



Tony Vinicius Moreira Sampaio
Maria Cecília Bonato Brandalize

CARTOGRAFIA GERAL, DIGITAL E TEMÁTICA

vol. 1

Série

Geotecnologias: teoria e prática

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
UFPR

Tony Vinicius Moreira Sampaio
Maria Cecília Bonato Brandalize

Série
Geotecnologias: teoria e prática

Cartografia geral, digital e temática

Volume 1

Primeira Edição

Curitiba, PR
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
2018

© 2018 by Tony Vinicius Moreira Sampaio

Diagramação Tony V. M. Sampaio
Capa Ortomosaico/DEM - UFPR - Centro Politécnico – elaboração: Tony V. M. Sampaio
Revisão **Conselho de Revisores:**
Dra. **Silvana Philippi Camboim** – Eng. Cartógrafa - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - UFPR
Dra. **Luciene Stamato Delazari** – Eng. Cartógrafa - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - UFPR
Dr. **Claudinei Taborda da Silveira** – Geógrafo - Departamento de Geografia - UFPR
Esp. **Mauro Brandalize** – Eng. Civil – Diretor da ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.

Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Sampaio, Tony Vinicius Moreira
Cartografia geral, digital e temática / Tony Vinicius Moreira Sampaio,
Maria Cecília Bonato Brandalize. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

210 p. : il. - (Série Geotecnologias: teoria e prática; v. 1)

ISBN: 978-85-88783-14-0

1. Cartografia digital. 2. Sistemas de Informação Geográfica. 3. Cartografia temática. 4. Dados geoespaciais – Qualidade. 5. Geoprocessamento. 6. Análise espacial. I. Bonato, Maria Cecília. II. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

CDD 22 526

Contato: tony2sampaio@gmail.com

LAPE-CT – Laboratório de Análise de Padrões Espaciais e Cartografia Temática (UFPR)

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – O Livro é gratuito e pode ser impresso e distribuído gratuitamente, desde que citadas as fontes. A violação dos direitos autorais (Lei 9610/98) é crime (art. 184 do Código Penal). Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Decreto 1825 de 20/12/1907.

Produtos citados:

ArcGIS®	ArcInfo®	www.esri.com
QGIS®	OSGeo	www.qgis.org
Microsoft Excel®	Microsoft®	www.microsoft.com
Libreoffice calc®	Libreoffice®	www.libreoffice.org

Nota: Todas as marcas e imagens de hardware, software e outros, utilizados e/ou mencionados nesta obra, são propriedades de seus respectivos fabricantes e/ou criadores. Os autores se responsabilizam totalmente pelo conteúdo descrito no livro.

Sobre os autores

Tony Vinicius Moreira Sampaio



Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (1993), Especialista em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal do Espírito Santo (1996), Mestre Geografia: Organização Humana do Espaço pela Universidade Federal de Minas Gerais (2001) e Doutor em Geografia: Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008). Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), lotado no Departamento de Geografia. Ministra as disciplinas de Cartografia Temática e Cartografia Digital para o curso de Graduação em Geografia, e Qualidade da Informação em dados geoespaciais e Geoestatística no Mestrado e Doutorado (2008-Atual). Apoia

projetos, na área de Meio Ambiente e Mapeamento Temático, principalmente para elaboração de Estudos de Impacto Ambiental. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em elaboração de currículo para cursos de Geografia e análise de livros didáticos, e atua principalmente nas seguintes áreas: Geoestatística, Análise Espacial, Cartografia Digital e Temática, Geoprocessamento e Análise de Impacto Ambiental.

Maria Cecília Bonato Brandalize



Graduada em Engenharia Cartográfica pela Universidade Federal do Paraná (1984), Especialista em Análise e Gerência de Sistemas pela Faculdade de Administração e Economia do Paraná (1987), Mestre em Educação: Pedagogia Universitária, pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1997) e Doutora em Engenharia Civil: Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, pela Universidade Federal de Santa Catarina (2004). Professora da Universidade Federal do Paraná (UFPR), lotada no Departamento de Geomática. Ministra as disciplinas de Topografia, Cartografia

Geral, Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica para os cursos de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Agronomia e Arquitetura e Urbanismo. Membro do Grupo de Pesquisa em Cartografia e SIG (2008-Atual). Professora Colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (UFPR) (2010-2012). Professora Titular da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) (1990-2009). Professora Colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana (PUCPR) (2006-2007). Engenheira Cartógrafa na ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. (1984-1991).

Apresentação

O presente livro constitui uma importante e atualizada obra com temas imprescindíveis na abordagem da cartografia e SIG. Apresenta uma linguagem clara e didática com conteúdo consistente, associado à proposição de exemplos que favorecem a assimilação do conhecimento.

O conjunto da obra exposta é de elevada qualidade, tanto na sua expressão por meio textual, como também nas ilustrações que possuem qualidade gráfica e técnica.

Prof. Dr. Claudinei Taborda da Silveira

Agradecimentos

Esta obra não seria possível sem a participação e ajuda dos revisores, os quais além das observações necessárias, contribuíram com ideias e apontaram elementos complementares. Em especial, agradecemos a Profa Dra Silvana Philippi Camboim que, mais do que revisora, participou ativamente do desenvolvimento desta obra.

Prefácio

Esta série foi elaborada a partir da necessidade premente de publicações, em português, que pudessem auxiliar estudantes universitários e profissionais de diversas áreas a elaborar mapas e realizar análises espaciais em suas atividades diárias.

Assim, após anos de atuação no magistério superior, os autores se propuseram a contribuir, de forma mais efetiva, ao ensino da Cartografia, produzindo um texto que compreendesse tanto estudos científicos realizados como experiências vividas. Esta não constitui tarefa fácil, uma vez que o tempo é exíguo e ciência e tecnologia estão em constante evolução.

Inicialmente, pensou-se numa série de assuntos considerados imprescindíveis às atividades de elaboração de mapas, manipulação de dados geoespaciais e análise espacial por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), bem como, quais dos sistemas disponíveis atualmente no mercado seriam abordados de forma prática.

Assim, foram escolhidos diferentes assuntos que poderiam ser desenvolvidos, de forma teórico-prática, pelos leitores, e que deveriam compor uma primeira versão, de conteúdo mínimo, acerca dos Sistemas de Informações Geográficas.

Cada obra apresenta capítulos estruturados da seguinte forma: breve introdução ao assunto, fundamentação e base teórica, notas, exemplos práticos e referências bibliográficas.

Os exemplos práticos compreendem operações e uso de *software* de SIG, sendo os mais citados o ArcGIS® (uso comercial) e o QGIS® (uso livre), bem como, a indicação de aplicativos auxiliares, como o ProGrid (IBGE, 2010).

Na sequência, a série **Geotecnologias: teoria e prática** irá apresentar outros volumes contendo temas considerados pertinentes, tais como Banco de Dados Espaciais, Análise Espacial, Geoestatística, Operadores de Relevância, Consistência Lógica e Topológica, Compartilhamento WEB e WEBGIS, além da Manipulação e Análise de Dados Provenientes de Levantamentos com *Drones*.

Acredita-se que a grande contribuição deste trabalho está exatamente na forma como as informações coletadas e os estudos realizados foram estruturados a fim de facilitar o acesso, a leitura e o entendimento pelo leitor.

Os autores

“Mapas e dados geoespaciais são abstrações generalizadas de uma das possíveis representações do espaço”

Tony Vinicius Moreira Sampaio

Notas sobre este volume

O volume 1 da série **Geotecnologias: teoria e prática** apresenta enfoque na **Cartografia geral, digital e temática**. Este volume apresenta dois capítulos introdutórios: Sistemas de Coordenadas e Entrada de dados em SIG. O objetivo destes capítulos é apresentar conceitos básicos e bases da Cartografia, bem como as tipologias e fontes de dados uteis para usos em SIG.

Entende-se que os conhecimentos básicos necessários ao estudo e utilização dos SIGs são: **Sistemas de Coordenadas**, compreendendo principalmente o Sistema de Coordenadas UTM e as transformações entre sistemas em função dos diferentes *Data* disponíveis; **Entrada de Dados**, ou seja, as principais formas de obter dados e inserir estes dados em um SIG, incluindo as principais fontes de dados públicos nacionais e internacionais e os principais sistemas de informações geográficas comerciais e livres disponíveis.

O capítulo 3 apresenta uma abordagem mais teórico-prática e, por este motivo é o mais extenso. Neste capítulo são introduzidos conceitos e exemplos práticos e de operacionalização de dados geoespaciais utilizando os softwares de maior inserção no mercado: ARCGIS® (software proprietário) e QGIS® (software livre). A ênfase é a conceituação, edição, manipulação e qualidade de **Dados Geoespaciais**. Uma abordagem especial é feita sobre a análise da **escala** e da **consistência de dados** vetoriais, por serem estes dados muito utilizados em SIG

O quarto e último capítulo deste volume aborda a **Cartografia Temática** em ambiente SIG, apresentando conceitos teóricos e exemplos de aplicação, com abordagens sobre a forma de ocorrência e as geometrias dos dados geoespaciais, níveis de organização, variáveis visuais, tipos de mapas temáticos e layout.

Sumário

Prefácio.....	7
Notas sobre este volume	9
Capítulo I – Cartografia básica	14
Sistemas de Coordenadas	14
Fundamentação e base teórica	15
Sistemas de Coordenadas no Plano	15
Sistema plano cartesiano.....	16
Sistema plano polar.....	17
Transformações no plano	18
Sistema de Coordenadas no Espaço	20
Sistema cartesiano no espaço.....	22
Sistema polar no espaço.....	23
Transformações no espaço	24
Sistema de Coordenadas Geográficas.....	25
Sistema de Coordenadas UTM	29
Sistema geodésico brasileiro (SGB).....	29
Características do sistema de coordenadas UTM	39
Os sistemas RTM e LTM	45
Capítulo II – Aquisição de dados geoespaciais	49
Entrada de Dados em SIG.....	49
Fundamentação e Base teórica	50
Entrada de dados geoespaciais.....	50
Formas de representação de dados geoespaciais	51
Interoperabilidade	54
Outras formas de entrada de dados geoespaciais em SIG	56
Teclado, Mouse e Mesa Digitalizadora.....	56
Scanner e Software de Vetorização.....	57
Imagens de Alta Resolução	59

Modelos Digitais de Elevação, Terreno e Superfície	63
Receptores GPS e Coletores de Dados	67
Considerações Importantes	68
Fontes de dados e recursos geoespaciais.....	69
1. Mapeamento Sistemático	69
2. Imagens de Satélite e Modelos Digitais de Elevação.....	71
3. Dados Temáticos – Governo Federal	72
4. Instituições Estaduais e Municipais	73
5. Dados Estatísticos e Demográficos	74
6. Outras Instituições.....	75
7. Globais	75
8. VGI – Informação Geográfica Voluntária	76
9. <i>Software</i> Livre para SIG (FOSS4G)	76
10. Listas	77
Capítulo III – Cartografia Digital	78
Dados Geoespaciais: Edição, Manipulação e Qualidade.....	78
Propriedades dos Dados Geoespaciais	79
Atributos básicos dos dados geoespaciais: Escala	80
Escala e acurácia posicional.....	83
Determinação da escala de camadas de dados vetoriais.....	86
Seleção e Característica dos Pontos de Controle.....	87
Cálculo da escala a partir do valor de acurácia posicional horizontal: RMSEr	87
Escala e fonte de dados.....	90
Obtenção de Dados Vetoriais por Processo Direto	90
Obtenção de Dados Vetoriais por Processos Indiretos	92
Escala e nível de generalização cartográfica	93
Determinação da escala de produtos matriciais	95
Produtos do Sensoriamento Remoto: Imagens.....	95
Escala em Modelos Digitais de Elevação	98
Cálculo da escala de modelos de elevação a partir do valor de acurácia posicional vertical: RMSEz ..	99
Escala em Modelos Interpolados	100
Estimativa da escala para camadas de dados sem Metadados.....	101
Considerações Gerais	102
Atributos básicos dos dados geoespaciais: Referencial Cartográfico	103

Uso de diferentes referenciais cartográficos.....	105
Transformação geométrica: reprojeção.....	106
Reprojeção definitiva	108
Reprojeção em tempo real	110
Edição de Dados Geoespaciais	114
Edição vetorial	114
Criação de camadas de dados geoespaciais vetoriais.....	115
Edição de feições.....	119
Criação e edição de feições no ArcGIS®	121
Criação e edição de feições no QGIS®	122
Tabela de atributos	124
Edição de dados em tabelas de atributos.....	128
Consultas, Cálculos e Junções	128
Junções de tabelas externas	132
Dados matriciais: georreferenciamento.....	133
Georreferenciamento de imagens para aquisição de dados vetoriais.....	133
Qualidade dos Dados Geoespaciais	139
Elementos de qualidade.....	139
Consistência lógica	140
Consistência topológica.....	141
Adequação do desenho à escala (adequação quanto ao nível de generalização cartográfica empregado)	144
Análise de completude	146
Metadados.....	150
Generalização Cartográfica	151
Fundamentação	151
Quando e porque generalizar	152
Principais operadores de generalização cartográfica	153
Operações típicas de GC.....	154
Capítulo IV – Cartografia Temática.....	158
Fundamentação e base teórica	159
Produção de mapas temáticos.....	159
Forma espacial e modo de implementação	160
Significado cognitivo da informação: nível de organização ou de medida	163

Apresentação gráfica de dados que traduzem a ideia de QUALIDADE (seletividade: associativa ou dissociativa)	166
Caracterização das variáveis visuais para traduzir a ideia de QUALIDADE.....	167
Representação gráfica de dados que traduzem a ideia de QUANTIDADE e ORDEM.....	175
Discretização de dados: trabalho com mapas coropléticos, isopléticos e isarítmicos.....	183
Classificação de dados numéricos: definindo o número de classes - Nc.....	184
Considerações gerais sobre a produção de mapas temáticos: abordagem da Geovisualização (Semiologia e Layout).....	188
Exemplo de Aplicação em Ambiente SIG	192
Introdução	192
Primeira proposta: abordagem semiológica.....	192
Segunda proposta: abordagem do <i>layout</i> e percepção	195
Formato final de impressão ou disponibilização do mapa	196
Mapas para impressão:	196
Mapas para uso em meio digital:	196
Proporcionalidade entre o tamanho dos elementos que compõem o mapa e o grau de relevância dos mesmos	197
Limite de percepção do usuário, excesso de dados e síntese	199
Imagens parasitas.....	201
Linhagem	202
Nível de contraste e relevância dos temas	202
Referências Bibliográficas	205

Capítulo I – Cartografia básica

Sistemas de Coordenadas

Definem pontos e eixos de referência a partir dos quais são medidos afastamentos (distâncias) e direções ou orientações (ângulos) a fim de localizar pontos no espaço (n-dimensional).

Todo e qualquer ponto da superfície ou subsuperfície terrestre pode ser localizado a partir de suas coordenadas, determinadas a partir de um sistema de referência estabelecido.

Fundamentação e base teórica

Quando pretendemos estudar a representação da superfície terrestre, ou seja, das feições geográficas que a compõem, precisamos entender como o registro espacial de tais feições é feito.

Se considerarmos que toda feição geográfica pode ser expressa por um ou mais pontos conectados, sua representação, no plano ou no espaço, exige a determinação da posição relativa a uma origem comum, de todos os pontos que definem esta feição.

Para a localização de pontos no plano ou no espaço necessitamos utilizar um ou mais sistemas que permitam, a partir de uma origem determinada, definir a posição não ambígua destes pontos, ou seja, os afastamentos e/ou as direções dos mesmos em relação à referida origem.

A escolha de um sistema de coordenadas para o registro de feições geográficas depende, basicamente, da forma como tais feições foram coletadas (métodos) e da finalidade da representação, implicando assim o conhecimento da escala ou do nível de detalhe representado.

Sistemas de Coordenadas no Plano

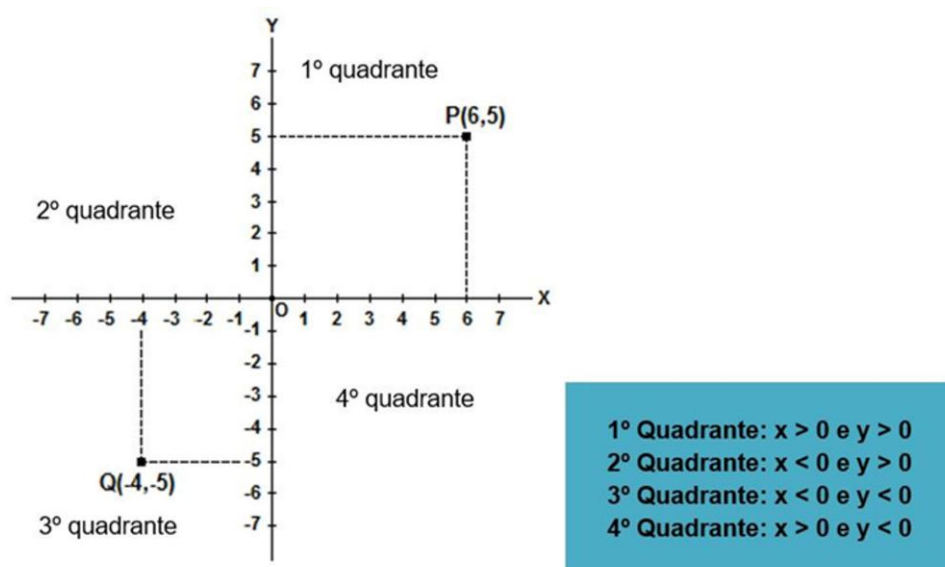
Define-se um sistema de coordenadas planas como aquele empregado na determinação da posição bidimensional (2D) de pontos do terreno projetados em um plano horizontal, coincidente com o plano do papel (ou do mapa).

Assim, tais pontos podem ter sua posição plana determinada pelos seguintes sistemas: *cartesiano* e *polar*.

Sistema plano cartesiano

Este sistema de coordenadas é definido por um par de eixos perpendiculares entre si (eixo horizontal ou das abscissas – X, e eixo vertical ou das ordenadas - Y) que se interceptam num único ponto, denominado origem do sistema, e ao qual é atribuído o valor nulo (zero), tanto para a abscissa como para a ordenada.

A posição de um ponto (P ou Q) neste sistema é definida a partir dos afastamentos do ponto relativamente à origem (O), como apresentado na figura a seguir. O afastamento horizontal corresponde à coordenada x do ponto e o afastamento vertical à coordenada y . Assim, a notação de qualquer ponto neste sistema é definida por (x, y) .



Sistema cartesiano

A unidade de medida utilizada para as coordenadas depende da referência. Se estivermos nos referindo a um sistema cartesiano de coordenadas terrestres (reais), a unidade utilizada é o metro (m) ou o quilômetro (km). Se estivermos nos referindo a um sistema cartesiano de coordenadas gráficas (desenho), a unidade utilizada é o centímetro (cm) ou o milímetro (mm) – tomando por referência o sistema de medidas adotado no Brasil (Sistema Internacional ou SI).

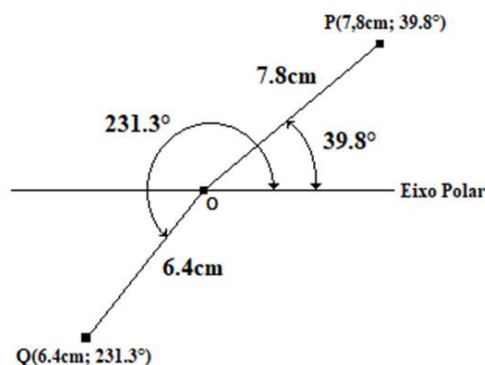
ver mais sobre o assunto em: www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/Resumo_SI.pdf

Ressaltamos que em alguns levantamentos e mapeamentos, tais como os topográficos, a origem do sistema cartesiano pode assumir valores arbitrários, sendo estes normalmente diferentes e maiores que zero, por exemplo: (1000m, 1000m). Neste caso, os valores arbitrados objetivam evitar o aparecimento de coordenadas negativas.

Sistema plano polar

O sistema de coordenadas polares, similarmente ao sistema de coordenadas cartesianas, compreende um eixo horizontal sobre o qual é definido um raio polar, a partir de uma origem predefinida (denominada de polo) e, também, um ângulo de orientação, contado a partir do referido eixo no sentido anti-horário (0° a 360°) ou horário (0° a -360°). Assim, a posição de um ponto neste sistema é definida pelo raio polar (r) e pelo ângulo de orientação (θ) e sua notação é (R, θ) , como apresentado na figura a seguir, sendo O a origem do sistema ou polo.

A origem do sistema, assim como descrito anteriormente, é normalmente arbitrada com valores nulos, tanto para o raio polar como para o ângulo de orientação. A diferença é que para o ângulo de orientação a unidade utilizada é sempre graus, minutos e segundos (sistema sexagesimal) independentemente da referência (real ou gráfica), ou seja, o ângulo de orientação real e sua projeção no papel têm a mesma grandeza. Por outro lado, o raio polar está sujeito às regras definidas anteriormente para o sistema cartesiano, ou seja, utilizamos o metro (m) ou o quilômetro (km) para valores reais e o centímetro (cm) ou o milímetro (mm) para valores projetados.



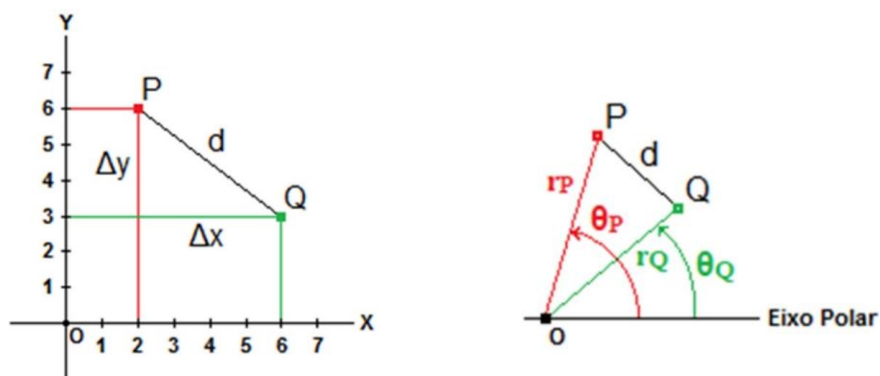
Sistema plano polar

Um exemplo de emprego das coordenadas planas polares são os levantamentos topográficos planimétricos de poligonais abertas e fechadas, onde são obtidas em campo as distâncias horizontais e os ângulos horizontais (ou direções) entre cada um dos vértices destas poligonais, posteriormente transformados em azimutes (ângulos de orientação).

Transformações no plano

Para a transformação de coordenadas planas, de um sistema para outro e vice-versa, define-se que as origens dos sistemas (cartesiano e polar) são coincidentes, bem como, que o eixo X (no sistema cartesiano) coincide com o eixo polar (no sistema polar).

As figuras a seguir apresentam, respectivamente, os elementos de cada um dos sistemas planos, cartesiano e polar, e a relação geométrica entre os sistemas para um mesmo ponto. As relações matemáticas entre ambos são apresentadas na sequência: distância entre pontos no sistema plano cartesiano; distância entre pontos no sistema plano polar; transformação de coordenadas polares em cartesianas; e transformação de coordenadas cartesianas em polares.



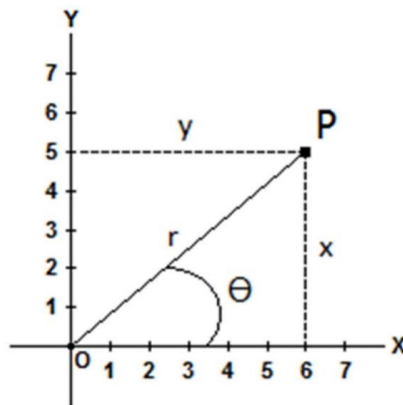
Elementos do sistema plano cartesiano e do sistema plano polar para dois pontos (P e Q)

Distância entre Pontos no Sistema Plano Cartesiano

$$d = \sqrt{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2}$$

Distância entre Pontos no Sistema Plano Polar

$$d = \sqrt{r_P^2 + r_Q^2 - 2 \cdot r_P \cdot r_Q \cdot \cos(\theta_P - \theta_Q)}$$



Relação geométrica entre sistema plano cartesiano e sistema plano polar

Polares em Cartesianas

$$x = r \cdot \cos(\theta)$$

$$y = r \cdot \sin(\theta)$$

Cartesianas em Polares

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right)$$

Nota 1: Esta última equação exige análise dos sinais das coordenadas x e y para determinar o valor final de θ .

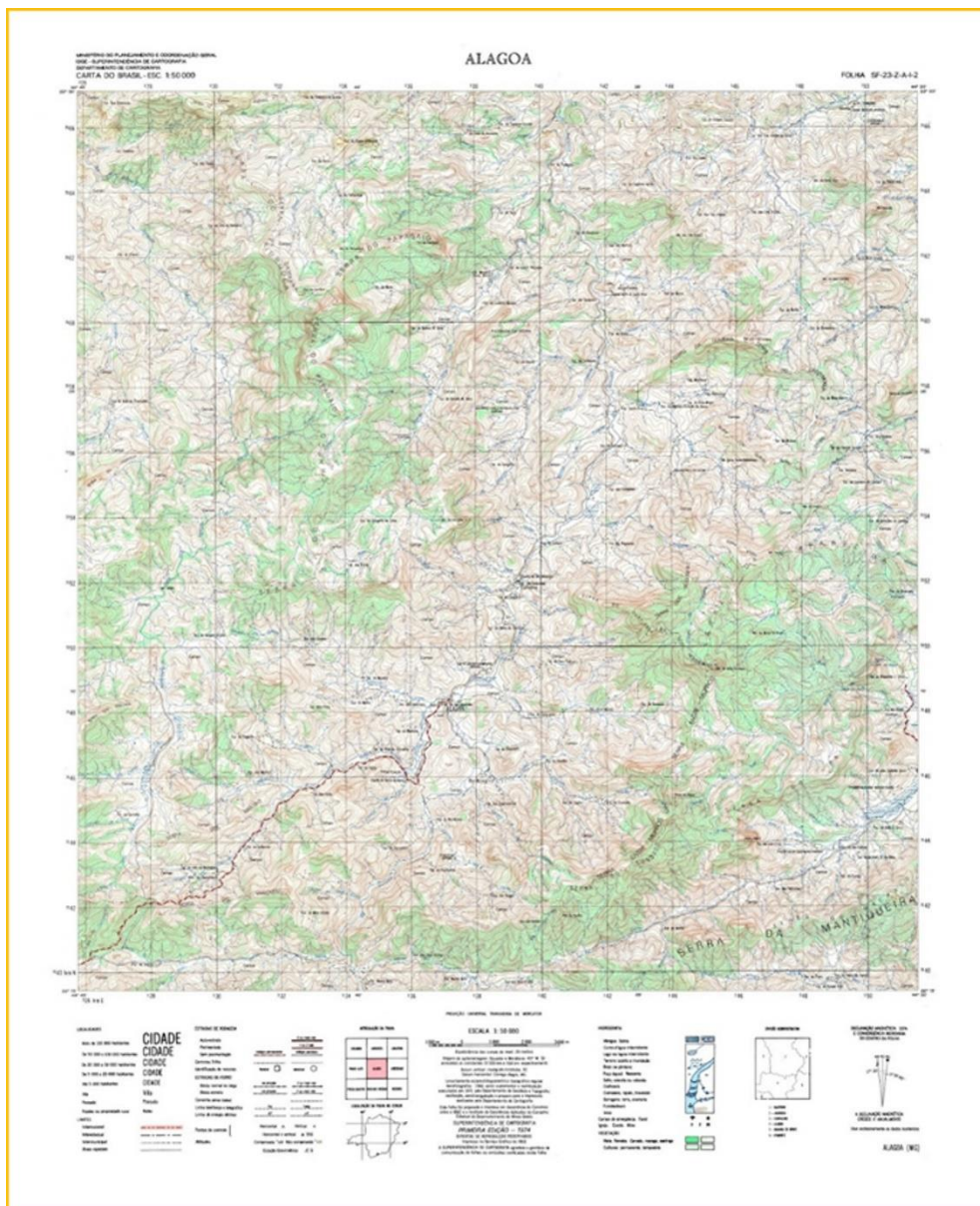
Se $x > 0$ e $y > 0$ o resultado da equação se mantém.

Se $x < 0$ e $y > 0$ ou se $x < 0$ e $y < 0$ soma-se 180° ao resultado.

Se $x > 0$ e $y < 0$ soma-se 360° ao resultado.

Sistema de Coordenadas no Espaço

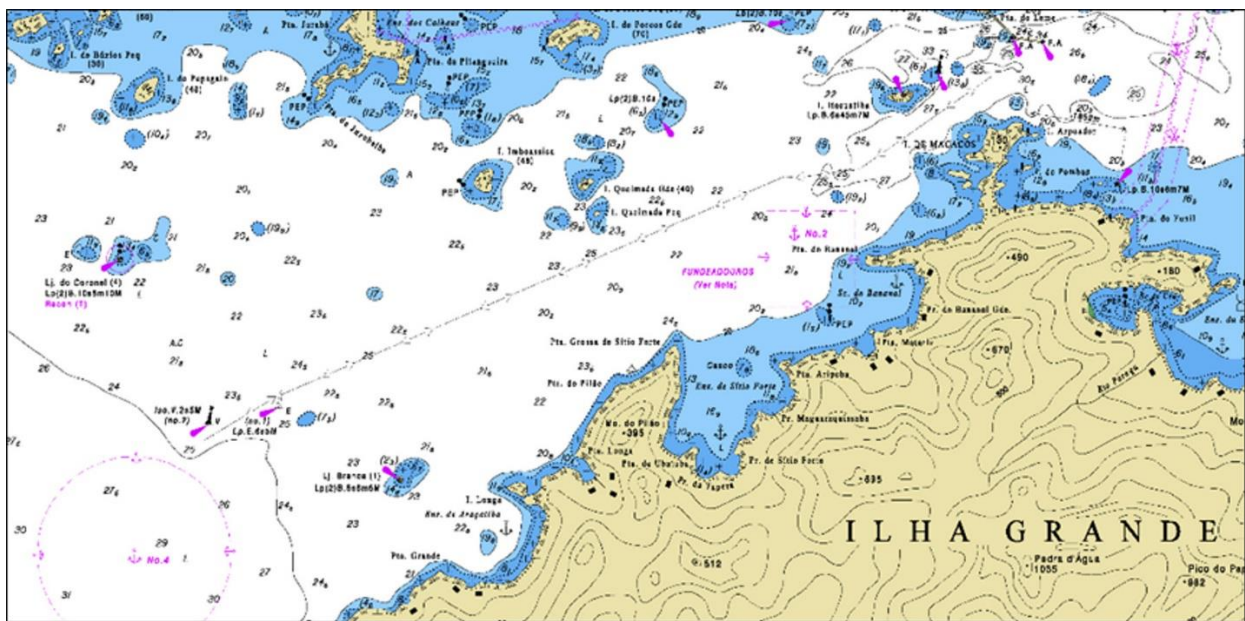
Define-se um sistema de coordenadas no espaço como aquele empregado na determinação da posição tridimensional (3D) de pontos que compõem feições da superfície terrestre, mesmo que estes sejam projetados em um plano horizontal (bidimensional), coincidente com o plano do papel (ou do mapa).



Carta Topográfica (IBGE, 2012)

Neste tipo de representação, a terceira dimensão é normalmente representada por pontos cotados e curvas de nível (isolinhas) no caso do relevo terrestre (carta topográfica), e por pontos de profundidade ou curvas batimétricas no caso do relevo fluvial ou submarino (carta náutica).

Pontos de altitude ou cota conhecida, assim como pontos de profundidade conhecida, por sua vez, podem derivar outros tipos de representação, tais como modelos digitais de terreno e modelos batimétricos, respectivamente.

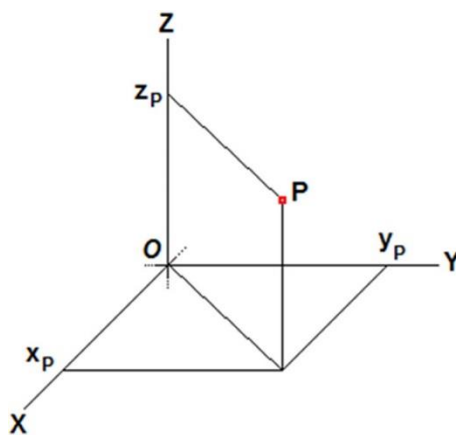


Extrato de Carta Náutica (DHN, 2015)

Da mesma forma que para o sistema de coordenadas planas, pontos da superfície e subsuperfície terrestres podem ter sua posição no espaço determinada pelos seguintes sistemas: *cartesiano* e *polar*.

Sistema cartesiano no espaço

O sistema cartesiano no espaço compreende, além das coordenadas planas (abscissa - x e ordenada - y), a componente relativa à terceira dimensão, denominada *altura*, *altitude* ou *profundidade*, dependendo da referência de nível empregada. Esta é associada a um terceiro eixo (Z), perpendicular ao plano cartesiano definido pelos eixos X e Y , passando pela origem (O) deste plano. Como referido anteriormente, a origem do sistema pode ter valores iniciais iguais a zero ($0, 0, 0$) ou diferentes e maiores que zero (arbitrados), em função da aplicação. Um ponto neste sistema é identificado pela notação (x, y, z) .



Sistema cartesiano no espaço – vista do 1º octante

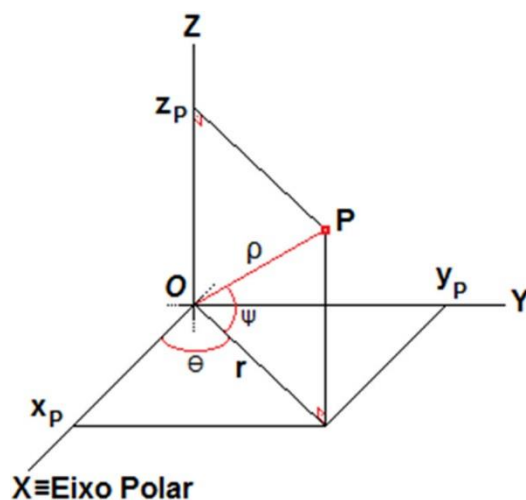
Os eixos do referido sistema (perpendiculares entre si e com origem comum) dividem o espaço tridimensional em oito regiões ou octantes.

1º Octante: $x > 0$ e $y > 0$ e $z > 0$ 5º Octante: $x > 0$ e $y > 0$ e $z < 0$
2º Octante: $x < 0$ e $y > 0$ e $z > 0$ 6º Octante: $x < 0$ e $y > 0$ e $z < 0$
3º Octante: $x < 0$ e $y < 0$ e $z > 0$ 7º Octante: $x < 0$ e $y < 0$ e $z < 0$
4º Octante: $x > 0$ e $y < 0$ e $z > 0$ 8º Octante: $x > 0$ e $y < 0$ e $z < 0$

Sistema polar no espaço

O sistema polar no espaço, assim como o sistema cartesiano no espaço, define a posição de um ponto por meio de três elementos: dois ângulos (ou direções) de orientação (um horizontal e outro vertical) e um raio no espaço. Tradicionalmente, o ângulo de orientação vertical é contado a partir do eixo vertical em direção ao raio polar no espaço (correspondente à colatitude no sistema de coordenadas geográficas). Para este documento, no entanto, o ângulo de orientação vertical será contado a partir do plano horizontal que contém o eixo polar também em direção ao raio polar no espaço, pois, desta forma, estabelece-se uma correspondência direta entre o sistema polar no espaço e o sistema de coordenadas geográficas, abordado mais adiante.

A origem do sistema polar no espaço (O) está localizada sobre o eixo polar, enquanto o raio polar no espaço (ρ) é definido a partir de uma direção horizontal (θ) e uma direção vertical (ψ), como apresentado na figura a seguir. Assim, o ponto P será designado por suas coordenadas (ρ, θ, ψ) .



Sistemas cartesiano e polar no espaço

Transformações no espaço

Para a transformação de coordenadas no espaço, de um sistema para outro e vice-versa, define-se que as origens dos sistemas (cartesiano e polar) são coincidentes, bem como, que o eixo X (no sistema cartesiano) coincide com o eixo polar (no sistema polar), como apresentado na figura anterior.

Na sequência, apresenta-se as relações de transformação de um sistema para outro, bem como, as equações para o cálculo da distância entre pontos no espaço, nos dois sistemas.

Polares em Cartesianas

$$x = \rho \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\theta)$$

$$y = \rho \cdot \cos(\psi) \cdot \sin(\theta)$$

$$z = \rho \cdot \sin(\psi)$$

Cartesianas em Polares

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\psi = \arcsen\left(\frac{z}{\rho}\right)$$

Nota 2: Considerar as informações da Nota 1 para determinar o valor final de θ .

Distância entre Pontos no Espaço - Sistema Cartesiano

$$d = \sqrt{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2 + (z_P - z_Q)^2}$$

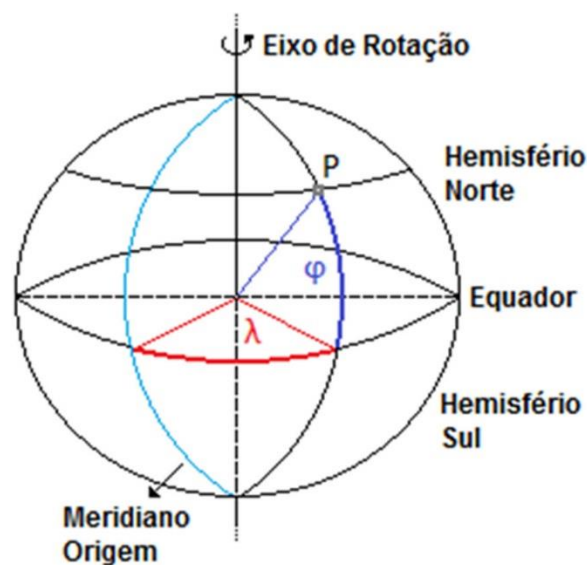
Distância entre Pontos no Espaço - Sistema Polar

$$d = \sqrt{\rho_P^2 + \rho_Q^2 - 2 \cdot \rho_P \cdot \rho_Q \cdot (\cos \psi_P \cdot \cos \psi_Q \cdot \cos(\theta_P - \theta_Q)) + \text{sen} \psi_P \cdot \text{sen} \psi_Q}$$

Sistema de Coordenadas Geográficas

O sistema de coordenadas geográficas é um sistema global empregado na localização de pontos sobre a superfície terrestre (considerada esférica e uniforme). Isto significa que qualquer ponto desta superfície pode ser localizado, de forma única, a partir das referidas coordenadas, composta por dois ângulos ou direções, sendo uma horizontal e outra vertical, bastante semelhante ao sistema de coordenadas polares no espaço estudado anteriormente.

A origem do sistema de coordenadas geográficas, considerando a Terra **esférica**, localiza-se no centro de massa, ou centro de simetria, desta. O **raio esférico** é o mesmo para qualquer ponto localizado sobre a superfície esférica da Terra, considerando o seu valor médio, que é de 6.371.100m ou 6.371,1km.



Sistema de coordenadas geográficas

Define-se a direção horizontal, denominada longitude (λ) de um ponto, como aquela formada, sobre o plano do Equador, entre o meridiano origem (ou de Greenwich) e o meridiano do ponto. Este ângulo tem **origem** em **Greenwich**, variando de 0° a $\pm 180^\circ$ (positivo à direita de Greenwich – E ou L; e negativo à esquerda de Greenwich – W ou O).

Nota 3: Greenwich é o nome dado ao meridiano de referência para as longitudes e que divide o globo terrestre em duas partes: ocidental e oriental. Este meridiano, cuja marcação física no solo passa pelo Observatório Real de Greenwich, localizado em um distrito de Londres (UK) de mesmo nome, foi institucionalizado como principal e único referencial para as longitudes na Conferência Internacional do Meridiano, realizada em 1884, em Washington, DC. (<http://www.reino-unido.net/greenwich.htm>)

Define-se a direção vertical, denominada latitude (φ) de um ponto, como aquela formada entre o plano do Equador e o paralelo do ponto. Este ângulo tem **origem** no **Equador**, variando de 0° a $\pm 90^\circ$ (positivo para o Hemisfério Norte – N; e negativo para o Hemisfério Sul – S).

Variação das Coordenadas Geográficas

$\lambda \rightarrow 0^\circ$ a 180° E
 0° a 180° W

$\varphi \rightarrow 0^\circ$ a 90° N

Assim, um ponto P sobre a superfície terrestre recebe a seguinte notação (φ , λ) relativamente à sua posição no sistema de coordenadas geográficas.

A distância esférica (**s**) entre pontos quaisquer (**P** e **Q**) localizados sobre a esfera terrestre pode ser determinada pela equação a seguir.

**Distância entre Pontos sobre a Esfera Terrestre –
Coordenadas Geográficas**

$$\cos(z) = \text{sen}(\varphi_P) \cdot \text{sen}(\varphi_Q) + \cos(\varphi_P) \cdot \cos(\varphi_Q) \cdot \cos(\lambda_P - \lambda_Q)$$

$$s = R \cdot z_{\text{RAD}}$$

Nota 4: A distância **s** é uma linha curva, pois é definida sobre a esfera terrestre por meio de um arco de círculo máximo. **R** é o raio médio da Terra e **z** é computado em radianos.

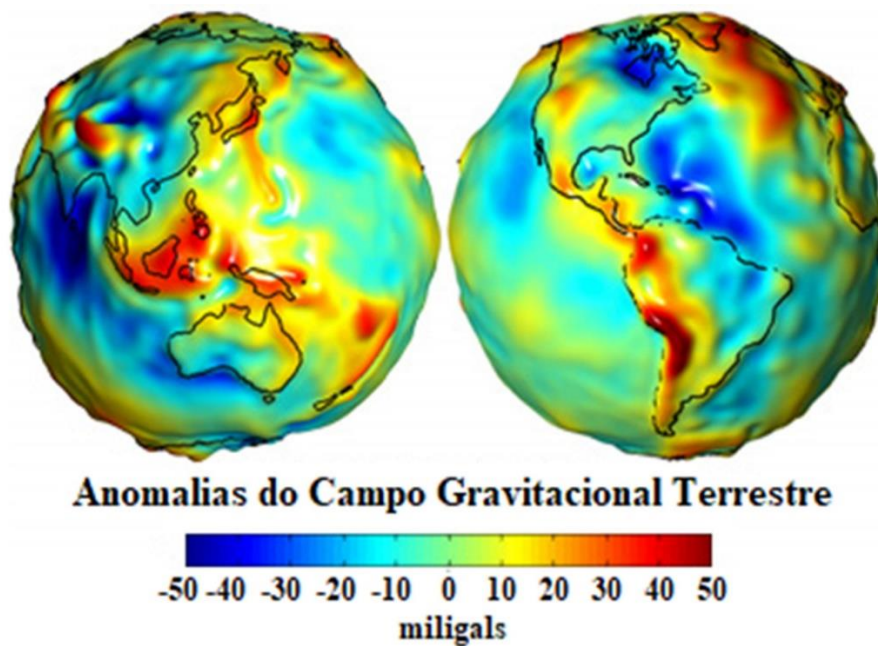
As referidas direções (latitude e longitude) são normalmente expressas no sistema sexagesimal e, portanto, apresentadas em graus, minutos e segundos de arco; podendo ainda ser apresentadas em graus decimais.

Vale ressaltar que as coordenadas geográficas também estão presentes nos mapas e, dependendo da escala do mapa, podem aparecer como única referência para a localização de pontos/feições, ou podem ainda acompanhar outros sistemas, tal como o UTM, apresentado adiante.

Ressalta-se ainda que medições geodésicas mais precisas, realizadas ao longo dos últimos séculos, levaram a concluir que a forma da Terra não é geometricamente regular e que, portanto, os esferoides (elipsoides e esferas) utilizados como modelos para a sua representação são apenas aproximações matemáticas para a Terra real. Embora irregular, a Terra possui um formato arredondado em consequência da força da gravidade e, a partir de instrumentos especializados como o gravímetro, é possível definir que a sua forma é a de um geóide, levemente achatado nos polos.

O geóide é a superfície equipotencial (com potencial gravitacional constante ao longo de sua superfície) que mais se aproxima da superfície formada pelo prolongamento

dos oceanos (nível médio dos mares) por sobre os continentes. Por ser uma superfície física dinâmica, ou seja, uma superfície que sofre variações com as alterações do campo gravitacional terrestre, o geóide não segue leis matemáticas rígidas e, portanto, não pode ser utilizado como modelo para a representação da superfície da Terra em mapas e cartas. No entanto, é empregado como referência para a determinação das altitudes.



Geoide e anomalias do campo gravitacional terrestre (NASA, 2003)

Disponível em: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA12133>

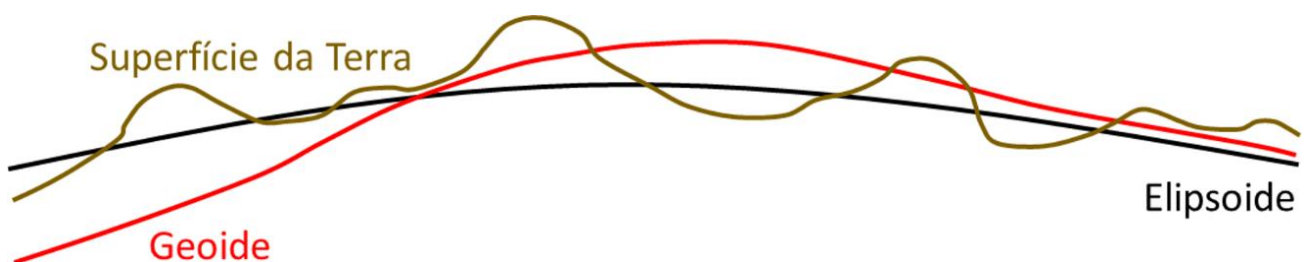
Assim, em cartografia, utilizam-se como modelos matemáticos para a representação plana da superfície terrestre a esfera (quando tal representação não requer tanta precisão geométrica) e o elipsoide de revolução (quando a precisão geométrica é um fator importante para a representação). O que muda nas representações quando se emprega o modelo esférico ou modelo elipsoidal é a complexidade das transformações matemáticas necessárias para se representar as feições da superfície terrestre sobre o plano do papel, além das conseqüentes deformações causadas por tais transformações, que podem ser maiores ou menores, respectivamente.

Sistema de Coordenadas UTM

Primeiramente, é importante ressaltar que o sistema de coordenadas UTM e a projeção UTM são conceitos distintos em cartografia. O primeiro consiste num sistema plano de coordenadas para a localização de pontos e feições em mapas em escalas médias e grandes. O segundo consiste na representação plana da Terra, considerada um elipsoide de revolução, a partir de um cilindro (superfície de projeção) transversa ao eixo de rotação terrestre. Estes conceitos são importantes uma vez que, no Brasil, adota-se tanto a projeção UTM como o sistema de coordenadas UTM em mapeamentos oficiais (Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira – Decreto Lei Nº 243/67; Normas Técnicas da Cartografia Nacional - Decreto Nº 89817/84; Resolução PR Nº 22/83; Resolução PR Nº 23/89; e Resolução PR Nº 01/05).

