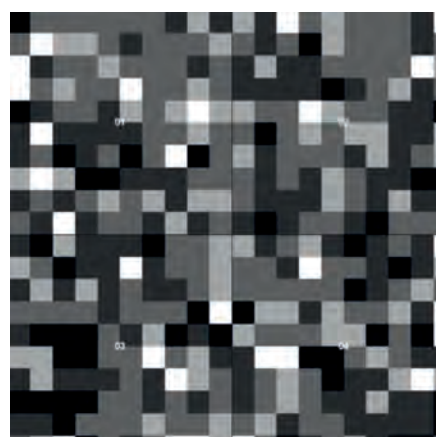
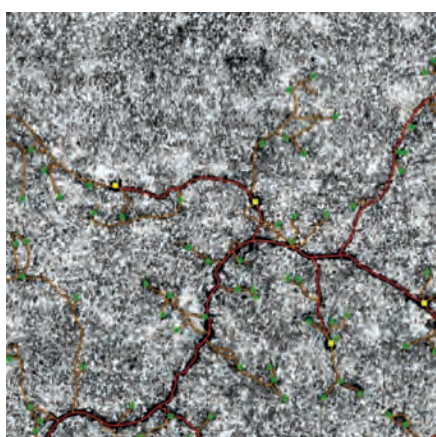
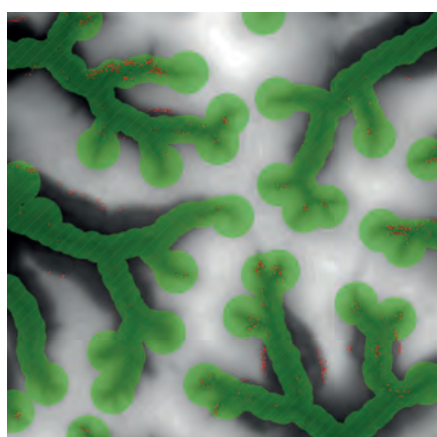
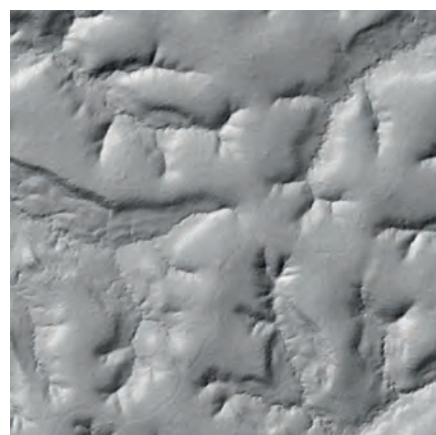
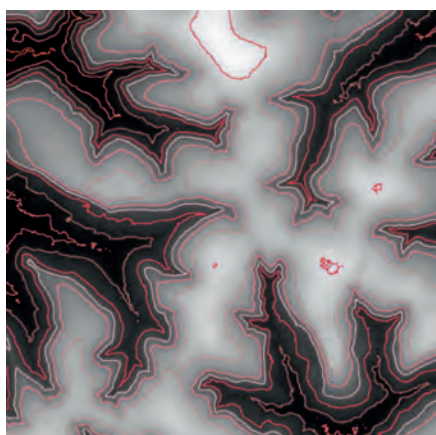
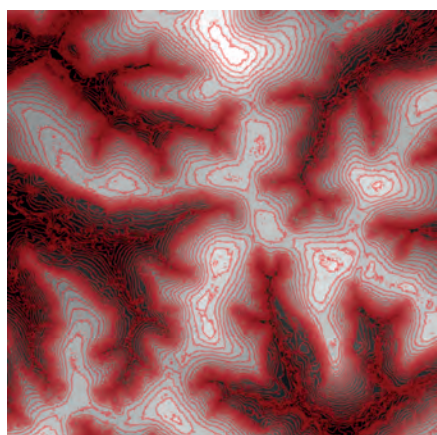
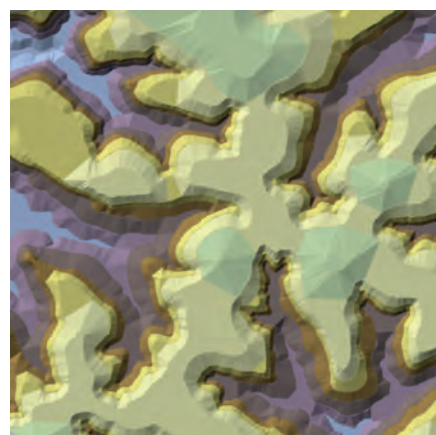
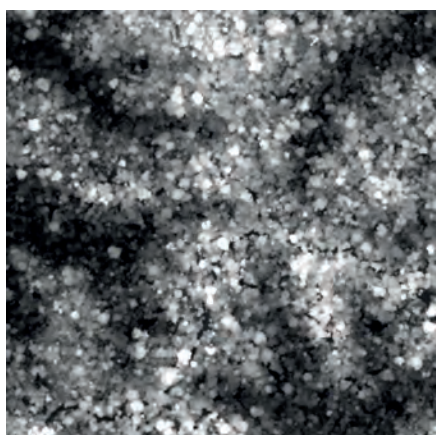
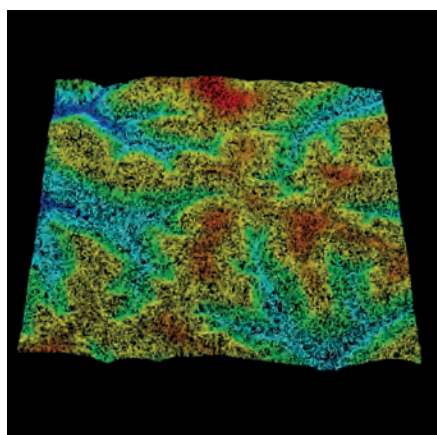


Uso do Lidar como Ferramenta para o Manejo de Precisão em Florestas Tropicais



*Marcus Vinicio Neves d'Oliveira
Evandro Orfanó Figueiredo
Daniel de Almeida Papa*

Uso do Lidar como Ferramenta para o Manejo de Precisão em Florestas Tropicais

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Uso do Lidar como Ferramenta para o Manejo de Precisão em Florestas Tropicais

*Marcus Vinicio Neves d'Oliveira
Evandro Orfanó Figueiredo
Daniel de Almeida Papa*

Embrapa
Brasília, DF
2014

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre

Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho
Caixa Postal 321
CEP 69900-056 Rio Branco, AC
Fone: (68) 3212-3200
Fax: (68) 3212-3284
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Acre

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José Marques Carneiro Júnior*

Secretária-executiva: *Claudia Carvalho Sena*

Membros: *Carlos Mauricio Soares de Andrade, Clarissa Reschke da Cunha, José Tadeu de Souza Marinho, Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Luciano Arruda Ribas, Patrícia Silva Flores, Rodrigo Souza Santos, Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos*

Supervisão editorial e revisão de texto

Claudia Carvalho Sena
Suely Moreira de Melo

Normalização bibliográfica

Renata do Carmo França Seabra

Projeto gráfico, editoração eletrônica, tratamento das ilustrações

Bruno Imbroisi

1ª edição

1ª impressão (2014): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Acre.

d'Oliveira, Marcus Vinício Neves.

Uso do Lidar como ferramenta para o manejo de precisão em florestas tropicais / por Marcus Vinício Neves d'Oliveira, Evandro Orfanó Figueiredo, Daniel de Almeida Papa. – Brasília, DF : Embrapa, 2014.

130 p. : il. color. ; 21 cm x 29,7 cm.

ISBN 978-85-7035-432-7

1. Geotecnologia. 2. Manejo florestal. 3. Manejo de precisão.
4. Plano de manejo florestal. 5. Lidar. 6. Perfilamento a laser.
7. Florestas tropicais. 8. Floresta Estadual do Antimary – Acre.
I. Figueiredo, Evandro Orfanó. II. Papa, Daniel de Almeida. III. Título.

CDD (21. ed.) 621.367

@Embrapa 2014

Autores

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira

Engenheiro florestal, Ph.D. em Manejo Florestal, pesquisador da Embrapa Acre,
Rio Branco, AC

Evandro Orfanó Figueiredo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências de Florestas Tropicais, pesquisador da
Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Daniel de Almeida Papa

Engenheiro florestal, analista da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Apresentação

O uso racional dos recursos naturais e, em particular, a conservação das florestas amazônicas estão no centro das discussões das medidas mitigadoras necessárias para minimizar os efeitos das mudanças climáticas. Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de políticas públicas para o uso sustentável dos ecossistemas florestais da Amazônia. A implementação dessas políticas passa necessariamente pelo maior conhecimento de técnicas de uso e manejo, associadas ao monitoramento efetivo das florestas tropicais, viabilizando a manutenção desses ecossistemas.

Apesar de todos os esforços das diferentes esferas governamentais no Brasil, alcançando na última década reduções substanciais nas taxas anuais de desmatamento, as perdas de florestas por causas naturais e antrópicas ainda são bastante elevadas. Parte da solução vem pela viabilização de técnicas de manejo florestal que por um lado barateiem os custos de elaboração e execução dos planos de manejo florestal (PMF), aumentando a competitividade dessa atividade. Por outro lado, também é necessário o desenvolvimento de tecnologias que facilitem o monitoramento desses PMF não apenas pela redução de custos, mas também pelo aumento da eficiência das ferramentas disponíveis aos técnicos da administração pública, em particular dos órgãos de fiscalização e controle.

A equipe da Embrapa Acre vem contribuindo, ao longo das últimas duas décadas, para o desenvolvimento de técnicas de manejo florestal adequadas a pequenos e grandes produtores, promovendo a diminuição de custos e aumento dos rendimentos das operações florestais.

Nos últimos anos, especialmente pelo uso de geotecnologias, foi possível desenvolver o Modeflora, um conjunto de ferramentas e de técnicas que constituem uma metodologia inovadora de manejo digital de precisão que tem sido adotada por empresários do setor florestal e órgãos governamentais estaduais e federais na gestão de PMF.

Com este livro damos mais um passo à frente no manejo de precisão pela incorporação do perfilamento a laser (Lidar – light detection and range) como ferramenta de planejamento e monitoramento de florestas tropicais.

Ao longo do livro é descrita em detalhe a metodologia de elaboração de modelos tridimensionais do terreno de elevada precisão que permitem ao usuário planejar todas as operações relativas ao manejo florestal, monitorar os impactos dessas operações e a estimativa de biomassa, volume e estoques de carbono das florestas amostradas pelo Lidar.

Os modelos apresentados no livro foram construídos e validados em um plano de manejo florestal administrado pelo governo do Estado do Acre, na Floresta Estadual do Antimary, por meio de uma parceria entre Embrapa, Serviço Florestal Americano e governo do Estado do Acre.

O formato de apresentação do livro em passo a passo permite que mesmo usuários sem conhecimento profundo dos softwares envolvidos na construção dos modelos sejam capazes de desenvolvê-los. Da mesma forma, a disponibilização de amostras de dados brutos Lidar, linhas de comando e de todos os modelos produzidos permite que o livro seja utilizado em cursos de graduação ou pós-graduação contribuindo na formação profissional desses alunos.

Eufran Ferreira do Amaral
Chefe-Geral da Embrapa Acre

Prefácio

O planejamento da estrutura de apoio (rede de estradas, pontes e pátios de estocagem) e das operações florestais em planos de manejo em florestas tropicais é bastante limitado pela falta de informações precisas sobre a topografia e rede de drenagem das áreas manejadas. Da mesma forma, o monitoramento da perda de biomassa e dos impactos produzidos pela atividade florestal é caro e difícil de obter somente por meio de sensores remotos tradicionais (ex. imagens de satélite).

O Lidar é uma ferramenta que possui uma grande variedade de aplicações, sendo capaz de desenvolver modelos tridimensionais do terreno de alta resolução. Os produtos aqui descritos podem ser adaptados para estudos em diversas áreas do conhecimento (ex. de estudos ecológicos à mineração). No entanto, da forma como foi elaborado, este livro é direcionado principalmente a profissionais do setor florestal que atuam na área de gestão de meio ambiente, elaboração, análise e acompanhamento de planos de manejo florestal. Nosso objetivo é oferecer a esses profissionais uma descrição de como processar e gerar modelos digitais do terreno a partir de dados brutos de Lidar aerotransportado.

As metodologias para a obtenção dos produtos são descritas no formato passo a passo com a utilização de programas de acesso livre e comerciais. O processamento primário dos dados brutos do Lidar é feito com o programa Fusion produzido pelo Serviço Florestal Americano (software livre) e os modelos digitais do terreno produzidos manipulados no programa ArcGis.

Nos dois primeiros capítulos apresentamos uma breve introdução aos fundamentos do Lidar e suas aplicações florestais e uma descrição dos programas acessórios usados no processamento dos dados brutos Lidar. Não foi nosso objetivo “ensinar” aos leitores como utilizar todos os recursos desses programas, mas apenas informá-los dos comandos essenciais necessários para a geração dos produtos que fazem parte do livro.

Nos capítulos seguintes apresentamos de forma detalhada a construção de modelos digitais do terreno úteis para o planejamento e monitoramento de planos de manejo florestal e a estimativa de parâmetros estruturais da floresta (área basal, volume e biomassa). Os modelos apresentados seguem a legislação florestal brasileira e são construídos por meio de adaptações de modelos já publicados.

Os dados Lidar que acompanham o livro são amostras de dois levantamentos feitos em uma área de concessão florestal na Floresta Estadual do Antimary, no Estado do Acre, nos anos de 2010 e 2011, com recursos do programa internacional do Serviço Florestal Americano. Acompanham os dados Lidar as linhas de comando utilizadas e os modelos produzidos em cada capítulo. Isso permite ao usuário manipular dados Lidar e comparar os resultados obtidos com os fornecidos. Dessa forma, este livro também poderá ser utilizado em universidades como parte do conteúdo de disciplinas regulares ou cursos de extensão.

Esperamos com isso contribuir na formação de profissionais e alunos de cursos afins. Acreditamos que o uso do Lidar, como ferramenta no manejo de florestas tropicais, será cada vez mais comum no futuro e que o aprendizado das técnicas aqui contidas irá contribuir para o aperfeiçoamento da elaboração, análise, execução e monitoramento de planos de manejo, por consequência promovendo o uso racional e sustentável das nossas florestas.

Sumário

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Fundamentos do Lidar e suas aplicações em florestas tropicais | 19 |
| 1.1. Breve histórico do Lidar | 19 |
| 1.2. Funcionamento do sistema Lidar | 20 |
| 1.3. Principais empregos do Lidar na engenharia florestal | 21 |
| | |
| 2. Programas acessórios para o processamento dos dados brutos Lidar | 26 |
| 2.1. MS-DOS | 26 |
| 2.2. Bloco de notas | 27 |
| 2.2.1. Criação, edição e registro de arquivos .BAT de linhas de comando do Fusion | 27 |
| 2.2.2. Criação de arquivos de texto de referência para dados Lidar a serem utilizados no processamento de modelos digitais do terreno no Fusion | 27 |
| 2.3. Uso de Software Livre Fusion/Lidar Data Viewer (LDV) | 28 |
| 2.3.1. Geração de imagens de referência a partir de amostras de dados obtidos com sistema Lidar (arquivos .LAS ou .LDA) | 28 |
| 2.3.2. Adição de dados brutos (arquivos .LAS e .LDA) no Fusion | 31 |
| 2.3.3. Visualização de amostra de dados Lidar em três dimensões | 32 |
| 2.4. Exportação de modelos digitais do terreno (DTM) para ArcGis | 34 |
| 2.4.1. Conversão de arquivos DTM para o formato ASCII | 34 |
| 2.4.2. Definição do sistema de projeções de coordenadas em arquivos ASCII | 35 |
| 2.4.3. Alteração das propriedades de arquivos ASC e raster | 36 |
| 2.4.4. Conversão de arquivos do formato ASCII para raster | 38 |
| | |
| 3. Microzoneamento florestal | 39 |
| 3.1. Modelo de superfície | 39 |
| 3.1.1. Filtragem dos pontos da superfície por meio do comando <i>Groundfilter</i> | 39 |
| 3.1.2. Criação do modelo de superfície por meio do comando <i>Gridsurfacecreate</i> | 41 |
| 3.2. Modelagem da topografia | 44 |
| 3.2.1. Geração do efeito de sombreamento | 44 |
| 3.2.2. Geração do modelo de curvas de nível | 44 |
| 3.2.3. Geração da rede triangular irregular – TIN | 44 |
| 3.3. Áreas de acesso restrito | 48 |
| 3.4. Modelagem da hidrografia | 52 |
| 3.4.1. Remoção de anomalias e inconsistências topográficas da imagem com uso da ferramenta <i>Fill</i> | 52 |
| 3.4.2. Definição da direção de fluxo de água com uso da ferramenta <i>Flow direction</i> | 52 |
| 3.4.3. Definição da bacia de acumulação da rede de drenagem com uso da ferramenta <i>Flow accumulation</i> | 52 |
| 3.4.4. Determinação dos valores mínimos para bacia de acumulação | 52 |
| 3.4.5. Definição da ordem dos cursos de água com uso da ferramenta <i>Stream order</i> | 53 |
| 3.4.6. Transformação da imagem que representa a ordem dos cursos de água em um arquivo <i>shape</i> por meio do comando <i>Stream to feature</i> | 53 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5. Definição das áreas de preservação permanente (APP) | 58 |
| 3.5.1. APP de cursos de água | 58 |
| 3.5.2. APP de nascentes | 60 |
| 3.5.3. APP hidrografia | 63 |
| 3.5.4. APP de relevo | 65 |
| 3.5.4.1. Geração da imagem raster da APP de relevo | 65 |
| 3.5.4.2. APP para declividade igual ou maior que 45° | 65 |
| 3.5.5. APP total | 69 |
| | |
| 4. Modelos de dossel | 71 |
| 4.1. Modelo de superfície de dossel | 71 |
| 4.2. Modelo de altura do dossel | 75 |
| 4.3. Estimativa da área de cobertura de dossel | 79 |
| 4.3.1. Conversão da imagem Cobertura_vegetal_30 gerada em polígono | 79 |
| 4.4. Comparação multitemporal da área de cobertura vegetal de uma floresta | 82 |
| 4.4.1. Subtração dos modelos de altura do dossel e seleção da altura mínima para avaliação da perda de cobertura vegetal | 82 |
| 4.4.2. Cálculo da área de cobertura vegetal afetada pela exploração | 82 |
| | |
| 5. Identificação, medição e monitoramento de operações florestais | 87 |
| 5.1. Modelo de densidade relativa de vegetação – RDM | 87 |
| 5.2. Definição das zonas tampão de áreas alteradas por operações florestais | 91 |
| 5.2.1. Vetorização dos arquivos de referência para estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras | 91 |
| 5.2.2. Definição das zonas tampão limites para alterações produzidas pelas operações florestais | 91 |
| 5.3. Estimativa das áreas alteradas por operações florestais | 96 |
| 5.4. Combinando o modelo RDM com o de subtração de cobertura vegetal | 101 |
| | |
| 6. Estimativas de biomassa e estoques de carbono pelo cruzamento de dados Lidar em inventários florestais executados na superfície | 103 |
| 6.1. Seleção dos dados Lidar nas amostras das parcelas | 103 |
| 6.2. Normalização dos dados Lidar das parcelas | 106 |
| 6.3. Geração das estatísticas das alturas dos retornos do Lidar por meio do comando <i>Cloudmetrics</i> | 110 |
| | |
| 7. Extrapolação de modelos de regressão produzidos para dados Lidar destinados a toda área amostrada | 117 |
| 7.1. Geração de estatísticas para dados Lidar de uma amostra – <i>Gridmetrics</i> | 117 |
| 7.2. Conversão de arquivos CSV para o formato ASCII – <i>CSV2Grid</i> e raster (TIF) | 120 |
| 7.3. Estimativas de parâmetros estruturais da floresta (biomassa, volume, área basal) a partir de amostras Lidar | 123 |
| | |
| 8. Referências | 126 |

Lista de figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Esquema operacional do sistema Lidar aerotransportado. | 20 |
| Figura 2. Árvores individuais isoladas da vegetação de sub-bosque com dados do Lidar: A) <i>Dipteryx odorata</i> Wild (cumaru-ferro), B) <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. (samaúma), C) <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. (cumaru-cetim), Floresta Estadual do Antimary, Acre, Brasil. | 22 |
| Figura 3. Nuvens de pontos do Lidar de uma árvore com a copa quebrada da espécie <i>Dipteryx odorata</i> Wild (cumaru-ferro), Floresta Estadual do Antimary, Acre, Brasil. | 23 |
| Figura 4. Janela de visualização do MS-DOS; comandos de saída e entrada em pastas de trabalho; exemplo de linha de comando responsável pela criação do modelo de superfície de dossel; execução de linha de comando (<i>Bat file</i>) no MS-DOS. | 26 |
| Figura 5. Exemplo de arquivo texto do Notepad, com nome e pasta (endereço do diretório) onde estão armazenados os arquivos de dados Lidar que serão usados pelas linhas de comando na elaboração dos modelos. | 28 |
| Figura 6. Janela do Fusion para criação de imagem com dados Lidar. | 29 |
| Figura 7. Histograma com a distribuição do número de retornos por classe de elevação. | 30 |
| Figura 8. Imagem (Amostra_FEA_Exemplo.bmp) gerada a partir das amostras de dados brutos Lidar aberta no programa Fusion. | 30 |
| Figura 9. Janela para seleção de amostras de dados Lidar a serem carregados pelo programa Fusion. | 31 |
| Figura 10. Janela <i>Data files</i> com as amostras dos dados brutos Lidar selecionadas. | 31 |
| Figura 11. Grade das amostras de dados Lidar sobrepostos à imagem Amostra_FEA_Exemplo.bmp no programa Fusion. | 32 |
| Figura 12. Seleção de amostra de dados Lidar para visualização no Lidar Data Viewer. | 33 |
| Figura 13. Amostra de dados Lidar aberta no Lidar Data Viewer. | 33 |
| Figura 14. Exportação de modelo criado no Fusion da extensão DTM para a extensão ASCII. | 34 |
| Figura 15. Definição do sistema de projeção de coordenadas (Modelo_Superficie_Exemplo.asc) no ArcGis, por meio do comando <i>Define Projection</i> . | 35 |
| Figura 16. Verificação do sistema de coordenadas e sistema de referência (Datum) do modelo de superfície exportado para o formato ASC. | 35 |
| Figura 17. Edição da simbologia da imagem referente ao modelo de superfície. | 36 |
| Figura 18. Modelo de superfície após o ajuste dos tons de cinza na simbologia. | 37 |
| Figura 19. Conversão do modelo de superfície do formato ASCII para raster (imagem), por meio do comando <i>ASCII to Raster</i> do ArcGis. | 38 |
| Figura 20. Carregamento da grade de pontos de superfície. | 41 |
| Figura 21. Carregamento do modelo de superfície sobre a imagem da área amostrada. | 41 |
| Figura 22. Visualização da imagem tridimensional do modelo de superfície da amostra no LDV. | 42 |
| Figura 23. Modelo de superfície com efeito de sombreamento (<i>hillshade</i>) com escala de cinza de 0 a 256 e parâmetros: azimuth 315 (direção angular do sol); altitude 45 (ângulo da iluminação acima do horizonte); z-factor 1. | 45 |
| Figura 24. Modelo de superfície com curvas de nível com intervalo de 5 metros. | 46 |
| Figura 25. Imagem TIN (Triangular Irregular Network) gerada a partir do modelo de superfície. | 47 |
| Figura 26. Produção do modelo de declividade (<i>slope_exemplo</i>) por meio do comando <i>Slope</i> do ArcGis. | 49 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 27. Classificação da imagem <i>slope_exemplo</i> em duas classes de declividade: até 14,9% e acima deste valor. | 50 |
| Figura 28. Conversão de raster (<i>slope_render</i>) em polígono por meio do comando <i>Raster to Polygon</i> do ArcGis. | 50 |
| Figura 29. Áreas de acesso restrito definidas como declividade igual ou superior a 15%. | 51 |
| Figura 30. Remoção de anomalias e inconsistências topográficas da imagem por meio da ferramenta <i>Fill</i> . | 54 |
| Figura 31. Definição da direção do fluxo d'água por meio da ferramenta <i>Flow direction</i> . | 55 |
| Figura 32. Definição da bacia de acumulação da rede de drenagem por meio da ferramenta <i>Flow accumulation</i> . | 56 |
| Figura 33. Detalhe da janela da ferramenta <i>Raster Calculator</i> , usada para a determinação dos valores mínimos para bacia de acumulação. | 57 |
| Figura 34. Modelo da hidrografia gerado a partir do modelo de superfície. | 57 |
| Figura 35. Área de preservação permanente, definida a partir do modelo de hidrografia para cursos de água de até 10 metros. | 59 |
| Figura 36. Ferramenta de conversão de feição em pontos do ArcGis (<i>Convert Features to Points</i>) utilizada para criar os pontos referentes às nascentes dos cursos de água. | 61 |
| Figura 37. Área de preservação permanente para nascentes. | 62 |
| Figura 38. Área de preservação permanente final para a hidrografia da área da amostra. | 64 |
| Figura 39. Ferramenta <i>Slope</i> para produção de imagem de declividade a partir do modelo de superfície. | 66 |
| Figura 40. Propriedades da imagem <i>Slope</i> criada, com divisão em duas classes de declividade em graus. | 66 |
| Figura 41. Procedimento de renderização de um raster (<i>Slope_45_exem</i>) por meio da ferramenta <i>Export Raster Data</i> do ArcGis. | 67 |
| Figura 42. Conversão da imagem <i>Slope_rdr_exem.img</i> para polígono por meio do comando <i>Raster to Polygon</i> do ArcGis. | 67 |
| Figura 43. Modelo de superfície com áreas de declividade maior ou igual a 45° (polígonos vermelhos) definidas pela legislação florestal como áreas de preservação permanente. | 68 |
| Figura 44. Área de preservação permanente total, feita a partir da união das áreas de preservação permanente de hidrografia (verde) e declividade (vermelho). | 70 |
| Figura 45. Representação tridimensional do modelo de superfície do dossel no programa PDQ Data Viewer Version 1.82. | 73 |
| Figura 46. Imagem do modelo de superfície de dossel no formato ASC no ArcGis. | 74 |
| Figura 47. Representação tridimensional do modelo de altura do dossel no programa PDQ Data Viewer. | 77 |
| Figura 48. Imagem do modelo de altura do dossel convertido em .ASC projetado no ArcGis. | 78 |
| Figura 49. Janela <i>Raster Calculator</i> com o algoritmo para geração de cobertura de copas acima de 30 metros. | 80 |
| Figura 50. Modelo de altura de dossel somente com a cobertura de copas acima de 30 metros. | 81 |
| Figura 51. Ferramenta <i>Minus</i> utilizada para obtenção da diferença entre os modelos de altura do dossel antes e depois da exploração florestal. | 83 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Figura 52. Resultado da subtração da cobertura de vegetação dos modelos de altura do dossel produzidos com dados Lidar de 2010 e 2012, mostrando em vermelho área de copa igual ou acima de 10 metros de altura removida ou danificada pelas operações florestais. | 84 |
| Figura 53. Representação das copas com área igual ou acima de 10 m ² removidas ou danificadas pelas operações florestais. | 85 |
| Figura 54. Modelo com a cobertura vegetal removida ou danificada por operações florestais entre o primeiro (2010) e segundo (2012) voo Lidar na área amostrada. | 86 |
| Figura 55. Representação gráfica do cálculo da densidade relativa de vegetação (RDM) em cada célula do modelo. | 89 |
| Figura 56. Imagem do modelo de densidade relativa de vegetação (RDM), mostrando em preto áreas alteradas pela abertura de estradas, pátios de estocagem, trilhas de arraste e clareiras produzidas pelo corte e extração das árvores. | 90 |
| Figura 57. Vetorização das estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras sobre o modelo de densidade relativa de vegetação. | 93 |
| Figura 58. Localização dos pátios de estocagem (amarelo), estradas florestais (vermelho), trilhas de arraste (tracejado) e clareiras (árvores). | 94 |
| Figura 59. Áreas tampão definidas como limites para o impacto produzido pelas operações florestais. | 95 |
| Figura 60. Conversão de arquivos do formato ASCII (Modelo_Vegetação_Relativa_Exemplo.asc) para o formato raster (img) por meio do comando <i>ASCII to Raster</i> do ArcGis. | 98 |
| Figura 61. Seleção dos valores de densidade de vegetação relativa na faixa de 0% a 40%. | 98 |
| Figura 62. Ferramenta de conversão da imagem raster em <i>shapefile</i> de polígono. | 99 |
| Figura 63. Aplicação da ferramenta de intercessão de feições (<i>Intersect</i>) do ArcGis (polígonos <i>Area_Impacto_Buffer_Unidos.shp</i> e <i>Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.shp</i>) para definição da área de impacto final produzida pela construção de estradas, abertura de pátios, trilhas de arraste e corte das árvores. | 99 |
| Figura 64. Área de impacto final para valores de densidade relativa da vegetação entre 0% e 40% com área de 9,6 hectares (aproximadamente 10% da área total da amostra). | 100 |
| Figura 65. Sobreposição do modelo de diferença de cobertura vegetal em diferentes amostras Lidar (verde) com o modelo de densidade relativa de vegetação (RDM) e vetorização das estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras. | 102 |
| Figura 66. Amostras de dados Lidar recortados conforme polígono de parcelas permanentes. | 105 |
| Figura 67. Comparação das imagens tridimensionais das parcelas permanentes sob condições reais do terreno (A) e com elevação normalizada (B). | 109 |
| Figura 68. Janela de opções do Excel para trocar a separação de decimais de vírgulas para pontos na caixa <i>Usar separadores de sistema</i> . | 112 |
| Figura 69. Importação do arquivo <i>metricas_PP_exemplo.csv</i> como planilha eletrônica no Excel – etapa 1. | 112 |
| Figura 70. Importação do arquivo <i>metricas_PP_exemplo.csv</i> como planilha eletrônica no Excel – etapa 2. | 113 |
| Figura 71. Importação do arquivo <i>metricas_PP_exemplo.csv</i> como planilha eletrônica no Excel – etapa 3. | 113 |
| Figura 72. Tabela de atributos do <i>shapefile</i> dos <i>vertices_amostra</i> de dados Lidar (<i>Vertices_amostra.shp</i>) com destaque para as coordenadas do vértice 01 referente à parte inferior esquerda da amostra. | 118 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Figura 73. Imagem representando a biomassa seca acima do solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), calculada para as árvores acima de 10 cm de DAP, em células de 50 m x 50 m da amostra de 100 hectares de dados Lidar. | 124 |
| Figura 74. Média da biomassa seca acima do solo nas quatro subáreas em que a amostra de 100 hectares está dividida. | 125 |
| Figura 75. Estatísticas para a biomassa nas quatro subáreas da amostra. | 125 |

Lista de tabelas

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabela 1. Exemplos de uso do Lidar em distintas aplicações na engenharia florestal. | 25 |
| Tabela 2. Limite de área de preservação permanente para cursos de água e nascente conforme novo código florestal brasileiro. | 58 |
| Tabela 3. Métricas de elevação e intensidade dos dados Lidar contidos na parcela 1. | 114 |

Linhas de comando

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Linha de comando 1: <i>Groundfilter</i> – filtragem dos retornos da superfície | 40 |
| Linha de comando 2: <i>Gridsurfacecreate</i> – criação do modelo digital de superfície nua | 43 |
| Linha de comando 3: <i>Canopymodel</i> – criação do modelo digital de superfície de dossel | 72 |
| Linha de comando 4: <i>Canopyheightmodel</i> – criação do modelo digital de altura do dossel | 76 |
| Linha de comando 5: <i>Cover</i> – criação do modelo digital de densidade relativa de vegetação | 88 |
| Linha de comando 6: <i>Polyclipdata</i> – seleção dos retornos do Lidar obtidos nas parcelas permanentes | 104 |
| Linha de comando 7: <i>Subtractground</i> – seleção de dados das parcelas exemplo para subtração da elevação | 107 |
| Linha de comando 8: <i>DoClipdata</i> – criação de modelo normalizado das parcelas | 108 |
| Linha de comando 9: <i>Cloudmetrics</i> – produção de estatísticas de intensidade e altura de retornos contidos em cada parcela permanente | 111 |
| Linha de comando 10: <i>Gridmetrics</i> – produção de estatísticas de intensidade e altura para todos os retornos das amostras | 119 |
| Linha de comando 11: <i>Gridmetrics</i> – conversão de arquivos do formato CSV para ASCII | 121 |
| Linha de comando 12: <i>Gridmetrics</i> – conversão de arquivos do formato CSV para ASCII | 122 |

1. Fundamentos do Lidar e suas aplicações em florestas tropicais

1.1. Breve histórico do Lidar

Embora Schawlow e Townes (1958) sejam genericamente reconhecidos como os inventores do laser a partir da publicação *Infrared and Optical Masers (microwave amplification by stimulated emission of radiation)* na *Physical Review*, apenas um ano mais tarde o termo laser seria usado pela primeira vez por Gordon Gould em 1959 (GOULD, 1959). Schawlow e Townes receberam a primeira patente para o laser em 1961 (o que gerou uma disputa com G. Gould que durou até meados dos anos 1980). Lidar apareceu logo em seguida (RING, 1963), combinando radar e laser (que aparentemente é a verdadeira origem da palavra light + radar = lidar). Somente na década de 1970, Lidar começou a ser interpretado como uma abreviação (que também derivava do *Radio Detection and Range* – Radar) que podia ser interpretado como *Laser Imaging Detection and Ranging*. Três décadas depois, a terminologia *Ligh Detection and Ranging* (Lidar) é amplamente conhecida, principalmente no campo do conhecimento de sensoriamento remoto (CENTENO; MITISHITA, 2007), enquanto *Laser Detection and Ranging* (Ladar) tinha a preferência dos militares.

Nas missões à Lua da Apollo 15, 16 e 17, realizadas na década de 1970, o laser altimétrico foi usado como instrumento de bordo importante para o sucesso das operações espaciais e mapeamento do solo lunar (KAULA et al., 1974). Na década de 1980, os militares norte-americanos intensificaram o uso da tecnologia laser para mensuração de distâncias, por meio do instrumento *Airborne Topographic Mapper* (ATM) que ainda hoje compõe muitos instrumentos de varredura Lidar aerotransportado (CARABAJAL et al., 1999).

A princípio os feixes de luz emitidos pelo sistema Lidar não tinham como ser referenciados, ou melhor, georreferenciados de forma precisa. O Sistema de Posicionamento Global (GPS) poderia ser uma solução para referenciar a nuvem de pontos. Porém, os códigos utilizados pelo GPS para o uso civil apresentavam disponibilidade seletiva (*Selective Availability* – SA). A disponibilidade seletiva, imposta pelo Departamento de Defesa Norte-Americano, conferia ao sinal da constelação GPS uma deterioração da acurácia de forma aleatória, resultando em uma acurácia horizontal e vertical de 100 m e 140 m (MONICO, 2008) que praticamente inviabilizava o uso de muitas tecnologias de sensoriamento remoto.

Associado ao erro produzido pela disponibilidade seletiva, a constelação GPS possuía uma taxa de atualização de apenas um sinal por segundo. Essa restrição tornava impraticável o pós-processamento da nuvem de pontos Lidar dos retornos emitidos pelo scanner laser em uma frequência de milhares de pulsos por segundo. Assim, na década de 1980, para o uso civil e científico, não era possível trabalhar com precisão o sensoriamento com dados Lidar.

A partir da década de 1990, com o aperfeiçoamento dos sensores laser, como o *Mars Observer Laser Altimeter* (MOLA) e o *Shuttle Laser Altimeter* (SLA) (ABSHIRE et al., 2000; CARABAJAL et al., 1999), e a abolição da degradação da acurácia pela disponibilidade seletiva a partir de 2 de maio de 2000 (MONICO, 2008), o emprego da tecnologia Lidar tornou-se viável.

Em 2006, a empresa californiana SiRF Technology Inc., sediada em San Diego, disponibilizou no mercado o chipsets Sirf Star e seu software para receptores GPS. Esse chipsets tinha a promessa de revolucionar o uso do GPS em decorrência da alta capacidade de decodificar sinais em níveis extremamente baixos (- 160 dBm). A alta sensibilidade do Sirf Star possibilitou ampliar o uso dos receptores GPS de maneira rápida e segura, principalmente, em ambientes florestais (GARMIN, 2007; SIRF, 2014). Atualmente, os sensores de alta sensibilidade equipam os receptores do Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) pós-processados L1/L2.

A evolução das técnicas de georreferenciamento, conjuntamente com o aperfeiçoamento dos *Lasers Scanners*, permitiu que o processamento da nuvem de pontos do Lidar alcançasse

precisão submétrica, possibilitando seu uso na engenharia civil, geologia, agronomia, topografia, engenharia florestal e em muitas outras áreas do conhecimento.

1.2. Funcionamento do sistema Lidar

O Lidar é um sensor remoto ativo, que permite a coleta de dados pela emissão de sua própria luz e independe da presença de uma fonte de luz externa, como é o caso dos sensores passivos (fotografias aéreas e imagens de satélite). O princípio do funcionamento do Lidar consiste na emissão de um pulso de laser na direção de uma superfície ou objeto. Ao atingir o alvo, a luz é refletida na direção contrária e retorna ao sistema laser. Seguindo os princípios de triangulação ou da medição do tempo de retorno do pulso refletido (*Time-of-Flight*), o sistema Lidar calcula a distância entre o sensor e o objeto (ANDERSEN et al., 2003; WAGNER et al., 2004).

O sistema Lidar pode realizar uma varredura a partir de uma plataforma terrestre fixa ou móvel (veículo automotor), aeronave ou um sistema orbital (satélite ou estação espacial) (NASA, 2014; WAGNER et al., 2004).

Para o laser aerotransportado ou *Airborne Laser Scanner (ALS)*, o conjunto do sistema laser é mais complexo, em decorrência da movimentação da aeronave, em três eixos distintos provocados pela turbulência atmosférica (BEHAN, 2000; LIMA et al., 2002). O conjunto é constituído por um Sistema Inercial de Navegação (INS) e um par de receptores GNSS L1/L2 (Figura 1), sendo um instalado no sistema laser na aeronave e outro no solo (GIONGO et al., 2010).

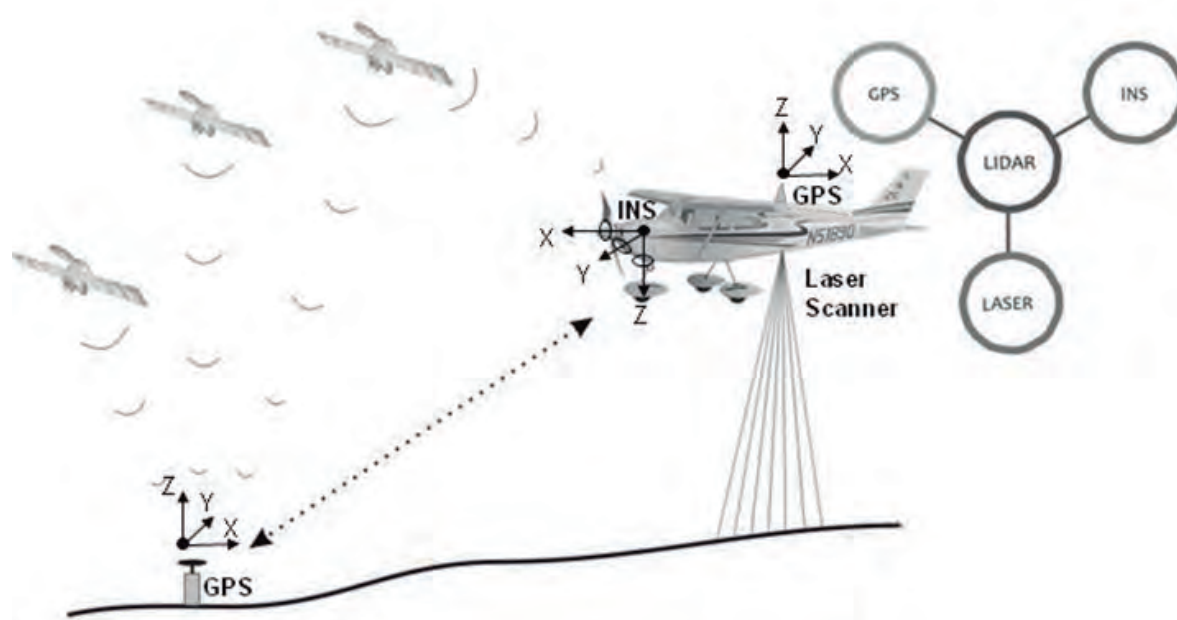


Figura 1. Esquema operacional do sistema Lidar aerotransportado.

Fonte: Giongo et al. (2010).

O receptor GNSS no solo (estação de referência) deve, preferencialmente, ser instalado numa base homologada de georreferenciamento, de maneira que possa estabelecer um vetor de até 50 km e quando possível menor que 20 km da área sobrevoada para o perfilamento (MONICO, 2008; RAMOS et al., 2007).

O pós-processamento da nuvem de pontos tem a finalidade de proceder à interpolação de coordenadas geográficas corrigidas pelos dados coletados pelo receptor GNSS de solo (estação de referência) e pela rede de monitoramento do sistema GNSS (estações de referência governamentais), atribuindo uma coordenada X,Y,Z a cada ponto pulsado pelo sistema laser.

De acordo com a potência do Lidar, um único pulso de laser pode produzir múltiplas reflexões gerando vários retornos úteis dos alvos atingidos na superfície. Assim, um pulso pode ser fracionado em diversos outros pontos refletidos em alvos diferentes na mesma linha do

pulso laser. O ponto mais próximo do sistema Lidar originará o primeiro retorno do pulso laser, enquanto o ponto mais distante vai gerar o último retorno. Esse processo de leitura da informação é importante quando se considera a diferença de penetração que pode existir a partir de um único pulso (BEHAN, 2000), o que permite a distinção de elevações.

1.3. Principais empregos do Lidar na engenharia florestal

A aquisição das informações descrevendo vegetação, bacias hidrográficas e topografia, necessárias para a elaboração, execução e monitoramento de planos de manejo em campo, é cara e de difícil obtenção nas florestas tropicais. Isso se verifica especialmente na Amazônia Brasileira, devido à dificuldade de acesso, grandes áreas a serem amostradas e limitações à execução de trabalhos de campo durante a estação das chuvas. Além disso, mesmo com o uso de equipamentos, como o GPS para localização de árvores e microzoneamento (FIGUEIREDO et al., 2007), a interferência das árvores na recepção dos sinais de satélite produz caminhos múltiplos que reduzem de forma significativa a precisão da posição dos pontos tomados em campo.

Para reduzir a necessidade de trabalhos de campo e aumentar a precisão das estimativas e modelos produzidos a partir dos dados coletados, estudos sobre o uso de ferramentas de sensoriamento remoto aplicado à área florestal foram intensificados a partir da década de 1990 (ZANDONÁ et al., 2008).

Desde o final da década de 1990, o uso florestal do Lidar foi voltado para a estimativa de parâmetros estruturais das florestas. Modelos de superfície eram construídos para a caracterização precisa da topografia do terreno e as informações usadas no planejamento de estradas, pontes e outras estruturas de apoio às operações florestais. Os dados do Lidar geram informações sobre a superfície do dossel e parâmetros como altura das árvores e dimensões das copas, elementos importantes para o manejo, tanto de florestas nativas como de plantadas (POPESCU et al., 2002; TIEDE et al., 2005).

Os sistemas de Lidar aerotransportado permitem a cobertura em larga escala da superfície, produzindo dados que podem ser usados para a elaboração de modelos digitais do terreno de alta resolução de grandes áreas de floresta (REUTEBUCH et al., 2003; ZONETE, 2009). Com o uso do Lidar aerotransportado, tanto a resolução horizontal como a vertical no terreno podem chegar a níveis submétricos, proporcionando a precisão necessária tanto para o planejamento do uso, como para o monitoramento de florestas.

Os estudos por amostragem de área seguem o princípio de estimar o número de árvores, volume, altura e biomassa a partir de um inventário florestal amostral da área de interesse a ser perfilada pelo scanner a laser. Com as unidades amostrais georreferenciadas, identificadas, inventariadas e perfiladas é obtido um conjunto de variáveis explicativas com dados da floresta amostrada e dados do processamento da nuvem de pontos, que permitirá a construção de equações de regressão para estimar os parâmetros estruturais da floresta (volume e biomassa) em grandes extensões de florestas amostradas pelo Lidar aerotransportado.

