



LABORATÓRIOS DIDÁTICOS DE GEOPROCESSAMENTO

Sistemas de Informações Geográficas:

Modelos Digitais de Terreno

e

Álgebra de Mapas

Docente: Prof.^a Dr.^a Mariana Giannotti

Elaboração: Rafael Walter de Albuquerque, Leonardo Alves Godoy,
Giovanna Calil Rodrigues e Mariana Giannotti.

Monitor: Mateus Haddad Marum

1. Introdução	2
2. Referências teóricas	2
2.1 Representações digitais para dados de campos contínuos	2
2.1 Curvas de nível	4
2.2 Modelo Digital de Terreno (MDT)	4
2.2.1 Amostragem	4
2.2.2 Interpolação e Triangulated Irregular Network (TIN)	5
2.3 Álgebra de mapas, operações e estatísticas zonais	5
2.3.1 Álgebra de mapas	5
2.3.3 Operações focais e declividade	6
2.3.3 Operações e estatísticas zonais	6
3. Roteiro prático	7
3.1 Software e dados necessários para a prática de laboratório	7
3.2 Gerar Modelo Digital do Terreno a partir de curvas de nível	9
3.3 Gerar Modelo de Declividade a partir de MDT	11
3.4 Estatística zonal (análise zonal da declividade)	14
4. Conclusões	16
5. Indo além - Obtenção de MDT e declividade em base LiDAR	17
6. Referências bibliográficas	27

Objetivos de Aprendizagem

- ✓ Gerar Modelos Digitais de Terreno a partir de curvas de nível.
- ✓ Gerar Modelo de Declividade a partir de Modelos Digitais de Terreno.
- ✓ Aplicar ferramentas para álgebra de mapas de estatística zonal

1. Introdução

Neste laboratório, serão explorados os métodos para a geração de modelos digitais do terreno, mapas de declividade e álgebra de mapas. A álgebra de mapas de estatística zonal será aplicada para a análise das condições de risco relacionadas às altas declividades.

2. Referências teóricas

2.1 Representações digitais para dados de campos contínuos

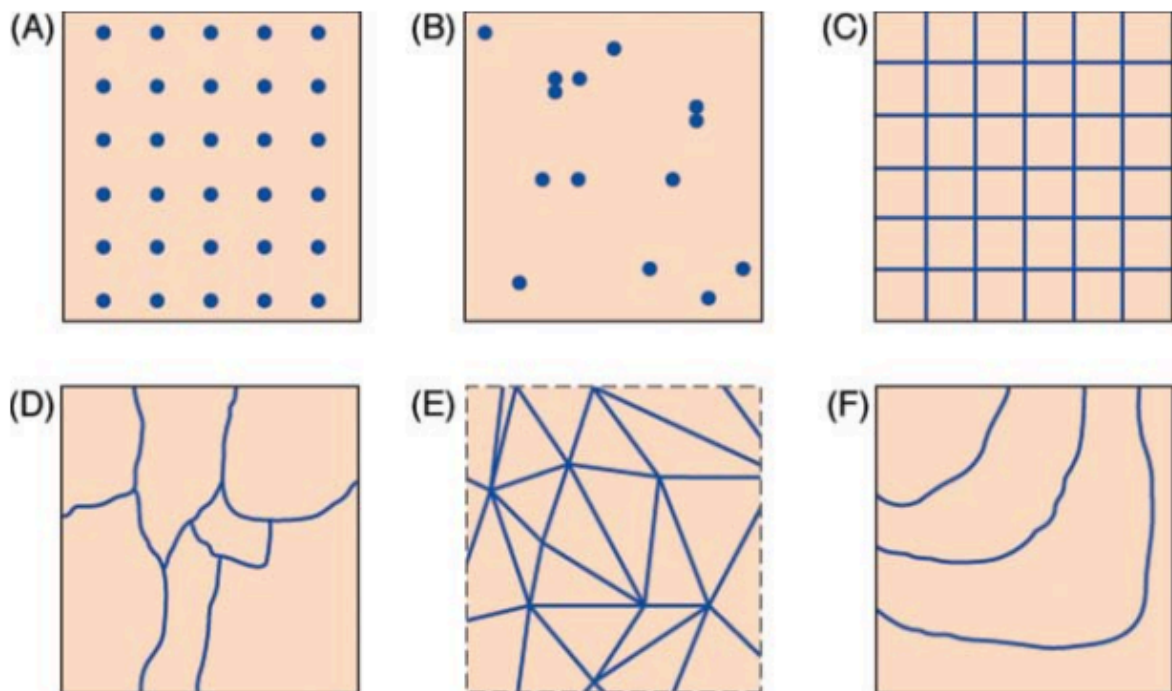
Com os conhecimentos adquiridos nos laboratórios anteriores já estamos acostumados a trabalhar com representações de objetos discretos. Por outro lado, determinados problemas envolvendo dados com informação de localização podem precisar de uma representação que armazene e detecte a variação dos atributos analisados de campos contínuos. O exemplo mais básico dessa aplicação é a representação da variação de altitude ponto a ponto em um terreno. Uma forma de representar valores de um grupo de variáveis mensuráveis no mundo real, definidas em todas as possíveis posições, é através de campos contínuos (LONGLEY et al., 2015). O que caracteriza um campo contínuo é a variação de seus valores e a própria quantidade desta variação (LONGLEY et al., 2015).