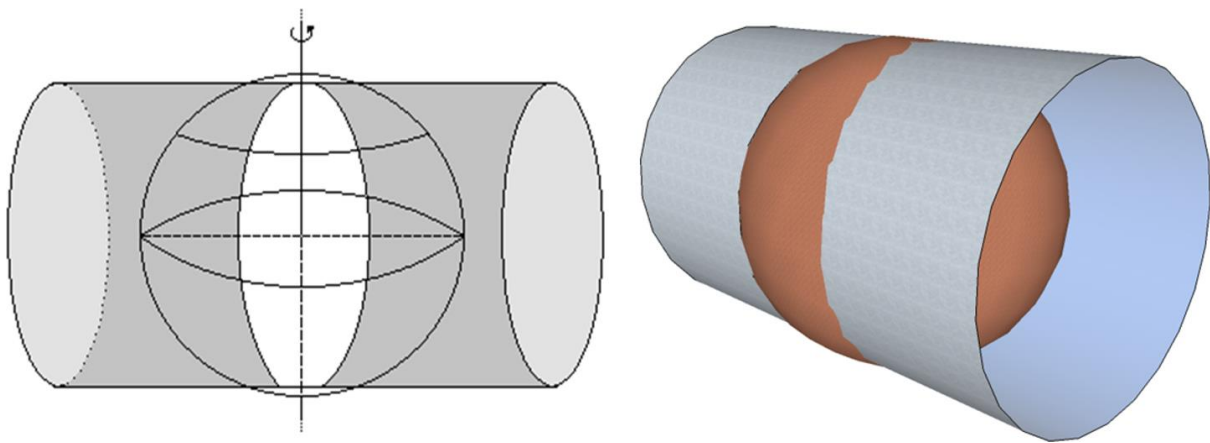
Sistema geodésico brasileiro (SGB)

Em Cartografia costuma-se trabalhar com três tipos de superfície: a superfície física da Terra (representada nos mapas); a superfície de referência para as altitudes (Geoide); e a superfície de referência para as projeções cartográficas (modelo matemático definido por um elipsoide).



Superfícies consideradas na Cartografia

A projeção **UTM** – Universal Transversa de Mercator – no contexto do mapeamento oficial brasileiro (Mapeamento Sistemático Terrestre Básico, incluindo as escalas do Mapeamento Topográfico) compreende a adoção de um cilindro transverso ao eixo de rotação da Terra e secante a esta superfície, sendo a Terra definida matematicamente por um elipsoide de revolução.



Modelo esquemático de um fuso UTM e cilindro transverso secante ao elipsoide

Nota 5: toda projeção cartográfica obedece às seguintes relações:

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

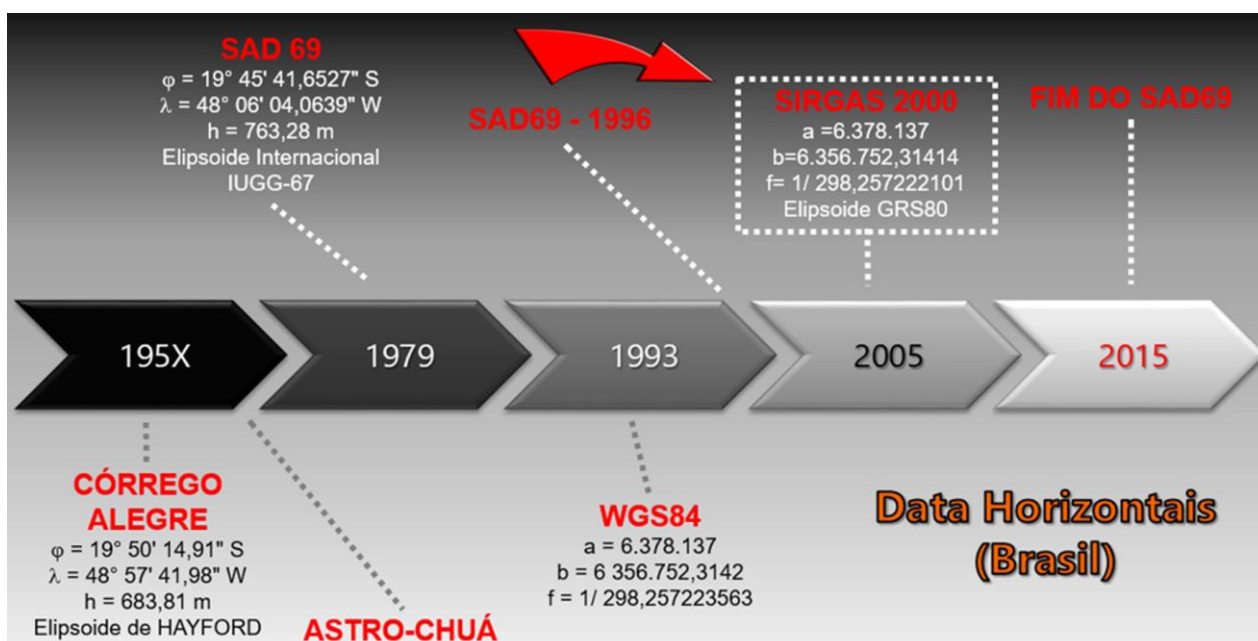
Nota 6: toda projeção cartográfica produz distorções, seja em direção, distância ou área. A **projeção UTM preserva direções** e, por esta razão, preserva a **forma** das feições cartografadas. As deformações lineares também denominadas distorções de escala (**K**) são: nulas (**K = 1**) sobre as linhas de secância (linhas de contato entre a superfície de projeção e a superfície de referência); reduzidas entre as linhas de secância (**K < 1**); e ampliadas externamente às linhas de secância (**K > 1**). Assim, áreas e distâncias computadas nesta projeção devem ser corrigidas do coeficiente de deformação linear ou fator de escala (**K**).

Os parâmetros adotados para este modelo matemático (elipsoide de revolução) foram alterados ao longo do tempo e são os apresentados a seguir.

Modelos matemáticos e parâmetros adotados em mapeamentos no Brasil

Elipsoide	a (semi-eixo maior)	f (achatamento)
HAYFORD	6.378.388,00 m	1/297
IUGG-67	6.378.160,00 m	1/298,25
GRS80	6.378.137,00 m	1/298,257222101
WGS84	6.378.137,00 m	1/298,257223563

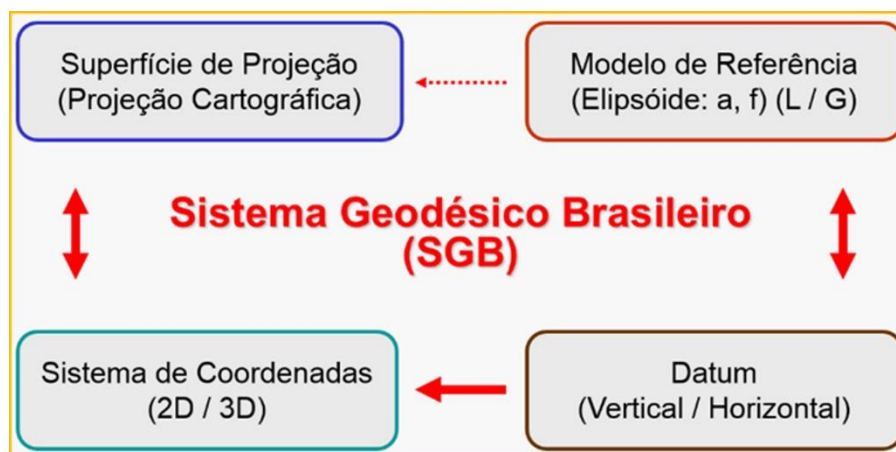
A seguir uma linha do tempo explicativa das mudanças de referenciais no Brasil.



Linha do tempo das mudanças de referenciais no Brasil (ESTEIO S.A., 2015)

Assim, qualquer trabalho de mapeamento em território brasileiro deve adotar um referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes, denominado Sistema Geodésico Brasileiro – SGB.

Os elementos do SGB são: o *modelo de referência* (ex.: elipsoide com raio equatorial **a** e achatamento **f**) que é empregado como modelo representativo da Terra cuja superfície será projetada no plano por meio de uma projeção cartográfica; a *projeção cartográfica* (ex.: Projeção UTM) à qual está associada uma superfície de projeção (ex.: cilindro transverso); o *Datum horizontal*, a partir do qual se estabelece a origem para o sistema de coordenadas geodésicas (latitude e longitude) (ex.: Chuá); o *Datum vertical*, a partir do qual se estabelece a origem das altitudes (continentais) e profundidades (mares e oceanos) (ex.: Marégrafo de Imbituba); e o *Sistema de Coordenadas Planas*, associado aos demais elementos e definido a partir do tipo de representação e escala desta (ex.: UTM).



Componentes do sistema Geodésico Brasileiro e suas relações

Cada modelo matemático (elipsoide de referência, que pode ser local – L, ou global – G) está associado a outros parâmetros/elementos, tais como, a origem do sistema de referência (que pode estar no Centro de Massa da Terra – Geocêntrico, ou sobre a superfície terrestre - Topocêntrico); o tipo de referência (se horizontal – H, vertical – V, ou completo – C); e a definição da posição/orientação/altitude dos pontos de referência. O conjunto de parâmetros que define, dentre outros elementos, a dimensão e forma de posicionamento do elipsoide é chamada de *Datum*. (ver Matos (2008))

O termo *Datum* deriva do Latim e, em Português, deve ser escrito em itálico com a inicial em maiúscula. Sendo *Data* o plural de *Datum*

Datum	Região	Origem	Referência	Tipo
Córrego Alegre	Brasil	Córrego Alegre	Hayford 1924	H
SAD-69	Brasil	Chua	IUGG 1967	H
WGS-84	Global	Centro de Massa	WGS 1984	C
SIRGAS 2000	América do Sul	Centro de Massa	GRS 1980	C
Imbituba	Brasil	Imbituba	Geóide	V

Sistemas de referência adotados no Brasil e possíveis transformações

As setas do quadro acima indicam as transformações matemáticas possíveis entre os sistemas de referência que compuseram e compõem o SGB.

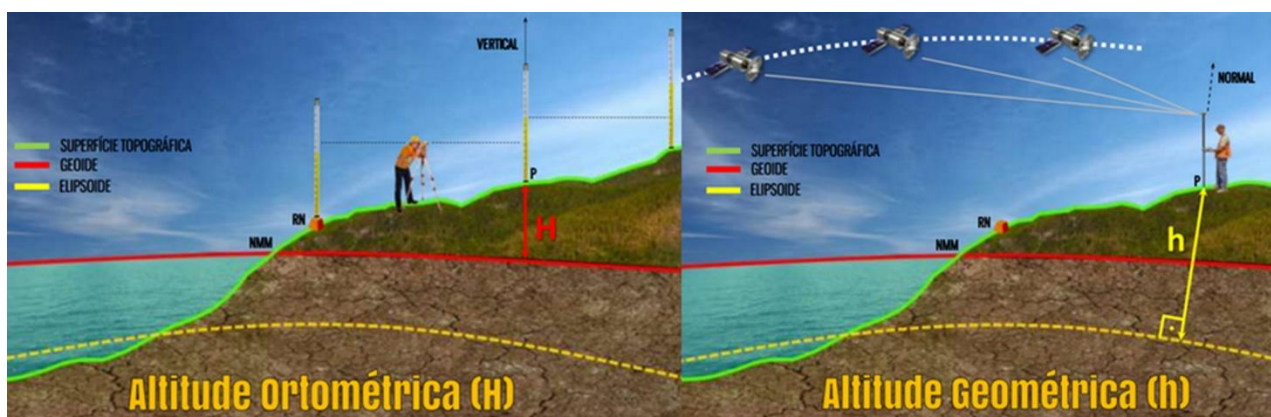
Adotado na década de 1980, o elipsoide de referência IUGG-67 (conhecido como Internacional de 1967) esteve em uso no Brasil até fevereiro de 2015. Este elipsoide utiliza o SAD69 (*South American Datum*) como *Datum* horizontal (para cômputo das coordenadas planas), com origem/orientação topocêntrica no vértice CHUÁ (MG), e ainda os marégrafos de Imbituba (SC) e de Santana (AP) como *Data* verticais (origem para o cômputo das altitudes do SGB).

Após um período de transição de 10 anos (2005-2015), o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, SIRGAS2000, passou a ser o sistema geodésico de referência oficial do Brasil. Este não possui um ponto *Datum* associado, mas uma rede de pontos (estações) distribuídos em todo o território sul americano.

**A transformação entre referenciais oficiais,
no Brasil, pode ser realizada através do
aplicativo ProGrid (IBGE, 2011)**

No que diz respeito ao referencial altimétrico, ressalta-se a importância da Geodésia na obtenção das altitudes de pontos da superfície terrestre e no estabelecimento de redes de nivelamento de precisão com a materialização destes pontos, denominados Referência de Nível (RN) ou Referências de Nível (RRNN).

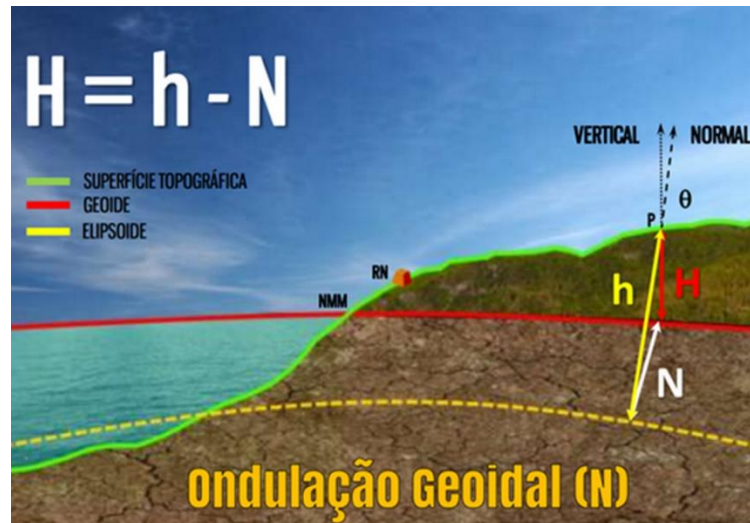
A altitude de um ponto pode ser de dois tipos: *ortométrica* (H), quando é definida pela distância vertical deste ponto ao Nível Médio do Mar (NMM); e *geométrica* (h), quando é definida pela distância vertical deste ponto ao elipsoide tomado como referência para o mapeamento.



Altitude ortométrica e altitude geométrica (ESTEIO S.A., 2015)

Nas cartas do mapeamento topográfico brasileiro o relevo é representado a partir das altitudes ortométricas (determinadas em relação ao *Datum* Vertical Imbituba, Santana, Torres, ou outro, dependendo da data de sua elaboração e da região mapeada). Porém, como os levantamentos empregando Sistemas de Posicionamento por Satélites (GPS, GLONASS, BEIDU...) se tornaram muito comuns, a altitude obtida a partir destes equipamentos não é referenciada ao Nível Médio do Mar (Geoide) e sim à superfície do elipsoide. Portanto, é preciso salientar que existe uma diferença

entre as altitudes mencionadas ($h - H$) obtidas para um mesmo ponto da superfície terrestre. A esta diferença, denomina-se **altura** ou **ondulação geoidal (N)**.

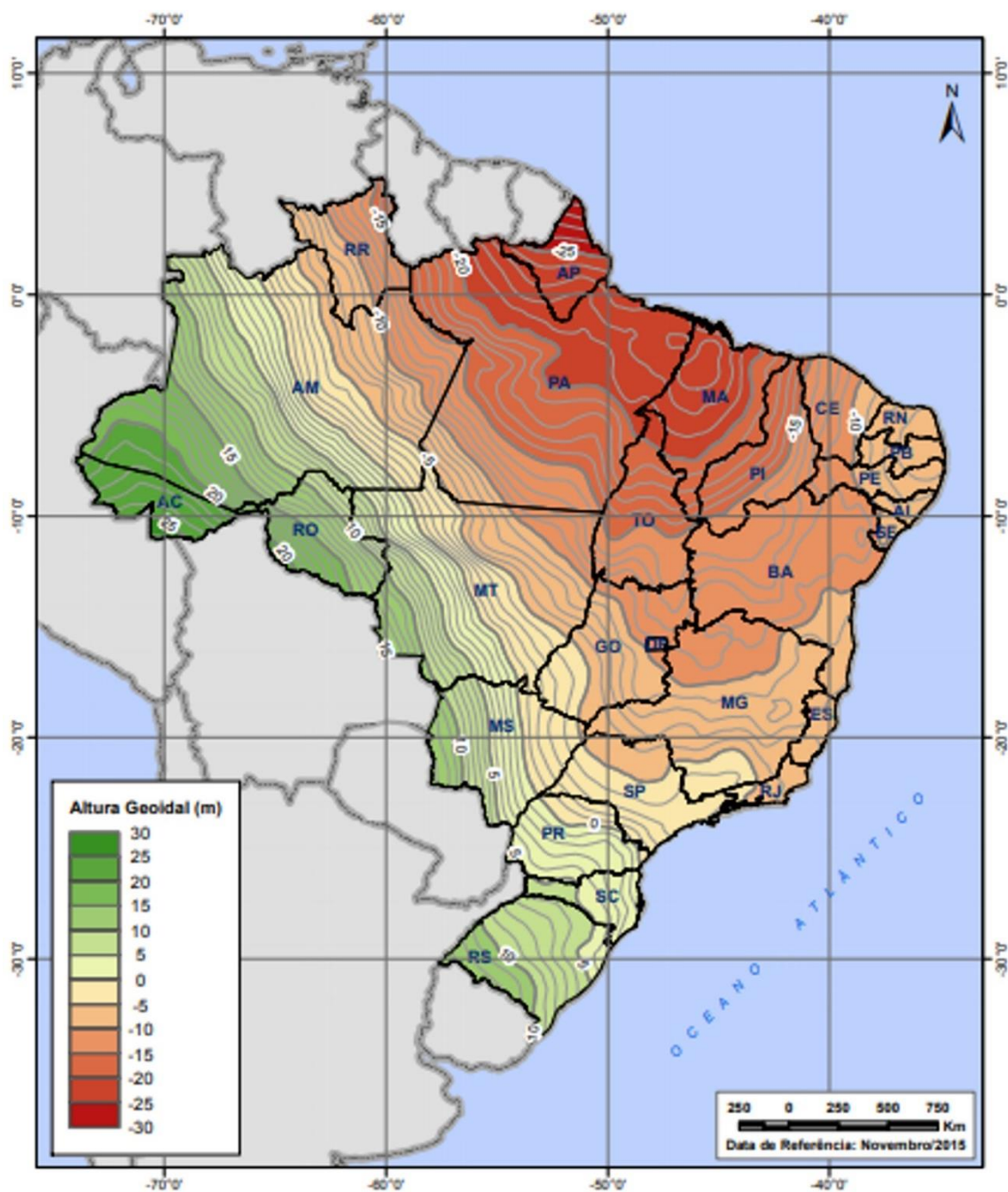


Altura ou ondulação Geoidal (ESTEIO S.A., 2015)

Assim, torna-se imprescindível conhecer a altura (N) entre as superfícies do geóide e do elipsoide para que as altitudes geométricas obtidas a partir de levantamentos GNSS (*Global Navigation Satellite System*) possam ser transformadas em ortométricas e empregadas nos mapeamentos oficiais e em outras atividades de engenharia.

São dois os métodos empregados na transformação da altitude geométrica em altitude ortométrica: o método absoluto, que exige o transporte de nivelamento de ponto ou RN rastreada com GNSS; e o método relativo, que emprega, por exemplo, modelos de ondulação geoidal digitais como o MAPGEO2015 (IBGE, 2015), disponibilizado pelo IBGE para este fim.

O MAPGEO2015 é, portanto, um aplicativo disponibilizado gratuitamente pelo IBGE que permite obter as altitudes ortométricas de pontos a partir da aplicação da ondulação geoidal (N) sobre as altitudes geométricas provenientes de rastreamento GNSS. O modelo de ondulação geoidal deste aplicativo, que permite interpolações de valores, foi desenvolvido utilizando as alturas geoidais obtidas pela diferença entre as altitudes ortométricas oriundas do nivelamento geométrico de 592 referências de nível (RRNN) em conexão com pontos cujas altitudes elipsoidais foram obtidas por técnica de posicionamento por satélite (IBGE, 2015).



Modelo de Ondulação Geoidal Brasileiro (IBGE, 2015)

Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm

Resumindo, para se projetar cartograficamente a superfície de um território, é necessário adotar uma projeção cartográfica que minimize as distorções no momento da representação das feições geográficas sobre o plano do papel (ou mapa). Esta escolha depende, principalmente do uso a ser feito da carta.

Para tanto, é necessário adotar um elipsoide de referência cujos parâmetros (raio equatorial e achatamento) se adequem da melhor forma possível à superfície a ser

cartografada, bem como, estabelecer a rede de pontos de referência (plano-altimétrica) que relacione a superfície física da Terra ao modelo matemático empregado na sua representação. É importante ressaltar que os pontos de tal rede são ajustados a partir de suas coordenadas geodésicas (latitude e longitude geodésicas) e da altitude ortométrica.

Nota 7: as **coordenadas geodésicas** (latitude geodésica e longitude geodésica) são determinadas a partir da adoção de um elipsoide de referência (raio variável) e de um *Datum*, sendo, portanto, distintas das **coordenadas geográficas** (latitude geográfica e longitude geográfica), determinadas a partir da adoção de um modelo esférico (raio constante) para a Terra. O modelo esférico é uma simplificação do modelo elipsoidal.

Por fim, é necessário estabelecer um sistema de coordenadas planas para o registro da posição das referidas feições geográficas na projeção escolhida. O sistema de coordenadas planas é muito empregado pois facilita a determinação de distâncias, áreas e direções (principalmente azimutes) sobre as cartas.

As figuras a seguir apresentam as redes de pontos planimétricos (vértices/marcos) e de pontos altimétricos (RRNN), cujas coordenadas geodésicas (latitude e longitude) e altitude são conhecidas. A partir destas redes estabelece-se o apoio plano-altimétrico para o SGB em todo o território nacional.

Nota 8: ressalta-se que a rede de pontos que integra o SAD69 possui várias materializações ou realizações. São importantes as realizações denominadas **SAD69 Rede Clássica**, determinada a partir de triangulações e poligonações geodésicas; e **SAD69/96**, relativa à rede clássica reajustada com o apoio de medidas GPS, em 1996.

Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro



Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro



Redes planimétrica e altimétrica do SGB (IBGE, 2016)

Nota 9: as **variações** absolutas nas coordenadas planas dos pontos da rede reajustada em relação à rede clássica, no Estado do Paraná, podem chegar a **15m**.

Nota 10: passado o período de transição, o SIRGAS2000 passa a ser o único sistema geodésico de referência legal no Brasil, constituindo a nova base tanto para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) como para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) (IBGE, 2015).

A seguir, um exemplo das diversas coordenadas que a Estação UFPR-Curitiba, que compõe a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), pode assumir quando se consideram diferentes referenciais. As coordenadas geodésicas relativas ao SIRGAS2000 foram obtidas de formulário publicado pelo IBGE, Divisão de Geodésia, enquanto as demais coordenadas foram obtidas, por transformação, através de aplicativo disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Estação UFPR-CTBA (IBGE, 2015; INPE, 2016)

Estação RBMC	Latitude	Longitude	Referencial
UFPR-CTBA	-25° 26' 54,1269"	-49° 13' 51,4372"	SIRGAS2000
	-25° 26' 54,127"	-49° 13' 51,437"	WGS84
	-25° 26' 52,365"	-49° 13' 49,702"	SAD69
	-25° 26' 52,656"	-49° 13' 49,785"	CÓRREGO ALEGRE

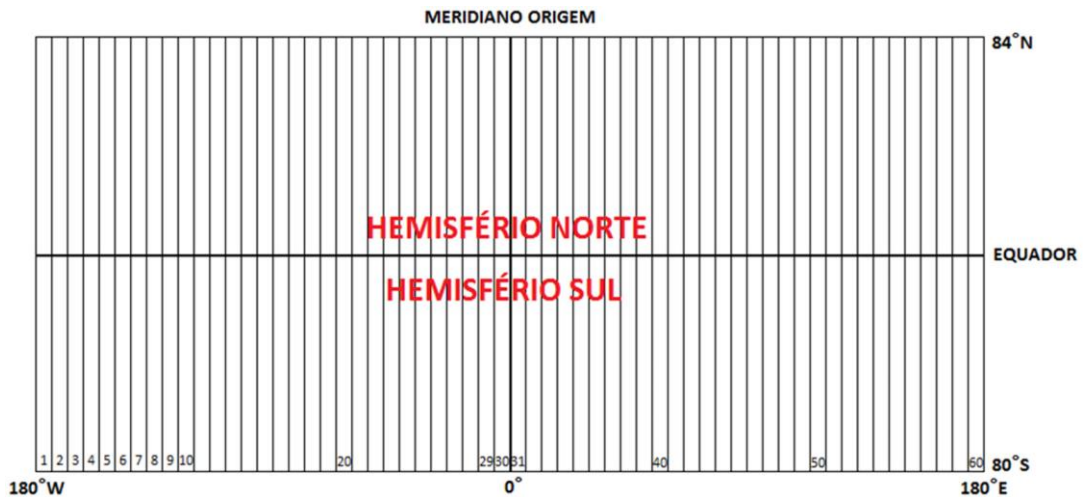
Características do sistema de coordenadas UTM

Como explicitado, a projeção UTM compreende a representação de feições geográficas sobre um cilindro transversal secante à superfície terrestre modelada a partir de um elipsoide de revolução. Esta é aplicada ao mapeamento geométrico preciso em escalas médias e grandes.

A projeção UTM é do tipo **conforme**, ou seja, preserva as direções e, conseqüentemente, a forma das feições mapeadas.

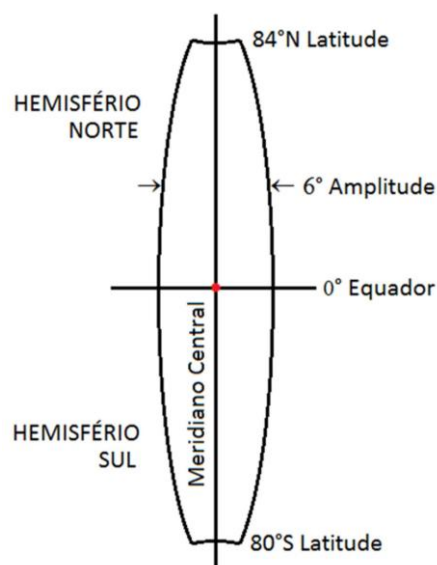
À projeção UTM está associado um sistema plano de coordenadas, denominado sistema de coordenadas UTM.

Neste sistema, o modelo terrestre (elipsoide de revolução) é dividido em 60 fusos de 6° de amplitude longitudinal cada. Estes são numerados a partir do antimeridiano de Greenwich (180°W), da esquerda para a direita (sentido oeste-leste), iniciando em 01 e terminando em 60.



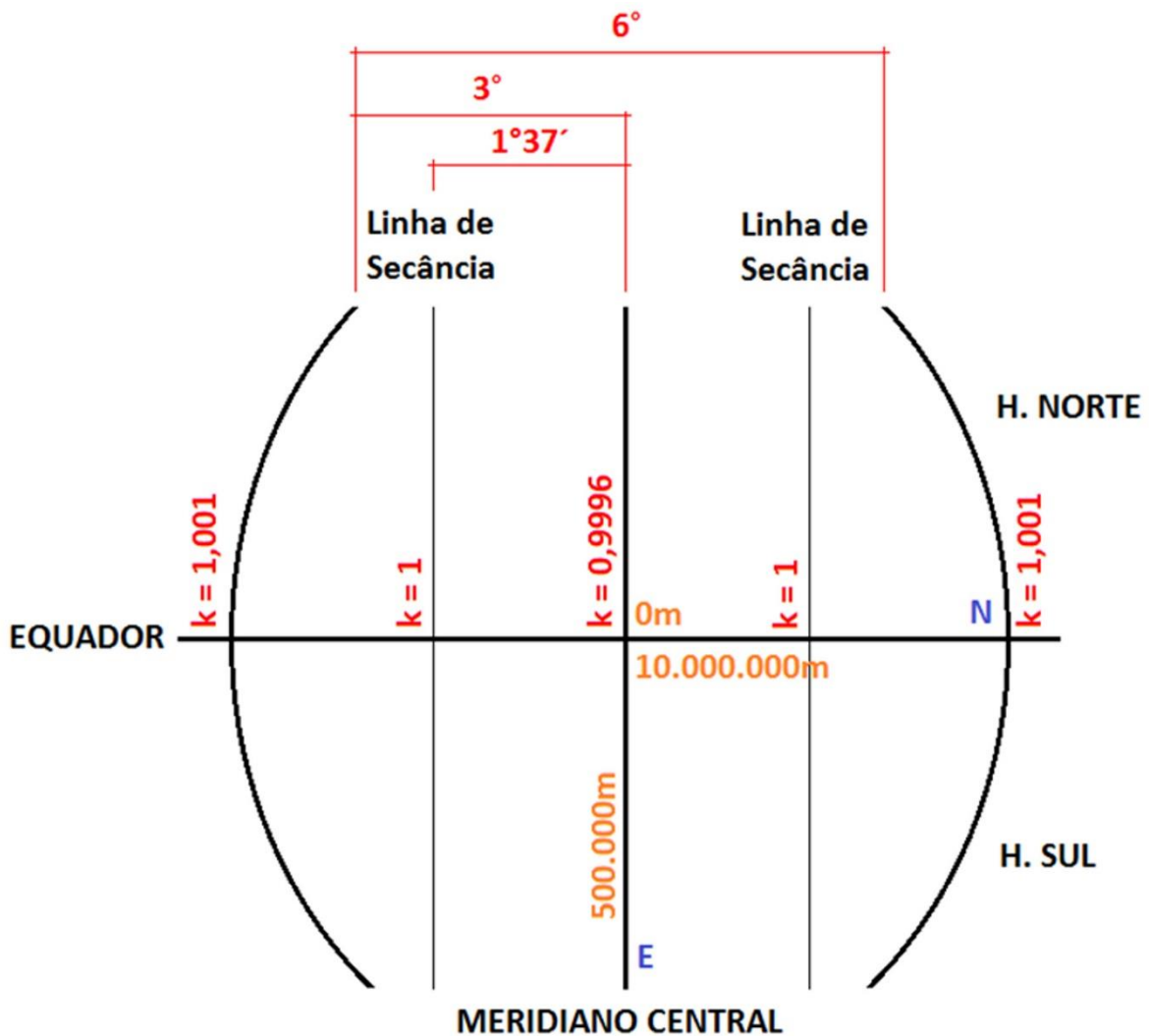
Divisão do Globo em fusos UTM

Para cada fuso é atribuída uma origem do sistema de coordenadas, localizada no encontro do círculo do Equador com o Meridiano Central (MC) do fuso.



Fuso UTM

Para mapeamentos no Hemisfério Sul são arbitrados os valores 500km (E) e 1000km (N) para a origem em cada fuso, enquanto para mapeamentos no Hemisfério Norte, os valores para a origem em cada fuso são 500km (E) e 0km (N), conforme apresentado na figura a seguir.

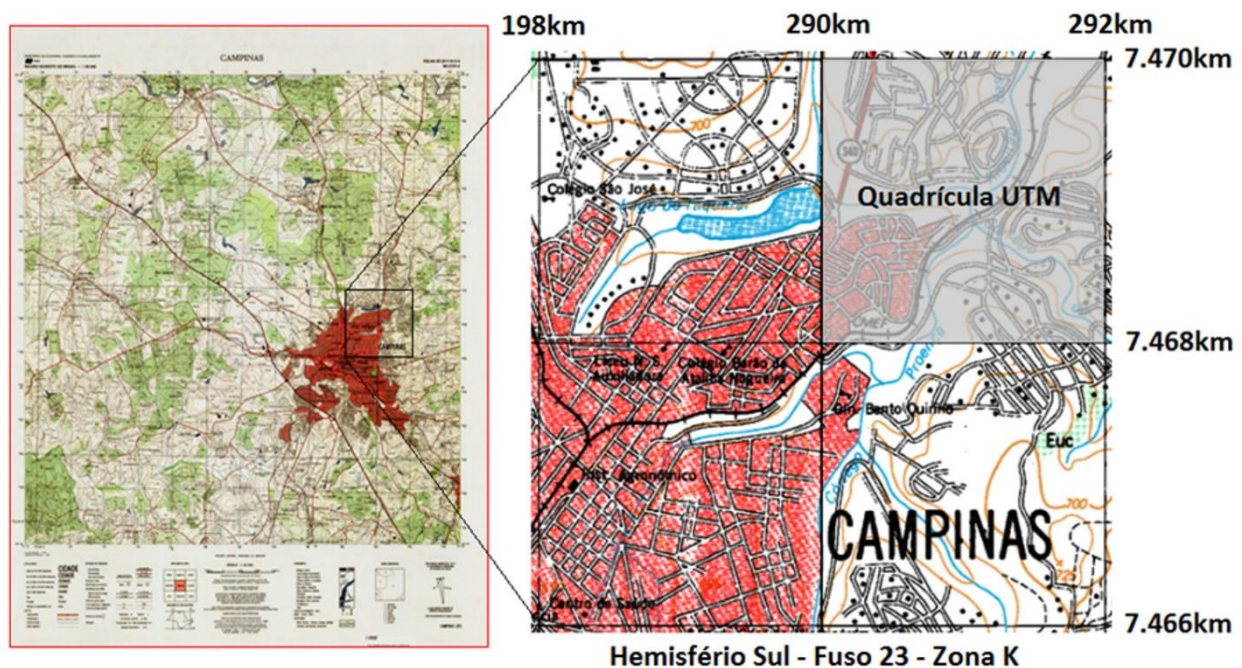


Origens (em metros) do Sistema de Coordenadas UTM e fator de escala para o cilindro transversal secante

Assim, neste sistema, a posição plana de um ponto da superfície terrestre é definida por três valores: os dois primeiros, expressos em quilômetros ou metros, a partir da notação (**E**, **N**); e o terceiro pelo **número do fuso** onde o ponto se encontra. A informação do número do fuso é imprescindível para que se saiba em qual região do globo o ponto se encontra, uma vez que a origem do sistema e a variação dos valores

das coordenadas se repetem para os diferentes fusos UTM. Nas Cartas Topográficas do mapeamento sistemático, esta indicação é feita pelo valor do Meridiano Central (MC).

O reticulado UTM é, portanto, composto por linhas horizontais (paralelas à linha do Equador) e verticais (paralelas ao Meridiano Central do fuso) que se interceptam perpendicularmente, formando uma grade regular. Às células desta grade denomina-se “quadrícula UTM”. O tamanho da quadrícula (intervalo em metros) varia em função da escala do mapa.

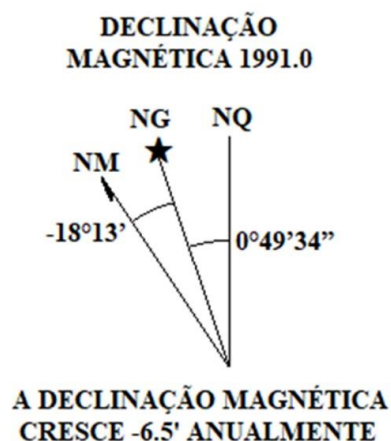


Reticulado UTM, quadrícula UTM, coordenadas (E e N)

Este reticulado possui uma orientação, indicada nas representações planas (cartas do mapeamento topográfico) como sendo o Norte da Quadrícula UTM (NQ). A orientação do reticulado UTM diverge da orientação da rede de paralelos e meridianos da representação plana, devido à curvatura destes. A orientação de tal rede de paralelos e meridianos é indicada, nestas mesmas representações, como sendo a do Norte Geográfico (NG). À diferença de orientação entre o reticulado UTM (NQ) e a rede de paralelos e meridianos (NG) denomina-se *convergência meridiana* (γ), expressa em valores de arco (graus, minutos e segundos), e apresentada nas cartas como na figura a seguir. Os valores da convergência meridiana são calculados sempre em relação ao centro da folha e, para as representações planas do território

brasileiro localizadas no hemisfério sul, podem ser positivas ou negativas, em função da orientação do reticulado UTM (NQ) estar, respectivamente, à direita ou à esquerda da orientação definida para a rede de paralelos e meridianos (NG).

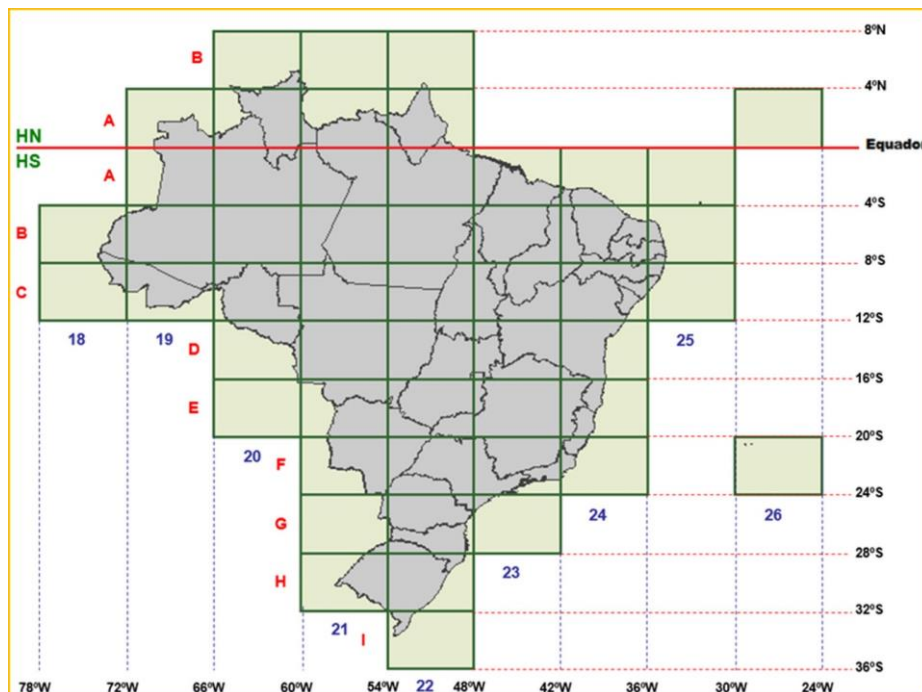
Além das orientações do reticulado UTM (NQ) e da rede de paralelos e meridianos (NG), constam das representações planas a orientação relativa ao campo magnético terrestre, ou seja, em relação ao Norte Magnético (NM). À diferença de orientação entre a rede de paralelos e meridianos (NG) e o campo magnético terrestre denomina-se declinação magnética (δ), também expressa em valores de arco (graus, minutos e segundos). Assim como para a convergência meridiana, os valores da declinação magnética podem ser positivas ou negativas, em função da orientação do campo magnético terrestre (NM) estar, respectivamente, à direita ou à esquerda da orientação definida para a rede de paralelos e meridianos (NG).



Orientação do reticulado UTM (NQ), da rede de paralelos e meridianos (NG) e do campo magnético da Terra (NM) com valores de Declinação Magnética ($-18^{\circ}13'$) e de Convergência Meridiana ($0^{\circ}49'34''$) para a Carta 1:50000 de Campinas (IBGE, 1991)

Ressalta-se que para o mapeamento do território brasileiro são utilizados oito fusos UTM (números 18 a 25), cujos limites em longitude são apresentados na figura a seguir, que consiste apenas numa representação esquemática dos mesmos uma vez que paralelos e meridianos, originalmente, são linhas curvas. Na mesma figura, observa-se que o fuso 26 engloba apenas algumas ilhas do mar territorial brasileiro e, por esta razão, tais ilhas são representadas como extensões das cartas pertencentes ao fuso 25.

Nota 11: uma outra particularidade do sistema UTM é a extensão de um fuso UTM quando a região mapeada, por exemplo, compreende mais de 6° no sentido leste-oeste. Neste caso, pode-se estender os limites do fuso UTM de alguns segundos de arco (por exemplo: 30'') o que resulta na extensão dos valores atribuídos ao sistema de coordenadas UTM e no conseqüente aumento das deformações nas bordas do fuso. Os fusos UTM têm amplitude longitudinal de 6° justamente para garantir uma distorção mínima ao mapeamento. Assim, extensões de fuso UTM, mesmo que de poucos segundos de arco, devem constituir uma exceção e não uma regra. O mais correto, nestes casos, é mudar a projeção utilizada (UTM) para outra mais conveniente. Mapas do território brasileiro nas escalas 1:500000 e 1:1000000, por exemplo, que representam áreas que ultrapassam os limites do fuso UTM na projeção UTM, empregam a projeção Cônica Conforme de Lambert ou a Projeção Policônica.



Fusos UTM no Brasil e cartas da CIM (Adaptado de IBGE, 2011)

A figura anterior apresenta ainda a articulação das cartas 1:1.000.000 (6° de longitude por 4° de latitude) que cobrem o território brasileiro, ou seja, da CIM (Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo).

Os sistemas RTM e LTM

Os sistemas RTM (Regional Transversa de Mercator) e LTM (Local Transversa de Mercator) são variações do sistema UTM aplicadas ao mapeamento de áreas menores e escalas maiores que 1:25000, também denominadas escalas cadastrais, como uma referência ao cadastro rural (1:5000 e 1:10000) e ao cadastro urbano (1:1.000 e 1:2000), e também aos mapeamentos de faixas (estradas, transmissão de energia, dutos, entre outras).

Porém, os sistemas RTM e LTM são muito pouco empregados no Brasil, pois exigem conversões (transformações de coordenadas) para a compatibilização dos dados levantados em relação ao sistema UTM, tradicionalmente utilizado pelos órgãos das Prefeituras Municipais e pelo próprio INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) em seus mapeamentos.

Transformações entre Sistemas de Coordenadas

Para trabalhar com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), é preciso compreender como as transformações entre sistemas de coordenadas, em projeções cartográficas, funcionam.

Primeiramente, é preciso compreender que os pontos de referência levantados geodesicamente para compor uma carta ou mapa são expressos em coordenadas geodésicas (latitude e longitude geodésicas), posteriormente transformadas em coordenadas planas (geralmente UTM), pois o modelo matemático adotado no Brasil para representação da superfície terrestre é um elipsoide de revolução e não uma esfera.

Em segundo lugar, é preciso compreender que a transformação de coordenadas geodésicas para coordenadas planas UTM e vice-versa se faz por meio de equações de transformação, mas apenas dentro de um mesmo sistema de referência (elipsoide e *Datum*).

Como os mapeamentos do território brasileiro foram executados em diferentes épocas, as mudanças de referencial (elipsoide e *Datum*) impossibilitam a integração

destes mapeamentos numa única base de dados, exigindo uma transformação entre os sistemas de referência adotados, previamente à utilização dos dados provenientes de tais mapeamentos.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou, ao longo dos últimos anos, várias resoluções sobre como proceder tais transformações, listadas no quadro a seguir.

Resoluções para transformações entre sistemas de referência (IBGE, 2016)

Resolução	Conteúdo
PR No. 22 de 21/07/1983	Aprova as especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos (de alta precisão, de precisão, e para fins topográficos), levantamentos gravimétricos e nivelamentos em território brasileiro. Inclui uma classificação destes levantamentos e os parâmetros de transformação do <i>Datum</i> Córrego Alegre para o <i>Datum</i> SAD69 e vice-versa, entre outros.
PR No. 23 de 21/02/1989	Altera o Apêndice II da R.PR-22/83 relativo aos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos, introduzindo os parâmetros do referencial WGS84 e sua transformação para SAD69.
R No. 5 de 31/03/1993	Aprova as especificações e normas gerais para levantamentos GPS. Inclui uma classificação dos levantamentos GPS e das técnicas de posicionamento.
R.PR – 1/2005	Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro, estabelecendo o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), realização do ano 2000. Inclui os parâmetros de transformação do SAD69 para SIRGAS2000.

Ressalta-se que exemplos práticos de transformações entre sistemas de coordenadas serão abordados nos capítulos relativos à Entrada de Dados e à Banco de Dados.

Ressalta-se ainda que as transformações entre sistemas de coordenadas, em projeções cartográficas, por ocasião da adoção de diferentes referenciais, são bastante complexas. Por esta razão, as resoluções do quadro anterior devem ser levadas em consideração quando da necessidade de tais transformações nos SIGs.

A seguir, um exemplo das diversas coordenadas que a Estação UFPR-Curitiba, citada anteriormente, pode assumir quando as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) são transformadas em coordenadas planas UTM (E e N) para os diferentes referenciais, considerando Fuso 22 e Meridiano Central 51°W. As transformações foram realizadas através de aplicativo disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Estação UFPR-CTBA (INPE, 2016)

Estação RBMC	E (metros)	N (metros)	Referencial
UFPR-CTBA	677.878,515299	7.184.223,31044	SIRGAS2000
	677.878,515300	7.184.223,31043	WGS84
	677.928,347763	7.184.267,13507	SAD69
	677.932,740197	7.184.229,76313	CÓRREGO ALEGRE

Nota 12: as diferenças de coordenadas planas UTM, em metros, devidas às mudanças de referencial como as apresentadas na tabela acima, são importantes de serem observadas por todos os usuários de mapas e SIGs, uma vez que as mesmas impactam o cálculo de distâncias (m) e de áreas (m²), de forma diferenciada em função da escala das representações, em muitas aplicações. O fato de uma determinada porção do território não possuir todos os dados planimétricos necessários a uma determinada aplicação geralmente leva o usuário a compor dados de diferentes fontes e referenciais, o que pode prejudicar a análise dos mesmos se estes não forem compatibilizados (transformados) para o mesmo referencial geodésico. Percebe-se ainda pelos valores apresentados na referida tabela que as diferenças lineares absolutas do Referencial SIRGAS2000 (em vigor) para o WGS84 são quase inexistentes, porém, as diferenças lineares absolutas do SIRGAS2000 para os demais referenciais (SAD69 e Córrego Alegre) são bastante significativas, chegando a 66,36m no caso do SAD69 para a Estação UFPR-CTBA, o que corresponde, na escala 1:2000, por exemplo, a um afastamento de quase 33,2mm, bem acima do erro gráfico permitido para a escala que é 1/5mm, ou seja, 4m no terreno.

Outro ponto importante a ser considerado diz respeito ao *Datum* local (ou referência local), muito empregado em levantamentos topográficos não vinculados ao SGB. As coordenadas de pontos obtidos destes levantamentos não são compatíveis com as coordenadas de pontos obtidos de levantamentos geodésicos utilizados na produção do mapeamento sistemático terrestre básico (escala 1:25000 a 1:1000000) ou de outros mapeamentos em escalas maiores (escalas cadastrais) vinculados ao SGB.

Nos levantamentos topográficos não vinculados ao SGB, a origem do sistema é arbitrada, bem como, a projeção adotada é geralmente a ortogonal cotada (plano tangente à superfície terrestre, onde as distâncias horizontais são projetadas segundo uma escala constante e as direções são projetadas em verdadeira grandeza), sem relação, portanto, com a projeção UTM empregada nos mapeamentos oficiais. Assim, não é aconselhável integrar bases de dados provenientes de levantamentos topográficos a bases de dados provenientes de mapeamentos regidos pelo SGB, uma vez que não existe correspondência geométrica entre eles.

É possível relacionar as coordenadas plano-retangulares obtidas de levantamentos topográficos locais com o sistema de coordenadas geodésicas. Para tanto, deve-se levar em consideração o que preconiza a NBR 14166 relativa à Rede de Referência Cadastral Municipal, amarrando os referidos levantamentos topográficos ao SGB, o que requer, muitas vezes, levantamentos de campo adicionais.

Capítulo II – Aquisição de dados geoespaciais

Entrada de Dados em SIG

A entrada de dados em SIG compreende um conjunto de técnicas e métodos de obtenção de dados e sua consequente preparação para compor os bancos de dados geográficos.

São muitas e variadas as fontes de dados geográficos existentes, compreendendo escalas, projeções cartográficas, sistemas de referência e sistemas de coordenadas distintos.

Fundamentação e Base teórica

Entrada de dados geoespaciais

A entrada de dados em SIG requer, do usuário, uma busca por **dados geoespaciais** e por atributos disponíveis, com ou sem custo, nas diversas instituições e/ou organizações, tanto públicas como privadas.

Tal busca pode ser realizada, atualmente, através da *World Wide Web* (WWW), uma vez que instituições/organizações, principalmente as públicas, vêm disponibilizando seus acervos de dados *online* ou, ao menos, informações acerca dos dados por elas produzidos (metadados).

Para a busca de dados desta natureza, é necessário conhecer as instituições/organizações responsáveis pela sua produção, como por exemplo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), produtor de dados estatísticos, dados geodésicos e dados cartográficos, em diversas escalas, em nível nacional; o Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG), produtor de dados cartográficos diversos (de referência e temáticos), em nível regional (Estado do Paraná); ou ainda o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, produtor de dados cartográficos, em nível local (Município).