Estudos com Lidar têm sido realizados na aquisição de dados geográficos com aplicação em várias áreas. Levantamentos aerotransportados com Lidar têm sido largamente utilizados para estimativa de biomassa em florestas temperadas (ANDERSEN et al., 2006; BEETS et al., 2011; LEFSKY et al., 2002; MAGNUSSEN et al., 2010; NÆSSET, 1997, 2004; NELSON et al., 1988). Esses estudos demonstraram uma forte correlação entre dados obtidos pelo Lidar, biomassa e estrutura da floresta.

A utilização do Lidar em florestas tropicais é bem mais recente e especialmente voltada para estudos ecológicos e de avaliação de estoques de carbono (e.g. ASNER et al., 2008, 2010; DRAKE et al., 2002, 2003; KENNAWAY et al., 2008).

Além do uso do Lidar em trabalhos de mensuração florestal de larga escala, também é possível usar essa tecnologia para o estudo de árvores individuais. Roberts et al. (2005) e Ioki et al. (2010) já haviam alcançado resultados similares para equações de estimativas biométricas (DAP, Ht, diâmetro de copa e volume), porém, em plantações de pinus. A concepção de entender a floresta a partir das copas ainda é um conceito inovador na academia de engenharia florestal, devido às dificuldades de coleta em campo das informações de copa. As informações geradas pelo Lidar aerotransportado abrem uma nova perspectiva de compreensão dos ecossistemas florestais com o aprofundamento dos estudos das variáveis oriundas do processamento da nuvem de pontos, bem como das variáveis morfométricas de copa. Os resultados de pesquisa com a morfometria da copa de árvores individuais pelo perfilamento com Lidar aerotransportado ainda são escassos e os estudos biométricos, na sua maioria, foram desenvolvidos em florestas no hemisfério norte (ANDERSEN et al., 2011; BOTTAL et al., 2013; HOLMGREN et al., 2003).

Figueiredo (2014) desenvolveu equações para estimar o volume e a biomassa do fuste de árvores individuais utilizando dados morfométricos de copa (diâmetro de copa, área de projeção de copa, volume de copa, comprimento de copa e manto de copa), obtidos pelo Lidar aerotransportado na Floresta Estadual do Antimary – FEA (Figura 2).

As árvores com copas danificadas ou quebradas podem ser identificadas pelo processamento do Lidar e apontadas como *outliers* pela análise de influência durante o processo de modelagem biométrica. Essas árvores com copas danificadas ganham importância no planejamento florestal e na estratégia de manejo das florestas tropicais, funcionando como o primeiro tratamento silvicultural com retorno econômico (Figura 3).



Figura 2. Árvores individuais isoladas da vegetação de sub-bosque com dados do Lidar: A) *Dipteryx odorata* Wild (cumaru-ferro), B) *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (samaúma), C) *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. (cumaru-cetim), Floresta Estadual do Antimary, Acre, Brasil.

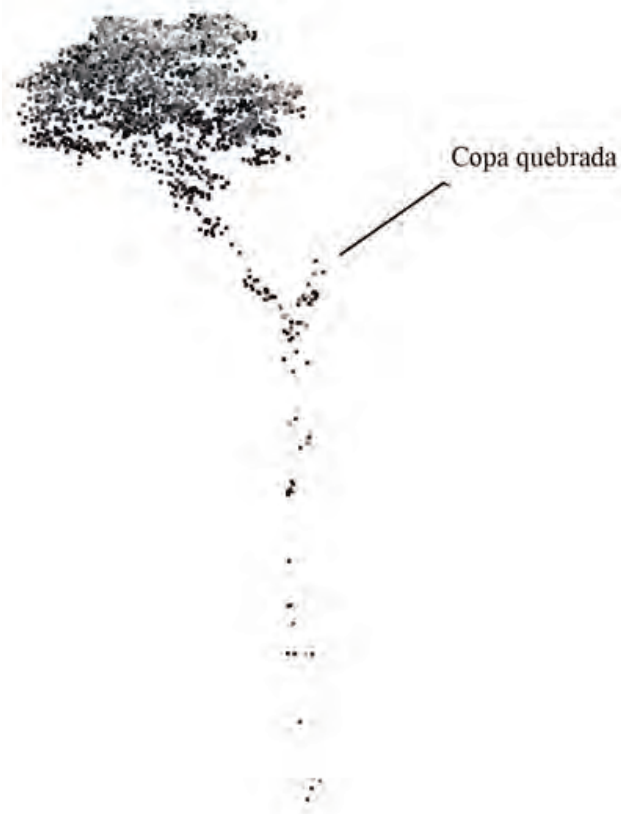


Figura 3. Nuvens de pontos do Lidar de uma árvore com a copa quebrada da espécie *Dipteryx odorata* Wild (cumaru-ferro), Floresta Estadual do Antimary, Acre, Brasil.

Muitos outros trabalhos têm demonstrado a importância do Lidar como instrumento de mensuração e planejamento florestal (Tabela 1). Novas estratégias de manejo de precisão em florestas tropicais podem ser desenvolvidas a partir da combinação do emprego do Lidar com o Modelo de Exploração Florestal (ANDERSEN et al., 2014; d'OLIVEIRA et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2007, 2014). Esta publicação tem por objetivo mostrar, passo a passo, os procedimentos de criação de modelos digitais do terreno necessários ao planejamento e monitoramento de operações florestais e modelos de regressão para estimativas de estoque de biomassa a partir de dados Lidar. O passo a passo está numerado de forma contínua e segue a sequência dos capítulos desta publicação.

A área apresentada como exemplo neste trabalho faz parte da Floresta Estadual do Antimary (FEA), localizada nos municípios de Rio Branco e Sena Madureira, Acre (68° 01' a 68° 23' W; 9° 13' a 9° 31' S), com área de 76.832 hectares (FUNTAC, 1990). Os dados Lidar na FEA foram obtidos por meio da cooperação da Embrapa Labex manejo florestal e o programa internacional do Serviço Florestal Americano (USDA Forest Service International Program). Foram realizados dois sobrevoos nos anos de 2010 e 2011, cobrindo uma área de floresta manejada de 1.000 hectares a 500 m de altura. Foi utilizado um avião SENECA II – EMBRAER 810C equipado com um sistema de Lidar Optech ALTM3100EA. A densidade média de pontos foi de 25 m⁻² e frequência de emissão de pulsos de 70 hz com 4 retornos úteis por pulso.

Neste livro usou-se parte das amostras Lidar da FEA cujos resultados foram publicados por d'Oliveira et al. (2012) e Andersen et al. (2014). Nestes estudos os autores desenvolveram modelos digitais do terreno para o monitoramento dos impactos da exploração florestal na floresta e adotaram procedimento de amostragem por área para estimar a biomassa florestal, por meio da construção de modelos de regressão entre as variáveis explicativas derivadas do processamento da nuvem de pontos do Lidar e amostras de um inventário florestal de referência.

Para facilitar o entendimento e aprendizado, acompanham a publicação, além das amostras de dados Lidar, arquivos com as linhas de comando e modelos digitais do terreno que são usados como exemplo para geração dos produtos que compõem este livro. Para o funcionamento correto das linhas de comando, o material do CD deve ser integralmente copiado para o drive C do computador que será usado pelo usuário, preservando a mesma nomenclatura e estrutura dos diretórios originais.

Tabela 1. Exemplos de uso do Lidar em distintas aplicações na engenharia florestal.

| Variáveis florestais | Forma de obtenção dos dados pelo Lidar | Exemplo de uso na literatura acadêmica |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Altura de árvores individuais | Medida direta | Chen et al. (2006); Figueiredo (2014); Lingnau et al. (2008); Næsset; Okrand (2002); Roberts et al. (2005) |
| Altura do dossel | Medida direta | Andersen et al. (2003); Coops (2007); Holmgren et al. (2003); Popescu et al. (2002); Zimble et al. (2003) |
| Área basal | Modelagem biométrica | Andersen et al. (2003); Gobakken; Hudak et al. (2006); Næsset (2004) |
| Área de projeção de copa | Medida direta | Figueiredo (2014) |
| Área de preservação permanente Área de acesso restrito Hidrografia | Modelagem | d'Oliveira; Papa (2013) |
| Biomassa | Modelagem biométrica | Andersen et al. (2005, 2011, 2014); Danilin; Medvedev (2004); d'Oliveira et al. (2012); Lim et al. (2004); Næsset; Gobakken (2008) |
| Biomassa de árvores individuais | Modelagem biométrica | Figueiredo (2014); Popescu et al. (2002) |
| Diâmetro à altura do peito (DAP) | Modelagem biométrica | Gobakken; Næsset (2004); Lingnau et al. (2008) |
| Diâmetro de copa | Medida direta | Figueiredo (2014); Næsset; Okrand (2002); Popescu et al. (2003); Roberts et al. (2005) |
| Impacto de exploração | Modelagem | d'Oliveira et al. (2012); Figueiredo (2014) |
| Manto de copa | Medida direta | Figueiredo (2014); Roberts et al. (2005); Sasaki et al. (2008). |
| Número de indivíduos | Medida direta | Bottai et al. (2013); Chen et al. (2006); Gonçalves et al. (2011); Næsset (2004); Tiede et al. (2005); Zonete (2009) |
| Volume de copa | Medida direta | Coops (2007); Figueiredo (2014) |
| Volume do fuste de árvores individuais | Modelagem biométrica | Bottai et al. (2013); Figueiredo (2014); Popescu et al. (2003) |
| Volume | Modelagem biométrica | Andersen et al. (2003); Holmgren et al. (2003); loki et al. (2010) |

Fonte: adaptado de Giongo et al. (2010).

2. Programas acessórios para o processamento dos dados brutos Lidar

Os programas utilizados para a manipulação inicial e processamento dos dados brutos do Lidar serão apresentados neste tópico. São eles: MS-DOS, Bloco de notas, Fusion e Lidar Data Viewer (LDV). As instruções de uso dos programas serão apresentadas de forma sucinta. Esta seção tem como finalidade introduzir as funções essenciais desses programas, as quais serão utilizadas para elaborar modelos que fazem parte deste trabalho, contidas no CD Livro_Lidar.

2.1. MS-DOS

O processamento dos dados brutos do Lidar será feito por meio do programa Fusion no ambiente *Disk Operating System* ou Sistema Operacional em Disco (MS-DOS). Lançado na década de 1980, o MS-DOS é um sistema operacional antigo, entretanto muitas de suas funções são aplicadas ainda hoje. Os produtos do Fusion serão obtidos por meio da execução de linhas de comando no ambiente DOS. Como essas linhas de comando podem ser longas e serão utilizadas diversas vezes, é possível salvá-las em arquivos tipo *Batch* (.BAT) para facilitar a manipulação dos dados e evitar erros de sintaxe. Os comandos são executados após pressionar a tecla Enter. Um processamento iniciado no MS-DOS não deve ser interrompido por outra requisição até ter sido finalizado. Segue abaixo a execução de uma linha de comando (BAT) no MS-DOS:

1. Abrir o programa MS-DOS (Prompt de comando).
2. Entrar no diretório C:\Fusion.
3. Digitar ou copiar a linha de comando (nome do arquivo BAT) com o caminho de acesso (Ex. *C:\Livro_Lidar\BAT\Modelo_Superficie_Dossel_Exemplo.bat*) no MS-DOS (Figura 4).
4. Pressionar Enter.

```

C:\Users\MUNO>cd..
C:\Users>cd..
C:\>cd fusion
C:\FUSION>canopymodel C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_superficie_dossel_Exemplo.dtm 1
M M 1 0 0 0 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
CanopyModel v1.74 (FUSION v2.90) (Built on Jul 7 2010 14:58:40) DEBUG
Command line: canopymodel C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_superficie_dossel_Exemplo.d
tm 1 M M 1 0 0 0 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
Run started: Mon Feb 09 12:17:44 2015
Using 4 data files:
  C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\EXEMPLO_01.las
  C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\EXEMPLO_02.las
  C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\EXEMPLO_03.las
  C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\EXEMPLO_04.las
Canopy surface model file produced:
  C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_superficie_dossel_Exemplo.dtm   Feb 9, 2015 @ 12:1
8 AM
Run finished: Mon Feb 09 12:18:15 2015 (elapsed time: 31 seconds)
Done
C:\FUSION>

```

Figura 4. Janela de visualização do MS-DOS; comandos de saída e entrada em pastas de trabalho; exemplo de linha de comando responsável pela criação do modelo de superfície de dossel; execução de linha de comando (*Bat file*) no MS-DOS.

2.2. Bloco de notas

2.2.1. Criação, edição e registro de arquivos .BAT de linhas de comando do Fusion

O Bloco de notas será usado para editar e salvar as linhas de comando que serão utilizadas no programa Fusion com a extensão .BAT. Essas linhas de comando serão usadas para produzir todos os modelos no Fusion a partir de dados Lidar.

Os arquivos com extensão “*BAT*” ou arquivos de lote normalmente possuem uma sequência de comandos que são executados em bloco. No CD Livro_Lidar, os arquivos “*BAT*” estão localizados dentro da pasta BAT. O nome do arquivo “*BAT*” faz referência ao tipo de operação realizada com os dados Lidar. As linhas de comando devem ser executadas no MS-DOS, sempre no diretório C:\Fusion.

As linhas de comando podem ser visualizadas no Bloco de notas por meio do comando “editar”. Para selecionar um arquivo para edição, clicar sobre o nome do arquivo com o botão direito do *mouse*. Ao selecionar o comando editar, a linha de comando será aberta no Bloco de notas e poderá ser modificada. É importante observar que quando a opção “abrir” é selecionada em arquivo tipo *batch*, a respectiva linha de comando é executada automaticamente.

2.2.2. Criação de arquivos de texto de referência para dados Lidar a serem utilizados no processamento de modelos digitais do terreno no Fusion

O Bloco de notas também é usado para criar arquivos texto (.TXT) contendo o endereço e nome dos arquivos de dados Lidar (.LAS) que serão usados para compor os modelos a ser processados. Esse procedimento é utilizado para facilitar a execução de comandos do Fusion que envolvam o processamento de várias amostras Lidar de uma só vez. Dessa forma, incluí-se na linha de comando para criação de um modelo apenas o arquivo de texto (.TXT) com a referência do conjunto de dados Lidar a ser utilizado.

A criação do arquivo de referência para as amostras Lidar segue o procedimento:

5. Abrir o programa Bloco de notas.

6. Digitar o endereço da localização dos arquivos de dados Lidar utilizados. Cada arquivo deve ocupar uma linha como no exemplo abaixo:

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Exemplo_01.las

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Exemplo_02.las

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Exemplo_03.las

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Exemplo_04.las

7. Nomear e salvar o arquivo: ex. C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt (Figura 5).

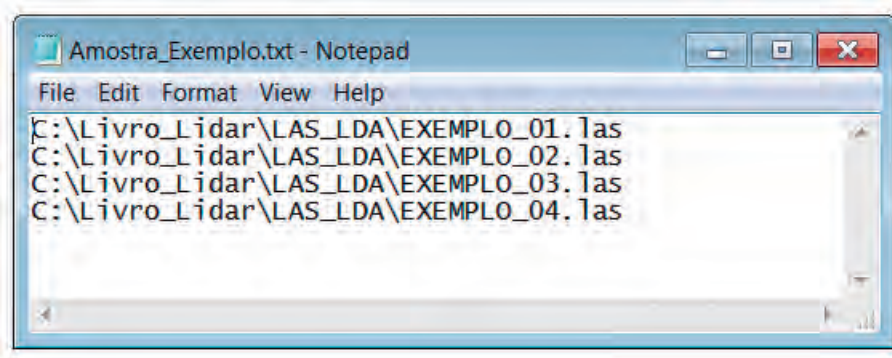


Figura 5. Exemplo de arquivo texto do Notepad, com nome e pasta (endereço do diretório) onde estão armazenados os arquivos de dados Lidar que serão usados pelas linhas de comando na elaboração dos modelos.

2.3. Uso de Software Livre Fusion/Lidar Data Viewer (LDV)

Fusion é um programa livre, desenvolvido pelo Serviço Florestal Americano (MCGAUGHEY, 2010), usado para criar imagens de alta resolução e modelos digitais do terreno em 3D. Esse software foi desenvolvido originalmente para ajudar pesquisadores a compreender, explorar e analisar dados Lidar (MCGAUGHEY, 2010). Suas ferramentas permitem análises básicas e avançadas de um grande volume de dados Lidar, obtendo produtos que podem ser exportados para softwares usuais de sistema de informação geográfica (SIG). Esses programas têm múltiplas funções e aplicações, mas nesse segmento serão apresentadas apenas as operações essenciais para a elaboração e exportação de modelos digitais do terreno a partir de dados brutos do Lidar.

2.3.1. Geração de imagens de referência a partir de amostras de dados obtidos com sistema Lidar (arquivos .LAS ou .LDA)

8. Executar o programa Fusion, clicar em "*tools>Miscellaneous utilities> Create an image using Lidar point data*" (Figura 6).
9. Abrir o diretório (ex. C:\Livro_Lidar\LAS_LDA).
10. Selecionar os arquivos de interesse (Exemplo_01.las, Exemplo_02.las, Exemplo_03.las e Exemplo_04.las) e pressionar Ok.
11. Será aberta, automaticamente, a janela chamada "*Image Creator*".
12. Selecionar no campo "*Image options*" a opção "*Color based on elevation*".
13. Clicar na opção "*Scan for data ranges*". Essa opção irá gerar um histograma de distribuição dos dados (retorno) por classe de elevação.
14. Anotar os valores de elevação mínima e máxima na janela "*Data limits*", que apresenta o histograma de distribuição do número de retornos por classes de elevação (Figura 7).
15. Selecionar, na tela *Image Creator* a opção *Clamp data range* e preencher os valores anotados de elevação mínima e máxima nos campos *Min value* e *Max value*, respectivamente. Esse procedimento limita a classificação das cores na escala cinza aos valores observados na amostra melhorando a qualidade da imagem produzida.
16. Digitar o valor 1 no campo *Pixel size*. Esse valor é o tamanho do elemento fotográfico (1 m x 1 m) da imagem que será gerada e pode variar de acordo com a densidade de pontos da amostra ou o interesse do usuário.

17. Digitar no *browse* superior o endereço onde a imagem será salva (ex. C:\Livro_Lidar\Imagem\Amostra_FEA_Exemplo.bmp).
18. Clicar em *Create image* para que o arquivo seja gerado conforme as configurações definidas.
19. Clicar em *close* assim que a imagem tiver sido criada. A palavra *done!* irá aparecer acima do botão *close*.
20. Clicar em imagem e selecionar o arquivo de imagem gerado (ex. C:\Livro_Lidar\Imagem\Amostra_FEA_Exemplo.bmp) (Figura 8).

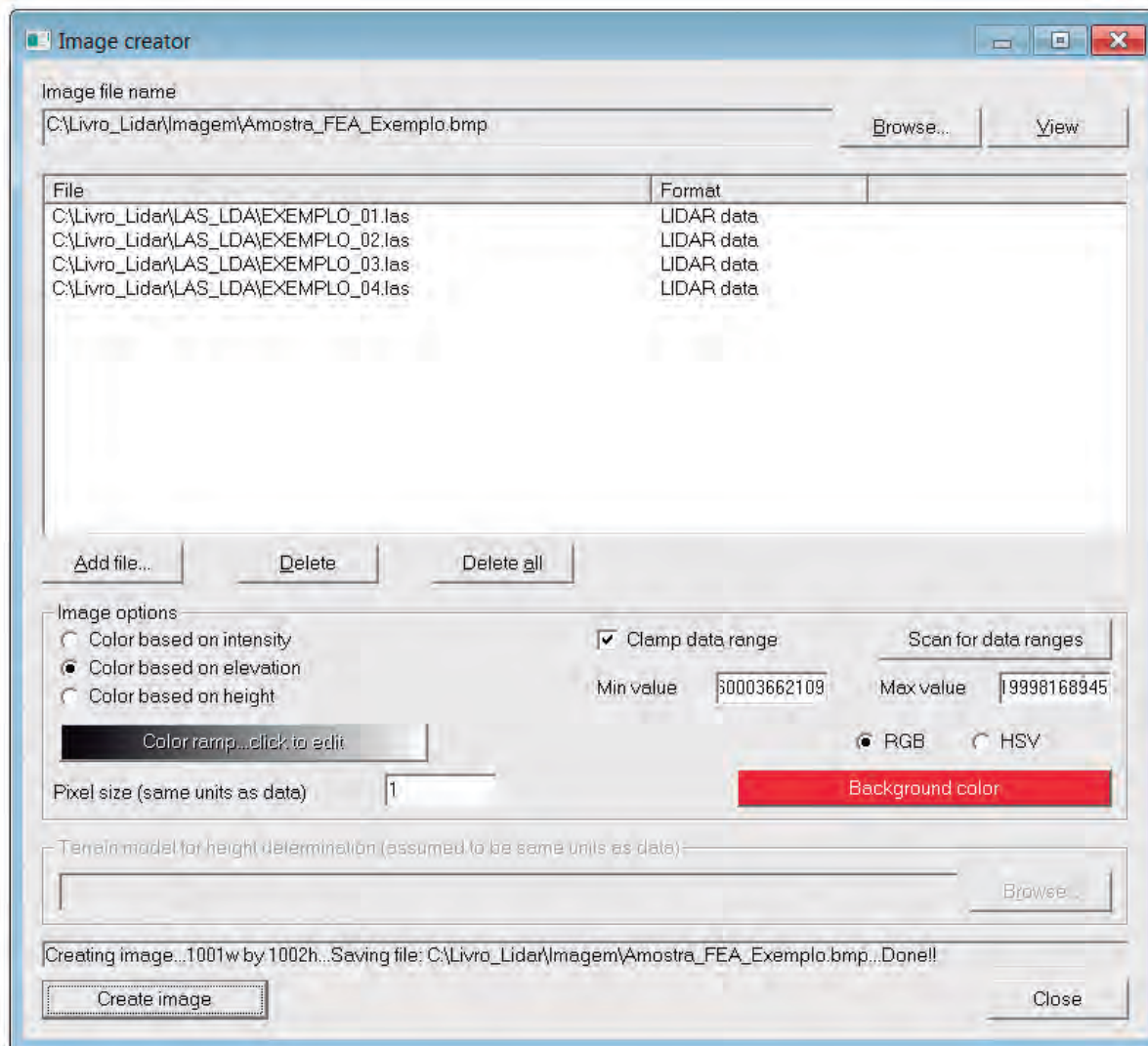


Figura 6. Janela do Fusion para criação de imagem com dados Lidar.

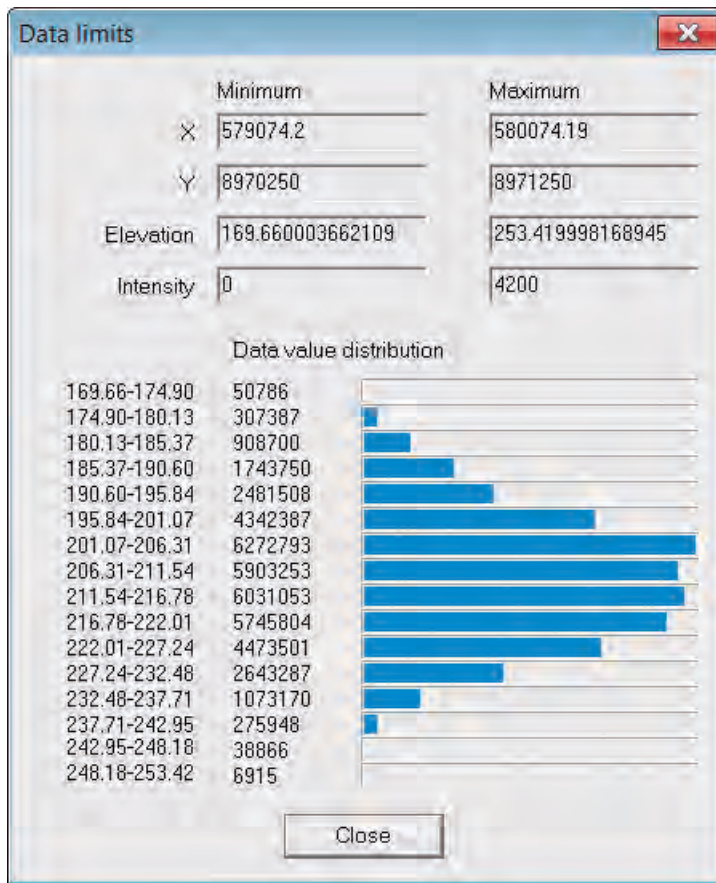


Figura 7. Histograma com a distribuição do número de retornos por classe de elevação.

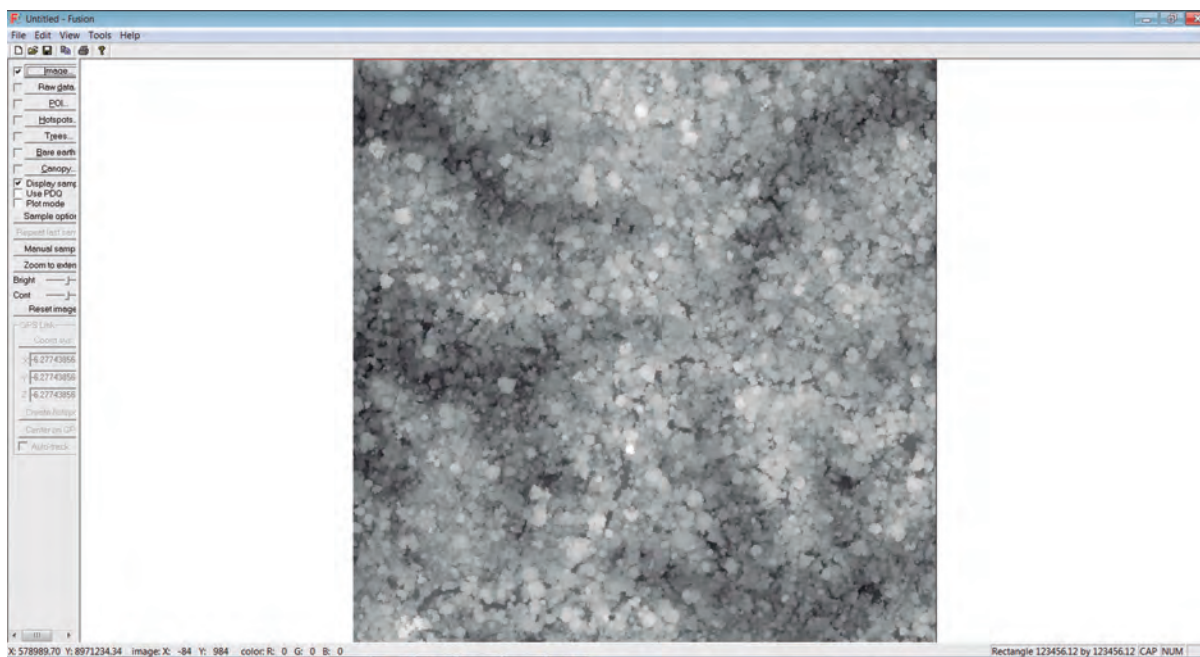


Figura 8. Imagem (Amostra_FEA_Exemplo.bmp) gerada a partir das amostras de dados brutos Lidar aberta no programa Fusion.

2.3.2. Adição de dados brutos (arquivos .LAS e .LDA) no Fusion

Esse procedimento tem por objetivo carregar os dados Lidar referentes à imagem gerada na etapa anterior (Amostra_FEA_Exemplo.bmp):

21. Clicar em *Raw_data* (barra de ferramentas lateral do Fusion) e selecionar todos os arquivos .LAS localizados na pasta onde estão os dados brutos do Lidar (ex. C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Exemplo_01.las, Exemplo_02.las, Exemplo_03.las e Exemplo_04.las) (Figura 9).

22. Clicar Ok na janela *Data files* (Figura 10).

23. Assinalar a caixa *Raw data* para visualizar a grade de dados sobre a imagem gerada na etapa anterior (Figura 11).

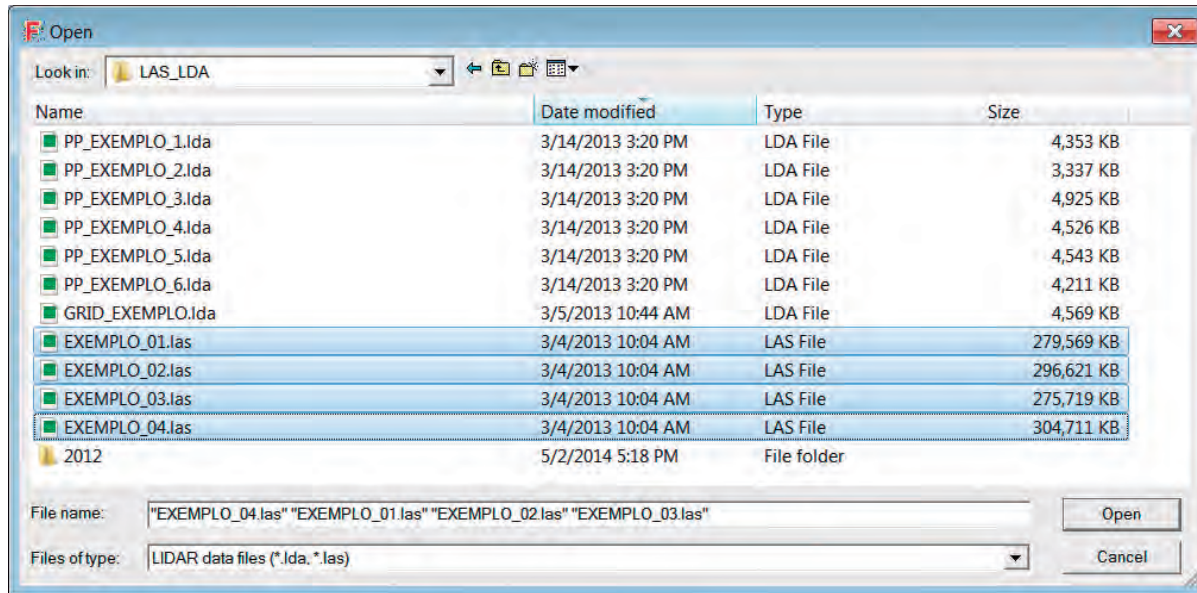


Figura 9. Janela para seleção de amostras de dados Lidar a serem carregados pelo programa Fusion.

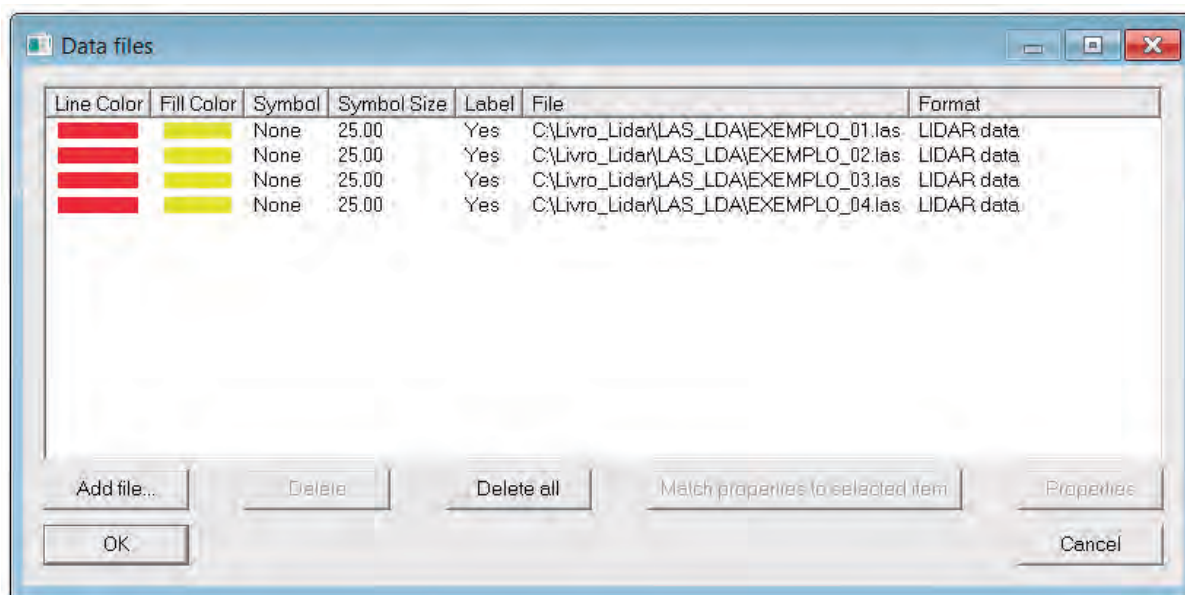


Figura 10. Janela *Data files* com as amostras dos dados brutos Lidar selecionadas.

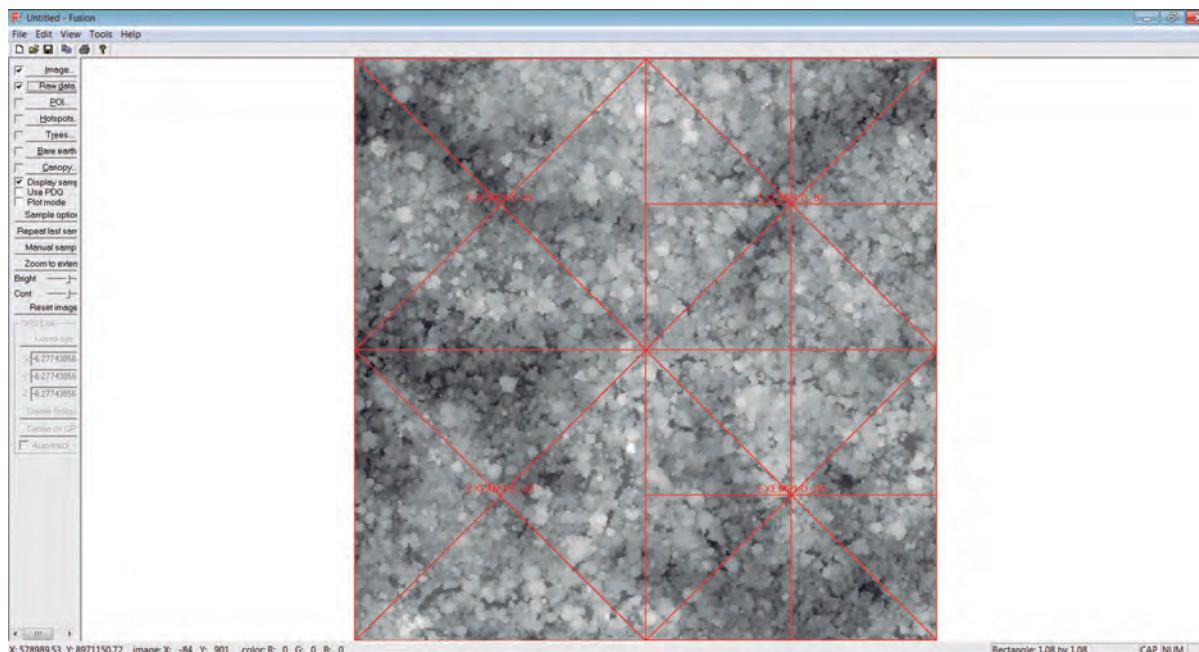


Figura 11. Grade das amostras de dados Lidar sobrepostos à imagem Amostra_FEA_Exemplo.bmp no programa Fusion.

2.3.3. Visualização de amostra de dados Lidar em três dimensões

O Lidar Data Viewer (LDV) permite a visualização e edição dos dados Lidar em formato tridimensional. Para que o LDV possa ser utilizado é preciso que a imagem (Amostra_FEA_Exemplo.bmp) e a grade de dados Lidar (Exemplo_01, Exemplo_02, Exemplo_03 e Exemplo_04) estejam carregadas no Fusion.

24. Pressionar e arrastar o botão esquerdo do *mouse* sobre a imagem Amostra.bmp e selecionar uma área de interesse (polígono) a ser visualizada em 3D. Usando a função *Sample options* é possível definir forma e dimensões da amostra (*Sample shape*), coloração por intensidade, elevação ou número do retorno (*color* e *color classification*) e filtrar a nuvem de pontos para retornos da superfície e dossel quando estes modelos estiverem disponíveis (*Bare Earth Filter* e *Canopy Surface Filter*). Para que a amostra selecionada para visualização possa ser vista na imagem de referência, a caixa "*Display Sample*" deve estar marcada (Figura 12).

25. O programa Lidar Data Viewer será executado e os dados localizados dentro do polígono selecionado serão visualizados em 3D (Figura 13). A mensagem no *data within specified area* surge quando uma área da imagem que não contém dados Lidar é selecionada.

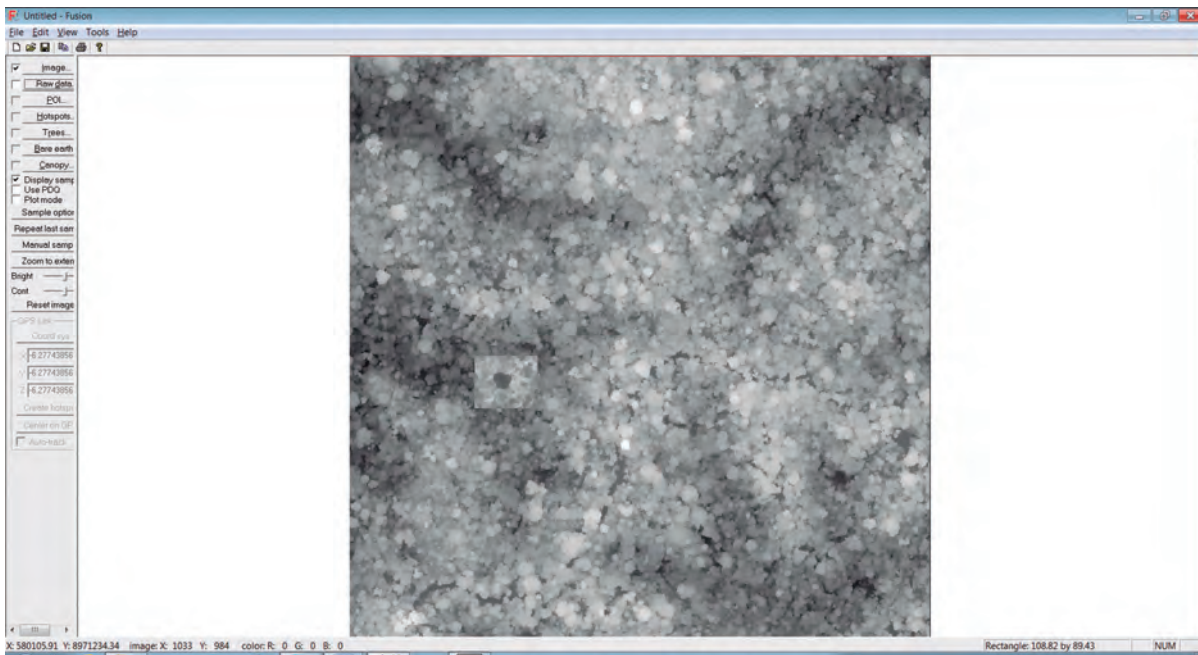


Figura 12. Seleção de amostra de dados Lidar para visualização no Lidar Data Viewer.

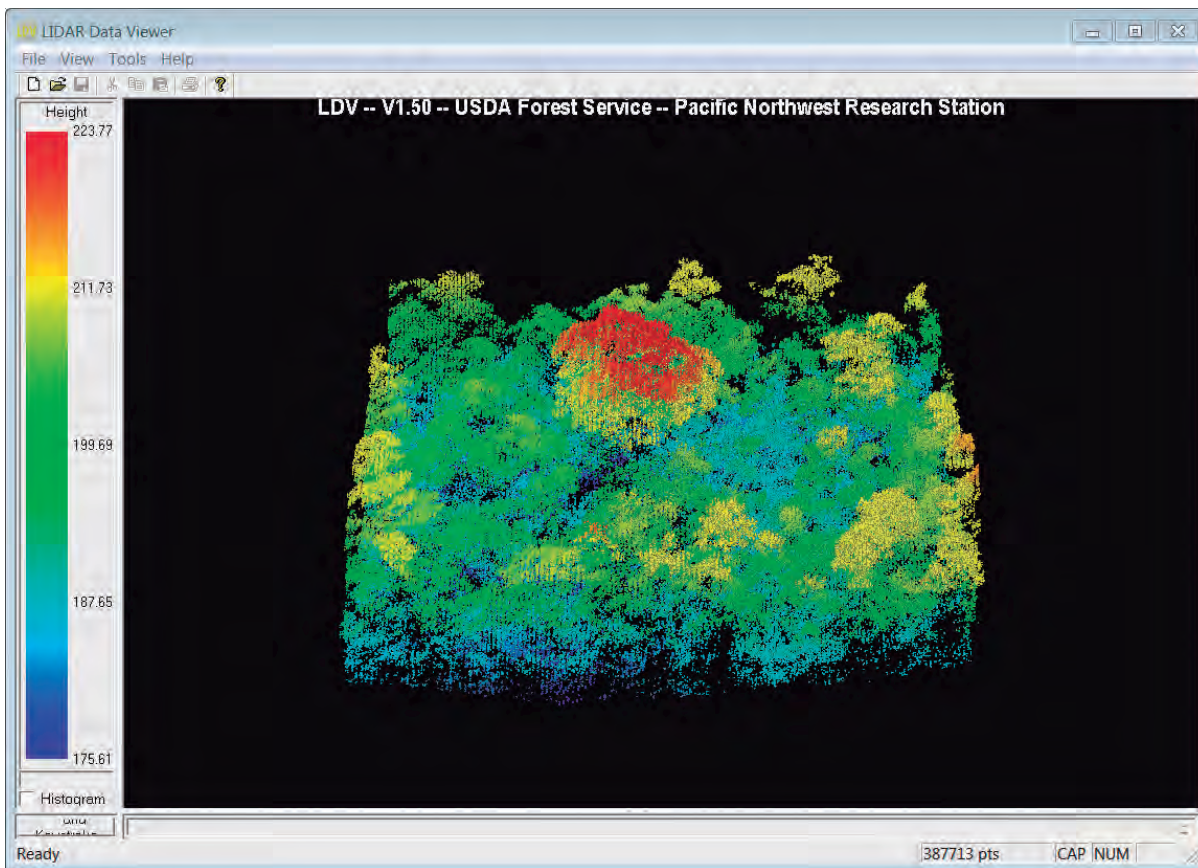


Figura 13. Amostra de dados Lidar aberta no Lidar Data Viewer.

2.4. Exportação de modelos digitais do terreno (DTM) para ArcGis

Modelos digitais do terreno são elaborados a partir de dados brutos do Lidar. Os modelos gerados no programa Fusion são exportados para o ArcGis, onde serão obtidos novos dados relacionados à hidrografia, topografia, biomassa e impacto sobre a floresta, auxiliando assim a elaboração e execução de planos de manejo florestal, como será descrito ao longo dos próximos capítulos. Os procedimentos para essa conversão serão apresentados abaixo e repetidos para todos os modelos a serem gerados no Fusion e que precisem ser exportados para outros softwares.

2.4.1. Conversão de arquivos DTM para o formato ASCII

Os modelos digitais do terreno criados pelo Fusion podem ser abertos e editados em outros programas de geoprocessamento. Para que isso seja possível, o modelo deve ser convertido da forma .DTM para o formato ASCII. Os arquivos *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII – Padrão Americano de Código para o Intercâmbio de Informação) são códigos numéricos usados para representar caracteres que podem ser lidos por quase todos os computadores e programas de texto.

26. Executar o Fusion, clicar em opção *tools > terrain model > export model* no menu principal.

27. Clicar no primeiro campo *browse* e buscar o arquivo DTM que será convertido (ex. C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm).

28. Clicar no segundo campo *browse* e selecionar o local e nome do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Superficie_Exemplo.asc).

29. Selecionar a opção *ASCII grid file* dentro do campo *Format* e clicar em *Export* (Figura 14).

Observação: é preciso digitar a extensão .asc no final do nome do arquivo de saída, caso contrário o ArcGis não irá localizá-lo.

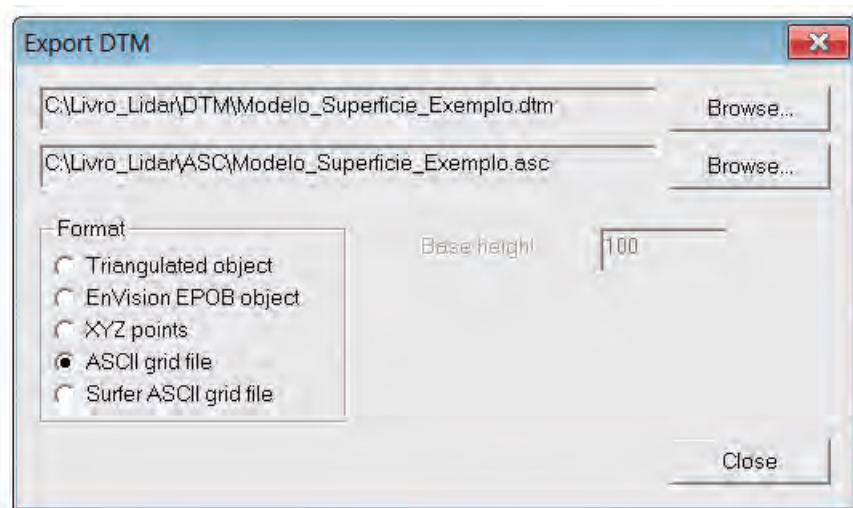


Figura 14. Exportação de modelo criado no Fusion da extensão DTM para a extensão ASCII.