Ainda em LONGLEY et al. (2015), são considerados seis tipos de representações computacionais para os valores em campos contínuos - Figura 1 (LONGLEY et al. 2015, p. 69):

- A. Pontos amostrais espaçados de forma regular;
- B. Pontos amostrais espaçados de forma irregular;

- C. Dividir o espaço em uma grade regular, onde cada célula representa um valor capturado, como em imagens de sensoriamento remoto;
- D. A área pode ser dividida em áreas irregulares, representando valores qualitativos ou discretos;
- E. Variação linear do campo em forma irregular e triangular;
- F. Isolinhas, como as famosas curvas de nível.

Figura 1 - Modelos para representação de dados contínuos no espaço



Fonte: LONGLEY et al. (2015, p. 69)

Tendo em vista o interesse deste laboratório, o ponto principal é diferenciar o tipo de dado utilizado para implementar as representações citadas acima e destacar aquelas que serão aproveitadas durante a prática. Para as representações em A e C, os dados do tipo *raster* - estrutura matricial, onde cada célula (chamada de *pixel*) determinada armazena um valor numérico - são os utilizados. Na prática, dados em *raster* cobrindo uma região podem ser agrupados em conjuntos, com as chamadas camadas (*layers*), usualmente conhecidas como bandas, cada qual representando uma variável coletada. O restante das representações citadas acima são

armazenadas como dados do tipo vetorial, sendo de especial atenção no laboratório os tipos em E e em F.

2.1 Curvas de nível

Uma forma de se visualizar graficamente fenômenos que ocorrem de forma contínua no espaço é através do uso dos mapas isopléticos (*isopleth maps*), que utilizam as chamadas isolinhas, que são linhas que conectam pontos que possuem um mesmo valor para um determinado atributo (LONGLEY et al., 2015, cap. 2). Uma curva de nível é um tipo de isolinha, onde a mesma altura - acima do nível do mar - é atribuída a todos os pontos que estão sobre a curva.

2.2 Modelo Digital de Terreno (MDT)

O que aqui chamamos de Modelo Digital de Terreno, conhecido pela sigla MDT, é também referido na literatura como Modelo Numérico de Terreno (MNT).

CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001) definem o MDT como uma forma de representação computacional da distribuição da ocorrência de algum fenômeno espacial em uma região da superfície da terra.

Para representar computacionalmente os dados de MDT, as duas opções mais consideradas são os modelos de grade regular e os de malha triangular (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Neste laboratório, o modelo de malha triangular, que é referido pela sigla *TIN* - derivada do nome *Triangulated Irregular Network* - será explorado.

Para CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001) o processo para a criação de um MDT pode ser dividido em duas etapas, onde a primeira refere-se à aquisição das amostras e a segunda à execução do algoritmo para criar o modelo, chamada de interpolação.

2.2.1 Amostragem

Nesta etapa, a aquisição de um conjunto de amostras da variação do fenômeno espacial de interesse devem ser colhidas (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO,

2001). As amostras podem ser feitas por pontos com espaçamento irregular e regular e através dos mapas com as isolinhas (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Neste laboratório, os dados utilizados para a interpolação serão provenientes de um arquivo vetorial contendo isolinhas.

2.2.2 Interpolação e *Triangulated Irregular Network (TIN)*

O processo de interpolação é efetuado para criar as estruturas de dados desejadas para o MDT, assim como as superfícies de ajuste que propiciam a obtenção dos valores contínuos que representam o fenômeno (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O TIN utiliza triângulos adjacentes e não sobrepostos para representar uma superfície (LONGLEY et al., 2015, cap. 7). As faces triangulares são formadas através da conexão de pontos (vértices), que geralmente são os amostrais, por linhas retas, ou seja, as arestas (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Para se criar uma malha triangular, critérios específicos podem ser adotados, como no caso da chamada triangulação de Delaunay, onde o critério para a formação da malha triangular é a maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O algoritmo implementado no QGIS, automaticamente cria um layer do tipo *raster* com valores interpolados e o *layer* vetorial com os triângulos criados (QGIS, 2021a).

2.3 Álgebra de mapas, operações e estatísticas zonais

2.3.1 Álgebra de mapas

Álgebra de mapas é a linguagem pela qual as operações sobre *rasters* são expressas e que permitem gerar novos *rasters* a partir da apuração de resultados de outros *rasters* (HUISMAN; DE BY, 2009). Essas operações são divididas nos tipos local (por célula), focal (utilizando a célula e células próximas adjacentes), global (apurada para o raster como um todo) e zonal, definido a seguir (LONGLEY et al., 2015, cap. 15).

2.3.3 Operações focais e declividade

As operações focais ocorrem quando os cálculos para cada célula são efetuados considerando o valor dela e o de suas células vizinhas, sendo o usual a utilização de oito células vizinhas (LONGLEY et al., 2015, cap. 15).

A declividade (*slope*) para um terreno, pode ser determinada como o ângulo de inclinação em relação à horizontal (QGIS, 2021b) e no QGIS ela é calculada sobre um MDT representado em grade regular (um arquivo *raster*).

O cálculo da declividade pode ser feito comparando a elevação em cada ponto com as dos seus vizinhos (operação focal). Há mais de uma maneira de se estimar a declividade em um ponto, com diferentes equações e com um número de vizinhos que pode variar, assim como eventuais pesos dados a cada um desses vizinhos na equação utilizada (LONGLEY et al., 2015, cap. 14).

