivo deste trabalho, tendo em vista que se busca com o MDT a informação mais superficial do terreno para visualização gráfica da topografia em ambiente SIG.

### 6.3 OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO

- *Imagem SRTM para os locais de estudo*

Foi gerada a imagem Raster SRTM em ambiente SIG antes do processamento para os dois locais de estudo após o processo de recorte da imagem, definidos o Datum WGS84 e projetado em coordenadas planas UTM (FIGURA 13).

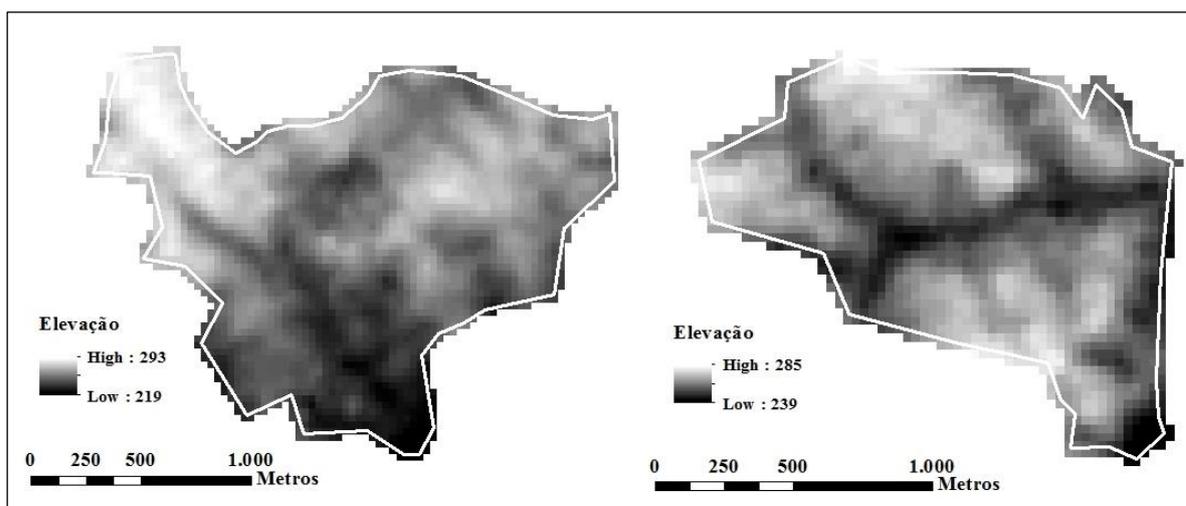


FIGURA 13 - Ilustração com a visualização gráfica da imagem Raster SRTM para os dois locais de estudo com seus respectivos valores de elevações máximas e mínimas.

Ao realizar o recorte da imagem Raster é possível visualizar que, considerando os locais de estudos como extensões não muito grandes, a imagem que representa as colocações Encontro I e parte da colocação Boa Água teve perda de detalhamento das condições locais, visto que os pixels apresentam uma área de  $900\text{m}^2$ , ficando a visualização de cada pixel e o contraste entre eles mais aparente, efeito este que não é percebido em grandes áreas representadas por MDE. Entretanto, apesar desta limitação as análises não são prejudicadas, pois as características principais e marcantes de declividade dos terrenos ainda podem ser percebidas.

- *Superfície de custo*

Como resultado da primeira etapa de criação da superfície de custo, observa-se a imagem Raster gerada exaltando as maiores declividades do local de estudo da colocação

Encontro I e Boa Água (FIGURA 14). As imagens estão classificadas em 10 (dez) classes iguais representando níveis mínimos e máximos de declividade de cada local de estudo.

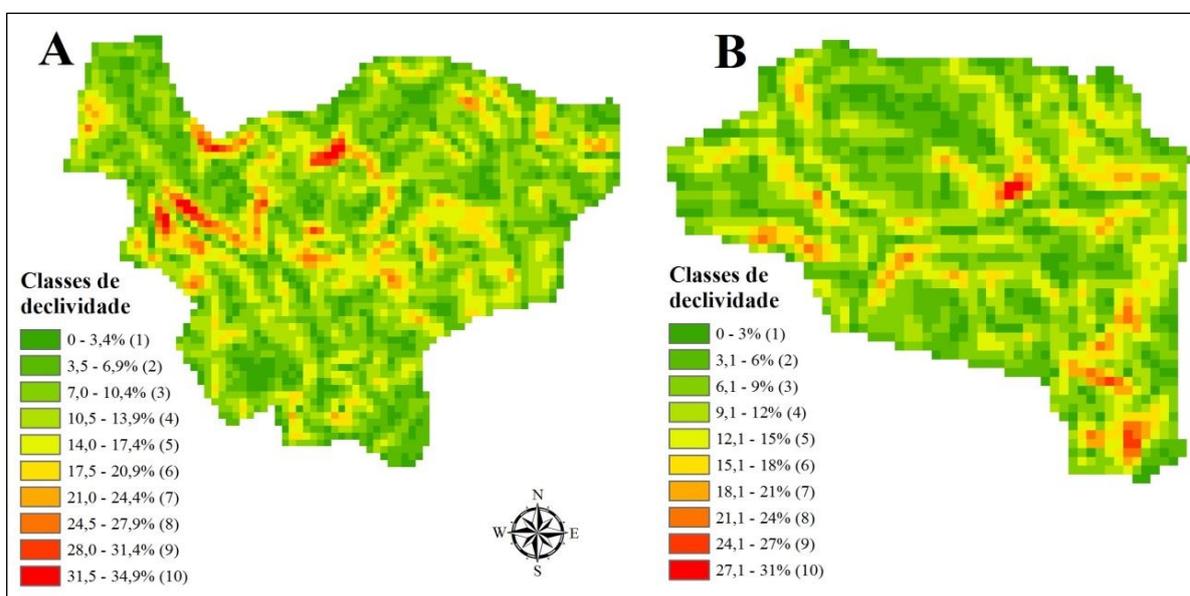


FIGURA 14 - Superfície de custo representada pela declividade dos locais de estudo. Superfície de custo baseada somente na declividade para o local de estudo da colocação Boa Água (A); Superfície de custo baseada somente na declividade para a colocação Encontro I (B).

As classes representadas pela Figura 14 com suas respectivas porcentagem e numeração são consideradas como os custos, pois a maior classe de declividade tem o maior custo relacionado. Estas superfícies consideram custo para a solução da trilha otimizada apenas a topografia das áreas. A área de estudo da colocação Boa Água (FIGURA 14A) foi a que apresentou maior heterogeneidade da superfície, com maior predomínio de áreas declivosas. Apesar da colocação Encontro I (FIGURA 14B) ter relevo mais plano em alguns locais, percebe-se que as declividades aparentemente são mais marcantes e concentradas em determinadas regiões.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, as condições de declividade do relevo são classificadas em seis categorias: plano (0 a 3%); suave ondulado (3 a 8%); ondulado (8 a 20%); forte ondulado (20 a 45%); montanhoso (45 a 75%); escarpado ( $\geq 75\%$ ) (EMBRAPA, 2006). Desta maneira, os locais de estudo possuem predominância de declividades onduladas ou forte onduladas (FIGURA 14), que representam dificuldade da passagem do traçado e maior esforço laboral. Assim, de acordo com as imagens, ambas as áreas podem ser consideradas como áreas heterogêneas em relevos declivosos.

O maior cuidado foi tomado para verificar se realmente as imagens geradas representavam significativamente o relevo dos locais de estudo. Para isto, foi comparado com o MDT construído, pois devido a sua metodologia de construção, a visualização das curvas de níveis está mais próxima da realidade. Com isto, foi possível identificar visualmente que de fato a imagem Raster gerada através da ferramenta “*Slope*” representou satisfatoriamente o terreno. Exemplo disto é uma região dentro do local de estudo da colocação Boa Água mais declivosa na imagem Raster, sendo equivalente ao MDT (FIGURA 15).

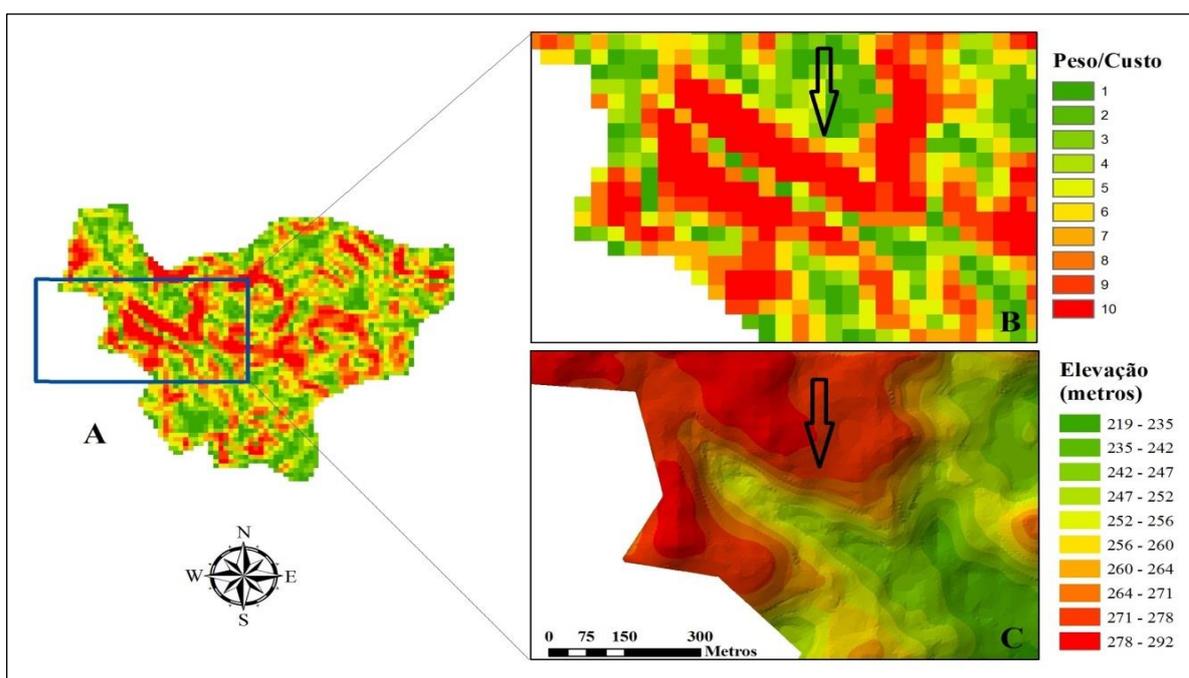


FIGURA 15 - Superfície de custo do local de estudo da colocação Boa Água com região em detalhe (A); Detalhe da imagem Raster da superfície de custo para declividade em vermelho (B); Detalhe do MDT para a declividade em curvas de nível (C).