A entrada de dados em SIG requer, ainda, que o usuário do sistema tenha acesso a informações relevantes sobre os dados disponibilizados por tais instituições/organizações (metadados), tais como, escala de representação, projeção cartográfica utilizada, sistema de coordenadas empregado, *Datum* (horizontal e/ou vertical), unidades de medida, ano de obtenção/produção dos dados originais, entre outros, bem como, das transformações matemáticas necessárias à compatibilização destes dados, provenientes de fontes variadas, em formatos variados, e muitas vezes incompatíveis.

O armazenamento de dados geoespaciais em meio digital é, atualmente, senso comum, e tais dados podem ser disponibilizados por meio de repositórios, bases de dados e bibliotecas digitais, além de portais, tais como o Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais – SIG Brasil, que compreende uma rede de servidores integrada à

Internet, denominada Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais (DBDG), e que tem por objetivo integrar as entidades provedoras de dados geoespaciais, facilitando o acesso do usuário a estes dados e a outros recursos. Entre as principais entidades provedoras encontram-se: a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN); o Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA); o citado Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

DADOS GEOESPACIAIS

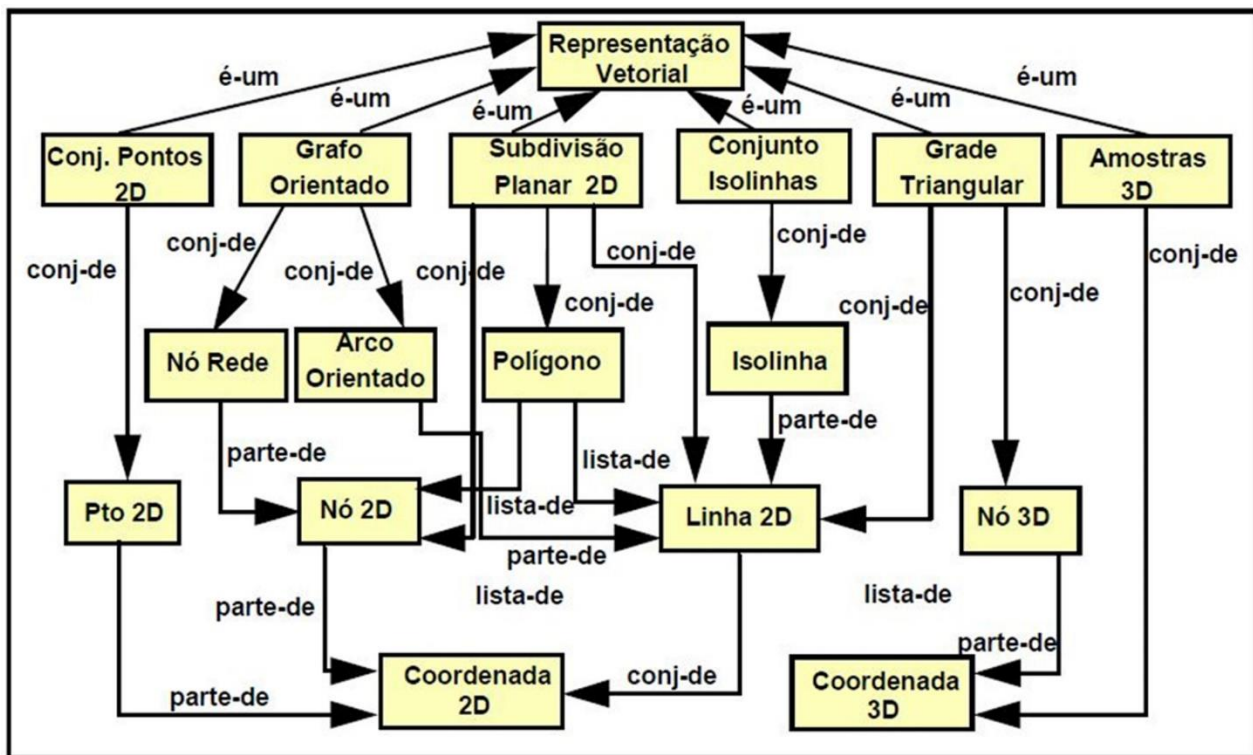
Segundo a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) dados e informações geoespaciais são aquelas que “**se distinguem essencialmente pela componente espacial**, que associa a cada entidade ou fenômeno uma localização na Terra, traduzida por sistema geodésico de referência, em dado instantâneo ou período de tempo, podendo ser derivado, entre outras fontes das tecnologias de levantamento, inclusive as associadas a sistemas globais de posicionamento apoiados por satélites, bem como de mapeamento ou de sensoriamento remoto”

Disponível em: http://www.inde.gov.br/faq#4_1

Formas de representação de dados geoespaciais

A **representação** de cada entidade ou fenômeno observado na superfície da Terra é feita, em meio digital, por dois tipos de dados geoespaciais, comumente denominados de vetoriais e matriciais.

No **modelo de representação vetorial**, os elementos e fenômenos geográficos são descritos por meio de pontos, linhas e/ou polígonos. Neste modelo o ponto é a estrutura básica, uma linha é uma união de pontos e o polígono uma linha fechada (vértice inicial igual ao final), ou uma união de linhas. Por apresentar limites espaciais bem definidos, este tipo de representação é mais utilizado para descrever fenômenos espaciais discretos, como por exemplo um campo de futebol ou uma edificação.

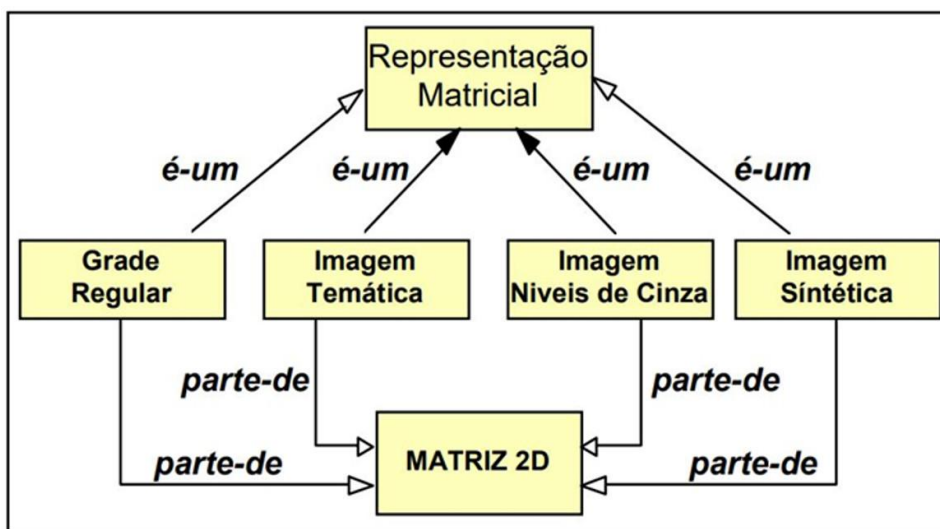


Hierarquia de classes para representação vetorial – conforme Câmara et al. (2001)

Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>

No **modelo matricial** os elementos e fenômenos geográficos são representados por matrizes composta por células, cuja a estrutura básica é o *pixel* (termo derivado da junção das palavras em inglês *picture elements*). As variações observadas no espaço são representadas por variações nos valores das células. A faixa de variação nos valores das células define a “profundidade” da imagem, ou quantidade de bits. Imagens que apresentam variações com dois valores possíveis apresentam profundidade de 1bit (2^1), enquanto que aquelas que apresentam 256 valores possíveis correspondem as imagens de 8bits (2^8). Outras faixas de valores usuais são 11 e 16bits.

Neste modelo cada pixel apresenta uma relação com a superfície do terreno representada pelo mesmo, a qual define sua resolução espacial. Esta resolução pode ou não apresentar relação com a escala (conforme será mostrado no próximo capítulo).



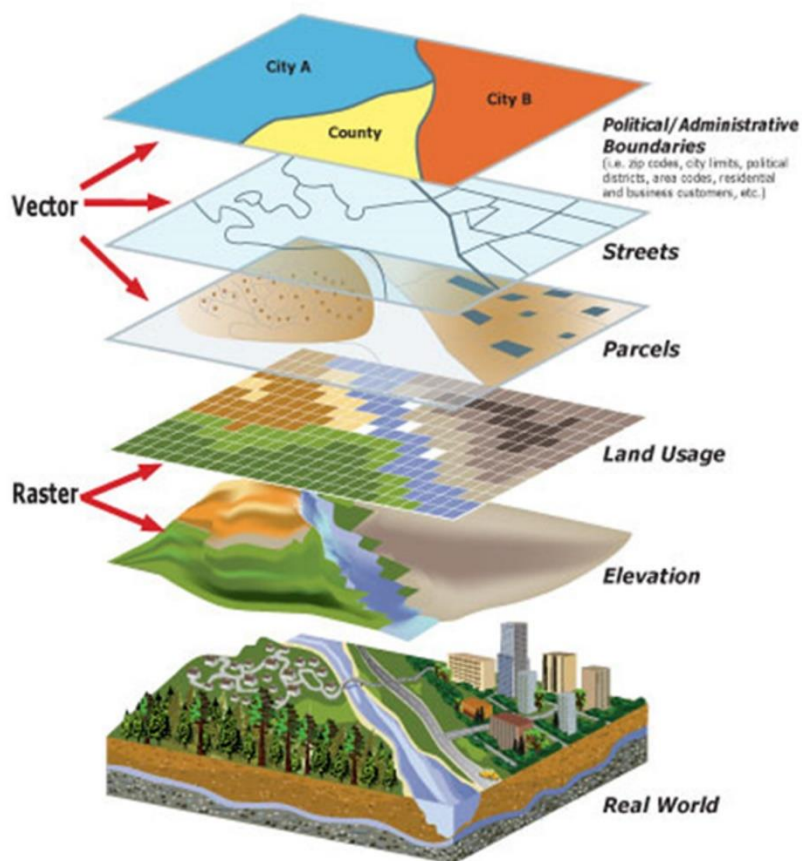
Hierarquia de classes para representação matricial – conforme Câmara et al. (2001)

Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>

Apesar das estruturas vetoriais e matriciais poderem ser utilizadas para diferentes fins, a estrutura matricial é em geral mais utilizada para representar superfícies contínuas.

Em função de suas afinidades com as tipologias dos fenômenos representados, estas estruturas são usualmente nominadas de geo-campo (para dados matriciais) e geo-objeto (para dados vetoriais).

Duas boas referências sobre este assunto são as obras de Câmara et al. (2001) e , Matos (2008) cujas referências podem ser encontradas no final deste livro.



Modelos de representação: dados geospaciais

Disponível em: <http://shawneepsi.com/wp-content/uploads/2014/08/GIS.jpg>

Dados geospaciais matriciais podem ser produtos diretos do Sensoriamento Remoto (orbital ou suborbital) ou o resultado da escanerização de cartas/mapas impressos.

Interoperabilidade

A interoperabilidade, ou seja, a capacidade que os diversos sistemas que disponibilizam dados geospaciais e seus metadados têm que ter a fim de interagir e de intercambiar informações de forma transparente ao usuário, consiste na peça chave para que os resultados esperados em uma busca realizada por meio de Portais sejam alcançados.

Para tanto, a definição de normas e padrões abertos e de métodos para a troca de informações é primordial. No caso de dados geoespaciais produzidos em território brasileiro, as normas cartográficas a serem adotadas são as elaboradas pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

A CONCAR é ainda responsável pela homologação dos padrões para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), pela definição das diretrizes para o Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais (DBDG) e pela garantia de que este diretório seja implantado e mantido em conformidade com os Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico (e-PING).

É importante ressaltar que o usuário, ao produzir informações a partir dos dados geoespaciais disponibilizados, pode realimentar o referido diretório, contribuindo para a sua expansão e para a disponibilização de novas informações.

A figura a seguir apresenta o sítio do IBGE na Internet, onde podem ser encontrados diversos produtos, em meio digital, em diferentes formatos de arquivo e escalas, além de documentos de texto que descrevem a origem dos dados utilizados na sua geração, entre outros.



Mapeamento topográfico: produtos disponibilizados (IBGE, 2016)

Outras formas de entrada de dados geoespaciais em SIG

Além das fontes externas citadas (relativas aos dados geoespaciais digitais disponibilizados por meio da Rede Mundial de Computadores), outras formas de entrada de dados são possíveis. Entre elas:

Teclado, Mouse e Mesa Digitalizadora

Dados podem ser digitados, via teclado, tanto para a criação de feições, por meio de suas **coordenadas**, como para a descrição destas mesmas feições, por meio de seus **atributos**.

Da mesma forma, o mouse pode ser utilizado como forma de entrada de dados, possibilitando a digitalização manual de feições, diretamente da tela do computador, de forma discreta ou contínua, tendo uma imagem digital como referência (fundo).



Teclado e mouse (CIÊNCIA MODERNA, 2016)

Mesas digitalizadoras foram muito utilizadas, nas décadas de oitenta e noventa do século XX, como forma de **entrada manual** de dados a partir de representações cartográficas em meio analógico (papel). Um cursor era utilizado tanto para a orientação da representação sobre a mesa como para percorrer as feições de interesse e armazená-las, em formato digital, na memória de um computador.

As mesas digitalizadoras, embora ainda muito utilizadas em outras áreas (publicidade e artes), foram gradativamente substituídas por outras tecnologias, tais como os

processos de vetorização (automático e semiautomático) de representações rasterizadas por meio de *scanners* de alta resolução.



Cursor sobre mesa digitalizadora (s. r.)

Scanner e Software de Vetorização

Atualmente, os processos de vetorização de representações cartográficas rasterizadas dominam este tipo de entrada de dados em SIG e têm como referência documentos ou acervos cartográficos analógicos transformados para o formato matricial digital (*raster*) a partir do uso de *scanners* de alta resolução.

Tais representações cartográficas rasterizadas podem ser utilizadas como fundo em uma tela de computador e, como mencionado anteriormente, as orientações desta representação, bem como a digitalização das feições, podem ser realizadas com o auxílio do mouse do computador.

Nota 10: exemplo de *software* conversor de formatos raster para vetor (R2V), versão Windows. A imagem rasterizada ao fundo serve como referência para a vetorização realizada, de forma semiautomática, pelo *software*, que armazena as linhas e outras feições (apresentadas na cor vermelha) sob a forma vetorial.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 10068:1987, estabelece as dimensões, em milímetros, dos formatos de papel para a apresentação de desenhos técnicos, entre eles os produtos resultantes de mapeamentos, tanto impressos como copiados. Os formatos mais comuns são: A0 (841mm x 1189mm), A1 (594mm x 841mm), A2 (420mm x 594mm), A3 (297mm x 420mm) e A4 (210mm x 297mm). Estes podem ser utilizados tanto na posição retrato (vertical) como paisagem (horizontal), apresentando diferentes valores de margem e quadro. As mesas digitalizadoras e os *scanners* têm o seu tamanho definido em função do formato dos documentos que suportam.

Imagens de Alta Resolução

As imagens de média e alta resolução, obtidas por sensoriamento remoto ou por processos fotogramétricos, são uma outra fonte importante de dados para os SIGs.

Tais imagens, muitas vezes obtidas gratuitamente ou até mesmo a um custo baixo, podem ser utilizadas como fundo para a digitalização de feições geográficas, desde que apropriadamente registradas. Tal registro é feito a partir do reconhecimento, na imagem, de pontos notáveis do terreno cujas coordenadas (geográficas, geodésicas ou planas UTM) são conhecidas ou possam ser determinadas por levantamento (Topográfico ou Geodésico, dependendo da precisão/acurácia requeridas). A escala de representação das feições digitalizadas, nestes casos, é sempre proporcional à resolução da imagem e à precisão/acurácia dos levantamentos de apoio. Assim,

quanto maior a resolução das imagens e a precisão/acurácia com que o apoio é determinado, maior poderá ser a escala de representação das feições.

A escala de representação de feições obtidas a partir da digitalização de imagens de alta resolução ainda depende do tipo de sensor utilizado na obtenção de tais imagens e de parâmetros tais como a distância do sensor à superfície terrestre e o tamanho da área imageada.

Nota 11: ressalta-se que imagens obtidas por sensoriamento remoto ou por processos fotogramétricos apresentam distorções/degradações devidas a vários fatores (tais como, sistema de varredura, câmera, sistema de lentes, atmosféricos, relevo, processamento, compactação, entre muitos outros) e, por esta razão, antes de serem comercializadas ou disponibilizadas, muitas vezes recebem um tratamento digital que tem por objetivo amenizar tais distorções, garantindo um produto de maior qualidade.

As melhores imagens para uso em SIG são as resultantes de processo de **retificação**, ou seja, são aquelas em que a distorção devido ao relevo (escala variável ao longo da imagem) é corrigida, resultando numa imagem de escala constante.

A figura a seguir apresenta imagens obtidas com câmera fotogramétrica digital aerotransportada, em diferentes resoluções (tamanhos de pixel). Quanto menor o tamanho do pixel (indicado em centímetros) maior é a resolução da imagem e, conseqüentemente, mais fina é a discriminação dos objetos imageados.



Pixel 5cm



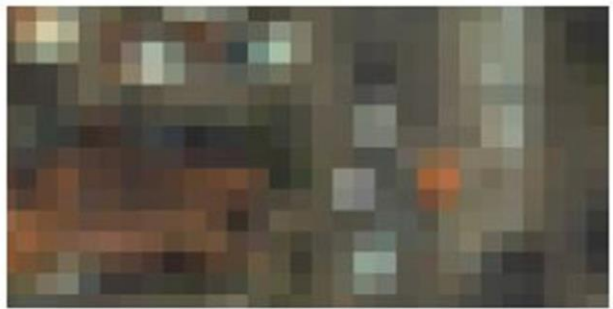
Pixel 25cm



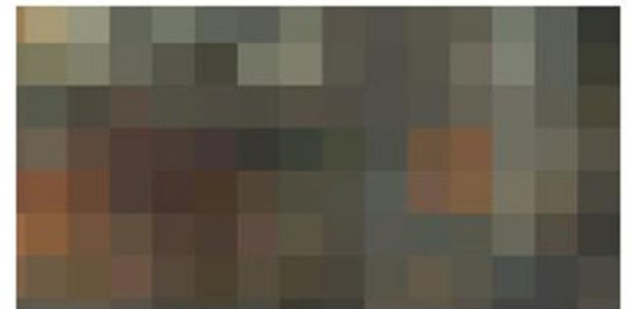
Pixel 50cm



Pixel 100cm

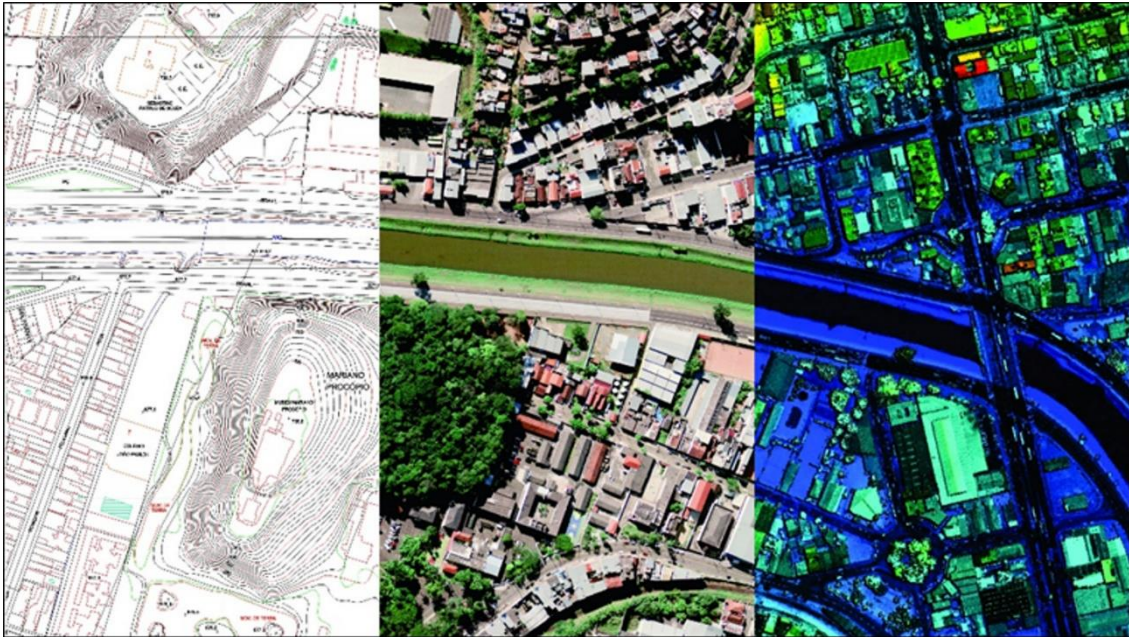


Pixel 250cm



Pixel 500cm

Diversas Resoluções para a Mesma Área da Praça Rui Brabosa – Curitiba – PR (ESTEIO S.A., 2016)



Restituição fotogramétrica, ortofoto e varredura laser (ESTEIO S.A., 2016)

Nota 12: as imagens geradas, seja pela captura direta por meio de câmera digital, ou seja pelo resultado de um processamento, tais como os modelos digitais mencionados, estão no formato espacial denominado **matricial** ou **raster**, relativamente à forma como são estruturadas (conjunto de pixels aos quais são atribuídos valores ou classes). Estas imagens, no entanto, e em função do *software* utilizado na sua geração, são armazenadas em diferentes **formatos de arquivo** (denominados **extensões**). Estes dizem respeito aos diversos tipos de compressão que os pixels de uma imagem podem sofrer ao serem armazenamento na memória do computador. Os formatos de arquivo mais comuns em SIG são: **GeoTIFF** - *Geographic Tagged Image File Format* (extensões **.TIF** e **.TFW**); **JPGE 2000** - *Joint Photographic Expert Group* (extensões **.JP2** e **.J2W**); **MrSID** - *Multiresolution Seamless Image Database* (extensões **.SID** e **.SDW**); **ECW** - *Enhanced Compression Wavelet* (extensão **.ECW**); entre outros. Recomenda-se ao usuário que, ao tentar manipular uma imagem num *software* de SIG, verifique se o formato de arquivo desta imagem é suportado pelo *software*, caso contrário, o usuário deverá realizar uma transformação de formato (exemplo: JPEG para TIFF ou vice-versa) para poder manipulá-lo.

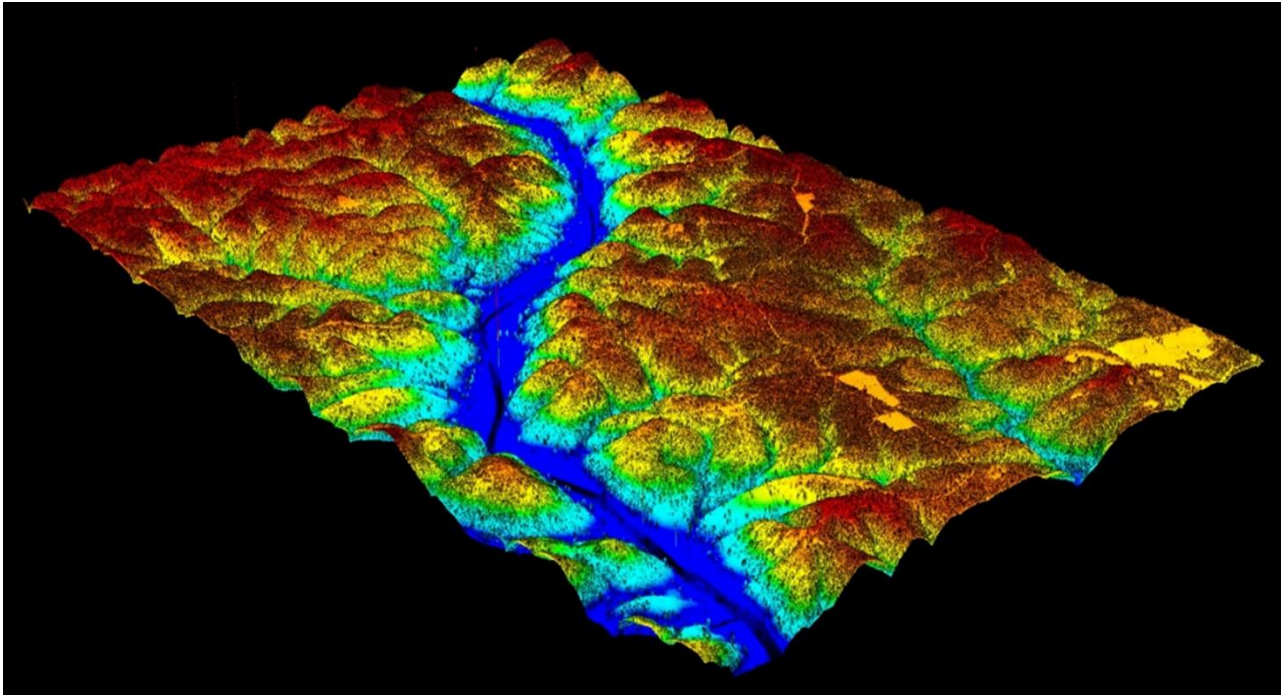
Modelos Digitais de Elevação, Terreno e Superfície

Os modelos digitais de elevação, terreno e superfície são, como o próprio nome designa, modelos matemáticos tridimensionais gerados a partir de informações altimétricas (relevo) da superfície terrestre ou marinha. Uma boa referência sobre modelos digitais de elevação e processos de obtenção pode ser encontrada em Li et al. (2005), Sopchaki (2016) e Sopchaki et al. (2016).

Tais informações altimétricas podem ser obtidas a partir da correlação de imagens fotogramétricas, ou através de radares interferométricos, ou ainda a partir de sistemas de varredura laser (terrestres ou aerotransportados), tais como o LIDAR topográfico ou batimétrico e o Sonar. Estes dois últimos empregados na determinação de profundidades em áreas costeiras e em corpos d'água (lagos, lagoas e rios).

Os sistemas de varredura laser normalmente produzem uma nuvem de pontos aleatórios, cuja resolução (quantidade de pontos por m²) no terreno depende de uma série de parâmetros, tais como, frequência de varredura, ângulo de varredura, largura da faixa varrida e altura do sensor em relação ao solo.

Os padrões de varredura sobre o terreno também dependem do sensor utilizado (zigzague, senoidal, espiral, linhas paralelas), resultando numa massa de pontos não uniforme, com diferentes espaçamentos (longitudinal e transversal), e que precisa de tratamento matemático (classificação, filtragem e interpolação) para uma eficiente caracterização do relevo.



Modelo Digital de Superfície (MDS) - vista em perspectiva (ESTEIO S.A., 2016)

Além da altitude dos pontos, o processamento da intensidade do sinal emitido por tais sistemas de varredura laser permite obter, além de **imagens de intensidade**, **imagens de composição** (hypsometria e intensidade), tais como as apresentadas a seguir. Estas, em específico, apresentam uma variação de cores que permite discriminar visualmente as áreas mais altas (tons de amarelo, vermelho e marrom) e mais baixas (tons de azul e verde) da superfície retratada, determinadas pela proximidade dos objetos no terreno em relação ao sensor. Não há uma regra sobre paleta de cores empregadas na representação do relevo, mas é de senso comum que áreas baixas (vales) sejam representadas em tons de azul ou verde e áreas altas (dorsos e cumes das elevações) sejam representadas em tons de marrom.



Imagem de intensidade - Rio Pinheiros - São Paulo - SP (ESTEIO S.A., 2016)

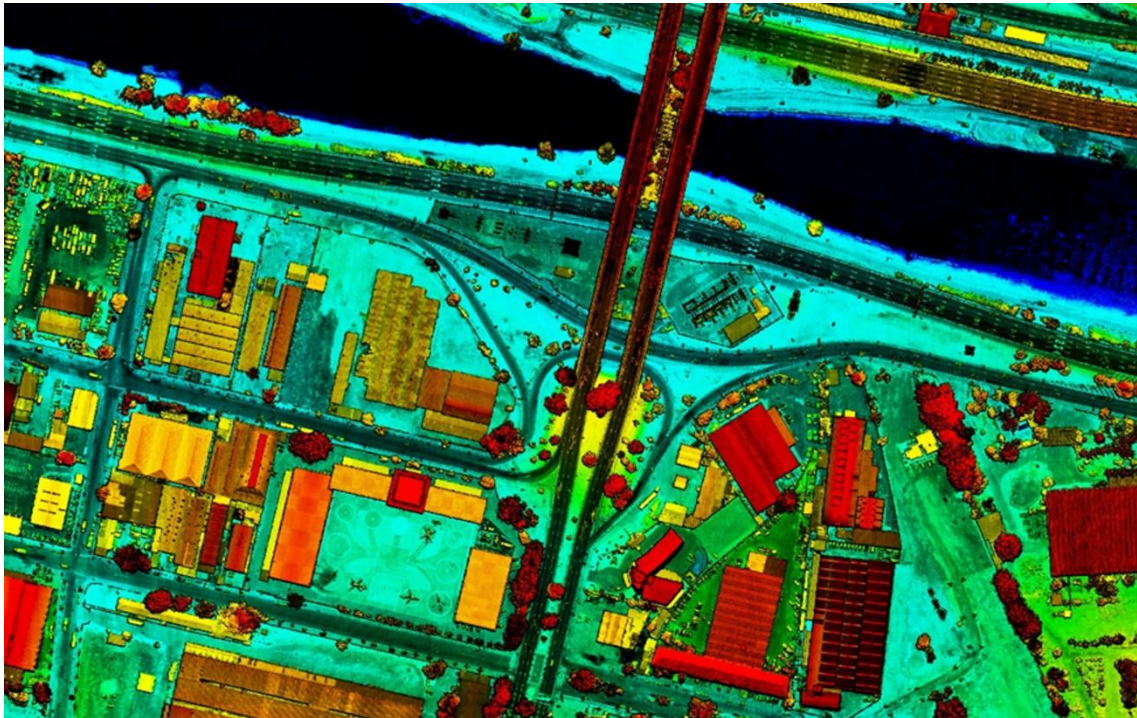
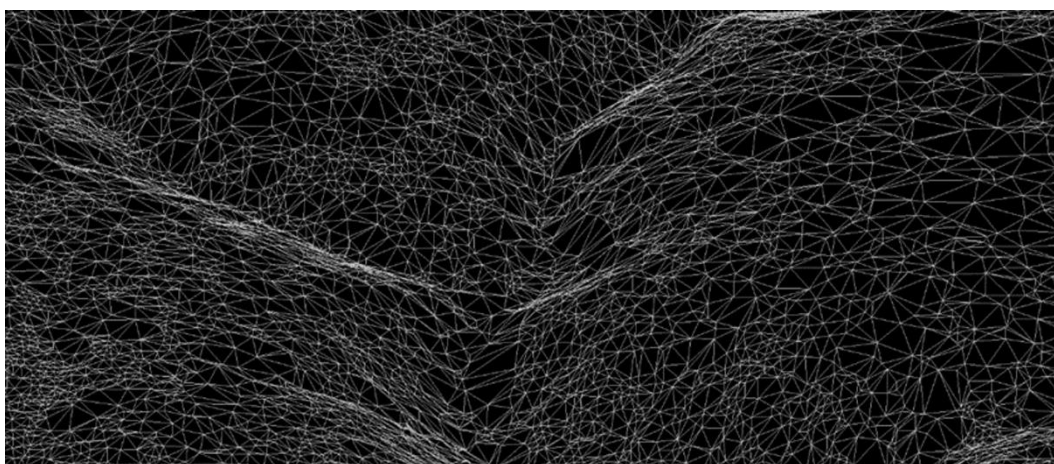
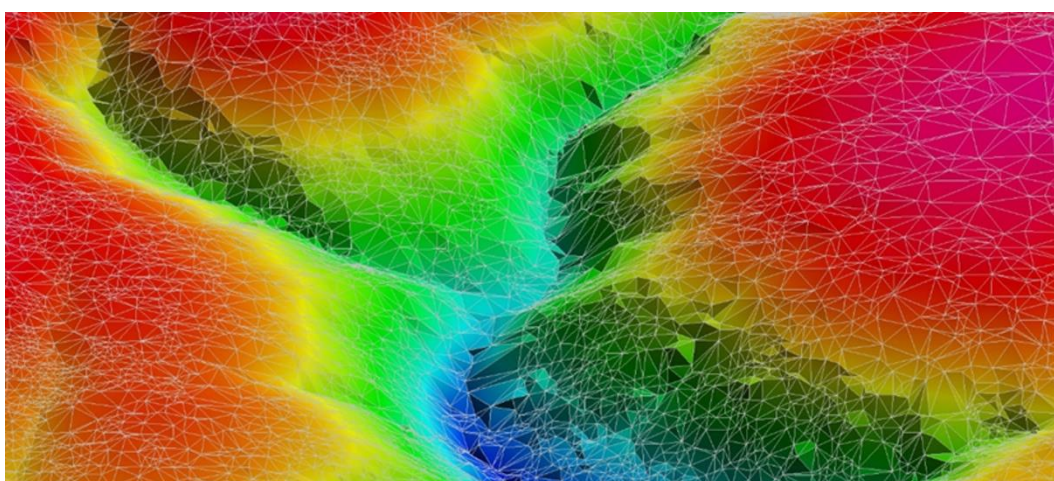


Imagem de composição (Intensidade e Hipsometria) - Rio Pinheiros - São Paulo - SP (ESTEIO S.A., 2016)

As grades regulares (com espaçamento constante: MDE, MDT e MDS) assim como as irregulares, podem ser obtidas a partir de algoritmos presentes, entre outros, nos *softwares* de SIG. Entre as grades irregulares mais utilizadas está o TIN – *Triangulated Irregular Network*. Este constitui um modelo digital de terreno baseado em um arranjo de pontos que, quando conectados três a três, geram superfícies constituídas por facetas triangulares contínuas não superpostas (Maune et al. (2007), como apresentado na figura a seguir.



Exemplo de TIN - vista em perspectiva (ESTEIO S.A., 2016)



Exemplo de TIN renderizado - vista em perspectiva (ESTEIO S.A., 2016)

Nota 13: ressalta-se que os modelos digitais resultantes da interpolação de grades regulares (MDE, MDT e MDS) são disponibilizados, nos SIG, no formato raster ou matricial (imagem); enquanto os resultantes da interpolação de grades irregulares (TIN) são disponibilizados no formato vetorial. Estes formatos serão abordados em maior detalhe nos capítulos seguintes.

Receptores GPS e Coletores de Dados

Atualmente, com a evolução tecnológica de diversos dispositivos eletrônicos, tais como receptores GPS, PDAs, celulares e *tablets*, é possível utilizá-los na coleta de dados diversos do terreno e transferir tais dados, direta ou indiretamente (pós-processamento), para os bancos de dados geográficos, o que facilita, por exemplo, tanto a verificação como a atualização das informações contidas nestes bancos.

Assim, é possível verificar as coordenadas que definem uma determinada feição existente e que se encontra armazenada no banco de dados, bem como é possível verificar, *in loco*, os atributos de tal feição, ou ainda, captar e introduzir feições inexistentes ou que sofreram algum tipo de alteração, seja esta de caráter geométrico ou semântico.



Exemplos de coletores de dados (EMBRATOP, 2016)

Considerações Importantes

Ressalta-se que, para fins de entrada de dados geográficos em SIG, não é recomendável a transformação entre sistemas de referência, por exemplo, entre SAD69 e SIRGAS2000, sem que haja, previamente, um estudo da origem dos dados cartográficos disponibilizados em SAD69, ou seja, sem o devido conhecimento da realização do SAD69 à qual tais dados estão relacionados.

Ressalta-se ainda que não é recomendada a integração de bases de dados existentes produzidas em diferentes escalas (sejam estas de análise ou de visualização). No caso de integração de bases de dados de diferentes fontes e escalas, aconselha-se o estudo da precisão e acurácia dos dados de origem a fim de estimar a escala final mais apropriada da base de dados resultante, uma vez que a escala desta irá influenciar a escala de visualização/representação dos produtos gerados a partir dela.

É imprescindível salientar que, em bancos de dados geográficos, pode-se agregar todo e qualquer tipo de dado disponível, porém, gerar produtos cartográficos a partir da ampliação dos dados disponibilizados consiste erro conceitual gravíssimo, uma vez que em cartografia, um produto só pode ser gerado a partir de outro de escala maior, ou seja, de maior precisão/acurácia, ou ainda, de maior detalhamento. O processo que permite gerar produtos em escalas menores (exemplo: planta 1:10000) a partir de outros em escalas maiores (exemplo: planta 1:2000) é denominado *generalização cartográfica*, e este compreende regras e procedimentos específicos para a sua realização.

Para a determinação da escala de visualização/representação de um produto a partir da precisão/acurácia geométrica com a qual os dados são obtidos e armazenados, recomenda-se o estudo e o emprego do Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC (Decreto nº 89817, de 20 de junho de 1984). Embora este padrão tenha sido definido para as cartas topográficas, em papel, do mapeamento sistemático brasileiro produzidas nas escalas entre 1:25000 e 1:250000, o mesmo é geralmente empregado na classificação de produtos em escalas maiores, como as cadastrais, sejam analógicos ou digitais. Mais recentemente, no Brasil, a Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais - ET-PCDG da Diretoria do Serviço

Geográfico do Exército (2014) reviu e expandiu o conceito do PEC para os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), abrangendo as escalas entre 1:1.000 e 1:250000 (DSG, 2014).

Outra forma de definir a escala final de um produto de SIG, a partir da avaliação da qualidade dos dados originais, é consultando os padrões do Comitê Federal de Dados Espaciais norte americano (FGDC - *Federal Geographic Data Committee*). Este promove o uso, desenvolvimento e compartilhamento coordenados de dados geoespaciais nos EUA e disponibiliza diversas publicações que definem os padrões de acurácia/precisão de diferentes produtos cartográficos.

O conceito de escala em SIG será aprofundado, mais adiante, em capítulo específico que considera outras características, além da acurácia e precisão geométricas, para a sua composição/determinação.

Fontes de dados e recursos geoespaciais

O cenário atual de compartilhamento de dados e recursos na internet permite ao usuário o acesso a uma gama de informações sem precedentes. Adicionalmente, a criação da Infraestrutura de Dados Espaciais e a Lei de Acesso à Informação têm contribuído para que as instituições governamentais também aumentem a publicação de dados oficiais para a comunidade.

Há várias formas de acesso a estes dados. Algumas vezes, podemos baixar *shapefiles*, imagens ou outros arquivos dos sites das instituições. Outras vezes, podemos acessar o mesmo dado através de um geoserviço ou de um catálogo. Abaixo, apresenta-se as várias formas de acesso a estes dados. Os sites em inglês estão marcados com um asterisco (*)

1. Mapeamento Sistemático

As cartas topográficas são importantes fontes de dados oficiais sobre o território. No Brasil, a cartografia sistemática terrestre em escalas inferiores a 1:25000 está a cargo

do IBGE e da DSG, mencionados anteriormente. Estas instituições divulgam as cartas existentes:

- DSG – Banco de Dados Geográfico do Exército Brasileiro [1] – estão disponíveis para download cartas topográficas matriciais e vetoriais, ortoimagens e modelos digitais de superfície, nas escalas de 1:25000 a 1:250000. Há vários níveis de acesso, nível 1 para usuários não cadastrados, 2 para cadastrados, 3 para cadastrados com envio de documentação e 4 para órgãos públicos com convênio com a DSG ou para Órgãos Militares. Cada nível permite o acesso e o download a um número maior de dados. Adicionalmente, o exército criou o complemento para o *software* livre QGIS® chamada BDGex, que permite a visualização de cartas em formato matricial, imagens RapidEye e Landsat mosaicadas, a criação de bancos de dados estruturados segunda a ET-EDGV, entre outras funções.
- IBGE – a instituição é responsável pela criação e divulgação de uma série de dados, mas para mapeamento sistemático, temos algumas opções de acesso. Uma é o site de downloads de geociências [2]. Na opção Mapeamento sistemático é possível baixar folhas em formato matricial ou raster em diversas escalas e ainda acessar as bases contínuas do Brasil na escala 1:1000000 e 1:250000. Outras opções para o acesso a estes dados são o Portal de Mapas da instituição [3] e a biblioteca [4], no qual é possível também baixar cartas antigas.

Em termos de mapeamento sistemático náutico, este trabalho fica a cargo da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha (DHN). No site [5], é possível baixar cartas náuticas e documentação associada. Já o mapeamento sistemático aeronáutico é de responsabilidade do Instituto de Cartografia da Aeronáutica (ICA), que disponibiliza as cartas aeronáuticas para download no site [6].

[1] – <http://www.geoportal.eb.mil.br>

[2] - http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm

[3] - <http://portaldemapas.ibge.gov.br>

[4] - <http://biblioteca.ibge.gov.br/>

[5] - <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/>

[6] - <http://www.decea.gov.br/servicos/ais-web/>

2. Imagens de Satélite e Modelos Digitais de Elevação

Além das empresas que possuem páginas de catálogo para compra de imagens de satélite comerciais, pode-se contar com a possibilidade de baixar imagens de satélite gratuitas ou compradas por uma instituição para distribuição para fins específicos. No Brasil, pode-se contar com o catálogo do INPE [7], onde encontra-se imagens Landsat, CBERS e de outros sensores. Para instituições públicas envolvidas nos processos de Cadastro Ambiental Rural, além de instituições acadêmicas públicas, é possível solicitar um cadastro e fazer download de imagens RapidEye (5 metros de resolução) de todo território nacional através do Geocatálogo do Ministério do meio ambiente [8].

Internacionalmente, há uma série de opções para download gratuito como o catálogo Earth Explorer do Serviço Geológico Norte-americano (USGS) [9] com imagens Landsat e diversas outras fontes; o catálogo das imagens de radar Sentinel da Agência Espacial Europeia [10]; e o catálogo da Agência Espacial Japonesa de Modelos Digitais de Superfície proveniente dos satélites ALOS [11].

Há também os catálogos exclusivos de Modelos Digitais de Elevação disponíveis para download. A opção do Topodata [12], disponibilizada pelo INPE, inclui um processamento para ampliar a resolução espacial dos dados do SRTM, originalmente em 90 metros, para 30 metros. A Embrapa também disponibiliza dados do SRTM através do site do projeto Brasil em Relevo [13]. Há também modelos digitais para download nos portais do IBGE e da DSG [1], [2] e [3].

[7] - <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>

[8] - <http://geocatalogo.mma.gov.br/>

[9] - <http://earthexplorer.usgs.gov/>

- [10] - <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- [11] - <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>
- [12] - <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/>
- [13] - <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>
- [14] - <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>

3. Dados Temáticos – Governo Federal

Vários órgãos do governo federal disponibilizam seus dados para o público através da INDE, seja no visualizador [15] ou através do catálogo de metadados [16]. Estes dados podem ser acessados em *softwares* de SIG nos formatos padronizados para geoserviços: WMS – *Web Map Service* para mapas em formato final (imagem) ou WFS – *Web Feature Service* para mapas em formato vetorial ou baixados em formatos como o *shapefile*.

Algumas instituições, participantes ou não da INDE, possuem geoportais que podem ser utilizados para consultar e baixar dados. O IBGE, no seu portal [3], disponibiliza cerca de 22000 produtos cartográficos, entre Atlas, Informações Ambientais, Dados geodésicos, entre outros. O Ministério do Meio Ambiente também oferece acesso em duas interfaces [16] para a consulta e download, e [17] apenas para baixar arquivos.

O INCRA disponibiliza seu acervo fundiário também por site [18], incluindo informações sobre imóveis georreferenciados. Várias outras instituições como a Agência Nacional de Águas [19], o IPEA [20], a ANEEL [21], o DNPM [22], o DNIT [23] e a Embrapa [24] disponibilizam também Geoportais e/ou nós da INDE.

- [14] - <http://www.visualizador.inde.gov.br/>
- [15] - <http://www.metadados.inde.gov.br/>
- [16] - <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm>
- [17] - <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>

- [18] - <http://acervofundiario.incra.gov.br/>
- [19] - <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>
- [20] - <http://mapas.ipea.gov.br/i3geo/datadownload.htm>
- [21] - <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>
- [22] - <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>
- [23] - <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo/mapas-multimodais>
- [24] - <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/>

4. Instituições Estaduais e Municipais

A INDE é de participação obrigatória apenas para instituições do governo federal. No entanto, alguns estados já possuem suas IDEs, como a Bahia [25], São Paulo [26] e Minas Gerais [27]. No entanto, diversos outros órgãos estaduais também possuem Geoportais e páginas para download de dados, como estes exemplos em Goiás [28], Espírito Santo [29] e Paraíba [30].

As prefeituras são responsáveis pelo mapeamento de referência em grandes escalas, incluindo o Cadastro Imobiliário Urbano. Inúmeras prefeituras disponibilizam seus dados espaciais, como por exemplo Curitiba [31], São Paulo [32], inclusive como IDEs municipais, como a de Belo Horizonte [33].

Em alguns estados e municípios, os dados espaciais fazem parte dos Portais de Dados Abertos, como é o caso do Estado [34] e do Município do Rio de Janeiro [35]. Em qualquer destes casos, é preciso fazer uso de um mecanismo de busca ou entrar em contato diretamente com a instituição desejada.

- [25] - <http://geoportal.ide.ba.gov.br/geoportal/>
- [26] - <http://www.idesp.sp.gov.br/>
- [27] - <http://www.iga.mg.gov.br/IEDE/Inicio.html>

- [28] - <http://www.sieg.go.gov.br/>
- [29] – <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>
- [30] - <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>
- [31] - <http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>
- [32] - <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>
- [33] - <https://geodadosbh.pbh.gov.br/>
- [34] - <http://portalgeo.rio.rj.gov.br/>
- [35] - <http://data.rio/>

5. Dados Estatísticos e Demográficos

O IBGE realiza uma série de importantes pesquisas sobre o território nacional. O SIDRA [36] é Banco de Dados Agregados do IBGE, armazena tabelas contendo os dados agregados das pesquisas que o IBGE realiza, que podem ser unidas às camadas de setores censitários, municípios, estados, para a geração de mapas temáticos.

Também estão disponíveis os resultados dos Censos realizados a cada década. Para baixar os resultados do Censo 2010 agregado por Setores Censitários acessa-se o site [37] e baixa-se a malha dos setores correspondentes, no link [38].

Derivados dos dados coletados pelo IBGE nos censos, são disponibilizados os IDHs de municípios e subdivisões de algumas regiões metropolitanas no site do Atlas Brasil, realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea e a Fundação João Pinheiro – FJP.

- [36] - <http://www.sidra.ibge.gov.br/>
- [37] - [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados do Universo/Agregados por Setores Censitarios/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/)

[38] - ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/censo_2010/setores_censitarios/

[39] - <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>

6. Outras Instituições

Outras instituições também disponibilizam dados gratuitos para a sociedade. Um exemplo são as ONGs, principalmente na área ambiental, como a Imazon [40] e o SOS Mata Atlântica [41].

Instituições acadêmicas também têm empreendido esforços em disponibilizar os dados espaciais gerados em suas atividades de ensino, pesquisa e extensão. Dentre os exemplos estão a Universidade Federal de Goiás [42] e a Universidade Federal do Paraná [43].

[40] - <http://www.imazongeo.org.br/doc/downloads.php>

[41] - <http://mapas.sosma.org.br/>

[42] - <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>

[43] - <http://www.idea.ufpr.br/>

7. Globais

Muitas organizações globais também disponibilizam dados espaciais para o público. Na lista abaixo encontram-se dados de ONGs, da ONU e suas organizações vinculadas, de projetos internacionais e também da NASA.