2.4.2. Definição do sistema de projeções de coordenadas em arquivos ASCII

No ArcGis, o modelo DTM convertido ao formato ASC no Fusion precisa ter os sistemas de projeção, coordenada e referência redefinidos, por meio da ferramenta *Arctoolbox*:

30. Clicar em *Arctoolbox > Data Management Tools > Projections e transformations > Define Projection*. Selecionar a projeção desejada. Para os dados contidos no CD Lidar FEA será usado sistema de coordenada UTM, Zona 19S e Datum WGS84 (Figura 15).
31. Verificar se a imagem criada está com o sistema de referência determinado no comando anterior: abrir a janela de propriedades no Modelo_Superficie_Exemplo.asc clicando com o botão direito do *mouse* sobre o arquivo.
32. Clicar na aba *Source* e observar o sistema de projeção no campo *Spatial Reference* (Figura 16).

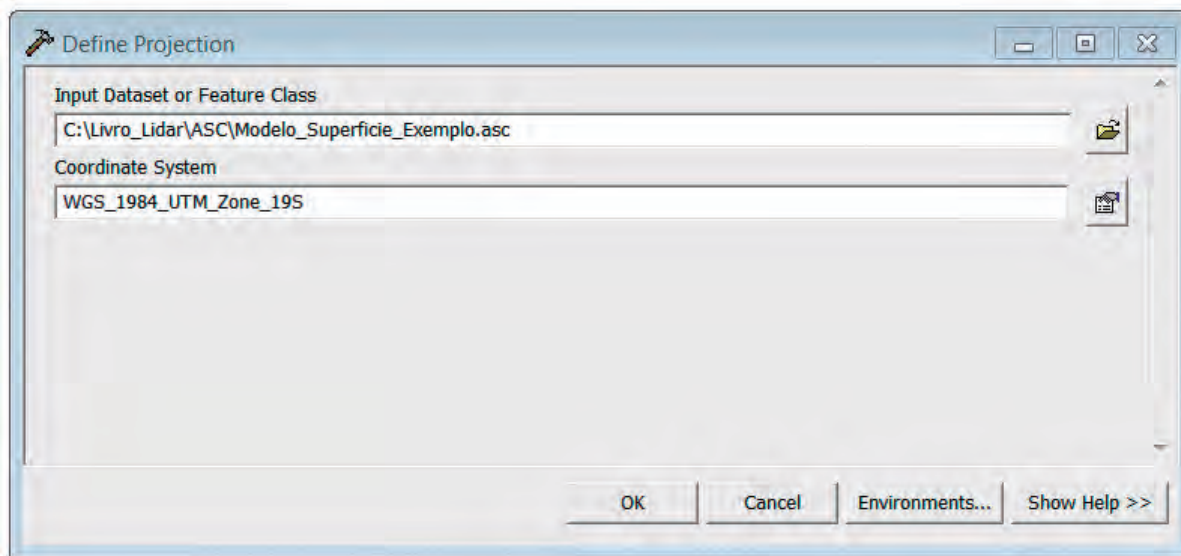


Figura 15. Definição do sistema de projeção de coordenadas (Modelo_Superficie_Exemplo.asc) no ArcGis, por meio do comando *Define Projection*.

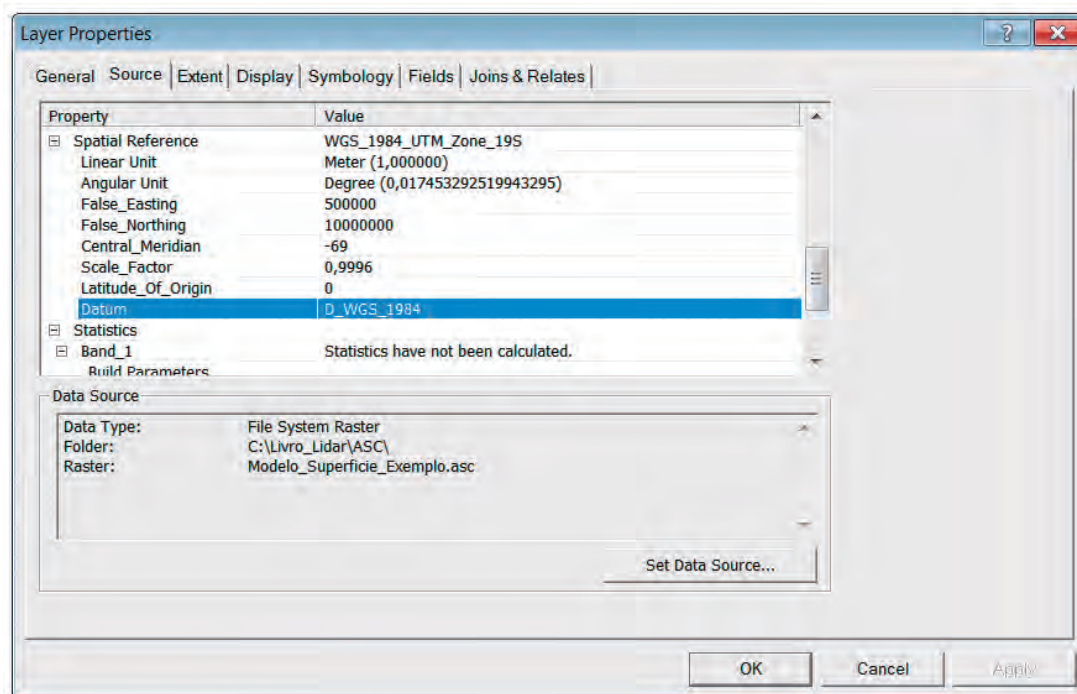


Figura 16. Verificação do sistema de coordenadas e sistema de referência (Datum) do modelo de superfície exportado para o formato ASC.

2.4.3. Alteração das propriedades de arquivos ASC e raster

Ao adicionar o raster *Modelo_Superficie_Exemplo.asc* no *Data View* do ArcGis, a imagem aparece preta, sem graduação por cores. Para melhorar a visualização do arquivo ASC e consequentemente interpretar seu conteúdo e fazer novas modelagens, é preciso ajustar sua simbologia.

33. Abrir a janela de propriedades clicando com o botão direito do *mouse* em cima do nome da imagem (ex. *Modelo_superficie_Exemplo.asc*).

34. Na aba *Layer properties* selecionar *symbology* para definir a graduação de cinza adequada.

35. No campo *Show*, selecionar a opção *Stretched*.

36. No campo *Tretch* selecionar em *Type* a opção *Standard Deviations* e $n = 2$ (Figura 17). A imagem deve agora aparecer com os tons de cinza ajustados (Figura 18).

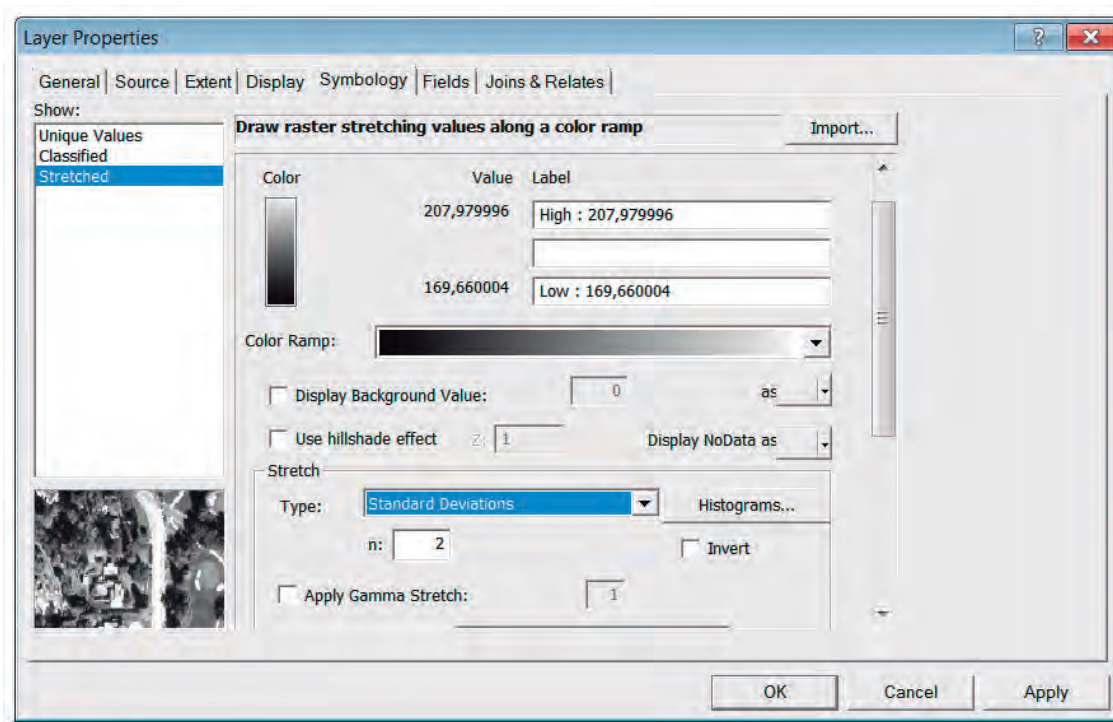


Figura 17. Edição da simbologia da imagem referente ao modelo de superfície.

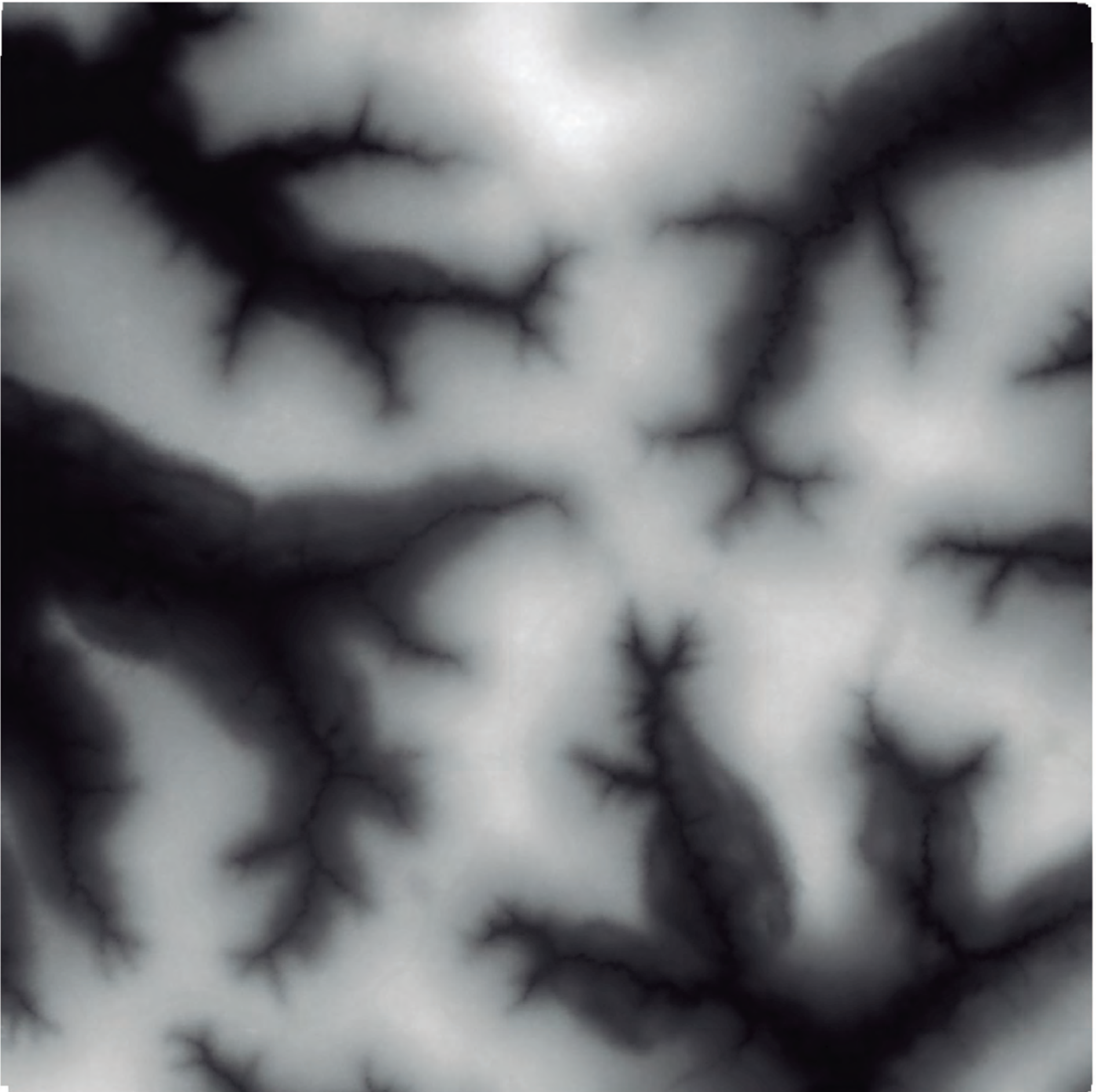


Figura 18. Modelo de superfície após o ajuste dos tons de cinza na simbologia.

2.4.4. Conversão de arquivos do formato ASCII para raster

Arquivos no formato ASCII importados para o ArcGis devem ser convertidos em arquivos raster a fim de facilitar a sua manipulação, edição e análises:

37. Abrir *Arctollbox* > *Conversion tools* > *To Raster* > *ASCII to Raster*.
38. Selecionar, no campo *input feature*, o arquivo a ser convertido (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Superficie_Exemplo.asc).
39. Definir o nome e o endereço do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Superfic) no campo *Output Raster*.
40. Selecionar a opção *Integer* no campo *Output data type* e pressionar Ok (Figura 19).
41. Definir projeção do arquivo raster Mod_Superfic criado na etapa anterior, seguindo os comandos 30 a 32.

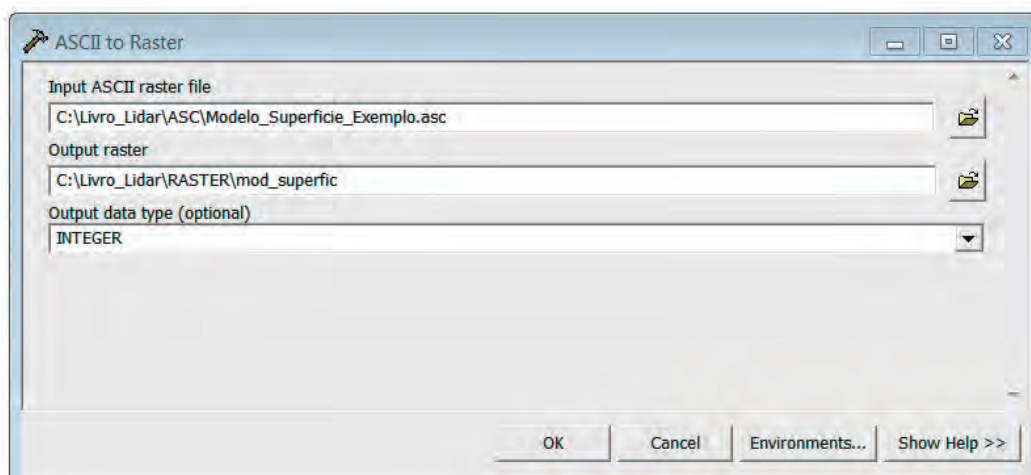


Figura 19. Conversão do modelo de superfície do formato ASCII para raster (imagem), por meio do comando *ASCII to Raster* do ArcGis.

3. Microzoneamento florestal

O microzoneamento é composto pelos modelos topográfico e hidrográfico da área florestal que será manejada. A acurácia dos modelos gerados nesta etapa é fundamental para subsidiar a fase de planejamento da exploração. Os dados Lidar serão utilizados para modelagem do relevo, definição de áreas de acesso restrito, modelagem dos cursos de água e definição da área de preservação permanente. Todos esses produtos serão gerados a partir do modelo de superfície nua do terreno.

3.1. Modelo de superfície

3.1.1. Filtragem dos pontos da superfície por meio do comando *Groundfilter*

Para a construção do modelo de superfície serão utilizados somente os pontos Lidar que atingiram a superfície do solo. A filtragem desses pontos pode ser feita pelo comando *Groundfilter*. A utilização desse comando demanda alguma experiência do usuário e requer que os parâmetros sejam calibrados para a obtenção de resultados consistentes especialmente quando se pretende produzir modelos de alta resolução (células menores que 2 m). A linha de comando 1 foi construída para a produção de um modelo com resolução de 2 m com os dados Lidar que acompanham esta publicação (*Filtro_Superficie_Exemplo.bat*). Amostras Lidar de outras áreas, provavelmente, irão demandar uma calibração diferente dos parâmetros desse comando.

Normalmente, pontos filtrados da superfície são fornecidos pelas empresas que prestam serviços de aquisição de dados Lidar. Em alguns casos esses pontos são fornecidos no formato *.XYZ*. Arquivos desse tipo podem ser convertidos para a extensão *LDA*, com os quais é possível gerar o modelo de superfície. O procedimento de conversão de arquivos com extensão *.XYZ* ou *.ASCII* para *.LDA* segue a rotina abaixo:

Observação: os dados filtrados no formato *.XYZ* não estão disponíveis no CD *Livro_Lidar*.

42. Executar o programa *Fusion*.

43. Clicar na opção *tools > data conversion > import generic AscII lidar data*.

44. Clicar no primeiro campo chamado *browse* da janela *Import ASCII data*.

45. Selecionar o arquivo a ser convertido.

46. Clicar no segundo campo chamado *browse* e definir o nome e endereço do arquivo de saída, na extensão *.LAS* ou *LDA* (ex. *C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Grid_exemplo.lda*).

47. Clicar em *import data*.

⇒ **Linha de comando 1: Groundfilter – filtragem dos retornos da superfície**

```
Groundfilter /wparam:1.8 /gparam:-1.8 /tolerance:0.1 /iterations:10 C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Dados_Filtrados_Exemplo.Ida 2 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
```

Onde:

Groundfilter = comando do Fusion que filtra os dados da superfície.

/wparam: e /gparam:-1.8 = parâmetros para balancear a equação de filtragem.

/tolerance:0.1 = valor de tolerância para a filtragem final de pontos.

/iterations:10 = número de interações usadas durante a filtragem de pontos.

Dados_Filtrados_Exemplo.Ida = arquivo de saída com pontos da superfície filtrados.

2 = tamanho da grade do arquivo de saída em metros.

C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt = arquivo texto com a seleção e localização dos arquivos de dados Lidar que serão usados para compor o modelo.

3.1.2. Criação do modelo de superfície por meio do comando *Gridsurfacecreate*

Com a grade de dados de superfície da área amostra convertida para extensão LDA é possível gerar o modelo de superfície (Modelo_Superficie_Exemplo) por meio do comando *Gridsurfacecreate* (linha de comando 2). A edição e execução da linha de comando Modelo_Superficie_exemplo.bat devem ser feitas conforme os itens 2.1 e 2.2.2.

Após a criação do Modelo_Superficie_Exemplo.dtm no Prompt DOS é possível visualizar o modelo de superfície no programa Fusion pela seguinte rotina:

48. Abrir o Fusion, clicar em *Image* e carregar a imagem Amostra_FEA_Exemplo.bpm.
49. Clicar em *Raw data*, abrir o arquivo referente à grade de dados Lidar (ex. C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Grid_Exemplo.Lda) (Figura 20).
50. Clicar em *Bare Earth* e selecionar o arquivo (ex. C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm) (Figura 21).
51. Selecionar um trecho da imagem e aguardar visualização no programa LDV (Figura 22).
52. A exportação do arquivo DTM criado para o ArcGis segue os procedimentos descritos no item 2.4.1 deste trabalho.

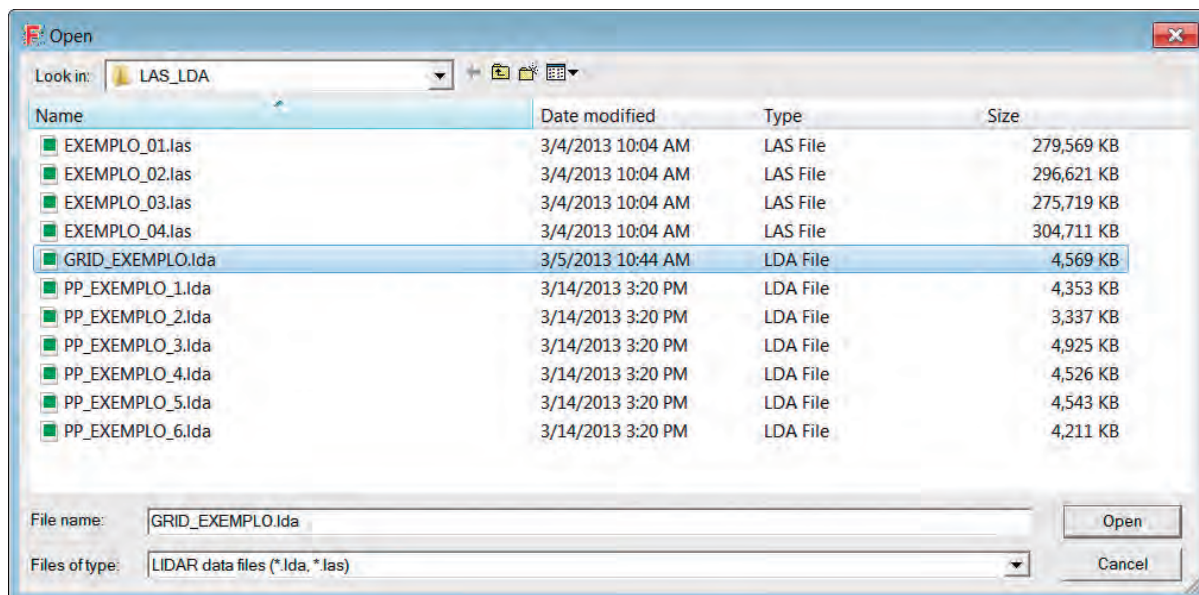


Figura 20. Carregamento da grade de pontos de superfície.

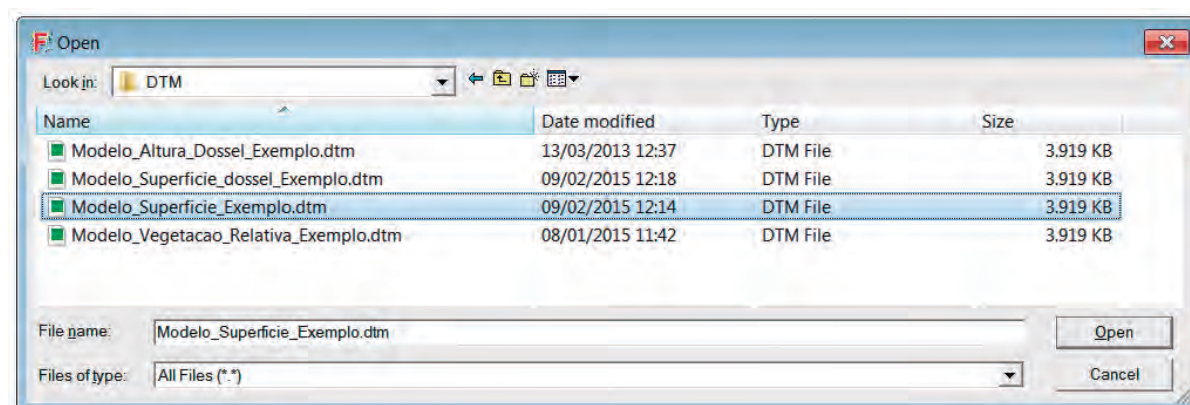


Figura 21. Carregamento do modelo de superfície sobre a imagem da área amostrada.

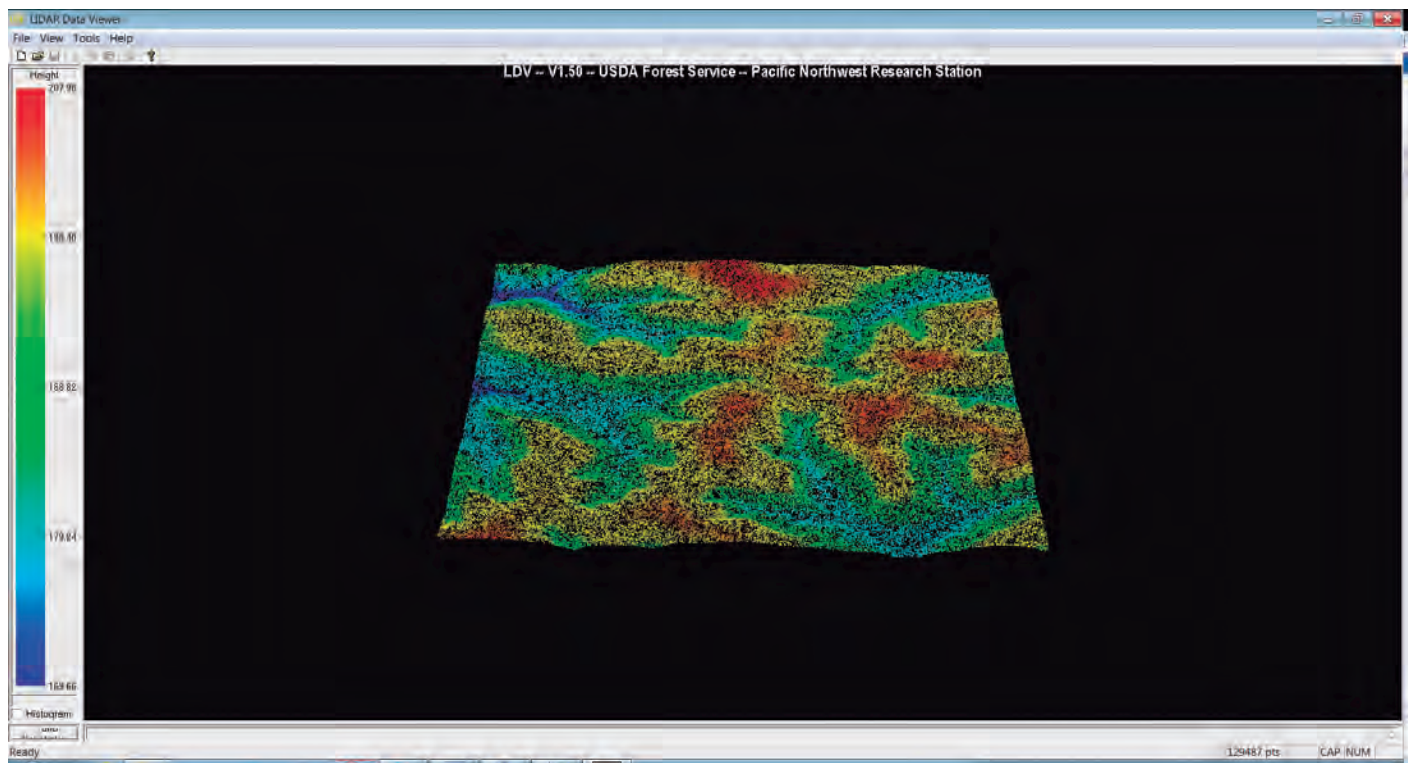


Figura 22. Visualização da imagem tridimensional do modelo de superfície da amostra no LDV.

Linha de comando 2: *Gridsurfacecreate* – criação do modelo digital de superfície nua

gridsurfacecreate C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm 1 M M 1 0 0 0 C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\Grid_Exemplo.Ida

Onde:

gridsurfacecreate = comando Fusion para geração do modelo de superfície.

C:\Livro_Lidar\DTM = diretório onde será salvo o arquivo a ser criado.

Modelo_Superficie_exemplo.dtm = nome do arquivo a ser produzido.

1 = tamanho da grade (grid) em metros.

M = eixo X, Y (unidade dos eixos X e Y é metro).

M = eixo Z (unidade do eixo Z é metro).

1 = sistema de coordenadas UTM.

0 0 0 = sistema de coordenadas geográficas (valor zero significa que o sistema de coordenadas não será definido no momento da criação do DTM).

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA = diretório onde está armazenado o arquivo de entrada.

Grid_Exemplo.Ida = arquivo de entrada.

3.2. Modelagem da topografia

O diagnóstico topográfico da área será feito de forma semelhante ao procedimento de modelagem do relevo utilizado por Figueiredo et al. (2007), por meio do programa ArcGis. A modelagem topográfica ajuda na determinação das áreas de preservação permanentes e na tomada de decisão para alocação de pátios, estradas e trilhas de arraste na área de manejo.

A partir do modelo de superfície serão produzidos efeitos de sombreamento (*hillshade*), curvas de nível (*contour*) e modelos tridimensionais de relevo (*TIN*) para facilitar a visualização e interpretação do relevo da área amostrada.

3.2.1. Geração do efeito de sombreamento

53. Clicar em *3D Analyst > Spatial Analyst > Hillshade*.

54. Selecionar o arquivo de entrada no campo "*Input surface*" (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Mod_Superfic.asc).

55. Definir os parâmetros do sombreamento: azimute – direção angular do sol (ex. 315°); altitude – ângulo da iluminação acima do horizonte (ex. 45°); z-factor 1.

56. No campo "*Output raster*" definir o nome e endereço do arquivo resultante (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\HS_Exemplo) (Figura 23).

3.2.2. Geração do modelo de curvas de nível

57. Clicar em *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Contour*.

58. Selecionar o arquivo de entrada no campo *Input surface* (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Superfic).

59. No campo *Output features* definir o nome e endereço do arquivo resultante (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Curvas_Nivel_5m_Exemplo) (Figura 24).

60. No campo *Contour interval* selecionar a distância desejada (em metros) entre as cotas das curvas de nível (no exemplo 5 metros).

61. Nos campos *Base contour* e *Z factor* manter os valores de 0 e 1, respectivamente.

3.2.3. Geração da rede triangular irregular – TIN

62. Clicar em *3D Analyst > Create/Modify TIN > Create TIN from feature*.

63. No campo *Layers*, selecionar o *shape* gerado no item anterior (ex. Curvas_Nivel_5m_Exemplo.shp).

64. No campo *Height source* selecionar *Contour*.

65. No campo *Triangulate as* selecionar *hard line* ou *soft line*.

No campo *Output TIN* definir o nome e endereço do arquivo resultante (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Tin_Exemplo). O modelo TIN gerado a partir dos dados usados como exemplo é apresentado na Figura 25.



Figura 23. Modelo de superfície com efeito de sombreamento (*hillshade*) com escala de cinza de 0 a 256 e parâmetros: azimute 315° (direção angular do sol); altitude 45° (ângulo da iluminação acima do horizonte); z-factor 1.

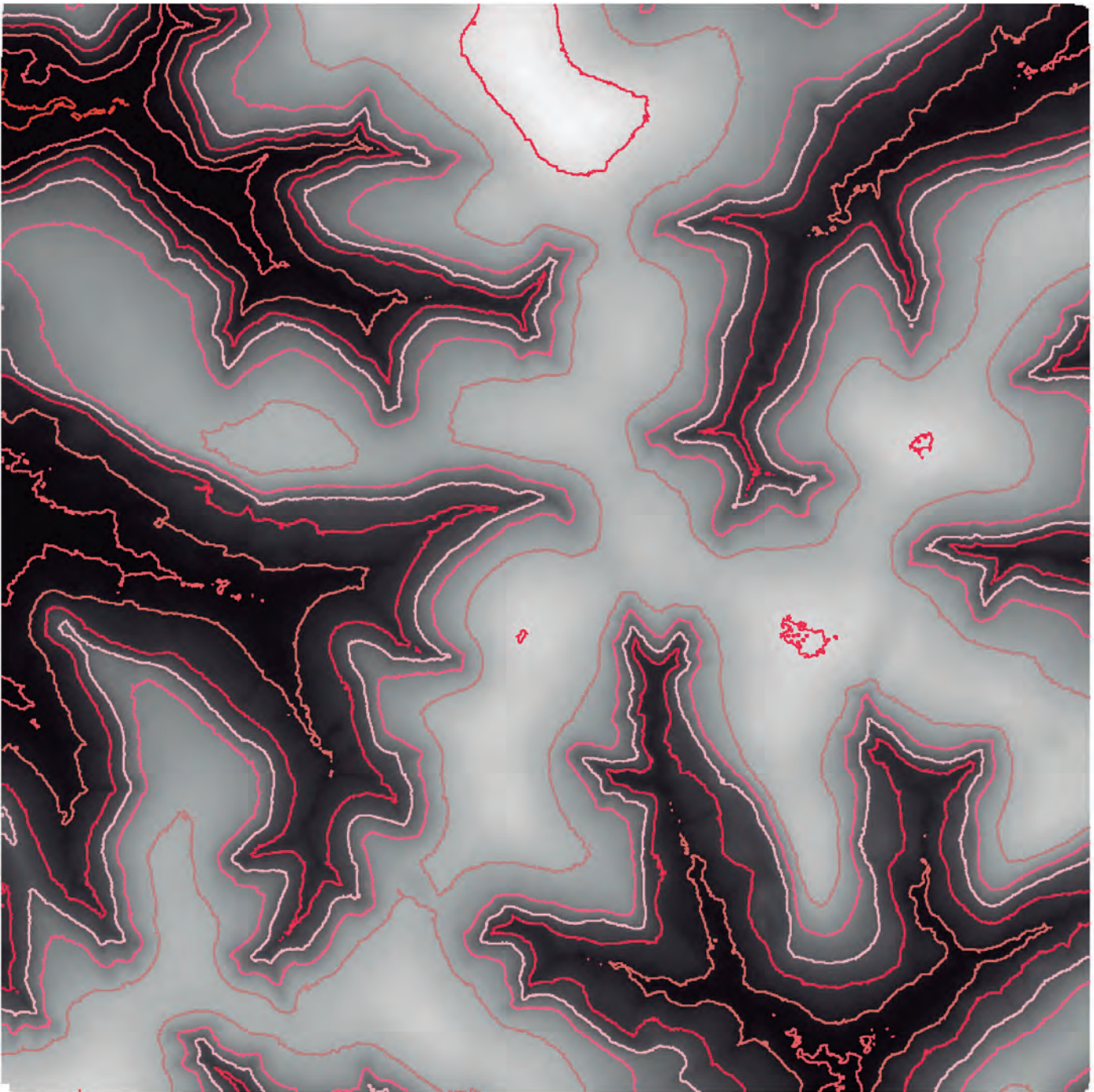


Figura 24. Modelo de superfície com curvas de nível com intervalo de 5 metros.

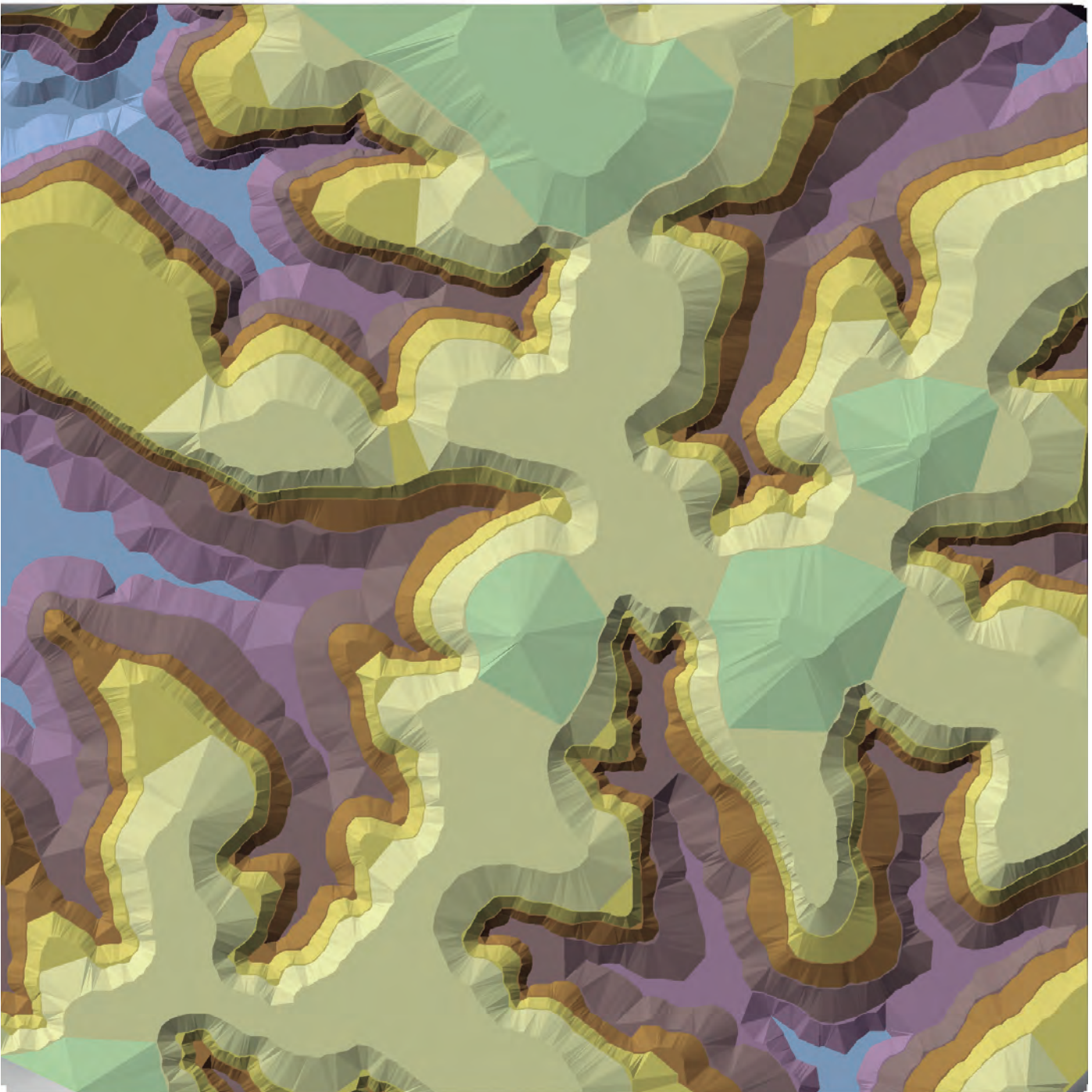


Figura 25. Imagem TIN (Triangular Irregular Network) gerada a partir do modelo de superfície.

3.3. Áreas de acesso restrito

Áreas de acesso restrito são aquelas onde os aclives e declives do terreno devem ser evitados para passagem de estradas, construção de pátios e arraste de toras. Valores de restrição são normalmente apresentados na forma de percentuais que variam de acordo com a especificação técnica das máquinas usadas, tipo de solo e regime de chuvas. Nesse exemplo, foi considerada como declividade máxima aceitável para construção de estradas equivalente a 15%. A geração desse modelo será feita por meio da ferramenta *Slope* do ArcGis. Os valores adotados para a divisão da declividade em classes são: classe 1 de 0% a 14,9% (adequada para a construção de infraestrutura e passagem de máquinas) e classe 2 com declividade igual ou superior a 15%.

Observação: para que a camada *Slope* a ser gerada possa ter suas propriedades alteradas, é necessário que o raster modelo de superfície utilizado tenha sido gerado com a opção *INTEGER* selecionada na janela *Output data type* da ferramenta *ASCII to Raster*, para evitar que a mensagem “*Too many unique values (> 70000)*” apareça quando a geração de histograma dos valores únicos for iniciada após a opção de classificação (*Classified*) ter sido selecionada.

66. Clicar em *3D Analyst > Surface Analysis > Slope*.

67. Selecionar o arquivo de entrada no campo *Input surface* (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Modelo_Superfic).

68. Selecionar no campo *Output raster* a pasta e o nome do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Slope_exemplo).

69. Selecionar no campo *Output measurement* a opção *Percent_rise*, caso queira valores de declividade em percentagem, ou *Degree* para valores em graus. Nesse exemplo, adotar a opção *Percent_rise*.

70. Nos campos *Z Factor* e *Output cell size*, sugere-se que seja mantido o valor 1 em ambos os casos (Figura 26).

Para converter a imagem *Slope_exemplo* em polígono, é necessário fazer, primeiramente, o procedimento de renderização. Em seguida será gerado o *shape* de área restrita para áreas com declividade igual ou superior a 15%.

71. Editar a imagem gerada (*Slope_exemplo*) para classificação dos dados em duas classes (classe 1 de 0% a 14,9% e classe 2 igual ou acima de 15%): *Layer Properties > Symbology > Classified > Classification > Classes = 2* (Figura 27). Pressione *Classify* e na janela *Break Values* digite o valor 14,99 para a primeira classe, pressione *Ok* para fechar a janela de classificação e *Ok* novamente para aplicar as mudanças nas propriedades da camada (*Layer properties*).

72. Clicar com o botão direito sobre o *layer* da imagem (*slope*) > *Data > Export Data*.

73. Na janela *Export Raster Data*, manter as opções *Raster Data Set (Original)* selecionadas nas janelas *Extent* e *Spacial Reference* e habilitar a opção *Use Renderer* na janela *Output Raster*.

74. Selecionar no campo *Location* a pasta onde o arquivo será salvo (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER).

75. Selecionar no campo *Name* o nome do arquivo: *slope_render*.

76. Selecionar no campo *Format* a extensão da imagem (IMAGINE).

77. Clicar em *Save*.

As áreas de acesso restrito receberão o valor 1 que representa pixels com declividade igual ou superior a 15%. Áreas com declividade inferior a 15%, recomendadas para o planejamento e construção da rede de estradas e pátios de estocagem, receberão o valor 0 na imagem.

78. No *Spatial analyst* selecionar *Reclassify*. No campo *Input raster* selecionar a imagem *Slope_render*. No campo *New values* selecionar *NoData* para o campo 0 e para o campo 1 o valor 1. No campo *Output raster* definir o nome e endereço do arquivo (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Slope_class).

79. Abrir *Arctoolbox*>*Conversion Tools*>*From Raster*>*Raster to Polygon*.

80. Selecionar no campo *Input raster* a imagem *slope_class.img*.

81. Definir no campo *Output polygon feature* o endereço e nome de arquivo (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_restrita_15_porcento.shp) (Figura 28).

82. Manter a opção *Simplify polygons (optional)* habilitada e clicar *Ok*.

Apenas os valores iguais ou acima de 15% de declividade serão usados para a construção do polígono Área Restrita (Figura 29).

Outra forma de definir áreas restritas é pela metodologia descrita em Figueiredo et al. (2007, cap. 7, p. 135-137). Nela, as áreas restritas são definidas pelo intervalo de cotas das curvas de nível, distância horizontal entre curvas e declividade a ser considerada restritiva.

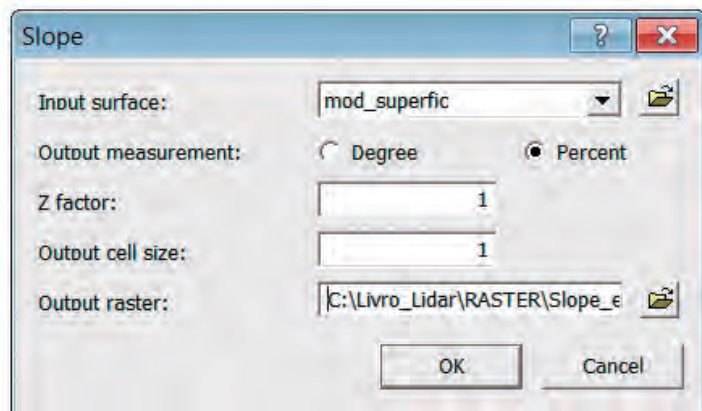


Figura 26. Produção do modelo de declividade (*slope_exemplo*) por meio do comando *Slope* do ArcGis.