Ao adicionar outras feições que possam representar custos e ser somado na superfície custo, houve leve modificação na imagem final ao sobrepor tais feições (FIGURA 16). Entretanto, das feições mapeadas a única que foi significativamente representativa foi a rede hidrográfica, isto porque é uma característica extremamente relevante para definição do traçado ótimo. As demais não foram consideradas como barreira para o traçado ótimo devido a sua pouca interferência na definição de uma trilha, como por exemplo, a casa do extrativista, casas de farinhas, etc. Neste mesmo sentido, também foi desconsiderado os cultivos agrícolas (roçados) porque é comum a rotação em diferentes locais. Pensando no longo prazo, essas áreas de roçado podem servir ou não de impedimento ou facilidade para

uma trilha. Ou ainda, as feições de pequena área física ou menores de 900 m<sup>2</sup> não são representadas por um pixel.

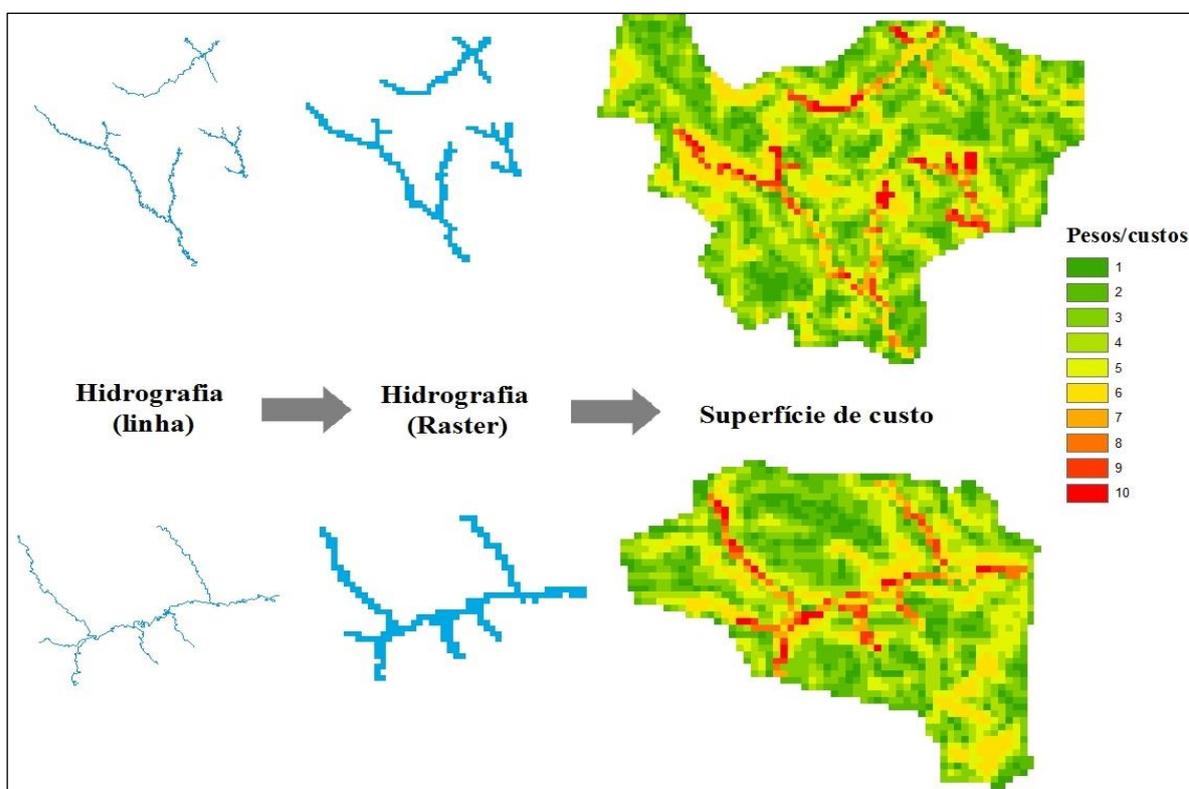


FIGURA 16 - Conversão e inclusão da rede hidrográfica somada à superfície de custo para os locais de estudo com os pesos/classes.

Após destacar a declividade e incluir a hidrografia no SIG, a visualização da dificuldade de passagem por determinado local é facilmente percebida, demonstrado pela intensidade de cor de cada pixel, proporcional ao esforço laboral em ultrapassar estes locais, demonstrando a vantagem de realizar estas análises em ambiente SIG.

- *Conjunto de dados de rede e melhor rota*

Após a conversão da superfície de custo em uma grade de linhas (FIGURA 17), toda a superfície de custo, para cada local de estudo, foi representada por esta feição. Assim, percebeu-se que ao realizar este procedimento de conversão, a informação dos custos relativos a solução de uma trilha, agora definido pelos segmentos de linha, foi mantida no arquivo gerado em forma de grade em linhas (FIGURA 18). Essa grade de linhas, posteriormente, gerou o conjunto de dados de rede (*Network Dataset*), também com os custos ou pesos associados em cada segmento de linha, entretanto, agora em formato para análise de rede ajustando-se como um modelo de rotas.

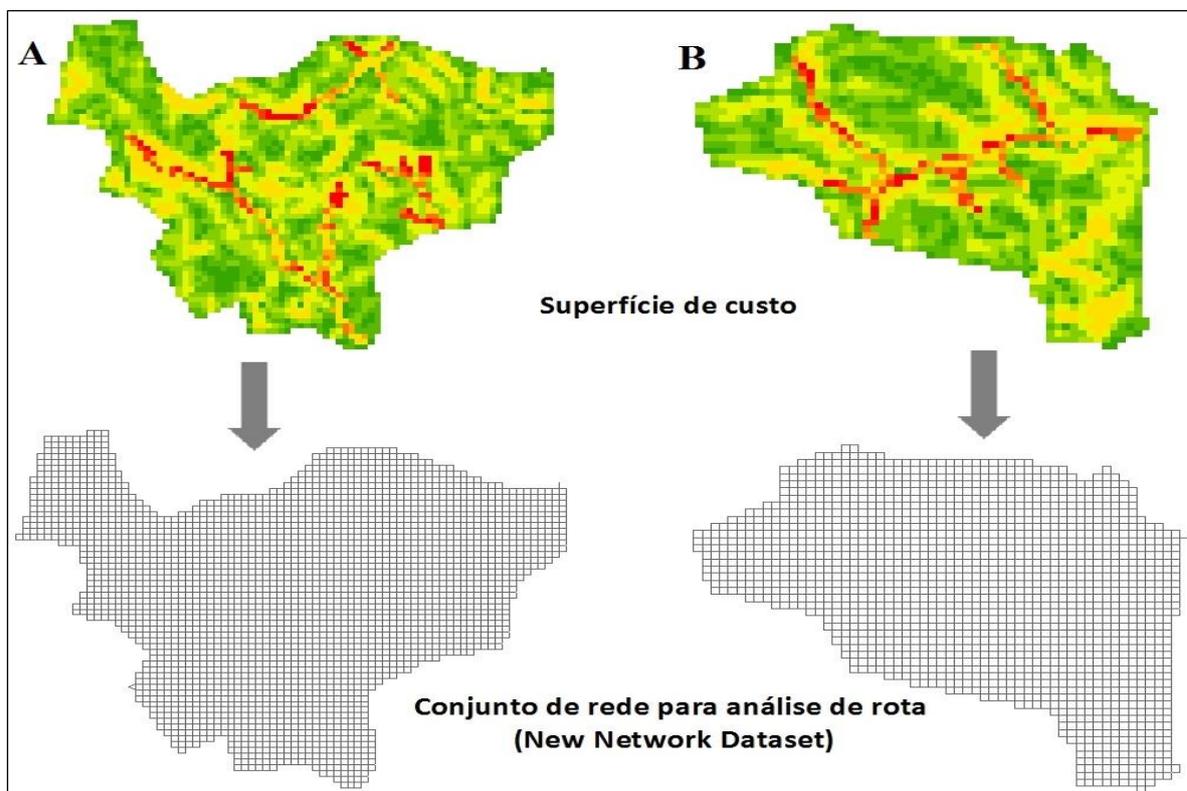


FIGURA 17 - Superfície de custo e conversão para uma grade em um conjunto de análise de rede para o local de estudo da colocação Boa Água (A); Superfície de custo e conversão para uma grade em um conjunto de análise de rede para a colocação Encontro I (B).