[44] - <http://www.geonames.org/>

[45] - <http://gcmd.nasa.gov/index.html>

- [46] - <http://geodata.grid.unep.ch/>
- [47] - <http://www.landcover.org/>
- [48] - <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- [49] - [http://www.gebco.net/data and products/
gridded bathymetry data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)
- [50] - <http://reverb.echo.nasa.gov/>

8. VGI – Informação Geográfica Voluntária

Uma nova forma de produzir e compartilhar dados espaciais tem se consolidado: são as informações geradas pelos próprios usuários e organizadas em uma plataforma padronizada. Uma das principais iniciativas é o *OpenStreetMap* (OSM) – plataforma de dados de referência globais. Para baixar os dados do OSM em formato *shapefile*, consultar:

- [51] - <https://www.openstreetmap.org/> e
<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Shapefiles>

9. Software Livre para SIG (FOSS4G)

Além dos dados disponibilizados e utilizados em análises espaciais, também são importantes os *softwares* empregados no gerenciamento e manipulação de tais dados. Abaixo segue uma lista de algumas soluções que são gratuitas e de código aberto, podendo ser usadas livremente:

- [52] - QGIS® - [http://www.qgis.org/pt BR/site/](http://www.qgis.org/pt_BR/site/)
- [53] - PostGIS - <http://postgis.net/>
- [54] - TerraView - <http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>
- [55] - Spring - <http://www.dpi.inpe.br/spring/>

- [56] - gvSIG - <http://www.gvsig.com/pt>
- [57] - Geonode - <http://geonode.org/>
- [58] - Geonetwork - <http://geonetwork-opensource.org/>
- [59] - Openlayers - <http://openlayers.org/>
- [60] - Geoserver - <http://geoserver.org/>
- [61] - MapSever - <http://mapserver.org/>
- [62] - I3geo - <http://www.i3geo.com.br/i3geo/init/>
- [63] - Fundação OSGeo - <http://www.osgeo.org/>
- [65] - CartoDB - <https://cartodb.com/>

10. Listas

Instituições acadêmicas brasileiras também promovem o catálogo e a atualização de fontes de dados geográficos disponíveis. Boas alternativas são as mantidas pela UFF [66] e pela UFRJ [67].

- [66] - <http://www.uff.br/geoden/docs/GeoLISTA.pdf>
- [67] - http://www.labgis.uerj.br/fontes_dados.php

Capítulo III – Cartografia Digital

Dados Geoespaciais: Edição, Manipulação e Qualidade

Este capítulo aborda conceitos de edição, manipulação e qualidade de dados geoespaciais em SIG (estruturas vetorial e matricial). Apresenta elementos relativos a análise da acurácia/precisão posicional, procedimentos para obtenção de dados em levantamentos diversos (topográficos e geodésicos, fotogramétricos e de sensoriamento remoto) e bases para geração de produtos cartográficos diversos (plantas, cartas, mapas, modelos).

Entre os temas abordados está a escala, conceito muito importante e muito debatido por especialistas em função do volume de dados geoespaciais disponíveis atualmente, provenientes de diversas fontes e com qualidades (geométricas e espaciais) distintas.

A edição e análise da consistência de dados é abordada de forma simples e direta, uma vez que esta constitui uma etapa recorrente na prática da maioria dos usuários de SIG.

Propriedades dos Dados Geoespaciais

Dados geoespaciais vetoriais e matriciais são diferentes de outros desenhos vetoriais assistidos por computador (*Computer Aided Design* - CAD) e das demais imagens digitais (fotos e imagens digitalizadas), pois são essencialmente **dados cartográficos**. Como todo dado cartográfico, os dados geoespaciais possuem características que os diferenciam. Estas características podem ser classificadas e agrupadas em atributos básicos e complementares.

Da mesma forma que o mapa impresso deve apresentar as informações básicas necessárias para o correto uso e manipulação de seus dados, os dados geoespaciais devem possuir, para cada camada, um pacote de informações que possibilitem sua identificação e a análise da adequação de seu uso.

Desta forma, é correto afirmar que todo dado cartográfico (digital ou não) apresenta três atributos básicos: escala, referência cartográfica e data. A escala, no caso do arquivo vetorial, e a resolução/escala, no caso do arquivo matricial, definem suas relações com as dimensões reais e os elementos representados no mapa e, principalmente, sua qualidade posicional.

O referencial cartográfico (RC) compreende o conjunto de informações necessárias ao correto posicionamento, no espaço, dos dados, além da obtenção de parâmetros métricos. Desta forma, a localização e as dimensões espaciais dependem do referencial cartográfico adotado e demandam informações sobre o elipsoide, *Datum*, modelo de projeção, sistema de coordenadas, etc.

A data corresponde ao momento de aquisição da base de dados ou período compreendido entre o início e término do levantamento dos mesmos e produção do mapa. Muitas vezes, os produtos cartográficos apresentam distintos referenciais de tempo. Enquanto uma carta topográfica produzida por restituição aerofotogramétrica pode apresentar dados que foram adquiridos em momentos distintos (datas das faixas dos voos), um produto cartográfico derivado de uma imagem de satélite possui data e horário únicos.

Em se tratando de dados geoespaciais, estes três atributos são suficientes para posicionar, datar e obter métricas, contudo podem ser insuficientes para definir a adequação destes dados aos diferentes tipos de usos. Isto decorre, dentre outros

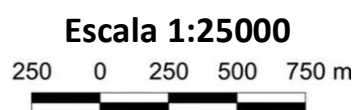
motivos, do fato de que os dados geoespaciais são constantemente alterados, tanto em relação ao referencial cartográfico originalmente atribuído aos mesmos, como em relação à sua escala, número de feições presentes, data de aquisição/atualização dos dados, atributos armazenados e padrões de qualidade/consistência. Este conjunto de informações acerca dos dados (denominado de **metadados**) é essencial para o correto uso dos mesmos e, serão aqui tratados como atributos complementares.

Neste capítulo serão abordados dois atributos básicos dos dados geoespaciais: escala e referencial cartográfico, desde suas formas de determinação, até suas relações com a tipologia e a qualidade dos dados.

Atributos básicos dos dados geoespaciais: Escala

Inicialmente, trata-se o conceito de escala em dados geoespaciais abordando tanto estruturas vetoriais como matriciais. Para além da relação entre a dimensão real e a cartografada, este item aborda a relação entre escala e acurácia posicional. Esta relação define padrões de qualidade e serve de referência para análise da adequação de uso para os dados geoespaciais obtidos a partir de levantamentos diversos (topográficos e geodésicos, fotogramétricos e de sensoriamento remoto).

Distante da tradicional relação na qual a escala é definida a partir da relação entre a distância gráfica medida no mapa (d) e a distância real (D) correspondente no terreno, a noção de escala para dados cartográficos em meio digital apresenta particularidades e limitações que aumentam o nível de complexidade para a sua definição.



Referencial de escala tradicionalmente empregado nos mapas impressos e, na maioria das vezes, inadequado aos Dados Geoespaciais

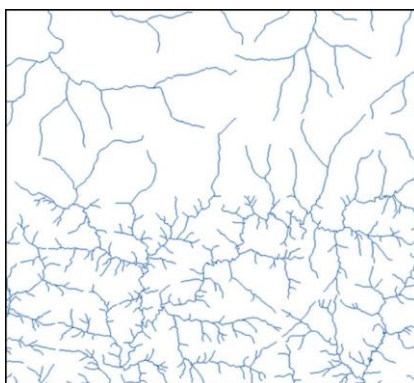
Nota 14: Como escala não é uma igualdade, utiliza-se dois pontos (:) para indicação da escala. Ex.: 1:25000

Enquanto a cartografia dos mapas impressos apresenta os dados como um produto único e escala bem definida, as bases de dados empregadas em ambiente SIG são formadas por diferentes produtos (matriciais, vetoriais e alfanuméricos), os quais empregam múltiplas e complexas escalas.

Nas bases cartográficas tradicionalmente divulgadas em meio impresso, a escala é definida principalmente em função da acurácia posicional (conforme Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC), da fonte dos dados (imagem de satélite/radar, foto aérea) e, da qualidade dos dados que se encontra associada a esta escala.

Desta forma, assumia-se que todas as informações cartografadas em um mapa impresso apresentavam a mesma escala (hidrografia, malha viária, altimetria, edificações, etc.). Nestas bases, a identificação dos problemas e limitações de uma camada/tema era dificultada pela sobreposição das demais camadas.

A partir do momento em que as camadas de dados geoespaciais passaram a ser armazenadas, divulgadas e analisadas de forma isolada, ficou evidente que cada camada de uma base cartográfica pode apresentar diferentes tipos de erros, níveis de completude, acurácia posicional e outras limitações, as quais remetem às mesmas a diferentes escalas e adequações de uso.



Variações na representação da rede de drenagem associadas a problemas de fotointerpretação

Como exemplo, pode-se citar a qualidade da representação da rede de drenagem nas bases 1:100000, 1:50000, 1:25000 e 1:10000, a qual apresenta diferentes tipos de erros: posicional, completude, topologia, etc. A quantidade de erros associados varia significativamente entre as bases cartográficas de um mesmo levantamento e internamente a uma mesma carta topográfica. Em função da quantidade e dimensão dos erros, esta camada de dados pode apresentar diferentes escalas e possibilidades de usos.

Em uma base de dados cartográficos em meio digital podem estar armazenadas camadas produzidas por diferentes instituições (públicas ou privadas) e com diferentes metodologias e recursos técnicos (radar, lidar, fotointerpretação, classificação supervisionada, etc.), as quais podem apresentar diferentes valores de acurácia posicional, temática e/ou de completude e, conseqüentemente, escalas iguais, similares ou diferentes.

Fotos áreas convencionais, imagens capturadas por aeronaves remotamente tripuladas, imagens de satélite de baixa, média e alta resolução, pontos amostrais para geração de modelos interpolados, levantamentos feitos por GPS e outros produtos, fornecem às bases cartográficas em meio digital uma complexa relação dos dados com a noção de escala.

De fato, todo dado cartográfico deve estar associado a pelo menos uma escala de referência, a qual define a maior escala ou, melhor adequação de uso (*fitness for use*), para o mesmo. Três elementos definem a escala dos dados geoespaciais: **acurácia posicional**, **fonte dos dados** e **nível de generalização**. Os dois últimos se aplicam a dados vetoriais e devem estar em consonância com a escala definida pela análise da acurácia posicional.

Escala e acurácia posicional

A **acurácia posicional** é o primeiro e principal item a ser analisado e segue orientações normativas. Seu valor é calculado a partir de um conjunto de pontos de controle e reflete a estimativa de erro de posicionamento (planimétrico e/ou altimétrico) associado aos dados.

No Brasil, a acurácia posicional de uma base cartográfica é mensurada a partir do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica, conforme Decreto 89817/84) ou do PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital, segundo a ET-ADGV da DSG - Diretoria do Serviço Geográfico (2016) e, do EP (Erro Padrão). Segundo o Decreto 89817/84, o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade e correspondente a 1,6449 vezes o valor do erro padrão (EP).

$$PEC = 1,6449 * EP$$

Este mesmo Decreto apresenta o EP como sinônimo dos termos: Desvio Padrão (DP) e Erro Médio Quadrático (EMQ). O EMQ ou EQM (Erro Quadrático Médio) fornece a média dos quadrados dos erros observados entre os valores observados e os de referência. Sendo a raiz quadrada do EMQ, em inglês, RMSE (*Root Mean Square Error*), o valor mais utilizado pelas normas internacionais (exemplo: *Federal Geographic Data Committee* - FGDC e *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - ASPRS) para inferir a acurácia posicional.

A ET-ADGV é a norma da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército) que apresenta os valores para o PEC-PCD e para o EP e, segundo a mesma, seus valores de referência seguem as proposições do Decreto 89817/84 (BRASIL, 1984).

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

Quadro extraído da ET-ADGV com os valores de PEC e EP

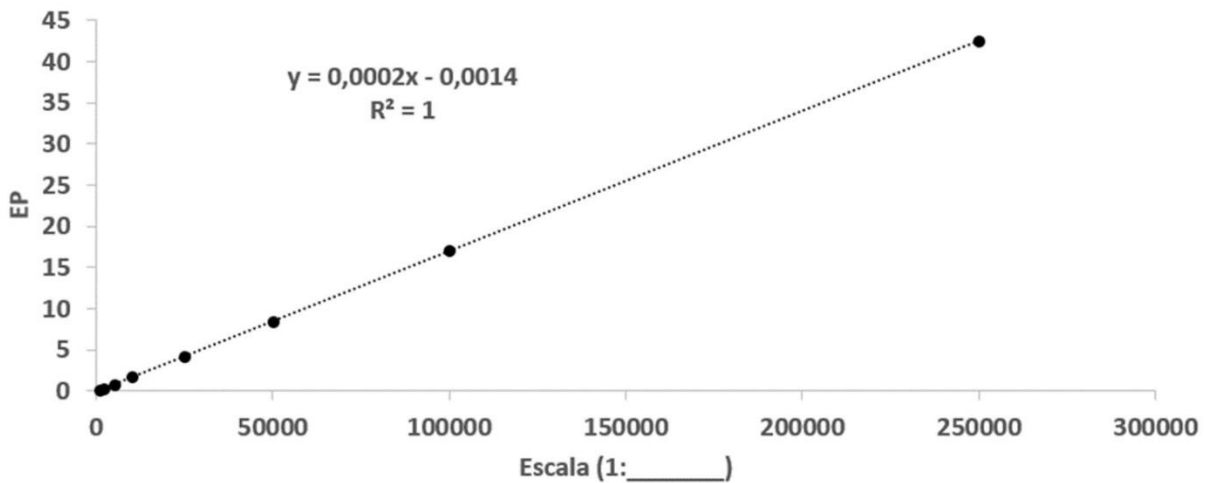
Tabela 14 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos

PEC ⁽¹⁾	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50

Recorte da ET-ADGV com os valores de PEC e EP para escalas de 1:1000 a 1:5000

Desta forma, os produtos cartográficos podem ser enquadrados em diferentes classes, a depender dos padrões de exatidão observados. Enquanto o Decreto 89817/84 definiu três classes (A, B e C), a norma da DSG definiu quatro classes para os produtos da cartografia digital. De acordo com a DSG, a classe A é a de maior qualidade, enquanto a classe B do PEC-PCD correspondente à classe A definida pelo decreto de 84.

ET-ADGV - Relação entre os valores de EP (Planimetria) e Escala



Os valores apresentados pela ET-ADGV seguem uma relação linear entre a escala e os valores do EP e do PEC.

A partir da relação entre os valores de EP e as escalas apresentadas pela ET-ADGV é possível calcular a acurácia necessária para a aquisição de dados geoespaciais (para um determinado padrão, como por exemplo: Classe A) para outras escalas a partir da seguinte equação:

$$EP = 0,00017013 * DE - 0,0014$$

Onde DE é o denominador da escala pretendida e a unidade resultante é o metro. Desta forma, a produção de uma base na escala 1:10000 demanda que a base de dados apresente Erro Padrão final inferior a 1,7m. $EP = (0,00017013 * 10000) - 0,0014$.

Enquanto a DSG, através da norma ET-CQDG - Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (DSG - Diretoria de Serviço Geográfico, 2016) apresenta como valor de erro posicional máximo admissível para um ponto isolado os valores do PEC, o Decreto 89817/84 estabelece, no artigo 3º, que o erro padrão isolado é de 60,8% do valor do PEC para a escala adotada.

“§3º O Erro Padrão **isolado** num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.” (Decreto 89817/84)

Sendo o Erro Padrão sinônimo do termo Desvio Padrão (conforme definido pelo Decreto 89817/84), subentende-se que o Erro Padrão isolado de que trata o Decreto se refere à análise dos resíduos observados em X e Y isoladamente.

Independente da referência a ser utilizada, a **acurácia posicional** é o primeiro elemento a ser observado na definição da escala de um produto cartográfico, não devendo uma camada vetorial ser associada a uma determinada escala sem possuir qualidade posicional compatível com a mesma.

Os valores de acurácia posicional relativos a uma determinada camada de dados geoespacial podem ser adquiridos a partir da leitura dos metadados da mesma. Caso a camada não possua metadados, esta informação deverá ser adquirida com o produtor dos dados geoespaciais, uma vez que quando produzidos oficialmente (geralmente por meio de editais de concorrência pública), estes são entregues acompanhados de relatório técnico detalhado.

Na ausência dos valores relativos à acurácia posicional, os dados geoespaciais devem ser avaliados quanto aos valores de PEC e EP para que possam ser enquadrados quanto à escala e à adequação de uso.

Determinação da escala de camadas de dados vetoriais

Como explicitado anteriormente, a escala do dado vetorial está ligada, em primeira análise, ao grau de acurácia posicional do mesmo. Este valor indica a qualidade posicional (horizontal e/ou vertical) mensurada em relação a outros pontos de referência, cujas localizações foram determinadas com precisão no mínimo três vezes superior à do dado geoespacial analisado. Isto posto, conclui-se que o processo de avaliação e determinação da escala requer a existência de **pontos de controle**.

Seleção e Característica dos Pontos de Controle

A ET-CQDG (DSG, 2016) segue a indicação de outras normas internacionais (como a exemplo: FGDC, 1999 e a ASPRS, 2015), definindo um mínimo de 20 pontos de controle para avaliação da acurácia posicional em áreas menores do que 500km². Estes pontos devem ser bem definidos no terreno, devendo ser de fácil localização, fácil capacidade de retorno e verificação de sua posição a partir de equipamentos precisos. Também devem ser localizados em áreas de baixo interesse de uso, minimizando a necessidade de remoção ou impossibilidade de acesso. Os pontos de controle utilizados na avaliação da acurácia posicional devem possuir precisão no mínimo três vezes superior ao do produto que se pretende avaliar.

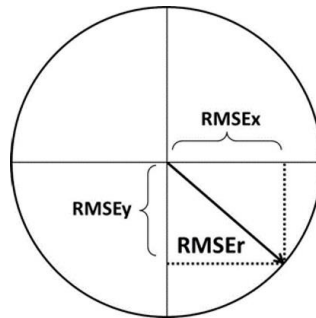
Com o objetivo de garantir uma análise mais representativa da acurácia do produto cartográfico, os pontos de controle devem ser preferencialmente bem distribuídos por toda a área de interesse. Pelo menos 20% dos pontos deverão estar localizados em cada um dos quadrantes da área mapeada, principalmente nos casos em que a área mapeada ocupe superfície retangular (como no caso dos retângulos utilizados para definir o limite das cartas topográficas). Ainda, devem estar afastados com intervalos iguais a pelo menos 10% da extensão diagonal da camada/área de interesse.

Cálculo da escala a partir do valor de acurácia posicional horizontal: RMSEr

O RMSE é o procedimento internacionalmente mais recomendado para verificação da acurácia posicional, sendo o RMSEr, conforme a ASPRS (2015) e a FGDC (1998), utilizado para verificação da acurácia posicional horizontal e, equivalente ao EMQH ou, Erro Médio Quadrático Planimétrico ou Horizontal citado pela ET-CQDG (DSG, 2016). Para a verificação da acurácia posicional vertical, estas mesmas normas internacionais recomendam o uso do RMSEz, o qual equivale ao EMQZ, ou Erro Médio Quadrático Altimétrico, conforme indicado pela ET-CQDG (DSG, 2016).

Desta forma, é possível determinar a escala dos dados vetoriais a partir da avaliação de sua acurácia posicional e do enquadramento do valor de RMSE junto aos valores do PEC (Decreto 89817/84) ou do PEC-PCD (ET-ADGV).

O RMSEr utilizado na determinação da acurácia planimétrica corresponde à distância horizontal radial do erro, uma vez que agrega os valores medidos ao longo dos eixos x e y.



RMSEr correspondente ao EMQH (DSG/ET-CQDG, 2016)

O processo de cálculo do RMSEr pode ser obtido da seguinte forma:

$$\text{RMSEr} = \sqrt{(\text{RMSE}_x)^2 + (\text{RMSE}_y)^2}$$

Os valores de RMSE_x e RMSE_y são obtidos por:

$$\text{RMSE}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ti} - x_{ri})^2}{n}}$$

$$\text{RMSE}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ti} - y_{ri})^2}{n}}$$

Onde x_t e y_t correspondem às coordenadas a serem testadas e, x_r e y_r às coordenadas de referência dos pontos homólogos.

	Pontos da base a ser testada (t)		Pontos de referência (r)		RMSE _x	RMSE _y
	Coord. X _t	Coord. Y _t	Coord. X _r	Coord. Y _r	(X _t - X _r) ²	(Y _t - Y _r) ²
Ponto 1	X _{t1}	Y _{t1}	X _{r1}	Y _{r1}	(X _{t1} - X _{r1}) ²	(Y _{t1} - Y _{r1}) ²
Ponto
Ponto n	X _{tn}	Y _{tn}	X _{rn}	Y _{rn}	(X _{tn} - X _{rn}) ²	(Y _{tn} - Y _{rn}) ²
					RMSE _x → √(Σ / n)	← √(Σ / n) RMSE _y

$$\mathbf{RMSE_r = \sqrt{((RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2)}}$$

Exemplo do procedimento para o cálculo do RMSEr utilizando planilha de cálculo

Supondo que o valor de RMSEr tenha resultado em 1,35m, a escala a ser atribuída será de 1:10000, uma vez que este valor é superior a 0,85m, que é o maior valor de EP admissível para a escala 1:5000 e, é inferior a 1,70m, que é o valor limite de EP para o enquadramento na escala 1:10000.

A análise isolada dos valores de RMSE_x e RMSE_y são as medidas necessárias para avaliação da presença ou ausência de tendências. Neste caso, os testes estatísticos mais empregados são o *t-student* e o Qui-quadrado. A análise de tendência se aplica à verificação de erros sistemáticos que possam ter interferidos na produção da camada de dados, deslocando-a com um vetor bem definido. Contudo, o valor definido pelo RMSEr já contempla o limite dos valores de erros admissíveis, tanto em relação ao RMSE_x quanto ao RMSE_y. Portanto, para fins de enquadramento junto ao PEC ou PEC-PCD, basta a utilização do valor de RMSEr.

As tabelas com os valores de PEC e EP apresentados pela ET-ADGV se referem apenas aos denominadores de escala mais usualmente empregados. Valores intermediários de escala podem ser obtidos pela aplicação dos valores de EP, conforme demonstrado anteriormente na relação escala e EP (ET-ADGV), via fórmula simplificada onde:

$$DE = \frac{EP}{0,00017013}$$

Para o exemplo anterior, sendo o EP = 1,35m, a maior escala que poderia ser atribuída é a de 1:7880.

Escala e fonte de dados

A **fonte dos dados** é o segundo elemento a ser observado na definição da escala e está associada ao processo de obtenção dos dados vetoriais, o qual pode ser **direto** ou **indireto**.

Obtenção de Dados Vetoriais por Processo Direto

O processo direto corresponde àquele em que as coordenadas cartográficas das feições (ponto, linha ou polígono) são adquiridas diretamente em campo, o que no caso da cartografia, em geral, é feito com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Segundo as Recomendações Para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS do IBGE (2008), o termo GNSS é utilizado para designar o posicionamento por satélites utilizando toda infraestrutura para este tipo de posicionamento, incluindo os sistemas orbitais e a infraestrutura de apoio em solo (GPS (EUA), GLONASS (Rússia), Galileo (Europa), Beidou/Compass (China), SBAS – Waas, Egnos, GBAS, etc.).

Os modelos de receptores GNSS podem apresentar diferentes níveis de acurácia posicional dependendo de uma série de fatores que envolvem as características do aparelho e do modo de uso. Assim, dependendo do receptor utilizado e da metodologia empregada na coleta dos dados, a acurácia posicional pode variar e, conseqüentemente, a escala final dos dados será diferenciada.

Os fabricantes de aparelhos estabelecem uma relação de acurácia padrão baseada em 90% ou 95% do tempo de coleta. Contudo, a acurácia posicional pode variar significativamente para um mesmo aparelho em função das condições da coleta. De um modo geral, segundo IBGE (2008), três tipos de receptores podem ser identificados:

1. **Receptores de Navegação:** utilizados em aparelhos celulares, *tablets*, GPS de recreação e outros. Estes aparelhos podem obter dados de uma ou mais

constelações de satélites, rastreiam o código C/A (aberto) e alguns podem rastrear (mas não armazenam diretamente) a fase da onda portadora L1. Também podem, ou não, utilizar sistemas de melhoramento posicional (WAAS, GBAS, etc.). Nestes aparelhos a acurácia posicional horizontal pode variar de menos de 1m a mais de 20m para 90% do tempo de coleta, dependendo do modelo e das condições de uso.

2. **Receptores Topográficos:** em geral são utilizados em pares, ficando um dos aparelhos sobre uma estação de referência. Em geral, possuem uso restrito ao raio de alcance da estação de apoio. São capazes de rastrear a fase da onda portadora L1 e o código C/A e a acurácia posicional pode variar de centímetros a sub-métrico dependendo do número de receptores, da distância da estação base, do tempo de rastreamento, etc.
3. **Receptores Geodésicos:** são capazes de rastrear a fase da onda portadora nas duas frequências (L1 e L2), o que possibilita sua utilização em linhas de base maiores que 10 km. Normalmente estes receptores são empregados em levantamentos que serão utilizados como referência, apoio ou controle para outros levantamentos, como os fotogramétricos.

Em um primeiro momento, é possível definir o equipamento e o método de coleta de dados mais adequado à escala pretendida. Contudo, ainda que o fabricante garanta que o equipamento apresenta a acurácia necessária, **a qualidade posicional final do produto cartográfico deverá ser sempre avaliada** a fim de verificar a sua adequação à escala.

Como exemplo, pode-se citar o caso de um receptor GNSS utilizado na coleta de dados que apresente acurácia posicional melhor do que 1m (para 90% dos pontos coletados – valor correspondente ao EP). Neste caso, os dados produzidos deverão ser associados à escala 1:10000 ou menor, de acordo com o resultado da avaliação do mesmo. Isso porque, segundo a ET-ADGV, o valor de EP para esta escala é de 1,7m, o que possibilita, em tese, a utilização deste tipo de equipamento para aquisição de dados para a escala exemplificada.

Obtenção de Dados Vetoriais por Processos Indiretos

Os processos indiretos correspondem à produção de bases cartográficas a partir da vetorização de imagens (fotos aéreas, imagens de satélite ou radar) ou bases cartográficas preexistentes (impressas).

Apesar de nem sempre definir de forma direta a escala final dos dados, a aquisição por processo indireto (vetorização) é um indicativo e um restritivo para a definição da escala. Um dado adquirido a partir da vetorização de uma Carta Topográfica na escala 1:25000, por exemplo, não deverá ser associado a uma escala maior, ainda que apresente nível de detalhamento superior ao dos dados de origem.

Isto porque, além da recomendação do art. 11 do Decreto 89817/84, quanto à não ampliação de produtos cartográficos, em geral, considerando que novos erros posicionais são inseridos no processo de posicionamento da imagem/mapa e de vetorização, é correto pressupor que todo produto derivado de uma base cartográfica já existente deverá apresentar escala final com acurácia posicional (planimétrica e/ou altimétrica) no máximo igual, porém, em geral, inferior à do dado de origem.

As resoluções espaciais das imagens utilizadas no processo de vetorização também impõem restrições para a definição da escala. Ainda que uma imagem (orbital/sub-orbital) apresente elevada resolução espacial, é a análise da acurácia posicional que irá definir a escala final da base vetorial obtida a partir desta. Por outro lado, imagens de satélite de baixa ou média resolução (exemplo: resolução de 30m), ainda que bem posicionadas, não possibilitam a identificação de feições reduzidas e, portanto, não condizem com mapeamentos em escalas grandes.

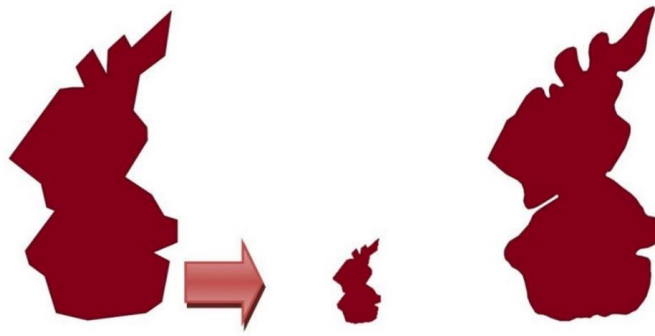
Escala e nível de generalização cartográfica

É correto dizer que toda base cartográfica é, por natureza, um modelo generalizado (simplificado) da realidade. Contudo, o **nível de generalização** (tema abordado mais adiante neste capítulo), terceiro elemento a ser observado na atribuição de escala a um dado vetorial, se refere ao grau de adequação da geometria dos dados à escala. Este elemento se relaciona com a escala a partir de dois aspectos: **Dimensão Mínima Mapeável – DMM**, a qual encontra relação direta com a omissão seletiva de feições; e, a **Densidade de Vértices por Unidade Linear – DVUL**, que corresponde à complexidade observada na geometria desenhada.

A **omissão seletiva** se refere à não inclusão de feições em uma base cartográfica em função das dimensões mínimas definidas para sua aquisição/mapeamento. Exemplo: segundo a ET-ADGV, um fragmento de Floresta deverá apresentar área superior a 25mm^2 na escala desejada para que este seja mapeado. Neste sentido, quando se trabalha com uma camada de dados vetoriais que apresenta polígonos de floresta com área inferior a 1.000m^2 e, não se conhece a escala correspondente ao mesmo (ausência de metadados), este arquivo não deverá ser ou estar associado à escala 1:10000 ou menor. Isto porque nesta escala e em escalas menores, ainda que as referidas áreas de floresta existam no ambiente, as mesmas só seriam mapeadas se apresentassem área superior a 2.500m^2 (dimensão que corresponde a 25mm^2 na escala 1:10000).

A presença de feições (linhas e polígonos) com dimensões inferiores àquelas recomendadas para a escala, **não define a escala** na qual o dado foi obtido, mas serve como indicativo da escala que se encontra associada ao processo de aquisição do mesmo e, deve apresentar coerência com a escala atribuída à camada vetorial.

Este mesmo princípio pode ser utilizado para a **avaliação da densidade de vértices por unidade linear – DVUL** ou, distância observada entre os vértices que compõem linhas e polígonos. Utilizando como parâmetro a qualidade gráfica associada à acuidade visual, a qual estabelece que pontos separados por uma distância inferior a $0,2\text{mm}$ são percebidos como sendo um único ponto, a presença de feições (linhas e polígonos) com densidade de vértices superior à esperada para a escala atribuída é incoerente e resulta em dificuldades no processamento, bem como no armazenamento desnecessário de dados.



Densidade de Vértices por Unidade Linear - DVUL

Considerando que a escala final de uso, para a figura acima, é a do centro, o polígono da direita contém excesso de vértices, enquanto o polígono da esquerda encontra-se adequado à escala final de apresentação e uso dos dados. Isto se deve ao fato do polígono da esquerda possuir uma quantidade de vértices compatível com a sua escala de utilização, enquanto a maior densidade de vértices presentes no polígono da direita pode ser considerada como excesso de informação.

A qualidade gráfica (0,2mm) também apresenta reflexo na **dimensão das feições mapeadas (DMM)** no que se refere às áreas das feições mapeadas. Isto porque a presença de polígonos em uma camada de dados vetorial, com área inferior à 0,2mm x 0,2mm (0,04mm²), para qualquer escala, corresponde a um dado inconsistente. Em geral, estes polígonos, quando presentes, encontram-se associados a erros de topologia, a problemas observados em processos automatizados de classificação de imagens e, a resultados de cruzamento de camadas com diferentes escalas, níveis de generalização ou referenciais cartográficos.

Resumindo, todo dado cartográfico em meio digital deverá ter seu valor de escala condizente com a acurácia posicional, com o processo de obtenção e com o nível de generalização observado.

Em ambiente SIG também é comum a atribuição de uma segunda escala ao dado vetorial, indicando a menor escala de utilização recomendada para os mesmos sem que antes se faça necessária a aplicação de procedimentos de generalização cartográfica. Esta segunda escala apresenta valor flexível, dependendo principalmente da adequação e finalidade de uso dos dados.

Determinação da escala de produtos matriciais

Dados cartográficos matriciais apresentam grande complexidade no que diz respeito à definição de uma escala de referência. Nestes produtos, é relativamente comum a associação **equivocada** entre uma determinada RESOLUÇÃO ESPACIAL e uma ESCALA. Assim como nos produtos vetoriais, a **acurácia posicional** é o principal fator para a atribuição de uma escala de referência, porém, este não é o único elemento a ser considerado.

Ainda que a acurácia posicional permita estabelecer uma escala *a priori*, estes produtos podem apresentar complexas relações com a resolução espacial e/ou com a acurácia posicional vertical (no caso dos modelos digitais de elevação), o que pode resultar em uma tarefa pouco produtiva a tentativa de estabelecer uma escala cartográfica. Por vezes, a solução será a associação destes dados a um outro valor de referência, como apresentado mais adiante.

Produtos do Sensoriamento Remoto: Imagens

A tentativa de associar a resolução espacial à escala reside, em geral, na busca pela relação entre a largura do pixel e uma dimensão equivalente na superfície do terreno. Na fotogrametria convencional (analógica), a escala de uma fotografia aérea (ex.: 1:8000), é válida apenas para o centro da imagem, único ponto isento de distorções. Esta escala é o resultado da relação direta entre a distância focal da câmara utilizada e a altura de voo (distância da câmara ao solo). Todos os demais pontos da imagem encontram-se distorcidos (principalmente pelo sistema de lentes e pelas variações do relevo) o que implica na adoção de uma escala média para a mesma. A resolução desta imagem é medida em linhas/mm, representando a capacidade do filme em registrar os pormenores do terreno. Com o advento das câmeras fotogramétricas digitais, o conceito de escala da fotogrametria convencional não pode mais ser utilizado. Passou-se então a analisar a resolução espacial das imagens fotogramétricas digitais a partir do GSD (*Ground Sample Distance*). Este representa o tamanho real, em unidades de terreno (ex.: metro), para a amostragem de um pixel. Assim, quanto menor o GSD, maior a resolução espacial da imagem. Relacionar, portanto, o GSD e a

resolução espacial das imagens com a escala é tarefa de grande complexidade para diferentes tipos de produtos em meio digital.

Nos produtos do sensoriamento remoto (orbital e sub-orbital) a resolução espacial encontra-se associada à relação entre o sensor (e suas características físicas: tamanho do detector, limitações do filtro eletrônico, distúrbios da plataforma, efeitos atmosféricos) e a distância até a superfície mapeada. Como cada pixel e cada imagem capturada pode recobrir uma extensão diferente do terreno, em função das variações altimétricas (tanto do sensor quanto do terreno) a resolução espacial é uma medida da dimensão média da distância recoberta pelos pixels.

A influência desta distância sobre a definição da escala é tanto mais significativa quanto mais próximo o sensor estiver do alvo. Isto significa que produtos sub-orbitais apresentam maior variação em relação à largura dos pixels e à dimensão dos objetos/superfície mapeada. A proximidade do solo faz com que pequenas variações altimétricas promovam significativas variações na relação entre a área coberta pelo pixel e o tamanho da superfície imageada.

Um *drone* munido de câmera digital voando sobre um terreno com relevo acidentado poderá apresentar grandes diferenças na resolução espacial entre os pixels obtidos em função das diferentes regiões cobertas. Em alguns casos, esta variação poderá ser atenuada em função do (pré) processamento que os *softwares* aplicam sobre os pixels, mas, no geral, isto não é possível, principalmente quando os pixels resultantes do levantamento já se encontram demasiadamente deslocados em função da referida variação de relevo.

Em função destas variações, é comum as normas internacionais tratarem o GSD por classes discretas de valores. Exemplo: valores de GSD de 50cm a 100cm encontram-se associados às escalas de 1:2000 a 1:4000, dependendo da norma consultada.

Alguns fabricantes de equipamentos fotográficos digitais desenvolvidos especificamente para aerofotogrametria apresentam tabelas com indicação da escala que pode ser utilizada em função da altura de voo (relação sensor x altura) e dimensão do pixel.

Grosso modo, a relação entre resolução espacial, dimensão imageada e escala pode ser estabelecida a partir da relação entre a dimensão dos menores objetos identificáveis na imagem e a qualidade gráfica (0,2mm). Exemplo: uma imagem com

resolução espacial de 1m permite a identificação e separação de objetos maiores do que 1m². Neste caso e, de forma análoga à qualidade gráfica, o observador/usuário/mapeador não será capaz de diferir objetos com dimensões inferiores a 1m². Sendo 0,2mm equiparado a 1m (largura do pixel de 1m²), têm-se como referência a escala 1:5000. Neste caso, faz-se referência direta à resolução nativa do pixel, uma vez que por processos de composição de imagens (diferentes bandas ou faixas de comprimento de onda com diferentes resoluções espaciais) e/ou por processos de interpolação, a resolução espacial de um pixel de 1m pode ser alterada para qualquer outra dimensão, estabelecendo-se uma nova relação entre a largura do mesmo e a dimensão no terreno.

Apesar da resolução espacial permitir estabelecer uma relação entre a imagem e uma determinada escala aproximada, conforme exemplo anterior, esta dependerá, ainda, da avaliação da acurácia posicional e da finalidade e adequação de uso (exemplo: mapa pedológico, uso da terra, mapa urbano básico) e, não somente da relação pixel *versus* dimensão no terreno.

Outro exemplo que pode ser mencionado é o da confecção de um mapa de solos a partir de imagens de satélite com 1m de resolução espacial. Apesar da resolução em tela permitir a confecção de produtos em escalas de até 1:2000, a escala final dos dados dependerá da acurácia posicional da imagem e da quantidade de pontos amostrais utilizados para validação dos tipos de solos observados. Isto pode fazer com que o produto possua escala inferior a 1:50000, por exemplo. Este mesmo exemplo pode ser estendido aos mapas de vegetação, geomorfologia, uso e ocupação, etc.

Não é mais válida, portanto, a premissa “o que se enxerga na planta com uma escala tal” e sim “o que pode ser identificado na imagem com um tamanho x de pixel no terreno”.

Escala em Modelos Digitais de Elevação

Modelos digitais de elevação são tipos particulares de arquivos matriciais nos quais cada pixel encontra-se associado a um valor altimétrico. Diferentes termos, como por exemplo: MDT (Modelo Digital do Terreno), MDE (Modelo Digital de Elevação) e MDS (Modelo Digital de Superfície), são utilizados para nominar estes modelos, dependendo do uso e processo de obtenção, área de conhecimento, etc.

Nestes modelos, é complexa a relação entre a largura do pixel e a escala, existindo diferentes e divergentes propostas para tal. Enquanto a definição da resolução espacial (largura do pixel) é função da adequação ao uso, a escala é sempre função do erro associado a acurácia posicional horizontal e, em especial, à altitude ou alturas medidas no terreno.

Se por um lado o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica - Decreto 89817/84) apresenta padrões gerais de acurácia associados à altimetria, o PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais - ET-ADGV) é mais específico e apresenta a relação entre erro padrão e a escala direta dos modelos digitais de elevação.

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Quadro extraído da ET-ADGV com os valores de PEC e EP para diferentes escalas

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66

Recorte da ET-ADGV com os valores de PEC e EP para altimetria – escalas 1:1000 a 1:5000

O procedimento de cálculo para verificação da acurácia altimétrica pode ser feito empregando-se os mesmos pontos utilizados para verificação da acurácia posicional horizontal ou, podem ser utilizados diferentes pontos de controle. A quantidade e distribuição dos pontos de controle seguem as mesmas diretrizes definidas para a avaliação da planimetria, sendo o mínimo de 20 pontos.

Cálculo da escala de modelos de elevação a partir do valor de acurácia posicional vertical: RMSEz

O processo de cálculo do RMSEz é feito da seguinte forma:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{ti} - Z_{ri})^2}{n}}$$

Onde: Z_t corresponde aos valores altimétricos a serem testados e, Z_r aos valores de referência.

	Pontos da base a ser testada (t)	Pontos de referência (r)	RMSEz
	Coord. Z_t	Coord. Z_r	$(Z_t - Z_r)^2$
Ponto 1	Z_{t1}	Z_{r1}	$(Z_{t1} - Z_{r1})^2$
Ponto
Ponto n	Z_{tn}	Z_{rn}	$(Z_{tn} - Z_{rn})^2$
		RMSEz	$\sqrt{(\sum / n)}$

Exemplo do procedimento para o cálculo do RMSEz utilizando planilha de cálculo

Supondo que o valor de RMSEz tenha resultado em 0,72m, a escala a ser atribuída será de 1:10000, uma vez que este valor é superior a 0,34m, que é o maior valor de EP admissível para a escala 1:5000 e, é inferior a 0,84m, que é o valor limite de EP para o enquadramento na escala 1:10000.

Cabe destacar que algumas normas internacionais aplicam procedimentos distintos para avaliação da qualidade e escala dos MDTs obtidos em áreas com e sem vegetação. Isto se deve à dificuldade de obter valores amostrais de altimetria em áreas com densa vegetação. Diferente de países que apresentam vegetação caducifólia (EUA e Canadá) e menos densa, no Brasil predominam as áreas com vegetação perene e densa, o que dificulta a obtenção de pontos na superfície do terreno para geração de modelos digitais de elevação.

Escala em Modelos Interpolados

Modelos interpolados são tipos especiais de arquivos matriciais os quais carecem de uma complexa análise para atribuição de uma escala. Apesar de alguns modelos digitais de elevação serem obtidos através de processos de interpolação, sua relação com a escala deve ser tratada de forma diferente em relação aos demais modelos interpolados. Isto porque, os MDTs apresentam norma própria para atribuição de escala, enquanto os demais modelos interpolados estão sujeitos a um número significativo de subjetividades que dificultam o estabelecimento de sua relação com a escala.

Um exemplo de modelo interpolado é o de precipitação obtido a partir dos valores observados pontualmente em estações meteorológicas. Estes modelos podem ser confeccionados com diferentes resoluções espaciais sem que estas possibilitem estabelecer uma relação com a escala cartográfica.

A definição de um pixel com resolução de 30m, 200m ou 1000m pode ser, nestes modelos, função apenas da escolha do produto a ser utilizado ou da finalidade de seu uso, como por exemplo, para cruzamento com outras camadas de dados que utilizem a mesma resolução. Em todos os casos, o modelo gerador do arquivo matricial pode

ser o mesmo e, conseqüentemente, a acurácia associada aos dados da camada matricial similar independente de sua resolução.

Desta forma, o mais correto é estabelecer uma referência entre o arquivo matricial de saída e a acurácia presumida ou medida. Exemplo: modelo com resolução espacial de 100m e acurácia melhor do que $\pm 50\text{mm}$ por pixel. Ou seja, é esperado, para 90% dos pontos testados (estações de controle não utilizadas no processo de geração do modelo), um erro inferior a 50mm de precipitação, para mais ou para menos.

Estimativa da escala para camadas de dados sem Metadados

Para camadas de dados vetoriais, caso não seja possível definir a escala, um valor aproximado pode ser inferido, **mas não atribuído**, a partir da avaliação do nível de generalização cartográfica (dimensão mínima mapeável - DMM e, densidade de vértices por unidade linear – DVUL). Neste caso, deverão ser feitas observações nos metadados acerca do **desconhecimento** da escala, **ausência** da análise da acurácia posicional e, da **falta** de validação para o valor inferido. Estes dados só deverão ser utilizados quando a acurácia posicional não for um limitante ao uso dos mesmos.

Quando a análise da acurácia posicional indica uma escala menor do que a observada pela análise do nível de generalização, deve ser feita a adequação das dimensões e densidade de vértices das feições mapeadas (linhas e polígonos) para a menor escala de referência (fornecida pela análise da acurácia posicional). Este procedimento de ajuste emprega técnicas de generalização cartográfica e fornece maior coerência aos dados. Por exemplo, supondo que a análise da acurácia posicional indique que a camada de dados se enquadra na escala 1:10000, e que a análise da dimensão das menores feições mapeadas indica a presença de feições compatíveis com a escala 1:2000, a dimensão das feições mapeadas e a densidade de vértices devem ser revistas para adequação à escala 1:10000, uma vez que a acurácia posicional é a principal referência para definição da escala.

Isto significa que, na dúvida sobre qual escala adotar, sempre sugere-se optar pela menor (no caso, 1:10000), uma vez que esta garante que os erros de posicionamento ou geometria se mantenham inferiores aos designados para a escala de mapeamento.

Os procedimentos relativos à edição vetorial e à generalização cartográfica para adequação da camada de dados à escala serão indicados mais adiante neste capítulo.

Considerações Gerais

Uma vez definida a escala de um dado geoespacial, isto não significa que este valor não possa sofrer alteração. Processos de reamostragem de pixels e/ou de reprojeção de camadas matriciais e vetoriais, como será mostrado mais adiante, também podem reduzir a acurácia posicional dos dados, sendo pertinente a avaliação da acurácia posicional nas bases de dados que passaram por estes processos.

Portanto, em uma primeira análise, a escala reflete a acurácia posicional dos dados, do processo envolvido na obtenção dos mesmos e, conseqüentemente, de forma indireta, a sua adequação de uso.

Apesar de não usual no Brasil, o uso de padrões de acurácia ao invés da escala é recorrente em normas internacionais e se mostra mais eficiente para avaliar a adequação de uso dos dados. Sendo assim, a contratação e avaliação de uma camada de dados podem ser feitas a partir da definição do padrão de acurácia desejado, como por exemplo, altimetria com acurácia superior a 1m para 90% dos pontos de testados em um MDT.

Atributos básicos dos dados geoespaciais: Referencial Cartográfico

Dados cartográficos podem ser produzidos utilizando diferentes referenciais cartográficos (RC), os quais incluem informações sobre o tipo de projeção adotada e demais parâmetros empregados no posicionamento dos dados (elipsoide, *Datum*, sistema de coordenadas, etc.).

É extremamente importante destacar que os dados utilizados em SIG e em trabalhos de cartografia digital são, em sua grande maioria, dados cartográficos, ou seja, além da escala apresentam relação direta e **indissociável** com um determinado referencial cartográfico (RC).

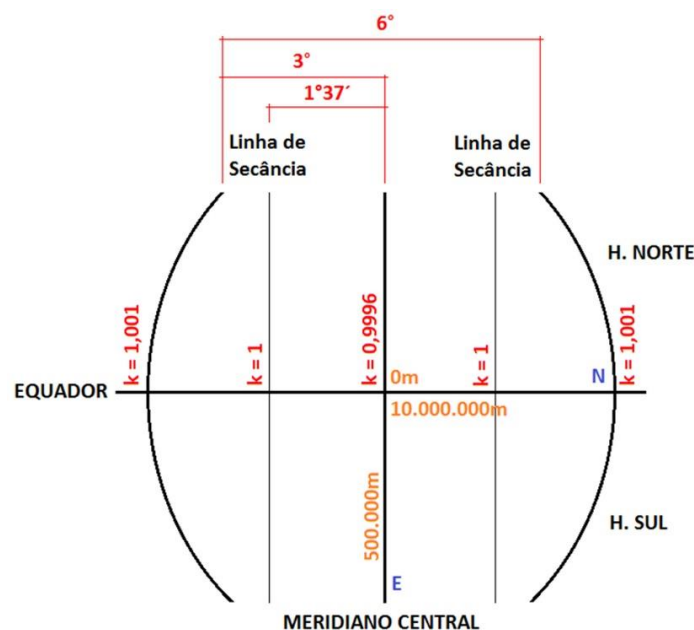
A localização no espaço e as propriedades geométricas dos dados geoespaciais (distâncias, extensões, área, rumos e azimutes) são funções diretas do RC no qual os dados se encontram. As coordenadas de um ponto e a área de um polígono, são valores válidos, a princípio, somente para o RC no qual estes atributos foram obtidos, ainda que em outros RCs possam assumir valores próximos. Isto significa que as coordenadas dos pontos e a área de um polígono serão diferentes quando medidas em outros RCs.

Exemplo interessante para ilustrar a indissociabilidade dos atributos geométricos com o RC é a obtenção das coordenadas de diferentes pontos e a área de polígonos em diferentes RCs (EPSG 3857, 31982, 29182, etc). As diferenças que podem ser pequenas para polígonos de dimensões reduzidas (como um lote) são significativas para grandes áreas (como um reservatório, área desmatada ou uso da terra).