Cabe adicionar que LONGLEY et al. (2015, cap. 14) alertam que as medidas de declividade calculadas são também consideradas como um tipo de campo.

2.3.3 Operações e estatísticas zonais

As operações de álgebra de mapas do tipo zonal, calculam e consolidam seus resultados para blocos de células adjacentes no arquivo *raster*, desde que essas células possuam um atributo com mesmo valor (LONGLEY et al., 2015, cap. 15). Esse atributo pode ser retirado de outro *layer*, na forma de uma operação de *overlay*. Neste laboratório, será apresentado o caso em que as áreas que definem as zonas estão em um *layer* vetorial e são sobrepostas com o *layer* com os dados matriciais. Observe que nesse caso, o que há em comum para separar as células é o fato de elas estarem dentro de uma mesma área delimitada no arquivo vetorial. O resultado consolidado é, então, apurado como vinculado à área e não dentro das células, como usualmente em álgebra de mapas.

No QGIS a operação para cálculo de estatísticas por zona utiliza um *layer* vetorial com os polígonos que delimitam as áreas (ou zonas) onde as estatísticas serão apuradas (QGIS, 2021c). A partir da versão 3.16 do QGIS as estatísticas das

zonas são anexadas como novas colunas à tabela de atributos de um novo layer vetorial que é uma cópia do com as zonas, enquanto em versões anteriores a anexação ocorria no próprio *layer* (QGIS, 2021c).

3. Roteiro prático

3.1 Software e dados necessários para a prática de laboratório

- ✓ QGIS em versão posterior a 3.16;
- ✓ Arquivo compactado (SIG_MDT.zip)¹ contendo os dados vetoriais de favelas (Favelas_Brasilândia_SIRGAS2000.shp), dados vetoriais do modelo digital de curvas de nível (Curvas_MDC_Brasilândia.shp), o arquivo vetorial com os limites do distrito (Distrito_Brasilândia.shp) e o arquivo *GEOTIFF* com dados de elevação do SRTM² (*Shuttle Radar Topography Mission*) (SRTM_Brasilândia.tif).

1. Neste roteiro, serão utilizados os dados referentes à subprefeitura Brasilândia. Para iniciar crie um novo projeto, configure o CRS para SIRGAS 2000 UTM Zone 23S. Adicione as camadas com os arquivos vetoriais e o arquivo *raster* do modelo digital de elevação do SRTM. Para esse último, acione o “**Data Source Manager**”, de forma similar à adição de *shapefiles*, e selecione a opção “**Raster**” do lado esquerdo janela, navegando em Raster dataset(s) até o local onde está o arquivo *TIFF* e selecionando-o - Figura 2. Lembre-se de checar se o SRC do projeto e de cada *layer* estão apropriadamente ajustados.
2. Observe que expandindo as informações do *layer* SRTM_Brasilândia, através de um clique sobre a seta do lado esquerdo do nome do *layer*, são observados os valores mínimo e máximo das cotas da área de estudo (em metros) - Figura 3.

Figura 2 - Adicionando um *layer Raster* no QGIS

¹ O arquivo compactado com todos os dados será distribuído com o roteiro.