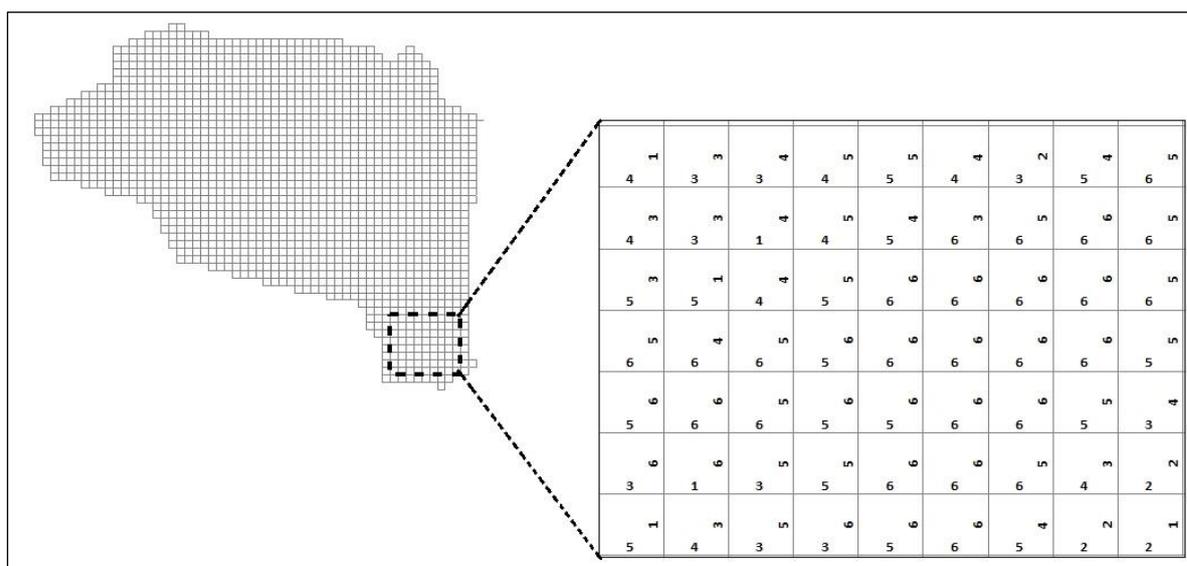


FIGURA 18 - Exemplo do conjunto de rede para a análise da melhor rota da colocação Encontro I, com detalhe para os custos ou pesos associados a passagem em cada segmento de linha.

Com isto, foram geradas as soluções de rotas para cada cenário proposto. A figura 19 representa as rotas virtuais geradas a partir deste conjunto de dados para o local de estudo da colocação Boa Água.

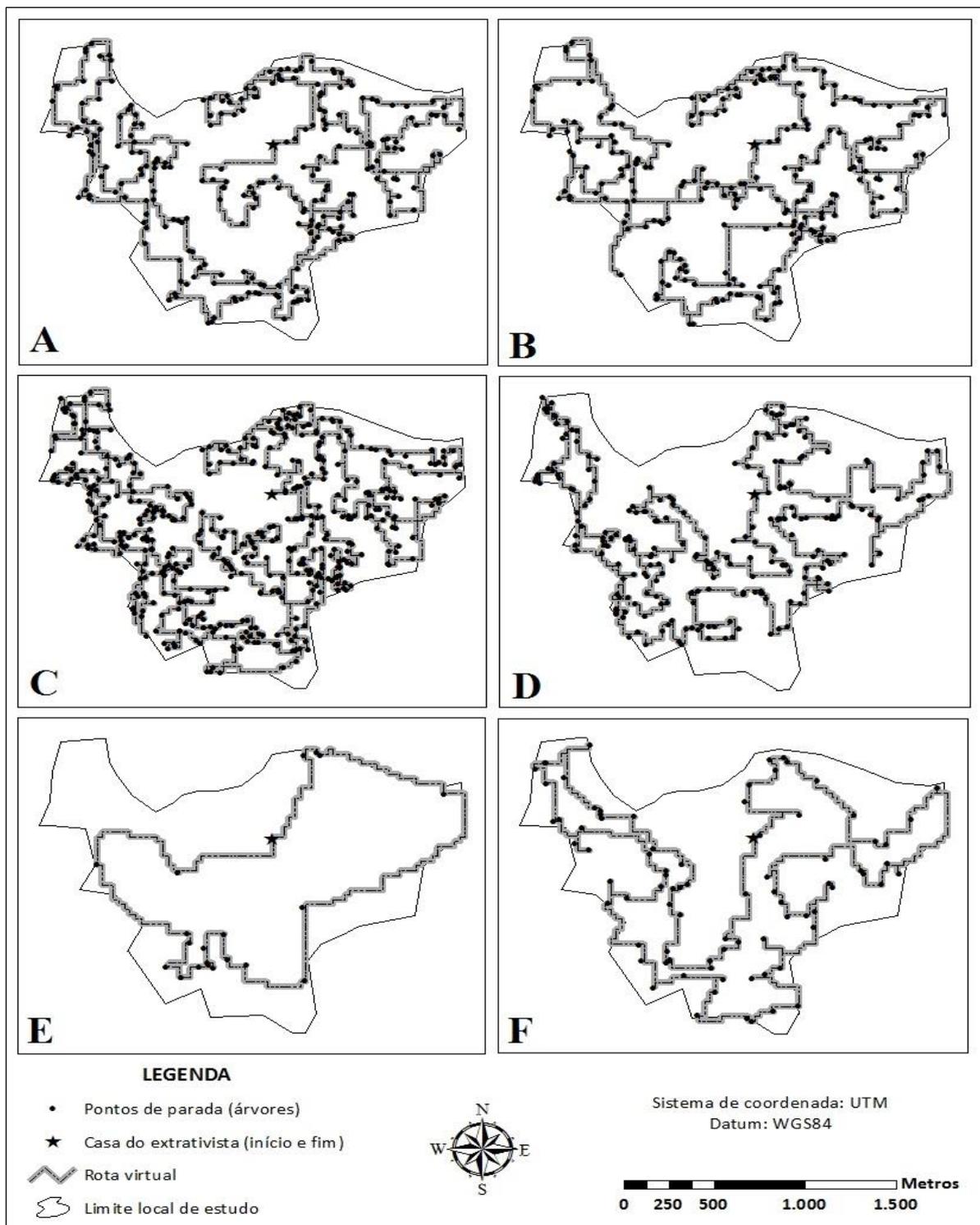


FIGURA 19 - Rotas virtuais construídas para o local de estudo na colocação Boa água. Rotas virtuais para o cenário 1 (A); Rotas virtuais para o cenário 2 (B); Rotas virtuais para o cenário 4 (C); Rotas virtuais para o cenário 5 (D); Rotas virtuais para o cenário 6 (E); Rotas virtuais para o cenário 7 (F).

As informações para cada cenário proposto considerando os fatores para o local de estudo da colocação Boa Água estão enumeradas na Tabela 8.

TABELA 8 - Informações registradas de cada cenário com a solução da rota virtual construída no local de estudo da colocação Boa Água.

CENÁRIO	ESPÉCIES	QUANTIDADE (ÁRVORES)	COMPRIMENTO DA TRILHA (Km)	CUSTO TOTAL
Cenário 1	Castanheira	246	26,58	2361
Cenário 2	Castanheiras produtivas	225	25,52	2265
Cenário 4	Castanheira e Seringueira	498	37,30	3350
Cenário 5	Seringueira	237	23,81	2125
Cenário 6	Catuaba	20	8,74	710
Cenário 7	Jutaí	83	18,04	1515

Analisando os dados gerados pelas trilhas construídas, principalmente pelo cenário 5, verifica-se um número elevado de árvores com relativo comprimento de trilha e custo menores. Isto reflete a lógica do extrativista e confirma ser uma boa estratégia de uso dos recursos florestais, pois tradicionalmente as estradas de seringueira são usadas para explorar o restante da área. Isto é possível porque a seringueira é a espécie mais abundante na área e também por ter a cadeia produtiva já consolidada. Apesar de nesta área (Boa Água) não ser realizado o mapeamento das trilhas utilizadas pelo extrativista, em adição por ser uma área pouco explorada, esta análise mostrou que a lógica dos produtores está correta, ou seja, é a de maior eficiência.

A figura 20 mostra as soluções de rotas virtuais geradas a partir do conjunto de dados de rede para o local de estudo da colocação Encontro I.