Portanto, a forma correta de se mencionar a localização e características geométricas é associando as mesmas ao RC. Exemplo: Polígono X – área 12.389.755,32m² – SIRGAS UTM – 2000 – Fuso 22. Coordenadas do ponto W – Coord. E: 655.321,33m e Coord. N: 7.688.189,77m – UTM - SAD69 – Fuso 24 (EPSG 29184). Cabe lembrar que, como o SAD69 tem diferentes atualizações, é importante citar o código EPSG relativo ao mesmo (este código é explicado no próximo item) e, como no Sistema UTM dois pontos podem possuir a mesma coordenada dentro de um mesmo fuso, a indicação de sul (S) ou norte (N) se faz necessária.

Outro item importante em relação aos dados geoespaciais é o entendimento de que a área cartográfica não corresponde a área topográfica (medida diretamente no terreno e reduzida ao plano ou ao geóide). As medidas cartográficas são resultado da projeção das feições observadas na superfície da Terra em um elipsoide, da forma de posicionamento do mesmo, bem como de sua forma de projeção e desenvolvimento em um plano. No caso do sistema UTM, muito utilizado em estudos e análises espaciais (já apresentado no capítulo 1 deste livro), as dimensões obtidas são influenciadas ainda pela posição das feições em relação ao fuso. Isto se dá em função das características deste sistema que apresenta ora fatores de redução entre as áreas de secância ($K_o < 1$ até $K_o = 0,9996$ no meridiano central) e ora de ampliação ($K_o > 1$) para as áreas externas à secância.

Deste fato, decorre que uma área de $1000\text{m} \times 1000\text{m} = 1\text{km}^2$ (medidas topográficas) terá sua medida cartográfica inferior a este valor quando medida entre as áreas de secância e maior do que este quando medida na região do fuso externa a área de secância.



Fator de escala para o cilindro transversal secante

O uso de dados geoespaciais, a obtenção e comparação de medidas obtidas sobre os mesmos, sem o conhecimento do RC pode levar a problemas de posicionamento e a interpretação equivocada das métricas relativas aos mesmos.

Uso de diferentes referenciais cartográficos

O conjunto de informações necessárias ao posicionamento e à **transformação geométrica** dos dados geoespaciais entre os diferentes RCs foi organizado e compilado em uma base única pela IOGP (*International Association of Oil & Gas Producers*). Desta forma, as informações sobre quase todos os sistemas de referência cartográfica (SRC) existentes foram disponibilizadas com o uso da sigla EPSG (*European Petroleum Survey Group*).

Atualmente, estes dados são utilizados em aplicações que envolvem bancos de dados, desenvolvimento de *software* e outras aplicações em SIG. De acordo com a IOGP, os parâmetros contidos na base de dados EPSG podem ser utilizados em aplicações em escala local, nacional e regional.

Softwares de SIG, como por exemplo, o QGIS®, adotam estes códigos para o posicionamento e a transformação dos dados geoespaciais que utilizam diferentes sistemas de referência cartográfica (SRC).

No Brasil, é comum a existência de dados que foram produzidos em diferentes momentos e com diferentes SRCs. Dois dos mais utilizados até o início deste século foram o sistema de projeção UTM com emprego, inicialmente, do *Datum* Córrego Alegre e, posteriormente, do *Datum* SAD69 (*South American Datum*).

Os parâmetros utilizados para posicionar os dados que foram produzidos após 1996, utilizando o sistema UTM com *Datum* SAD69, encontram-se armazenados com o código EPSG 29192. Já os parâmetros para dados coletados até 1996, utilizando, também, o sistema UTM/SAD69, encontram-se armazenados com o código EPSG 29182. Quase todos os SRCs utilizados no Brasil encontram-se referenciados por códigos EPSG.

Em função da diversidade de SRCs existentes no Brasil e no mundo, torna-se necessário, por vezes, combinar em um mesmo projeto dados que foram produzidos utilizando diferentes SRCs.

Transformação geométrica: reprojeção

A **transformação geométrica**, também conhecida como operação de **reprojeção**, é o procedimento que possibilita que um conjunto de coordenadas ou camada de dados (vetorial ou matricial), como demonstrado anteriormente neste livro, seja reposicionado em um diferente SRC.

A reprojeção de uma camada de dados pode alterar os parâmetros relativos ao sistema de projeção (parâmetros relativos ao elipsoide, *Datum* e superfície de projeção) ou apenas ao sistema de coordenadas. Como exemplo pode ser citada a reprojeção de UTM/SAD69 para UTM/WGS84 (mantém o sistema de coordenadas em metros e troca o referencial cartográfico SAD69→WGS84) e, a reprojeção de UTM/WGS84 para Lat/Long/WGS84 (mantém o referencial cartográfico e troca o sistema de coordenadas UTM→Lat/Long).

Em ambiente SIG, duas soluções podem ser empregadas para permitir que dados com diferentes SRCs sejam combinados ou simplesmente sobrepostos em tela: a transformação geométrica definitiva e; a em tempo real, também denominada de temporária, *On The Fly* (OTF) ou dinâmica.

A reprojeção definitiva produz uma nova camada de dados em um sistema diferente, enquanto que a reprojeção em tempo real não altera os dados originais, promovendo o reposicionamento temporário dos mesmos, apenas enquanto exibidos em tela em um SRC diferente.

A transformação geométrica de um produto cartográfico é um processo que, ainda que corretamente realizado, insere resíduos nos dados reduzindo sua qualidade posicional. Neste sentido, é correto afirmar que dados geoespaciais não devem ser reprojitados ou, que só devem ser reprojitados quando estritamente necessário e observando uma série de cuidados tanto com a transformação geométrica a ser empregada, quanto com a avaliação do resultado da reprojeção e o uso que se fará destes dados.

No Brasil, as transformações mais demandadas são as que convertem dados produzidos com Sistema de Projeção UTM empregando o *Datum* SAD69 ou Córrego Alegre (*Data* com referencial Topocêntrico) para o sistema de projeção UTM com

outros *Data*, como por exemplo, o SIRGAS e o WGS84 (*Data* com referencial Geocêntrico).

Os diferentes termos utilizados no Brasil para nominar o SAD69 (SAD69-Américas, SAD69-Brasil, SAD69-Minas Gerais, etc.) e as diferentes realizações deste (bases produzidas até e após 1996), são fatores que agregam incerteza em relação à real acurácia posicional das bases que originalmente empregavam o SAD69 e que foram ou ainda necessitem ser reprojctadas. Este contexto pode ser ainda mais grave em função da ausência de metadados suficientes para identificar a real natureza dos dados.

É possível definir que as bases cartográficas elaboradas em SAD, no Brasil, até o ano de 1996, empregaram parâmetros da primeira realização do SAD69. Contudo, diferentes bases impressas ou dados geoespaciais disponíveis na WEB foram produzidas após este período, empregando ora parâmetros da primeira realização e ora da segunda realização, sem que houvesse o registro desta informação. Isto dificulta, ou impossibilita, em alguns casos, a identificação de quais parâmetros devem ser empregados na reprojeção destas bases.

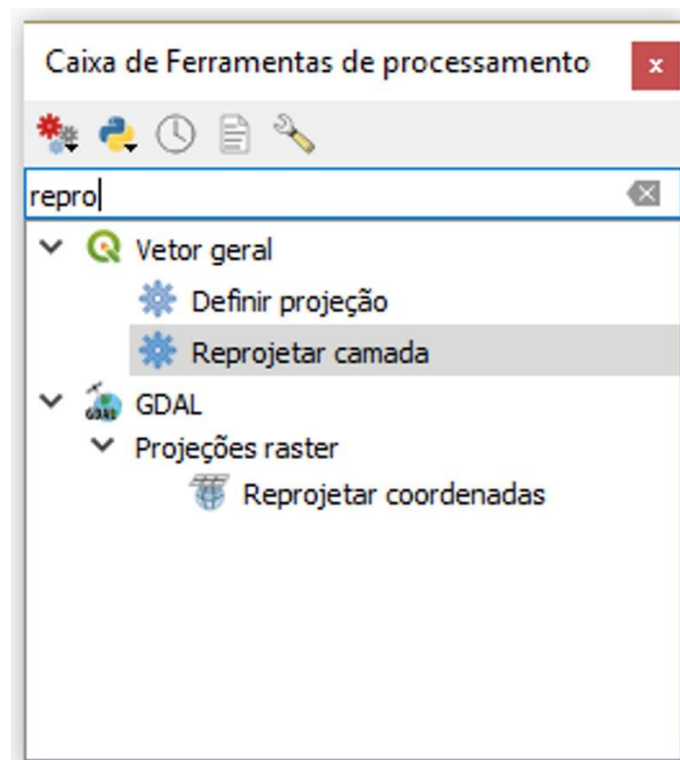
Um exemplo dos problemas associados à adoção de diferentes realizações do próprio SAD69 foi observado na produção da base planialtimétrica de um município no sul do Espírito Santo. Apesar da especificação prévia por parte dos contratantes quanto à definição do Sistema de Projeção UTM e do *Datum* SAD69, as bases produzidas (planimetria e altimetria) tiveram seus levantamentos feitos utilizando diferentes parâmetros de realizações do SAD69, o que resultou em um deslocamento entre as referidas bases.

Os parâmetros pré-configurados empregados nos *softwares* para a transformação das camadas de dados inserem ainda mais dificuldade para a análise da qualidade dos produtos reprojctados. Dependendo do *software* e de sua versão, os parâmetros empregados no reposicionamento dos dados podem inviabilizar o uso da base reprojctada, uma vez que podem introduzir erros posicionais acima dos limiares de acurácia posicional aceitos para a escala original dos dados ou para a escala que se pretende fazer uso dos mesmos.

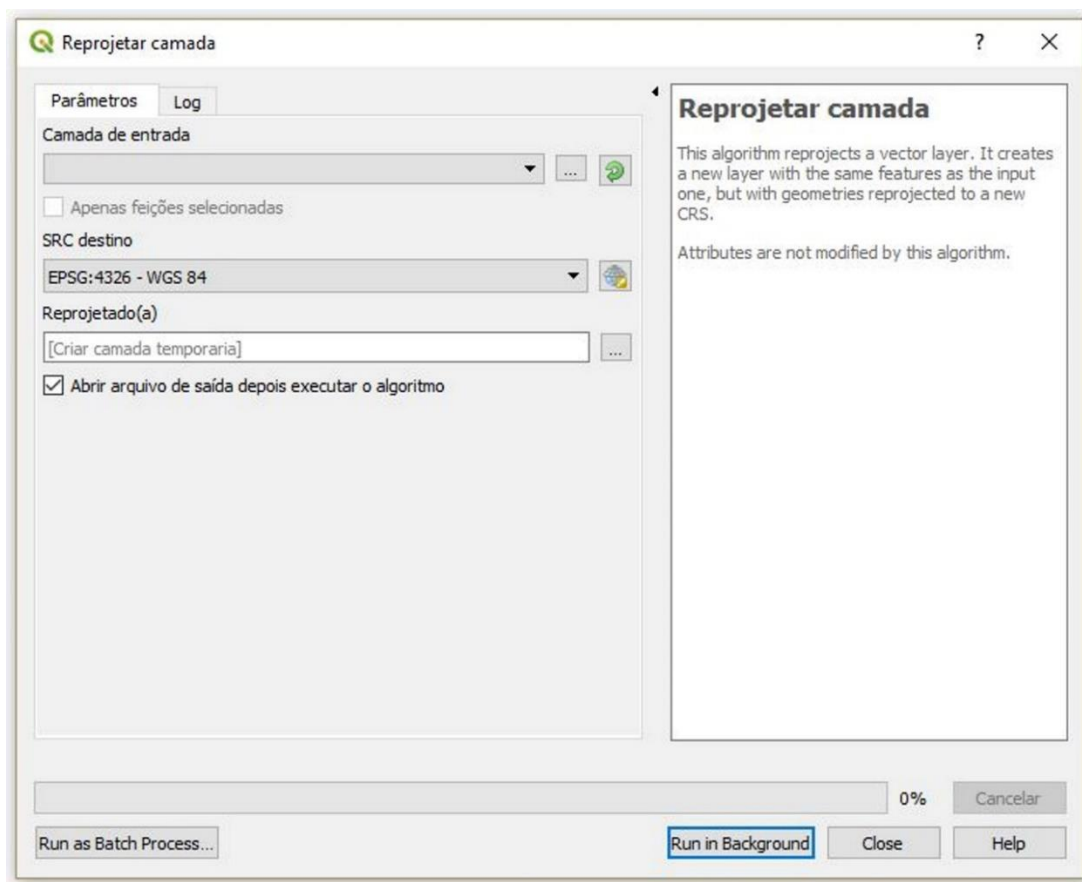
Reprojeção definitiva

Em primeiro lugar, é importante frisar, mais uma vez, que não é aconselhável a reprojeção dos dados. Quando esta operação for estritamente necessária, uma cópia dos dados originais deve ser preservada e diferenciada dos dados que irão passar por processos de transformação geométrica. Desta forma, é crucial que a cópia dos dados originais seja mantida em duplicata e, quando possível, armazenada em outro local, por medida de segurança.

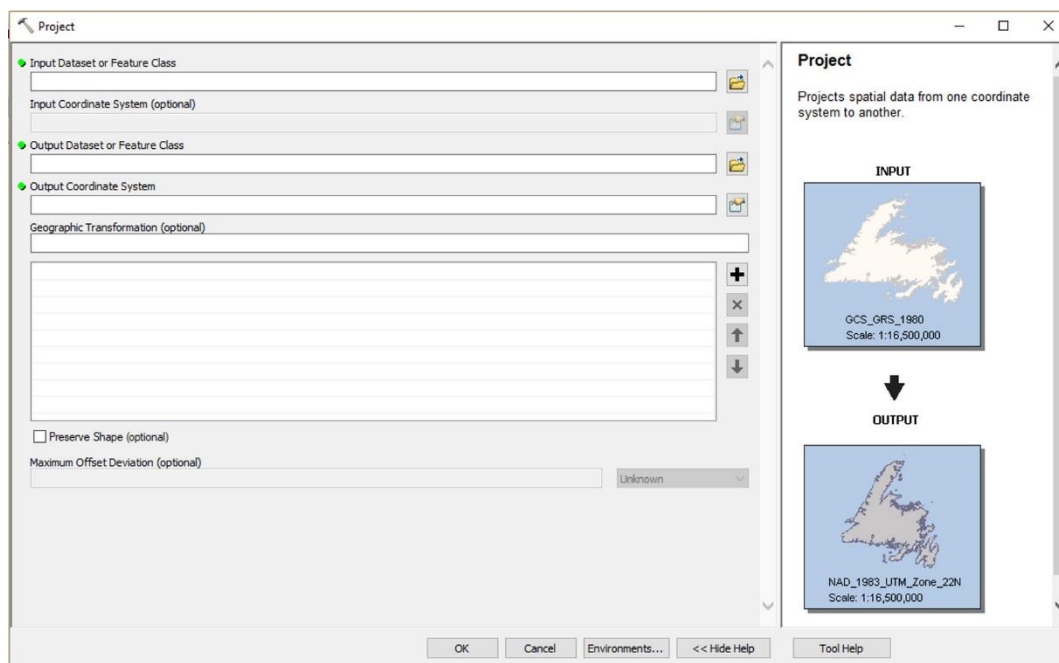
A reprojeção definitiva é obtida por diferentes processos, em função do *software* utilizado e, em geral, este processo pode ser obtido via emprego de ferramentas específicas (*reproject* no QGIS® e *Project* ou *Create Custom Geographic Transformation* no ArcGIS®).



Caixa de ferramentas e função de reprojeção definitiva no QGIS®



Ferramenta para reprojeção definitiva no QGIS®



Ferramenta Project para reprojeção definitiva no ArcGIS®

Em geral, *softwares* de SIG como ArcGIS® e QGIS® empregam procedimentos padronizados (*default*) de reprojeção, sendo a transformação geométrica baseada em três parâmetros (X, Y e Z) a mais empregada pelos mesmos.

Este modelo de reprojeção pode resultar em muitos resíduos e nem sempre é a mais recomendável. Por este motivo, o IBGE desenvolveu e propõe o uso do PROGRID, o qual emprega a transformação NTV2. Cabe destacar que mesmo o uso do PROGRID ainda pode gerar resíduos posicionais para os dados reprojitados.

O modelo GSB empregado pelo PROGRID é compatível com *softwares* como, por exemplo, o ArcGIS®, possibilitando a criação de transformações personalizadas, o que reduz os problemas gerados pela aplicação destas transformações.

Para saber mais sobre o PROGRID acesse:

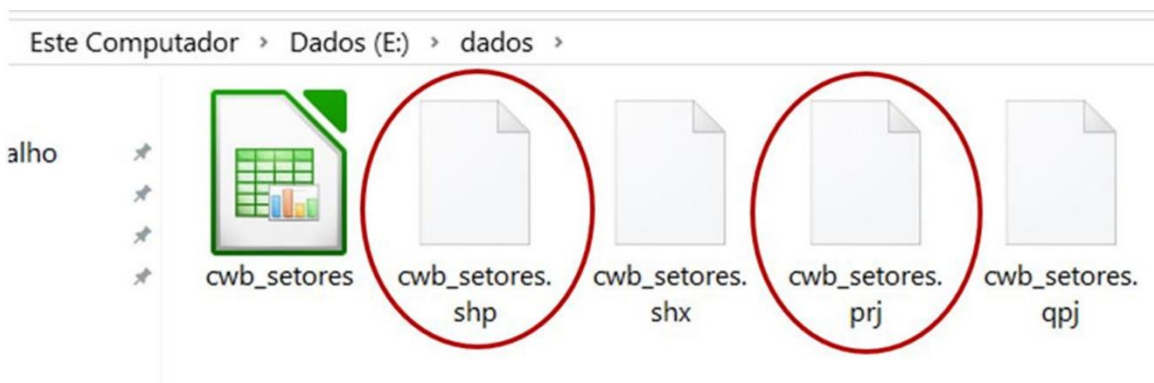
https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm

Reprojeção em tempo real

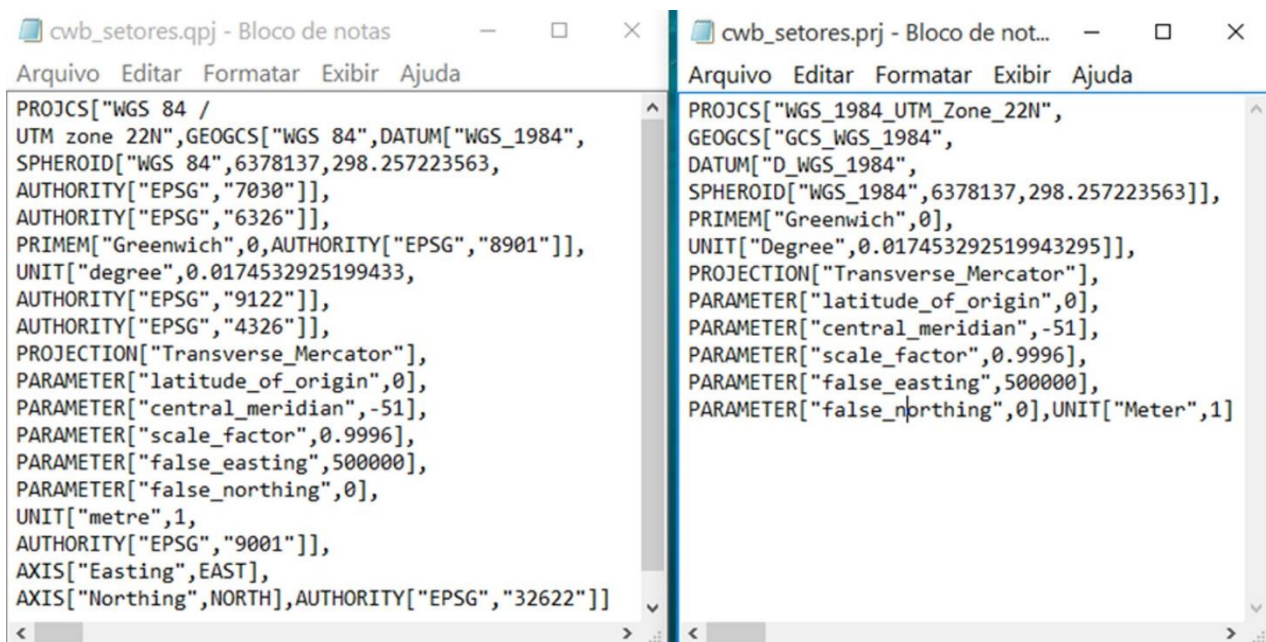
A reprojeção em tempo real é um processo diferente da reprojeção propriamente dita. Nesta, o dado original não é alterado e seu reposicionamento é temporário, vigente apenas durante o processo de exibição em tela.

É comum nos *softwares* de SIG o uso simultâneo de camadas vetoriais e matriciais que utilizam diferentes SRCs. Nestes casos, *softwares* como o ArcGIS® ou QGIS® fazem a reprojeção das camadas com os diferentes SRCs e mantêm, em tela, as mesmas sob um único SRC. Isto possibilita que estas camadas possam ser sobrepostas em tela com relativa qualidade de posicionamento.

Este processo automático só é possível quando as camadas de dados possuem arquivos com informações sobre o SRC de cada camada carregada. Neste caso, o arquivo com os dados (**metadados**) necessários à identificação do SRC deverá estar localizado na mesma pasta (diretório) e possuir a mesma denominação que o *shapefile* a ser carregado, porém com a extensão prj (ArcGIS®) e/ou qpj (no caso do QGIS®).



Exemplo de camada de Dados Geoespaciais com Metadados sobre o SRC: camada vetorial (shp) e camadas de Metadados (prj e qpj)



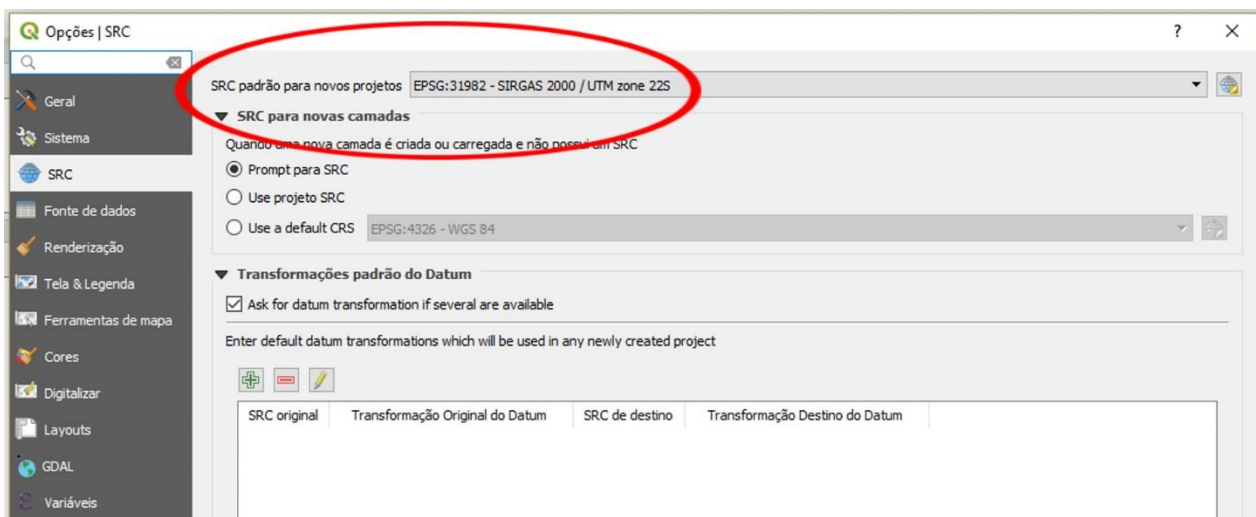
Identificação do SRC a partir dos metadados: à esquerda em qpj e à direita em prj

Cabe lembrar que camadas de dados geoespaciais em formato de imagem armazenam as informações necessárias ao seu posicionamento em cabeçalhos internos ao arquivo de imagem (*headers*) e/ou em arquivos de extensão xml e, portanto, não apresentam arquivos com mesmo nome e extensão prj/qpj.

No caso dos arquivos vetoriais, quando as extensões prj ou qpj não são encontradas no mesmo diretório em que a camada vetorial está localizada, os *softwares* de SIG

informam a ausência do mesmo e podem desenhar a camada sem identificar o SRC (como no caso do ArcGIS®), e/ou desenhar empregando um SRC pré-definido ou, ainda, abrir uma janela para seleção/indicação antes de proceder ao posicionamento da camada (conforme definição adotada nas configurações do QGIS®).

Os *softwares* de SIG podem trabalhar de forma diferenciada em relação à reprojeção em tempo real. A janela inicial de trabalho do ArcGIS® assume como SRC o sistema da primeira camada de dados carregada, reprojutando os demais dados adicionados que apresentam sistemas diferentes. O QGIS®, por sua vez, permite que um SRC seja definido previamente e que cada camada adicionada com diferentes SRCs seja reprojutada de forma automática ou de acordo com a indicação do usuário.



Janela de configuração do QGIS® - opções para novas camadas de dados: Abrir *prompt* e utilizar o SRC do projeto ativo ou utilizar um SRC padrão

Quando o arquivo com extensão prj relativo ao arquivo *shapefile* inexistente, porém, o SRC da camada vetorial é conhecido, estes arquivos podem ser obtidos por diferentes processos, como por exemplo: renomeando um arquivo com extensão prj de uma outra camada, contudo com idêntico SRC; ou, pelo processo de *download* e renome do arquivo prj com o SRC desejado, a partir de sites como o *spatialreference*.

Spatial Reference epsg projection 31982 - sirgas 2000 / utm zone 22s

Home | Upload Your Own | List user-contributed references | List all references Search

Previous: [EPSG:31981: SIRGAS 2000 / UTM zone 21S](#) | Next: [EPSG:31983: SIRGAS 2000 / UTM zone 23S](#) [Link to this Page](#)


Input Coordinates: -51, -17.3 Output Coordinates: 500000, 8087256.976946

EPSG:31982

SIRGAS 2000 / UTM zone 22S ([Google it](#))

- **WGS84 Bounds:** -54.0000, -34.6000, -48.0000, 0.0000
- **Projected Bounds:** 166021.4431, 6167221.6843, 833978.5569, 10000000.0000
- **Scope:** Large and medium scale topographic mapping and engineering survey.
- **Last Revised:** July 21, 2006
- **Area:** South America - 54°W to 48°W, S hemisphere and SIRGAS by country

- [Well Known Text as HTML](#)
- [Human-Readable OGC WKT](#)
- [Proj4](#)
- [OGC WKT](#)
- [JSON](#)
- [GML](#)
- [ESRI WKT](#)
- [.PRJ File](#)
- [USGS](#)
- [MapServer Mapfile](#) | [Python](#)
- [Mapnik XML](#) | [Python](#)



Homepage do Site spatialreference - Repositório de Dados sobre os Diferentes SRCs Empregados por Dados Geoespaciais

É fundamental esclarecer que as reprojeções em tempo real não alteram o SRC nativo da camada de dados e, **problemas de posicionamento podem surgir caso os dados venham a ser combinados em operações que envolvam o cruzamento de camadas com distintos SRCs** quando se utiliza a reprojeção em tempo real ou dinâmica.

Outra observação importante diz respeito à reprojeção de dados entre os referenciais cartográficos SAD69 e SIRGAS2000. Cabe lembrar que as transformações implementadas por *default* em SIG não são recomendadas para o reposicionamento dos dados entre estes sistemas, devendo-se, neste caso, empregar os parâmetros definidos pelo PROGRID/IBGE.

Edição de Dados Geoespaciais

Edição vetorial

A edição vetorial é uma etapa muito recorrente na prática da maioria dos usuários de SIG. Consiste na criação de novas feições, novas camadas de dados vetoriais e/ou, na alteração das feições ou camadas já existentes. Os *softwares* de SIG oferecem diferentes e múltiplos recursos para a edição vetorial.

A criação e edição de dados vetoriais em ambiente SIG é um processo que, apesar de simples, demanda inúmeros cuidados por parte dos usuários. Diferentes tipos de erros podem ser cometidos e levar à alteração indevida dos produtos existentes ou, até mesmo, à sua perda de forma permanente.

As operações mais comuns na edição vetorial são a **criação, alteração, junção, eliminação** e **quebra/divisão** de feições. Estas feições são armazenadas em camadas de dados, as quais correspondem a um plano de informações. Cada camada de dados pode conter uma ou mais feições.

De acordo, e dependendo da estrutura do *software*, as camadas de dados podem armazenar feições com uma ou mais geometrias. A estrutura mais utilizada, empregada por *softwares* como ArcGIS® e QGIS® por exemplo, separam as geometrias por camadas, sendo permitida a armazenagem de apenas um tipo de geometria por camada. Neste sentido, as camadas podem armazenar geometrias do tipo ponto, linha ou polígono.

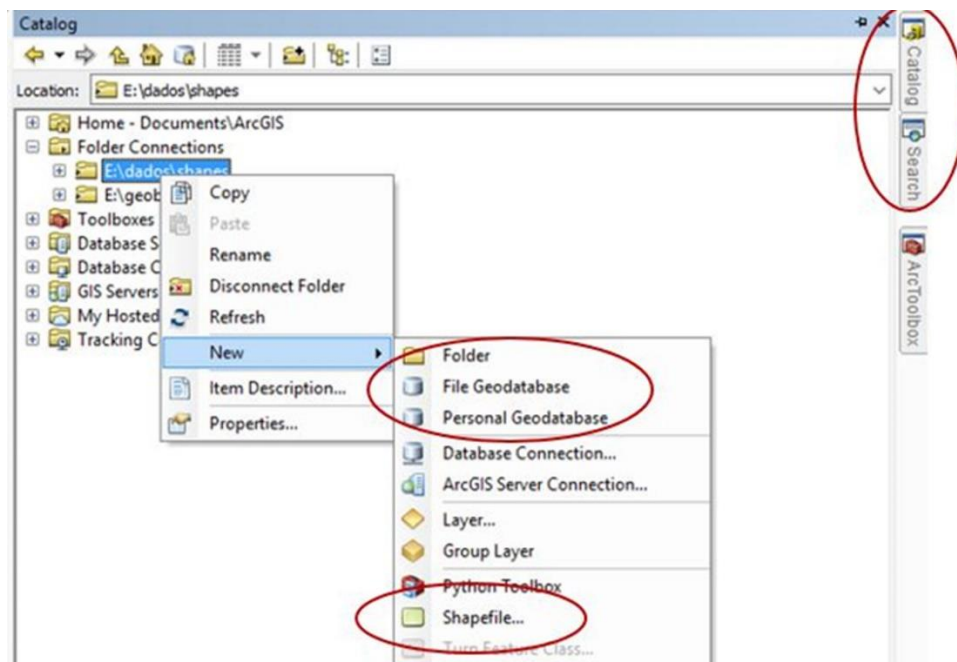
A criação de novas camadas, em geral, resulta na criação de novas feições, contudo a recíproca não é verdadeira. A criação de novas feições pode ser feita sem a criação de novas camadas, em diferentes tempos e, por diferentes usuários.

Criação de camadas de dados geoespaciais vetoriais

Enquanto o ArcGIS® privilegia o uso de uma interface acessória para criação de novas camadas de dados vetoriais (o ArcCatalog®), o QGIS® emprega a sua interface padrão para a criação das mesmas.

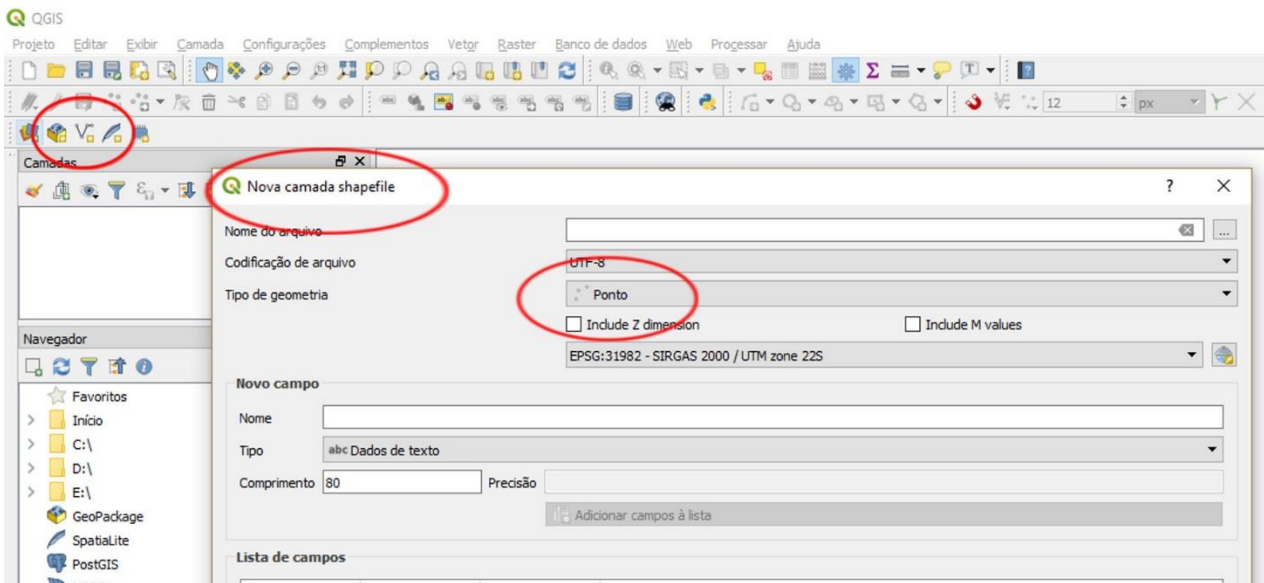
As versões mais recentes do ArcGIS® têm favorecido, através das configurações *default* das janelas de trabalho, a criação de novas camadas diretamente em bancos de dados. Neste sentido, a maioria das operações que resultam na criação de novas camadas de dados vetoriais utilizam, por *default*, a saída e o armazenamento em bancos de dados, sob a forma de *feature class* (camada vetorial similar ao *shapefile*, porém, armazenada dentro do banco de dados: GEODATABASE).

Esta mudança reflete a opção do desenvolvedor do *software* pela forma de armazenamento e compartilhamento de arquivos geoespaciais a partir de bancos de dados, tanto vetoriais quanto matriciais. Dentre os diferentes motivos que explicam este direcionamento, encontra-se a maior robustez dos bancos de dados e a redução nos problemas de inconsistência de dados.



Interface do ArcCatalog® para criação de Bancos de Dados e camadas de dados, tanto em Bancos de Dados como em diretórios (Arquivos shp)

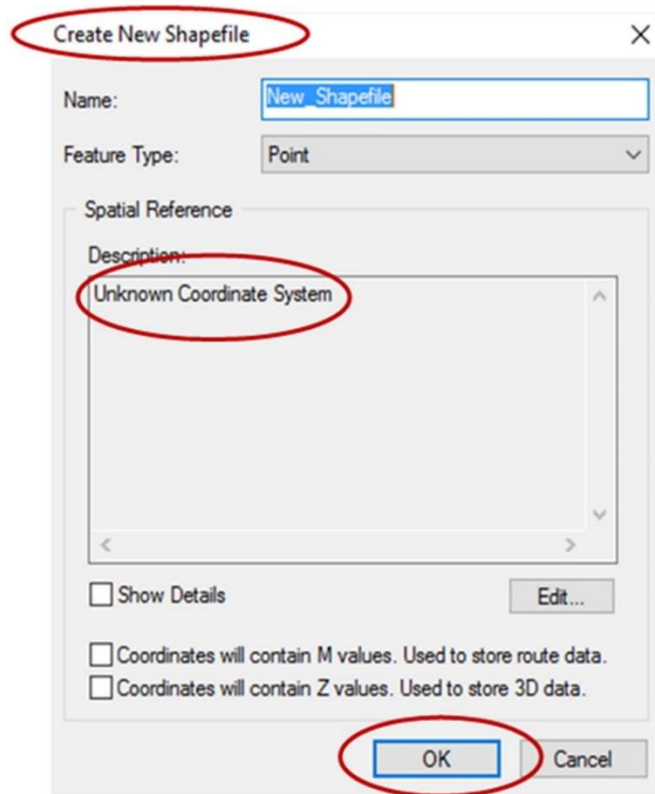
A interface do QGIS®, por sua vez, privilegia a criação de arquivos avulsos diretamente em pastas/diretórios (arquivos do tipo shp). Contudo, permite também a importação e exportação das camadas vetoriais diretamente **de** e **para** bancos de dados.



Interface do QGIS® para criação de camadas de dados (Arquivos shp) em diretórios

Do ponto de vista cartográfico, a criação de camadas para armazenamento de dados geoespaciais demanda que sejam fornecidas, previamente, informações sobre a escala, projeção cartográfica e sistema de coordenadas. Este número mínimo de informações serve de base para que o *software* possa analisar e ajustar a estrutura topológica dos dados e, para que o uso e compartilhamento dos dados possa se dar de forma adequada.

Neste sentido, há que se ter atenção durante a criação de camadas de dados avulsos (shp) quando se utiliza a interface do ArcGIS®, pois, apesar de ser de fácil acesso e útil para manipulação de diferentes tipos de dados, esta interface permite que sejam criadas camadas sem nenhuma informação ou referência espacial.

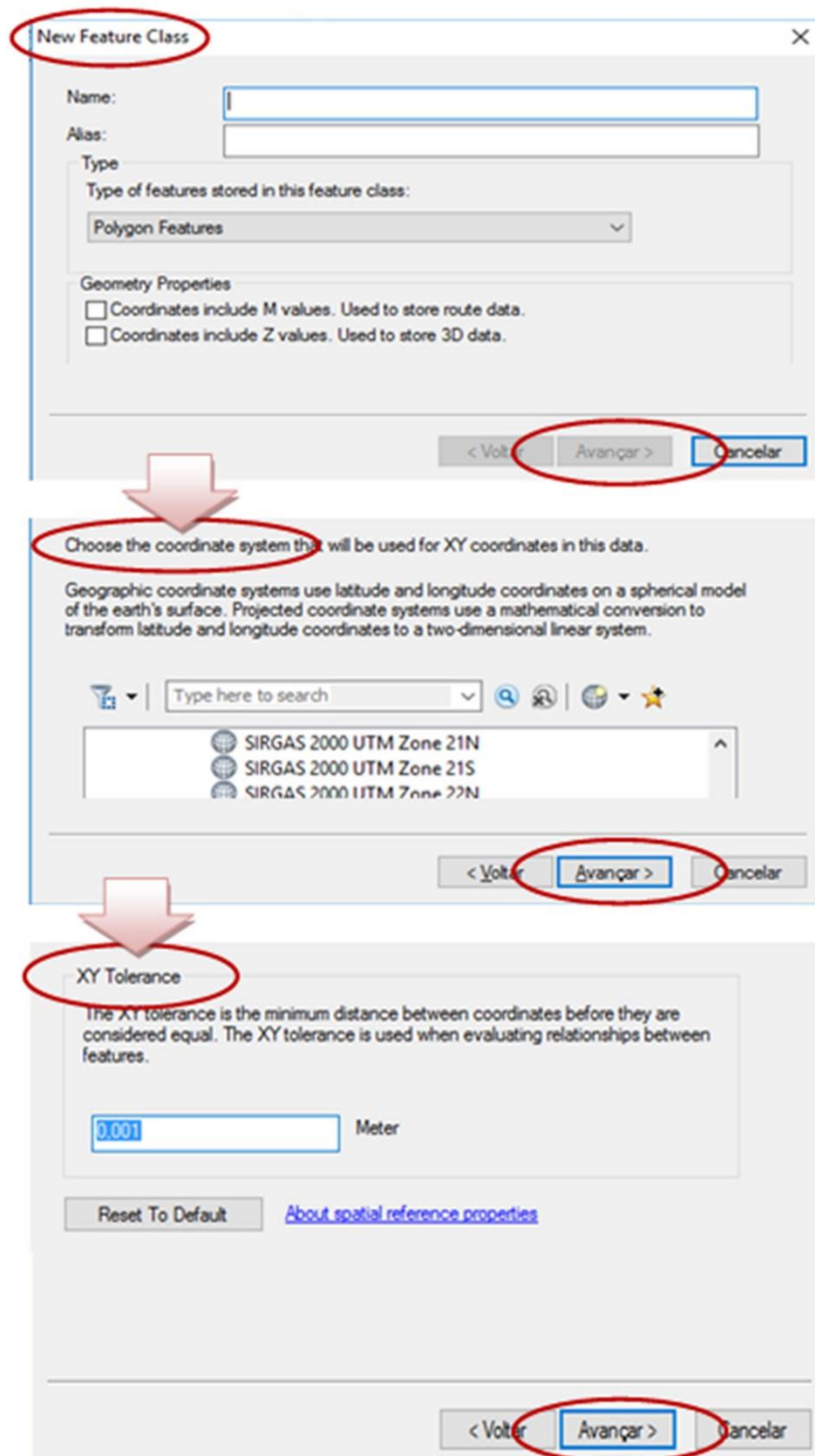


Janela do ArcGIS® para criação de arquivos shapefile

A configuração *default* da janela de criação de arquivos *shapefile* do ArcGIS® emprega geometria tipo ponto (podendo ser alterada para linha ou polígono) e a referência espacial cartesiana, com SISTEMA DE COORDENADAS DESCONHECIDO (*Unknown Coordinate System*). Desta forma, caso o usuário informe apenas a geometria a ser utilizada e não informe a referência espacial, a camada será criada sem armazenar informações sobre a projeção e o sistema de coordenadas. Nesta interface, também não é possível informar a escala utilizada, que é uma condição básica para qualquer dado cartográfico.

A janela do ArcGIS® utilizada para criação de camadas de dados geoespaciais em banco de dados (*feature class*) não permite que uma nova camada seja adicionada sem que se informe a referência espacial e sem que se faça uma referência à escala, o que é feito a partir da informação **tolerância XY**. A tolerância XY possui relação direta com a escala, uma vez que será utilizada para ajustamento das feições (ajuste topológico). Tal tolerância corresponde à dimensão mínima necessária para que dois vértices (pontos isolados, nós ou vértices de uma linha ou polígono) sejam

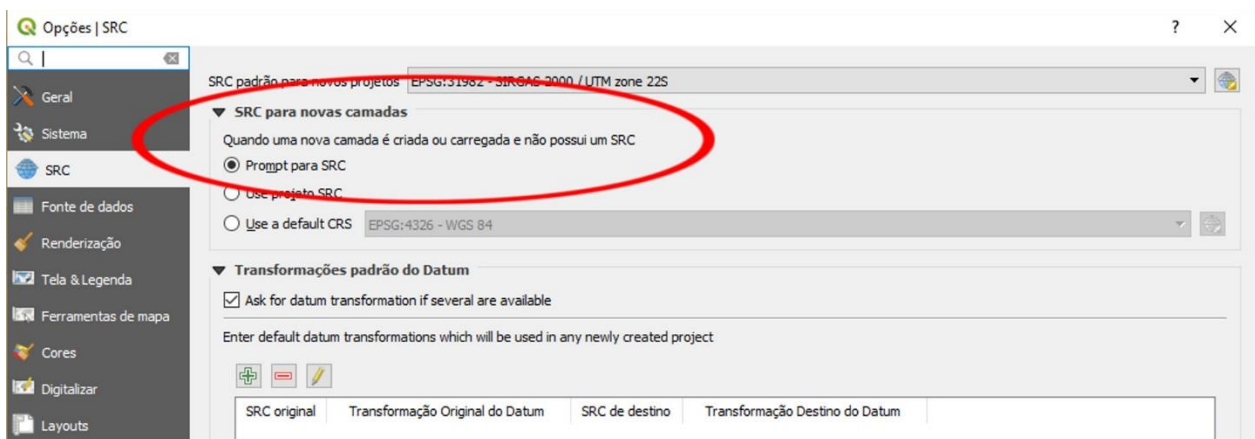
considerados como distintos e, conseqüentemente, não sejam simplificados para um único vértice/ponto (processo denominado de clusterização).



Janela do ArcGIS® para criação de uma camada de dados diretamente em Banco de Dados onde a função de criação não aparece habilitada enquanto não são informados os dados sobre a projeção e sobre a tolerância XY

Na figura anterior, enquanto a primeira janela define o nome e a geometria a serem empregadas na criação da camada de dados, as duas janelas seguintes obrigam o usuário a fornecer informações sobre a referência espacial e a escala. Este procedimento fornece maior consistência aos dados.

A janela de criação de novas camadas *shapefile* do QGIS® não solicita informações sobre referência espacial ou escala. Neste *software*, contudo, toda nova camada *shapefile* utiliza a referência espacial previamente definida pelo usuário.



Interface do QGIS® para configuração prévia do SRC e janela de criação de arquivos shp com indicação do SRC predefinido

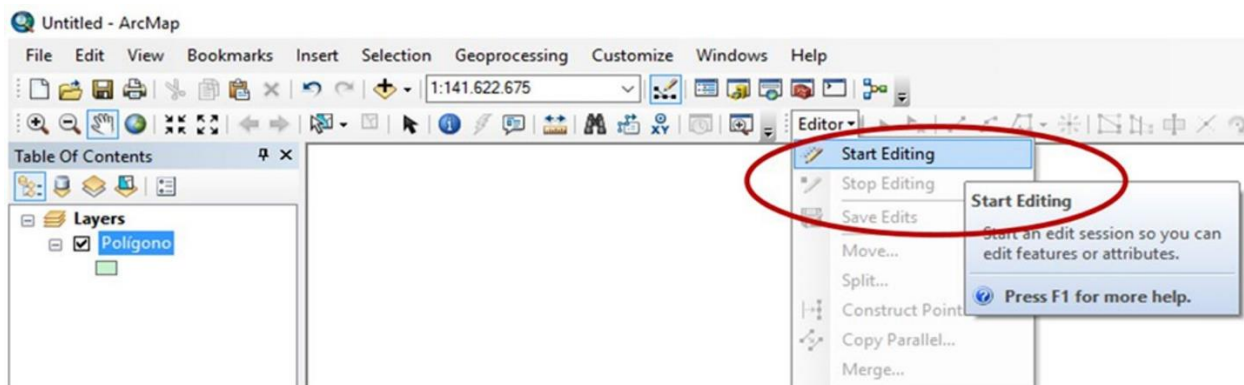
No QGIS®, as configurações do menu de comando permitem ao usuário definir qual deverá ser o SRC (Sistema Cartográfico de Referência, já explicado anteriormente) a ser utilizado para novas camadas de dados.

Edição de feições

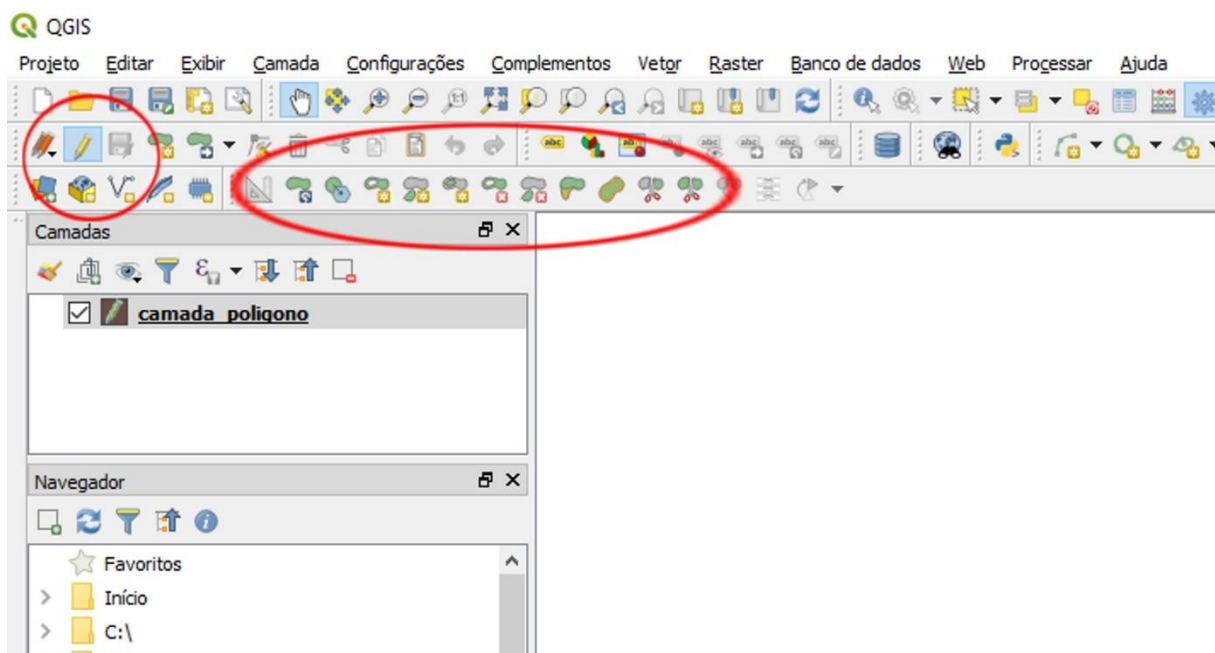
Uma vez criada ou importada uma camada de dados, a mesma pode ser editada através das ferramentas de edição vetorial disponibilizadas pelos *softwares* de SIG. Estes dispõem de um conjunto similar de funções para edição vetorial, com pequenas diferenças entre o número de funções, a forma de operacionalização e a nomenclatura empregada.