² Mais informações em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

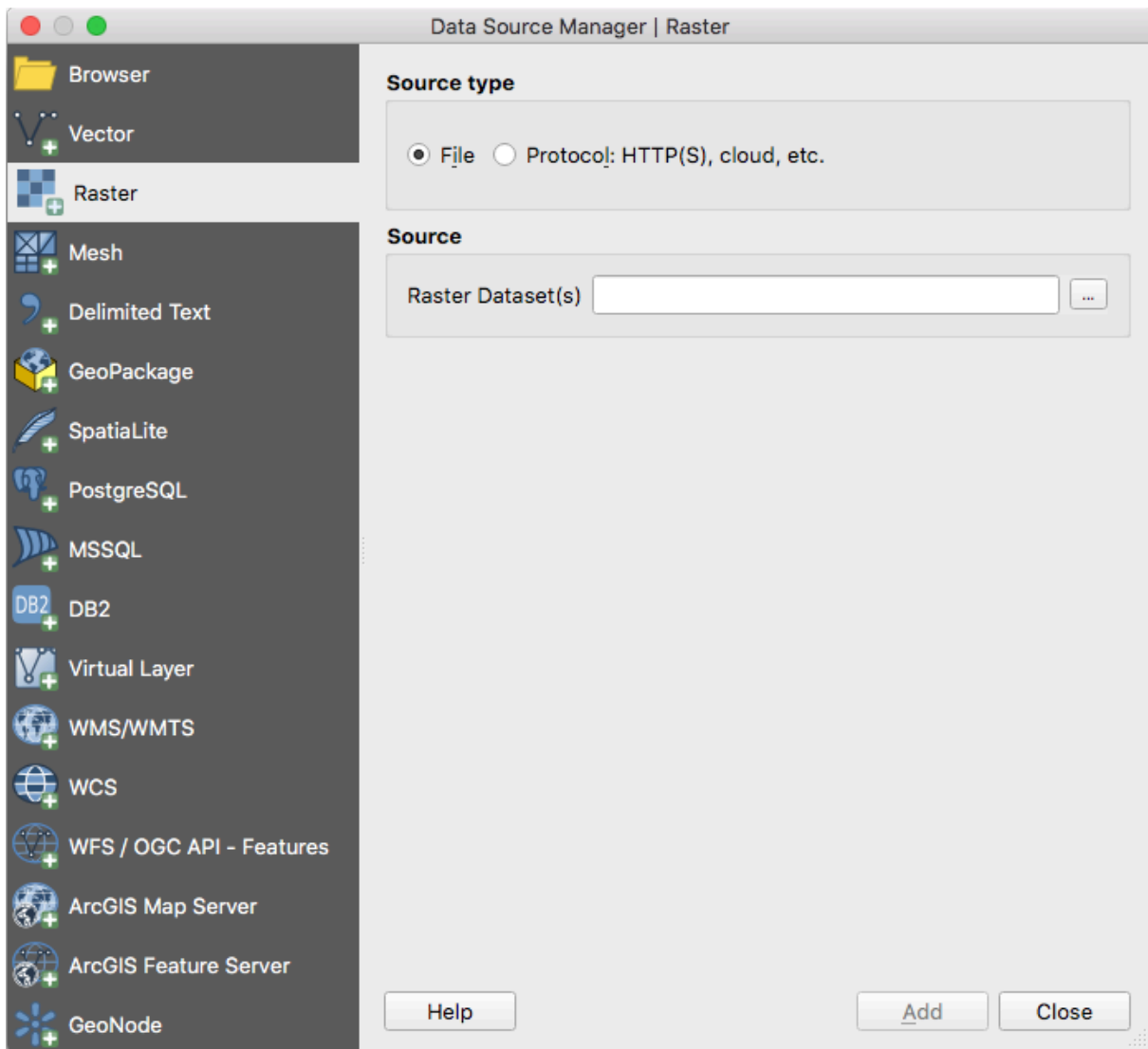



Figura 3 - Cotas da área de estudo.

✓  **SRTM_Brasilandia**
■ 717.917
1219.82

3. Clique no nome *layer* SRTM_Brasilandia e selecione a ferramenta para identificar feições - **“Identify Features”** - através do botão apresentado na Figura 4 e clique sobre algum local do *layer* SRTM_Brasilandia. Observe que um dos dados apresentados é a cota do pixel, informação armazenada na banda 1 do Raster, conforme a Figura 5. Caso a aparência dos resultados seja divergente do que é apresentado na Figura 5, verifique se o *layer* com os dados de SRTM_Brasilandia está sobre os outros, como na Figura 6.

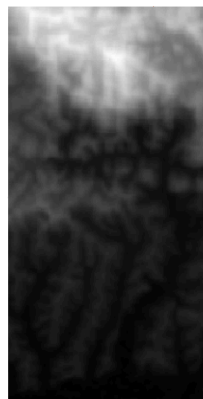
Figura 4 - Ícone para identificar *features*.



Figura 5 - Valor da banda disponível no *pixel* selecionado na janela de resultados.

Identify Results	
Feature	Value
▼ SRTM_Brasilandia	0
▼ SRTM_Brasilandia	
Band 1	834.94
▼ (Derived)	
(clicked coordinate X)	326526
(clicked coordinate Y)	7404363

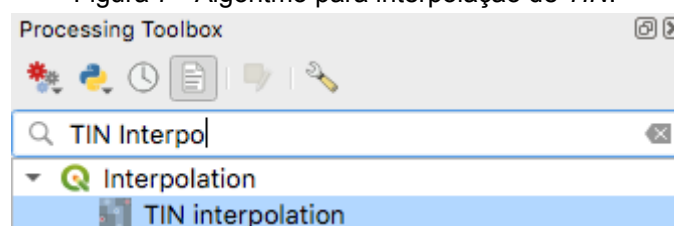
Figura 6 - O *canvas* do QGIS deve apresentar o *layer* SRTM_Brasilandia por cima dos outros.



3.2 Gerar Modelo Digital do Terreno a partir de curvas de nível

- Na “**Processing Toolbox**”, busque por “**TIN interpolation**” e clique duas vezes sobre o resultado filtrado (Figura 7) para abrir a janela desse algoritmo - Figura 8.

Figura 7 - Algoritmo para interpolação de *TIN*.



5. Na janela de configurações do ***"TIN Interpolation"***, como layer de entrada em ***"Vector layer"*** (dentro do setor ***"Input layers"***) selecione ***Curvas_MDC_Brasilândia*** e em ***"Interpolation attribute"*** aponte o campo ***ISOVALOR***. Utilize o botão com o sinal de ***"+"*** na cor verde para adicionar este layer e em seguida, no item já adicionado na lista, ajuste a opção para de tipo de interpolação na coluna ***"Type"*** como ***"Structure lines"***. Defina a extensão do layer onde ocorrerá a interpolação no campo ***"Extent"***, clicando no botão com 3 pontos e selecionando a opção ***"Calculate from Layer"***, para delimitar utilizando a extensão do *layer* dos dados de origem e em seguida selecione ***"Curvas_MDC_Brasilândia"***. Em ***"Output raster size"*** os tamanhos de pixel de ***X*** e de ***Y*** devem ser ajustados para o valor 10. Em ***"Interpolated"*** é possível indicar se deseja salvar em arquivo temporário ou, caso desejado, em um arquivo em disco, é recomendado salvar o arquivo na pasta onde estão todos os arquivos desse laboratório. De forma similar, para ***"Triangulation"***, ajuste para criar um *layer* temporário ou arquivo. Basta clicar em ***"Run"*** para executar o algoritmo e os *layers* serão adicionados automaticamente na lista de *layers* do QGIS.