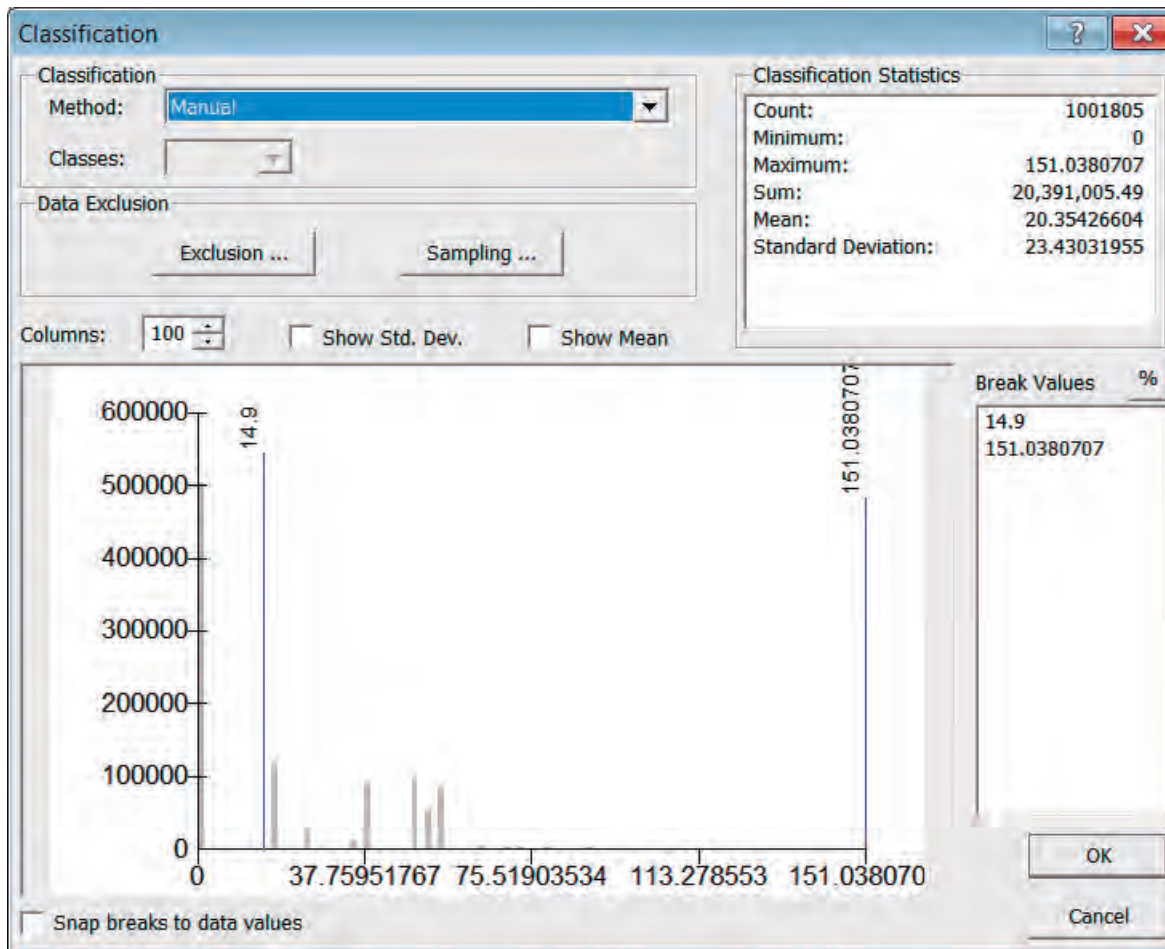


Figura 27. Classificação da imagem *slope_exemplo* em duas classes de declividade: até 14,9% e acima deste valor.

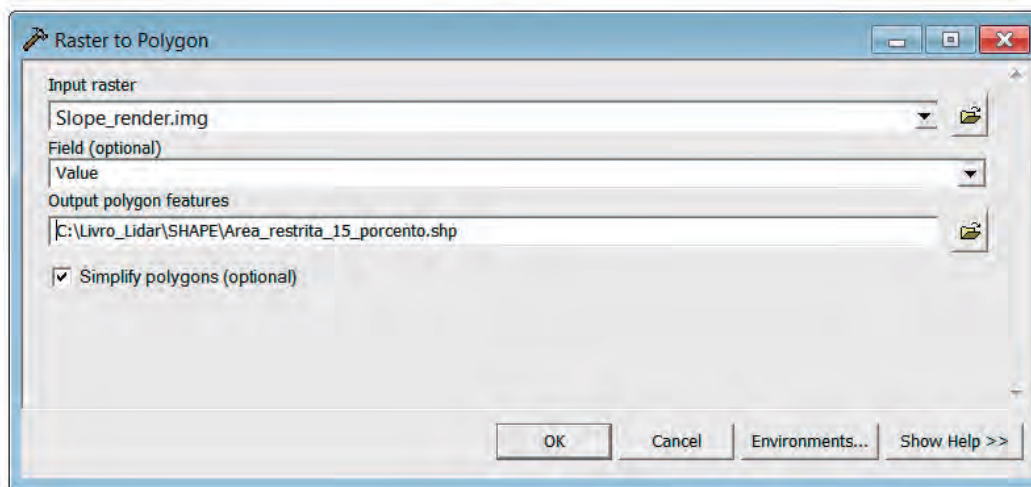


Figura 28. Conversão de raster (*slope_render*) em polígono por meio do comando *Raster to Polygon* do ArcGis.

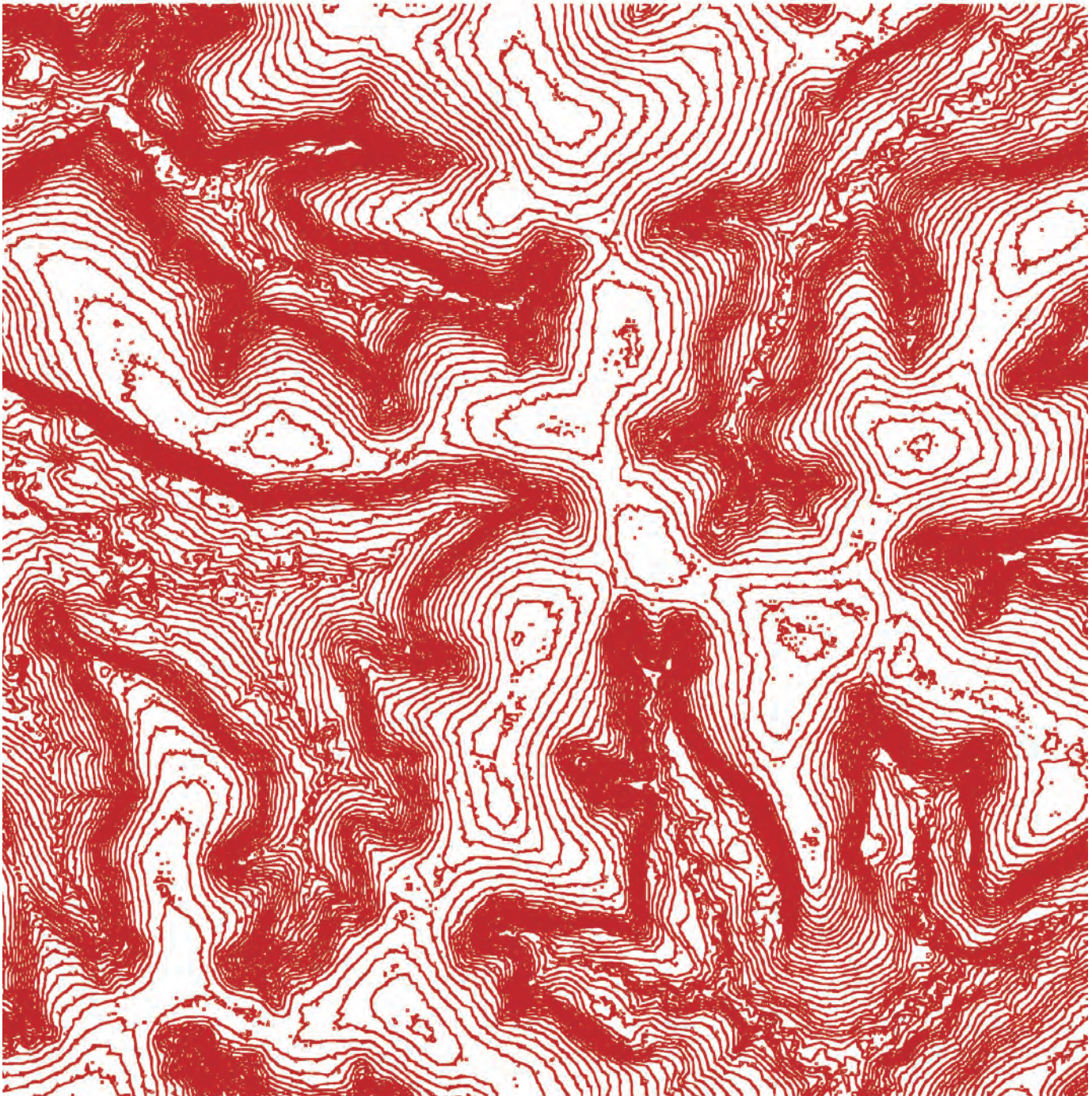


Figura 29. Áreas de acesso restrito definidas como declividade igual ou superior a 15%.

3.4. Modelagem da hidrografia

A modelagem da hidrografia consiste na determinação dos cursos de água por meio do modelo de superfície com uso da ferramenta *Hydrology* do programa ArcGis. A metodologia utilizada foi baseada em Figueiredo et al. (2007) e McGaughey (2010).

3.4.1. Remoção de anomalias e inconsistências topográficas da imagem com uso da ferramenta *Fill*

83. Abrir o modelo (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Superficie_Exemplo.asc) no ArcMap.

84. Abrir a ferramenta *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill*.

85. Selecionar em *Input surface raster* o arquivo (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Superficie_Exemplo.asc).

86. Nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Fill_Exem).

87. Deixar o campo *Z limit* em branco e pressionar Ok (Figura 30).

3.4.2. Definição da direção de fluxo de água com uso da ferramenta *Flow direction*

88. Abrir a ferramenta *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow direction*.

89. Selecionar a imagem criada na etapa anterior C:\Livro_Lidar\RASTER\Fill_Exemplo.

90. Nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowDir_Exem) no campo *Output flow direction raster*.

91. Manter o campo *Force all edge cell to flow outward (optional)* e *Output drop raster (optional)* em branco. Pressionar Ok (Figura 31).

3.4.3. Definição da bacia de acumulação da rede de drenagem com uso da ferramenta *Flow accumulation*

92. Abrir a ferramenta *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow accumulation*.

93. Selecionar a imagem criada na etapa anterior (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FIDir_Exemplo) no campo *Input flow direction raster*.

94. Nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowAcc_Exem) no campo *Output accumulation raster*.

95. Deixar o campo *Input weight raster (optional)* em branco, manter FLOAT no campo *Output data type* e pressionar Ok (Figura 32).

3.4.4. Determinação dos valores mínimos para bacia de acumulação

96. Selecionar a ferramenta *Spatial analyst > Raster calculator >*.

97. Criar o arquivo com valores mínimos de acumulação (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowMin_Exem) de acordo com a fórmula:

$$\text{FlowMin_Exem} = \text{con}([\text{FlowAcc_Exem}] > 7000, 1).$$

98. Pressionar *Evaluate* (Figura 33).

3.4.5. Definição da ordem dos cursos de água com uso da ferramenta *Stream order*

99. Abrir a ferramenta *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Order*.
100. Selecionar a imagem criada na etapa anterior (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowMin_Exem) no campo *Input stream raster*.
101. Selecionar o modelo de direção do fluxo d'água (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowDir_Exem) no campo *Input flow direction raster*.
102. Nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Stream_Exem) no campo *Output raster*.
103. Manter o método de SHREVE no campo *Method of stream ordering (optional)* e clicar em Ok.

3.4.6. Transformação da imagem que representa a ordem dos cursos de água em um arquivo *shape* por meio do comando *Stream to feature*

104. Clicar em *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream to feature*.
105. No campo *Input stream raster*, selecionar o arquivo gerado na etapa anterior (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Stream_Exem).
106. No campo *Input flow direction raster* selecionar o arquivo de fluxo de direção da água (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\FlowDir_Exem).
107. No campo *Output polyline feature* nomear e salvar o arquivo de hidrografia (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Modelo_Hidro_Exemplo.shp).
108. Marcar a opção *Simplify polyline (optional)* e pressionar Ok (Figura 34).

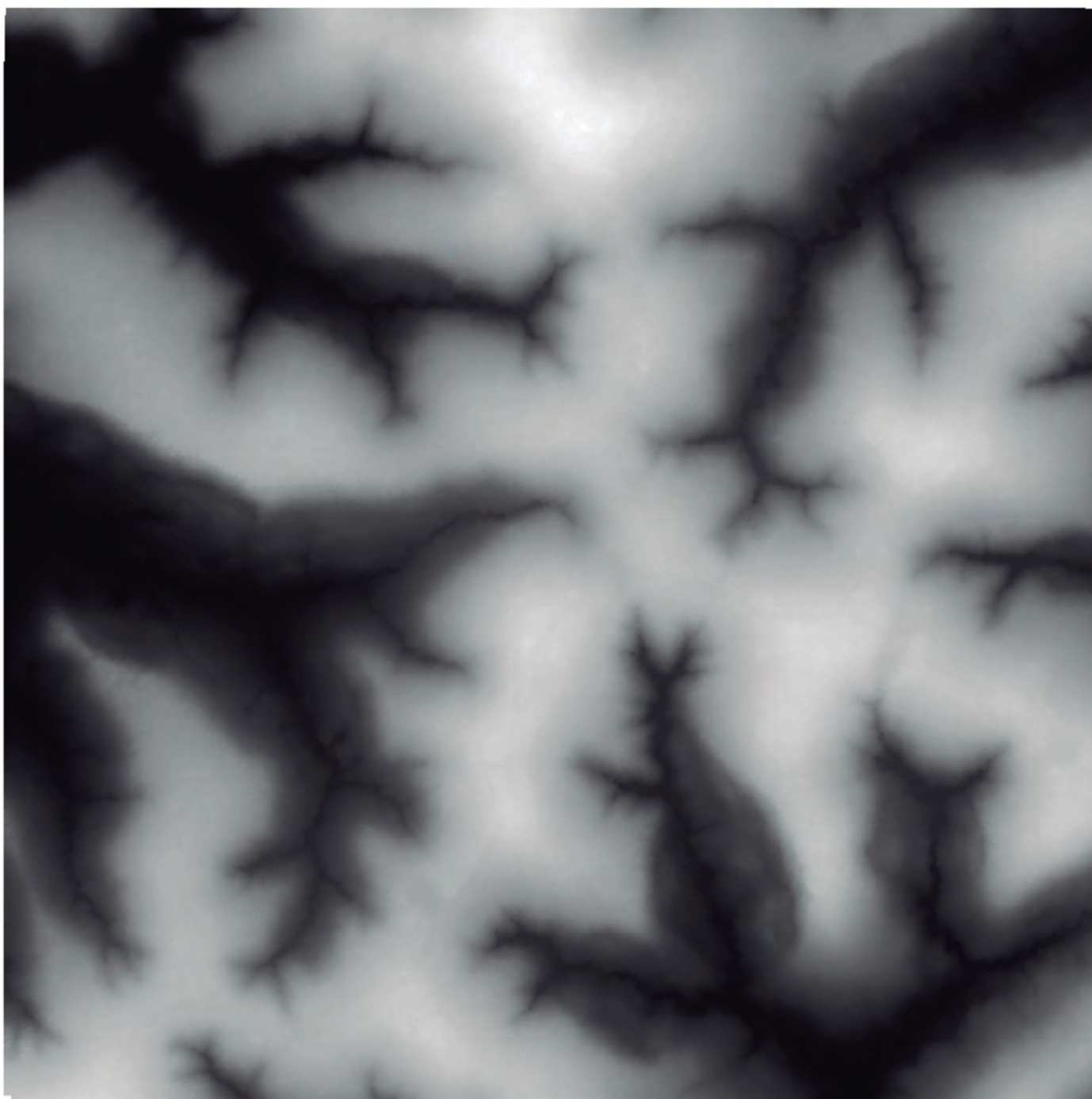


Figura 30. Remoção de anomalias e inconsistências topográficas da imagem por meio da ferramenta *Fill*.



Figura 31. Definição da direção do fluxo d'água por meio da ferramenta *Flow direction*.

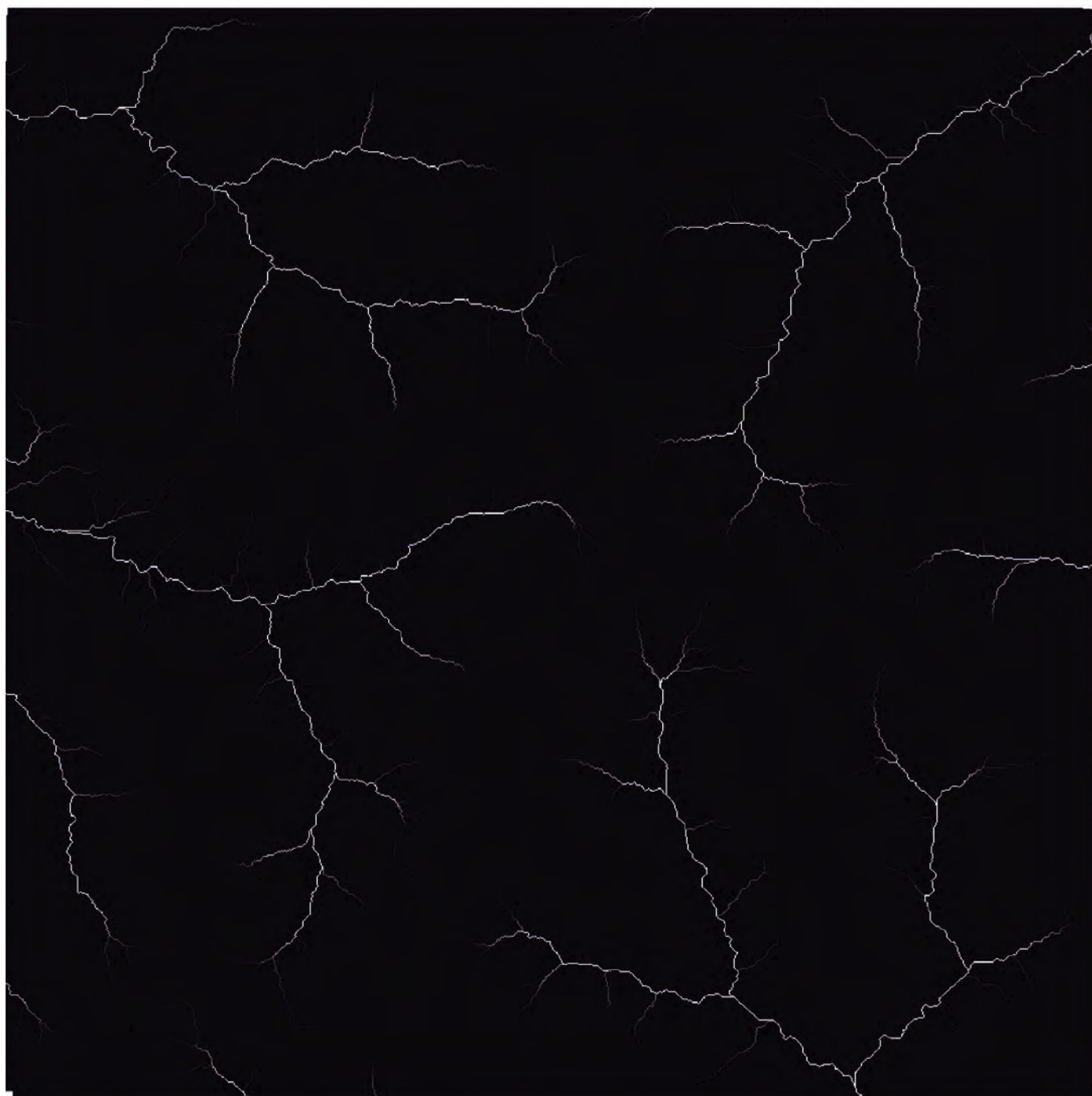


Figura 32. Definição da bacia de acumulação da rede de drenagem por meio da ferramenta *Flow accumulation*.

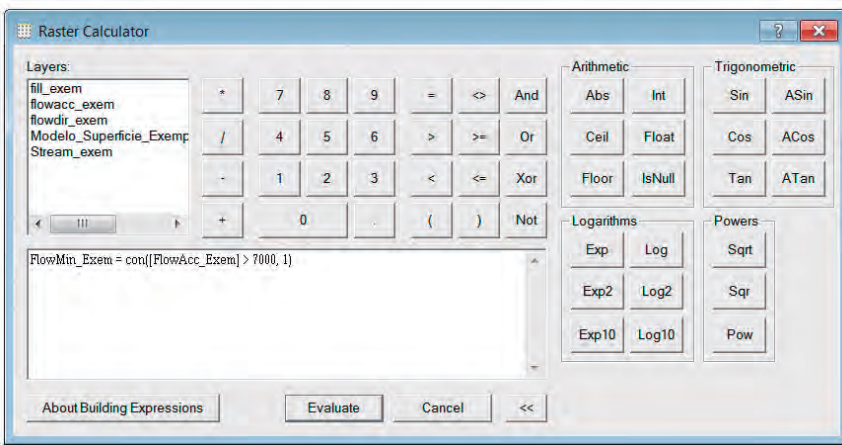


Figura 33. Detalhe da janela da ferramenta *Raster Calculator*, usada para a determinação dos valores mínimos para bacia de acumulação.

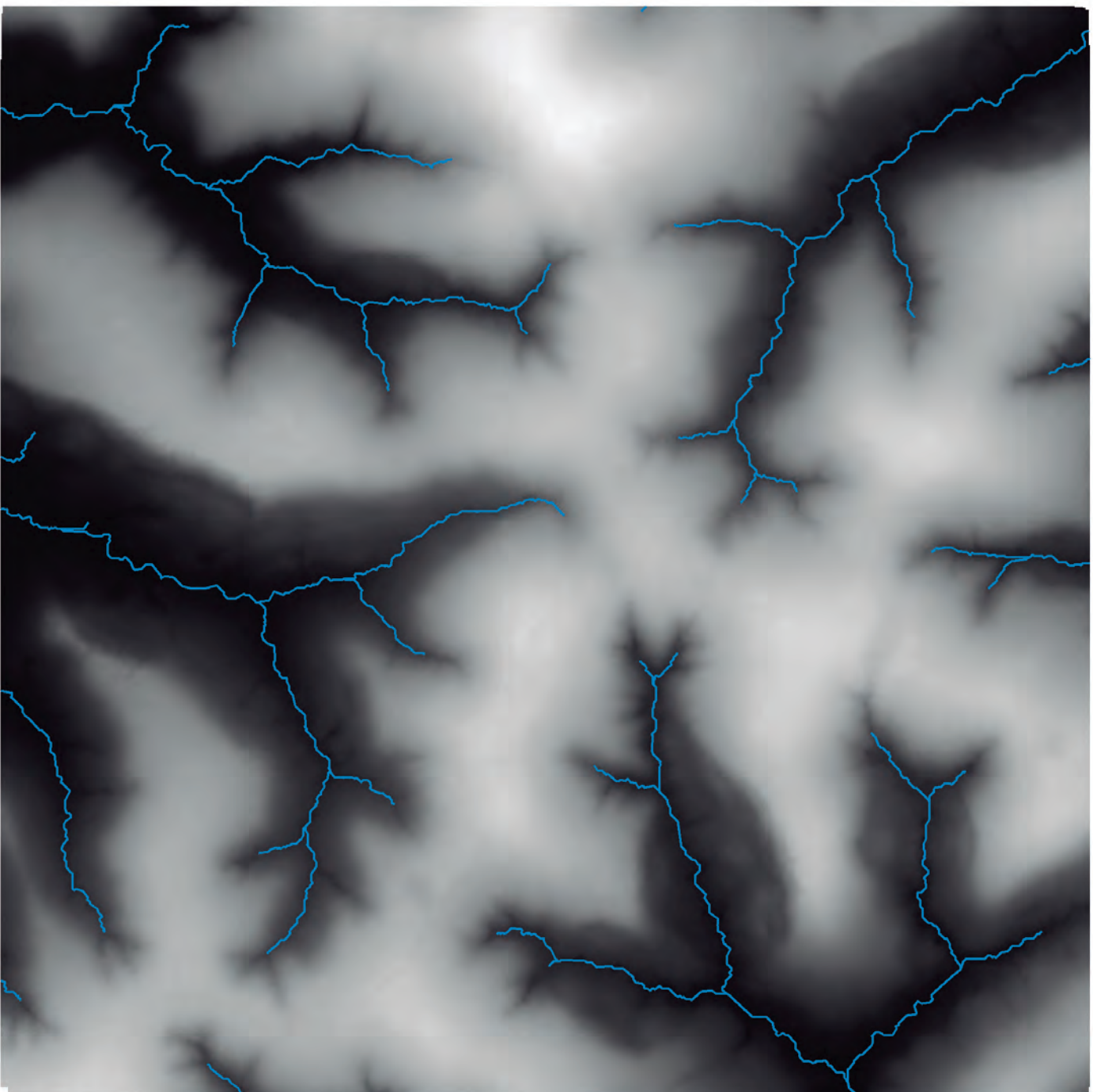


Figura 34. Modelo da hidrografia gerado a partir do modelo de superfície.

3.5. Definição das áreas de preservação permanente (APP)

As áreas de preservação permanente serão determinadas a partir dos modelos de relevo e hidrografia criados, obedecendo aos critérios estabelecidos pela lei florestal vigente (BRASIL. Lei nº 12.651/2012), criando áreas tampão em torno de rios, igarapés e trechos do terreno com inclinação superior a 45°.

3.5.1. APP de cursos de água

As áreas de preservação permanente em torno da rede de drenagem serão determinadas a partir do modelo criado no item anterior, obedecendo aos critérios estabelecidos pela lei florestal vigente (BRASIL. Lei nº 12.651/2012), criando zonas tampão em torno de rios e igarapés, por meio do uso da ferramenta *Buffer* do *Arctoolbox* (Tabela 2).

Tabela 2. Limite de área de preservação permanente para cursos de água e nascente conforme novo código florestal brasileiro.

| Largura do curso de água (metros) | Faixa de APP (metros) | Buffer (metros) |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Até 10 | 30 | ½ calha do rio + 30 |
| De 10 a 50 | 50 | ½ calha do rio + 50 |
| De 50 a 200 | 100 | ½ calha do rio + 100 |
| De 200 a 600 | 200 | ½ calha do rio + 200 |
| Acima de 600 | 500 | ½ calha do rio + 500 |
| Nascente (ponto) | 50 (raio) | 50 |

109. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Proximity > Buffer*.
110. No campo *Input Features* selecionar o modelo de hidrografia (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Modelo_hidro_Exemplo.shp).
111. No campo *Output Feature Class* nomear o arquivo que representará as áreas de APP em torno da rede hidrográfica (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Modelo_Hidro_Exemplo).
112. No campo *Distance (Value or field)* habilitar a opção *Linear unit* e preencher com a largura de uma das margens da APP.
113. Manter as opções FULL no campo *Side Type*, ROUND no campo *End Type* e ALL no campo *Dissolve Type* e pressionar Ok (Figura 35).

No caso do exemplo, essa largura foi de 30 metros, pois os cursos de água na área de estudo não ultrapassam 10 metros de largura. Quando a largura da calha do igarapé ou rio é conhecida, sugere-se que a largura do *buffer* seja calculada como sendo a soma da metade da largura da calha mais a faixa de APP de 30 metros.

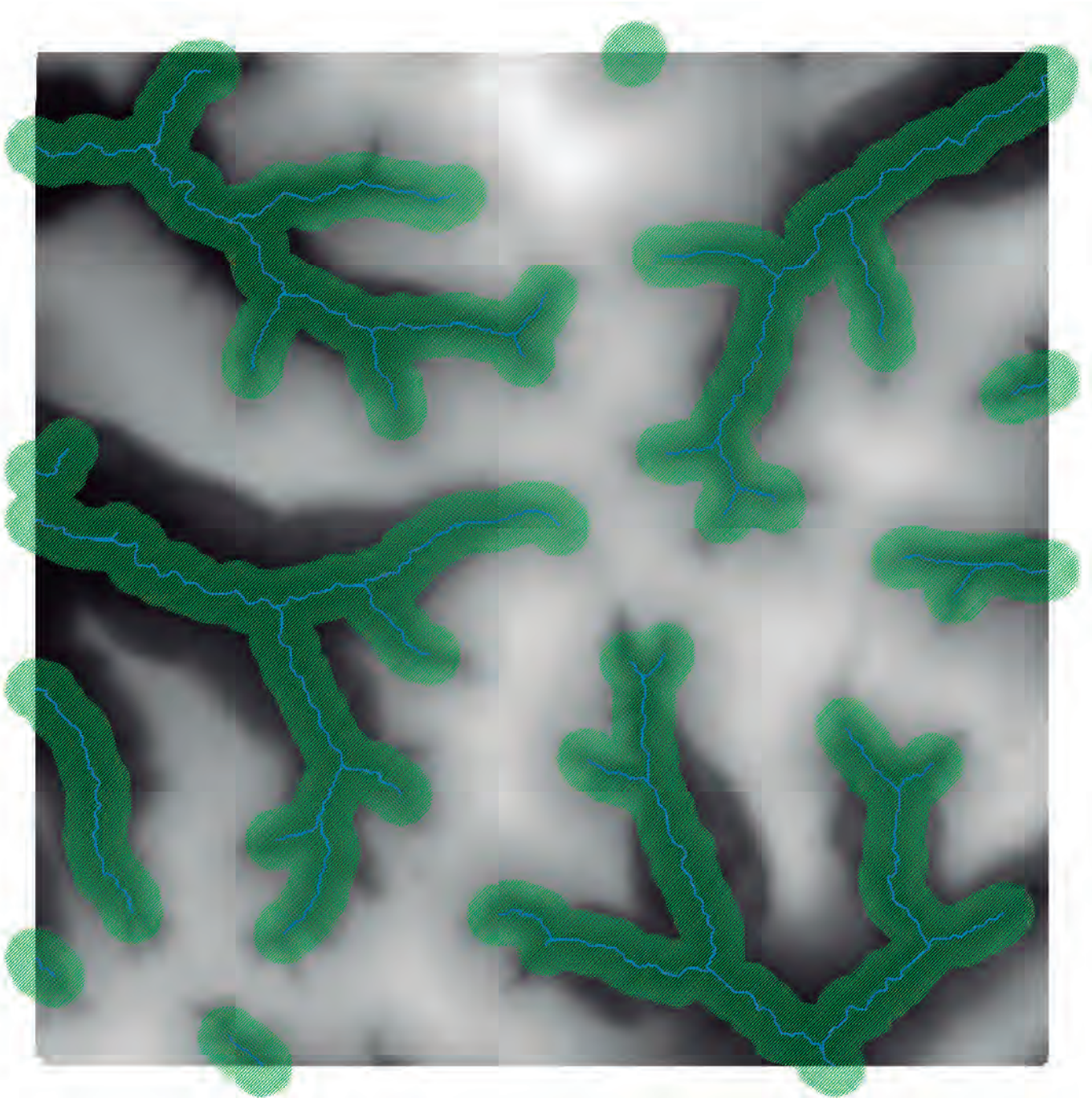


Figura 35. Área de preservação permanente, definida a partir do modelo de hidrografia para cursos de água de até 10 metros.

3.5.2. APP de nascentes

Ainda de acordo com o novo código florestal, são áreas de preservação permanente 50 metros no entorno de nascentes e olhos-d'água. Para criar os pontos representativos das nascentes será utilizada a ferramenta *XtoolsPro* e para criar a zona tampão em torno das nascentes será utilizada a ferramenta *Buffer* do *Arctoolbox*.

114. Clicar em *XtoolsPro* > *Feature Conversions* > *Convert Features to points*.
115. Selecionar *Modelo_Hidro_Exemplo.asc* em *Input feature layer*.
116. Definir o nome e endereço do arquivo de saída (ex. *C:\Livro_Lidar\SHAPE\Nascentes_Exemplo.shp*).
117. Na subjanela *Points* selecionar *End points* > *From* (habilitado) e *To* (desabilitado) e pressionar *Ok* (Figura 36).
118. Clicar em *Arctoolbox* > *Analysis Tools* > *Proximity* > *Buffer*.
119. No campo *Input Features*, selecionar o arquivo (ex. *C:\Livro_Lidar\SHAPE\Nascentes_Exemplo.shp*).
120. No campo *Output Feature Class* nomear o arquivo que irá representar as APPs das nascentes (ex. *C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Nascente_exemplo*).
121. No campo *Distance (Value or field)*, habilitar a opção *Linear unit* e preencher com a largura de uma das margens da APP, que será de 50 metros nesse caso.
122. Manter as opções *FULL* no campo *Side Type*, *ROUND* no campo *End Type* e *ALL* no campo *Dissolve Type* e pressionar *Ok*.

Essa sequência cria pontos em todas as extremidades finais do modelo da hidrografia feito anteriormente. Os pontos criados não necessariamente representam nascentes. Recomenda-se que a seleção desses pontos seja feita com base na experiência do técnico com a área de estudo ou que sejam feitas visitas de campo para confirmar a existência das nascentes criadas e verificar possíveis nascentes em locais não modelados por essa metodologia. É necessário também retirar os pontos de nascentes criados em lugares inadequados, como no meio do curso de água e em bifurcações da hidrografia. Após a verificação e edição manual dos pontos incorretos, faz-se a APP das nascentes (Figura 37).

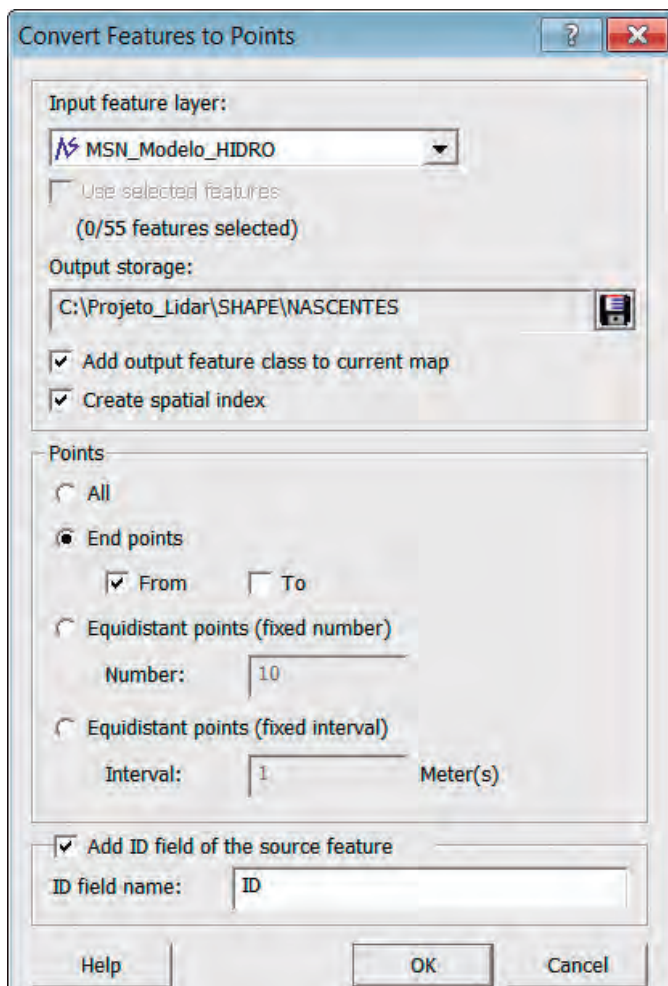


Figura 36. Ferramenta de conversão de feição em pontos do ArcGis (*Convert Features to Points*) utilizada para criar os pontos referentes às nascentes dos cursos de água.

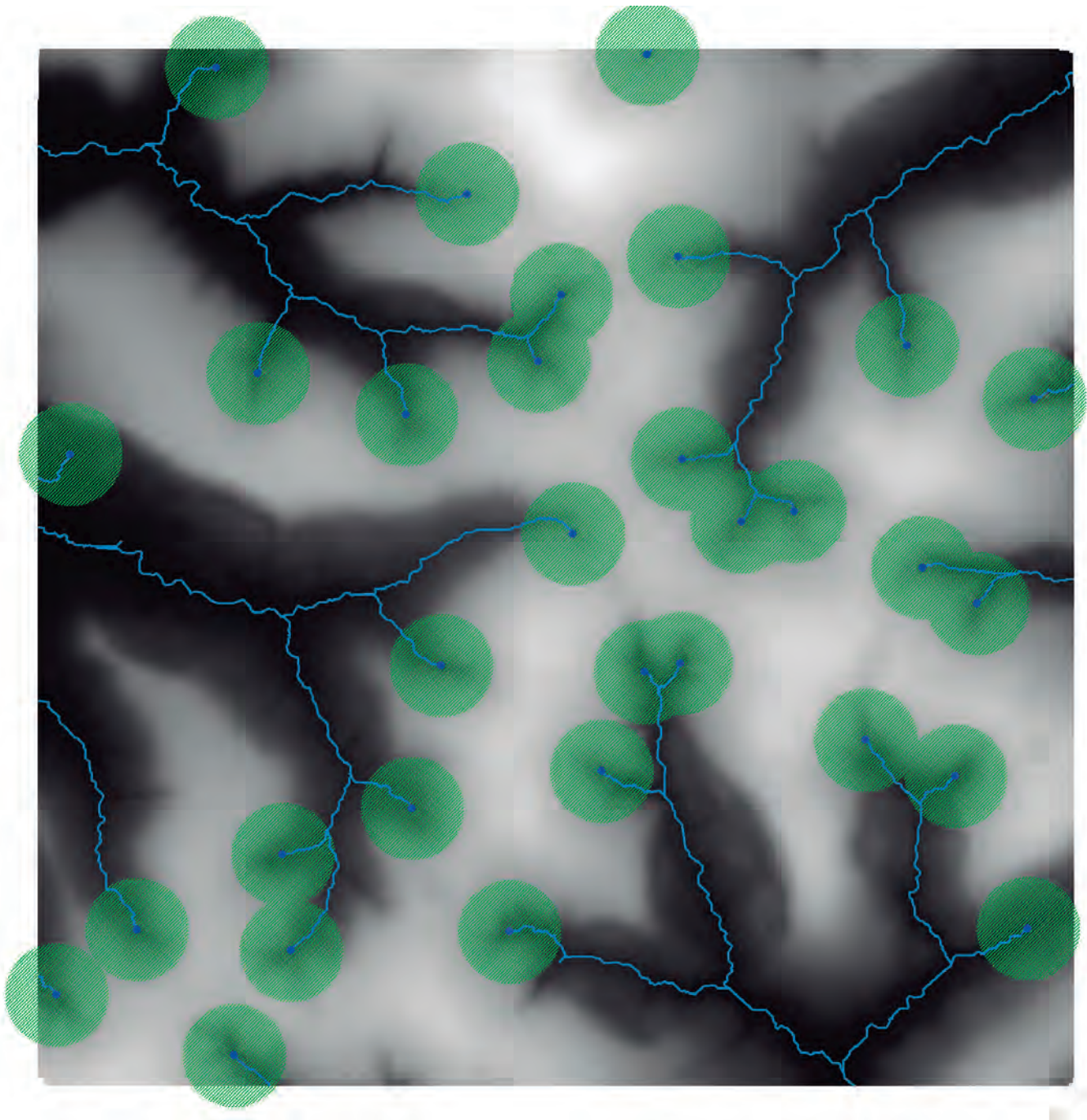


Figura 37. Área de preservação permanente para nascentes.

3.5.3. APP hidrografia

Para produzir a área de preservação permanente da hidrografia dessa área de estudo, deve-se unir as duas APPs (APP_Modelo_Hidro_Exemplo.shp e APP_Nascentes_Exemplo.shp), com a ferramenta *Union* e em seguida usar a ferramenta *Merge* para juntar os respectivos atributos e, por fim, usar a ferramenta *Clip* para recortar os fragmentos de APP que estão fora do *shape* Poligono_Exemplo (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Hidro_Exemplo.shp) (Figura 38).

123. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Overlay > Union*.
124. Adicionar os arquivos APP_Modelo_Hidro_Exemplo.shp e APP_Nascentes_Exemplo.shp em *Input feature layer*.
125. Definir o nome e endereço do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_union_exemplo.shp).
126. Clicar em *Editor* e iniciar a edição no botão *Start editing*.
127. Clicar com o botão direito sobre o *layer* APP_union_exemplo (na janela de camadas do Arcmap) e clicar em *Selection > Select All*.
128. Clicar em *Editor > Merge > Ok*.
129. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Extract > Clip*.
130. No campo *Input Features*, selecionar o arquivo da APP unida (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_union_exemplo.shp).
131. No campo *Clip Feature Class* selecionar o polígono da área de estudo (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Poligono_exemplo).
132. Definir o nome e endereço do arquivo de saída no campo *Output Feature Classe* (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Hidro_exemplo.shp).

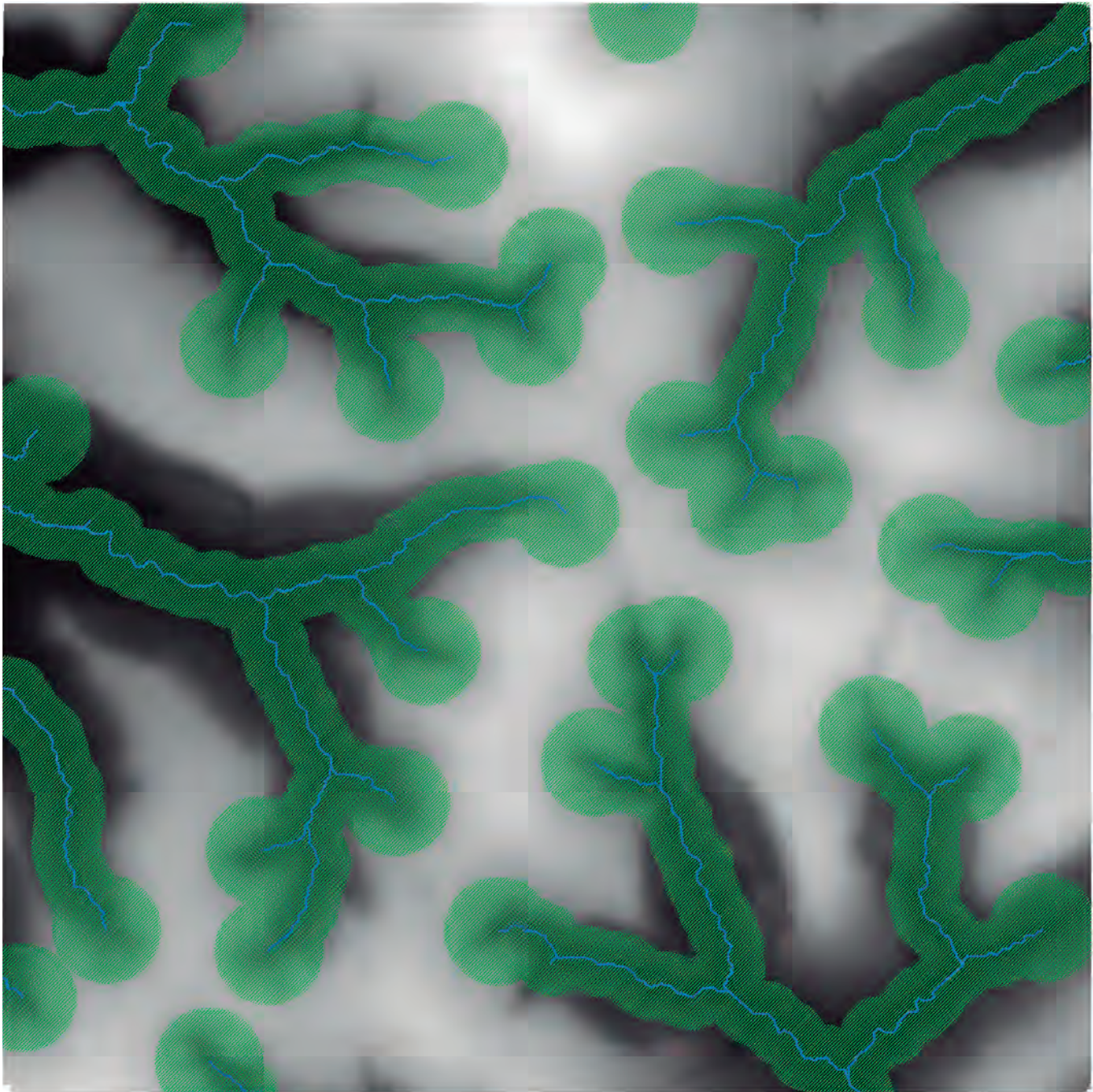


Figura 38. Área de preservação permanente final para a hidrografia da área da amostra.

3.5.4. APP de relevo

De acordo com a lei florestal, áreas de encostas ou partes destas com declividade superior a 45° são classificadas como APPs. A determinação dessas áreas será feita a partir do modelo de relevo produzido no item 3.1, por meio da ferramenta *Slope*. Após a produção da imagem *Slope*, serão definidas duas classes de valores de declividade: maior ou menor que 45°. Em seguida, a imagem será renderizada para então ser convertida em um arquivo de polígono, com o qual será possível produzir a APP de relevo.