Como existe na WEB um número significativo de tutoriais, tanto na forma de texto como de vídeo, detalhando as funções de edição vetorial, este livro deter-se-á apenas às principais.

A seguir são apresentadas algumas das ferramentas elementares para criação e alteração de feições, para as interfaces do ArcGIS® e do QGIS®. Estas funções ficam disponíveis somente após ativação do processo de edição vetorial.



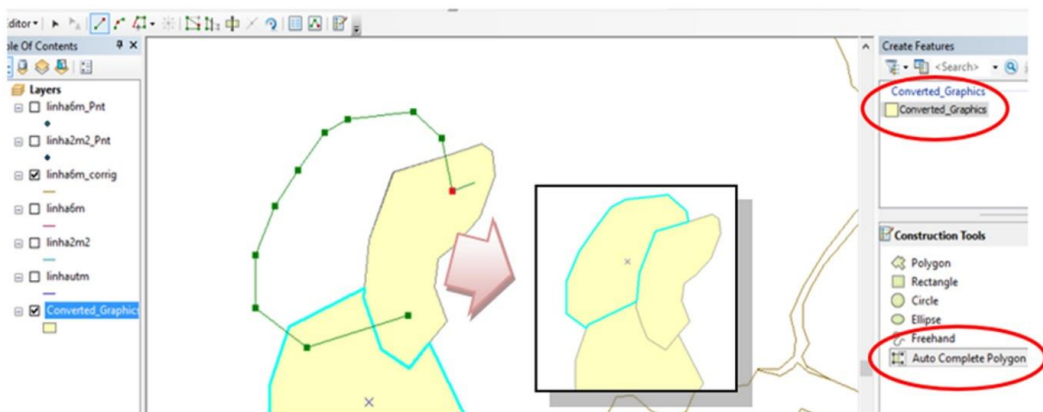
Interface do ArcGIS® – habilitando as funções de edição vetorial



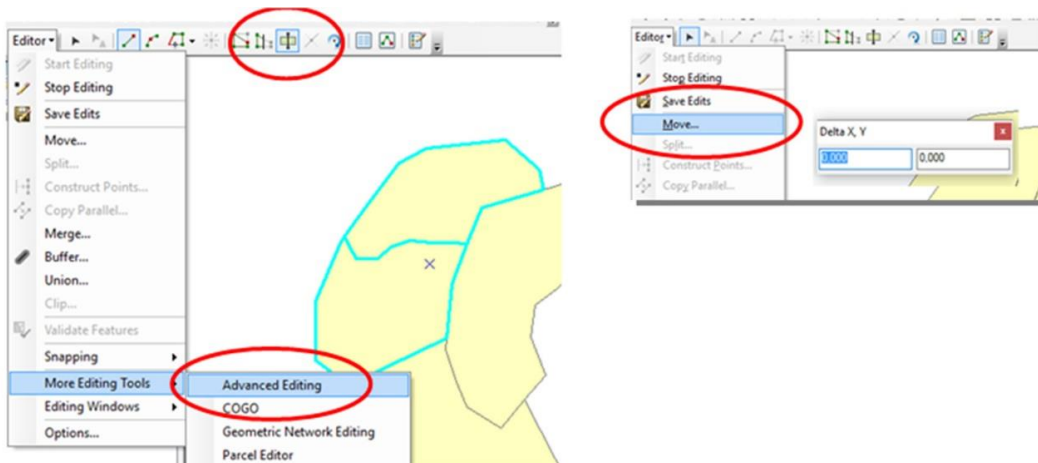
Interface do QGIS® – habilitando as funções de edição vetorial e digitalização avançada

Criação e edição de feições no ArcGIS®

Diferentes caminhos podem ser utilizados para a manipulação de feições utilizando o ArcGIS®. Uma vez iniciado o modo de edição é possível criar, modificar (cortar, agregar, mesclar, mover, etc.) e apagar toda ou parte da feição selecionada. A camada a ser editada deverá ser selecionada na aba à direita (para as versões anteriores à 10, a seleção da camada a ser editada deve ser feita na barra de função: Editar).



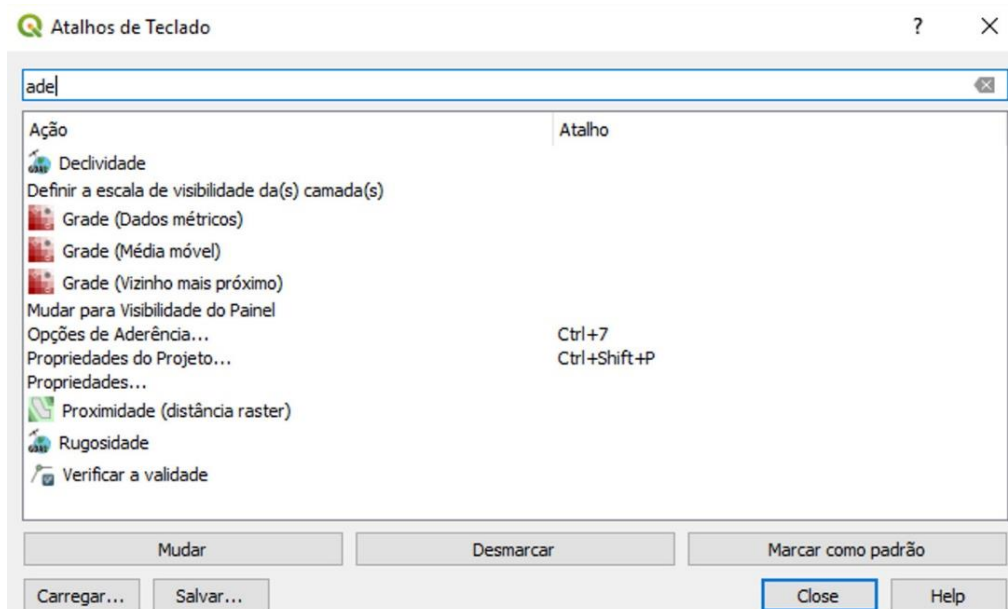
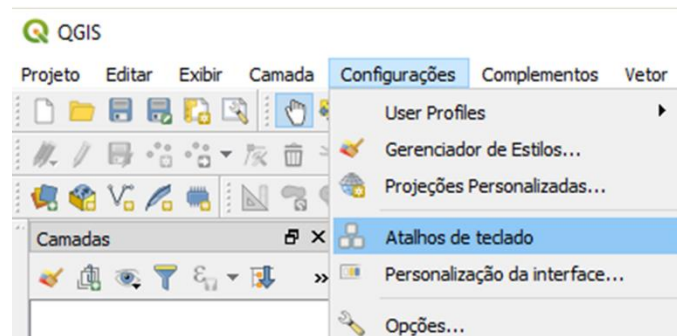
Janela do ArcGIS® com os campos habilitados para edição vetorial e Feição criada com a função de autocomplementação de Polígonos



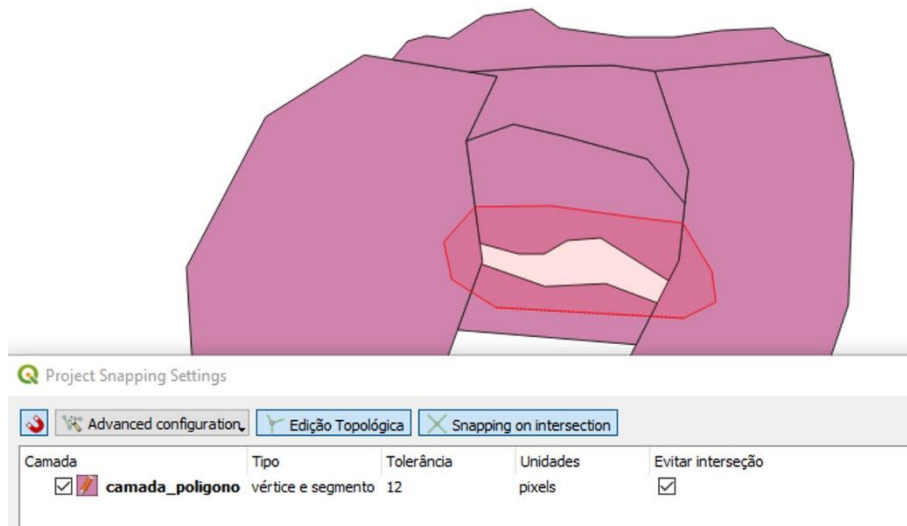
Janelas do ArcGIS® indicando o acesso à ferramenta de corte, o acesso às ferramentas de edição avançada (esquerda) e a função que possibilita mover as feições a partir de dimensões predefinidas relativas aos Eixos X e Y (direita)

Criação e edição de feições no QGIS®

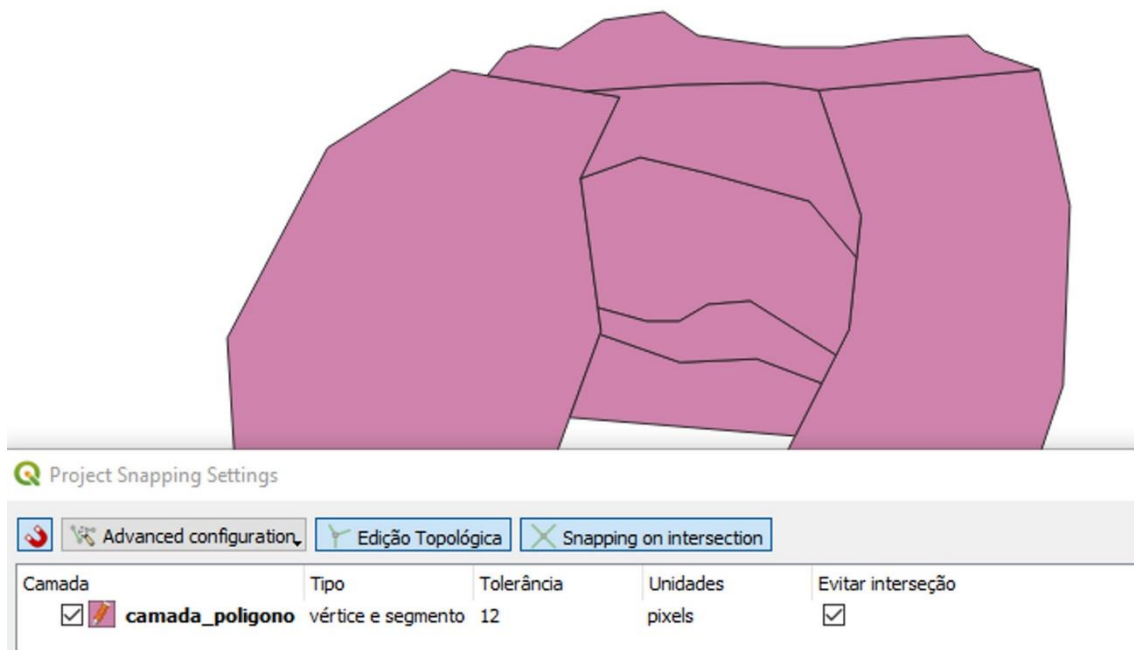
O QGIS® possui basicamente as mesmas funções do ArcGIS®, contudo, a forma de acesso e a nomenclatura podem ser, em alguns casos, muito diferentes. Como exemplo pode ser citado o processo de desenhar novas feições com geometria do tipo polígono, as quais compartilham vizinhança com polígonos já existentes. Enquanto no ArcGIS® a edição é normalmente feita utilizando a função de autocomplementação (a fim de evitar a ocorrência de espaços vazios e sobreposições entre os polígonos desenhados), o QGIS® disponibiliza a mesma função, porém, utilizando as opções de aderência, as quais são acionadas a partir do menu de opções.



Até o momento, no QGIS® 3.0 as opções de aderência devem ser habilitadas através da função “Atalhos de Teclado” no menu de CONFIGURAÇÕES



No QGIS® com o “Modo Avançado” e, com a função de “Evitar Intersecções” habilitada, a criação de novas feições funciona de forma similar à ferramenta de autocomplementação de polígonos do ArcGIS®



Polígonos criados com a ferramenta “Adicionar Feição” com a função de “Evitar Intersecções” habilitada

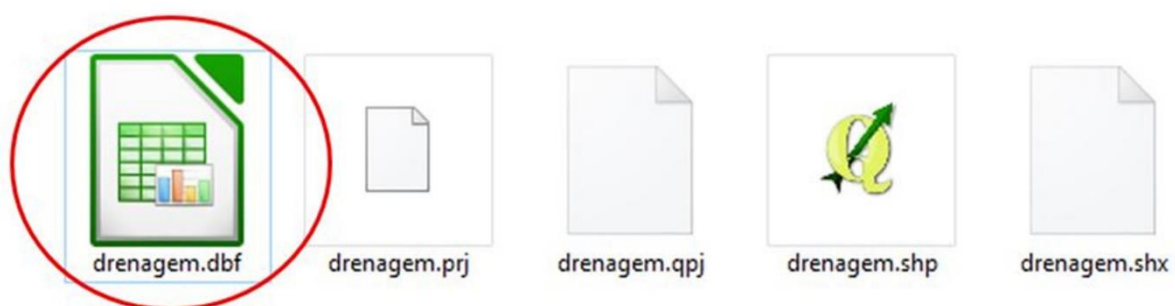
Tanto o ArcGIS® quanto o QGIS® fornecem rico arsenal de ferramentas e funções que possibilitam a edição vetorial empregando padrões de qualidade suficientes para produção de qualquer base de dados vetorial.

Conforme mencionado anteriormente, há uma farta disponibilidade de vídeos tutoriais na internet ensinando como fazer uso das diferentes ferramentas. Estes vídeos abordam as diferentes versões dos *softwares*, demonstrando de forma específica as diferentes nomenclaturas empregadas pelos diversos *softwares* e, permitindo observar a posição de acesso das ferramentas para cada interface e versão utilizada (ArcGIS® 9, 10, QGIS® 2.14, 2.18, 3.0, etc.).

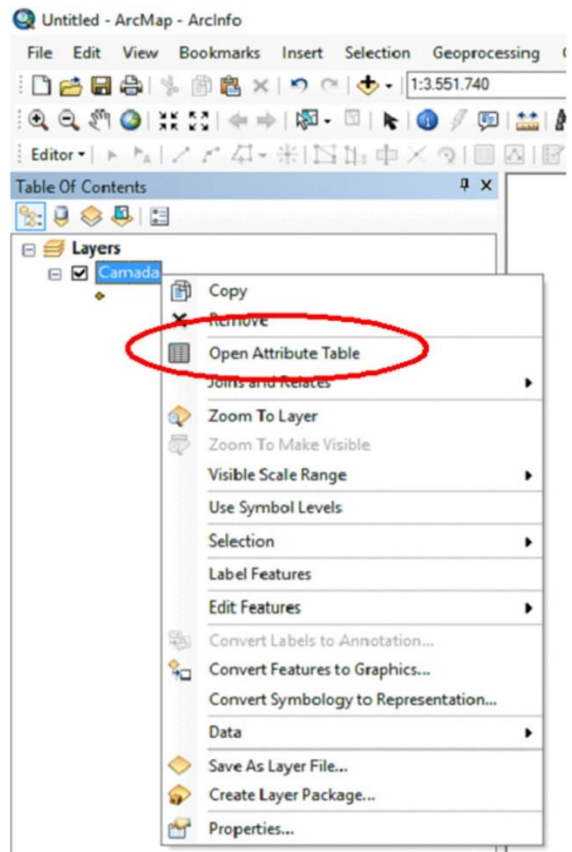
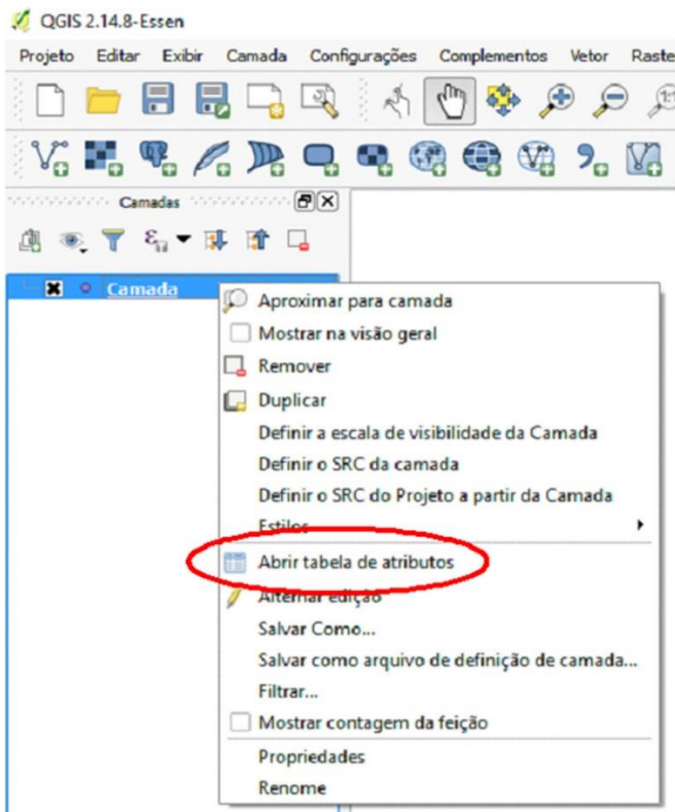
Tabela de atributos

Arquivos vetoriais armazenados em diretórios (fora de bancos de dados) guardam as informações conhecidas sobre as feições desenhadas em planilhas do tipo DBF. Informações como o nome do proprietário, o tipo de uso, o número do CPF, a área do lote e outras são denominadas de atributos.

Os arquivos do tipo DBF podem ser visualizados e editados por *softwares* de manipulação de planilhas eletrônicas como o **LibreOffice Calc®** ou **Microsoft Excel®** e, em ambiente SIG, podem ser visualizados, consultados e editados a partir do acesso à “tabela de atributos”.



Arquivo DBF - Armazena Informações (Atributos) sobre o arquivo vetorial



Acesso à tabela e atributos – QGIS® (esquerda) e ArcGIS® (direita)

A inserção, alteração ou exclusão de novos **dados** na tabela de atributos só pode ser realizada quando a camada vetorial correspondente se encontra em modo de edição (edição vetorial ativa).

Cada linha na tabela de atributos (ou *tupla*) corresponde a uma ou mais feições vetoriais e, cada coluna a um conjunto de dados (denominado de campo de atributos). A inserção, alteração ou exclusão de feições também só pode ser realizada quando a camada vetorial se encontra com o modo de edição ativo.

ID	Nome	Latitude	Longitude	Altitude	codig
10	SERRARIA SÃO SEBASTIÃO - INDUBRAS	7054158,04855	466844,728608	950	26510
10	PALMAS	7070404,05954	400332,314177	1060	26520
26	IRATIM	7071119,57429	457332,00848	1161	26510
29	SÃO PEDRO - CODEGA	7076205,0882	443495,09891	1150	26510
03	CLEVELÂNDIA	7077462,20108	365367,778153	930	26520
03	JANGADA DO SUL - 396	7081461,8318	472878,52678	800	26510
24	FAZENDA SANTA CRUZ	7081278,5249	376971,717701	900	26520
35	FAZENDA SANTA TEREZA	7083414,95949	413531,734904	1180	26510
11	MARIÓPOLIS	7084606,07098	343663,960073	850	26520
28	FAZENDA SÃO LOURENÇO	7090920,80258	433447,681594	1100	26510
12	VITORINO - MOINHO CAÇADOR	7093530,46781	320250,787612	710	26520
19	RIO VERDE	7096613,6243	280232,706839	700	26530
33	PASSO DA ILHA	7097740,45904	340507,269896	700	26520
00	UNIÃO DA VITÓRIA - 396	7099052,64534	491979,344772	736	26510
20	SALGADO FILHO	7101829,89952	261814,027819	500	26530
18	FRAGOSOS	7106175,43999	661866,188098	790	26490
24	MARMELEIRO	7105860,92451	298249,055995	640	26530
41	IMASA S/A	7109337,747	425025,341353	947	26510
27	CACHOEIRA - GENEROSO	7109690,90063	381640,745139	1009	26520
14	MARCIANÓPOLIS	7108693,30495	234998,49199	447	26530
35	PATO BRANCO	7110303,71716	331691,121942	700	26520
22	HONÓRIO SERPA	7110603,10576	356691,481645	850	26520
17	GUABUJ	7109559,06557	253666,519969	500	26530
06	RIO NEGRO	7112688,83458	619996,757499	770	26490
15	LINHA GAÚCHA	7113233,08051	279951,24043	757	26530

Tabela de Atributos visualizada na interface do ArcGIS® - cada Campo corresponde a uma coluna

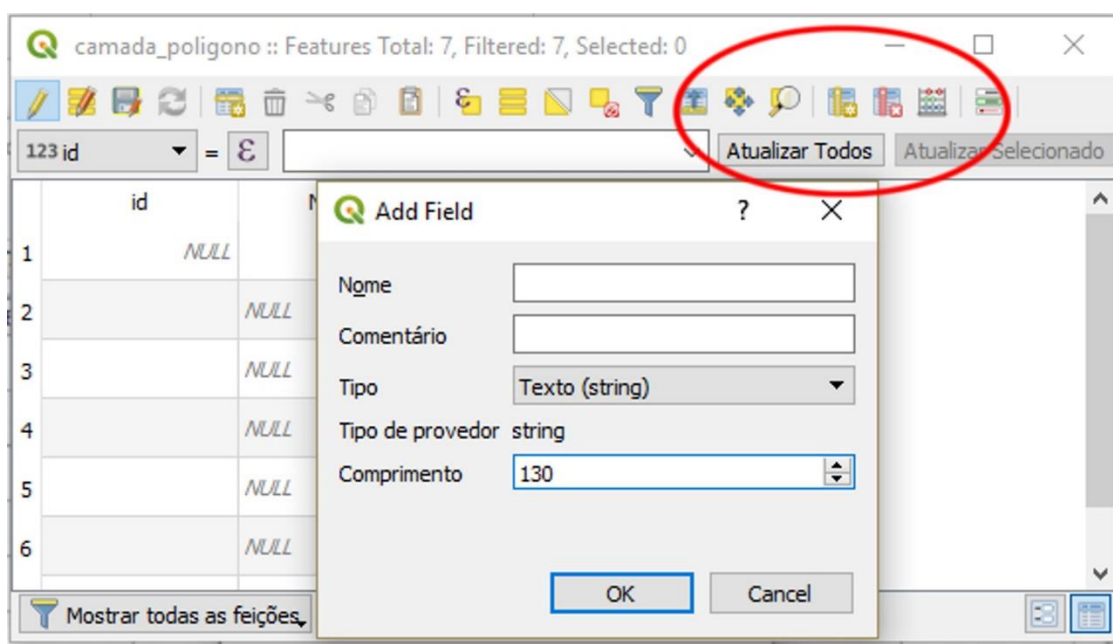
id	Nome	area	perimetro
1		NULL	NULL
2	NULL	NULL	NULL
3	NULL	NULL	NULL
4	NULL	NULL	NULL
5	NULL	NULL	NULL
6	NULL	NULL	NULL

Tabela de Atributos visualizada na interface do QGIS® - cada campo corresponde a uma coluna

A forma de inserção de novos campos de atributos, alteração de algumas de suas propriedades e, a exclusão integral do campo varia de acordo com o *software* utilizado. Exemplo, enquanto no ArcGIS® a adição ou exclusão de um campo (coluna) só é possível quando o modo de edição está inativo, no QGIS® somente a exclusão de campos é permitida neste modo.

Campos de atributos podem ser inseridos concomitantemente à criação da camada vetorial ou a qualquer momento em que se julgar necessário.

Cada campo de atributos armazena dados conforme a tipologia e demais definições estabelecidas durante sua criação. Assim, um campo de atributos destinado à armazenagem dos nomes das escolas, por exemplo, deve ser criado informando que a tipologia de dados é a do tipo *string* e, que este novo campo irá armazenar caracteres até uma quantidade limitada, a ser especificada, sendo o máximo 255.



Exemplo de criação de campo de atributos no QGIS® – campo do tipo texto, limitado à inserção de até 255 caracteres.

As principais tipologias de dados para os campos de atributos são: texto (*string* – com limite máximo 255 caracteres), número (inteiro ou decimal) e data. Uma vez definida a tipologia dos dados, esta não poderá ser alterada posteriormente, assim, campos criados para armazenar números não irão armazenar textos e não podem ser alterados para esta tipologia.

Campos criados para armazenar textos podem armazenar números, contudo, irão tratar os mesmos como texto, ou seja, não irão permitir a aplicação de funções estatísticas e outras disponíveis para manipulação de números. Neste caso, havendo necessidade de aplicação de funções matemáticas ou estatísticas, os campos de atributos deverão ser criados com a tipologia de número.

Edição de dados em tabelas de atributos

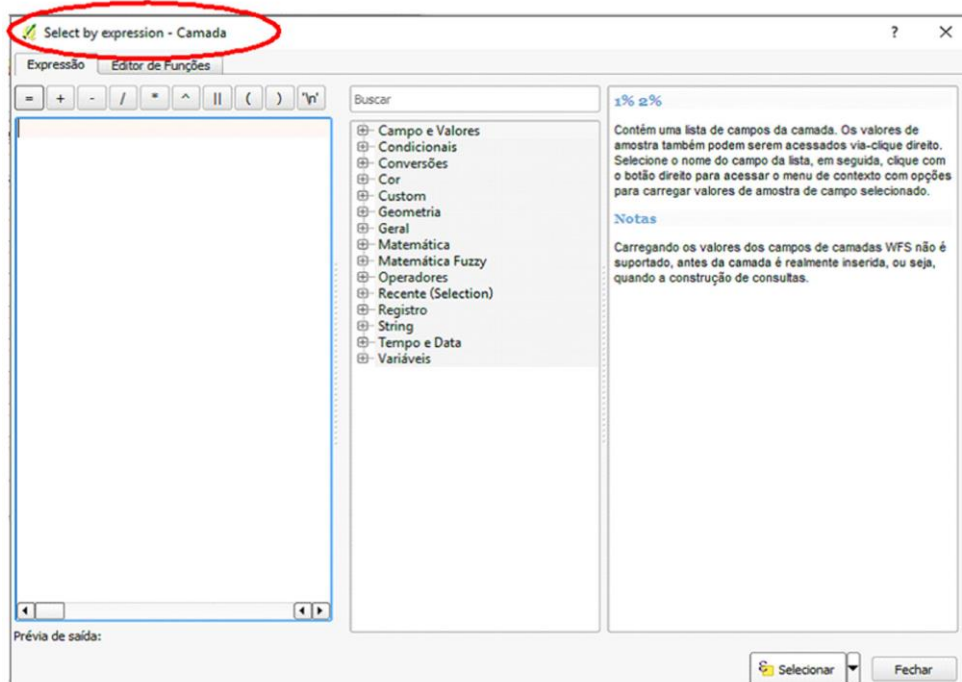
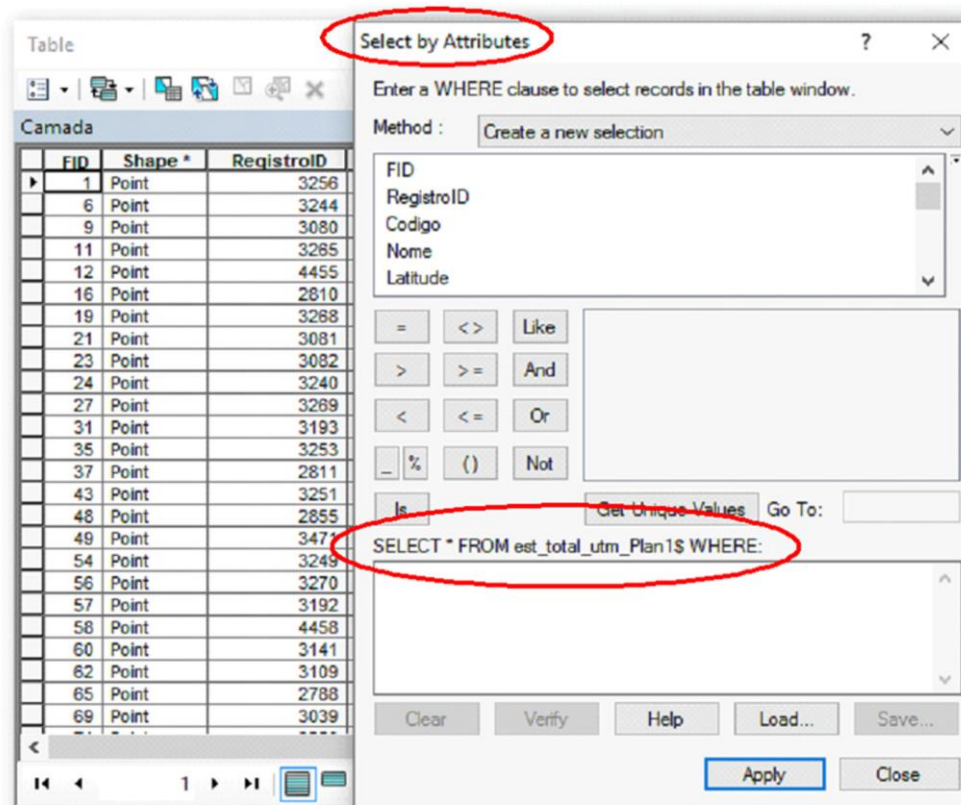
Consultas, Cálculos e Junções

As consultas e demais operações com os dados armazenados em tabelas de atributos são feitas em ambiente SIG via “calculadoras de atributos” e/ou “calculadoras de campos”. Os procedimentos usualmente mais empregados com estas tabelas são:

1. Consultas por Atributos

As consultas por atributos empregam a linguagem SQL (*Structured Query Language*). Este assunto será apresentado de forma mais detalhada no segundo volume deste livro. Consultas SQL sobre tabelas de atributos objetivam selecionar (*select*), nas mesmas (*from*), elementos que atendam a uma ou mais características específicas (*where*). Estas consultas empregam operadores típicos de consulta estruturada como AND, OR, LIKE, NOT, etc.

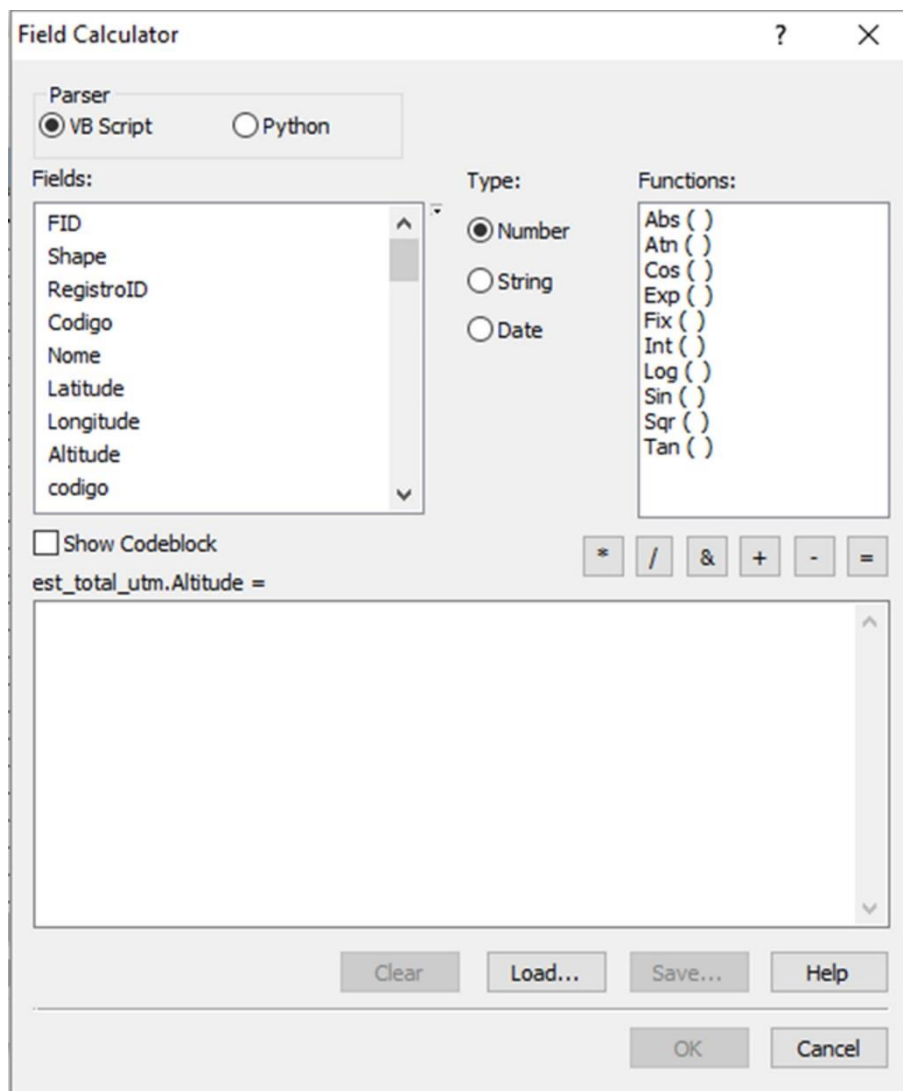
Exemplo: um gestor pode desejar selecionar (*select*) em uma camada de lotes (*from* LOTES) aqueles que se localizam no bairro “X” e que, ao mesmo tempo, apresentem área superior a 600m² (*where*: BAIRRO = “X” AND AREA > 600).



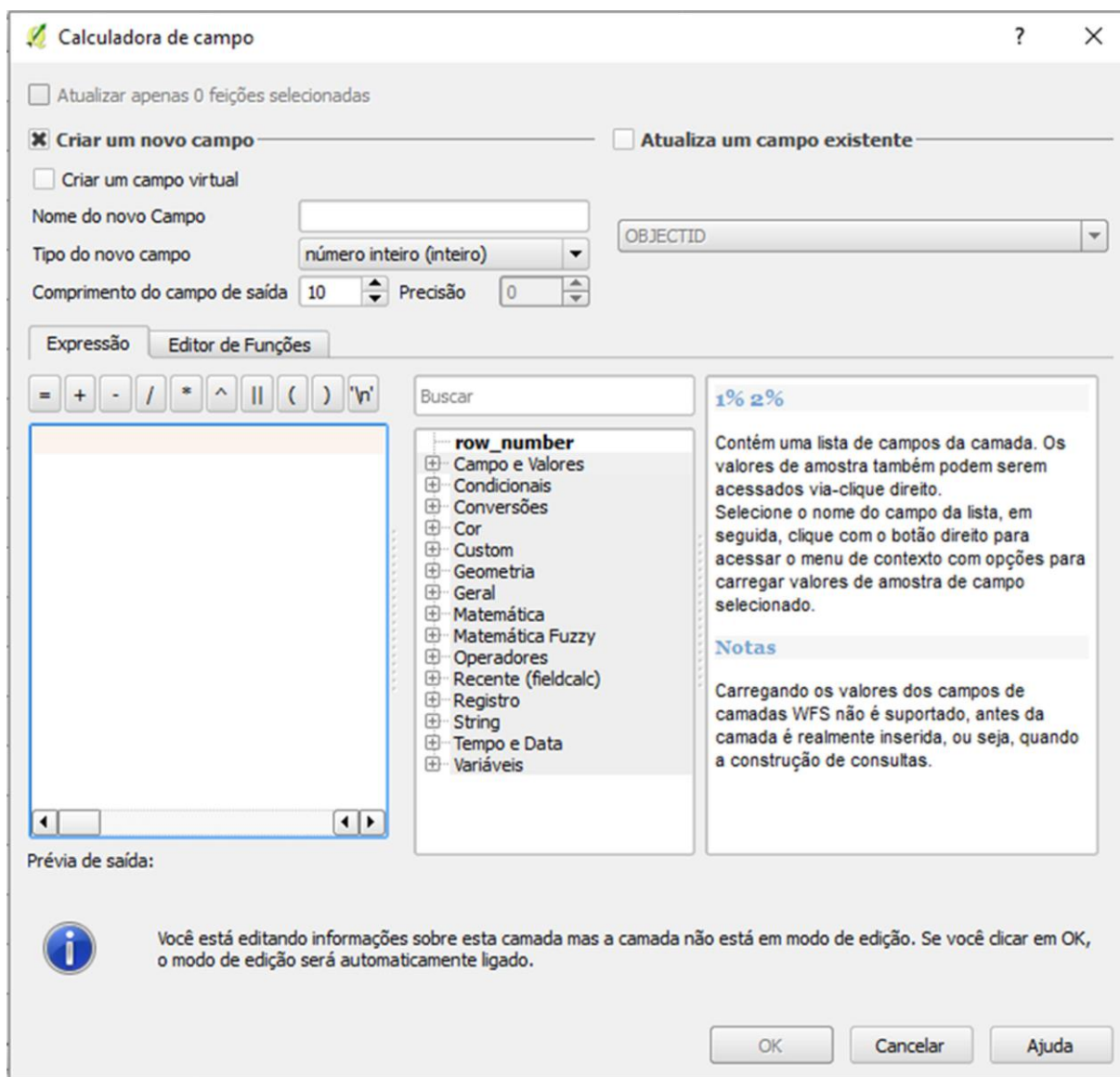
Consulta por atributos no ArcGIS® (acima) e QGIS® (abaixo)

2. Operações com calculadoras de campos

As calculadoras de campos possibilitam a obtenção de parâmetros relativos à geometria (como por exemplo o cálculo de área e/ou perímetro) e a aplicação de diferentes procedimentos matemáticos, trigonométricos e estatísticos sobre os dados armazenados em campos numéricos.



Calculadora de campos: ArcGIS®



Calculadora de campos: QGIS®

Utilizando estas calculadoras é possível, por exemplo, somar dados contidos em campos distintos, multiplicar, juntar, obter informações estatísticas, como a média, moda, desvio padrão e, executar outras diferentes operações, as quais podem resultar na atualização de uma coluna existente, ou, na geração de novas colunas de dados (campos de atributos).

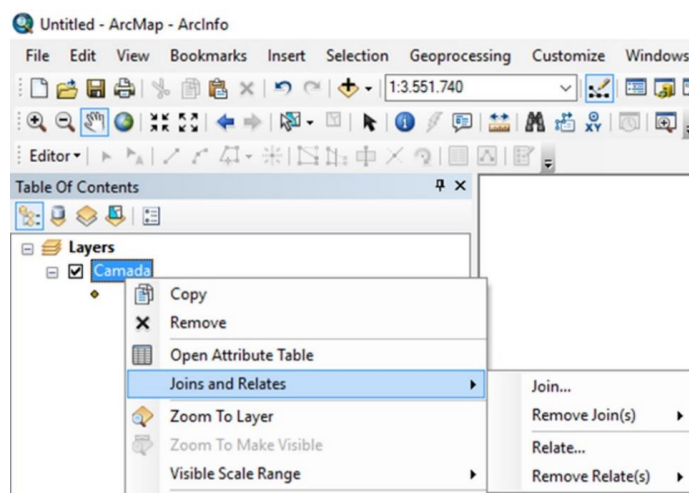
Junções de tabelas externas

Outra operação usual com tabelas de atributos consiste na ligação destas com um ou mais conjunto de dados externos, em geral armazenados em planilhas eletrônicas (extensão: DBF, XLS, XLXS, etc.). Esta operação demanda a definição de uma chave primária, ou seja, de uma coluna (campo) na tabela de atributos que contenha uma informação comum às demais tabelas a serem unidas.

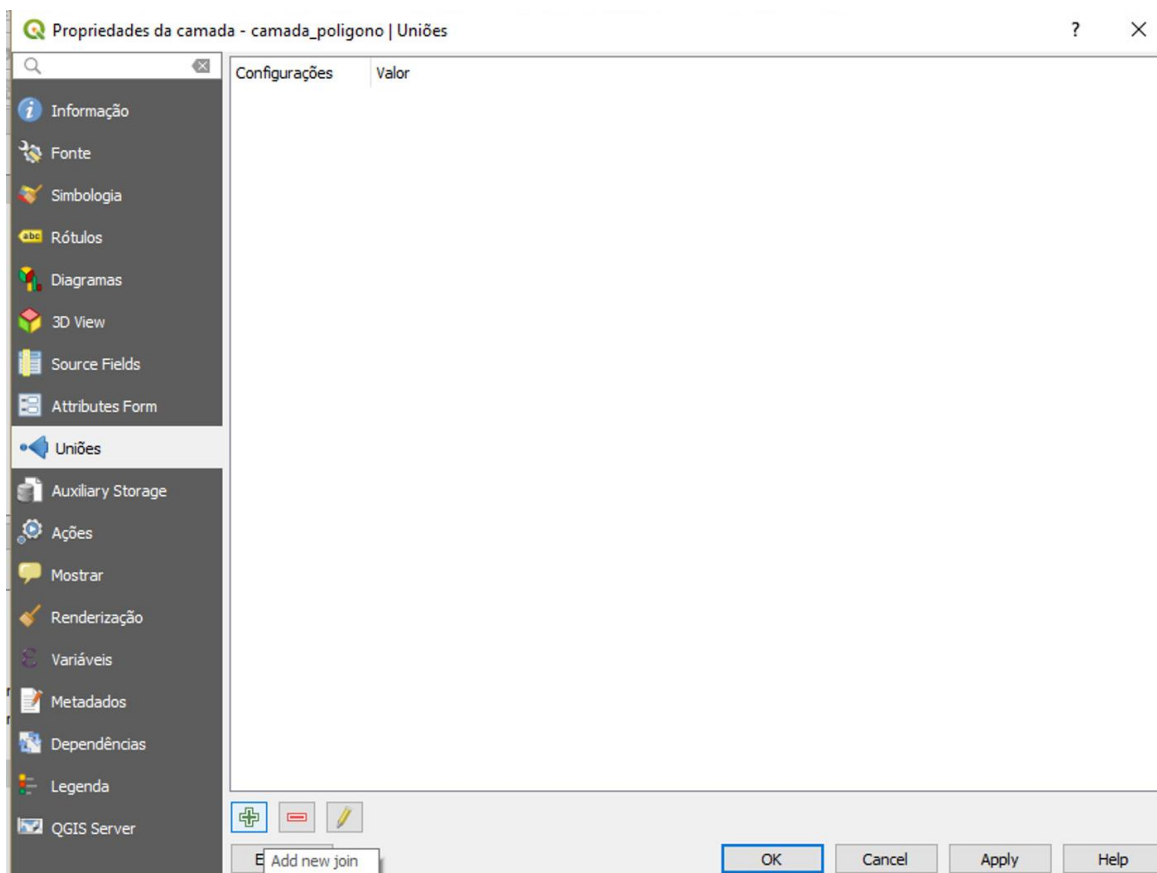
É importante, neste processo de união, que a tipologia dos campos seja coincidente, ou seja, campos numéricos se ligam, preferencialmente, a campos numéricos e não a campos do tipo texto. Ainda, que os valores presentes nos campos a serem unidos sejam coincidentes.

Uma vez unidas aos dados externos, torna-se possível realizar, sobre estes dados, as mesmas consultas realizadas sobre os dados originalmente armazenados na tabela. Contudo, a ligação da tabela de atributos à dos dados externos é uma operação flutuante, ou seja, a consulta e visualização dos dados externos só será possível enquanto a ligação estiver ativa.

Caso o usuário deseje manter os dados externos ligados à tabela de atributos primária, deve-se exportar a camada vetorial gerando uma nova camada de dados, a qual irá armazenar os dados ligados.



Junção de tabelas de atributos a dados externos no ArcGIS®



Junção de tabelas de atributos a dados externos no QGIS®

Dados matriciais: georreferenciamento

Georreferenciamento de imagens para aquisição de dados vetoriais

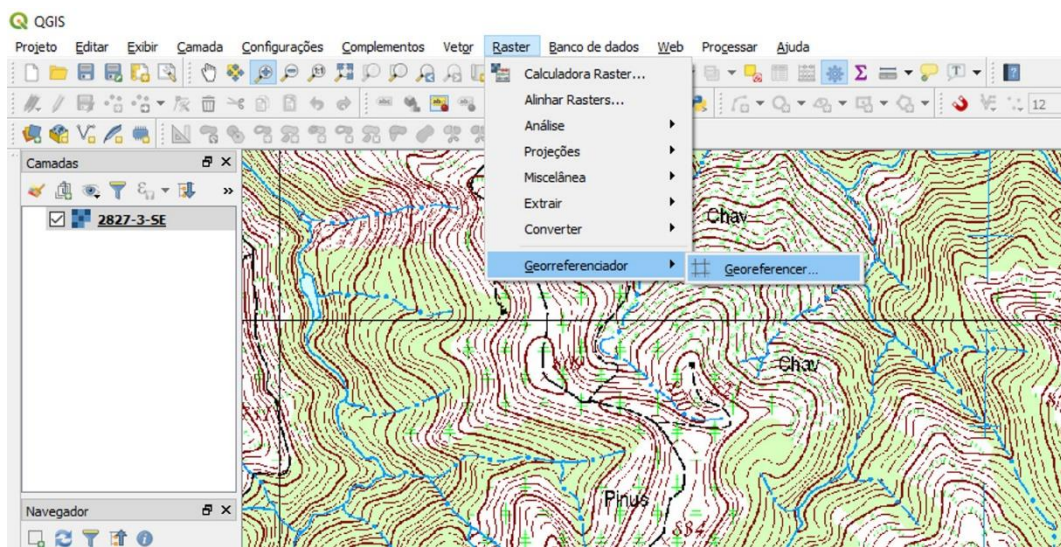
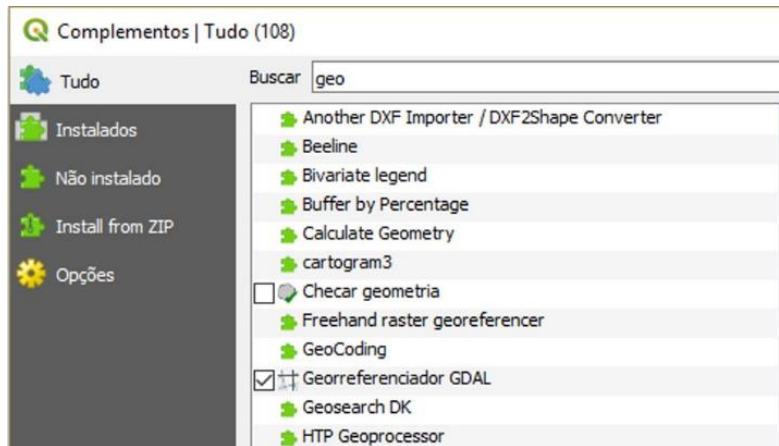
A obtenção de dados vetoriais a partir de imagens, como mapas escanizados e/ou produtos de Sensoriamento Remoto, demanda que as mesmas estejam posicionadas corretamente em relação ao referencial cartográfico adotado.