Figura 8 - Janela de parâmetros para o algoritmo para interpolação de *TIN*

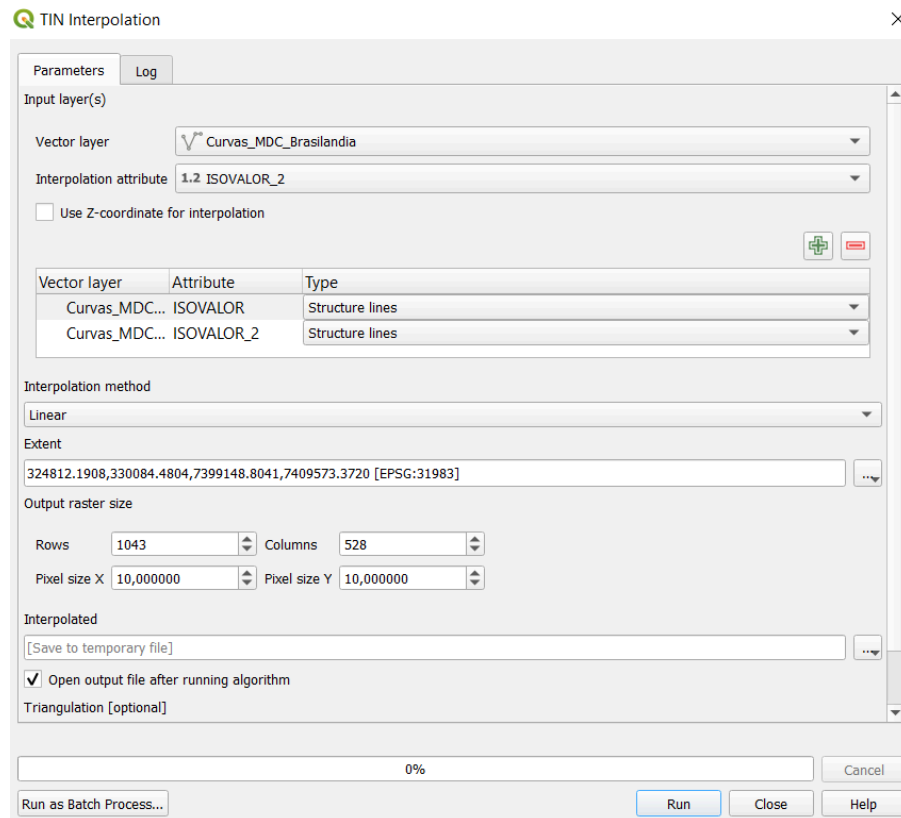
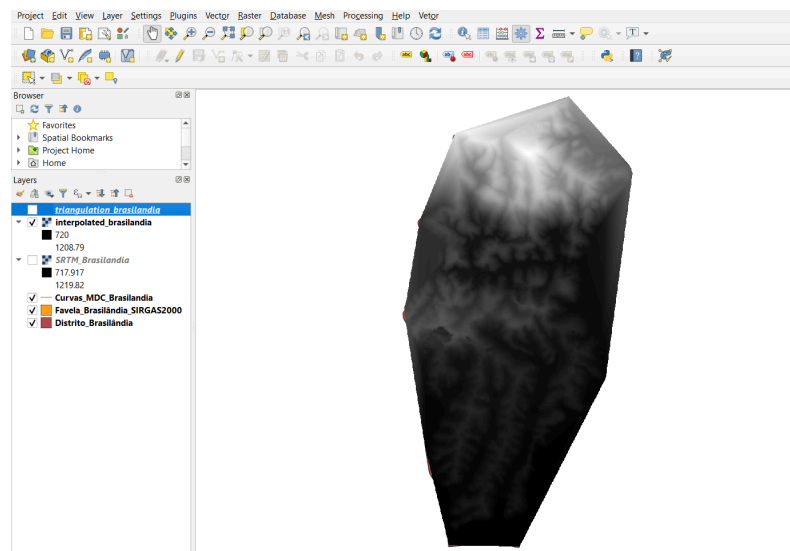


Figura 9 - Resultado da operação



3.3 Gerar Modelo de Declividade a partir de MDT

6. Para gerar os dados de declividade, acesse a ferramenta **“Slope”** - Figura 10. Na janela do algoritmo *slope* - Figura 11, selecione como camada de

entrada em **“Input layer”** o *layer* resultante da interpolação efetuado acima e clique em **“Run”** para executar o algoritmo.