3.5.4.1. Geração da imagem raster da APP de relevo

133. Clicar em *Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*.
134. Selecionar no campo *Input surface*, o arquivo de superfície (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Superfic).
135. Selecionar no campo *Output measurement*, a opção *Percent* caso queira valores de declividade em porcentagem ou *Degree*, para valores em graus. Nesse exemplo, adotar a opção *Degree*.
136. Nos campos *Z Factor* e *Output cell size*, manter o valor 1 em ambos.
137. Selecionar no campo *Output raster* a pasta e o nome do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Slope45_Exem) (Figura 39).
138. Editar a imagem gerada no passo anterior para divisão em duas classes, uma de 0° a 44,9° e outra acima de 45°: *Layer Properties > Symbology > Classified > Classification > Classes 2, 1* (Figura 40).
139. No diretório de camadas (*layers*) em uso, clicar com o botão direito sobre o nome da imagem gerada no item anterior e selecionar *> Data > Export Data*.
140. Na janela *Export Raster Data*, manter as opções *Raster Data Set (Original)* selecionadas nas janelas *Extent* e *Spacial Reference* e habilitar a opção *Use Renderer*.
141. Selecionar no campo *Location* a pasta onde o arquivo será salvo (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER).
142. Selecionar no campo *Name* o nome do arquivo a ser gerado (*Slope_rdr_Exem.img*).
143. Selecionar no campo *Format* a extensão da imagem (IMAGINE).
144. Clicar em *Save* (Figura 41).

3.5.4.2. APP para declividade igual ou maior que 45°

Na imagem *Slope_rdr_Exem*, as áreas com declividade maior ou igual a 45° receberam o valor 1 e as áreas com declividade inferior a 45°, o valor 0. Todos os pixels demarcados com o valor 1 são considerados APPs, sem necessidade de criação de *buffers*, entretanto, estes precisam ser convertidos em polígono.

145. Abrir a tabela de atributos da imagem *Slope_rdr_Exem.img* e selecionar toda a linha com valor 1 no campo *Value*.
146. Clicar em *Arctoolbox > Conversion tools > Raster to polygon*.
147. Selecionar o raster gerado no item anterior (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Slope_rdr_Exem) no campo *input raster*.

148. Manter *value* no campo *Field (optional)*.
149. Selecionar no campo *Output polygon feature* o endereço e nome (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_45graus_Exemplo.shp).
150. Desmarcar a opção *simplify polygons* e clicar Ok (Figura 42). Após a execução desse comando, as áreas com declividade acima de 45° aparecerão na tela do computador no formato *shape*. Na área usada como exemplo apenas uma pequena parte possui essa característica (Figura 43).

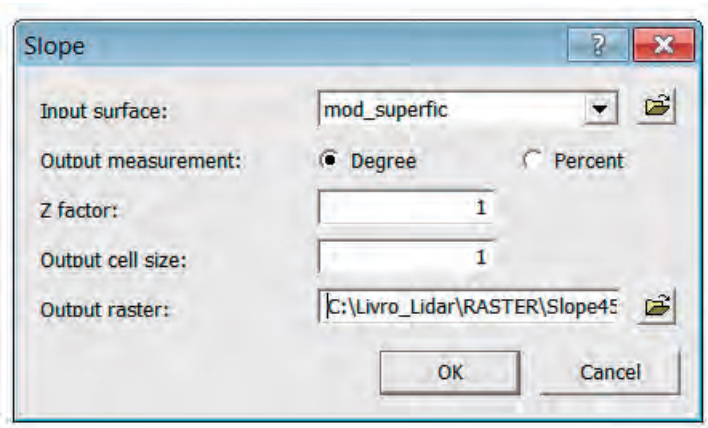


Figura 39. Ferramenta *Slope* para produção de imagem de declividade a partir do modelo de superfície.

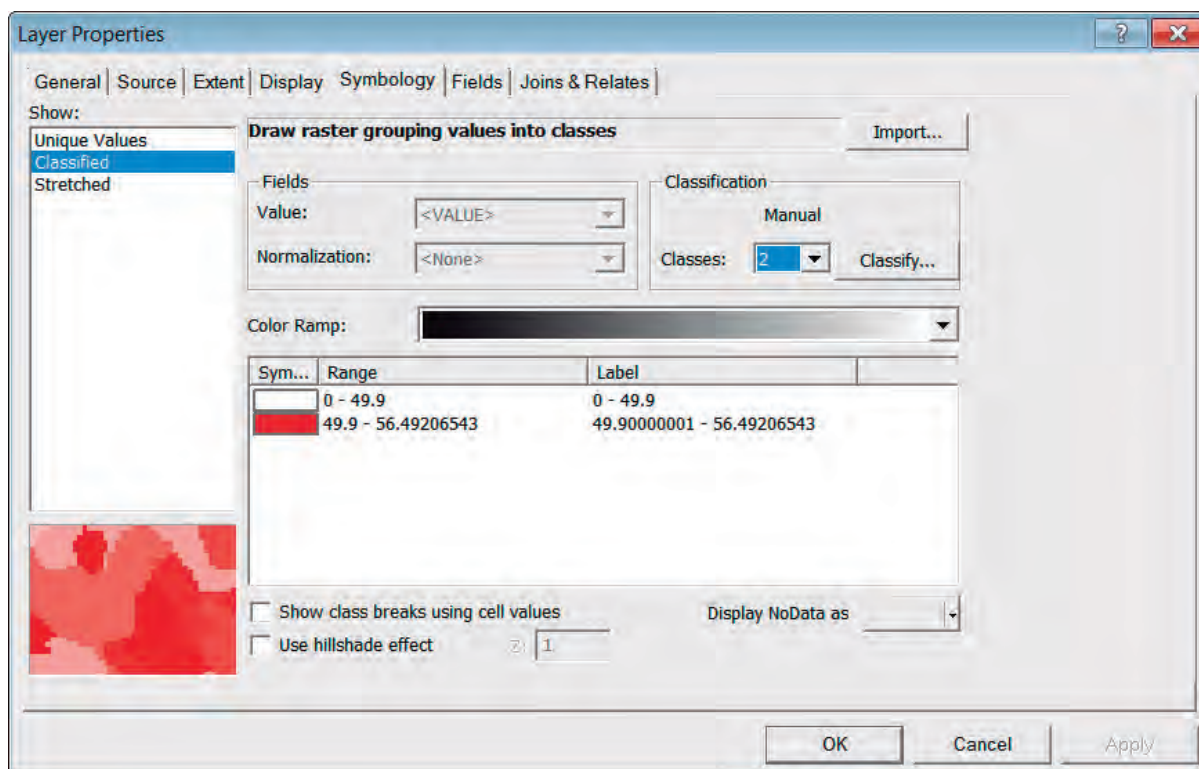


Figura 40. Propriedades da imagem *Slope* criada, com divisão em duas classes de declividade em graus.

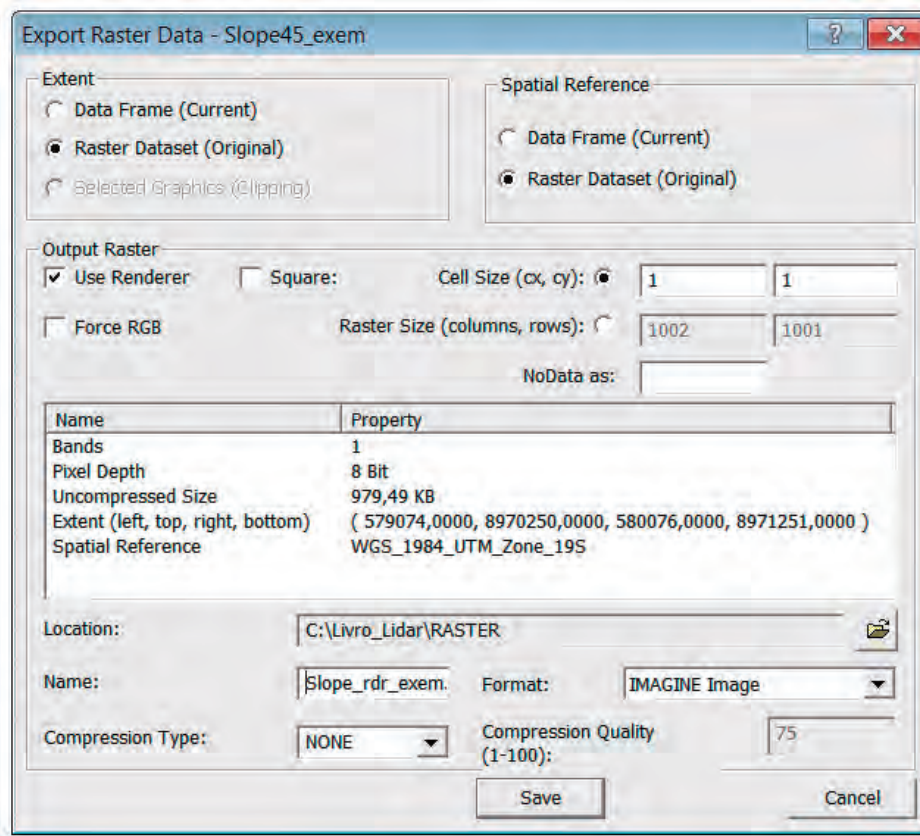


Figura 41. Procedimento de renderização de um raster (*Slope_45_exem*) por meio da ferramenta *Export Raster Data* do ArcGis.

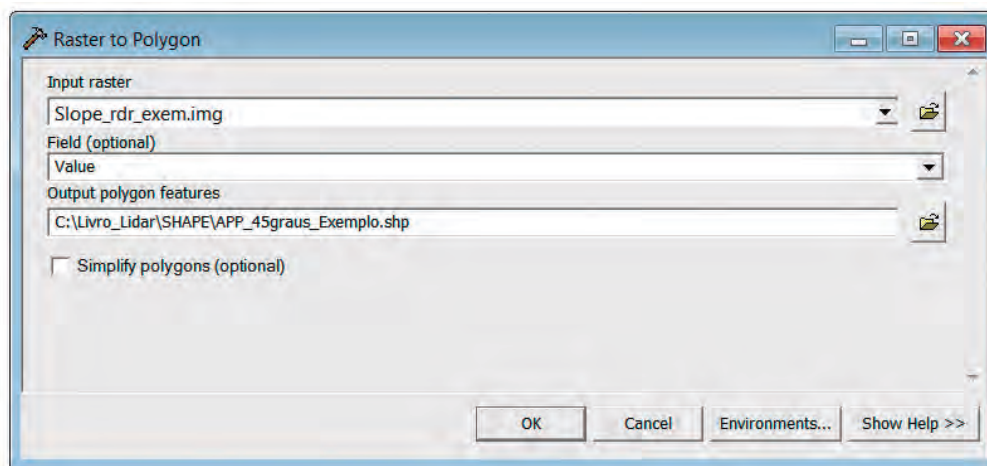


Figura 42. Conversão da imagem *Slope_rdr_exem.img* para polígono por meio do comando *Raster to Polygon* do ArcGis.

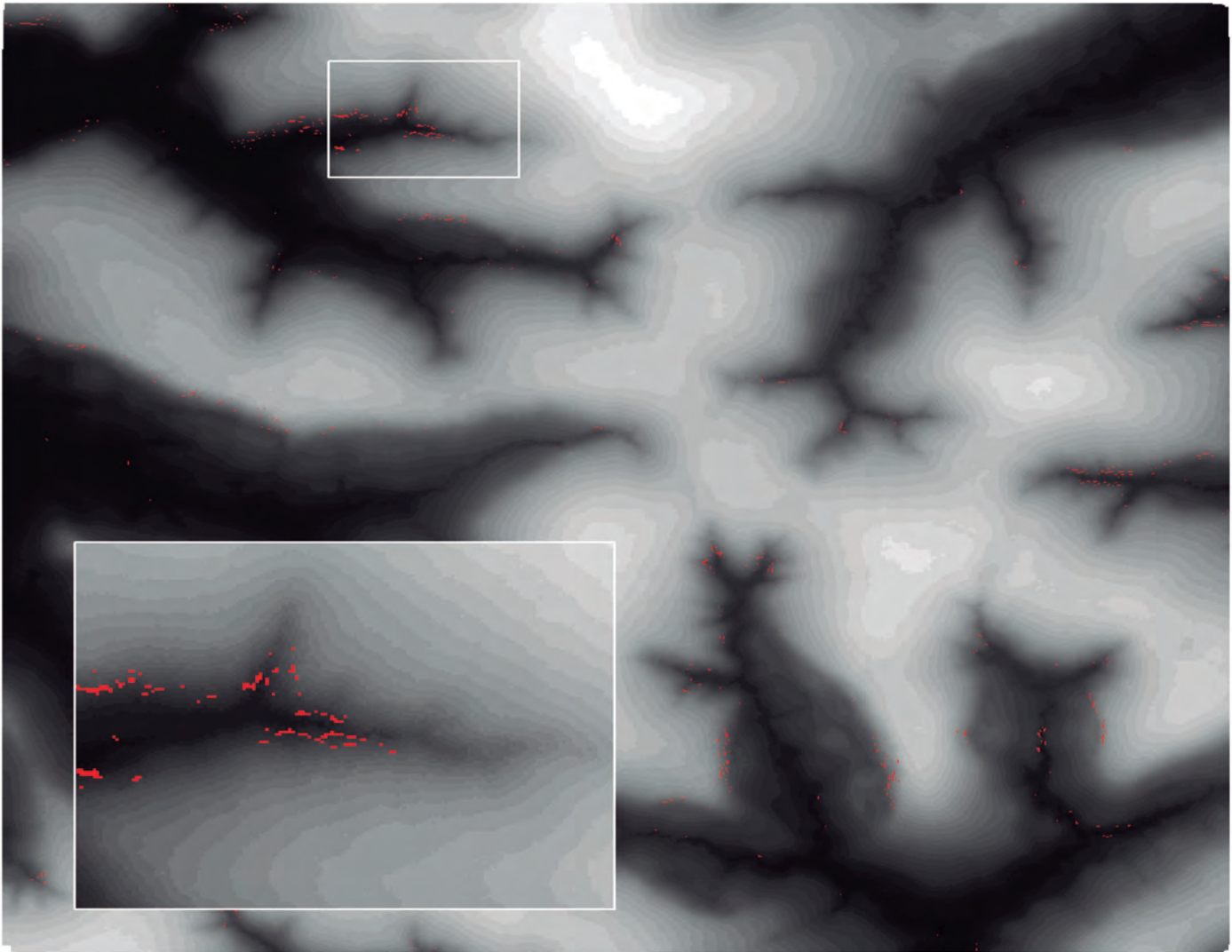


Figura 43. Modelo de superfície com áreas de declividade maior ou igual a 45° (polígonos vermelhos) definidas pela legislação florestal como áreas de preservação permanente.

3.5.5. APP total

A área de preservação permanente total equivale ao somatório das áreas de preservação permanente da hidrografia e declividade maior que 45°. A união dos modelos de APP será feita por meio da ferramenta *Arctoolbox > Analysis Tools > Overlay > Union*.

151. Selecionar no campo *Input feature*, os arquivos referentes às APPs de rede de drenagem (C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Hidro_Exemplo.shp) e APP de declividade (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_45graus_exemplo.shp).
152. Selecionar o campo *Output feature class* e nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\APP_Final_Exemplo.shp) (Figura 44).

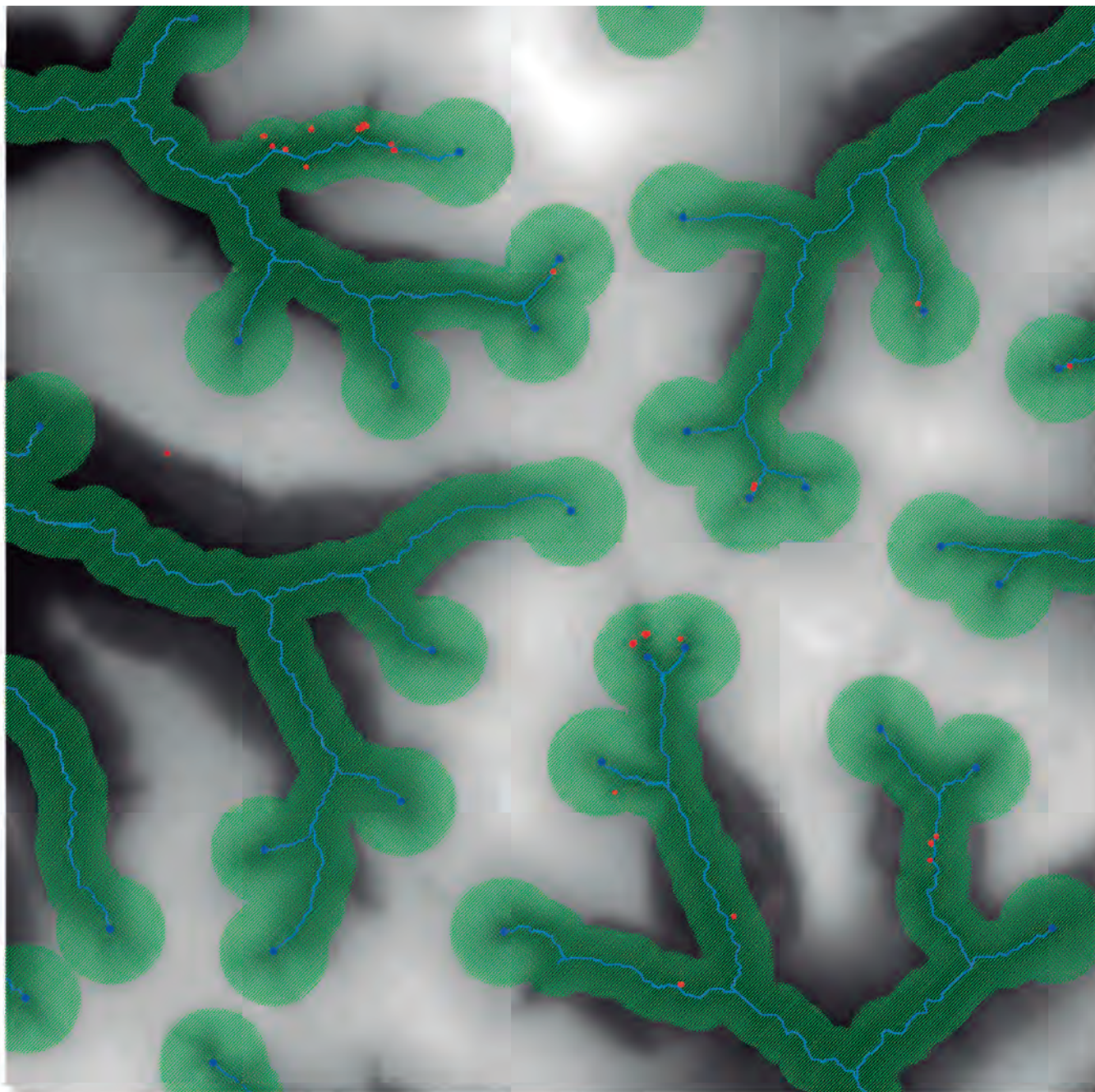


Figura 44. Área de preservação permanente total, feita a partir da união das áreas de preservação permanente de hidrografia (verde) e declividade (vermelho).

4. Modelos de dossel

4.1. Modelo de superfície de dossel

O modelo de superfície de dossel é composto por todos os retornos úteis da amostra feita pelo Lidar, que estão presentes no contorno do dossel da floresta amostrada com suas respectivas elevações em relação ao nível do mar. A criação do modelo digital de dossel será feita na base MS-DOS, por meio do comando *Canopymodel* do Fusion, e poderá ser visualizado no programa PDQ Data Viewer (Figura 45).

A linha de comando para a geração do modelo de superfície de dossel é apresentada na linha de comando 3. A edição do arquivo .BAT (ex. C:\Livro_Lidar\BAT_Files\Modelo_Superficie_Dossel.bat) com os parâmetros do modelo e a execução da linha de comando serão feitas conforme os itens 2.3 e 2.4 deste trabalho. A exportação do arquivo DTM criado para o ArcGis segue os procedimentos descritos no item 2.5 deste trabalho. Na Figura 46 consta a visualização do modelo de superfície de dossel gerado com as amostras de Lidar do livro no ArcGis.

Linha de comando 3: Canopymodel – criação do modelo digital de superfície de dossel

canopymodel C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_superficie_dossel_Exemplo.dtm 1 M M 1 0 0 0 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt

Onde:

canopymodel = linha de comando do Fusion.

C:\Livro_Lidar\DTM\ = diretório onde será salvo o arquivo a ser criado.

Modelo_Superficie_Dossel_Exemplo.dtm = nome do arquivo gerado.

1 = tamanho da grade (grid).

M = eixo X, Y (unidade dos eixos X e Y é metro).

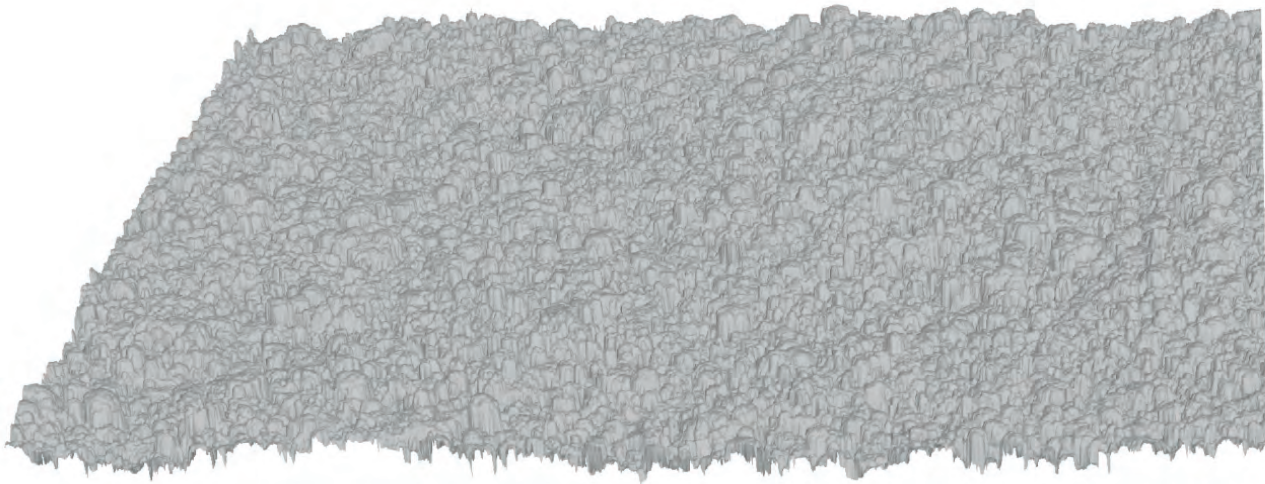
M = eixo Z (unidade do eixo Z é metro).

1 = sistema de coordenadas é UTM.

0 0 0 = sistemas de coordenadas geográficas (valor zero significa que o sistema de coordenadas não será definido no momento da criação do DTM).

C:\Livro_Lidar\TXT\ = diretório onde está salvo o arquivo de texto com os arquivos de dados que serão usados para compor o modelo.

Amostra_Exemplo.txt = arquivo texto com a seleção e localização dos arquivos de dados Lidar que serão usados para compor o modelo.



Points: 0 [=====]

Color by LAS classification

1916w by 930h

Figura 45. Representação tridimensional do modelo de superfície do dossel no programa PDQ Data Viewer Version 1.82.

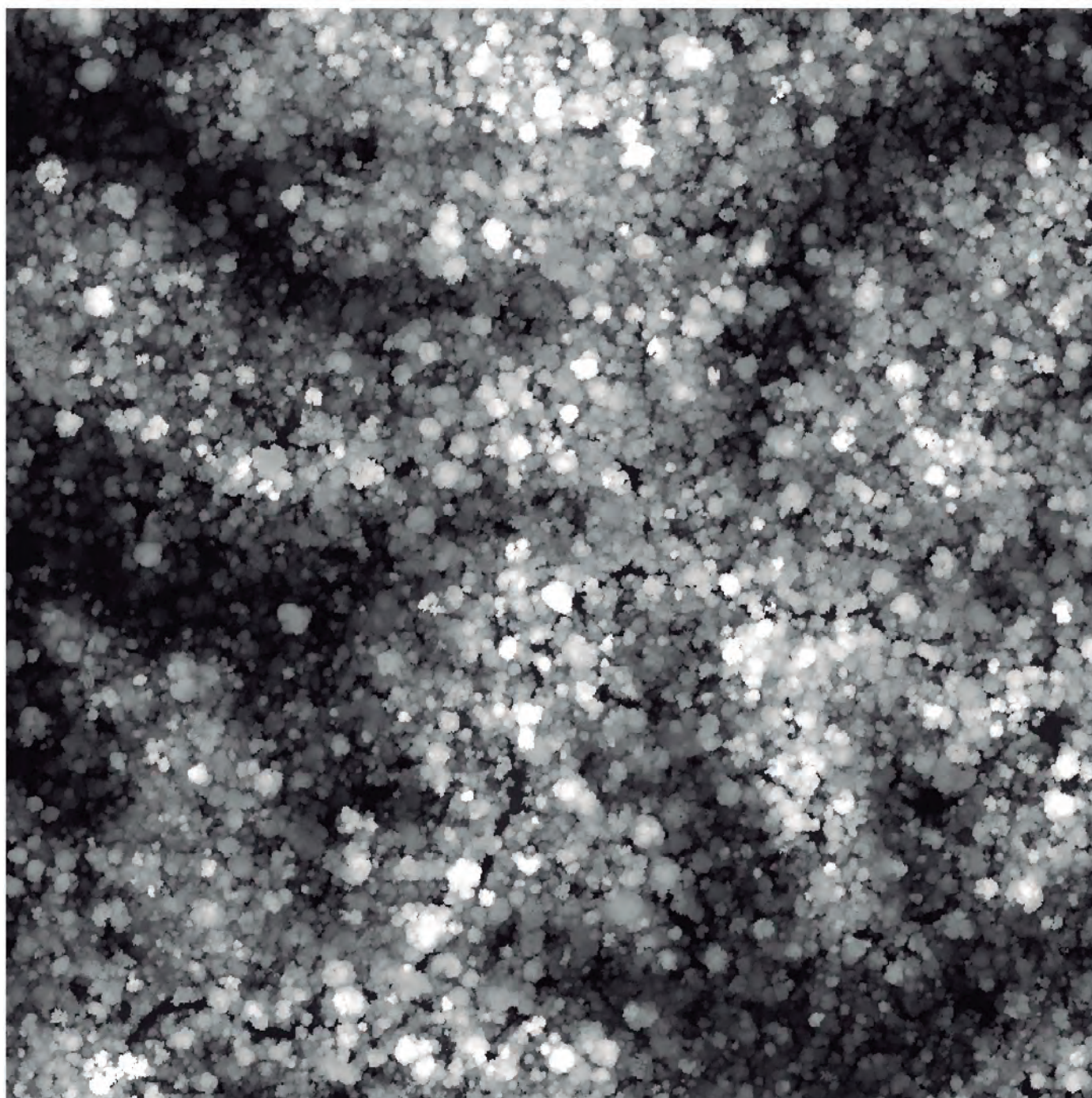


Figura 46. Imagem do modelo de superfície de dossel no formato ASC no ArcGis.

4.2. Modelo de altura do dossel

O modelo de altura do dossel é gerado pelo comando *Canopyheightmodel* (CHM) do programa Fusion, adicionado do parâmetro *ground*, que faz a normalização das elevações da superfície tornando o terreno plano. Com esse procedimento é possível comparar as alturas das copas de árvores individuais, estimar (em diferentes alturas) e fazer comparações multitemporais da cobertura vegetal da floresta amostrada.

A linha de comando para a geração do modelo de altura do dossel é apresentada na linha de comando 4. A edição do arquivo .BAT com os parâmetros do modelo (ex. C:\Livro_Lidar\BAT_Files\Modelo_Altura_Dossel.bat) e a execução da linha de comando serão feitas conforme os itens 2.3 e 2.4 deste trabalho. A exportação do arquivo DTM, criado para o ArcGis, segue os procedimentos descritos no item 2.5 deste trabalho. O modelo gerado pode ser visualizado no formato DTM no programa PDQ Data Viewer (Figura 47) ou no formato raster no ArcGis (Figura 48).

Linha de comando 4: Canopyheightmodel – criação do modelo digital de altura do dossel

```
canopymodel /ground:C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Altura_Dossel_Exemplo.dtm 1  
M M 1 0 0 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
```

Onde:

canopymodel/ground = comando.

C:\Livro_Lidar\DTM = diretório onde está o arquivo de superfície de referência e onde será salvo o arquivo a ser criado.

Modelo_Superficie_Exemplo.dtm = nome do arquivo de superfície usado como referência.

Modelo_Altura_Dossel_Exemplo = nome do arquivo gerado.

1 = tamanho da grade (grid) em metros.

M = eixo X, Y (metros).

M = eixo Z (metros).

1 = coordenadas em UTM.

0 0 0 = sistemas de coordenadas geográficas (valor zero significa que o sistema de coordenadas não será definido no momento da criação do DTM).

C:\Livro_Lidar\TXT = diretório onde está salvo o arquivo de texto com endereço das amostras de dados Lidar.

Amostra_Exemplo.txt = arquivo de texto com endereço das amostras de dados Lidar.

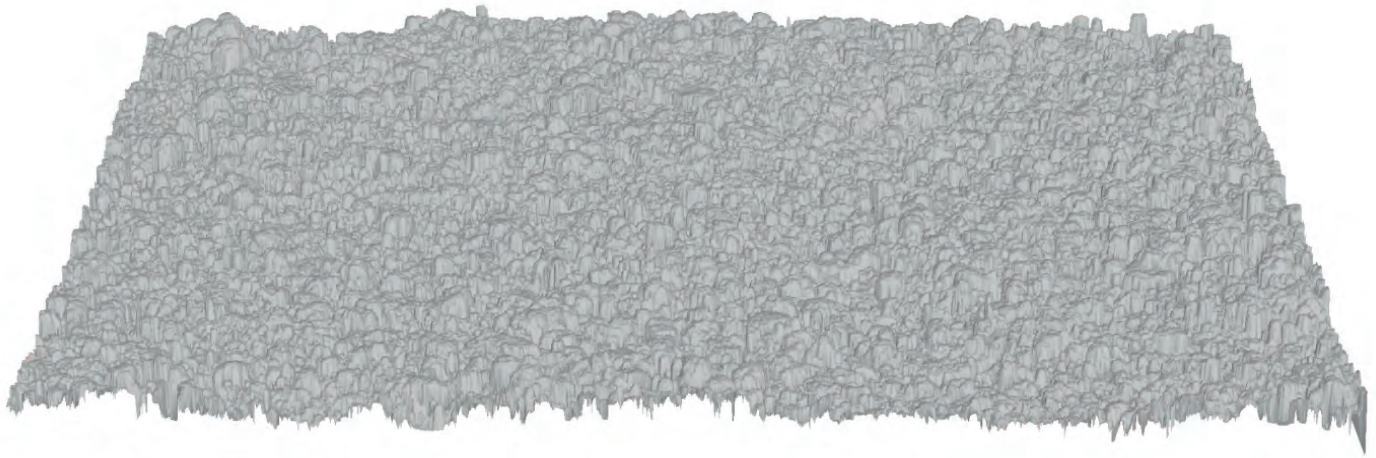


Figura 47. Representação tridimensional do modelo de altura do dossel no programa PDQ Data Viewer.

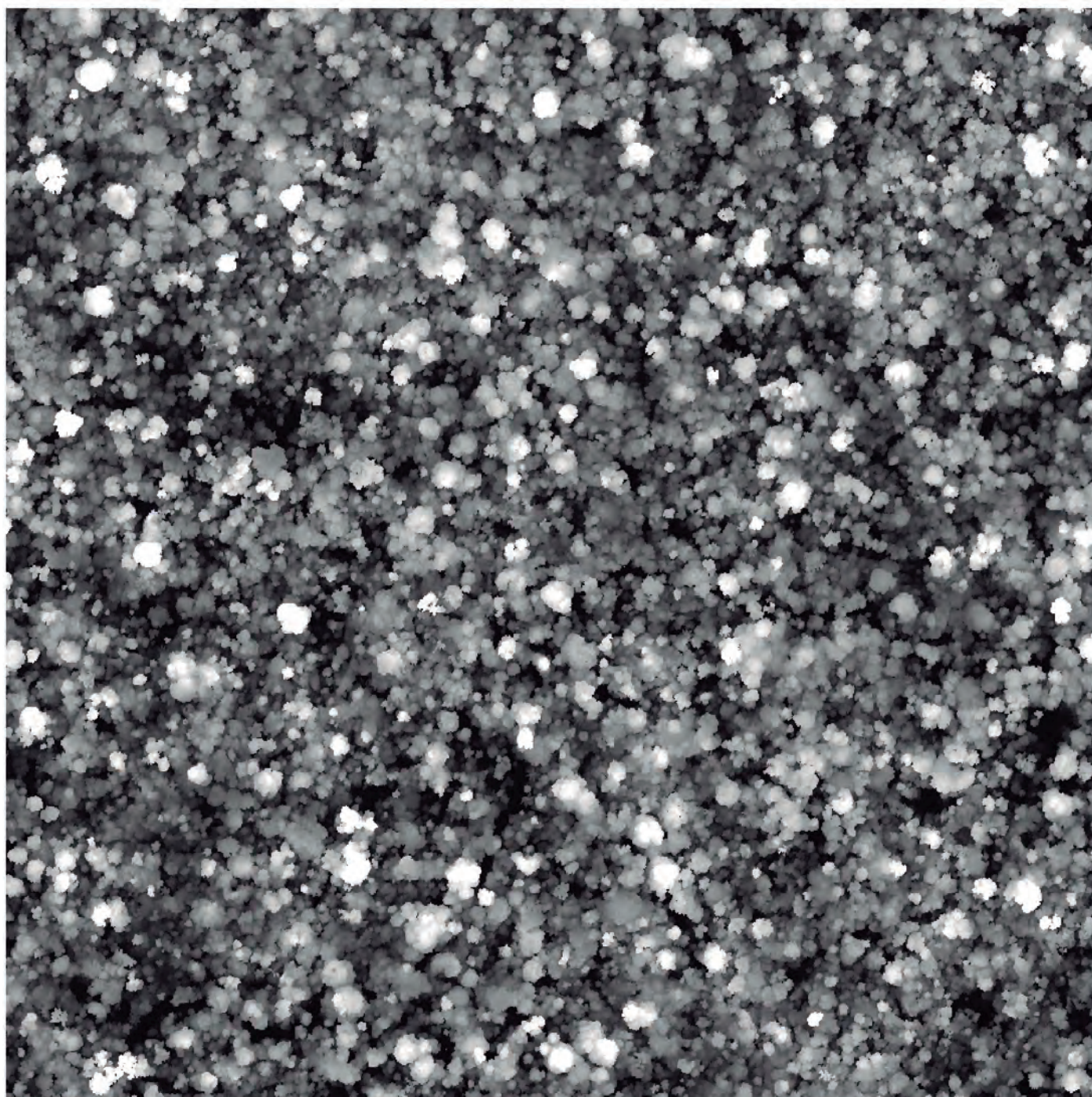


Figura 48. Imagem do modelo de altura do dossel convertido em .ASC projetado no ArcGis.

4.3. Estimativa da área de cobertura de dossel

A partir do modelo de altura de dossel exportado para o ArcGis, modelos de cobertura vegetal a diferentes alturas acima da superfície podem ser criados. Esses modelos são usados para estimar parâmetros estruturais da floresta e comparar áreas de cobertura vegetal antes e após a exploração.

A estimativa da área de cobertura da vegetação pode ser feita em diferentes alturas do dossel (ex. 30 m) pela eliminação dos dados Lidar abaixo dessa altura. Para a execução da filtragem dos dados, será utilizada a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator* do ArcGis.

153. Abrir a imagem do modelo de altura de dossel (ex: C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Altura_Dossel_exemplo.asc).
154. Especificar o endereço onde as imagens geradas pelo *raster calculator* serão salvas selecionando *Spatial Analyst > Options*.
155. Selecionar a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator*.
156. Na janela aberta digitar o nome do arquivo de saída escolhido (ex. Cobertura_30).
157. Digitar o comando (considerar os espaços em branco na sintaxe):

Cobertura_30 = con([Modelo_Altura_Dossel_exemplo] >= 30, 1) (Figura 49).

Onde:

con = uma condição deve ser satisfeita pelo arquivo de saída.

Modelo_altura_dossel_exemplo.asc = modelo de altura de dossel em uso, selecionado por um duplo clique com o botão direito do mouse sobre o nome do arquivo na janela layers.

>= 30 = condição a ser atendida. No caso, altura deverá ser igual ou superior a 30 m.

, 1 = apenas valores que satisfaçam a condição (verdadeiro) serão usados para a criação do raster.

Observação: para que o arquivo *Cobertura_30* seja salvo na pasta C:\Livro_Lidar\RASTER é preciso configurar esse endereço nas opções da ferramenta *Spatial Analyst*.

4.3.1. Conversão da imagem *Cobertura_vegetal_30* gerada em polígono

Esse procedimento possibilita o cálculo da área do polígono gerado. A conversão é feita por meio da ferramenta *Arctoolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*.

158. Selecionar o arquivo de entrada que será convertido em polígono (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Cobertura_30).
159. Definir o nome e endereço do arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Cobertura_Vegetal_Exemplo_30.shp).
160. Manter *VALUE* no campo *Field (optional)* e desmarcar a opção *Simplify polygons (optional)*.
161. Calcular a área do polígono: *Spatial analyst tools > Utilities > Calculate Areas*. Na caixa *Input Feature Class* selecionar o polígono de entrada (ex. *Cobertura_Vegetal_Exemplo_30.shp*) e na caixa *Output Feature Class* o arquivo de saída (ex. *Cobertura_Vegetal_30_Area.shp*) e pressionar Ok (Figura 50).

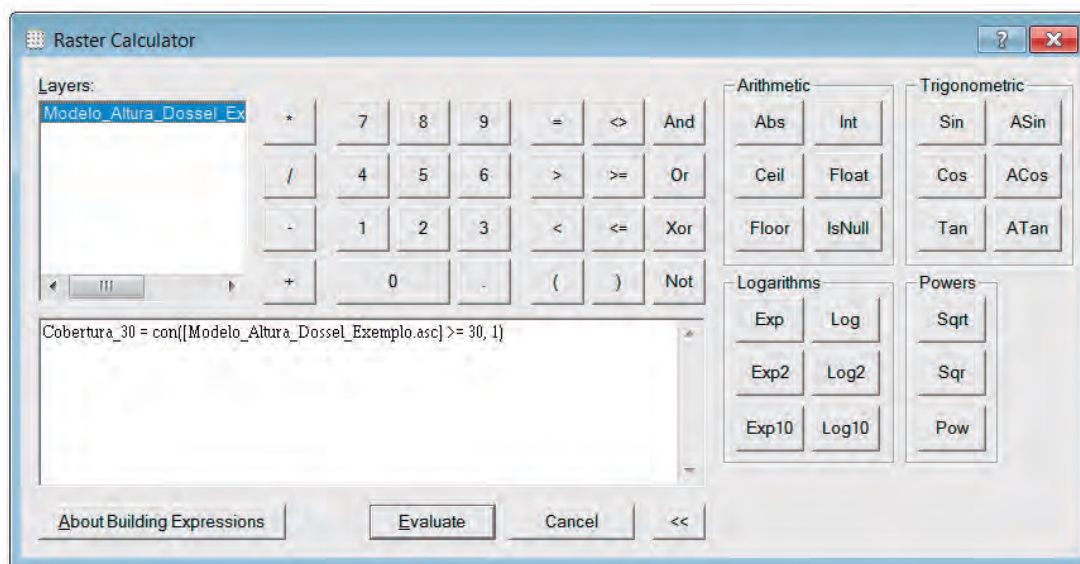


Figura 49. Janela *Raster Calculator* com o algoritmo para geração de cobertura de copas acima de 30 metros.

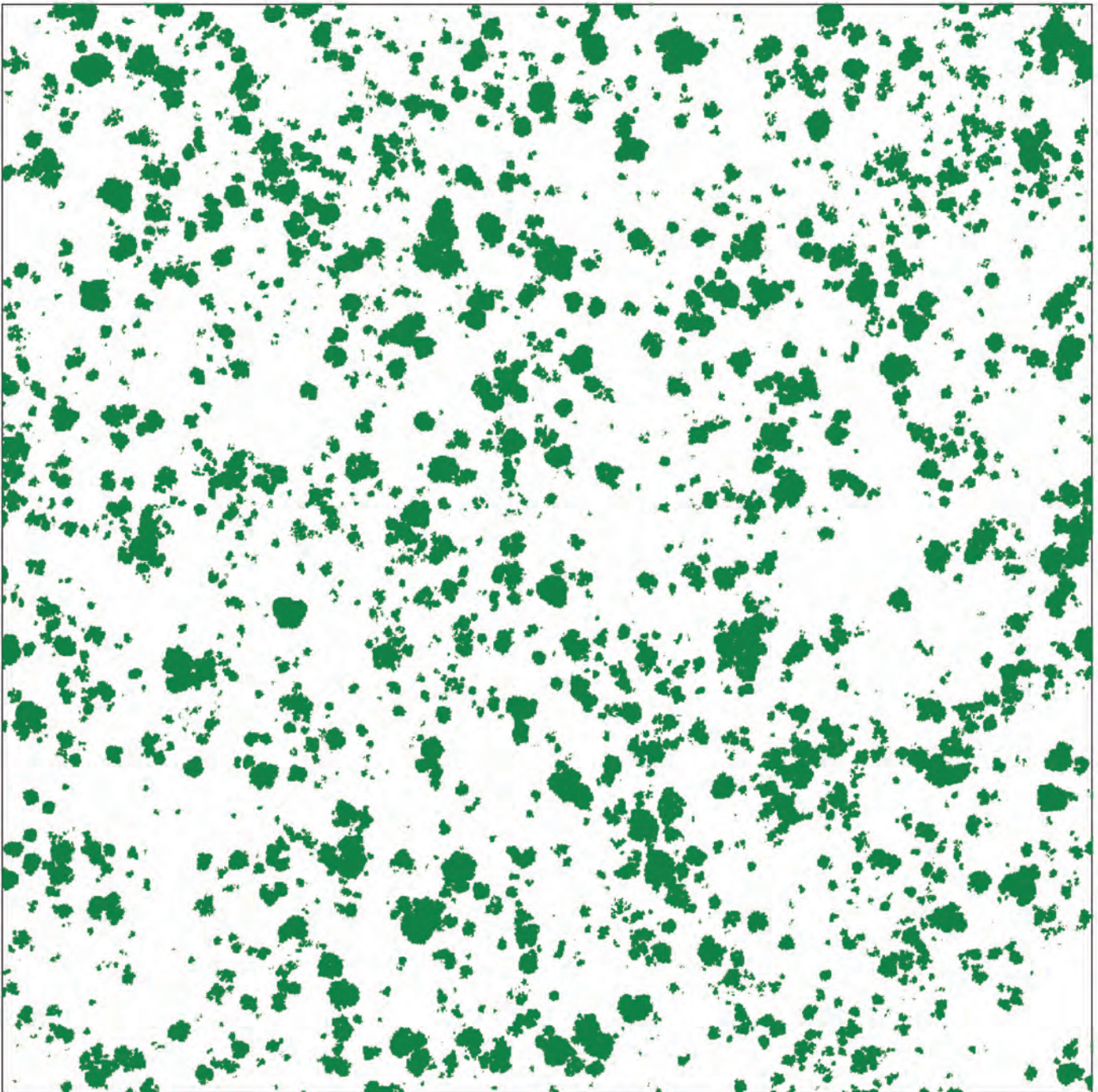


Figura 50. Modelo de altura de dossel somente com a cobertura de copas acima de 30 metros.

4.4. Comparação multitemporal da área de cobertura vegetal de uma floresta

Quando duas ou mais amostras de Lidar são obtidas, cobrindo a mesma área em tempos diferentes, é possível comparar a variação na cobertura de vegetação a uma determinada altura dessa área. Esse modelo pode ser usado de forma a avaliar os impactos produzidos por causas naturais (ventos, secas ou mesmo incêndios florestais) ou antrópicas no caso de mudança no uso da terra ou exploração florestal. Para ilustrar essa seção, foram usadas duas amostras tomadas antes (2010) e após a exploração (2011), visando avaliar o impacto produzido no dossel pelas operações florestais.