O processo de atribuição de um referencial cartográfico ao conjunto de pixels que compõem uma imagem é denominado de transformação geométrica, sendo conhecido pelo jargão de georreferenciamento.

Este procedimento tem sido cada vez menos empregado, uma vez que boa parte dos produtos que demandavam ser georreferenciados já se encontram posicionados em relação ao seu referencial cartográfico (como exemplo as cartas topográficas do IBGE e da DSG). Ainda, porque os novos produtos de Sensoriamento Remoto (como as imagens de satélite e mapeamentos por “*drones*”), em geral, já são entregues georreferenciados.

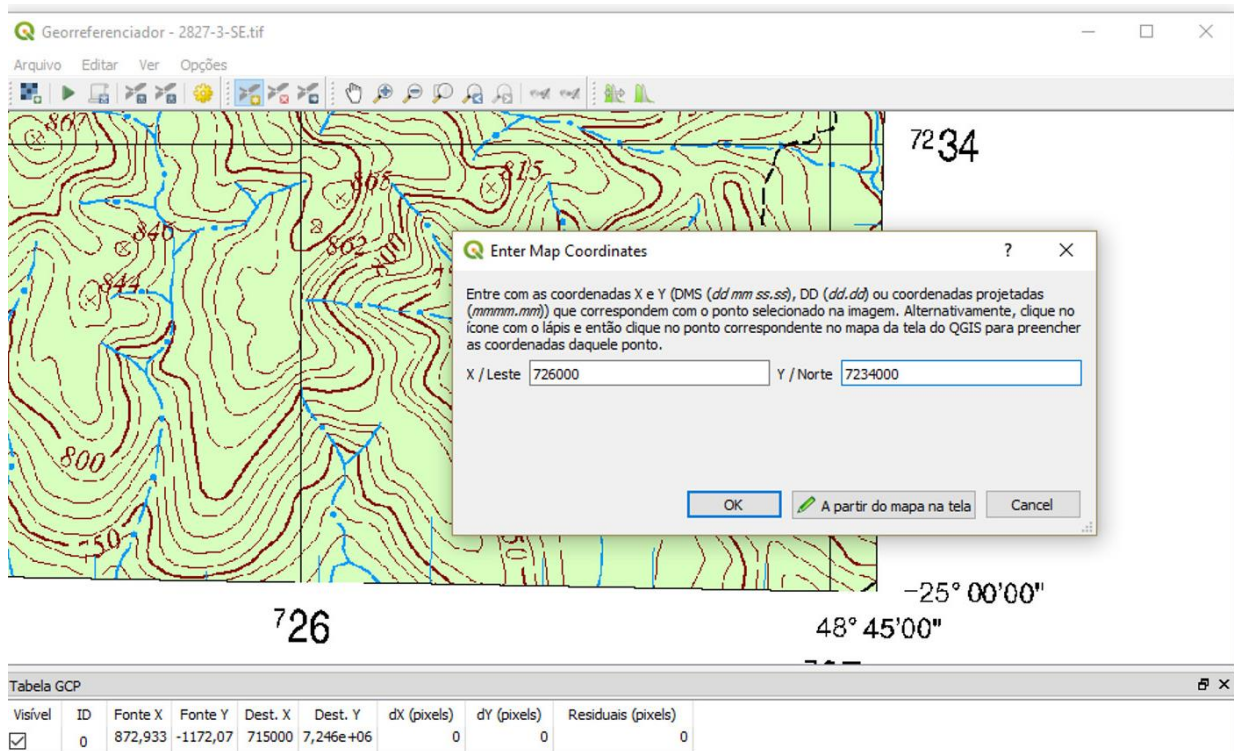
Como os *softwares* de SIG dispõem de interface amigável para realização destas operações, e ainda existem produtos sem referencial cartográfico, não é incomum a realização deste tipo de procedimento como medida primeira para aquisição de dados vetoriais. Contudo, cabe destacar que cada tipo de produto cartográfico em formato de imagem demanda um tipo particular de transformação e, neste sentido, duas premissas básicas devem ser observadas para um adequado posicionamento dos mesmos.

1. **Observação do Referencial Cartográfico Nativo**: o georreferenciamento de um produto cartográfico que já possui referencial cartográfico definido, como por exemplo uma carta topográfica do IBGE e, que utilizar como ponto de apoio as coordenadas disponíveis na imagem, deverá ser feito no mesmo referencial cartográfico (nativo) dos dados. Exemplo: uma carta topográfica produzida em UTM/Córrego Alegre deverá ser georreferenciada em UTM/Córrego Alegre se o processo de atribuição de pontos de controle empregar as coordenadas correspondentes aos eixos da grade UTM presente na carta. Isto porque as coordenadas apresentadas na mesma só são válidas para este referencial cartográfico, ou seja, em outro referencial cartográfico (ex.: UTM/SAD69) estes mesmos pontos possuem diferentes coordenadas cartográficas. Portanto, ao georreferenciar um produto cartográfico que já possuía referencial cartográfico, o processo deverá ser feito com a janela do *software* calibrada para atuar no mesmo referencial cartográfico que a carta/produto a ser referenciado se encontram.

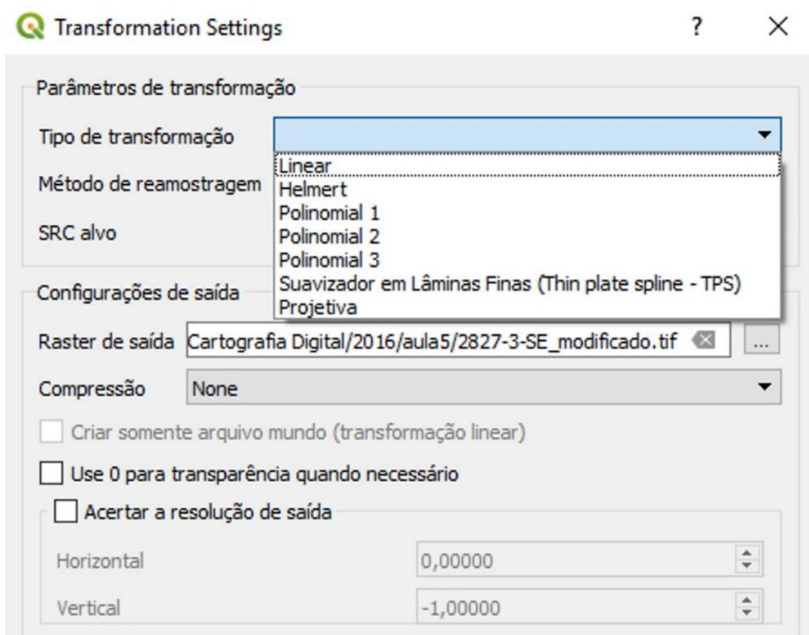


No QGIS®, até a Versão 3.0, a função de georreferenciamento deve ser previamente habilitada (acima) via menu de COMPLEMENTOS

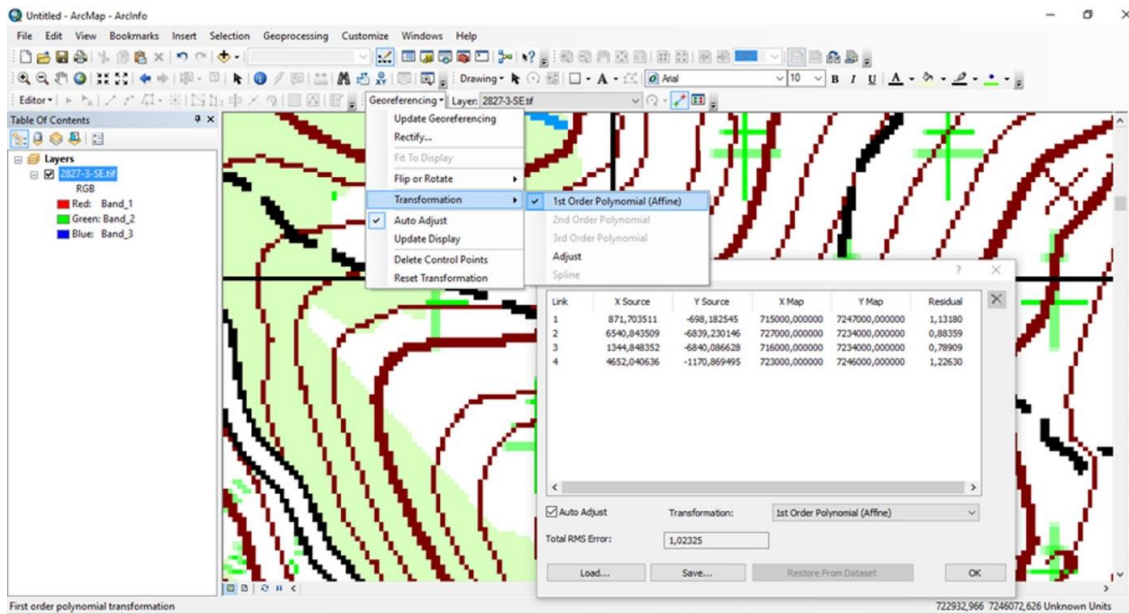
Lembrar que quando a imagem for carregada deverá ser informado o referencial cartográfico, como no exemplo a seguir, onde foi informado UTM/SAD69 (EPSG 29192), uma vez que a carta topográfica utilizada foi elaborada utilizando este referencial e os pontos de controle empregam coordenadas extraídas da carta.



Etapa do processo de georreferenciamento aonde são informadas as coordenadas dos pontos de controle (cruzamento da grade de coordenadas UTM). Neste caso, deve-se utilizar o Referencial Cartográfico nativo da carta para o Georreferenciamento

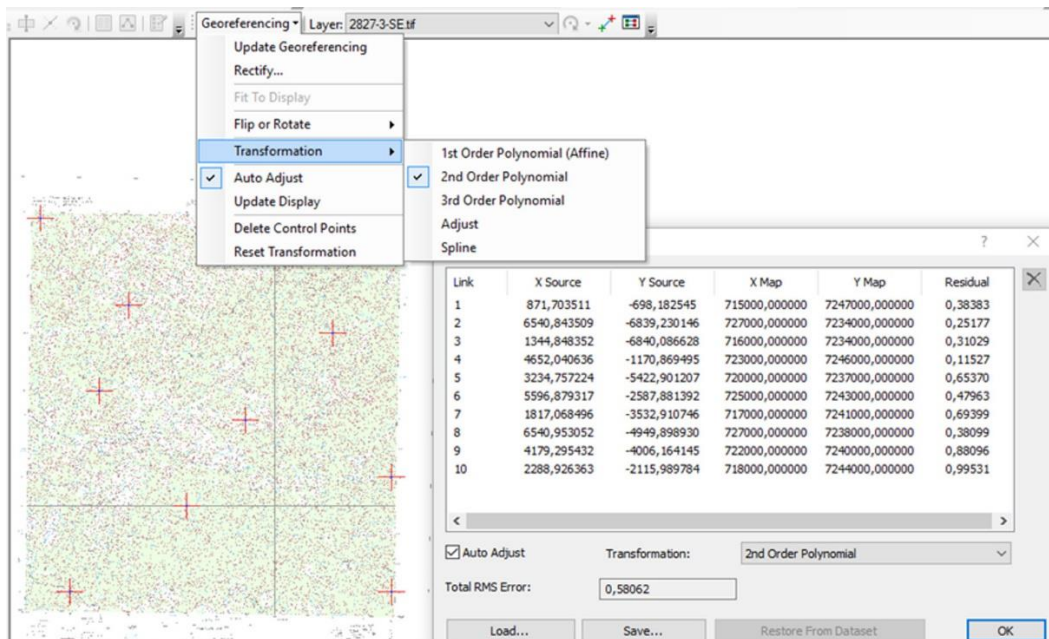


Tipos de transformações geométricas disponíveis no QGIS®



Funções de “Georreferenciamento” no ArcGIS®

Observa-se, na figura anterior, que a janela do *software* (*layers*) deverá ser previamente configurada para o referencial cartográfico da imagem (no caso de produtos que já possuem RC) para que os pontos de controle possam ser corretamente posicionados.



Acesso às ferramentas de “Georreferenciamento” no ArcGIS®

2. **Observação do Número e Disposição de Pontos de Controle**: via de regra, quanto maior o número de pontos de controle melhor a qualidade do georreferenciamento, contudo, dois problemas podem ser observados neste processo: 1) Colinearidade, que ocorre quando dois ou mais pontos de controle são posicionados em coordenadas homólogas em relação à latitude (coordenadas Y ou UTM-N) ou longitude (coordenadas X ou UTM-E). Este tipo de situação deve ser evitado pois promove o enviesamento da função que irá realizar o posicionamento da imagem, o que pode resultar em tendências quanto à acurácia posicional. 2) Aplicação indevida de polinômios complexos em razão da disponibilidade dos pontos de controle. Cada tipo de função empregada na transformação geométrica e cada tipo de produto a ser posicionado demandam uma quantidade mínima de pontos de controle. Uma carta topográfica, por exemplo, por se tratar de um produto cartográfico no qual todos os elementos presentes na imagem já se encontram “corretamente” posicionados, ou seja, trata-se de uma imagem derivada de um produto ortorretificado, apresenta como fontes de distorção os efeitos de dilatação ou contração da imagem (o que se dá em função das características do *scanner* ou do resultado do processo de armazenagem da mesma, em mapotecas ou com dobras). Estes problemas se manifestam como distorções em X e/ou em Y e podem ser corrigidas no processo de georreferenciamento a partir da aplicação de polinômios de 2º grau. Contudo, a aplicação de um polinômio de 3º grau, o qual estará disponível ao usuário do SIG a partir da inserção de 9 ou mais pontos de controle, poderá resultar na adição de distorções sobre a imagem e, que seriam mais comuns em imagens de satélite, como por exemplo, a distorção promovida pelas diferentes altitudes ou dimensões de pixels presentes na imagem. Neste caso, o mais correto seria a utilização de todos pontos de controle disponíveis para uso (10, 11, 12 ou mais, por exemplo) e de um polinômio de 2º grau, apesar do *software* nestes casos disponibilizar o uso de polinômios de 3º grau.

Qualidade dos Dados Geoespaciais

Elementos de qualidade

Uma vez “finalizado” o processo de aquisição e edição das camadas e feições, inicia-se o processo de pós-edição dos dados. Nesta etapa, o usuário deve avaliar a qualidade dos dados e proceder as correções e ajustes necessários, fornecendo condições básicas de uso aos mesmos.

O objetivo da pós-edição é corrigir problemas que possam existir na base que foi obtida de forma indireta e/ou, problemas que tenham se originado durante o processo de produção e edição dos dados.

A análise da qualidade compreende diferentes procedimentos, os quais envolvem desde a análise da acurácia (posicional, temporal e temática), até a avaliação da consistência lógica, da adequação à escala e da completude dos dados. Portanto, todas as vezes que dados geoespaciais passarem por processos de edição, alteração ou transformação geométrica, devem ter seus elementos de qualidade verificados.

A análise da acurácia posicional (horizontal e vertical) e de suas relações com a escala já foi abordado anteriormente neste capítulo. Nas edições posteriores desta obra serão abordadas as análises de acurácia temporal e temática.

Desta forma, a seguir são apresentados aspectos teóricos e práticos acerca das análises de **consistência lógica**, **adequação do desenho à escala** (ou adequação quanto ao nível de generalização cartográfica empregado) e, de **completude**.

Tanto a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército quanto o IBGE editaram, a partir de 2016 normas e diretrizes para verificação da qualidade de dados geoespaciais vetoriais. A ET-CQDG (DSG - Diretoria de Serviço Geográfico, 2016) e o Manual Técnico Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais IBGE (2017) são as principais referências no tema para a produção de dados no Brasil.

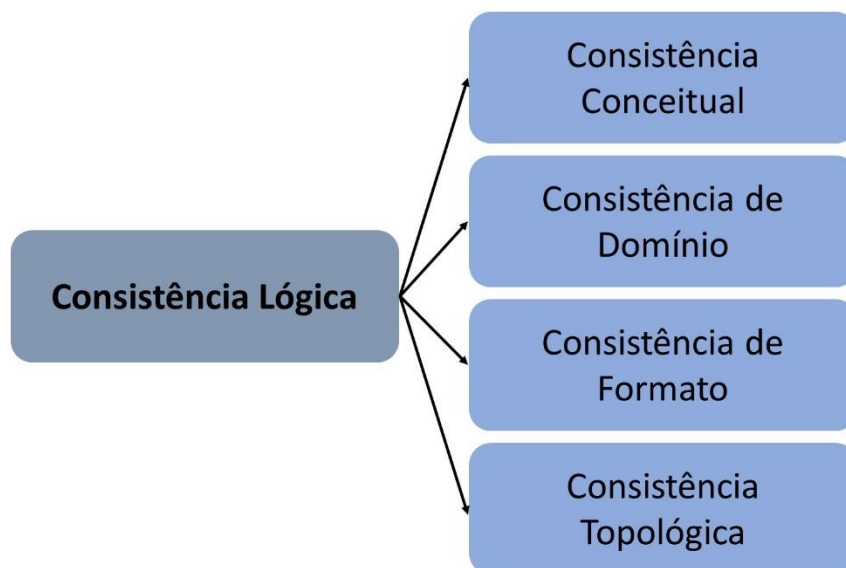
É importante destacar que os parâmetros de qualidade relativos à análise de consistência lógica e de completude não possuem valores de referência que possam

ser associados à noção de escala, como no caso da acurácia posicional. Ou seja, a identificação de que os erros de completude presentes em uma camada de dados geoespaciais são da ordem de 20%, por exemplo, não definem sua relação com a escala (1:5000 ou 1:10000) como ocorre com o resultado da análise da acurácia posicional.

Consistência lógica

Esta análise objetiva dar consistência aos dados e deve ser orientada pelos padrões definidos por normas nacionais como a ET-CQDG (DSG, 2016) e, internacionais, como a ISO 19115.

De acordo com a ET-CQDG (DSG, 2016), a consistência lógica “*diz respeito ao cumprimento das regras lógicas da estrutura dos dados, dos atributos e das relações*” e, pode ser classificada através da avaliação das consistências conceitual, de domínio, de formato e topológica.



Consistência Lógica – segundo a ET-CQDG (2016)

As análises de **consistência conceitual** e de **formato** são de difícil mensuração e pressupõem procedimentos que se realizam nas etapas anteriores ou posteriores à construção da base de dados como um todo. Enquanto a análise de **consistência conceitual** configura etapa prévia ao processo de produção da base vetorial e define a relação entre os dados e o modelo conceitual utilizado, a **consistência de formato**

diz respeito à forma como os dados são armazenados em relação à estrutura física do conjunto de dados. Como mencionado, estes dois temas deverão ser tratados mais a fundo em edições posteriores deste documento.

A análise da **consistência de domínio** se refere à etapa de verificação da coerência entre o tipo de dado armazenado nas tabelas de atributos no que se refere aos seus valores preestabelecidos e possíveis. A ET-CQDG (DSG, 2016) exemplifica a forma de análise da consistência de domínio da seguinte forma:

Exemplo: em uma base de dados geográficos as rodovias devem receber no campo de atributos “tipo de pavimentação” uma das seguintes informações: “Pavimentada” ou “Não pavimentada”. Caso se verifique que foi inserido “Estrada não asfaltada”, tem-se uma **inconsistência no domínio**. Ou seja, o valor de preenchimento do campo está fora dos limites estabelecidos para aquela informação.

Por fim, a **consistência topológica** corresponde à etapa de verificação e correção das características topológicas das feições presentes nas camadas de dados e, quando necessário, das relações espaciais entre duas ou mais camadas de dados.

Consistência topológica

Conceitualmente, a topologia é a parte da matemática que se dedica, dentre outras coisas, ao estudo das relações invariáveis de vizinhança e conectividade. Esta noção é essencial para garantir a qualidade da informação associada aos dados geoespaciais.

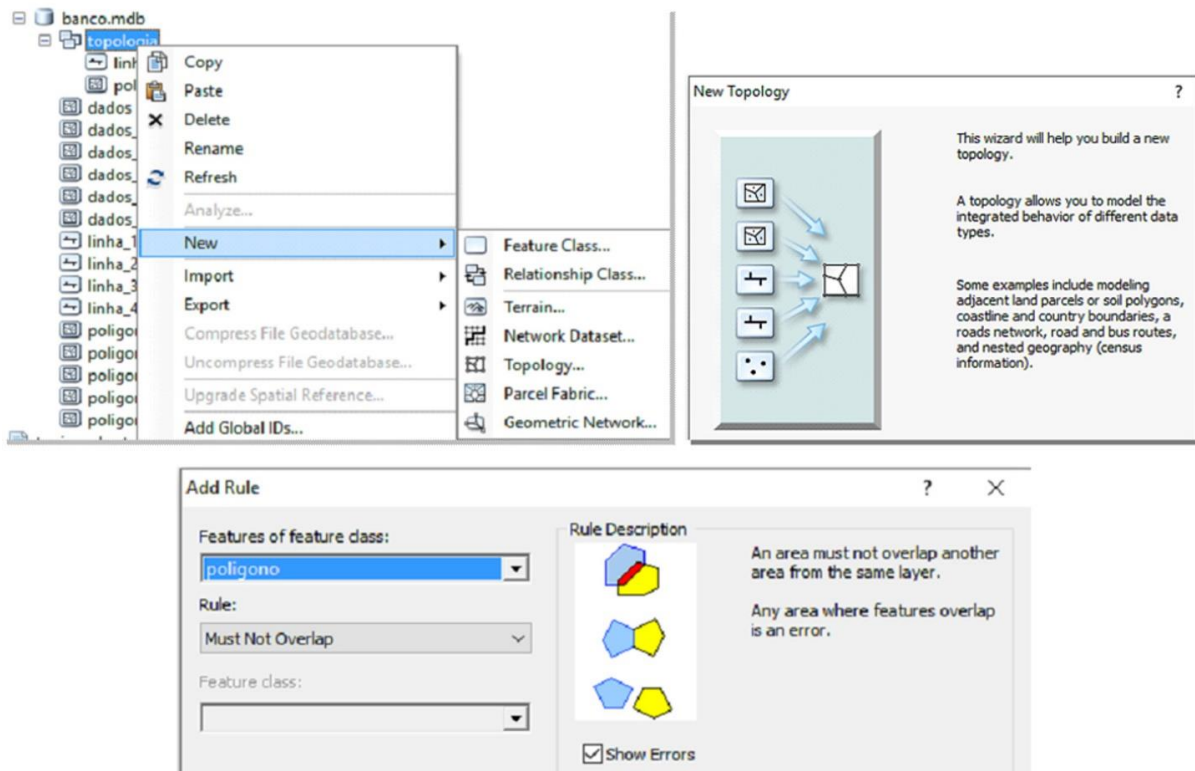
Em SIG, a noção de topologia está relacionada tanto à estrutura interna do *software* como à consistência dos dados e de seus relacionamentos espaciais. Enquanto relacionamento espacial, a análise topológica garante que os valores relativos à geometria e relações de vizinhança entre feições e camadas de dados sejam verdadeiras para diferentes escalas de análise.

A análise de **consistência topológica** é feita nos SIGs a partir da aplicação e verificação de **regras** (operações) de consistência topológica. Cada “regra” é aplicada para a verificação de um tipo específico de erro de geometria ou de relacionamento espacial

e, conseqüentemente, para corrigir os erros ou identificar divergências que possam existir na base de dados.

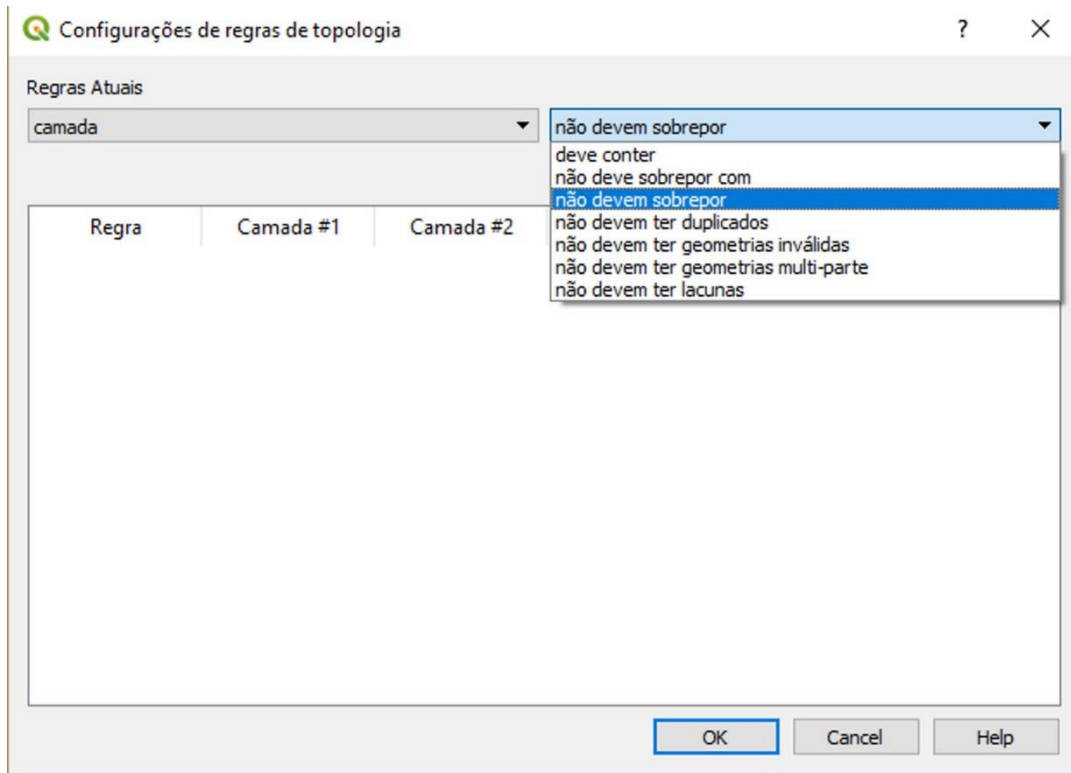
Apesar da ET-CQDG (DSG, 2016) e demais normas internacionais não especificarem padrões de mensuração e qualidade esperados para análise da consistência topológica, bem como a relação entre a qualidade esperada/observada e a escala, é fundamental que todos os dados geoespaciais sejam integralmente verificados quanto a este item. Camadas ou conjuntos de dados geoespaciais que não forem verificados quanto a consistência topológica podem apresentar erros quanto as dimensões e relações de vizinhança, tanto internamente à camada quanto entre diferentes camadas. Estes erros inviabilizam a realização de análises espaciais.

Diferentes regras de topologia podem ser empregadas para auxiliar o processo de construção e ajuste de uma base vetorial. Estas regras podem ser aplicadas para verificação da qualidade interna da camada ou para análise combinada de diferentes camadas e geometrias.

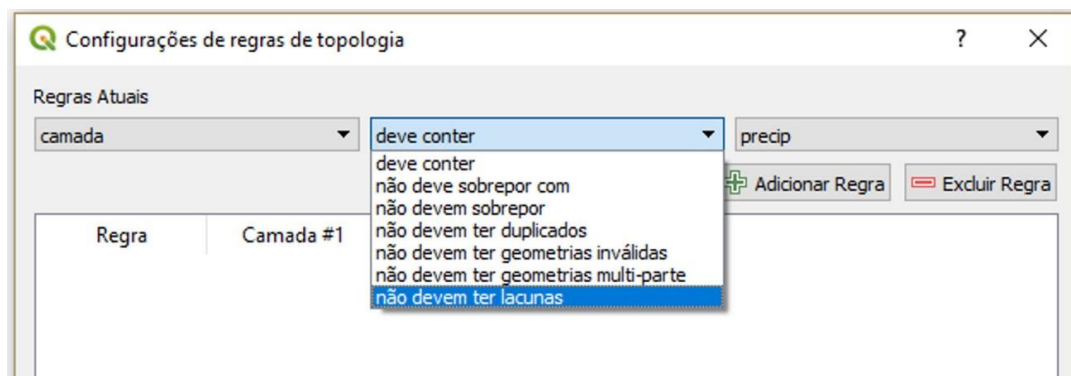


Aplicação de regras de topologia no ArcGIS® – regra para análise de camada única do tipo polígono

No que diz respeito à operação prática de aplicação de regras de topologia, tanto no QGIS® quanto no ArcGIS® as regras serão exibidas em conformidade com a quantidade de camadas envolvidas e de acordo com a tipologia de suas geometrias (ponto, linha ou polígono).



Aplicação de regras de topologia no QGIS® – regras para análise de uma camada.



Aplicação de Regras de Topologia no QGIS® – Regras para análise simultânea de duas camadas.

No âmbito da qualidade interna, destacam-se as regras que verificam a existência de vazios e sobreposições entre polígonos de uma mesma camada ou de diferentes camadas e, que deveriam ser adjacentes e contíguos. Para verificação das descontinuidades (popularmente conhecidos como *gaps*) aplicam-se as regras: *must not have gaps* no ArcGIS® e, *não devem ter lacunas* no QGIS®. Para a verificação de sobreposições (*overlaps*), aplicam-se as regras: *must not have overlaps* no ArcGIS® e, *não devem sobrepor* no QGIS®.

Na análise combinada de camadas com diferentes geometrias, a aplicação das regras permite verificar as relações espaciais entre: linha x ponto (ponto x linha), linha x polígono (polígono x linha) e polígono x ponto (ponto x polígono).

A presença de sobreposições e vazios entre polígonos gera inconsistência na base de dados e nas análises espaciais associadas a estes. A sobreposição indevida de dois ou mais polígonos promove o aumento equivocado da área do atributo relacionado ao polígono sobreposto. Este acréscimo indevido faz com que a soma das áreas dos polígonos mapeados seja maior do que a área total mapeada.

Outro exemplo em que se faz necessária a verificação de topologia é em relação à conectividade das linhas em uma camada de dados que objetive modelar fluxos (água, veículos, etc.). A partir da aplicação das regras de topologia é possível verificar se as linhas de drenagem, por exemplo, estão conectadas, e se se conectam a polígonos de outra camada (como por exemplo: de massa d'água permanente/açudes).

Adequação do desenho à escala (adequação quanto ao nível de generalização cartográfica empregado)

As melhorias observadas na resolução espacial dos produtos do Sensoriamento Remoto e nos recursos computacionais resultaram na possibilidade de ampliação e visualização, em tela, de muitos detalhes presentes nas imagens utilizadas para geração de dados geoespaciais vetoriais. Como consequência, observa-se que muitas vezes há uma produção de camadas vetoriais extremamente ricas em detalhes, muito além da qualidade demandada para a escala de trabalho. Este excesso de vértices é muitas vezes desnecessário e traz como consequências negativas:

1. O aumento no grau de complexidade das feições desenhadas;

2. O aumento no número de erros de topologia e uma maior dificuldade de realização de ajustes topológicos;
3. Sobrecarga para a transmissão dos dados via internet;
4. A demanda por maior esforço para o processamento computacional (*hardware*); e,
5. A demanda maior por espaço para armazenagem dos dados (*hardware*).

Nestes casos, o elaborador da base cartográfica deve analisar se o desenho geométrico se encontra adequado à escala definida e, caso se verifique a incompatibilidade por excesso de detalhes, deve-se proceder a “limpeza” e “eliminação” dos vértices e feições incompatíveis e/ou desnecessárias. No QGIS a verificação da geometria pode ser feita via menu VETOR > GEOMETRIAS > VERIFICAR A VALIDADE.

A adequação do DVUL a escala é feita no ARCGIS durante a importação dos dados para o GEODATABASE, através do ajuste da tolerância XY. Apesar da referência de 0,2mm utilizado para a qualidade gráfica, recomenda-se na etapa de ajuste do DVUL o uso de 0,1mm ou 0,05mm como valores de referência para evitar uma simplificação muito acentuada na camada de dados.

Assim, a adequação da densidade de vértices por unidade linear (DVUL) de uma base vetorial 1:5000 deve utilizar como referência os valores de 0,5m ou 0,025m.

Esta etapa é necessária à produção de qualquer base de dados geoespaciais vetoriais e já foi abordada no item relativo à **escala e nível de generalização cartográfica** (neste mesmo capítulo). Mais especificamente, o assunto foi abordado na avaliação da densidade de vértices por unidade linear – DVUL e, na análise da dimensão mínima mapeável (DMM). Os demais procedimentos necessários à adequação da base cartográfica ao nível de generalização cartográfica, seus exemplos práticos e a base teórica que trata deste assunto serão apresentados mais adiante, neste mesmo capítulo, no item destinado ao tema.

Análise de completude

Conforme mencionado anteriormente, a quantificação dos erros de completude não apresenta relação com a escala dos dados, como ocorre com o resultado da análise da qualidade posicional. Portanto, os padrões de qualidade relativos à completude que forem inferidos sobre uma camada de dados geoespaciais, ou conjunto de dados, é função de sua adequação ao uso (*fitness for use*), devendo ter seus limites definidos pelo usuário.

A análise de completude envolve a identificação de feições presentes e/ou ausentes na base de dados e que não deveriam ser representadas (**erros de comissão**) ou omitidas (**erros de omissão**).

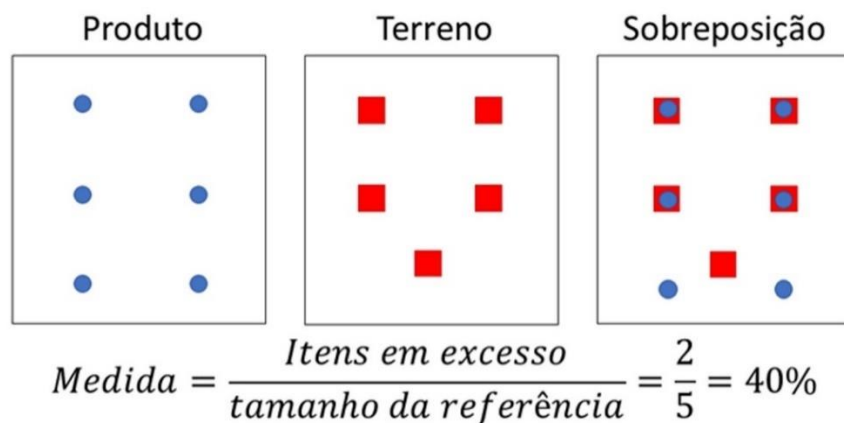
Os **erros de comissão** podem ocorrer em função da dificuldade de interpretar a imagem utilizada para a coleta de dados, ou, por inadequação na observação das dimensões mínimas mapeáveis (DMM). No primeiro caso, a interpretação equivocada de quem produz o dado geoespacial vetorial resulta no desenho de elementos que não estão presentes no universo real. Este tipo de erro é muito comum, por exemplo, na representação da hidrografia, em especial em áreas com densa cobertura vegetal. Nestes casos, o fotointérprete infere a existência de nascentes e rios menores que na verdade inexistem no mundo real.

No segundo caso, a comissão pode resultar da não observação das dimensões mínimas mapeáveis (DMM), o que faz com que feições que não deveriam ser representadas em função da escala (contudo existentes no universo real), sejam desenhadas na base de dados. Nestes casos, o erro de comissão decorre da **não** observação da omissão seletiva (conforme abordado anteriormente).

Os erros de omissão também ocorrem por problemas na interpretação das imagens utilizadas para aquisição do dado vetorial, ou, em função de erros não sistemáticos ocorridos durante o processo de produção dos dados geoespaciais vetoriais. Nestes casos, feições existentes e com dimensões mínimas adequadas para sua representação na escala de trabalho são omitidas em função da interpretação equivocada (como no caso das nascentes e rios menores presentes no universo real e não representados no mapa em função da avaliação do fotointérprete), ou são omitidas por erros no processo de verificação dos dados.

Diferentes propostas podem ser empregadas para avaliação da qualidade de uma camada de dados geoespacial em relação à completude. No Brasil, a proposta apresentada pela ET-CQDG separa a análise de completude de acordo com o tipo de erro observado. Neste sentido, avalia de forma isolada os erros de comissão (excesso) e os de omissão (ausência).

Os erros de **comissão** são mensurados a partir da análise da “Porcentagem de itens em excesso” ou, “Proporção de objetos que foram incluídos no conjunto avaliado, mas que não existem no universo de discurso” e, pela porcentagem de itens não previstos. Neste caso, considera-se a proporção de objetos não previstos para o “conjunto de dados em relação à quantidade total de objetos”. Onde, os “objetos não previstos são as geometrias duplicadas e os objetos que não deveriam ter sido adquiridos na escala do produto”.



Exemplo de cálculo dos erros de COMISSÃO: Excesso (extraído da DSG/ET-CQDG, 2016). Percebe-se que no produto cartográfico encontram-se mapeados dois elementos que não existem no terreno (erros de comissão).

Na avaliação de um **conjunto** de dados geoespaciais vetoriais, o cálculo dos erros de comissão é feito com base em objetos das diferentes camadas. A ET-CQDG apresenta como exemplo uma análise com dados das camadas de hidrografia e malha viária.

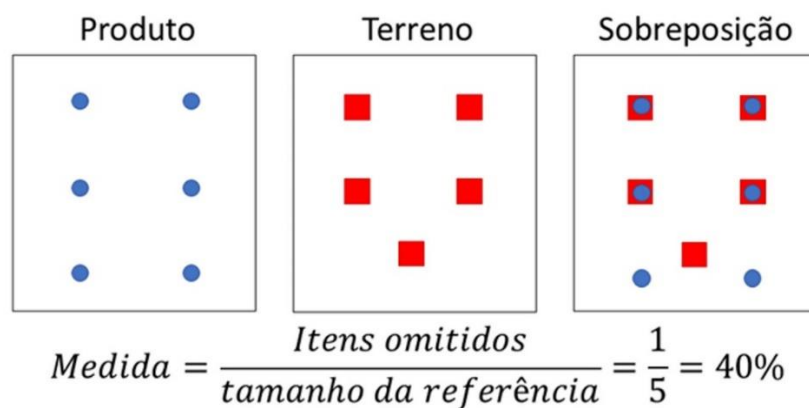
No exemplo são citados a presença cinco objetos idênticos na camada de hidrografia (1 existente e 4 repetições indevidas = 4 erros de comissão) e, três ciclovias, cujas dimensões são incompatíveis para o mapeamento na escala exemplificada. Assim, a medida dos erros considera: objetos duplicados = 4, objetos com aquisição indevida

= 3, total = 7 erros de comissão. Considerando o n amostral utilizado no exemplo da ET-CQDG (DSG, 2016) de 100 objetos, obtém-se:

$$Medida = \frac{\text{erros}}{\text{tamanho da referência}} = \frac{7}{100} = 7\%$$

Exemplo de cálculo dos erros de COMISSÃO para um Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais (CDGV): Itens Não Previstos (Extraído da DSG/ET-CQDG, 2016)

No que se refere aos erros de **omissão**, a ET-CQDG (DSG, 2016) apresenta a avaliação da completude a partir da análise da porcentagem de “objetos ausentes no conjunto avaliado, em relação à quantidade de objetos que deveriam estar presentes”. Neste caso, os erros de omissão são calculados observando a amostra de referência e a quantidade de objetos omitidos.



Exemplo de cálculo dos erros de OMISSÃO para dados vetoriais: Itens Ausentes (Extraído da DSG/ET-CQDG, 2016)

Em produtos matriciais os erros de omissão podem ser avaliados em relação à “porcentagem de área indisponível em relação à área total considerada, diminuindo a área útil do conjunto de dados avaliado”.

Ortoimagem



Exemplo de cálculo dos erros de OMISSÃO: área indisponível (extraído da DSG/ET-CQDG, 2016).
Considerando a cobertura de nuvens na ortorectificação (50%), esta é a medida a ser considerada para o erro de omissão = 50%.

A análise simultânea dos erros de omissão e comissão (**completude global**) pode ser feita a partir do cálculo do Índice de Concordância Total conforme Hellden e Stern (1980). Este índice avalia a acurácia calculando a relação entre o total de acertos e o total de amostras utilizadas na verificação dos dados, conforme a fórmula:

$$ICT = \frac{\text{Número de Acertos}}{\text{Número Total de Amostras}}$$

Exemplo: na análise da qualidade das camadas de dados relativos à rede de drenagem, pode-se considerar a completude global e a de diferentes temas. Assim, nascentes, rios de primeira ordem (rios perenes que se estendem da nascente até a primeira bifurcação), açudes e outros elementos são selecionados no mapa e verificados em campo, permitindo o enquadramento quanto à completude por tema e global.

Metadados

Conforme o decreto que institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE, metadados corresponde ao:

Conjunto de informações descritivas sobre os dados, incluindo as características do seu levantamento, produção, qualidade e estrutura de armazenamento, essenciais para promover a sua documentação, integração e disponibilização, bem como possibilitar a sua busca e exploração. BRASIL (2008)

Este conjunto de informações deve estar presente em cada camada de dados geoespacial, possibilitando aos usuários conhecer suas características básicas e avaliar sua adequação de uso.

São objetivos dos metadados, a identificação do produtor e a responsabilidade técnica da produção, a padronização da terminologia utilizada, a garantia da transferência de dados, a viabilização da integração de informações, a identificação da qualidade da informação geográfica e o subsídio à análise do usuário quanto à adequação às suas aplicações, garantindo os requisitos mínimos de divulgação e uso dos dados geoespaciais.

A INDE adota como modelo de referência para os metadados a ISO 19115:2003 (*Geographic Information – Metadata*) e, de acordo com o Decreto 6.666/08 (BRASIL, 2008), onze elementos são obrigatórios para cada camada de dados geoespacial: título, data, responsável, idioma, cartografia temática, resumo, formato de distribuição, sistema de referência, responsável pelos metadados, data dos metadados e status.

Entidades e elementos do Núcleo de Metadados do Perfil MGB Sumarizado			
Entidade / Elemento	Obrigatoriedade	Entidade / Elemento	Obrigatoriedade
1. Título	obrigatório	12. Tipo de Representação Espacial	opcional
2. Data	obrigatório	13. Sistema de Referência	obrigatório
3. Responsável	obrigatório	14. Linhagem	opcional
4. Extensão Geográfica	condicional	15. Acesso Online	opcional
5. Idioma	obrigatório	16. Identificador Metadados	opcional
6. Código de Caracteres do CDG	condicional	17. Nome Padrão de Metadados	opcional
7. Categoria Temática	obrigatório	18. Versão da Norma de Metadados	opcional
8. Resolução Espacial	opcional	19. Idioma dos Metadados	condicional
9. Resumo	obrigatório	20. Código de Caracteres dos Metadados	condicional
10. Formato de Distribuição	obrigatório	21. Responsável pelos Metadados	obrigatório
11. Extensão Temporal e Almitétrica	opcional	22. Data dos Metadados	obrigatório
		23. Status	obrigatório

Perfil MGB Sumarizado (CEMG/CONCAR, 2009)

Generalização Cartográfica

Fundamentação

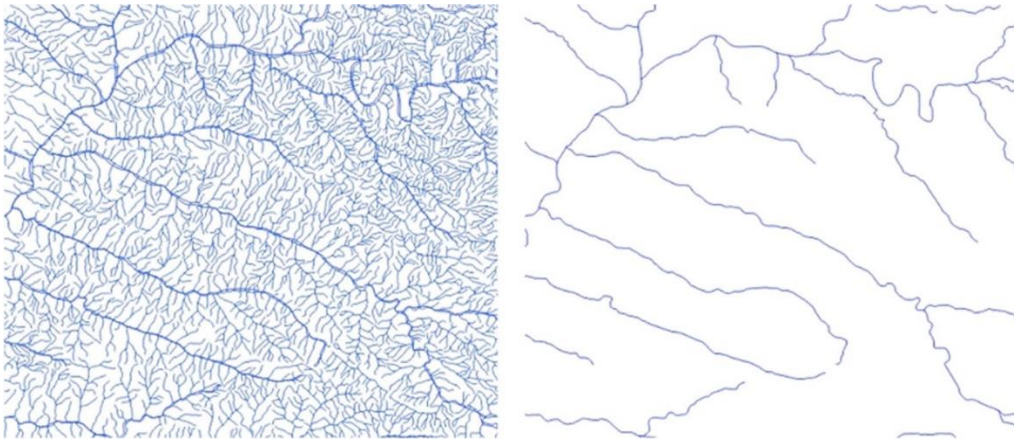
Se ampliar bases cartográficas é um procedimento não recomendável, a redução em escala é uma prática recorrente e, por vez necessária aos usuários de SIGs. Isto porque é comum o uso de dados geoespaciais em escalas menores do que aquela na qual o mesmo foi produzido.

Contudo, o uso de dados em uma escala menor do que a original demanda, muitas vezes, que estes sejam adaptados e adequados a esta nova escala.

O processamento necessário à utilização da informação cartográfica em escalas menores é denominado de **GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA** (MATOS, 2008). O produto final deste processamento deve resultar em uma representação menos complexa e com propriedades adequadas à sua manipulação e visualização.

É correto dizer que toda representação cartográfica é generalizada, pois representa apenas uma parte da realidade, contudo, o **processo de Generalização Cartográfica (GC)** propriamente dito é aquele que reduz a complexidade da base de dados (D'Alge (2007) e pode afetar tanto os atributos (dados registrados), quanto a simbolização e as características geométricas dos mesmos.

É importante frisar que o processo de Generalização Cartográfica altera os dados originais e que, portanto, dados generalizados apresentam menos informações que os dados originais, bem como, apresentam diferentes dimensões (área, perímetro, extensão) e diferentes problemas como: acurácia posicional, inconsistência topológica, etc.



Exemplo de GC: à esquerda base original produzida na escala 1:50000 e, à direita, base generalizada, adequada para uso na escala 1:250000

Não há consenso entre os autores sobre os tipos e procedimentos relativos à Generalização Cartográfica. Contudo, três tipos de classificação são comumente observados nos trabalhos que versam sobre o tema: Generalização Semântica ou Conceitual, Geométrica e Conceitual-Geométrica.

Quando e porque generalizar

Não há uma regra que defina sobre como e quando a Generalização Cartográfica deve, obrigatoriamente, ocorrer. Contudo, toda vez que a informação cartográfica tiver sua escala alterada para uma escala menor e sua representação e visualização apresentarem problemas, será necessária a adoção de procedimentos que permitam sua readequação.

Assim, uma camada de dados produzida na escala 1:25000, por exemplo, poderá ser utilizada na escala 1:30000 ou 1:50000 sem ser generalizada, a depender de uma série

de fatores como a densidade de feições presentes na mesma, a tipologia da geometria empregada (ponto, linha ou polígono), a finalidade do uso, etc.

Diferentes problemas podem ocorrer quando a informação cartográfica é rerepresentada em escalas menores do que aquelas nas quais foram produzidas. Matos (2008) apresenta como principais problemas o **CONGESTIONAMENTO** (quando um elevado número de objetos surge num espaço), a **COALESCÊNCIA** (quando diferentes objetos se tocam, tanto devido à resolução do periférico de visualização/impressão como devido ao simbolismo utilizado), o **CONFLITO** (quando a representação de um objeto entra em conflito com os demais objetos) e a **IMPERCEPTIBILIDADE** (quando um objeto possui dimensões abaixo da dimensão mínima necessária para sua identificação).

Além dos problemas apontados a GC se faz necessária, também, do ponto de vista da estrutura física de armazenagem dos dados e, para fins de compartilhamento. Isto porque a GC permite reduzir o tamanho físico dos arquivos de dados geoespaciais, facilitando seu processamento e circulação em meio digital.

Quando um ou mais dos problemas apontados anteriormente ocorre, diferentes procedimentos podem ser empregados para que novos dados sejam produzidos a partir dos já existentes, contudo, empregando maiores níveis de simplificação.

Principais operadores de generalização cartográfica

Os *softwares* de SIG possibilitam a aplicação de diferentes procedimentos e ferramentas para o processo de generalização cartográfica. O ArcGIS®, por exemplo, executa automaticamente a simplificação de feições quando os dados são armazenados em bancos de dados. Neste caso, a informação sobre a tolerância XY fornecida pelo usuário durante a criação ou importação da camada vetorial ou do próprio banco de dados é utilizada pelo *software* para reduzir o número de vértices e compatibilizar a representação cartográfica com a escala.