Figura 10 - Acessando a ferramenta para gerar o mapa de declividade

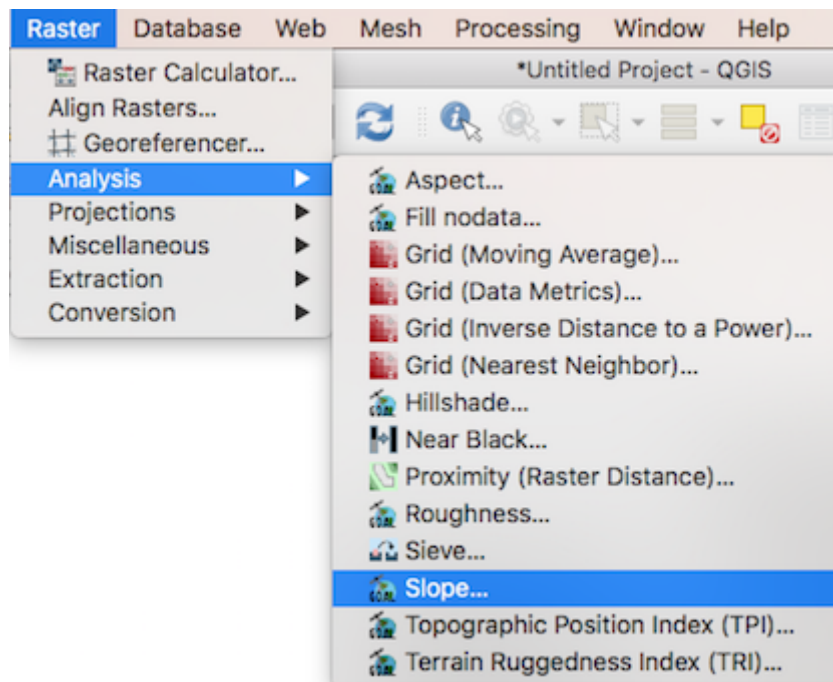
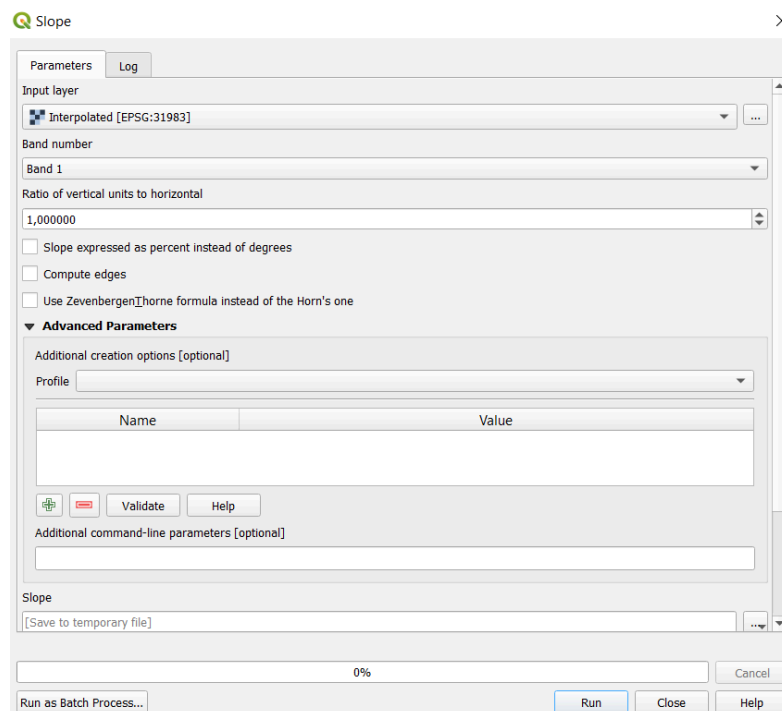


Figura 11 - Parametrização do algoritmo de *slope*



7. Para obter uma visualização distinta do *layer* criado pelo algoritmo de *slope*, clique duas vezes sobre o nome deste layer e na janela “**Layer Properties**” e acesse a seção “**Symbology**” - Figura 12. Selecione como tipo de renderização (em “**Render type**”) a opção de “**Singleband pseudocolor**” (banda simples em falsa-cor) deve ser selecionada. Em “**Interpolation**” o método linear (“**Linear**”) deve ser escolhido. Para “**Color ramp**” escolha uma variação de tonalidade de cor desejada. Finalmente em “**Mode**” utilize a opção “**Continuous**”.