Para que as mudanças ocorridas na cobertura de copas sejam observadas, o modelo de altura do dossel da primeira amostra (antes da exploração) deverá ser subtraído do modelo de altura do dossel da segunda medição no ArcGis. A diferença entre os modelos representa a perda de cobertura vegetal no período. Para melhor visualizar o efeito na perda ou ganho de cobertura de copas produzida pela exploração, a exemplo do que foi feito na seção 4.3, um limite de altura mínimo será arbitrado como parâmetro para a mensuração desse efeito. O raster resultante representa copas de árvore da primeira medição que foram cortadas ou danificadas pelas operações florestais (Figuras 52 a 54).

4.4.1. Subtração dos modelos de altura do dossel e seleção da altura mínima para avaliação da perda de cobertura vegetal

A subtração é feita por meio da ferramenta *Arctoolbox > 3D Analyst Tools > Raster Math > Minus*.

162. No campo *Input raster or constant value 1* selecionar o C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Altura_Dossel_Exemplo.asc, referente à amostra de 2010 (antes da exploração), e no campo *raster or constant value 2* a imagem C:\Livro_Lidar\RASTER\Modelo_Altura_Dossel_2012.asc referente à segunda amostra (após a exploração).

163. Nomear o arquivo de saída (no exemplo C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Alt_Dif) e teclar Ok (Figura 51).

164. Abrir a imagem da subtração dos modelos de altura de dossel (ex. C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Alt_Dif).

165. Especificar o endereço onde a imagem gerada pelo *raster calculator* será salva selecionando *Spatial Analyst > Options*.

166. Selecionar a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator*.

167. Na janela aberta digitar o nome do arquivo de saída escolhido (ex. Mod_Alt_Dif10).

168. Digitar o comando (considerar os espaços em branco na sintaxe):

Mod_Alt_Dif10 = con([Mod_Alt_Dif] >= 10, 1).

A imagem resultante representa a diferença na cobertura de copas entre os dois modelos para árvores acima de 10 m de altura (Figura 52).

4.4.2. Cálculo da área de cobertura vegetal afetada pela exploração

169. O primeiro passo é a conversão da imagem gerada em polígono. Esse procedimento possibilita o cálculo da área do polígono gerado. A conversão é feita por meio da ferramenta *Arctoolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*.

170. Selecionar o raster de entrada que será convertido em polígono (ex. *C:\Livro_Lidar\RASTER\Mod_Alt_Dif10*).
171. Definir o nome e endereço do arquivo de saída (ex. *C:\Livro_Lidar\SHAPE\Mod_Alt_Dif10.shp*).
172. Manter a opção *COUNT* no campo *Field (optional)*, desmarcar a opção *Simplify polygons (optional)* e pressionar Ok.
173. Calcular a área do polígono (*Mod_Alt_Dif10.shp*) por meio da ferramenta *Calculate Areas* (*Xtools Pro* ou *Arctoolbox*).
174. Selecionar *Arctoolbox > Spatial Statistics Tools > Utilities > Calculate Areas*.
175. Selecionar o polígono que terá sua área calculada na janela *Input Feature Class*.
176. Escolher o endereço e nome do arquivo de saída (ex. *Mod_alt_dif10_area.shp*) na janela *Output Feature Class* e pressionar Ok.
177. Áreas pequenas, que não representam danos significativos ou mesmo produzidos pela exploração, podem ser excluídas do polígono.
178. Na tabela de atributos selecionar a coluna que representa a área do polígono e com o botão direito do *mouse* selecionar *sort descending*.
179. Selecionar todos os polígonos de interesse (no exemplo acima de 10 m²).
180. Sobre a janela de *layer*, clicar sobre o arquivo com o botão direito do *mouse* e selecionar *Data .> Export Data* e na janela selecionar nome e diretório para o arquivo resultante (no exemplo *C:\Livro_Lidar\SHAPE\Modelo_altura_dossel_diferenca_min10m.shp*) (Figura 53).
181. Para calcular a percentagem de área coberta em relação à área total basta dividir a área do polígono pela área total amostrada.

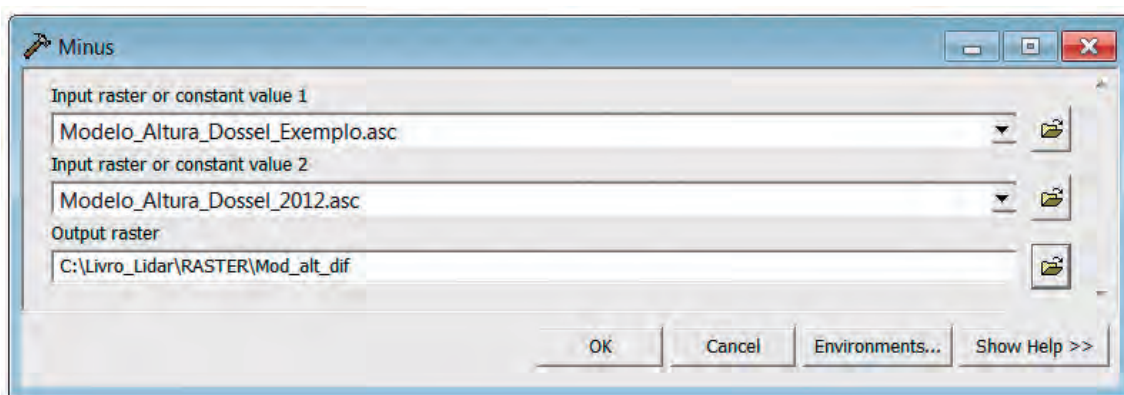


Figura 51. Ferramenta *Minus* utilizada para obtenção da diferença entre os modelos de altura do dossel antes e depois da exploração florestal.

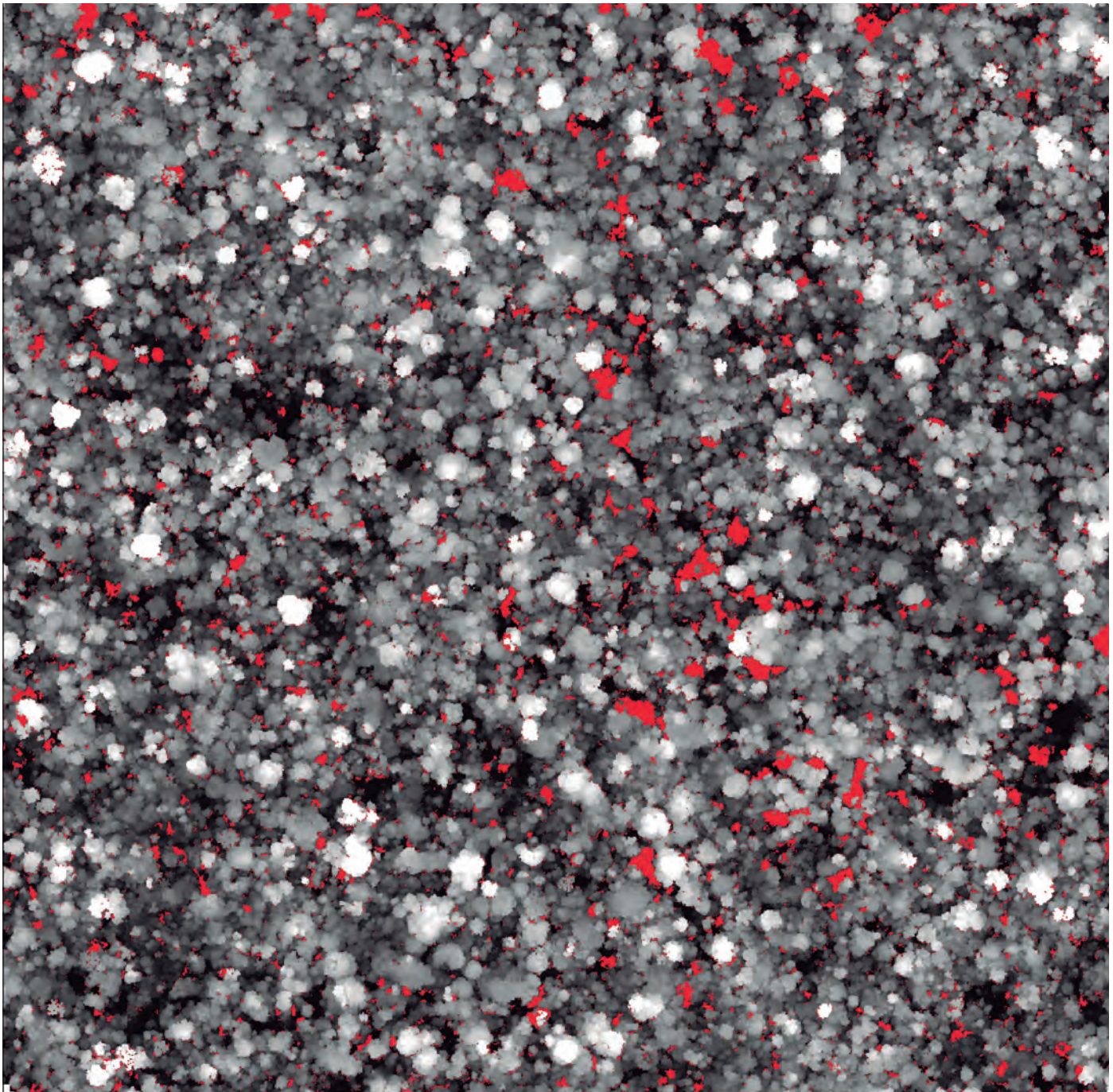


Figura 52. Resultado da subtração da cobertura de vegetação dos modelos de altura do dossel produzidos com dados Lidar de 2010 e 2012, mostrando em vermelho área de copa igual ou acima de 10 metros de altura removida ou danificada pelas operações florestais.

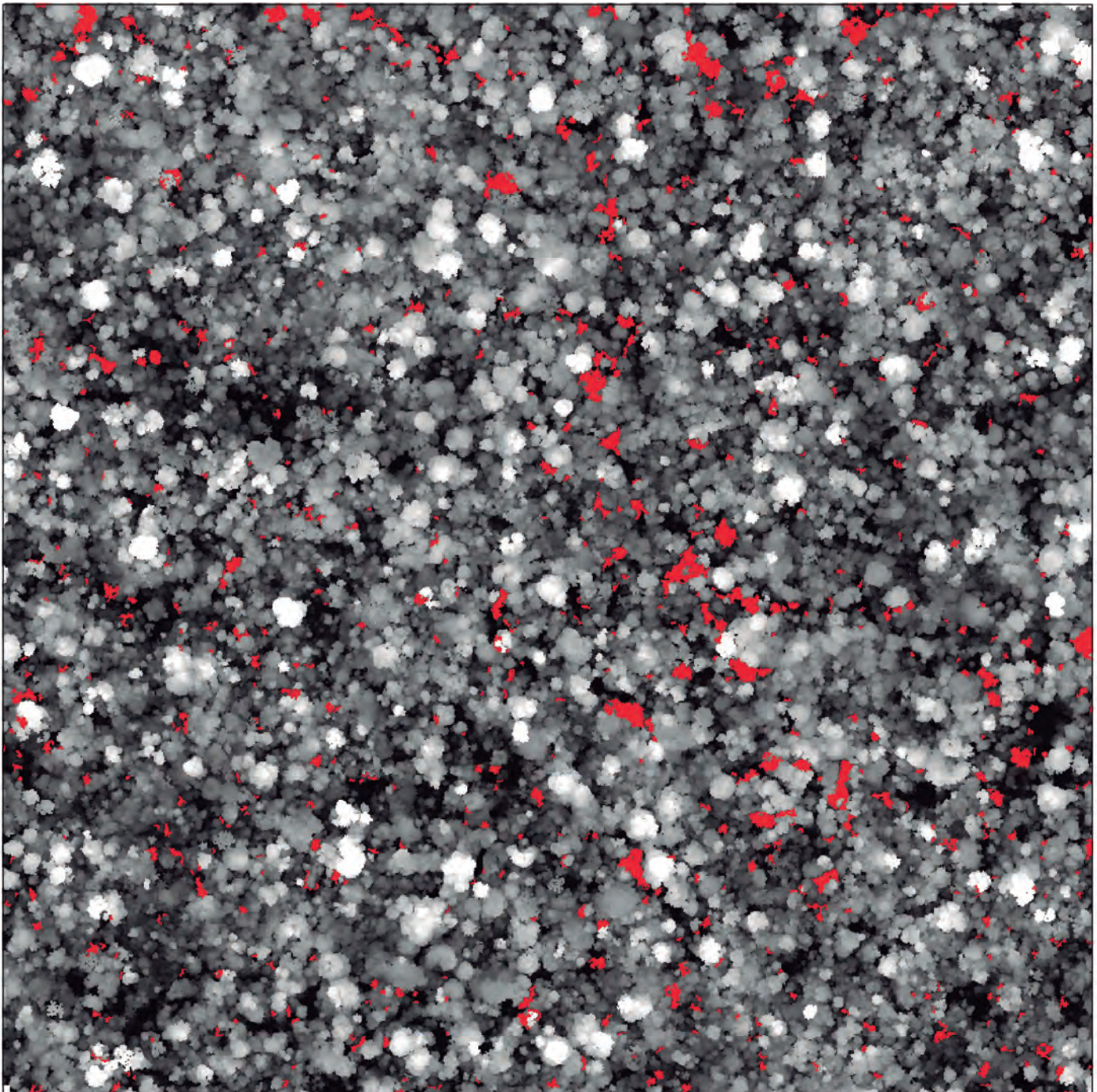


Figura 53. Representação das copas com área igual ou acima de 10 m² removidas ou danificadas pelas operações florestais.

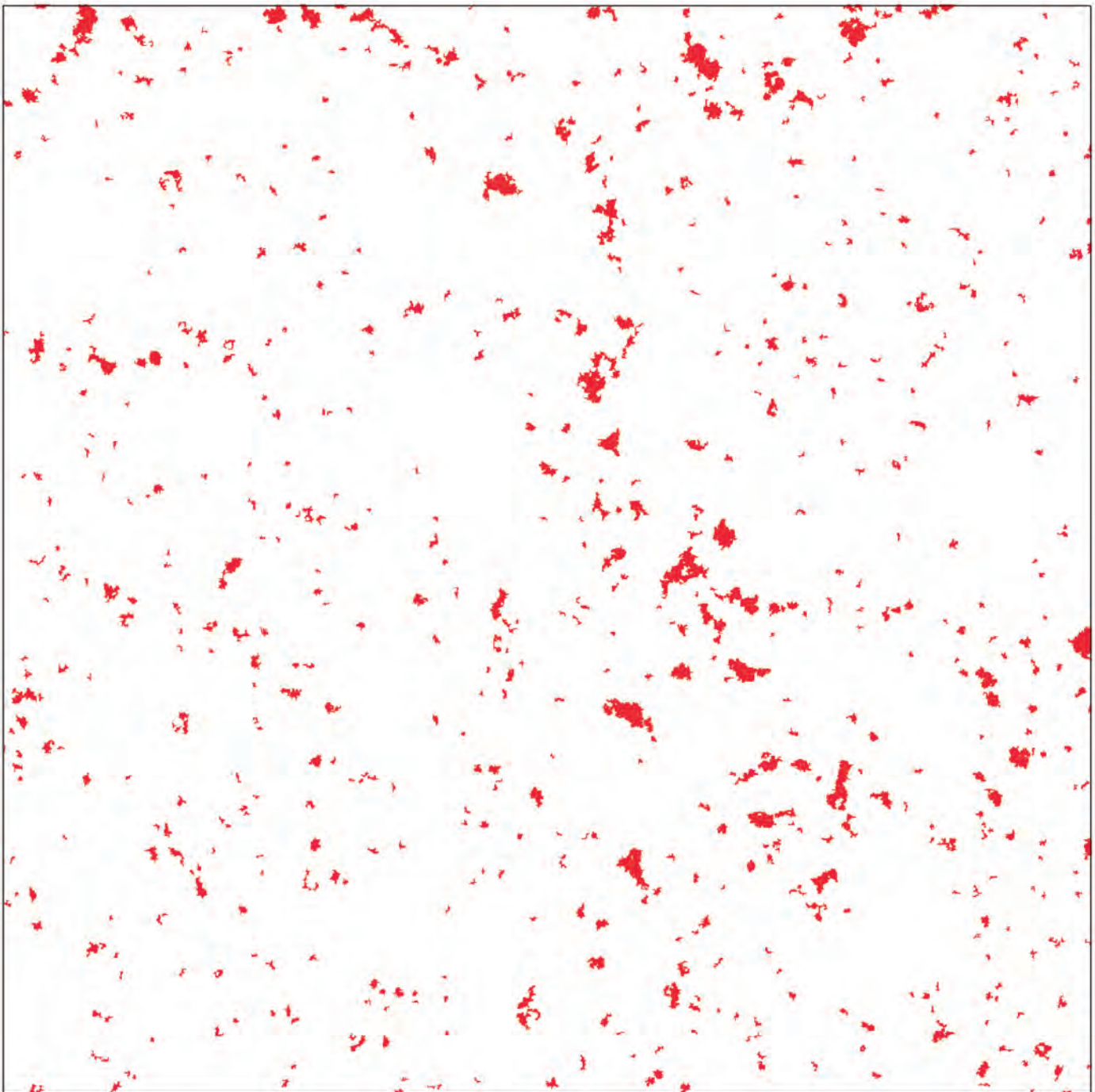


Figura 54. Modelo com a cobertura vegetal removida ou danificada por operações florestais entre o primeiro (2010) e segundo (2012) voo Lidar na área amostrada.

5. Identificação, medição e monitoramento de operações florestais

Nesta seção serão apresentados modelos para estimar a densidade relativa de vegetação em camadas do sub-bosque. Esse modelo permite também localizar e estimar as áreas alteradas pela atividade florestal nessas camadas.

5.1. Modelo de densidade relativa de vegetação – RDM

Este modelo calcula a densidade relativa da vegetação em uma camada do estrato florestal previamente selecionada. A camada é definida por um limite inferior e superior de altura. Todos os pontos acima do limite superior de altura estabelecido são desconsiderados.

O cálculo da densidade de vegetação relativa é feito pela divisão do número de pontos dentro da camada selecionada pelo número total de pontos a partir da superfície até o limite superior da camada (Figura 55).

A linha de comando para a geração do modelo de densidade relativa de vegetação é apresentada na linha de comando 5. A edição do arquivo .BAT com os parâmetros do modelo (ex. C:\Livro_Lidar\BAT\Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.bat) e a execução da linha de comando serão feitas conforme os itens 2.3 e 2.4 deste trabalho. A exportação do arquivo DTM criado para o ArcGis segue os procedimentos descritos no item 2.5 deste trabalho.

Na imagem produzida os pixels em preto representam a densidade relativa de vegetação semelhante a zero na camada selecionada (no exemplo altura mínima de 1 m e máxima de 5 m). A ausência de vegetação revela as áreas alteradas naturalmente ou por operações florestais. Essas áreas contínuas serão usadas como referência para a definição das áreas alteradas pelas operações florestais (Figura 56). Dessa forma, será possível identificar a infraestrutura construída na floresta (estradas e pátios de estocagem) e perturbações promovidas pelo corte das árvores (clareiras) e extração das toras (trilhas de arraste).

Linha de comando 5: Cover – criação do modelo digital de densidade relativa de vegetação

```
cover /all /upper:5 C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.dtm 1  
1 M M 1 0 0 0 C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
```

Onde:

cover /all /upper:5 = parâmetros que determinam que serão usados todos os retornos (*all*) e a altura máxima do modelo (*upper*), no caso 5 metros.

C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm = endereço e nome do modelo de superfície usado como referência para a elaboração do modelo de densidade relativa de vegetação.

C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.dtm = endereço e nome do DTM que será criado.

1 = altura de referência para o cálculo da densidade relativa de vegetação.

1 = tamanho da grade (grid).

M = eixo X, Y em metros.

M = eixo Z em metros.

1 = sistema de coordenadas em UTM.

0 0 0 = sistemas de coordenadas geográficas (valor zero significa que o sistema de coordenadas não será definido no momento da criação do DTM).

C:\Livro_Lidar\TXT\ = diretório onde está salvo o arquivo de entrada.

AMOSTRA.txt = arquivo de texto que contém os dados Lidar.

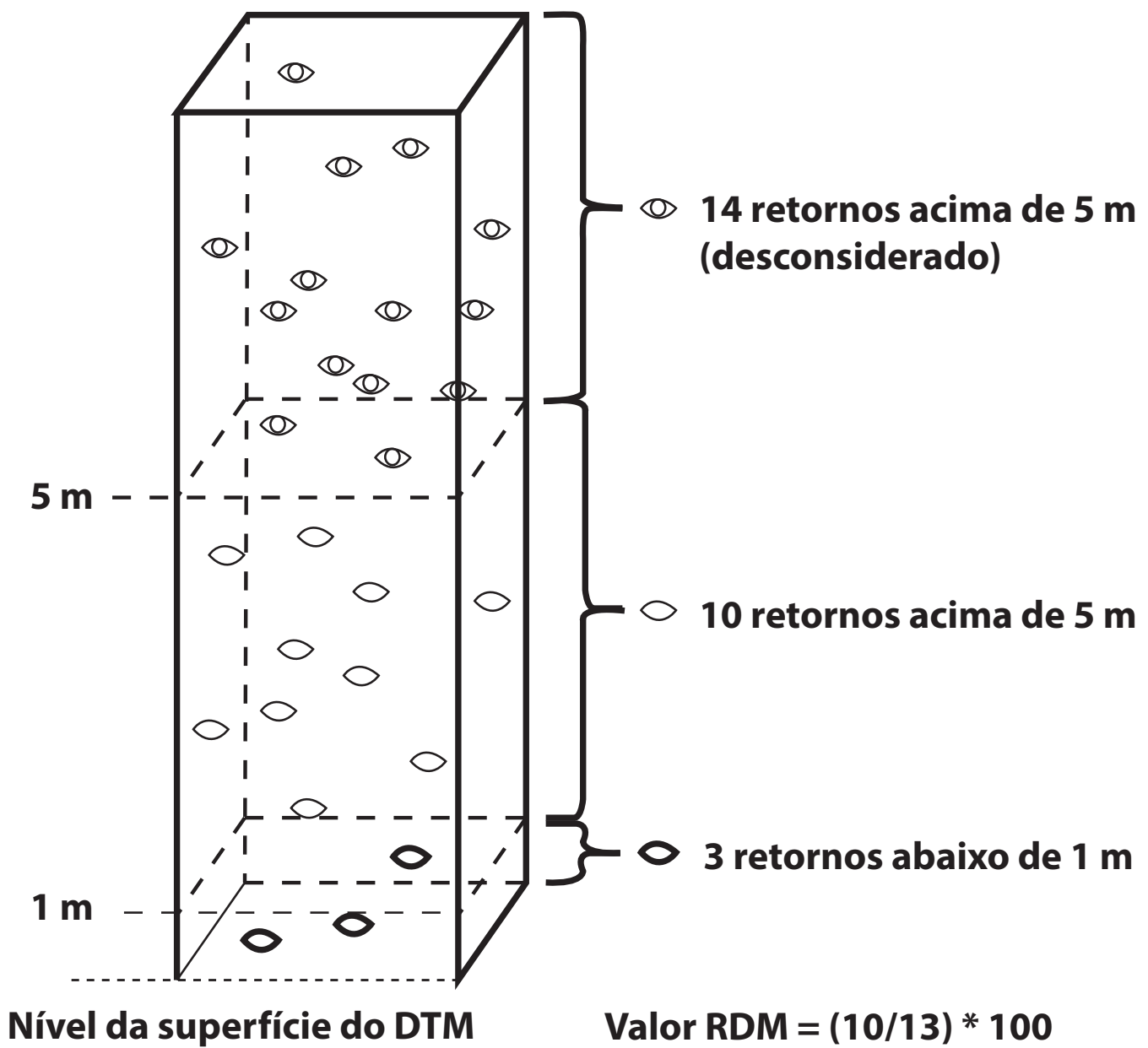


Figura 55. Representação gráfica do cálculo da densidade relativa de vegetação (RDM) em cada célula do modelo.

Fonte: d'Oliveira et al. (2012).

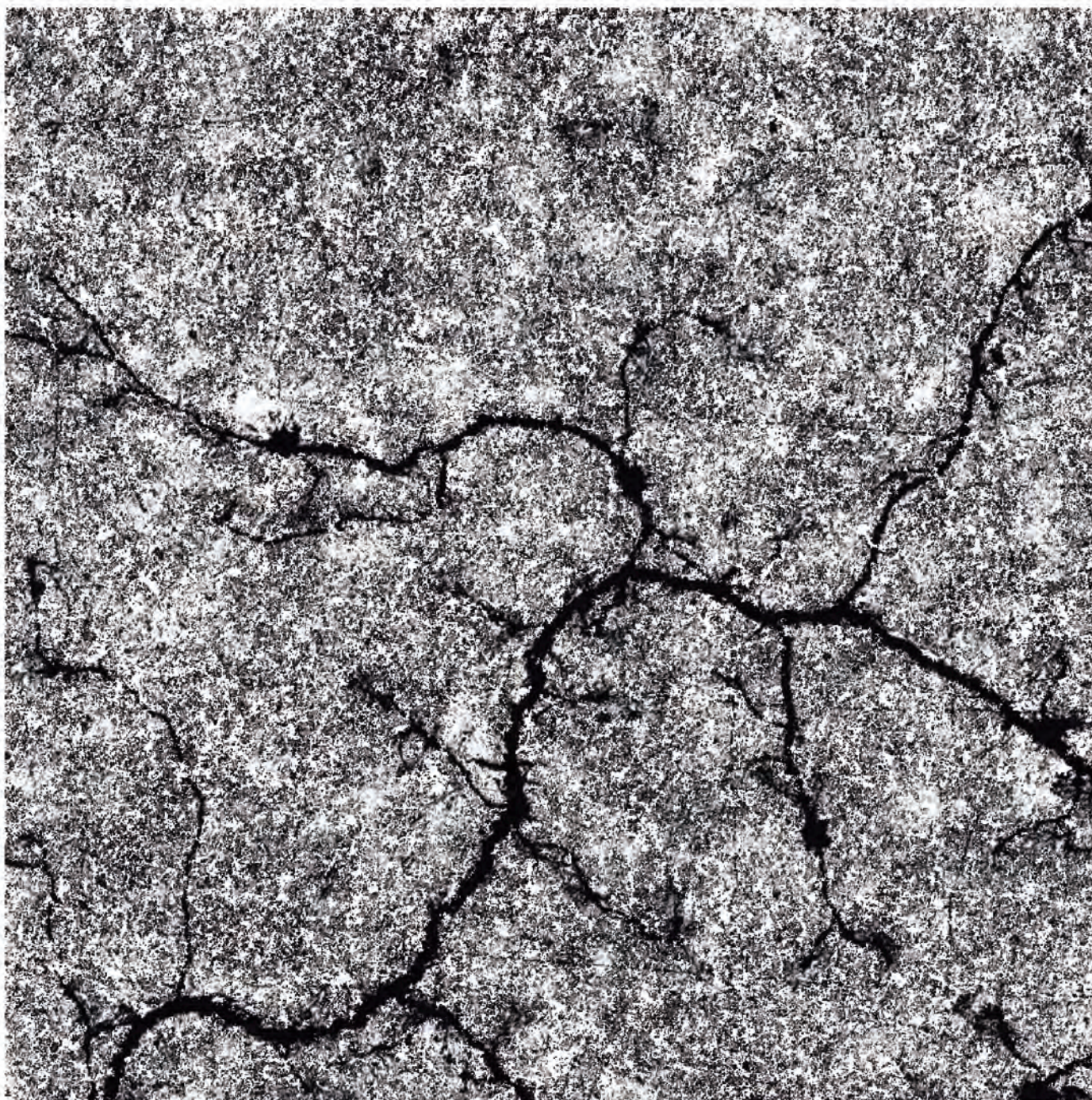


Figura 56. Imagem do modelo de densidade relativa de vegetação (RDM), mostrando em preto áreas alteradas pela abertura de estradas, pátios de estocagem, trilhas de arraste e clareiras produzidas pelo corte e extração das árvores.

5.2. Definição das zonas tampão de áreas alteradas por operações florestais

No modelo RDM produzido no item anterior pode-se observar, além das perturbações promovidas pela exploração florestal, a existência de perturbações naturais como clareiras produzidas pela queda de árvores, devido à ação dos ventos, distribuídas por toda a área de estudo. As zonas tampão que serão determinadas nesta seção representam os limites dentro dos quais as alterações produzidas na vegetação são causadas pelas operações florestais.

As zonas tampão serão criadas em dois passos: a) criação de arquivos no formato “*shape*” seguida de vetorização de estradas, pátios de estocagem, trilhas de arraste e clareiras; e b) criação de zonas tampão (*buffers*) ao redor desses “*shapes*” definindo a área de maior probabilidade da alteração na vegetação ter sido realmente produzida pelas operações florestais.

5.2.1. Vetorização dos arquivos de referência para estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras

182. Clicar em *ArcCatalog*.

183. Criar quatro arquivos no formato *shape* na pasta de trabalho escolhida (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\) no mesmo datum e sistema de coordenadas da amostra Lidar (Projeção UTM e Datum WGS 84 Zona 19S).

- Estradas (ex. Estrada_florestal_Exemplo.shp, feição do tipo linha).
- Pátios (ex. Patio_Exemplo.shp, feição do tipo ponto).
- Trilhas de arraste (ex. Trilha_arraste_Exemplo.shp, feição do tipo linha).
- Clareiras produzidas pelo corte e arraste (ex. Arvore_Cortadas_Exemplo.shp, feição do tipo ponto).

184. Iniciar a edição.

185. Vetorizar a estrada principal e suas ramificações secundárias.

186. Vetorizar os pátios de estocagem (ponto no centro do pátio).

187. Vetorizar as trilhas de arraste.

188. Vetorizar as árvores (ponto central das clareiras formadas).

189. Salvar e fechar a edição (Figura 57).

5.2.2. Definição das zonas tampão limites para alterações produzidas pelas operações florestais

As áreas impactadas serão definidas por meio de zonas tampão (*buffers*) de acordo com a origem do impacto seguindo o padrão sugerido por d’Oliveira et al. (2012):

- Trilhas de arraste – *buffer* de 4 metros definido no eixo central da trilha produz uma zona tampão com 8 m de largura.
- Estrada florestal – *buffer* de 6 metros definido no eixo central da estrada produz uma zona tampão com 12 m de largura.
- Pátio de estocagem – *buffer* de 20 metros definido no ponto central do pátio de estocagem produz uma zona tampão de aproximadamente 1.200 m².
- Clareiras de árvores abatidas – 25 metros definidos no ponto central da clareira pressupõem altura total da árvore de 50 m e produzem uma zona tampão de 1.875 m².

O dimensionamento das zonas tampão sugerido neste trabalho é bastante conservador e baseado em anos de experiência no manejo de florestas na Amazônia. No entanto, não precisa necessariamente ser seguido e deve ser adaptado de acordo às necessidades de cada estudo. A determinação da zona tampão será feita para cada um dos arquivos de áreas alteradas pela exploração criados na seção anterior, por meio da ferramenta *Buffer* do *Arctoolbox*.

190. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Proximity > Buffer*.
191. No campo *Input Features*, selecionar o arquivo de estradas (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Estrada_Florestal_Exemplo.shp).
192. No campo *Output Feature Class* nomear o arquivo que representará a zona tampão do impacto produzido pela construção das estradas (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Estrada_Florestal_buffer_6m_Exemplo.shp).
193. No campo *Distance (Value or field)* habilitar a opção *Linear unit* e preencher com a largura de 6 m.
194. Manter as opções *FULL* no campo *Side Type*, *ROUND* no campo *End Type* e *ALL* no campo *Dissolve Type* e pressionar *Ok*.
195. Repetir o mesmo procedimento para os arquivos que representam os pátios, trilhas de arraste e clareiras (Figura 58), observando os diferentes tamanhos das zonas tampão adotados para cada caso.
196. Unir as quatro zonas tampão (*buffers*) criadas por meio da ferramenta *Union*.
197. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Overlay > Union*.
198. No campo *Input Features*, selecionar os arquivos que representam as zonas tampão criados (ex. Estrada_florestal_buffer_6m_Exemplo, trilha_arraste_buffer_4m_Exemplo, Patio_buffer_20m_Exemplo e Arvore_buffer_25m_Exemplo.shp).
199. No campo *Output Feature Class* nomear o arquivo que irá representar o somatório de todas as zonas tampão das áreas alteradas (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_Impacto_Buffer_Unidos.shp).
200. No campo *Join Attributes (optional)* manter a opção *ALL* e pressionar *Ok*.
201. Com toda área de impacto unificada, por meio da ferramenta *Clip*, fazer o recorte do arquivo que representa o somatório das zonas tampão das áreas impactadas (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_Impacto_Buffer_Clip_Exemplo.shp), usando o polígono que representa a área de estudo (ex. o limite da amostra de 100 hectares, representada pelo arquivo Poligono_Exemplo.shp). Esse procedimento evita que no cálculo das áreas de impacto sejam incluídas partes da zona tampão projetadas fora da área de estudo.
202. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Extract > Clip*.
203. No campo *Input Features*, selecionar o arquivo que representa as zonas tampão de áreas alteradas (ex. Area_Impacto_Buffer_Unidos.shp).
204. No campo *Clip Feature* selecionar o arquivo que representa o polígono da área estudada (ex. Poligono_Exemplo.shp).
205. No campo *Output Feature Class (optional)* salvar o arquivo e endereço como C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_Impacto_Buffer_Clip_Exemplo e pressionar *Ok* (Figura 59).

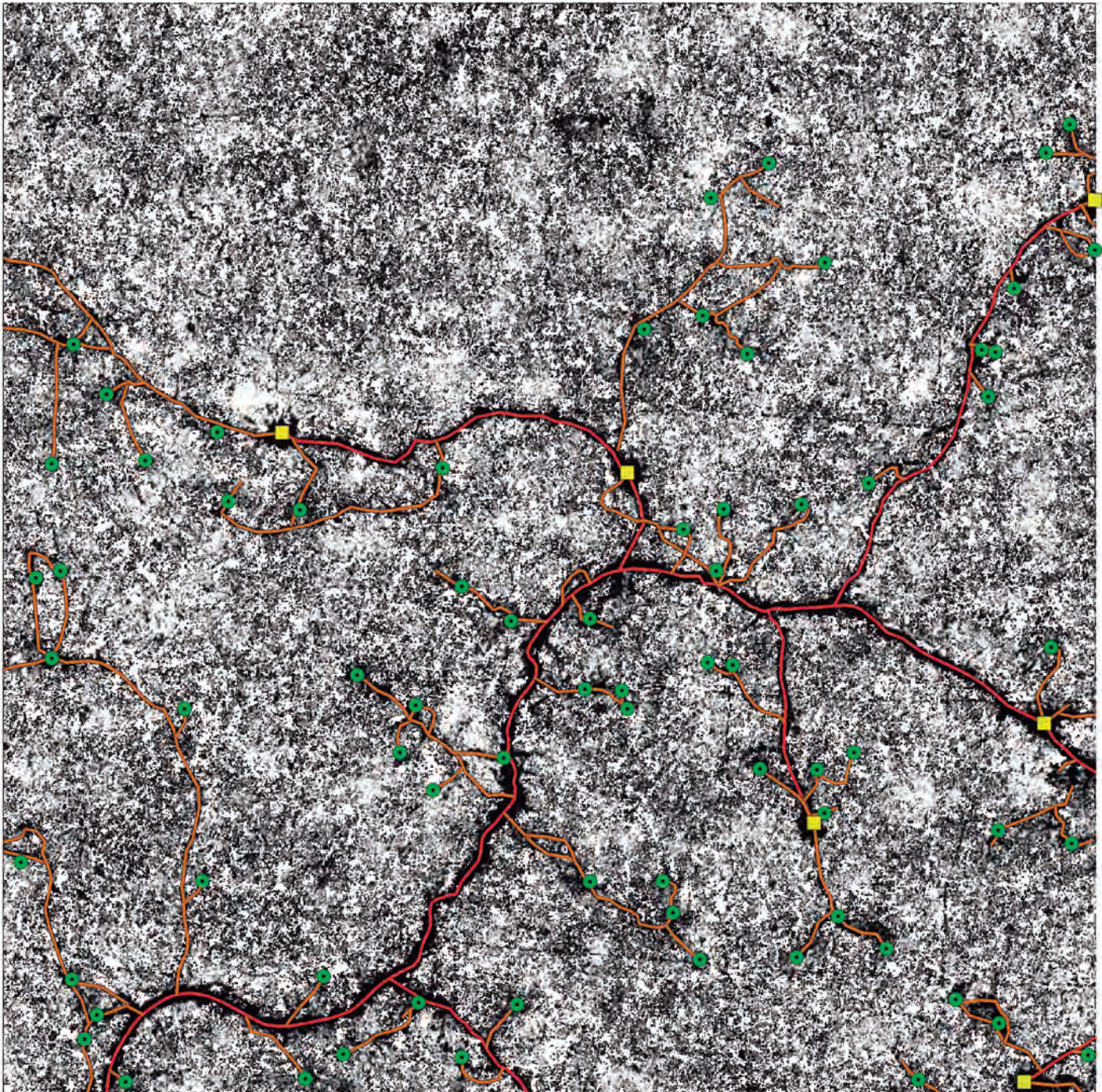


Figura 57. Vetorização das estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras sobre o modelo de densidade relativa de vegetação.

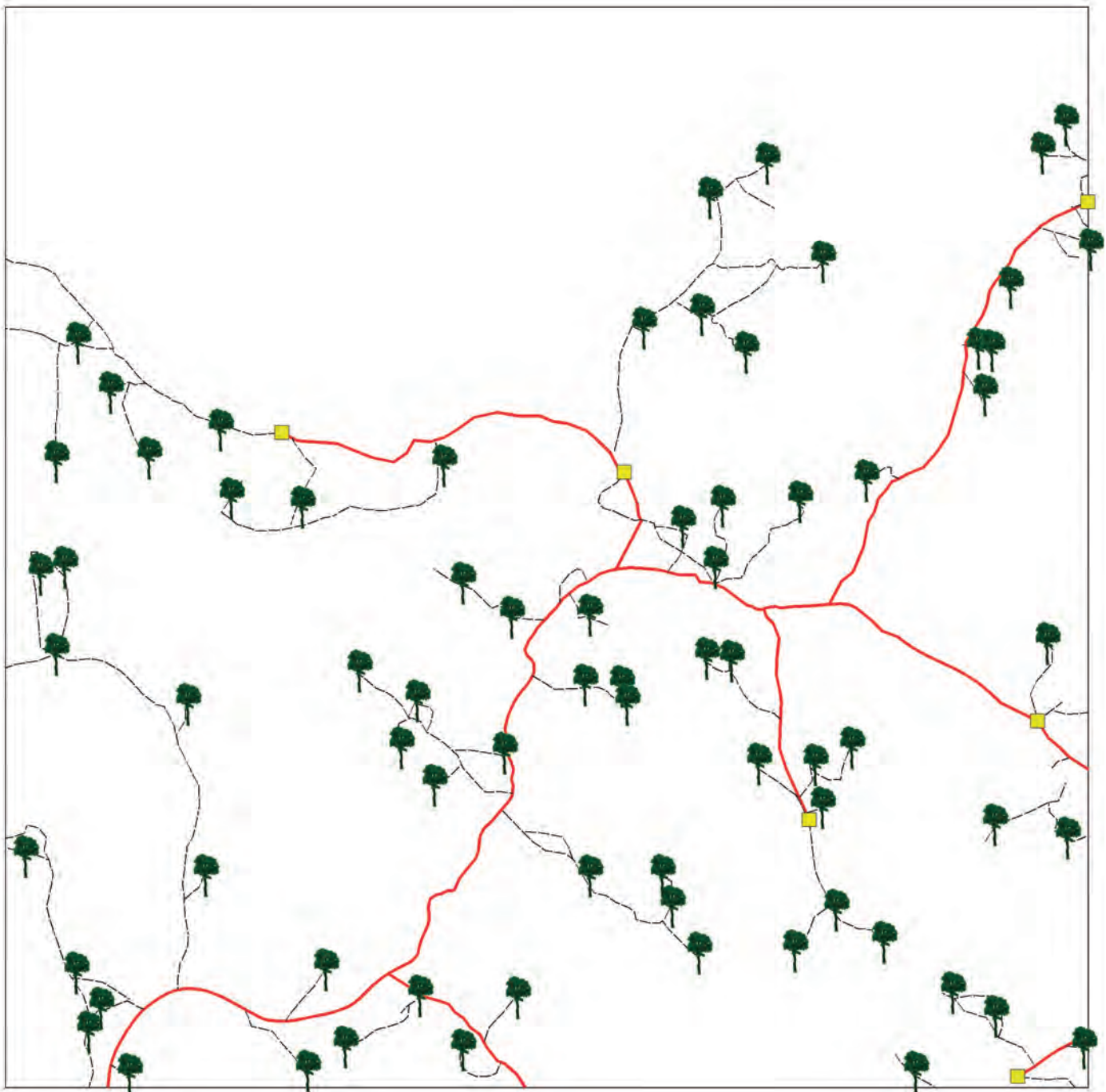


Figura 58. Localização dos pátios de estocagem (amarelo), estradas florestais (vermelho), trilhas de arraste (tracejado) e clareiras (árvores).

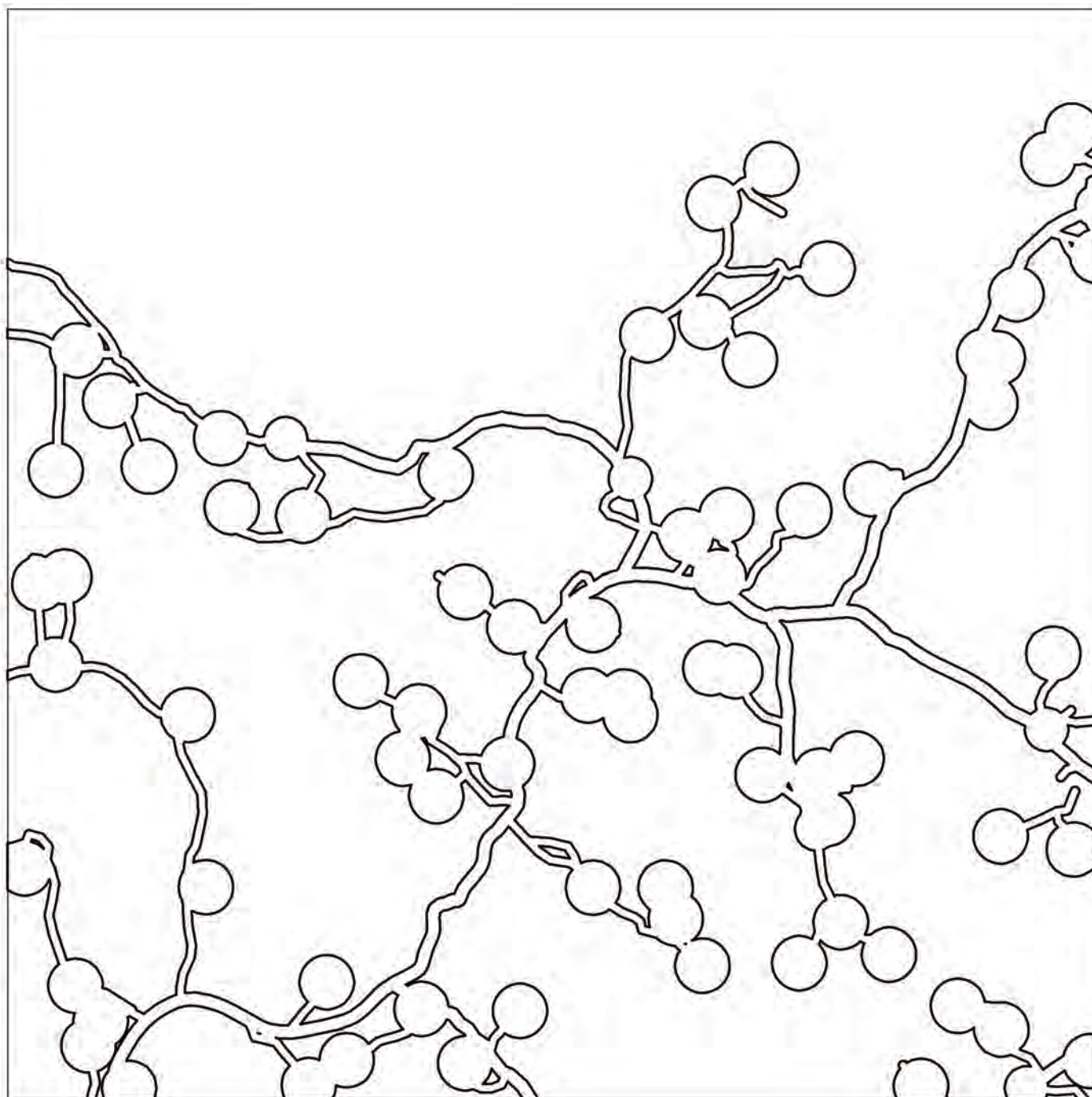


Figura 59. Áreas tampão definidas como limites para o impacto produzido pelas operações florestais.