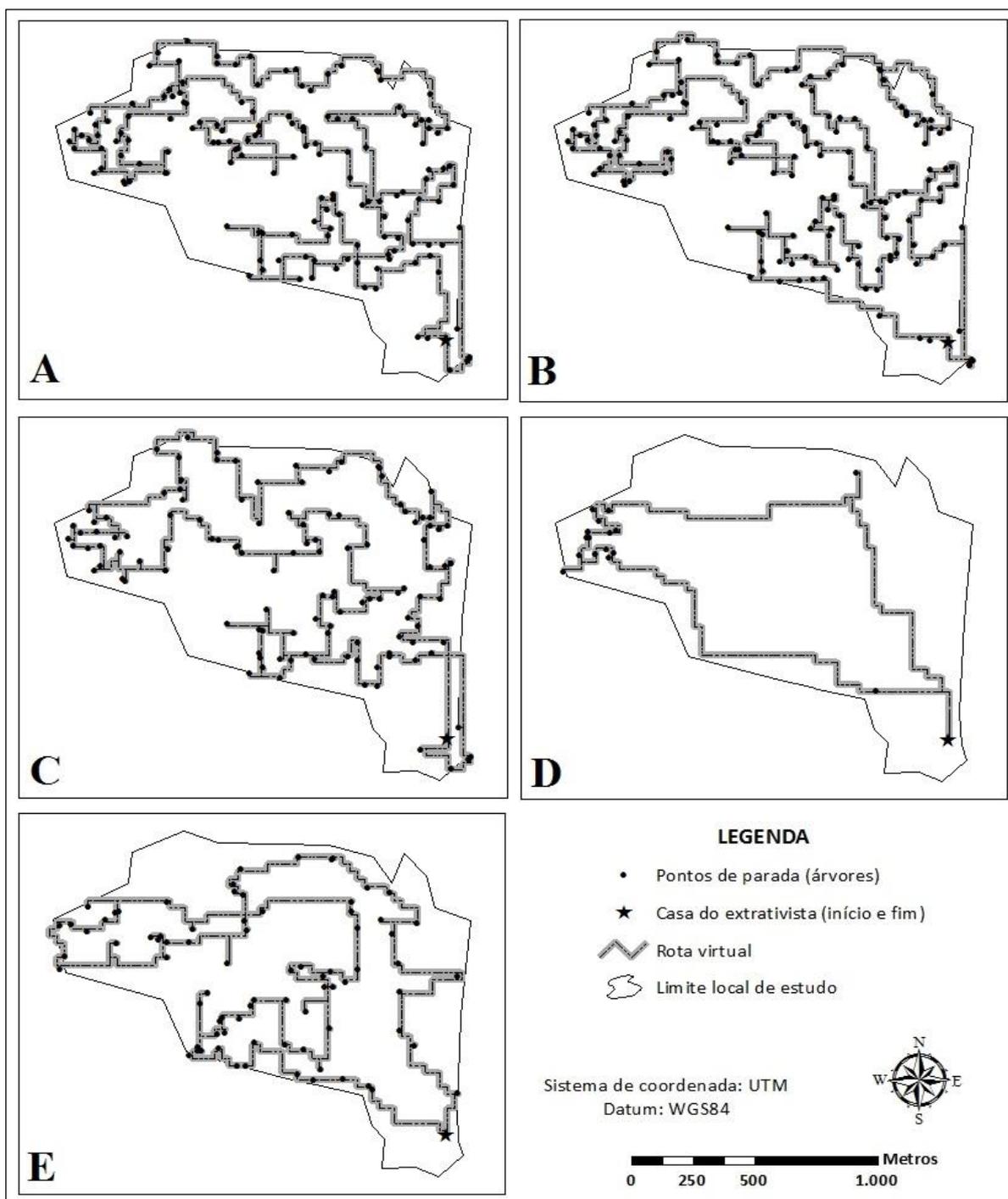


FIGURA 20 - Rotas virtuais construídas para o local de estudo na colocação Encontro I. Rotas virtuais para o cenário 1 (A); Rotas virtuais para o cenário 2 (B); Rotas virtuais para o cenário 3 (C); Rotas virtuais para o cenário 6 (D); Rotas virtuais para o cenário 7 (E).

As informações para cada cenário proposto considerando os fatores para o local de estudo da colocação Encontro I estão enumeradas na Tabela 9.

TABELA 9 - Informações registradas de cada cenário com a solução da rota virtual construída no local de estudo da colocação Encontro I.

CENÁRIO	ESPÉCIES	QUANTIDADE (ÁRVORES)	COMPRIMENTO DA TRILHA (Km)	CUSTO TOTAL
<b>Cenário 1</b>	Castanheira	153	16,65	1444
<b>Cenário 2</b>	Castanheiras produtivas	166	17,47	1467
<b>Cenário 3</b>	Castanheiras coletadas	120	14,19	1227
<b>Cenário 6</b>	Catuaba	16	6,10	528
<b>Cenário 7</b>	Jutaí	79	12,28	1180

Para este local (Encontro I) a diferença entre os cenários não teve destaque, exceto para os cenários 6 e 7 que possuem número de árvores menores, sendo que os cenários 1, 2 e 3 foram os mais semelhantes. Este resultado já era esperado, pois, trata-se de cenários envolvendo a espécie castanheira, indicando que na construção de trilhas para aproveitamento desta espécie não há diferenças perceptíveis entre castanheiras produtivas, todas mapeadas e pertencentes a classe de diâmetro maior de 50 cm. Talvez, o motivo pelo qual as rotas virtuais foram semelhantes seja a área relativamente pequena, não havendo muitas opções de áreas alternativas para a passagem da trilha otimizada ao considerar os cenários, destacado também para o outro local de estudo.

Na comparação entre as trilhas já existentes, com a rota virtual construída, representada pelo cenário 3 do local de estudo da colocação Encontro I, verificou-se qual o nível de equivalência de ambas (FIGURA 21). Aproximadamente, menos da metade (46,27%) das trilhas reais tiveram intersecção ao *buffer* de 30 metros das trilhas virtuais, significando que as trilhas estão dispostas em locais diferentes.

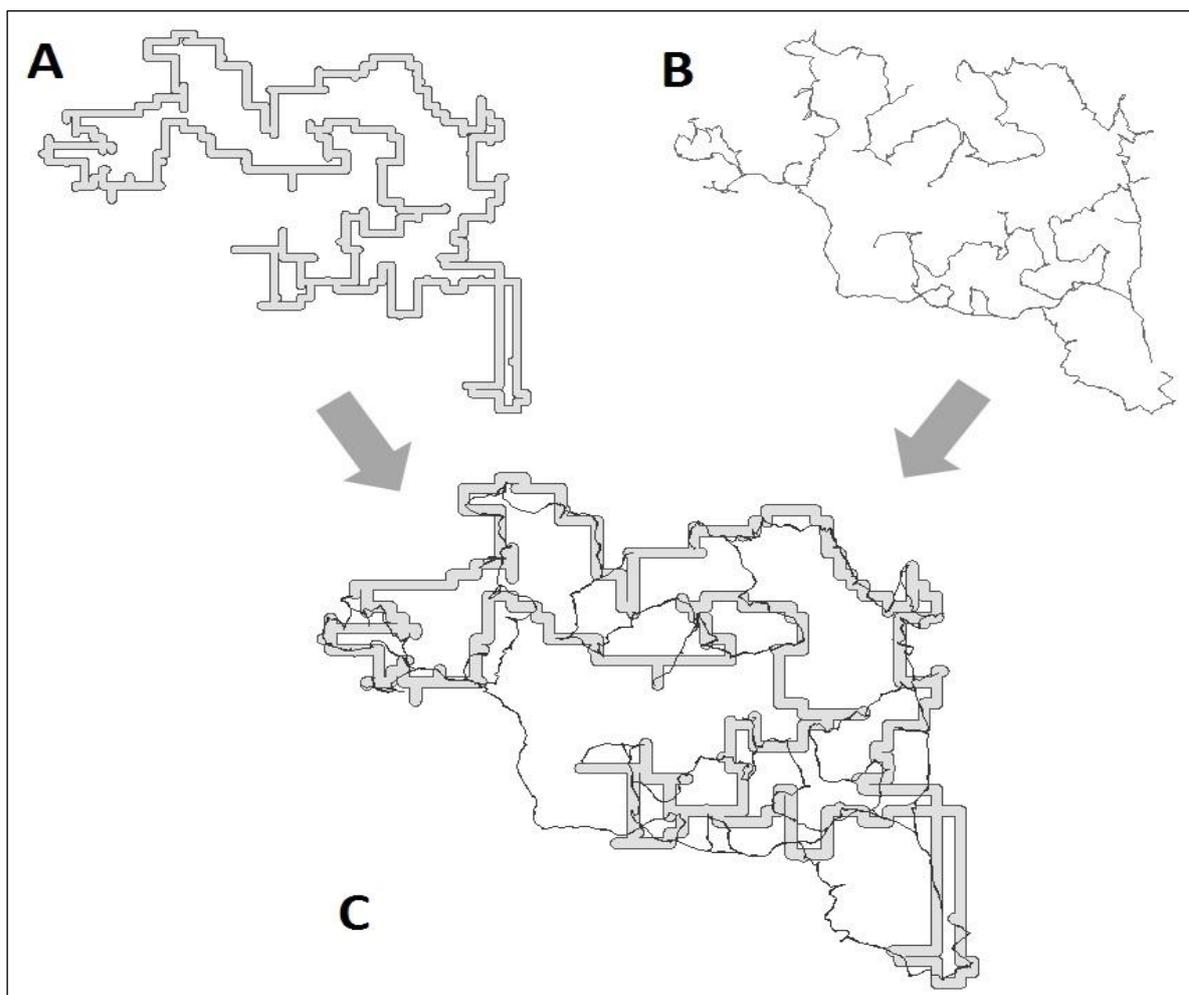


FIGURA 21 - Equivalência entre as trilhas reais e as virtuais dispostas no local de estudo. *Buffer* de 30 metros das trilhas virtuais construídas na colocação Encontro I (A); Linhas das trilhas reais mapeadas na colocação Encontro I (B); Intersecção entre as trilhas virtuais e reais na colocação Encontro I (C).