Figura 12 - Alteração da tonalidade para representar a declividade

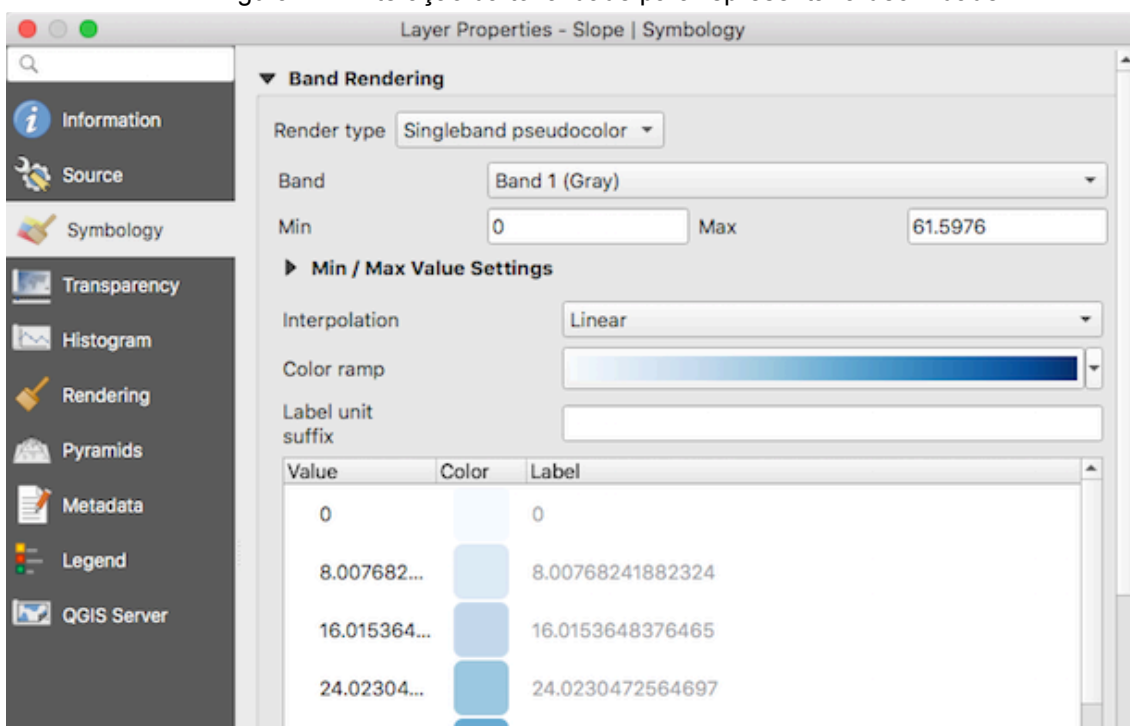
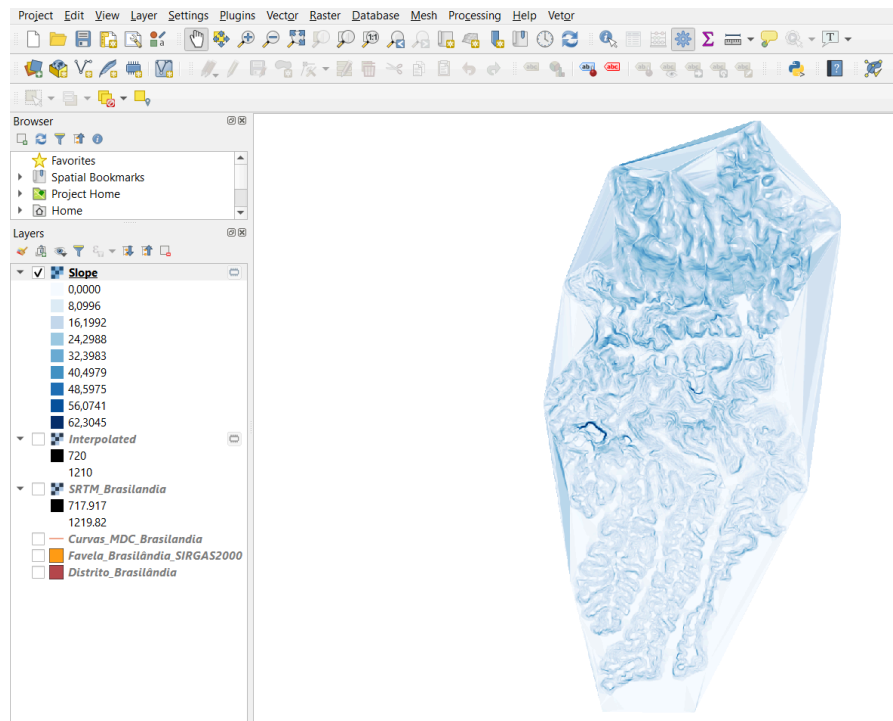


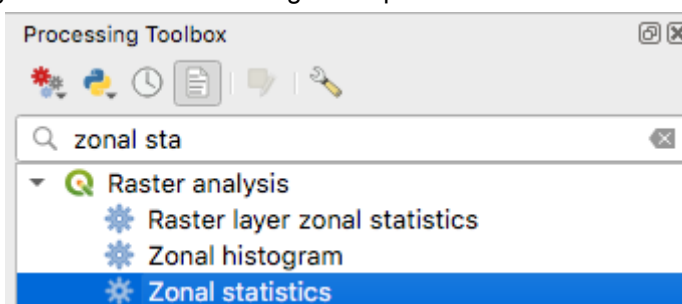
Figura 13 - Resultado obtido do algoritmo de “Slope”.



3.4 Estatística zonal (análise zonal da declividade)

8. Novamente acesse a **“Processing Toolbox”** e busque por **“zonal statistics”**. Clique duas vezes na opção **“Zonal statistics”** em **“Raster analysis”** - Figura 14.

Figura 14 - Acessando o algoritmo para criar estatísticas zonais



9. Na janela **“Zonal Statistics”** (Figura 14) coloque em **“Raster layer”** o layer criado pelo algoritmo de *slope* e em **“Input Layer”** o layer com os polígonos delimitando as zonas de favelas. Em **“Output column prefix”** um prefixo para os nomes das estatísticas geradas deve ser inserido para fácil identificação. Utilize um prefixo curto, caso contrário a tabela de atributos não lidará bem com a largura do nome de campo (limitação do DBASE). Em **“Statistics to calculate”** clique nos três pontos para abrir a janela da Figura 15 e selecionar as estatísticas desejadas. No exemplo são incluídas a média, desvio padrão, mínimo e máximo.
10. Abra então a tabela de atributos do *shapefile* resultante da operação zonal e verifique as estatísticas de declividade de cada de cada setor.