5.3. Estimativa das áreas alteradas por operações florestais

Dentro das zonas tampão definidas na seção anterior, ainda existem áreas com densidade de vegetação relativa diferente de zero. Para aumentar a precisão da estimativa das áreas alteradas, será feita a identificação e separação das áreas que realmente tiveram a vegetação removida (pixels pretos) nas faixas de altura consideradas (ex. 1 m e 5 m).

A separação das áreas sem vegetação será feita por meio da ferramenta "*Intersect*", que produzirá um polígono da interseção entre a zona tampão de impacto definida no item 5.2 (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_Impacto_Final_Exemplo.shp) e áreas com vegetação relativa igual a zero identificadas no modelo RDM gerado na seção 5.2 (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Mod_Veg_Rel.v.asc). Para usar ferramentas de análise em um raster (ASC) é necessário convertê-lo na extensão .IMG.

206. Selecionar a ferramenta do *Arctoolbox* > *Conversion tools* > *To Raster* > *ASCII to Raster*.

207. Na janela *ASCII to Raster*, selecionar no campo *Input Feature*, o arquivo *ASCII* a ser convertido (ex. C:\Livro_Lidar\ASC\Modelo_Vegetacao_Relativa.asc). É preciso habilitar a opção *File (*.ASC)* para conseguir visualizar e selecionar arquivos *ASC*.

208. Definir o nome e endereço do arquivo de saída no campo *Output raster* (C:\Livro_Lidar\RASTER\Model_Veg_Rel.img). É preciso escrever a extensão .img no final do nome do arquivo de saída.

209. Selecionar a opção *INTEGER* no campo *Output data type (optional)* e clicar *Ok* (Figura 60).

Para converter o raster *Model_Veg_Rel.img* para polígono (*shape*):

A imagem *Model_Veg_Rel.img* possui uma tabela de atributos com valores de 0 a 100. Esses valores fazem referência à densidade de vegetação relativa, representada na imagem pela escala de cinza, sendo 0 igual ao preto e 100 ao branco. Dessa forma, podem-se identificar as áreas impactadas pela operação florestal (pátios, estradas, trilhas e clareiras).

210. Abrir a tabela de atributos da imagem *Model_Veg_Rel.img*.

211. Colocar a tabela em ordem crescente (do menor para o maior) na coluna *VALUE*.

Com a tabela de atributos da imagem *Model_Veg_Rel.img* aberta ao lado do mapa da área faça várias simulações de seleção até encontrar um resultado que seja equivalente ao impacto produzido pela exploração florestal. Neste documento será usado, como exemplo, o intervalo de valores de 0 a 40 na coluna *VALUE* (Figura 61). A escolha desse intervalo foi feita com base na interpretação visual da cobertura impactada e comparação com diferentes intervalos testados na faixa de 0% a 100%.

212. Selecionar as linhas da tabela de atributos que contemplem os valores *VALUE* de 0 até 40.

213. Selecionar a ferramenta do *Arctoolbox* > *Conversion tools* > *Raster to Polygon*.

214. No campo *Input Raster* selecionar o raster a ser convertido (ex. *Model_Veg_Rel.img*). Manter o campo *Field* como *VALUE*, nomear o arquivo de saída (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.shp), desabilitar a opção *Simplify polygons* e clicar *Ok* (Figura 62).

Após a conversão do *Model_Veg_Rel.img* em polígono é possível fazer a interseção com a área de impacto total gerada a partir das estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras.

215. Clicar em *Arctoolbox > Analysis Tools > Overlay > Intersect* (Figura 63).
216. No campo *Input Features*, selecionar os arquivos correspondentes às zonas tampão (ex. *Area_Impacto_Buffer_Unidos.shp*) e RDM (ex. *Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.shp*), nesta ordem, pois o produto final de interesse é a intersecção desses dois polígonos (Figura 64).
217. No campo *Output Feature Class* inserir o endereço e nome do arquivo a ser produzido (ex. *C:\Livro_Lidar\SHAPE\Area_Impacto_Final_Exemplo.shp*).
218. No campo *Join Attributes (optional)* manter a opção ALL e pressionar Ok.
219. Selecionar a ferramenta *XtoolsPro > Table Operations > Calculate Area*.
220. Na janela *Select layer to measure*, inserir o *shape* produzido no item anterior (ex. *Area_Impacto_Final_Exemplo.shp*).
221. Selecionar a unidade de medida *Meters* na aba *Desired output units*.
222. Pressionar Ok e abrir a tabela de atributos do *shape* para ver área calculada.

A área calculada referente ao impacto das atividades de exploração florestal dentro da amostra de 100 hectares foi de 9,6 hectares, ou seja, aproximadamente 10% da área total, para valores de densidade relativa da vegetação entre 0 e 40.

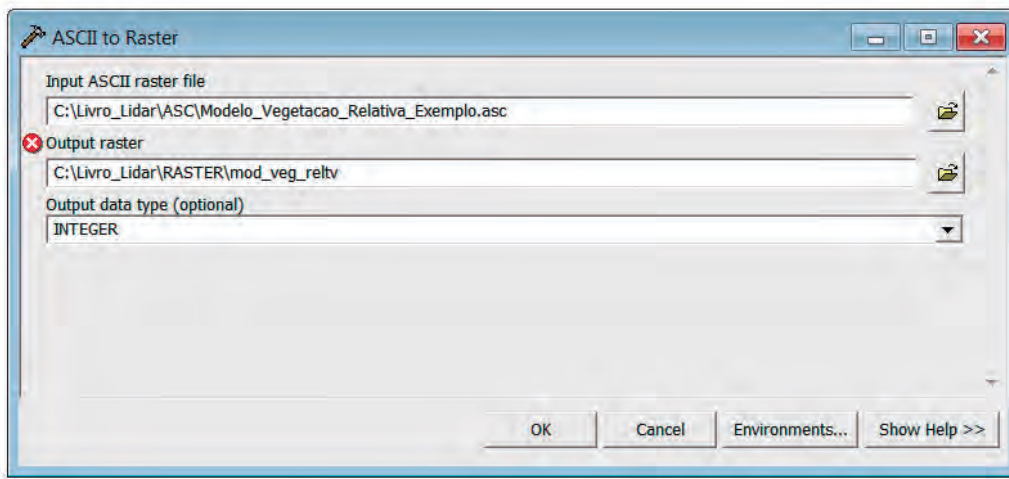


Figura 60. Conversão de arquivos do formato ASCII (Modelo_Vegetação_Relativa_Exemplo.asc) para o formato raster (img) por meio do comando *ASCII to Raster* do ArcGis.

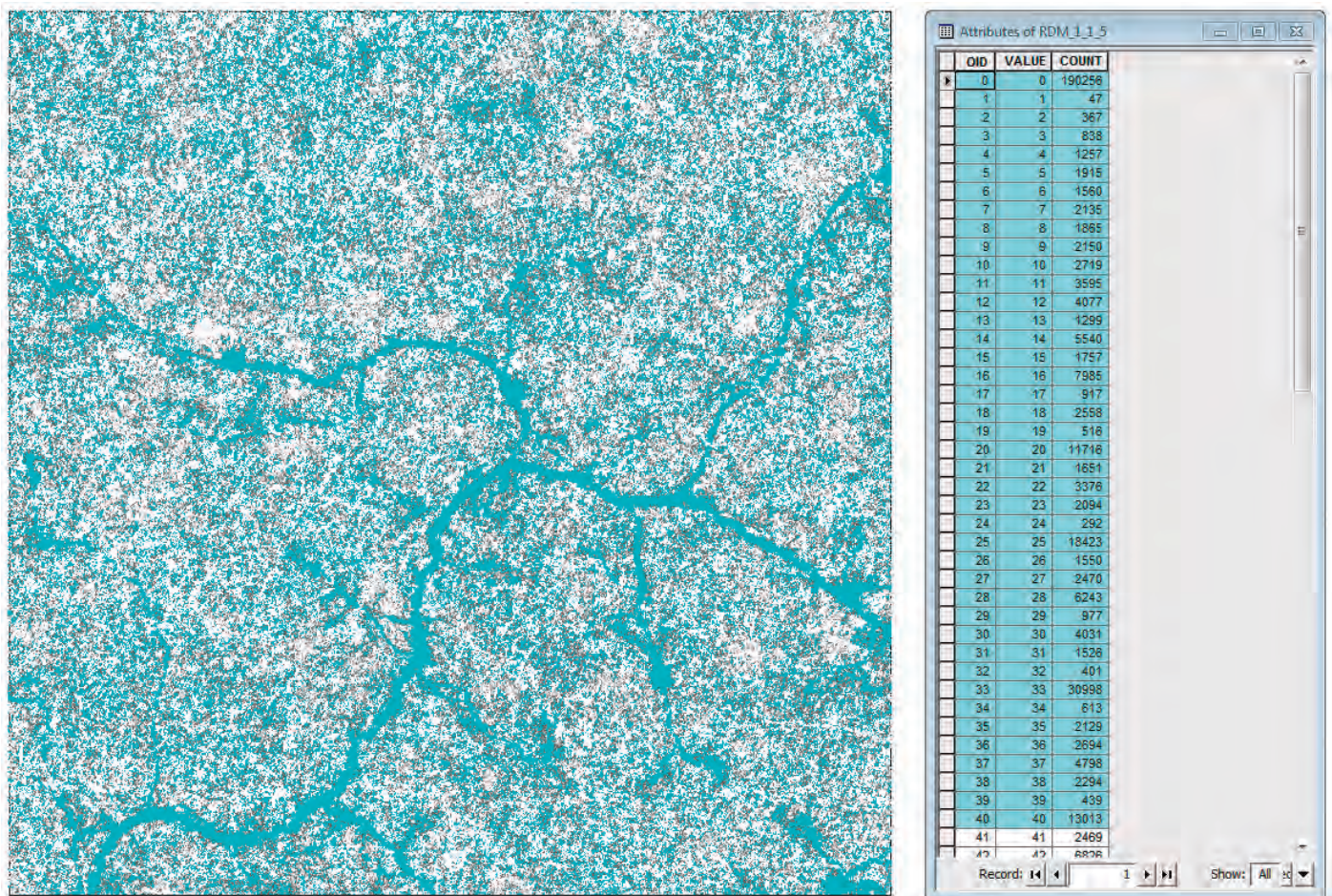


Figura 61. Seleção dos valores de densidade de vegetação relativa na faixa de 0% a 40%.

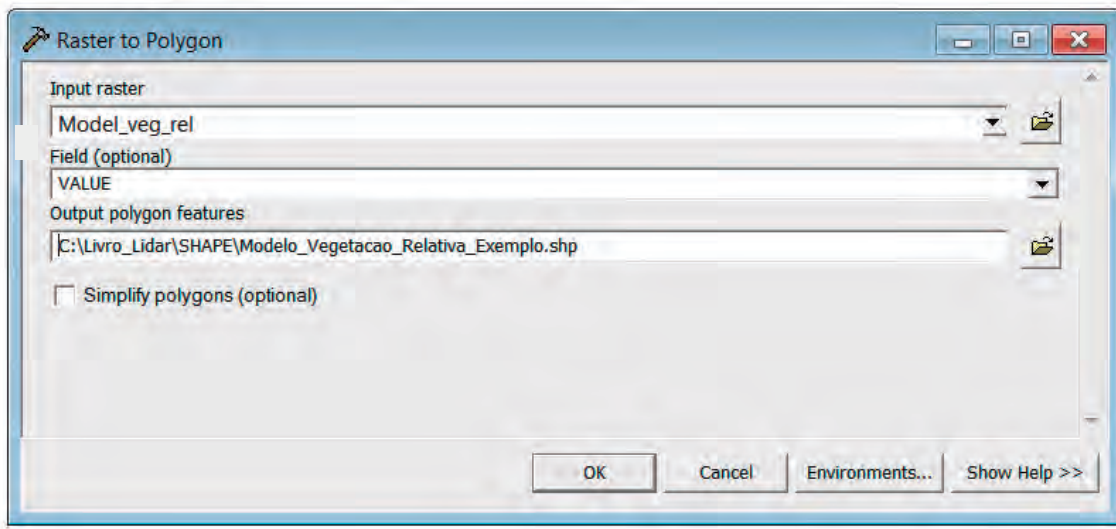


Figura 62. Ferramenta de conversão da imagem raster em *shapefile* de polígono.

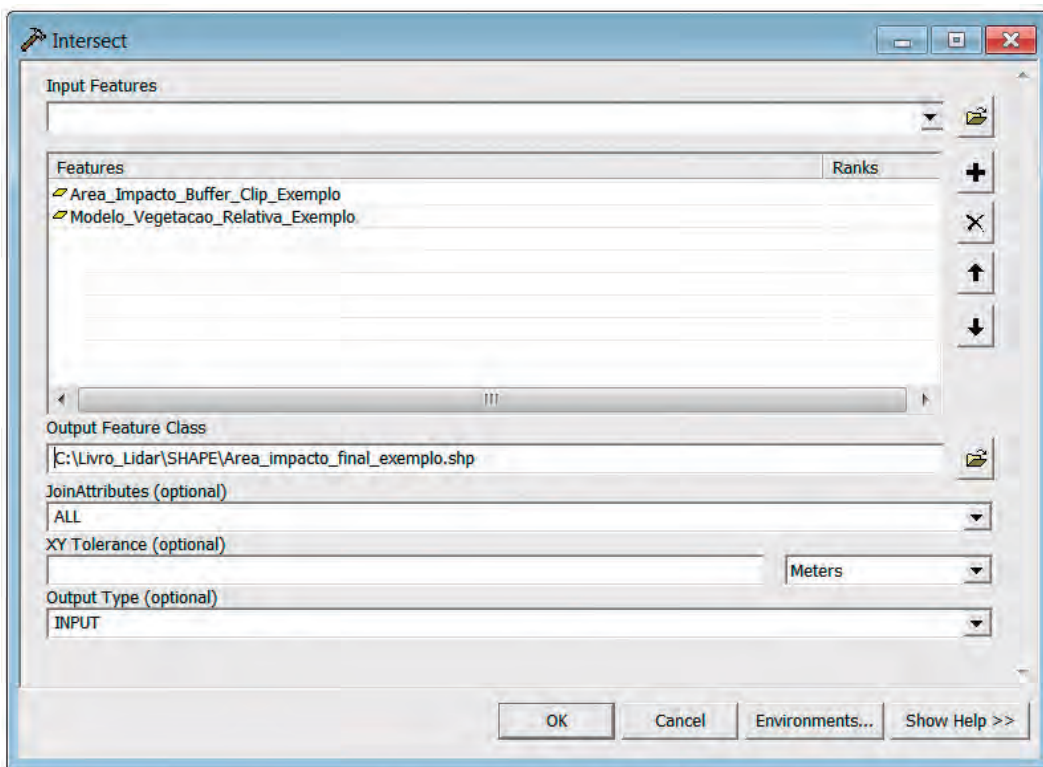


Figura 63. Aplicação da ferramenta de intercessão de feições (*Intersect*) do ArcGis (polígonos *Area_Impacto_Buffer_Unidos.shp* e *Modelo_Vegetacao_Relativa_Exemplo.shp*) para definição da área de impacto final produzida pela construção de estradas, abertura de pátios, trilhas de arraste e corte das árvores.

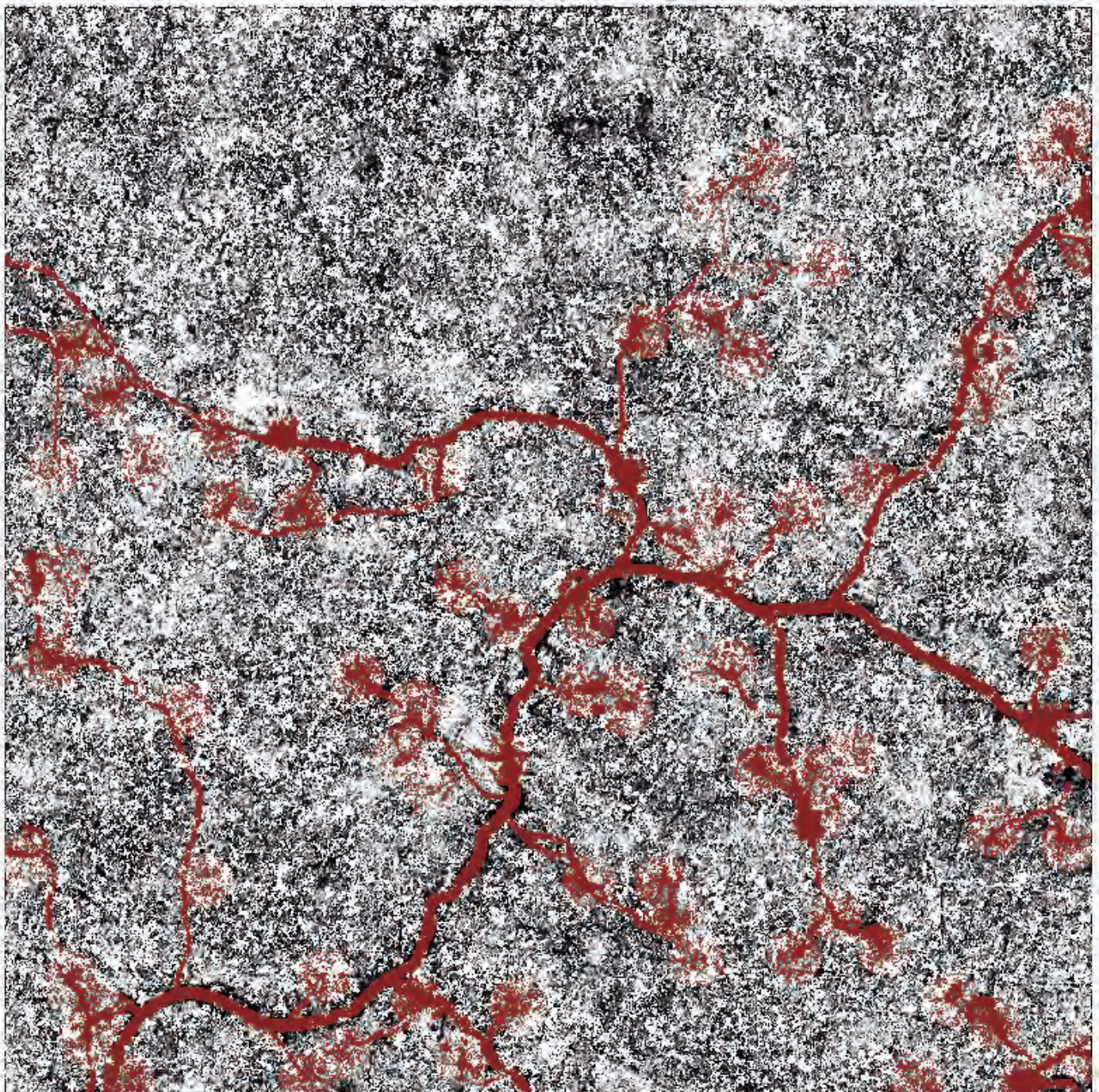


Figura 64. Área de impacto final para valores de densidade relativa da vegetação entre 0% e 40% com área de 9,6 hectares (aproximadamente 10% da área total da amostra).

5.4. Combinando o modelo RDM com o de subtração de cobertura vegetal

Quando existem disponíveis amostras de dados Lidar da mesma área tomadas antes e após a exploração é possível, usando o modelo desenvolvido na seção 4.4, confirmar a localização dos pátios de estocagem, estradas florestais, trilhas de arraste e clareiras de árvores em função das áreas de copas subtraídas no período entre as duas amostras. Para tanto basta sobrepor o modelo de densidade relativa de vegetação (Figura 56) e a vetorização deste modelo (Figura 58) com o modelo de diferença de cobertura vegetal desenvolvido no item 4.4.

Em ambos os casos é possível observar que os polígonos que representam as copas das árvores removidas ou danificadas pela exploração estão próximos às áreas alteradas identificadas pelo modelo de densidade relativa de vegetação. No exemplo, como a exploração já havia iniciado antes do primeiro voo do Lidar, algumas áreas que representam alterações promovidas por operações de exploração florestal na parte sul da imagem não possuem a representação de árvores removidas ou danificadas (Figura 65).

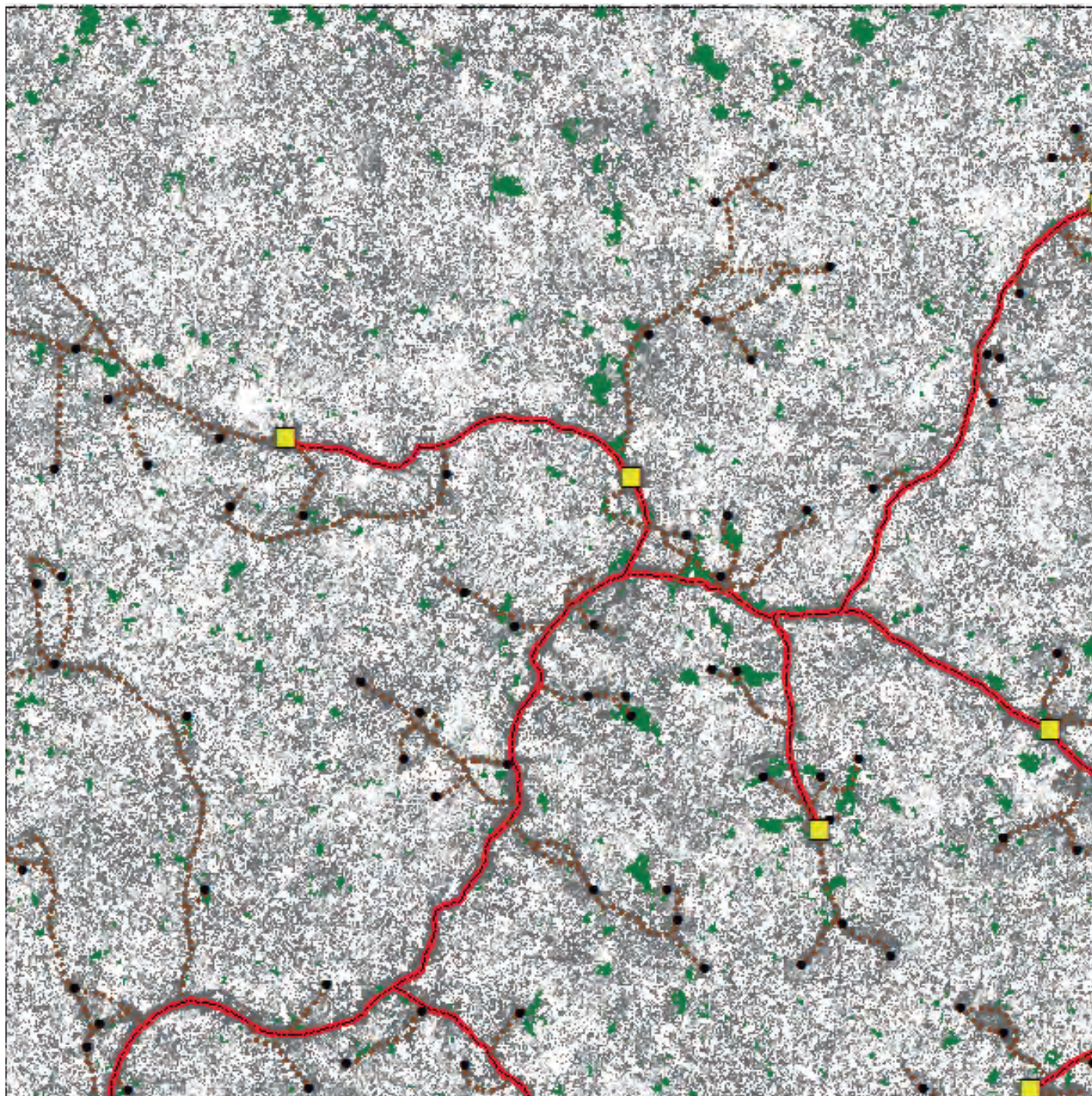


Figura 65. Sobreposição do modelo de diferença de cobertura vegetal em diferentes amostras Lidar (verde) com o modelo de densidade relativa de vegetação (RDM) e vetorização das estradas, pátios, trilhas de arraste e clareiras.

6. Estimativas de biomassa e estoques de carbono pelo cruzamento de dados Lidar em inventários florestais executados na superfície

Estoques de carbono e biomassa podem ser estimados por meio do estabelecimento de uma regressão entre os dados Lidar e informações obtidas em campo em inventários florestais regulares. No preparo dos dados do Lidar para análise são necessários três passos em que serão usados três comandos do Fusion: a) recortar os dados do Lidar contidos nas parcelas amostradas em campo (*Polyclipdata*); b) normalizar as alturas das árvores nos arquivos recortados (*Subtractground*); e c) gerar as estatísticas com os dados métricos dos retornos do Lidar contidos nas amostras (*Cloudmetrics*).

6.1. Seleção dos dados Lidar nas amostras das parcelas

O comando *Polyclipdata* faz o recorte dos dados do Lidar localizados dentro das parcelas distribuídas na área sobrevoada pelo Lidar. Para isso, as parcelas precisam ter seus vértices georreferenciados com precisão centimétrica em campo. Um polígono deve ser produzido a partir das coordenadas dos vértices de cada parcela no mesmo sistema de referência e projeção dos dados Lidar. O arquivo *shape* gerado (ex. C:\Livro_Lidar\SHAPE\Parcelas_Permanentes.shp) será utilizado para executar o recorte das parcelas por meio do comando *Polyclipdata* (linha de comando 6). A linha de comando deve ser editada e executada no MS-DOS de acordo com o descrito nos itens 2.1 e 2.2. Após o recorte dos dados Lidar dentro de cada parcela (PP_Exemplo_1.lda. PP_Exemplo_2.lda. PP_Exemplo_3.lda. PP_Exemplo_4.lda. PP_Exemplo_5.lda e PP_Exemplo_6.lda), seguir os comandos do item 2.3 deste trabalho para criar a imagem das parcelas no Fusion e visualização tridimensional no LDV. Após o fim do processamento, verificar no Fusion se as parcelas foram recortadas corretamente (Figura 66).

Linha de comando 6: Polyclipdata – seleção dos retornos do Lidar obtidos nas parcelas permanentes

polyclipdata /shape:1, /multifile "C:\Livro_Lidar\Lidar\SHAPE\Parcelas_Permanentes_Exemplo.shp" C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\PP_EXEMPLO.Ida C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt*

Onde:

polyclipdata /shape:1, /multifile* = comando de recorte de dados adicionado dos parâmetros *shape* (o modelo será gerado a partir de um arquivo no formato *shape* e *multifile* (serão recortadas várias amostras)).

"C:\Livro_Lidar\SHAPE = endereço do arquivo *shape* que será usado como referência para seleção dos dados Lidar.

Parcelas_Permanentes_Exemplo.shp = arquivo no formato *shape* que contém os vértices dos polígonos das parcelas.

C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\PP_Exemplo.Ida = endereço e nome do arquivo resultante (ex. na amostra fornecida serão seis arquivos de saída com dados Lidar: *PP_Exemplo_1, PP_Exemplo_2, PP_Exemplo_3, PP_Exemplo_4, PP_Exemplo_5* e *PP_Exemplo_6*).

C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt = arquivo de texto que contém o nome e endereço dos arquivos de dados que serão usados pela linha de comando.

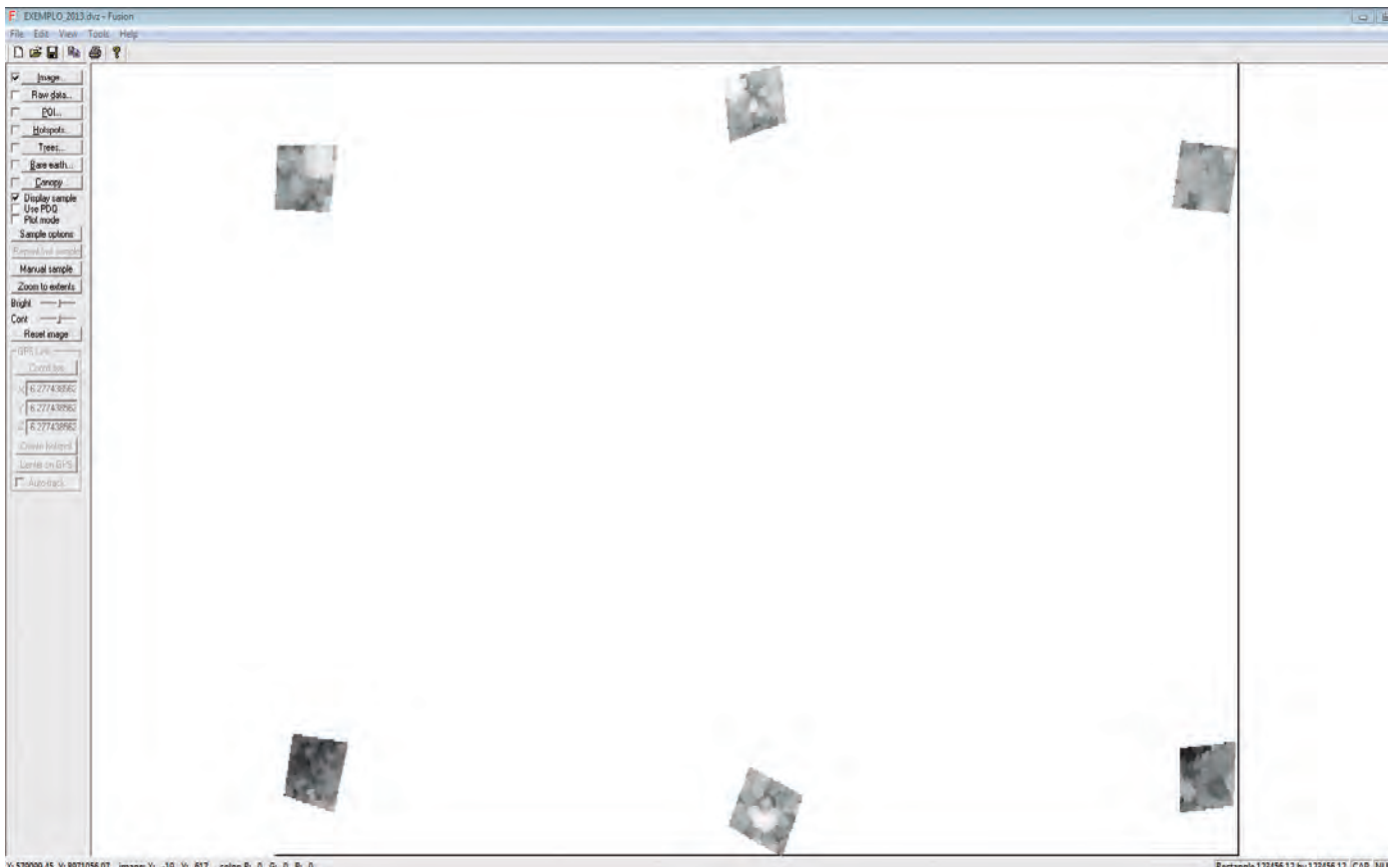


Figura 66. Amostras de dados Lidar recortados conforme polígono de parcelas permanentes.

6.2. Normalização dos dados Lidar das parcelas

A normalização da elevação é uma etapa necessária para gerar estatísticas das elevações dos retornos contidos nas parcelas. A normalização das alturas é feita a partir do modelo de superfície (C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm). Com os valores de elevação dos retornos normalizados é possível fazer os cálculos das estatísticas desses retornos (médias, variância, desvio padrão e etc.) nas parcelas.

Para a normalização das alturas nas áreas selecionadas serão usadas duas linhas de comando com *Subtractground* (linha de comando 7) e *Clipdata* (linha de comando 8). Esses dois comandos permitem a execução dessa operação em mais de uma amostra (no caso do exemplo, parcelas) de uma única vez. A edição e execução das linhas de comando serão feitas conforme os itens 2.1, 2.2 e 2.3 deste trabalho. Um arquivo de texto deve ser criado com o endereço e nome dos arquivos das parcelas (item 2.3.1).

223. Digitar C:\Livro_Lidar\BAT\Subtrair_Elevacao_Parcela_Exemplo no MS-DOS dentro da pasta C:\Fusion e pressionar Ok.

Após completar o processamento, verificar na pasta C:\Livro_Lidar\LAS_LDA se os arquivos (PP_Exemplo_n_Normalizada.lda) foram criados. No LDV é possível visualizar se os pontos das parcelas foram corretamente normalizados (Figura 67).

Linha de comando 7: *Subtractground* – seleção de dados das parcelas exemplo para subtração da elevação

```
for /F "eol=; tokens=1* delims=," %%i in (C:\Livro_Lidar\TXT\Parcelas_Exemplo.txt) do call C:\Livro_Lidar\BAT\DoClipData_Parcelsa_Exemplo.bat %%
```

Onde:

for /F "eol=; tokens=1* delims=," %%i in = o segundo arquivo .BAT (ex. Clipdata) vai acessar os nomes e processar os dados de cada arquivo listado.

(C:\Livro_Lidar\TXT\Parcelas_Exemplo.txt) = endereço e nome do arquivo texto nos quais estão os arquivos LAS que irão gerar os arquivos LDA normalizados.

do call = comando para executar uma linha de comando em outro arquivo no formato BAT (ex. ClipData. bat).

C:\Livro_Lidar\BAT\DoClipData_Parcelsa_Exemplo.bat = localização do arquivo no formato BAT que contém o comando *Clipdata*.

%%i = todos os arquivos devem ser processados.

Linha de comando 8: DoClipdata – criação de modelo normalizado das parcelas

```
clipdata /dtm:C:\Livro_Lidar\DTMModelo_Superficie_Exemplo.dtm /height %1.Ida %1_Normalizada.Ida 579074 8970253 580070 8971248
```

Onde:

clipdata /dtm: = comando de recorte de dados adicionado do parâmetro /dtm que indica que o arquivo será construído a partir de um modelo digital do terreno.

C:\Livro_Lidar\DTMModelo_Superficie_Exemplo.dtm = modelo de superfície que será usado como referência para normalizar a elevação dos retornos do Lidar.

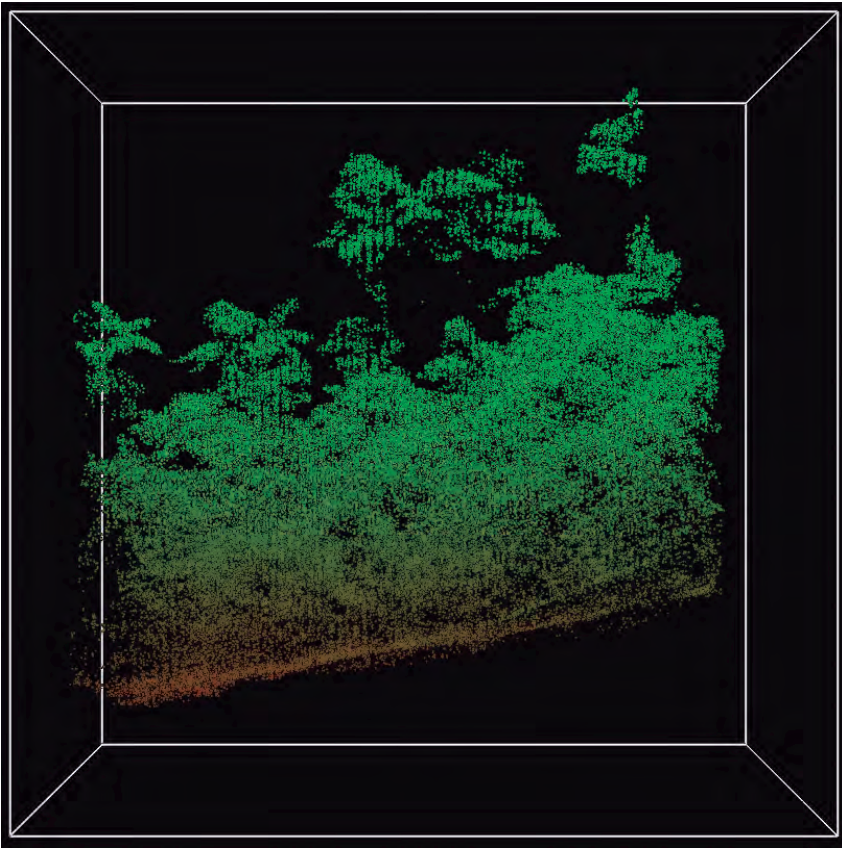
/height = converte a elevação de todos os retornos nos arquivos de entrada em altura acima do solo usando como referência um arquivo DTM.

%1.Ida %1_Normalizada.Ida = utiliza com extensão LAS e gera arquivos no formato LDA com o mesmo nome dos arquivos de entrada acrescidos de “_ Normalizada”.

579074 8970250 = coordenadas X e Y do canto esquerdo inferior do polígono da amostra de dados Lidar onde estão localizadas todas as parcelas.

580074 8971250 = coordenadas X e Y do canto direito superior do polígono da amostra de dados Lidar onde estão localizadas todas as parcelas.

A



B

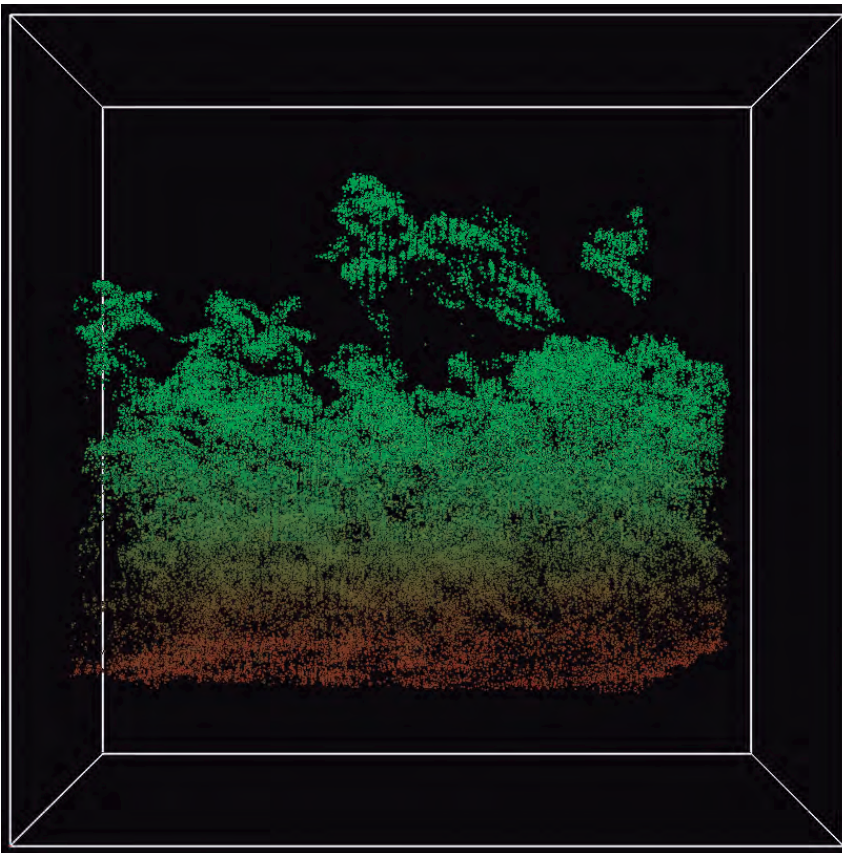


Figura 67. Comparação das imagens tridimensionais das parcelas permanentes sob condições reais do terreno (A) e com elevação normalizada (B).

6.3. Geração das estatísticas das alturas dos retornos do Lidar por meio do comando *Cloudmetrics*

Os arquivos com elevação normalizada criados na etapa anterior (PP_1_Normalizada.Ida. PP_2_Normalizada.Ida. PP_3_Normalizada.Ida. PP_4_Normalizada.Ida. PP_5_Normalizada.Ida. PP_6_Normalizada.Ida) serão usados para gerar estatísticas da intensidade e altura de todos os retornos contidos nas parcelas. As estatísticas serão calculadas por meio do comando *Cloudmetrics* do Fusion. A edição e execução da linha de comando (linha de comando 9) serão feitas conforme os itens 2.2 e 2.3 deste trabalho. O carregamento de arquivos CSV no Excel, quando o MS Office estiver configurado para o idioma Português, deve ser precedido de uma alteração nas opções do programa para trocar a separação de decimais de vírgulas para pontos.

224. No menu principal do Excel selecionar: *Arquivo > Opções > Avançado* e desabilitar a caixa *Usar separadores de sistema* (Figura 68).

Após a configuração do Excel para a abertura do arquivo CSV:

225. No menu principal do Excel selecionar *Dados > De texto*, navegar no browser até a pasta C:\Livro_Lidar\CSV, selecionar o arquivo *Metricas_PP_Exemplo.csv* e pressionar *Importar*.

226. Na etapa 1 manter o campo "Delimitado" selecionado e pressionar *Avançar* (Figura 69); na etapa 2, no campo delimitadores, manter apenas a opção *Vírgula* habilitada (Figura 70); e na etapa 3, manter os dados da coluna com a opção *Geral* e pressionar *Concluir* (Figura 71).

227. O Excel indicará $=A\$1$ como célula inicial para o carregamento dos dados, pressionar Ok e os dados do arquivo serão carregados. Verificar nas colunas se os decimais estão corretamente separados por pontos. O arquivo deve conter dezenas de variáveis descritas na Tabela 3.

Linha de comando 9: *Cloudmetrics* – produção de estatísticas de intensidade e altura de retornos contidos em cada parcela permanente

*cloudmetrics /id /minht:1 /above:2.0 C:\Livro_Lidar\LAS_LDA*_Normalizada.Ida C:\Livro_Lidar\CSV\Metricas_PP_Exemplo.csv*

Onde:

cloudmetrics /id = comando do *Cloudmetrics* com parâmetro */id* indicando que o nome do arquivo pode incluir números.

/minht:1 = limita todos os pontos a partir de altura mínima selecionada, neste caso 1 metro.

/above:2 = altura mínima em metros para que o ponto faça parte da análise.

*Livro_LIDAR\LAS_LDA*_Normalizada.Ida* = seleciona para processamento todos os arquivos com nomes terminados em “_Normalizada” e com extensão *.LDA* presentes no diretório onde é executado o comando.

C:\Livro_LIDAR\CSV\Metricas_PP_Exemplo.csv = nome do arquivo que contém as variáveis estatísticas dos parâmetros que descrevem os dados Lidar selecionados. Este arquivo apresenta a elevação dos pontos, valores de intensidade e retornos. Deve ser aberto em planilha eletrônica.

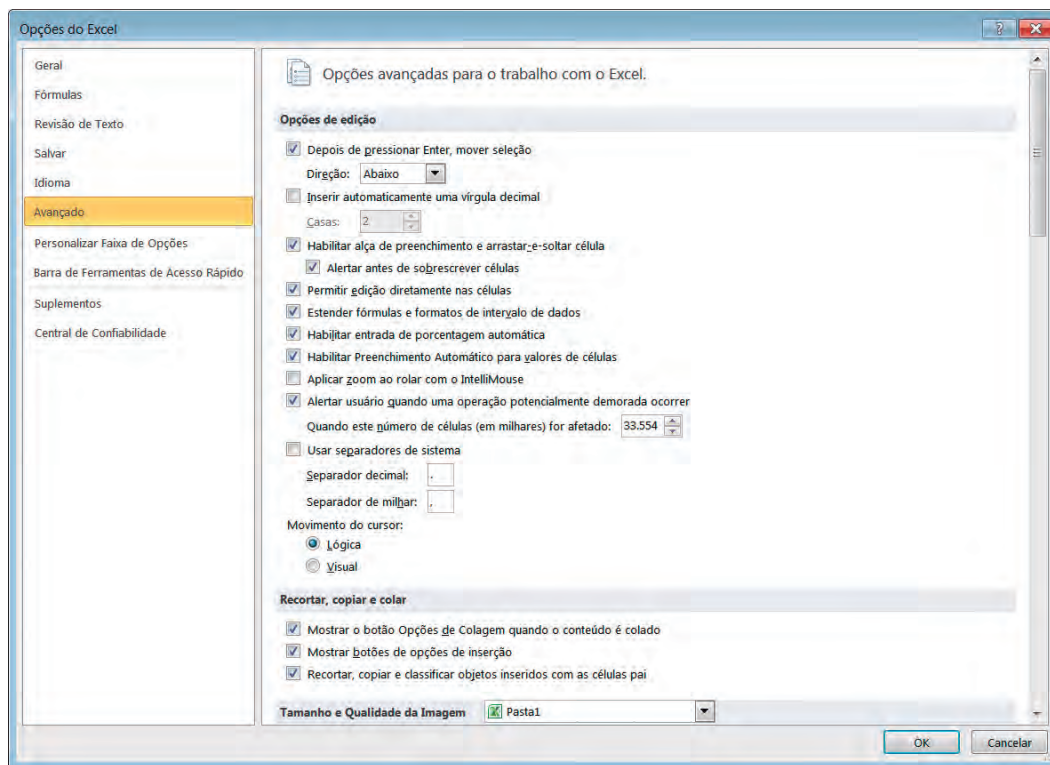


Figura 68. Janela de opções do Excel para trocar a separação de decimais de vírgulas para pontos na caixa *Usar separadores de sistema*.