Em contrapartida, apesar da equivalência das trilhas não ser alta, alguns pontos podem ser destacados. Como já mencionado, verifica-se que as trilhas reais mapeadas estão bem ramificadas dentro do local de estudo, possuindo atalhos para a passagem de uma trilha principal a outra. Este pode ser um dos motivos por não serem totalmente equivalentes, considerando que a rota construída virtualmente possui a característica de criar uma rota única de acesso para todos os pontos e retorno ao ponto inicial, enquanto que as trilhas reais possuem segmentos que não abrangem árvores, apenas com a função de ligar uma trilha a outra.

Destaca-se também, com maior ênfase, que nesta área não foram mapeadas seringueiras e sabe-se que a trilha real também é baseada na exploração destas árvores, sendo, talvez, o motivo do desencontro das trilhas reais com as virtuais. Entretanto, pode ser considerada a escolha do extrativista como a melhor.

Em locais onde há pequenas diferenças entre o *buffer* e a trilha pode ser também atribuído ao fato da existência de barreiras que impeçam a passagem de uma trilha, como por exemplo, o tipo de vegetação local, que somente pode ser verificado em campo. Além disso, deve ser considerado o erro de precisão relacionado ao uso do receptor GNSS dentro da floresta, podendo ocasionar deslocamento da real localização das trilhas mapeadas.

Também, analisando visualmente (FIGURA 21C) pode ser notado que a disposição de ambas as trilhas está nas mesmas regiões ou zonas, o que ao verificar os dados de declividade, as mesmas estão evitando a passagem pela malha hidrográfica e áreas mais declivosas localizadas na parte central da colocação Encontro I. Portanto, na maioria das situações a trilha virtual optou pela mesma área no qual as trilhas reais estão dispostas. Este resultado corrobora com Lacerda (2011), onde ao realizar a comparação de uma linha de gasoduto já implementado com o traçado ótimo, o comportamento dos traçados foi ora coincidentes, ora distintos, porém em áreas próximas. Destaca-se a diferença destes dados pela dimensão maior da área de estudo e também por utilizar somente a ferramenta “*Spatial Analyst*”. Contudo, pode-se indicar que a metodologia do traçado virtual nesta comparação representa satisfatoriamente o conhecimento tácito.

No cenário 6 na colocação Encontro I com a espécie catuaba, nota-se que a solução do traçado distinguiu dos demais, destacando o segmento da trilha mais a esquerda (FIGURA 20D). Este segmento parece coincidir com a trilha do extrativista (FIGURA 21B) e pode ser uma passagem importante para ele ao acesso à região mais extrema da área, onde estão localizadas as catuabas. Fato destacado ao analisar os outros cenários, pois o acesso à parte mais extrema à esquerda fica muito mais longe se não houver esse caminho alternativo.

Foi verificado que o modelo de traçado da rota virtual se ajustou melhor quando a quantidade de pontos dispostos dentro da área foi menor e também quando a distância entre as árvores foi maior. Com a localização das árvores intercaladas a rota virtual tem mais opções para a escolha do melhor caminho, o que pode gerar uma solução mais otimizada. Também, como esperado, os comprimentos das trilhas foram diretamente proporcionais ao aumento do número de árvores (FIGURA 22), pois quanto maior a produção em nível quantitativo, maior é o esforço para seu aproveitamento.

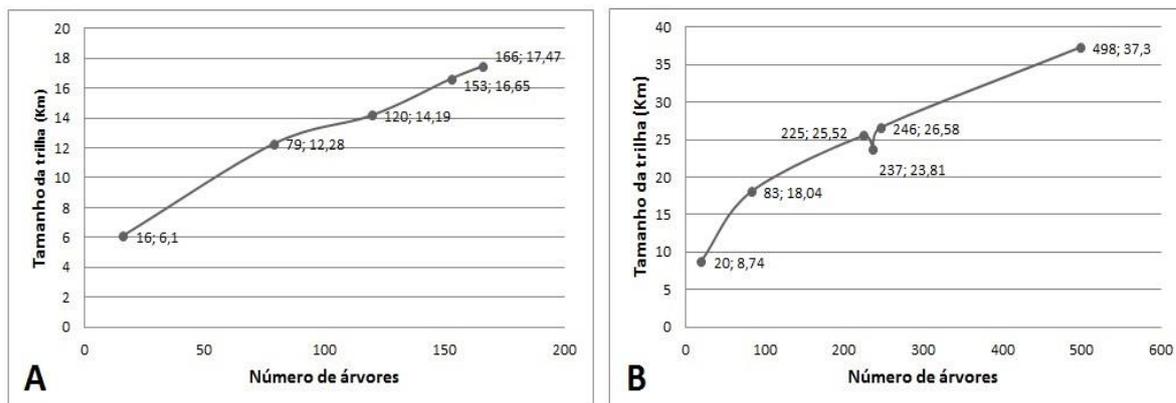


FIGURA 22 - Número de árvores e os comprimentos das trilhas virtuais para os diferentes cenários no local de estudo da colocação Encontro I (A); Número de árvores e os comprimentos das trilhas virtuais para os diferentes cenários no local de estudo da colocação Boa Água (B).

A principal limitação encontrada em toda a metodologia refere-se ao tamanho do pixel do MDE. Nota-se que as rotas ao serem construídas tiveram formato quadrático, não suavizado com as linhas topográficas do terreno, o que é justificado pelo formato e tamanho do pixel. Além disso, em locais em que existiu um aglomerado de árvores, dentro de um mesmo pixel ( $900\text{ m}^2$ ), o traçado não permitiu maior desempenho ao acesso a cada árvore. Para que funcionasse de maneira mais correta e coerente ao terreno e acesso a cada árvore, a diagonal do pixel teria que ser menor que a menor distância entre elas para que o trajeto pudesse ser individualizado na solução final. Entretanto, para isto é necessário a geração de um MDE muito mais acurado, como por exemplo, a partir de um mapeamento por LiDAR, o que exigiria recursos computacionais mais potentes. Mas, mesmo a demanda computacional sendo maior, os dados de mapeamento LiDAR pode ser um ponto de partida para o refinamento da metodologia.

Também, levando em conta o formato das trilhas construídas virtualmente, pode ser uma opção a edição da rota manualmente com base na percepção do usuário para otimizar locais onde pode ser encontrada uma solução mais viável para o problema ou tornando o traçado mais amigável visualmente. Ou ainda, o profissional pode visualizar e propor atalhos ligando segmentos de trilhas formando ramificações, pois talvez seja mais viável ao considerar uma trilha de extensão de mais de 30 km. Assim, o usuário é um importante elemento para a tomada de decisão, definindo os seus objetivos (FERNANDES, 2013), sendo a sua percepção indispensável.

A separação ou escolha de áreas prioritárias de manejo para PFNMs dentro de uma propriedade pode representar opção para solução. Assim, tendo em vista a dificuldade de

acesso a árvores próximas dentro de um mesmo pixel, a definição do acesso ótimo a zonas com quantidade de árvores dentro de um limite especificado é realizada sem prejuízo. Esta opção pode ser indicada para árvores que apresentam ocorrência em densidade alta e aglomerada, entretanto, para árvores com ocorrência mais rara ou mais dispersas a metodologia se aplica perfeitamente.

Com esta metodologia é possível também propor, com base na percepção do usuário, o traçado em que obtenha o melhor rendimento. Ao analisar o cenário 6 do local de estudo Encontro I (FIGURA 20D), percebe-se que grande parte da trilha construída (2,60 km) é percorrido somente para o acesso a uma única árvore, o que na prática poderia ser eliminada do processo produtivo.

Outro ponto a ser destacado é a atribuição dos pesos/custos na superfície como base para os custos do trajeto. A resolução para este tipo de problema pode sofrer alterações nos resultados ao usar diferentes parâmetros de avaliação, como por exemplo, os pesos atribuídos. Desta maneira, conforme a combinação de fatores e valores para as análises de acordo com as necessidades do usuário pode oferecer diferentes soluções para a construção das trilhas. Ideia compartilhada por Fernandes (2013) e Lacerda (2011), sendo que o resultado ligado diretamente aos pesos usados e aos métodos de reclassificação aplicados aos dados, alterando drasticamente os resultados quanto ao objetivo final e critérios utilizados. Assim, a continuidade do trabalho pode se dar com a comparação entre os vários fatores para traçados ótimos, escolhendo o melhor dentre todos os outros gerados.

Também, a caracterização mais detalhada da estrutura florestal e identificação das zonas e manchas de cada tipo pode ser uma importante melhoria para a metodologia. Da mesma forma, a caracterização de diferentes usos da terra que possam interferir no traçado dentro das áreas. Assim, pode ser indicado o aumento do banco de dados com atributos fisionômicos da estrutura florestal com maior detalhamento do ambiente florestal para a área objetivada. Assim, quanto mais completa for a base de dados, que representa as entradas e ponderações para a metodologia, mais preciso e próximo do real será o traçado virtual.

Outrossim, o desenvolvido de diferentes heurísticas para novas metodologias para atender mais ainda aos objetivos para resolver este tipo de problema. Liu e Wong (2011) desenvolveram uma metodologia com adaptações de algoritmos convencionais, aumentando o desempenho do algoritmo, com um método de simplificação da superfície de um modelo TIN. Apesar da eficácia da metodologia proposta pelos autores, tal otimização requer conhecimento mais aprofundado em projetos e implementações de algoritmos, envolvendo programação linear pura.