Figura 15 - Parâmetros para a execução do algoritmo de estatísticas zonais

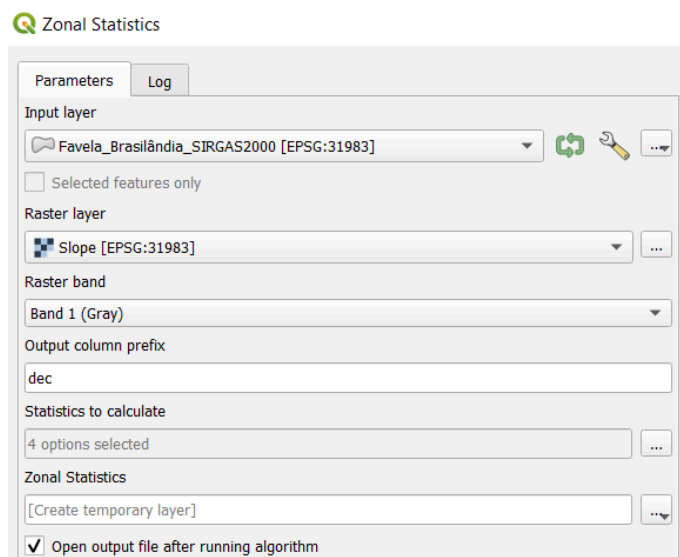


Figura 16 - Escolhendo as estatísticas para calcular

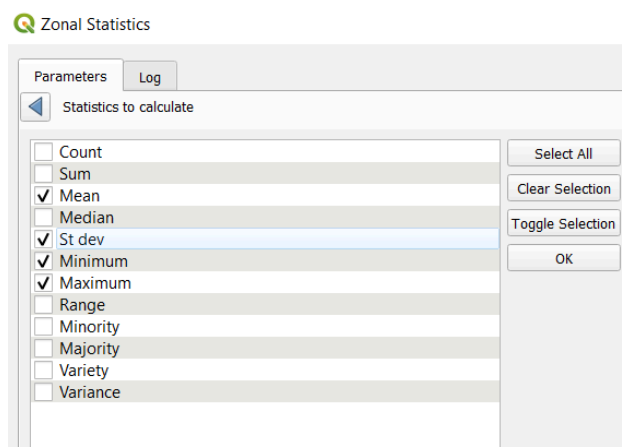
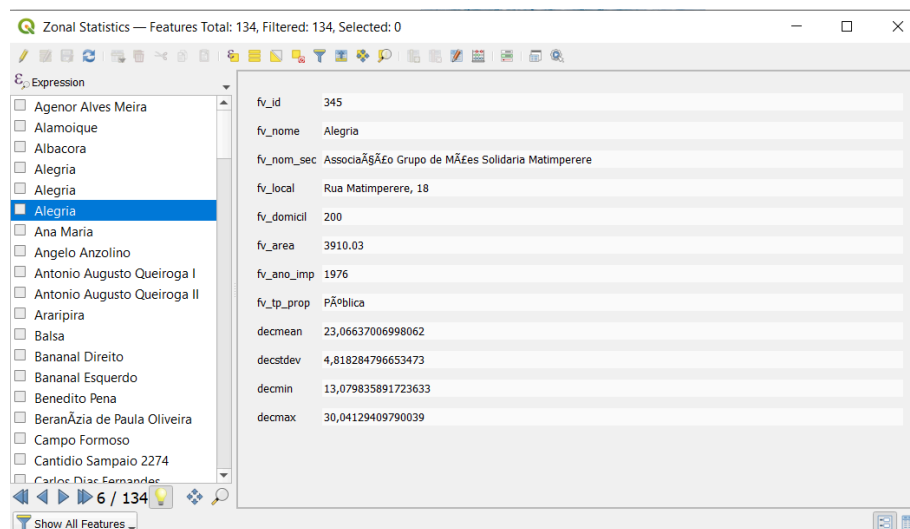


Figura 17 - Resultados dos fatores de declividade escolhidos nas áreas de favela.



4. Conclusões

Neste laboratório, foram introduzidos conceitos e práticas para se trabalhar com dados de elevação amostrados. Foram apresentados os procedimentos para a produção de uma superfície através de interpolação dos dados das amostras em isolinhas. Também foram feitas operações de álgebra de mapas do tipo focal (declividade) e zonal (estatísticas por áreas). A interpretação dos resultados alcançados nas zonas é o que guia a análise de riscos das áreas. Os conceitos e ferramentas apresentados neste laboratório podem ser utilizados para outras fontes de dados que não de elevação, desde que elas possam se encaixar nas características dos campos contínuos.

5. Referências bibliográficas

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. 2001. cap. 7.

HUISMAN, Otto; DE BY, Rolf A. Principles of geographic information systems: an introductory textbook. ITC Educational Textbook Series, v. 1, 2009. cap. 6.

https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2009/general/principlesgis.pdf
LONGLEY, P. A. et al. Geographic information science and systems. John Wiley & Sons, 2015.

QGIS. QGIS User Guide, 2021a. QGIS algorithm provider: Interpolation. Disponível em:
https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html. Acesso em: 5 mai. 2021.

QGIS. QGIS User Guide, 2021b. GDAL algorithm provider: Raster analysis. Disponível em:
docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasteranalysis.html. Acesso em: 5 mai. 2021.

QGIS. QGIS User Guide, 2021c. QGIS algorithm provider: Raster analysis. Disponível em:
docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/rasteranalysis.html. Acesso em: 5 mai. 2021.