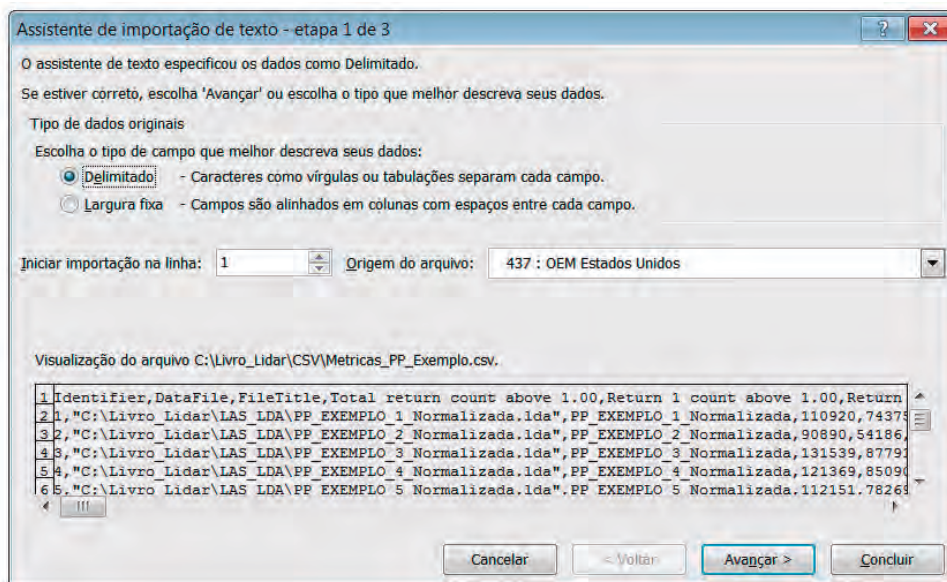


Figura 69. Importação do arquivo *metricas_PP_exemplo.csv* como planilha eletrônica no Excel – etapa 1.

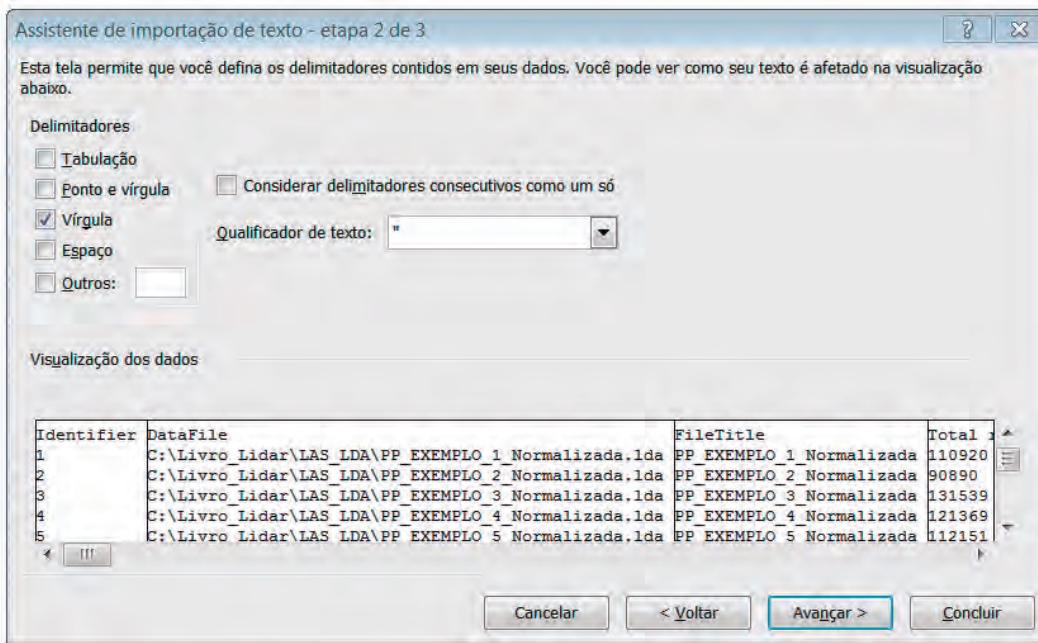


Figura 70. Importação do arquivo metricas_PP_exemplo.csv como planilha eletrônica no Excel – etapa 2.

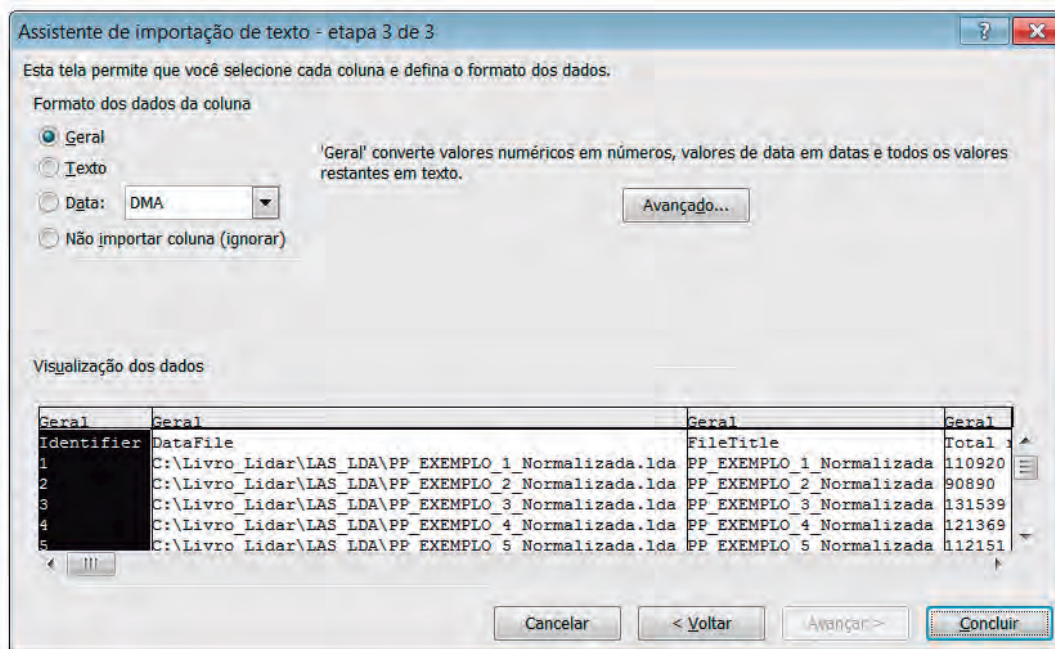


Figura 71. Importação do arquivo metricas_PP_exemplo.csv como planilha eletrônica no Excel – etapa 3.

Tabela 3. Métricas de elevação e intensidade dos dados Lidar contidos na parcela 1.

| Identificação: 1 | | | |
|------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Arquivo de dados: C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\PP_1_Normalizada.Ida | | | |
| Título do arquivo: PP_1_Normalizada | | | |
| | | Retorno | |
| Total de retornos acima de 1 metro | 110920 | Nº de primeiro retorno acima de 2 metros | 73013 |
| Nº de primeiro retorno acima de 1 metro | 74375 | Total de retornos acima de 2 metros | 106237 |
| Nº de segundo retorno acima de 1 metro | 30348 | Primeiro retorno acima da média (%) | 52,149333 |
| Nº de terceiro retorno acima de 1 metro | 5695 | Primeiro retorno acima da moda (%) | 67,981507 |
| Nº de quarto retorno acima de 1 metro | 502 | Total de retornos acima da média (%) | 40,183511 |
| Nº de quinto retorno acima de 1 metro | 0 | Total de retornos acima da moda (%) | 53,688402 |
| Nº de sexto retorno acima de 1 metro | 0 | (Total de retornos acima da média) / (Total de primeiros retornos) * 100 | 64,067893 |
| Nº de sétimo retorno acima de 1 metro | 0 | (Total de retornos acima da moda) / (Total de primeiros retornos) * 100 | 85,599856 |
| Nº de oitavo retorno acima de 1 metro | 0 | Primeiro retorno acima da média | 40495 |
| Nº de nono retorno acima de 1 metro | 0 | Primeiro retorno acima da moda | 52789 |
| Outros retornos acima de 1 metro | 0 | Total de retornos acima da média | 49750 |
| Primeiro retorno acima de 2 metros (%) | 94,02591 | Total de retornos acima da moda | 66470 |
| Total de retornos acima de 2 metros (%) | 85,808557 | Total de primeiros retornos | 77652 |
| (Total de retornos acima de 2 m) / (Total de primeiros retornos) * 100 | 136,811673 | Total de retornos | 123807 |
| Elevação | | Intensidade | |
| Elevação mínima | 1,000019 | Intensidade mínima | 2 |
| Elevação máxima | 43,214153 | Intensidade máxima | 1740 |
| Elevação média | 19,73733 | Intensidade média | 313,489497 |
| Moda da elevação | 16,411528 | Moda da intensidade | 29,587302 |
| Desvio padrão da elevação | 10,99309 | Desvio padrão da intensidade | 212,305864 |
| Variância da elevação | 120,848026 | Variância da intensidade | 45073,77996 |
| Covariância da elevação | 0,556969 | Covariância da intensidade | 0,677234 |
| Interquartil da distância da elevação | 14,516041 | Interquartil da distância da intensidade | 395 |
| Skewness da elevação | 0,373532 | Intensidade de Skewness | 0,151617 |
| Kurtosis da elevação | 2,35037 | Intensidade de Kurtosis | 1,822634 |

Tabela 3. Continuação.

| Identificação: 1 | | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------|------------|
| Arquivo de dados: C:\Livro_Lidar\LAS_LDA\PP_1_Normalizada.Ida | | | |
| Título do arquivo: PP_1_Normalizada | | | |
| Média absoluta do desvio da média de elevação (AAD) | 8,824351 | Média absoluta do desvio da média da intensidade (AAD) | 186,955518 |
| Elevação média no primeiro quartil (L1) | 19,73733 | Intensidade média no primeiro quartil (L1) | 313,489497 |
| Elevação média no segundo quartil (L2) | 6,232063 | Intensidade média no primeiro quartil (L2) | 121,859908 |
| Elevação média no terceiro quartil (L3) | 0,551018 | Intensidade média no primeiro quartil (L3) | 5,288408 |
| Elevação média no quarto quartil (L4) | 0,572359 | Intensidade média no primeiro quartil (L4) | -2,577694 |
| Covariância L-moments da elevação | 0,31575 | Covariância L-moments da intensidade | 0,388721 |
| L-moments de Skewness para a elevação | 0,088417 | L-moments de Skewness para a intensidade | 0,043397 |
| L-moments de Kurtosis para a elevação | 0,091841 | L-moments de Kurtosis para a intensidade | -0,021153 |
| Altura média do primeiro percentil | 1,18617 | Intensidade média do primeiro percentil | 9 |
| Altura média do quinto percentil | 2,415284 | Intensidade média do quinto percentil | 22 |
| Altura média do primeiro decil | 5,75385 | Intensidade média do primeiro decil | 36 |
| Altura média do segundo decil | 9,820114 | Intensidade média do segundo decil | 76 |
| Altura média do primeiro quartil | 11,591261 | Intensidade média do primeiro quartil | 105 |
| Altura média do terceiro decil | 13,480918 | Intensidade média do terceiro decil | 142 |
| Altura média do quarto decil | 16,396067 | Intensidade média do quarto decil | 220 |
| Altura média do segundo quartil | 18,566099 | Intensidade média do segundo quartil | 320 |
| Altura média do sexto decil | 20,859247 | Intensidade média do sexto decil | 400 |
| Altura média do sétimo decil | 23,905083 | Intensidade média do sétimo decil | 460 |
| Altura média do terceiro decil | 26,107302 | Intensidade média do terceiro decil | 500 |
| Altura média do oitavo decil | 29,826891 | Intensidade média do oitavo decil | 520 |
| Altura média do nono decil | 37,781044 | Intensidade média do nono decil | 600 |
| Altura média do nonagésimo quinto decil | 40,082848 | Intensidade média do nonagésimo quinto decil | 640 |
| Altura média do quarto quartil | 42,209417 | Intensidade média do quarto quartil | 740 |

As estatísticas serão usadas para construir modelos de regressão com parâmetros estruturais da floresta (área basal, volume, biomassa e carbono) obtidos a partir dos dados das parcelas. Com os dados da área da amostra utilizada neste livro foram desenvolvidas as seguintes equações (d'OLIVEIRA et al., 2012):

$$BSA = (3.119 + 0.564 P25 + 0.062 Var)^2 + 1.74 \quad (R^2_{adj} = 0.72; \text{Erro padrão} = 40.2).$$

$$V = (4.062 + 0.496 P25 + 0.046 Var)^2 + 1.21 \quad (R^2_{adj} = 0.69; \text{Erro padrão} = 30.5).$$

$$AB = 3.503 + 1.447 P25 + 0.101 Var \quad (R^2_{adj} = 0.63; \text{Erro padrão} = 3.3).$$

Onde:

BSA = biomassa seca acima do solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. árvores $\text{DAP} \geq 10$ cm).

V = volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. árvores $\text{DAP} \geq 10$ cm).

AB = área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. árvores $\text{DAP} \geq 10$ cm).

P25 = equivale aos retornos do primeiro quartil ou 25% percentil.

7. Extrapolação de modelos de regressão produzidos para dados Lidar destinados a toda área amostrada

A extrapolação dos modelos de regressão gerados na seção anterior, com base na área das parcelas do inventário florestal, para toda a área amostrada pelo Lidar, é possível por meio do comando *Gridmetrics*. Esse comando produz estatísticas semelhantes às produzidas pelo *Cloudmetrics* para toda área amostrada pelo Lidar. Os arquivos com estatísticas para elevação e intensidade dos retornos são produzidos no formato CSV. Diferente do *Cloudmetrics*, onde cada linha do arquivo gerado representava as estatísticas de uma parcela, no *Gridmetrics* as estatísticas serão geradas para células com tamanho definido pelo usuário (ex. 50 m x 50 m) e cada coluna corresponde a uma variável.

Como a extrapolação dos modelos será feita no ArcGis, os arquivos CSV serão convertidos ao formato ASCII pelo comando *CSV2grid* e, finalmente, convertidos ao formato raster (TIF). Dessa forma, estimativas de biomassa e estoques de carbono poderão ser feitas para qualquer parte da área coberta pelo Lidar.

7.1. Geração de estatísticas para dados Lidar de uma amostra – *Gridmetrics*

Os arquivos de dados da amostra Lidar (.LAS) serão usados para gerar estatísticas da intensidade e elevação de todos os retornos contidos na amostra. As estatísticas serão calculadas por meio do comando *Gridmetrics* do Fusion. A edição e execução da linha de comando *Metrics_Lidar_Grade_Amostra_Exemplo* (linha de comando 10) serão feitas conforme os itens 2.3 e 2.4 deste trabalho.

O marco inicial para a construção do modelo *Gridmetrics* é o ponto central da primeira célula no canto esquerdo inferior da amostra. Para determinar a localização (coordenadas X,Y) desse ponto é preciso ter a coordenada do vértice da amostra e o tamanho das células do modelo que será produzido.

Considerando células com tamanho de 50 m x 50 m e as coordenadas do vértice do canto esquerdo inferior da amostra (C:\Livro_Lidar\SHAPE\Vertices_amostra) X = 579074.196841 e Y = 8970250.00073 (Figura 72), o valor da coordenada X do ponto central é $579074.196841 + 25 = 579099$ e o valor da coordenada Y do ponto central é $8970250.00073 + 25 = 8970275$.

Do comprimento e largura da amostra (1.000 m x 1.000 m) deve ser subtraída a dimensão da célula do exemplo (50 m x 50 m), resultando no parâmetro 950,950 usado no BatFile *Gridmetrics*. Esse parâmetro evita que a linha de comando projete células fora da amostra.

O arquivo produzido pelo *Gridmetrics* é uma planilha de dados no formato CSV (comma separated value) compatível com outras planilhas como o Excel (Figura 65). Após a conversão ao formato raster (TIF), as estatísticas serão usadas para a extrapolação dos modelos de regressão produzidos com parâmetros estruturais da floresta (área basal, volume, biomassa e carbono) obtidos a partir dos dados das parcelas.

| FID | Shape | NOME | Perimeter | Area | Acres | Hectares | ID | X | Y |
|-----|-------|------|-----------|---------------|------------|----------|----|---------------|---------------|
| 0 | Point | 01 | 4000 | 999999,999999 | 247,105381 | 100 | 0 | 579074,196841 | 8970250,00073 |
| 1 | Point | 01 | 4000 | 999999,999999 | 247,105381 | 100 | 0 | 579074,196841 | 8971250,00073 |
| 2 | Point | 01 | 4000 | 999999,999999 | 247,105381 | 100 | 0 | 580074,196841 | 8971250,00073 |
| 3 | Point | 01 | 4000 | 999999,999999 | 247,105381 | 100 | 0 | 580074,196841 | 8970250,00073 |

Figura 72. Tabela de atributos do shapefile dos vertices_amostra de dados Lidar (Vertices_amostra.shp) com destaque para as coordenadas do vértice 01 referente à parte inferior esquerda da amostra.

Linha de comando 10: *Gridmetrics* – produção de estatísticas de intensidade e altura para todos os retornos das amostras

```
Gridmetrics /minht:2 /grid:579099,8970275,950,950 C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_superficie_Exemplo.dtm 2 50 C:\Livro_Lidar\CSV\Metrica_Grade_Exemplo.csv C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt
```

Onde:

Gridmetrics = comando do Fusion para produção de estatísticas de dados de uma amostra Lidar.

/minht:2 = parâmetro que indica a altura mínima dos retornos que farão parte do cálculo da cobertura (ex. razão de primeiro retorno e o número total de retornos).

/grid:579099.8970275.950.950 = parâmetros que indicam a posição do ponto central da primeira célula no canto esquerdo inferior da amostra e comprimento e largura da amostra, subtraída da dimensão da célula.

C:\Livro_Lidar\DTM\Modelo_Superficie_Exemplo.dtm = DTM de superfície que será usado como referência no processamento.

2 = altura mínima dos retornos que serão inseridos no cálculo das estatísticas.

50 = tamanho da célula usada para calcular estatísticas.

C:\Livro_Lidar\CSV\ Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv = arquivo de saída no formato CSV com as estatísticas computadas para a área definida pela linha de comando.

C:\Livro_Lidar\TXT\Amostra_Exemplo.txt = arquivo com nome e localização das amostras que serão usadas no processamento.

7.2. Conversão de arquivos CSV para o formato ASCII – *CSV2Grid* e raster (TIF)

A conversão do arquivo contendo as estatísticas de elevação e intensidade dos retornos de toda a área ao formato ASCII será feita por meio do comando *CSV2Grid* do Fusion. Um arquivo ASC será gerado para cada variável independente presente no modelo de regressão (ex. variância – ElevVar e altura média no primeiro quartil – P25). A edição e execução das linhas de comando 11 e 12 (Converte_CSV_ASC_ElevP25 e Converte_CSV_ASC_ElevVar) serão feitas conforme os itens 2.3 e 2.4 deste trabalho. A conversão ao formato raster (TIF) deve ser feita seguindo os procedimentos dos itens 2.5.3 e 2.5.4 deste trabalho.

Linha de comando 11: *Gridmetrics* – conversão de arquivos do formato CSV para ASCII

```
CSV2Grid C:\Livro_Lidar\CSV\Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv 11 C:\Livro_Lidar\ASC\Gridmetrics_returns_elevvariance.asc
```

Onde:

C:\Livro_Lidar\CSV\Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats = arquivo produzido pelo *Gridmetrics* com estatísticas de elevação.

11 = número da coluna do arquivo *Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv* onde está a variável independente variância da elevação que faz parte do modelo de regressão.

C:\Livro_Lidar\ASC\ Gridmetrics_returns_Elevvariance.asc = arquivo de saída no formato ASCII.

Linha de comando 12: *Gridmetrics* – conversão de arquivos do formato CSV para ASCII

```
CSV2Grid C:\Livro_Lidar\CSV\Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv 28 C:\Livro_Lidar\ASC\Gridmetrics_returns_
ElevP25.asc
```

Onde:

C:\Livro_Lidar\CSV\Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv = arquivo produzido pelo *Gridmetrics* com estatísticas de elevação.

28 = número da coluna do arquivo *Metrica_Grade_Exemplo_all_returns_elevation_stats.csv*, onde está a variável independente P25 (percentil do primeiro quartil) que faz parte do modelo de regressão.

C:\Livro_Lidar\ASC\Gridmetrics_returns_ElevP25.asc = arquivo de saída no formato ASCII.

7.3. Estimativas de parâmetros estruturais da floresta (biomassa, volume, área basal) a partir de amostras Lidar

Com os arquivos produzidos pelo *Gridmetrics* exportados para o ArcGis (formato ASC) é possível calcular a biomassa de cada célula (no exemplo 50 m x 50 m) da imagem produzida por meio da aplicação do modelo de regressão obtido seguindo os procedimentos da seção 6. Neste livro será utilizado como base o modelo desenvolvido por d'Oliveira et al. (2012) para produzir a estimativa de biomassa seca acima do solo na amostra usada como exemplo.

228. Selecionar a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator*.

229. Na janela aberta digitar a equação $BSAS = (3.119 + 0.564 * P25 + 0.062 * VAR)^2 + 1.74$ (ex. biomassa seca acima do solo).

230. Substituir P25 e VAR pelas imagens *Gridmetrics_exemplo_P25.asc* e *Gridmetrics_returns_elevvariance.asc*, respectivamente.

231. Teclar *evaluate* (Figura 73).

A equação final fica da seguinte forma:

$$BSAS = (3,119 + 0,564 * [Gridmetrics_returns_ElevP25.asc] + 0,062 * [Gridmetrics_returns_elevvariance.asc]) * (3,119 + 0,564 * [Gridmetrics_returns_elevP25.asc] + 0,062 * [Gridmetrics_returns_elevvariance.asc]) + 1,74$$

Onde:

[Gridmetrics_returns_elevP25.asc] = altura média no primeiro quartil dos pontos presentes em cada célula da amostra.

[Gridmetrics_returns_elevvariance.asc] = variância da altura dos pontos presentes em cada célula da amostra.

232. Selecionar a ferramenta *Spatial Analyst > Zonal Statistics*.

233. Na janela aberta selecionar no campo *Zone dataset* o nome do arquivo que delimita a área que será estudada (no exemplo C:\Livro_Lidar\SHAPE\Polígono_Exemplo.shp).

234. No campo *Zone field* selecionar o campo que contém as informações sobre o polígono (no exemplo *Nome*).

235. No campo *Value raster* selecionar o arquivo com os valores da biomassa seca acima do solo para todas as células da área (no exemplo BSAS_Lidar).

236. No campo *Chart statistic* selecionar *Mean*.

237. No campo *Output table* selecionar o diretório e nome do arquivo de saída C:\Livro_Lidar\XLS\Estatistica Biomassa.dbf.

238. Clicar Ok (Figuras 74 e 75).

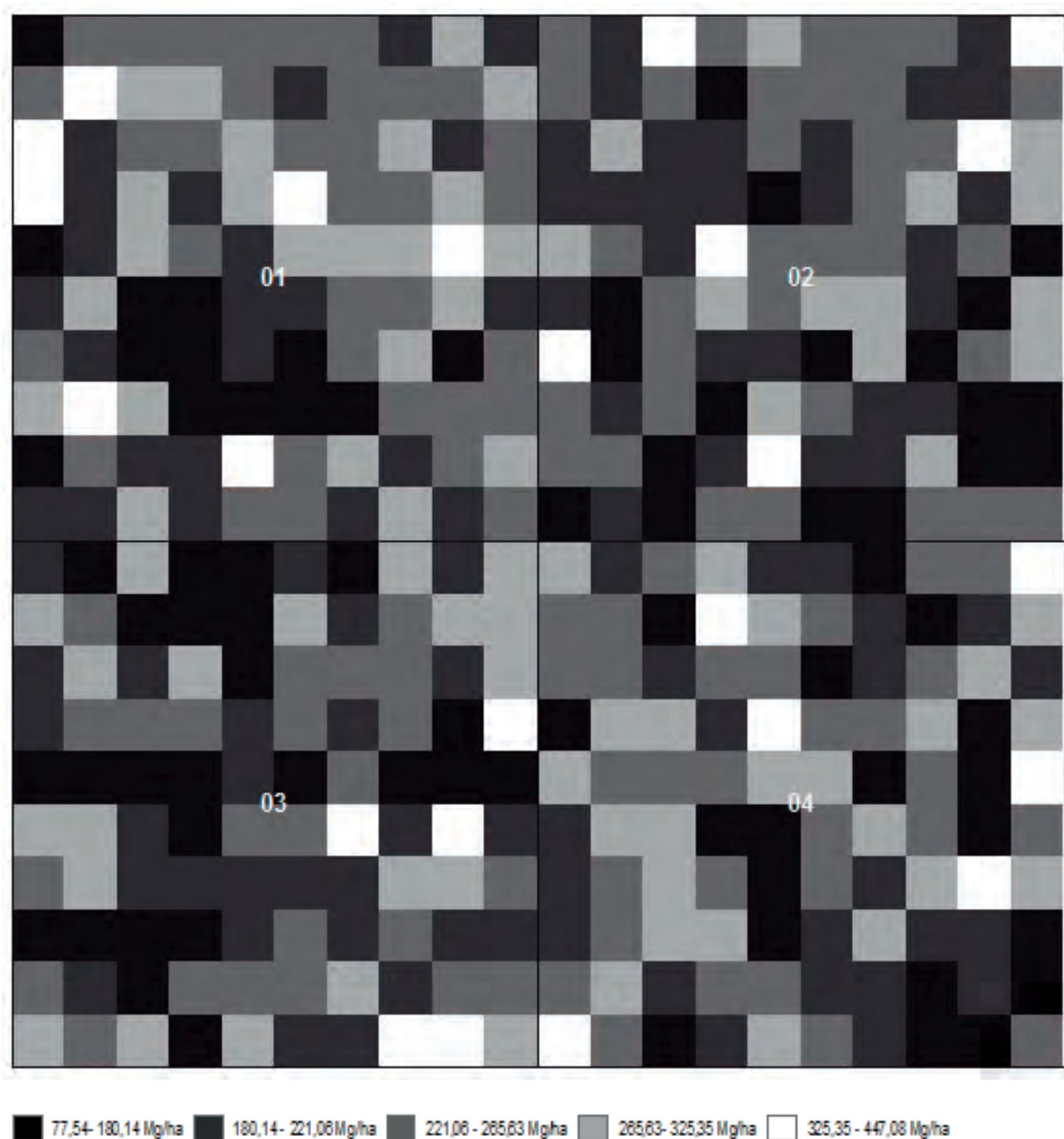


Figura 73. Imagem representando a biomassa seca acima do solo (Mg .ha⁻¹), calculada para as árvores acima de 10 cm de DAP, em células de 50 m x 50 m da amostra de 100 hectares de dados Lidar.

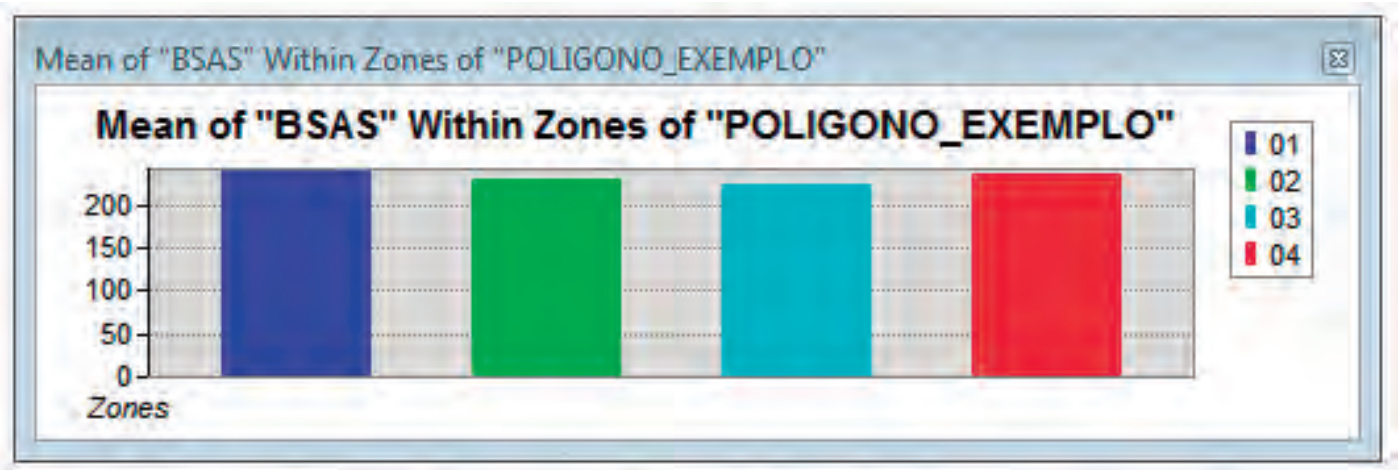


Figura 74. Média da biomassa seca acima do solo nas quatro subáreas em que a amostra de 100 hectares está dividida.

Stats of "BSAS" Within Zones of "POLIGONO_EXEMPLO"

| OJD | NOME | ZONE CODE | COUNT | AREA | MIN | MAX | RANGE | MEAN | STD | SUM |
|-----|------|-----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 01 | 1 | 100 | 25000 | 77,549 | 427,768 | 350,219 | 242,933 | 57,9889 | 24293,3 |
| 1 | 02 | 2 | 100 | 25000 | 134,645 | 447,089 | 312,443 | 230,453 | 54,3294 | 23045,3 |
| 2 | 03 | 3 | 100 | 25000 | 113,26 | 406,34 | 293,079 | 225,156 | 56,9203 | 22515,6 |
| 3 | 04 | 4 | 100 | 25000 | 119,498 | 428,961 | 309,463 | 235,935 | 57,5027 | 23593,5 |

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 4 Selected) Options

Figura 75. Estatísticas para a biomassa nas quatro subáreas da amostra.

8. Referências

ABSHIRE, J. B.; SUN, X.; AFZAL, R. S. Mars Orbiter Laser Altimeter: receiver model and performance analysis. **Applied Optics**, Washington, DC, v. 39, n. 15, p. 2449-2460, May 2000.

ANDERSEN, H. E.; FOSTER, J. R.; REUTEBUCH, S. E. Estimating forest structure parameters within Fort Lewis Military Reservation using airborne laser scanner (LIDAR) data. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 2., 2003, Seattle. **Proceedings...** Washington, DC: University of Washington, College of Forest Resources, 2003. p. 45-53.

ANDERSEN, H. E.; MCGAUGHEY, R. J.; REUTEBUCH, S. E. Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 94, n. 4, p. 441-449, Feb. 2005.

ANDERSEN, H. E.; REUTEBUCH, S. E.; MCGAUGHEY, R. J. Active remote sensing. In: SHAO, G.; REYNOLDS, K. (Eds.). **Computer applications in sustainable forest management**. Dordrecht: Springer-Verlag, 2006. p. 43-66.

ANDERSEN, H. E.; STRUNK, J.; TEMESGEN, H.; ATWOOD, D.; WINTERBERGER, K. Using multi-level remote sensing and ground data to estimate forest biomass resources in remote regions: a case study in the boreal forests of interior Alaska. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Canada, v. 37, n. 6, p. 596-611, Dec. 2011.

ANDERSEN, H.; REUTEBUCH, S. E.; MCGAUGHEY, R. J.; D'OLIVEIRA, M. V. N.; KELLER, M. Monitoring selective logging in western Amazonia with repeat LIDAR flights. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 151, p. 157-165, Aug. 2014.

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; KENNEDY-BOWDOIN, T.; JONES, M. O.; MARTIN, R. E.; BOARDMAN, J.; HUGHES, R. F. Invasive species detection in Hawaiian rainforests using airborne imaging spectroscopy and LiDAR. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 112, n. 5, p. 1942-1955, May 2008.

ASNER, G. P.; POWELL, G. V. N.; MASCARO, J.; KNAPP, D. E.; CLARK, J. K.; JACOBSON, J.; KENNEDY-BOWDOIN, T.; BALAJI, A.; PAEZ-ACOSTA, G.; VICTORIA, E.; SECADA, L.; VALQUI, M.; HUGHES, R. F. High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 107, n. 38, p. 16738-16742, Sep. 2010.

BALZTER, H.; LUCKMAN, A.; SKINNER, L.; ROWLAND, C.; DAWSON, T. Observations of forest stand top height and mean height from interferometric SAR and LiDAR over a conifer plantation at Thetford Forest, UK. **International Journal of Remote Sensing**, United Kingdom, v. 28, n. 6, p. 1173-1197, 2007.

BEETS, P. N.; REUTEBUCH, S.; KIMBERLEY, M.; OLIVER, G.; PEARCE, S.; MCGAUGHEY, R. Leaf area index, biomass carbon and growth rate of radiata pine genetic types and relationships with LiDAR. **Forests**, Switzerland, v. 2, n. 3, p. 1173-1197, Aug. 2011.

BEHAN, A. On the matching accuracy of rasterised scanning laser altimeter data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 33, n. 2, p. 75-80, 2000.

BOTTAI, L.; ARCIDIACO, L.; CHIESI, M.; MASELLI, F. Application of a single-tree identification algorithm to LiDAR data for the simulation of stem volume current annual increment. **Journal of Applied Remote Sensing**, Florida, v. 7, n. 1, Jan. 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 out. 2014.

- CARABAJAL, C. C.; HARDING, D. J.; LUTHCKE, S. B.; FONG, W.; ROWTON, S. C.; FRAWLEY, J. J. Processing of shuttle laser altimeter range and return pulse data in support of SLA-02. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 32, n. 3214, p. 65-72, 1999.
- CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2007. p. 3645-3652.
- CHEN, Q.; BALDOCCHI, D.; GONG, P.; MAGGI, K. Isolating individual trees in a savanna woodland using small footprint LIDAR data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Maryland, v. 72, n. 8, p. 923-932, Aug. 2006.
- COOPS, N. C. Estimating canopy structure of Douglas-Fir forest stands from discrete-return LiDAR. **Trees: Structure and Function**, New York, v. 21, n. 3, p. 295-310, May 2007.
- DANILIN, I.; MEDVEDEV, E. Forest inventory and biomass assessment by the use of airborne laser scanning method (example from Siberia). **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Amsterdam, v. 36, n. 8, p. 139-144, 2004.
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; REUTEBUCH, S. E.; McGAUGHEY, R. J.; ANDERSEN, H. E. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 124, p. 479-491, Sep. 2012.
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; PAPA, D. A. Restricted and permanent preservation areas determination and forest operations assessment using airborne scanning lidar in annual production units in the Jamary National Forest in Rondonia State, Western Amazon. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE IUFRO, 3., 2013, San José. **Resumos...** Disponível em: <http://web.catie.ac.cr/iufrolat/iufroLat_resumenes_ponencias_alfabetico.htm#D>. Acesso em: 22 out. 2014.
- DRAKE, J. B.; DUBAYAH, R. O.; CLARCK, D. B.; KNOX, R. G.; BLAIR, J. B.; HOFTON, M. A.; CHAZDON, R. L.; WEISHAMPEL, J. F.; PRINCE, S. Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint lidar. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 2/3, p. 305-319, Feb. 2002.
- DRAKE, J. B.; KNOX, R. G.; DUBAYAH, R. O.; CLARCK, D. B.; CONDITS, R.; BLAIR, J. B.; HOFTON, M. A. Above-ground biomass estimation in closed canopy neotropical forest using lidar remote sensing; factors affecting the generality of relationships. **Global Ecology and Biogeography**, New York, v. 12, n. 2, p. 147-159, Mar. 2003.
- FALAT, D. R. Perfilamento a laser: uma alternativa rápida e precisa para a identificação de alterações na superfície. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008. Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2008.
- FIGUEIREDO, E. O. **Modelagem biométrica para árvores individuais a partir do LIDAR em área de manejo de precisão em florestas tropicais na Amazônia Ocidental**. 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), Manaus, 2014.
- FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. (Ed.) **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 183 p.
- FUNTAC. **Estrutura do plano de manejo de uso múltiplo da Floresta do Antimari**. Rio Branco, 1990. 103 p.
- GARMIN. **GPSMAP 76 Cx Sirf Star**. Disponível em: <<http://www.garmin.com/products/gpsmap76cx/#>>. Acesso em: 5 jan. 2007.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; AMARAL, S. M.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 63, p. 231-244, 2010.

GOBAKKEN, T.; NÆSSET, E. Estimation of diameter and basal area distributions in coniferous forest by means of airborne laser scanner data. **Scandinavian Journal of Forest Research**, United Kingdom, v. 19, n. 6, p. 529-542, 2004.

GONÇALVES, S. L.; GONZÁLEZ, F. E.; DIÉGUEZ, A. U. Assessing the attributes of high-density Eucalyptus globulus stands using airborne laser scanner data. **International Journal of Remote Sensing**, United Kingdom, v. 32, n. 24, p. 9821-9841, 2011.

GOULD, R. G. The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. In: FRANKEN, P. A.; SANDS, R. H. (Eds.). **The Ann Arbor Conference on Optical Pumping**. Ann Arbor: University of Michigan, 1959. p. 128.

HOLMGREN, J.; NILSSON, M.; OLSSON, H. Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning. **Forest Science**, Bethesda, v. 49, n. 3, p. 419-428, 2003.

HUDAK, A. T.; CROOKSTON, N. L.; EVANS, J. S.; FALKOWSKI, M. K.; SMITH, A. M. S.; GESSLER, P. E.; MORGAN, P. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Canada, v. 32, n. 2, p. 126-138, 2006.

KAULA, W. M.; SCHUBERT, G.; LINGENFELTER, R. E.; SJOGREN, W. L.; WOLLENHAUPT, W. R. Apollo laser altimetry and inferences as to lunar structure. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v. 3, supl. 5, p. 3049-3058, 1974. Proceedings of the Fifth Lunar Conference.

KENNAWAY, T. A.; HELMER, E. H.; LEFSKY, M. A.; BRANDEIS, T. A.; SHERRILL, K. R. Mapping land cover and estimating forest structure using satellite imagery and coarse resolution lidar in the Virgin Islands. **Journal of Applied Remote Sensing**, Bellingham, v. 2, n. 1, Jan. 2008.

LEFSKY, M. A.; COHEN, W. B.; HARDING, D. J.; PARKER, G. G.; ACKER, S. A.; GOWER, S. T. Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. **Global Ecology and Biogeography**, New Jersey, v. 11, n. 5, p. 393-399, Sep. 2002.

LIM, K. S.; TREITZ, P. M. Estimation of above ground forest biomass from airborne discrete return laser scanner data using canopy-based quantile estimators. **Scandinavian Journal of Forest Research**, United Kingdom, v. 19, n. 6, p. 558-570, 2004.

LIMA, S. R. de; FREITAS, S. R. C. de; KRUEGER, C. P. Perspectivas de utilização de sistemas microeletromecânicos (MEMS) visando a integração GPS/INS de baixo custo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2002, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: Unesp/FCT, 2002. p. 82-87.

LINGNAU, C.; SILVA, M. N.; SANTOS, D. S.; MACHADO, A.; LIMA, J. G. S. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, p. 85-96, 2008.

LOKI, K.; IMANISHI, J.; SASAKI, T.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete-return LiDAR: plot-based approach. **Landscape and Ecological Engineering**, Germany, v. 6, n. 1, p. 29-36, Jan. 2010.

MAGNUSSEN, S.; NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T. Reliability of LiDAR derived predictors of forest inventory attributes: a case study with Norway spruce. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 114, n. 4, p. 700-712, Apr. 2010.

MCGAUGHEY, R. J. **FUSION/LDV**: Software for Lidar Data Analysis and Visualization. Washington, DC: United States Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Northwest Research Station, 2010. 154 p. Disponível em: <<http://forsys.cfr.washington.edu/fusionlatest.html>>. Acesso em: 20 out. 2010.

- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Unesp, 2008. 476 p.
- NÆSSET, E. Estimating timber volume of forest stands using airborne scanning laser scanner data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 246-253, Aug. 1997.
- NÆSSET, E.; OKRAND, T. Estimating tree heights and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 105-115, Jan. 2002.
- NÆSSET, E. Practical large-scale forest stand inventory using a smallfootprint airborne scanning laser. **Scandinavian Journal of Forest Research**, United Kingdom, v. 19, n. 2, p. 164-179, 2004.
- NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T. Estimation of above and below-ground biomass across regions of the boreal forest zone using airborne laser. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 112, n. 6, p. 3079-3090, June 2008.
- NASA. **New NASA Probe Will Study Earth's Forests in 3-D**. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/content/goddard/new-nasa-probe-will-study-earth-s-forests-in-3-d/>>. Acesso em: 24 out. 2014.
- NELSON, R.; KRABILL, W.; TONELLI, J. Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 247-267, Mar. 1988.
- POPESCU, S. C.; WYNNE, R. H.; NELSON, R. F. Estimating plot-level tree heights with lidar: local filtering with a canopy-height based variable window size. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 37, n. 1-3, p. 71-95, Dec. 2002.
- POPESCU, S. C.; WYNNE, R. H.; NELSON, R. F. Measuring individual tree crown diameter with LIDAR and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Canada, v. 29, n. 5, p. 564-577, Oct. 2003.
- RAMOS, A. M.; LEANDRO, D.; HUINCA, S. M.; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia horizontal do posicionamento GPS diferencial empregado em levantamentos hidrográficos a partir de sistemas DGPS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2.; COLÓQUIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 5., 2007, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: Unesp, 2007.
- REUTEBUCH, S. E.; MCGAUGHEY, R. J.; ANDERSEN, H. E.; CARSON, W. W. Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Canada, v. 29, n. 5, p. 527-535, Oct. 2003.
- RING, J. The Laser in Astronomy. **New Scientist**, United Kingdom, v. 18, n. 344, p. 672-673, June 1963.
- ROBERTS, S. D.; DEAN, T. J.; EVANS, D. L. Estimating individual tree leaf area in loblolly pine plantations using LiDAR-derived measurements of height and crown dimensions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 213, n. 1-3, p. 54-70, July 2005.
- SASAKI, T.; IMANISHI, J.; IOKI, K.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimation of Leaf Area index and canopy openness in broad-leaved forest using airborne laser scanner in comparison with high-resolution near-infrared digital photography. **Landscap Ecological Engineering**, Germany, v. 4, n. 1, p. 47-55, May 2008.
- SCHAWLOW, A. L.; TOWNES, C. H. Infrared and optical masers. **Physical Review**, New York, v. 112, n. 6, p. 1940-1949, Dec. 1958.
- SIRF. **CSR Powered by aptX - Application Solutions**. Disponível em: <<http://www.sirf.com/products/application>>. Acesso em: 13 jan. 2014.
- TIEDE, D.; HOCHLEITNER, G.; BLASCHKE, T. A full GIS-based workflow for tree identification and tree crown delineation using laser scanning. In: STILLA, U.; ROTTENSTEINER, F.; HINZ, S. (Eds.) ISPRS WORKSHOP CMRT05, 2005, Vienna. **Proceedings...** Vienna, 2005. p. 9-14.

WAGNER, W.; ULLRICH, A.; MELZER, T.; BRIESE, C.; KRAUS, K. From single-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. In: ISPRS CONGRESS INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 20., 2004, Freiburg. **Annals...** Freiburg: ISPRS, 2004. p. 201-206.

ZANDONÁ, D. F.; LINGNAU, C.; NAKAJIMA, N. Y. Varredura a laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 295-306, dez. 2008.

ZIMBLE, D. A.; EVANS, D. L.; CARLSON, G. C.; PARKER, R. C.; GRADO, S. C.; GERARD, P. D. Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LIDAR. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 2/3, p. 171-182, Oct. 2003.

ZONETE, M. F. **Análise do uso da tecnologia laser aerotransportado para inventários florestais em plantios clonais de Eucalyptus sp no sul da Bahia**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.



Apoio:

Ministério do
Desenvolvimento Agrário



Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