Muito já se conhece e se produz em pesquisa científica em estudo dos usos das ferramentas dessas extensões. Em contrapartida, a maioria dos problemas envolvem escalas industriais e problemas de roteamentos, ou ainda, uso de apenas uma ferramenta individualmente. Assim, verifica-se uma carência de trabalhos com a proposta de utilização no contexto florestal. Pode ser citado o trabalho de Marcatti (2013), onde desenvolveu uma metodologia baseada em caminhamento ótimo, com a modelagem de vários cenários para acesso ótimo a parcelas para o manejo florestal. Neste trabalho, o autor conclui que a metodologia desenvolvida otimiza o caminhamento entre estrada e parcelas de inventário florestal, além da sua implementação computacional permitir que seja feito de forma automatizada. Com isso, juntamente com os resultados da pesquisa, denota-se a importância e potencialidade da utilização destas ferramentas.

Cita-se como ponto positivo a forte ligação com a visualização gráfica da metodologia em ambiente SIG, proporcionando a interação do usuário em cada etapa do processo. Isso demonstra a vantagem dos métodos interativos que proporcionam diferentes formas de interagir com o usuário. A integração e tratamento destes dados em ambiente SIG proporciona o incentivo à utilização, seja para o meio acadêmico, empresarial e até na agricultura familiar. Esta maneira de tratamento e visualização é imprescindível, principalmente pelas características dos dados, facilitando o uso e aumentando a credibilidade ao resultado gerado e apresentado visualmente, permitindo ao usuário perceber todo o contexto espacial do caminhamento ótimo ou solução ótima (MARCATTI, 2013). Desta maneira, pode ser de extrema importância em novas áreas onde os produtores extrativistas querem explorar, como por exemplo, Terras Indígenas. Com o uso de mapas de custo é possível tomar a decisão da escolha do traçado com a implantação da rota em campo observando as devidas modificações.

Ainda, em análises mais complexas e resoluções de outro tipo de problemas da teoria dos grafos que não considere apenas o caminho mais rápido, os SIGs e as aplicações de análise de redes têm vantagens otimizadas que permitem maior detalhe e rigor, assim como a possibilidade de inclusão de várias variáveis e restrições na determinação do melhor caminho (CANAVARRO et al., 2014; SANTIAGO NETO et al., 2012). O módulo de planejamento de rotas ou traçados em ambiente SIG contribuí para um processo de navegação mais ágil e otimizado em áreas desconhecidas (OLIVEIRA et al., 2012). Ainda, a informação geográfica e o SIG apresentam-se como ferramentas importantes para as mais diversas ciências, principalmente quando aplicadas em situações em que a solução está fora do controle humano.

## 7 CONCLUSÕES

O MDT foi uma importante ferramenta para a análise visual dos locais de estudo, considerando que a metodologia de geração do modelo TIN proporciona o desenho das curvas de níveis mais próximo da realidade. Assim, foi possível visualizar a morfologia do terreno e, ainda, verificar se a imagem Raster gerada com a informação das declividades condizia com a visualização do MDT, representando os locais de estudos.

A superfície de custo gerada pela ferramenta “*Spatial Analyst Tools*” e posteriormente a análise de rede com “*Network Analyst Tools*” com os custos associados tiveram um bom desempenho na representação das declividades de cada local de estudo e a análise de rede para a solução do traçado ótimo. Desta forma, o traçado virtual seguiu pelo caminho que representava o menor custo associado a cada segmento somado ao percorrer.

As rotas virtuais para aproveitamento das seringueiras foram as que tiveram melhor desempenho, demonstrando a lógica eficiente de exploração de trilhas já construídas pelo produtor. A castanheira também se destacou, sendo que a rota virtual para exploração não apresentou diferenças significativas visuais entre os diferentes cenários considerando esta espécie.

As trilhas já dispostas na colocação Encontro I apresentaram-se otimizadas para o aproveitamento da espécie castanheira. Com isso, os extrativistas intuitivamente produzem trilhas otimizadas, no qual as simulações de traçado forma próximas da solução ótima considerada por esta pesquisa.

Contudo, após a aplicação do algoritmo combinando as duas ferramentas utilizadas, o traçado otimizado para acesso as árvores atendeu às expectativas do projeto, e, sobretudo, os objetivos pretendidos, uma vez que o traçado apresentado para os cenários obedeceu a morfologia do terreno considerada mais adequada através da superfície de custo. A geotecnologia com suas funcionalidades foi essencial para metodologia, exercendo uma opção para o planejamento de coleta em planos de manejo para PFNMs em áreas em que não há conhecimento prévio da localização dos recursos de interesse.

Assim, a contribuição científica de maior relevância desta pesquisa foi o desenvolvimento e validação de metodologia com base em ferramentas disponíveis em software SIG, servindo de apoio a critérios de decisões, mais especificamente, para o apoio em problemas de definição de traçado ótimo para acesso a recursos florestais em áreas de manejo.

## REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000)**. 2. ed. Rio Branco: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. 356 p.
- AHENKAN, A.; BOON, E. Commercialization of non-timber products in Ghana: Processing, packaging and marketing. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 8, n. 2, p. 962-969, Apr. 2010.
- \_\_\_\_\_. Non-Timber Forest Products (NTFPs): Clearing the confusion in semantics. **Journal Human of Ecology**, New Delhi, v. 33, n. 1, p. 1-9, Jan. 2011.
- ALVES, R. V. **Estudo de caso da comercialização dos produtos florestais não madeireiros (PFNM) como subsídio para restauração florestal**. 2010. 231 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- ALVES, R. V.; OLIVEIRA, P. R. S. D.; ALVARENGA, A. D. P.; ROCHA, T. G. F.; DANTAS, R. A. **Cadeia produtiva de produtos florestais não-madeireiros**. Viçosa, MG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2012. 40 p.
- ANTUNES, M. J. F. **Plano de voo apoiado em sistemas de informação geográfica**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008.
- APPASAMY, P. P. Role of Non-Timber Forest Products in a Subsistence Economy: The Case of a Joint Forestry Project in India. **Economic Botany**, Bronx, v. 47, n. 3, p. 258-267, Jul./Sep. 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4255520>>. Acesso em: 07 ago. 2015.
- APPLEGATE, D. L.; BIXBY, R. E.; CHVATAL, V.; COOK, W. **The traveling salesman problem: A computational study**. Princeton: Princeton University Press, 2006, 606 p. Disponível em:<<http://press.princeton.edu/chapters/s8451.pdf>>. Acesso em: 11 de ago. 2014.
- BALZON, D. R.; SILVA, J. C. G. L. da; SANTOS, A. J. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros – análise retrospectiva. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 363-371, set./dez. 2004.
- BARR, K. R.; KUS, B. E.; PRESTON, K. L.; HOWELL, S.; PERKINS, E.; VANDERGAST, A. G. Habitat fragmentation in coastal southern California disrupts genetic connectivity in the cactus wren (*Campylorhynchus brunneicapillus*). **Molecular Ecology**, v. 24, p. 2349-2363, 2015.
- BAURI, T.; PALIT, D.; MUKHERJEE, A. Livelihood dependency of rural people utilizing non-timber forest product (NTFPs) in a most deciduous Forest Zone, West Bengal, India. **International Journal of Advanced Research**, v. 3, n. 4, p. 1030-1040, April 2015.

BELCHER, B. M. What isn't an NTFP? **International Forestry Review**, Washington, v. 5, n. 2, p. 161-168, Jun. 2003.

BELCHER, B.; RUÍZ-PÉREZ, M.; ACHDIAWAN, R. Global Patterns and Trends in the Use and Management of Commercial NTFPs: Implications for Livelihoods and Conservation. **World Development**, New York, v. 33, n. 9, p. 1435-1452, Oct. 2005.

BENTES-GAMA, M. de M. **Importância de produtos florestais não-madeireiros (PFNM) para a economia regional**. Porto velho: Embrapa Rondônia, 2005. 6 p. (Circular técnica, 81).

BITTENCOURT, A. M. **O cultivo do Nin Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss): uma visão econômica**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. de C.; BATISTELLA, M.; CUSTÓDIO, D. de O.; TORRESAN, F. E. Panorama atual. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 2, p. 35-48.

BOUFLEUER, N. T. **Aspectos ecológicos de Andiroba (*Carapa guianensis* Aublet., Meliaceae), visando seu manejo e conservação**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Setor de Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2004.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas e de vegetações**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>> Acesso em: 29 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. IBGE: Rio de Janeiro, v. 28, 2013. 69 p.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo da Reserva Extrativista Chico Mendes**. Xapuri: IBAMA, 2006. 91 p.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da cobertura vegetal da Amazônia Sul Americana: Projeto Panamazonia II**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>> Acesso em: 29 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Ministério do Desenvolvimento Social. Ministério do Meio Ambiente. Portaria Interministerial MDA e MDS e MMA nº 239 de 21 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 138, p. 103-104, jun. 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de cobertura vegetal**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia/mapa-de-cobertura-vegetal>> Acesso em: 28 jan. 2015.

BRAZ, M. E.; PASSOS, C. A.; OLIVEIRA, L. C.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo e Exploração Sustentável de Florestas Naturais Tropicais: Opções, Restrições e Alternativas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. p. 42. (Documentos, 110).

BRITO, J.O. Produtos florestais não-madeireiros: um importante potencial nas florestas. **Boletim Informativo Associação dos Resinadores do Brasil ARESB**, Avaré, n. 47, jan./fev. 2003. Disponível em:< <http://www.ipef.br/tecprodutos/aresb001.asp>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

CALDERON, R. de A. **Mercado de produtos florestais não madeireiros na Amazônia brasileira**. 2013. 96 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

CANAVARRO, C.; CASTANHEIRA, I.; GAVINHOS, C.; LUPI, T. M. Ferramentas para descobrir o “melhor” caminho. In: ENCONTRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS, APLICAÇÕES SIG EM RECURSOS AGRO-FLORESTAIS E AMBIENTAIS, 5, 2014, Castelo Branco. **Anais...** Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, 2014. p. 37-38.

CARMO, L. F. Z. do; AMARAL, E. F. Geotecnologias aplicadas à conservação e uso sustentável da Amazônia. In: WORKSHOP SOBRE ÁREAS DEGRADADA DA AMAZÔNIA, 2., 2012, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, 2012. p. 54-73.

CARVALHAES, M. A.; OLIVEIRA, R. E. de; VEDOVETO, M.; SANTOS, J. D. dos; MAZZELA, P.; KORMAN, V. As espécies vegetais e seus respectivos produtos provenientes da Mata Atlântica. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007. p. 1-2.

CARVALHO, A. C. A. de. **Economia dos Produtos Florestais Não-Madeireiros no estado do Amapá: sustentabilidade e desenvolvimento endógeno**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CASTRO, D. A. de. Práticas e técnicas com Produtos Florestais Não Madeireiros: um estudo de caso com famílias no pólo Rio Capim do Proambiente. **Amazônia: Ci & Desenvolvimento**, Belém, v. 2, n. 4, p. 159-175, jan./jun. 2007.

CHAGAS, C. S.; FERNANTES FILHO, E. I; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.

CYMERYYS, M.; WADT, L.; KAINER, K.; ARGOLO, V. Castanheira *bertholletia excelsa* H.&B. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e planta úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR, Imazon, 2005. p. 61-73.

DAWSON, I. K.; LEAKEY, R.; CLEMENT, C. R.; WEBER, J. C.; CORNELIUS, J. P.; ROSHETKO, J. M.; VINCENTI, B. KALINGANIRE, A.; TCHOUNDJEU, Z.; MASTER, E.; JAMNADASS, R. The management of tree genetic resources and the livelihoods of rural communities in the tropics: Non-timber forest products, smallholder agroforestry practices and tree commodity crops. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 333, p. 9-21, Febr. 2014.

DE LA PEÑA, G.; ILLSLEY, C. **Los productos forestales no maderables: su potencial económico, social y de conservación.** Disponível em: <<http://www.jornada.unam.mx/2001/08/27/eco-a.html>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

DIAS, J. M. **A aplicação de geotecnologias na gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas.** 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DIJKSTRA, E. W. Anote on two problems in connexion with graphs. **Numerische Mathematik**, Amsterdam, v. 1, p. 269-271, Jun. 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2006. 306 p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS® Desktop: release 10.3. **Programa para computador.** Redlands, CA, 2014.

\_\_\_\_\_. **ArcGIS Desktop Web Help.** Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/desktop/>> Acesso em: 01 fev. 2016.

FACHINELLO, D. T. **Produtos Florestais Não-Madeiráveis (PFNM) no Estado de Rondônia e as Visões sobre Desenvolvimento e Sustentabilidade e Extrativismo.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Núcleo de Ciências Sociais Aplicadas, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2010.

FERNANDES, S. F. **Desenvolvimento de ferramentas de apoio multicritério à decisão em problemas de localização.** 2013. 335 f. Tese (Doutorado em Estatística e Investigação Operacional) – Departamento de Estatística e Investigação Operacional, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

FERREIRA JUNIOR, O. GPS TrackMaker® para Windows® versão profissional 4.9. **Programa para computador.** Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <[www.gpstm.com.br](http://www.gpstm.com.br)>. Acesso em: 26 out. 2015.

FIEDLER, N. C.; SOARES, T. S.; SILVA, G. F. da. Produtos Florestais Não Madeireiros: Importância e Manejo Sustentável da Floresta. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 10, n. 2, p. 263-278, jul./dez. 2008. Disponível em: <<http://200.201.10.18/index.php/RECEN/article/view/712/885>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

FIGUEIREDO, E. O. **Manejo Florestal Não-Madeireiro em Unidade de Conservação de Uso Direto.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. p. 2.

\_\_\_\_\_. **Modelflora, Modelo Digital de Exploração Florestal.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2008, p. 2. (Folheto).

FIGUEIREDO, D. R. Introdução a Redes Complexas. In: SOUZA, A. F. de S.; MEIRA JUNIOR, W. (Org.). **Atualizações em Informática.** Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2011. p. 303-

358. Disponível em <<http://www.land.ufrj.br/~daniel/JAI-RC/JAI-RC.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2016.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. D. (Ed.). **Manejo de precisão em florestas tropicais**: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 183 p.

FIGUEIREDO, E. O.; LIMA, Q. S. de. **Coefficientes técnicos para o inventário e manejo florestal com emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2008. p. 19. (Comunicado Técnico).

FOLHARINI, S. de O.; OLIVEIRA, R. C. de; FURTADO, A. L. dos S. Metodologia para conversão de Modelo Digital de Elevação em Modelo Digital do Terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVII., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 1761-1767.

FURTADO, A. L. dos S.; RODRIGUES, C. A. G.; TÔSTO, S. G. Satélites e Produtos. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 1, p. 15-34.

GANESAN, B. Extraction of Non-Timber Forest Products, including Fodder and Fuelwood, in Mudumalai, India. **Economic Botany**, Bronx, v. 47, n. 3, p. 268-274, Jul./Sep. 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4255521>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

GODOY, F.; LUBOWSKI, R. Guidelines for the Economic Valuation of Nontimber Tropical-Forest Products. **Current Anthropology**, Chicago, v. 33, n. 4, p. 423-433, Aug./Oct. 1992. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2743871>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

GONZÁLEZ, D. V. **Los Productos Naturales No Maderables (PNNM)**: estado del arte de la investigación y otros aspectos. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2003, p. 77. (Document, 1).

GUERRA, F. G. P. de Q. **Contribuição dos Produtos Florestais Não Madeireiros na geração de renda na Floresta Nacional do Tapajós – Pará**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GUNATILLEKE, I. A. U. N.; GUNATILLEKE, C. V. S.; ABEYGUNAWARDENA, P. Interdisciplinary Research towards Management of Non-Timber Forest Resources in Lowland Rain Forests of Sri Lanka. **Economic Botany**, Bronx, v. 47, n. 3, p. 282-290, Jul./Sep. 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4255523>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

HALL, P.; BAWA, K. Methods to Assess the Impact of Extraction of Non-Timber Tropical Forest Products on Plant Populations. **Economic Botany**, Bronx, v. 47, n. 3, p. 234-247, Jul./Sep. 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4255517>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

HOFFMANN, E. H.; AEBI, K. Z. ; BORTOLETO, S. Sistema de Roteirização Urbana. **Publicação UEPG**, Ponta Grossa, v. 4, p. 1-12, 2006. Disponível em <<http://www.deinfo.uepg.br/~conged/artigo1.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2016.

HOMMA, A. K. **Amazônia**: os limites da opção extrativa. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 159, p. 70-73, abr. 2000.

\_\_\_\_\_. **A dinâmica do extrativismo vegetal na Amazônia**: uma interpretação teórica. Belém: Embrapa CPATU, 1990. p. 39. (Documentos, 53).

\_\_\_\_\_. **Extrativismo vegetal na Amazônia**: limites e possibilidades. Brasília: Embrapa – SPI, 1993. 202 p.

IMBIRIBA, N. Biodiversidade e Pobreza: Uma Questão de Decisão Política. In: MELLO, A. F. de. (Org.). **O Futuro da Amazônia**: Dilemas, Oportunidades e Desafios no Limiar do século XXI. Belém: EDUFPA, 2002, p. 171-178. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/secex/sti/indbrasopodesafios/coletanea/ofutamazonia/09NazareImbiriba.pdf>> Acesso em: 30 jan. 2015.

KUSTERS, K.; ACHDIAWAN, R.; BELCHER, B.; PÉREZ, M. R. Balacing development and conservation? An assessment of livelihood and environmental outcomes of Nontimber Forest Product Trade in Asia, Africa, and Latin America. **Ecology and Society**, Canada, v. 11, n. 2, Dec. 2006.

LACERDA, A. F. **Análise e estudo comparativo da escolha de melhor traçado para o mineroduto da Ferrous Resources Brasil S/A**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

LAURO, A.; SEIXAS, R. B.; TORRES, L. Caminho Mínimo em Matrizes de Custo Dinâmico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, IV, 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SPOLM, 2001, p. 1-13. Disponível em <[http://w3.impa.br/~rbs/pdf/spolm\\_adriano.pdf](http://w3.impa.br/~rbs/pdf/spolm_adriano.pdf)> Acesso em: 01 fev. 2016.

LEITE, A. C. P. **Neoextrativismo e desenvolvimento no estado do Acre**: o caso do manejo comunitário do óleo de copaíba na Reserva Extrativista Chico Mendes. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LIU, L.; WONG, R. C. W. Finding shortest path on land surface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, 2011, New York. **Anais...** New York: ACM SIGMOD, 2011. p. 433-444.

LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. de M. C. Aplicação do MDT/SRTM/NASA para detalhamento geomorfológico no semi-árido. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., 2006, Aracajú. **Anais...** Aracajú: Geonordeste, 2006, p. 1-6.

LÓPEZ, C.; SHANLEY, P.; FANTINI, A. C. (Ed.) **Riquezas da Floresta**: Frutas, Plantas Medicinais e Artesanato na América Latina. Tradução de Alfredo Celso Fantini. Indonésia:

CIFOR / DFID / EC / Overbrook Foundation, 2008. 154 p. Tradução de: Riches of the forest: fruits, oils, remedies and handicrafts.

MACEDO, R. de C.; ALMEIDA, C. M. de; SANTOS, J. R. dos. Valoração ambiental e geotecnologias: integração entre ciências sociais e geociências. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, XI, 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2014, p. 1-10.

MACHADO, F. S. **Manejo de produtos florestais não madeireiros**: um manual com sugestões para o manejo participativo em comunidades da Amazônia. Rio Branco, AC: PESACRE; CIFOR, 2008. 105 p.

MARCATTI, G. E. **Caminhamento ótimo para acesso às parcelas de inventário florestal**. 2013. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

MARQUES, A. H. **PPP em tempo real com estimativas das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS**. 2012. 228 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G., AQUINO, M.; ROSA, G. P. D. S. Efeitos de segunda e terceira ordem da ionosfera no posicionamento GNSS no Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 357-374, 2009.

MARSHALL, E.; SCHRECKENBERG, K.; NEWTON, A. C. **Comercialización de Productos Forestales No Maderables**: factores que influyen en el éxito. Conclusiones del estudio de México y Bolívia e implicancias políticas para los tomadores de decisión. Cambridge: Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA, 2006. 152 p.

MENEZES, D. S.; SIENA, O.; RODRÍGUEZ, T. D. M. Ambientalismo e concepções de RESEX, Extrativismo e conhecimento no ICMBio na Amazônia Legal. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 451-479, maio/ago. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/read/v17n2/06.pdf>> Acesso em: 19 set. 2015.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistema de Informações Geográficas**. 4 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 399 p.

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

MYERS, N. Tropical Forests: Much More Than Stocks of Wood. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 4, n. 2, p. 209-221, May 1988. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2559660>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

NEWTON, P.; PERES, C. A.; DESMOULIÈRE, S. J. M.; WATKINSON, A. R. Cross-scale variation in the density and spatial distribution of an Amazonian non-timber forest resource. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 276, p. 41-51, Apr. 2012a.

NEWTON, P.; WATKINSON, A. R.; PERES, C. A. Spatial, Temporal, and Economic Constraints to the Commercial Extraction of a Non-timber Forest Product: Copaíba (*Copaifera* spp.) Oleoresin in Amazonian Reserves. **Economic Botany**, Bronx, v. 66, n. 2, p. 165-177, May 2012b.

NUNES, E. J. da S.; SILVA, E. P. da; SOUZA, E. de; FILHO, J. A. da R.; SILVA, D. S. N. da. Geotecnologias no diagnóstico de conflitos de uso do solo de uma microbacia do município de Alta Floresta – MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 689-697, jul./set. 2015.

OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; FILHO, A. C. P.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, A. A.; MELOTTO, A. M. Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 595-602, 2015.

OLIVEIRA, H. C. de; OCANHA, E. K.; PUGLIESI, E. A.; DECANINI, M. M. S. Desenvolvimento de um módulo de planejamento de rotas para um sistema de navegação e guia de rotas em automóveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, IV, 2012, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 2-9.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Consulta de Expertos Sobre Productos Forestales No Madereros para America Latina y El Caribe**. Santiago: FAO, 1994. p. 339. (Serie Forestal, 1).

\_\_\_\_\_. **Dessarrollo de Productos Forestales no Madereros em America Latina y El Caribe**. Santiago: FAO, 1996. p. 70. (Serie Forestal, 5).

\_\_\_\_\_. **Sobre a RIO+20**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/sobre/Organização das Nações Unidas>> Acesso em: 12 dez. 2015.

PATERLINI, E. M. **Geotecnologias aplicadas para a localização estratégica de uma indústria de painéis de madeira no estado do Espírito Santo, Brasil**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

PAULA, M. S. **Cenários futuros para o transporte de produtos florestais não madeireiros no interior do estado do Amazonas**. 2009. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PEDROZO, E. Á.; SILVA, T. N. da; SATO, S. A. da S.; OLIVEIRA, N. D. A. de O. Produtos Florestais Não Madeiráveis (PFNMS): as Filières do Açaí e da Castanha da Amazônia. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 3, n. 2, p. 88-112, mai./ago. 2011.

PETERS, C. M.; GENTRY, A. H.; MENDELSON, R. O. Avaliação de uma floresta tropical úmida na Amazônia. **Pará Desenvolvimento**, Belém, n. 25, p. 91-94, jan./dez. 1989.

PILZ, D.; MOLINA, R.; LIEGEL, L. Biological Productivity of Chanterelle Mushrooms in and near the Olympic Peninsula Biosphere Reserve. **Ambio Special Report**, Olympic

Peninsula, n. 9, p 8-13, Sept. 1998. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/25094552>>. Acesso em: 12 set. 2014.

PINTO, M. S.; CAMARGO, P. D. O.; MONICO, J. F. G. Influência da combinação de dados GPS e GLONASS no georreferenciamento de imóveis rurais. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, v. 19, n. 1, p 135-151, 2013.

PINTO, S. dos A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 30-37, 2005.

QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAÚJO, L. S. de. Sensoriamento Remoto. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 4, p. 61-80.

REGO, J. F. **Amazônia: do extrativismo ao neoextrativismo**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 25, n. 146, p. 62-65, abr.1999.

RUIZ-PÉREZ, M.; BELCHER, B.; ACHDIAWAN, R.; ALEXIADES, M.; AUBERTIN, C.; CABALLERO, J.; CAMPBELL, B.; et al. Markets drive the specialization strategies of forest peoples. **Ecology and Society**, Canada, v. 9, n. 2, Sept. 2004.

SAITO, N. S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre – Espírito Santo**. 2011. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

SANTIAGO NETO, B. J.; SENA, F. T. N. de S.; AREIA, K. F. de. O uso da ferramenta *Network analyst* na criação de uma rede de estacionamento rotativos no centro da cidade de Teresina, Piauí. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, VII, 2012, Palmas, TO. **Anais...** Palmas, TO: CONNEPI, 2012. p. 1-4.

SANTOS, A. J. dos; HILDEBRAND, E.; PACHECO, C. H. P.; PIRES, P. de T. de L.; ROCHADELLI, R. Produtos não madeireiros: conceituação, classificação, valoração e mercados. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 215-224, mar. 2003.

SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Sustainable management of non-timber forest resources**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2001. p. 30. (Technical Series, 6).

SHANLEY, P.; PIERCE, A.; LAIRD, S. **Além da Madeira: a certificação de produtos não-madeireiros**. Indonésia: Centro de Pesquisa Florestal Internacional, 2005. 153 p.

SILVA, J. de A. **Análise quali-quantitativa da extração e do manejo dos recursos florestais da Amazônia brasileira: uma abordagem geral e localizada (Floresta Estadual do Antimari-AC)**. 1996. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SOARES, T. S.; FIEDLER, N. C.; SILVA, J. A.; GASPARINI JÚNIOR, A. J. Produtos Florestais Não Madeireiros. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 11, p. 1-7, fev. 2008. Disponível em: < [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/nGOpehD8g5trVs6\\_2013-4-29-8-50-37.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/nGOpehD8g5trVs6_2013-4-29-8-50-37.pdf) > Acesso em: 19 set. 2015.

TOYAMA, F. A. M. **O Algoritmo do Caminho Mínimo em Apoio à Logística**. Disponível em <[http://dflopsistemas.googlecode.com/svn/trunk/Documentos/materiais\\_tcc/TCC\\_1Semestre/003%20-%20Fabio\\_O\\_Algoritmo\\_do\\_Caminho\\_Minimo\\_em\\_Apoio\\_a\\_Logistica.pdf](http://dflopsistemas.googlecode.com/svn/trunk/Documentos/materiais_tcc/TCC_1Semestre/003%20-%20Fabio_O_Algoritmo_do_Caminho_Minimo_em_Apoio_a_Logistica.pdf)> Acesso em: 02 fev. 2016.

TÔSTO, S. G.; FURTADO, A. L. dos S.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M.; VICTORIA, D. de C. Tendências Mundiais. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 3, p. 49-60.

UICN. União Internacional para Conservação da Natureza. **Reservas Extrativistas**. Cambridge: UINC Reino Unido, 1995. 143 p.

VÁZQUEZ, X. P. G. Sistemas de Posicionamento Global. **Revista Galega do Ensino**, n. 22, p. 153-157, 1999.

VICTORIA, D. de C.; GARÇON, E. A. M.; OLIVEIRA, B. P. de; SILVA, G. B.; GOMES, D. Geoprocessamento. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 6, p. 93-106.

WADT, L. H. de O.; KLIMAS, C. A.; AZEVEDO, V. R.; SILVA, A. C. C.; CORREIA, M. F.; KAINER, K. A. Produção de sementes de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) no período de 2004 a 2008, em dois ambientes de Floresta Natural, em Rio Branco, Acre. In: SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA, 1., 2008, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2008. p. 76-81.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excels* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 211, p. 371-384, Febr. 2005.

WICKENS, G. E. **Management issues for development of non-timber forest products**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/u2440e/u2440e02.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

ZIVIANI, N. **Projetos de Algoritmos: com implementação em PASCAL e C**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 639 p.