Como consequência, toda vez que uma camada vetorial em formato avulso (extensão shp) é importada para um banco de dados do tipo GEODATABASE, o *software* promove sua alteração em conformidade com a tolerância XY definida. Este tipo de procedimento pode resultar em diferentes tipos de problemas, e alterar significativamente o dado original.

Tanto o QGIS® quanto o ArcGIS® fornecem pacotes de ferramentas típicas para realização das operações de GC. Contudo, boa parte dos procedimentos necessários para a correta adequação dos dados à uma nova escala, necessitam ser realizados manualmente e envolvem uma série de processos decisórios (por vezes subjetivos) que devem ser tomados pelo elaborador da base cartográfica generalizada.

As operações típicas de GC produzem diferentes tipos de problemas e são tratadas pelos *softwares* por nomenclaturas diferentes, as quais, muitas vezes, não condizem com o nome da ferramenta disponibilizada pelo *software*.

Operações típicas de GC

Enquanto Lopes (2005) apresenta 16 operadores de GC, Issmael (2003) apresenta mais de 20 e, outros autores como D'Alge (2007) e Ruas (2008) apresentam, ainda, outros diferentes operadores. Isto demonstra que não há consenso sobre o número e a nomenclatura dos operadores de GC. Nos SIGs os operadores constituem um amplo leque de funções destinadas à adequação dos dados geoespaciais para o uso em escalas menores.

Considerando os procedimentos envolvidos em quase todos os processos que envolvem a GC, é possível inferir que os operadores mais recorrentemente utilizados são a simplificação, a amalgamação/fusão, o colapso e o refinamento.

A operação de **simplificação** reduz a quantidade de vértices utilizados para desenhar uma feição, a partir de um determinado critério. A **amalgamação** (denominada de fusão para dados lineares) congrega distintas feições em uma única feição. O **colapso** é a operação necessária quando um polígono converge seus limites em uma linha única, e o **refinamento** corresponde à omissão seletiva de feições.

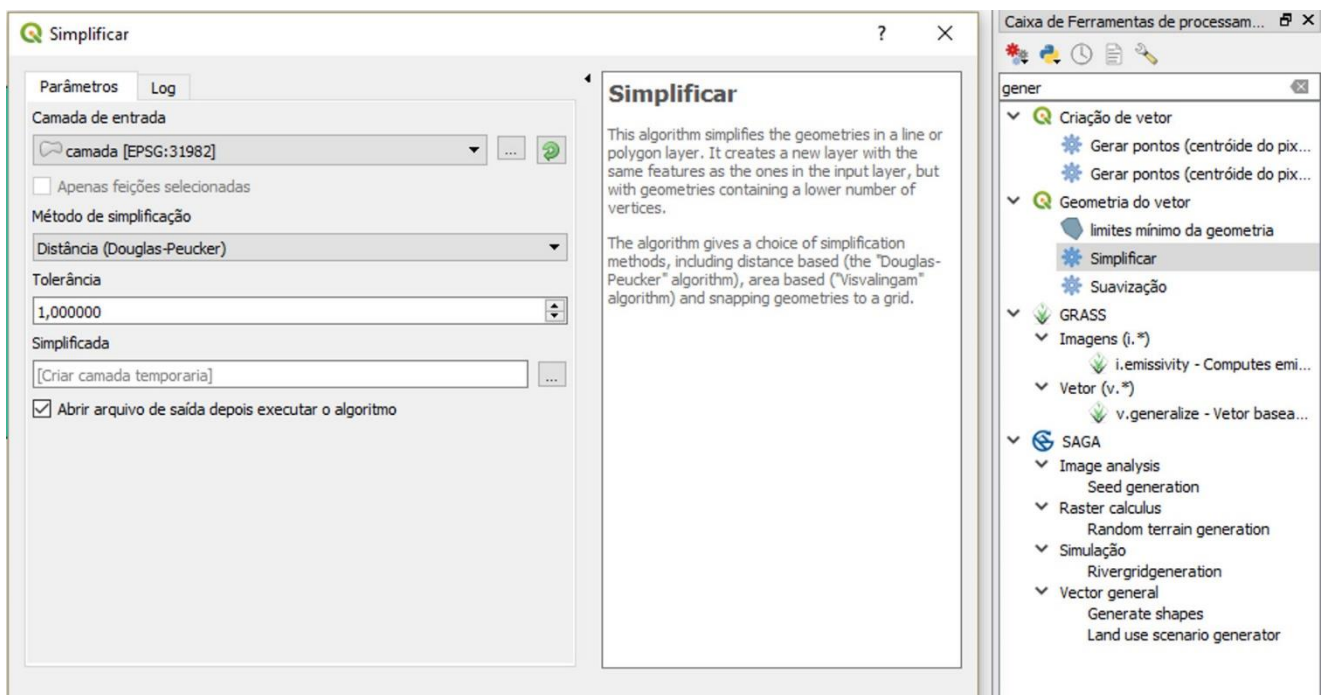
O Quadro a seguir apresenta os operadores mais usuais de GC, seus objetivos, principais problemas decorrentes de seu uso e, nomenclaturas das ferramentas implementadas em *software* para uso dos mesmos.

Operadores usuais de Generalização Cartográfica

Operador	Objetivo/Função	Principais problemas observados	Exemplos de ferramenta SIG
Simplificação	Redução do número de vértices de uma linha, mantendo os vértices mais significativos segundo um dado critério	Alteração da forma e dimensões: área, perímetro e extensão, Inconsistência de vizinhança	<i>Simplify: Building, line, polygon</i>
Suavização	Ajustamento de uma curva à linha poligonal original	Alteração da forma e dimensões: área, perímetro e extensão, Inconsistência de vizinhança	<i>Smooth: line, polygon</i>
Agregação	Substituição de um conjunto de características por uma outra característica distinta das originais mas que as engloba do ponto de vista conceitual	Perda de atributos, Perda de conectividade	<i>Dissolve, Aggregate polygons, Eliminate</i>
Amalgamação	Componentes distintos de uma mesma característica geográfica são conjugadas na característica predominante	Perda de atributos	<i>Eliminate</i>
Fusão	Amalgamação aplicada a componentes lineares	Perda de atributos e feições	<i>Merge divided roads, Collapse dual lines</i>
Colapso	Aplicado a uma feição isoladamente, resultando na transição da representação com simbologia do tipo polígono para linear ou pontual	Perda de atributos e feições	
Refinamento	Omissão seletiva de objetos, preservando a ideia geral do tipo de distribuição	Perda de atributos e feições	

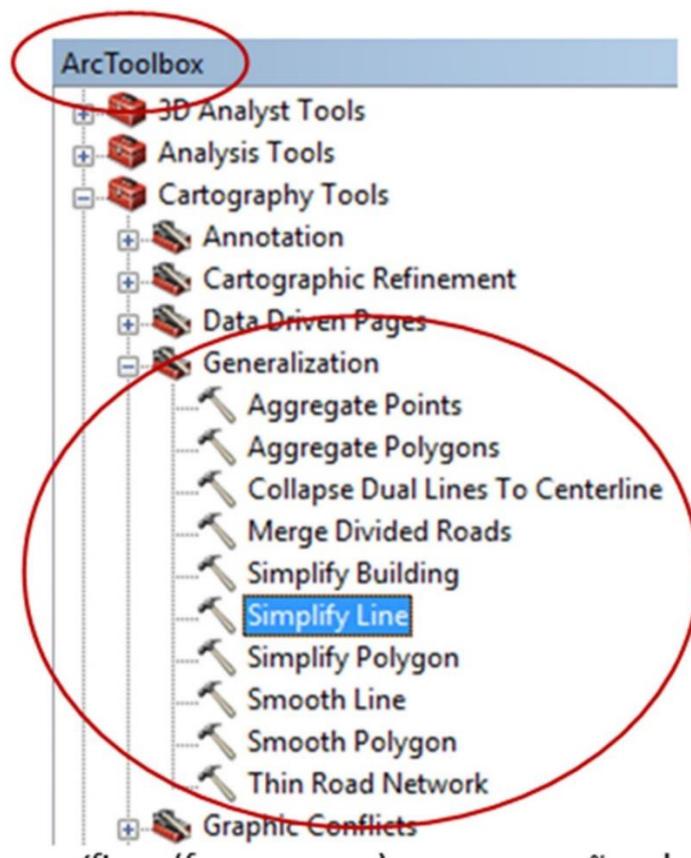
Enquanto alguns dos operadores de generalização possuem ferramentas específicas, implementadas e disponíveis em *softwares* (SIG), outros operadores são executados manualmente.

A seguir são apresentadas algumas das ferramentas disponíveis no QGIS® e no ArcGIS® para aplicação de operadores de Generalização Cartográfica.



Exemplos de algoritmos específicos (ferramentas) para operações de Generalização Cartográfica disponibilizados no QGIS® (referência versão 3.0)

Um tópico mais aprofundado sobre este tema será apresentado na segunda edição desta obra.



Algoritmos Específicos (Ferramentas) para Operações de Generalização Cartográfica disponibilizados no ArcGIS® (referência versão 10)

Capítulo IV – Cartografia Temática

Cartografia Temática e SIG

Ao produzir um mapa, o elaborador deverá observar de forma simultânea: a finalidade, o perfil do usuário, as normas e simbologias predefinidas e as possibilidades de representação fornecidas pelo SIG.

Esta análise tem por objetivo adequar a representação gráfica aos recursos disponíveis e à capacidade do leitor, de forma a garantir o acesso à informação e uma maior interação do mapa com o usuário.

Além da geometria, os SIGs armazenam dados (atributos) que podem ser utilizados para elaboração de diferentes representações temáticas com múltiplas camadas.

A Cartografia temática se preocupa com a forma de representar os atributos dos dados geoespaciais.

Fundamentação e base teórica

Produção de mapas temáticos

A partir dos princípios da Semiótica, Bertin (1967) apresentou um sistema de comunicação gráfica no qual são estabelecidas relações entre mensagem e signo e, uma relação de procedimentos necessários para o tratamento dos dados com vistas à adequada transcrição da informação para a forma gráfica.

A Semiologia Gráfica apresenta um plano de equivalência entre o significado da mensagem que se deseja transmitir e os elementos visuais utilizados na comunicação (variáveis visuais), fornecendo as premissas de uma linguagem gráfica para a construção de mapas.

As variáveis visuais fornecem o escopo para transcrição para a forma gráfica dos dados contidos em tabelas, armazenados em um SIG. Boa parte das variáveis visuais encontra-se incorporada aos *softwares* atuais, fornecendo aos usuários recursos gráficos para uma adequada comunicação visual.

Contudo, os SIGs não contemplam todos os recursos visuais preconizados pela Semiologia Gráfica e, cada *software* disponibiliza um limitado número de recursos gráficos e variáveis visuais para produção dos mapas.

Por vezes, os *softwares* sugerem, por *default*, o emprego de variáveis visuais inadequadas para transcrever os atributos que se deseja representar e, dependendo do *software*, o número de elementos gráficos disponíveis para tratar a informação será restrito, limitando ou impossibilitando a elaboração de mapas temáticos adequados.

Exemplo de variável visual não usual em *software* é a granulação, que por suas limitações gráficas como a criação do efeito vibratório, não está disponibilizada nas “paletas” dos principais *softwares* de mercado atuais, como o ArcGIS®, QGIS®, MAPINFO e GVSIG.

As seis variáveis visuais propostas inicialmente por Bertin (1967), receberam contribuições de diferentes autores Caivano (1990, 1991), Dibiasi *et al* (1994), MacEachren (1995, 1992), McCleary (1983), MORRISON (1984), Robinson *et al* (1995) e Slocum (1999) passando para dez variáveis, as quais fornecem o escopo atual para transcrição para a forma gráfica dos **dados** contidos em tabelas em um SIG.

Este livro trata como diferente os termos **dados** e informação.

A informação pode estar contida nos dados, mas é sobretudo função do usuário, ou seja, para um mesmo conjunto de dados, distintos usuários podem extrair nenhuma ou diferentes informações.

Também, as premissas estabelecidas para relacionar a forma de ocorrência dos fenômenos geográficos no espaço e suas formas de implantação no mapa ganharam, com os SIGs, novos significados, permitindo o intercâmbio de formatos e a extrapolação para além de suas geometrias nativas: ponto, linha e polígono.

Desta forma, este capítulo trata das variações e possibilidades de representações gráficas introduzidas pelos *softwares* e comumente empregadas por técnicos e pesquisadores para a produção de mapas temáticos.

Forma espacial e modo de implementação

A análise da forma espacial é a etapa da produção gráfica que responde pela relação a ser estabelecida entre a forma de manifestação dos elementos no espaço (UNIVERSO REAL), a forma de armazenagem (MEIO DIGITAL) e o modo ou forma de implementação final, seja esta impressa ou digital (FORMA GRÁFICA).

Apesar dos elementos cartografados ocuparem uma superfície, teoricamente, identificável (unidade de área), estes são tratados pela Semiologia Gráfica a partir de suas formas predominantes: pontual, linear ou zonal. No meio digital, por sua vez,

estes elementos podem ser armazenados e representados por pontos, linhas, polígonos ou pixels.

As **primitivas gráficas** ponto, linha e polígono ou, “geometrias” como são mais conhecidas em linguagem de SIG, são tratadas aqui de forma diferenciada em relação a forma de ocorrência no espaço e do modo de implantação final da representação temática. Isto porque em ambiente SIG estas “geometrias” podem se converter em imagens (arquivos matriciais), não sendo este termo considerado adequado para tratar da representação gráfica final.

Um dos passos necessários para a adequada produção do material gráfico consiste em estabelecer a correta relação entre a **forma de ocorrência dos elementos no espaço** e de **sua representação cartográfica**. Os SIGs ampliaram a relação entre a forma de ocorrência no espaço e a geometria a ser utilizada, uma vez que possibilitam mudanças na forma dos dados geoespaciais, alterando-se a relação estabelecida entre a forma de armazenar, tabular, processar e representar os dados.

Cada camada de dados em um SIG pode apresentar mais de uma forma de representação e, apesar de por vezes apresentar referência direta às **primitivas** ponto, linha e polígono, não necessariamente estas serão as formas de representação final dos dados nos mapas. Um **conjunto de pontos** amostrais (dados vetoriais do tipo ponto) **pode**, por exemplo, **ser representado na forma de uma superfície matricial**.

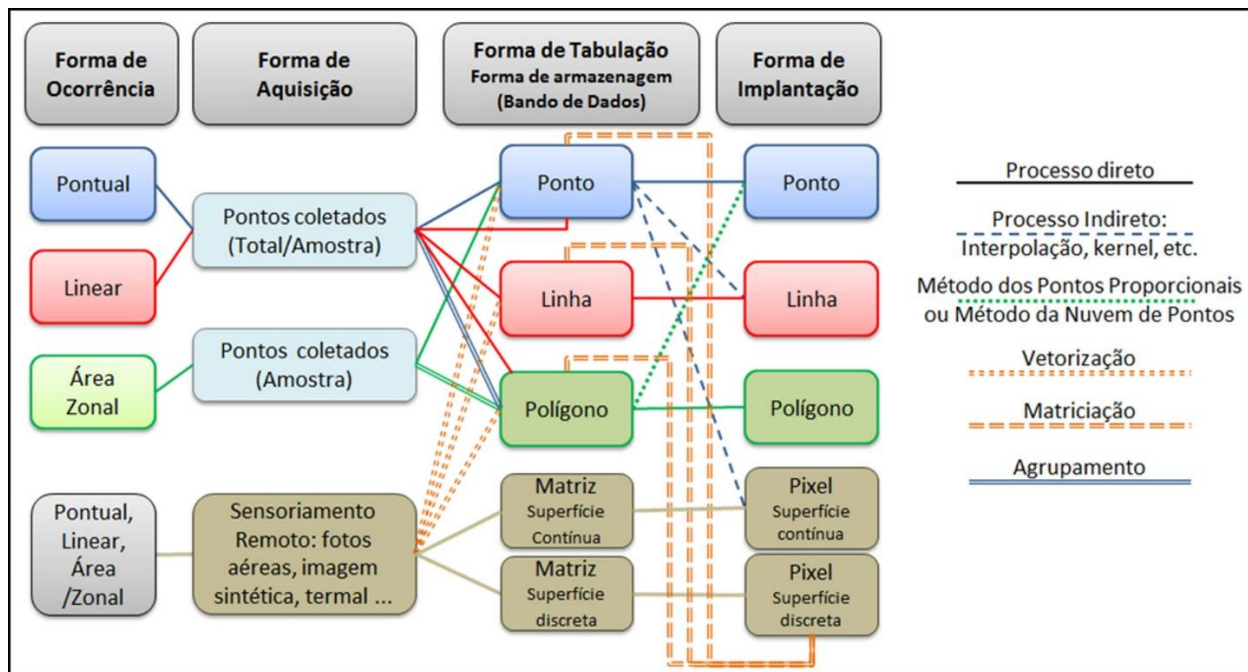
Cada elemento e tema a ser cartografado remetem ao usuário uma **imagem mental prévia** que será procurada, em um primeiro momento, na representação cartográfica. Assim, o tema dispersão de um poluente em um lago/reservatório, produz uma imagem mental que será buscada no mapa como sendo uma **área/região** em azul (possivelmente de um polígono ou conjunto de pixels para representar a água) com manchas vermelhas (poluente). Ainda que esta imagem mental prévia não seja comum a todos os possíveis leitores do mapa, certamente será para grande parte dos mesmos.



Relações entre a Forma de Ocorrência dos Fenômenos Espaciais e o Modo de Implantação destes nos Mapas

Desta forma, os SIGs ampliaram o leque de possibilidades de armazenagem e representação dos temas abordados pela cartografia, pois possibilitaram diferentes relações entre a forma de ocorrência, aquisição, tabulação e implantação dos dados geoespaciais.

Forma de Ocorrência e Possibilidades de Transição entre as Geometrias dos Objetos Geoespaciais



A figura acima indica, através da cor das ligações, as alterações possíveis entre a forma de ocorrência (manifestação espacial do fenômeno), aquisição (coleta/amostragem), tabulação e implantação

Significado cognitivo da informação: nível de organização ou de medida

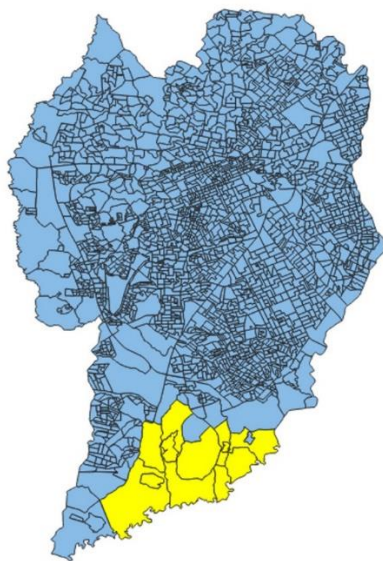
A construção de mapas temáticos com reduzidos problemas e dificuldade de interpretação (**polissemia** e **imperceptibilidade**) e, com maior facilidade de percepção e compreensão (maior nível de visualização cartográfica) depende, também, do reconhecimento do significado cognitivo de cada informação a ser traduzida para a forma gráfica.

Polissemia = diferentes e divergentes interpretações sobre o fenômeno cartografado (mapa).

Imperceptibilidade = Dificuldade de percepção e entendimento do tema cartografado.

A correta representação cartográfica dos **dados** que permita ao usuário extrair a **informação** demanda a identificação do “nível de organização” ou “nível de medida” dos dados. Nos SIGs esta característica pode ser inicialmente observada a partir da tipologia dos atributos, contudo dependerá, ainda, do conhecimento do tema, do perfil do usuário e do objetivo da representação.

As informações sobre os elementos geoespaciais podem ser armazenadas em bancos de dados ou diretamente em planilhas avulsas, as quais acompanham ou podem ser ligadas aos arquivos vetoriais. Diferentes tipologias podem ser utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido sobre os dados geoespaciais. Dados como nome, data, área e perímetro serão armazenados em formato de texto (string), data e numérico, o qual pode ser inteiro: curto ou longo, duplo, flutuante, inteiro ou decimal.

Captura de tela de uma janela de visualização de tabela de atributos no QGIS. O título da janela é "curitiba_setores_dados :: Features Total: 2395, Filtre...". A tabela possui quatro colunas: ID, CD_GEOCODI, TIPO e CD_GEOCODB. O conteúdo da tabela é o seguinte:

ID	CD_GEOCODI	TIPO	CD_GEOCODB
10127	410690205080011	URBANO	410690205071
10128	410690205080012	URBANO	410690205071
10129	410690205080013	URBANO	410690205071
10135	410690205080019	URBANO	410690205072
10136	410690205080020	URBANO	410690205072
10137	410690205080021	URBANO	410690205072
10273	410690205080165	URBANO	410690205073
10274	410690205080166	URBANO	410690205073
10281	410690205080173	URBANO	410690205073
10282	410690205080174	URBANO	410690205073
10283	410690205080175	URBANO	410690205073
10284	410690205080176	URBANO	410690205073
7518	410690205020015	URBANO	410690205056
7519	410690205020016	URBANO	410690205056

Tabela de atributos contendo dados numéricos e de texto (QGIS®).

Cada tipologia permite a associação de diferentes significados aos dados (níveis de organização ou nível de medida), possibilitando que estes traduzam três noções básicas: qualidade, quantidade ou ordem.

Nível de organização	Subtipos	Atributos	
Qualitativo (Seletivo associativo ou dissociativo) (tipologia do campo : texto) (Exceto quando um número é usado para indicar um indivíduo único - ex.: CPF)	Dissociativo: cada indivíduo é único - não há entre os indivíduos subtipos/subgrupos.	A B C	Indica a presença de elementos distintos, como por exemplo: município A, B e C; ou solos da classe A, B e C
	Associativo: Apesar dos indivíduos serem diferentes, observa-se a presença de subtipos/subgrupos (semelhantes)	Zx Zy R	Indica a presença de subgrupos. Apesar de Ax e Ay serem diferentes, ambos tem em comum o fato de serem do tipo A. Exemplo: Ax: Zona Industrial de uso intenso, Ay: Zona industrial de uso misto e C: Zona residencial

Significado cognitivo a ser traduzido (Qualidade – Seletividade) e tipologias dos dados. Exemplos teóricos de campos de atributos

Quantitativo (campo tipo: numérico)	Absoluto: o valor de cada indivíduo independe dos demais	5,5 6,3	Os valores independem dos demais valores representados
	Relativo: os valores dos indivíduos são interdependentes e complementares	30% 70%	Os valores apresentam relação direta entre si (neste caso a soma é 100%)
	Normalizado: os valores fazem referência a relação entre dois campos de atributos	Exemplo: Densidade Demográfica: População / área	

Ordenado (campo tipo: data, numérico ou texto)	Temporal/Cronológica: pode estar presente tanto em um único campo de dados (tuplas), quanto a partir de um conjunto de campos de atributos com diferentes tipos de dados Tipo numérico: pode ser uma ordem natural: ordem observada pela numeração de campos ou tuplas (1º, 2º, 3º) ou, Equivalente - associada a classes/intervalos (1 a 3 - pequeno, 4 a 8 médio, > 9 grande) Tipo texto: pode ser natural (Primário, Secundário e Terciário) ou, Equivalente (conjunto de dados tipo texto ao qual se associa uma ordem: Ruim, Bom, Excelente)
--	---

Significado cognitivo a ser traduzido (Quantidade e Ordem) e tipologias dos dados. Exemplos teóricos de campos de atributos

Apresentação gráfica de dados que traduzem a ideia de QUALIDADE (seletividade: associativa ou dissociativa)

A ideia de **QUALIDADE** refere-se à individualidade ou **seletividade** dos objetos a serem representados para um determinado conjunto de dados, ou seja, indica que os elementos representados são diferentes. Dados qualitativos podem apresentar características puramente **dissociativas (Seletividade Dissociativa)**, que ocorre quando cada indivíduo do conjunto representado é diferente dos demais, ou ainda, características **associativas (Seletividade Associativa)**, quando apesar de distintos, alguns dos indivíduos possuem características comuns que possibilitam seu agrupamento.

Enquanto significado cognitivo, a noção de QUALIDADE em dados geoespaciais não está associada à ideia de bom ou ruim, mas de **distinção/diferenciação** dos elementos representados.

As principais variáveis visuais para representar QUALIDADE em SIG são a COR, a FORMA e a ORIENTAÇÃO. COR e FORMA são as mais usuais e se aplicam a todos os tipos de dados e modos de implantação: pontual, linear e zonal.

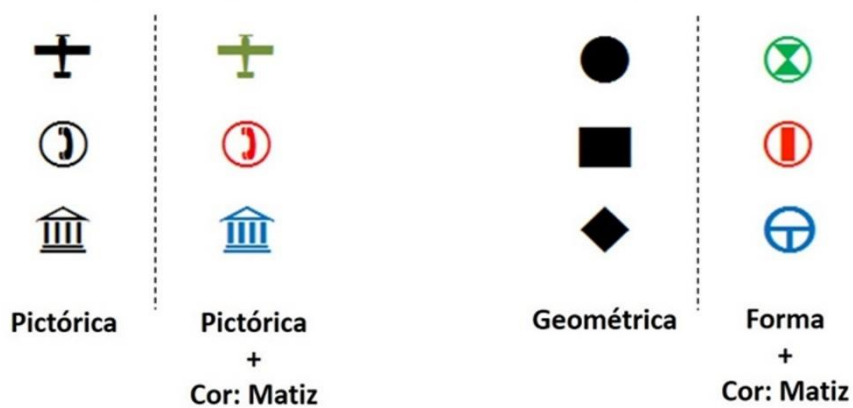
Quando o objetivo da representação é mostrar que os indivíduos espaciais são diferentes (**Seletividade Dissociativa**), preferencialmente, empregam-se as variáveis visuais: COR: MATIZ e/ou FORMA - para os modos de implantação pontual, linear ou zonal; e ORIENTAÇÃO para o modo zonal.

Quando o objetivo da representação é mostrar que os indivíduos espaciais são diferentes, porém, que existem subgrupos (**Seletividade Associativa**), empregam-se, preferencialmente, as variáveis visuais: COR: SATURAÇÃO para os modos de implantação zonal e linear; e COR: SATURAÇÃO e/ou FORMA com variações de geometria para o modo de implantação pontual.

Caracterização das variáveis visuais para traduzir a ideia de QUALIDADE

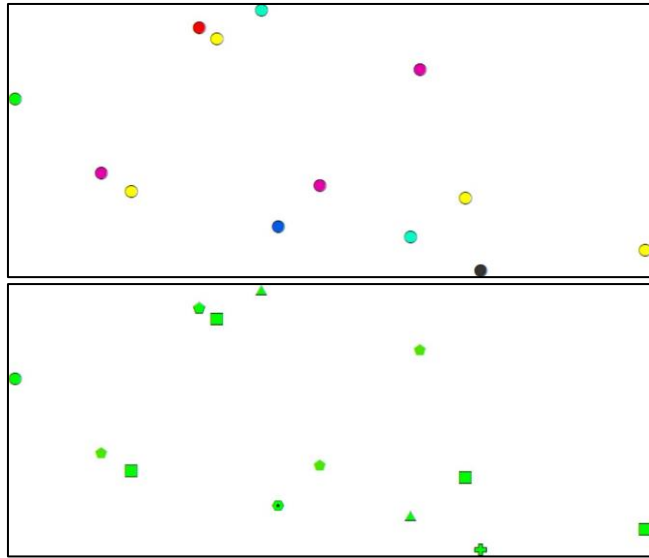
A FORMA no modo de implantação pontual pode ser obtida pelas alterações da geometria (FORMA: Geométrica) ou, pelo uso de uma única geometria com diferentes preenchimentos (FORMA). Ainda, pode ser representada pelo uso de figuras que lembram os fenômenos que se deseja representar, também chamados de pictogramas (FORMA: Pictórica).

Variável Visual FORMA - modo de implantação pontual



Exemplos de combinações da variável visual FORMA no modo de implantação pontual – variações: pictórica, pictórica + cor, geométrica e forma + cor

A variável visual COR pode e, muitas vezes, deve ser associada à FORMA para reforçar ou facilitar o carácter de seletividade dos dados. A variável visual FORMA pictórica e geométrica sem a associação da COR, quando empregada de modo pontual, resulta em representações com baixa capacidade de diferenciação e espacialização dos fenômenos, especialmente quando o número de elementos cartografados é muito grande.

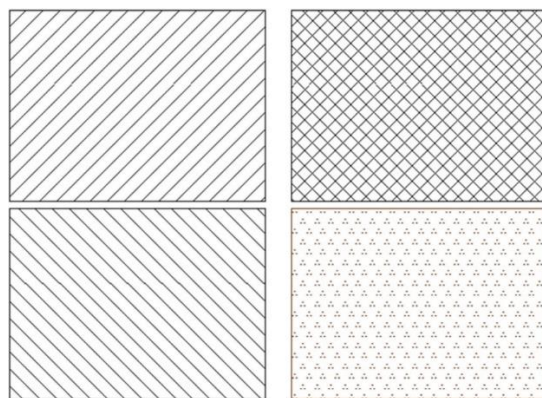


Exemplo da prevalência da variável visual COR: MATIZ sobre a FORMA na facilitação da percepção dos padrões espaciais no modo de implantação pontual

Variável Visual FORMA - modo de implantação linear



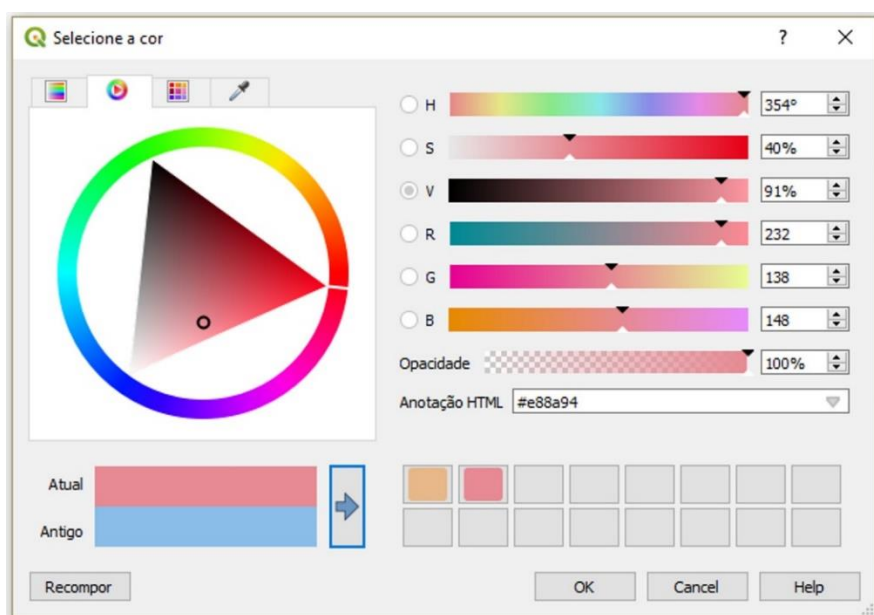
Exemplos de combinações da variável visual FORMA com a cor no modo de implantação linear



Variável visual ORIENTAÇÃO (esquerda) e FORMA (direita) no modo implantação zonal – FORMA no modo zonal é também denominada de ARRANJO

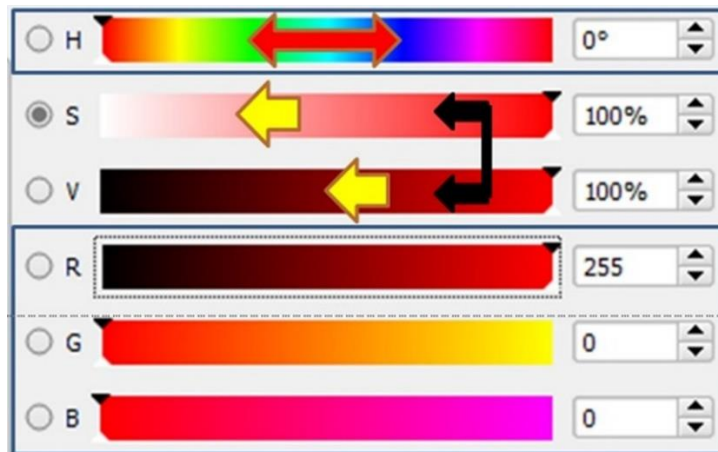
A COR é um recurso visual amplamente utilizado em mapas temáticos e apresenta três dimensões: COR: MATIZ, que corresponde à variável visual cor propriamente dita (conforme preconizado pela Semiologia Gráfica); COR: SATURAÇÃO, que corresponde à variável visual Saturação na concepção de Bertin (1967); e COR: VALOR, que corresponde à variável visual VALOR (segundo a Semiologia Gráfica).

Nos SIGs, as variações de COR correspondem às variações promovidas no matiz, valor/brilho ou saturação da cor (*Hue, Value/Lightness e/ou Saturation*) nos modos de cor: HSV ou HSL; e, no modo de cores RGB, as variações são obtidas a partir das variações e combinações dos valores das paletas R, G e B (*Red, Green, Blue*).



Interface para seleção e ajuste da cor nos modelos HSV e RGB – interface do QGIS®

A variável visual COR é preferencialmente utilizada para representar dados **qualitativos**, e pode transmitir tanto a ideia de **distinção (Seletividade Dissociativa** – via dimensão COR: MATIZ), quanto a de diferenças com a identificação de grupos de semelhantes entre os elementos a serem cartografados (**Seletividade Associativa** – via dimensão COR: SATURAÇÃO).



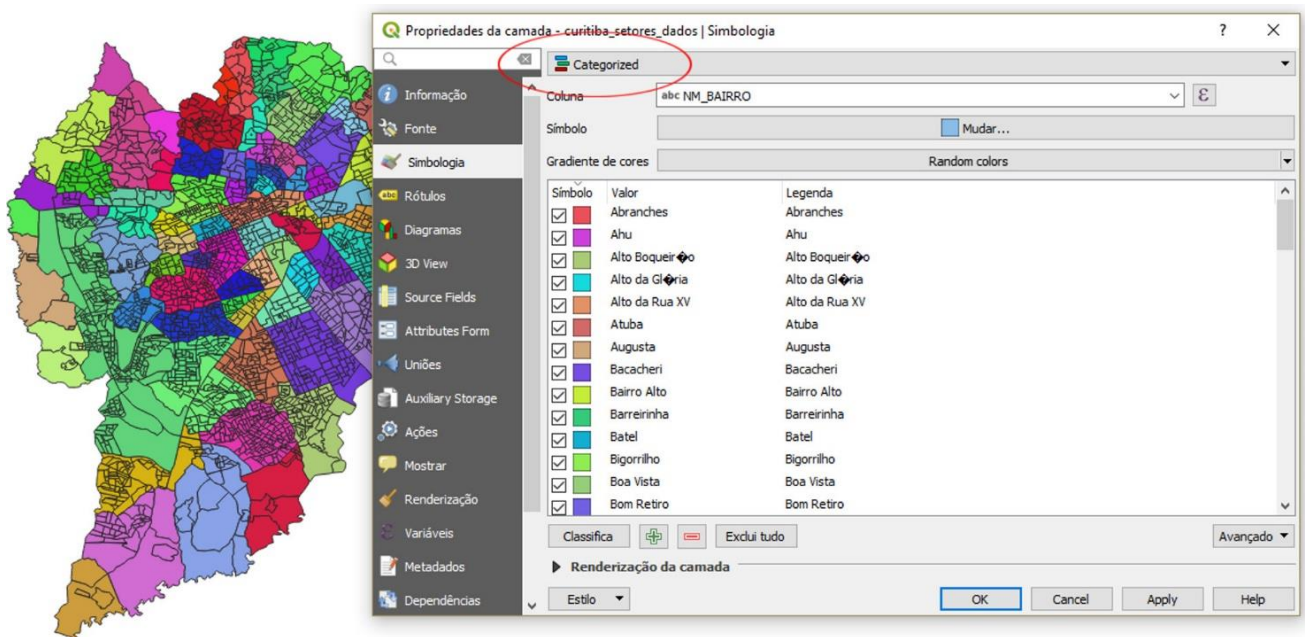
Processos de Manipulação dos Componentes HSV e RGB para Obtenção de Variações da Variável Visual COR

No modelo de cor HSV, presente na maioria dos *softwares* de SIG (a exemplo: QGIS® e ArcGIS®), a dimensão COR: MATIZ é obtida através das variações promovidas nos valores de matiz (*Hue* - H) e, a COR: SATURAÇÃO através das variações conjuntas dos valores de saturação (*Saturation* - S) e valor (*Value* - V), conforme setas pretas na figura acima. A COR: VALOR é obtida por variações independentes de S ou V, conforme setas amarelas na mesma figura.

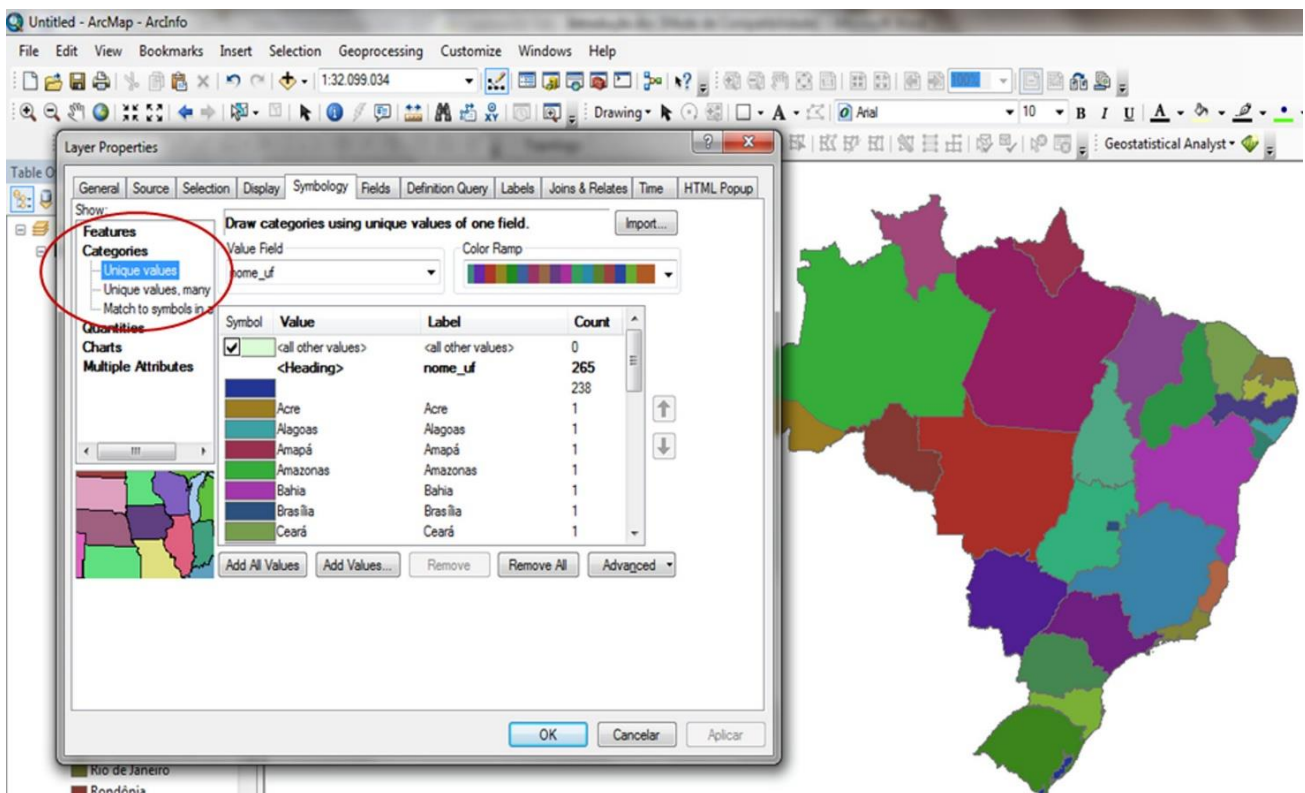
Cabe destacar que variações no valor do matiz não são percebidas com a mesma intensidade pelo usuário, ou seja, variações de 20 em 20 pontos nos valores de H (*Hue*) não necessariamente serão percebidas com a mesma intensidade pelo usuário ao longo do espectro de cores. Contudo, é principalmente através da manipulação dos valores de H que o elaborador do mapa poderá criar e gerenciar os diferentes matizes a serem empregados na representação temática.

Pequenas variações nos valores de matiz (H) podem ser utilizadas em conjunto com as variações de S e V de forma a auxiliar a construção de paletas para uso na representação de informações que apresentem Seletividade Associativa (COR: SATURAÇÃO) e Quantidade (COR: VALOR).

Nos SIGs, em geral os atributos **QUALITATIVOS** são tratados graficamente como dados **CATEGÓRICOS** e, os mapas que apresentam dados qualitativos, com modo de implantação zonal e uso da variável visual COR: MATIZ, são denominados de mapas corocromáticos.



Tratamento gráfico de dados qualitativos (Seletividade Dissociativa) no QGIS®



Tratamento gráfico de dados qualitativos (Seletividade Dissociativa) no ArcGIS®

É importante observar que muitos dos mapas temáticos que empregam a variável visual COR apresentam propostas pré-definidas para o uso da mesma (paletas padronizadas), como a exemplo dos mapas de solos, de uso da terra e de vegetação. Para estes mapas, as cores que deverão ser utilizadas para representar os temas encontram-se descritas nos Manuais Técnicos do IBGE.

Pesquisas têm demonstrado que, mesmo em meio digital, o uso simultâneo de muitos matizes de cores para representar diferentes informações (Seletividade Dissociativa) gera confusão para a maioria dos usuários. Este problema, já apontado para os mapas impressos, permanece presente nos mapas em meio digital, uma vez que reflete mais a capacidade do usuário em diferenciar os matizes de cores do que do meio de divulgação (CUBAS e SAMPAIO, 2015; CUBAS, 2015).










Apesar de estar primeiramente associada a dados nominais e campos de atributos do tipo texto, a ideia de **QUALIDADE** pode estar presente, também, em dados numéricos (campo de atributos do tipo número). Este é o caso, por exemplo, do CPF, do código da UF (Unidade da Federação) e do código do setor censitário (geocódigo - IBGE). Apesar de poderem ser armazenados na forma de número ou texto, não indicam quantidades ou ordem, mas simplesmente que cada indivíduo é diferente dos demais, ou seja, os números são sinônimos de temas como: A, B e C.

Assim como a COR: MATIZ, as variáveis visuais ORIENTAÇÃO e FORMA também traduzem a ideia de Seletividade Dissociativa. Contudo, a variável visual ORIENTAÇÃO **NÃO** é indicada para os modos de implantação pontual e linear por gerar problemas de semiologia (baixa perceptibilidade para o modo de implantação pontual e polissemia para implantação linear).

A orientação é mais empregada para geometrias do tipo polígono, principalmente quando há necessidade de sobreposição de temas, uma vez que neste caso a orientação funciona como hachura. Cabe observar que as variações na inclinação da variável orientação devem ser distantes (angular) o suficiente para evitar confundir o leitor.

Também a FORMA associada a polígonos pode ser utilizada como hachura, permitindo a diferenciação (Seletividade) quando houver necessidade de sobreposição de camadas de dados.












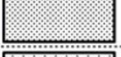







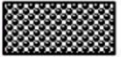
Apesar das variáveis visuais apresentarem um leque maior de possibilidade de aplicação, o uso de variáveis visuais, conforme proposto anteriormente, reduz problemas de perceptibilidade e possibilita a sobreposição de camadas de dados.

Dados Seletivos: Característica Dissociativa - $A \neq B \neq C$		Possibilidades de implementação: Variáveis Visuais		
ID	Campo de atributos tipo: Texto (excepcionalmente numérico)	Ponto Cor: Matiz, Forma ou Forma pictórica	Linha Cor: Matiz ou Forma	Polígono Cor: Matiz, Orientação ou Forma Zonal (Arranjo)
1	A			
2	B			
3	C			

Seletividade Dissociativa: Modelo Hipotético de Dados, Tipologia dos Campos de Atributos e Variáveis Visuais Usuais em SIG

A figura anterior apresenta um exemplo de relação entre dados que apresentam a ideia de Seletividade Dissociativa (cada indivíduo espacial, representado por cada uma das linhas da tabela de atributos, é **diferente** dos demais) e, de sua tipologia usual (campo do tipo texto - *string*).

Neste caso, as variáveis visuais mais recomendadas são a COR: MATIZ e a FORMA (que pode ser utilizada de forma associada ou não à COR). Estas variáveis visuais podem ser utilizadas para os modos de implantação pontual, linear e zonal e, a variável ORIENTAÇÃO, apresenta aplicação apenas para o modo de implantação zonal (ou seja, polígonos).

Dados Seletivos Associativos (apesar de $A \neq B$ e C e, $B \neq C$, Aa e Ax formam um subgrupo de dados) + Dados Ordenados (B1 e B2 correspondem a uma hierarquia)		Possibilidades de implementação: Variáveis Visuais			
ID	Campo: Texto	Ponto Cor: Matiz, Forma, Cor: Valor, Tamanho e Cor: Saturação	Linha Forma, Cor: Matiz, Cor: Valor e Tamanho	Polígono Cor: Matiz, Cor: Saturação, Cor: Valor	Polígono Orientação, Espaçamento e Forma
1	Aa				
2	Ax				
4	B1				
5	B2				
6	C				

Seletividade Associativa: modelo hipotético de dados, tipologia dos campos de atributos e variáveis visuais mais usuais em SIG

A figura anterior apresenta um exemplo de relação entre dados que apresentam a ideia de Seletividade Associativa e as variáveis visuais. Aa e Ax são indivíduos espaciais diferentes entre si e, também, dos demais indivíduos representados, porém, possuem como característica em comum o atributo A. B1 e B2 são do tipo B, porém estabelecem uma ordem entre si. Já o indivíduo espacial C é distinto dos demais. A tipologia usual observada na tabela de atributos para este tipo de dados é a de campo do tipo texto (*string*).

Nesta tabela de atributos, portanto, são observadas simultaneamente, as ideias de Seletividade Associativa e de Ordem (B1 e B2). Neste caso, as variáveis visuais mais recomendadas são a COR: MATIZ e/ou FORMA para distinção dos indivíduos (a fim de demonstrar que todos são diferentes). A COR: SATURAÇÃO, associada ou não à FORMA, é empregada para estabelecer a relação de ligação (variações na saturação do azul da figura acima estão ligadas à informação: A, enquanto os diferentes tons de verde (COR: VALOR) informam que em B há uma hierarquia). Esta variável ajuda os usuários a estabelecer, visualmente, as relações de associatividade presente nos dados.

Exemplo de camada de dados que apresenta tabela de atributos semelhante a hipotética aqui apresentada, é a observada em dados de vegetação. Nesta, diferentes formações vegetais podem apresentar subgrupos com indivíduos distintos nestes subgrupos e, ainda, podem apresentar ordem/hierarquia em função do estágio sucessional.

Representação gráfica de dados que traduzem a ideia de QUANTIDADE e ORDEM

Enquanto significado cognitivo a ser traduzido, a QUANTIDADE indica que uma grandeza está associada ao indivíduo espacial, podendo esta ser armazenada na forma de número ou, excepcionalmente, texto.

A ideia de ORDEM indica que existe uma hierarquia (qualitativa, quantitativa ou temporal) e pode ser associada a dados armazenados no formato de texto, número e data. QUANTIDADE e ORDEM em geral apresentam tratamento gráfico similar.

Dados armazenados na forma de texto, como alto e baixo, ou números, como 10 e 15, apesar de utilizarem tipologias diferentes (texto e número) podem estar associados às ideias de quantidade e ordem.

Enquanto atributo numérico, a quantidade pode se expressar por valores absolutos e relativos, sendo considerados valores absolutos aqueles nos quais a quantidade de cada indivíduo independe, matematicamente, dos valores dos demais indivíduos. Valores relativos, em geral expressos por porcentagens (mas nem sempre), são aqueles nos quais as quantidades apresentadas dependem diretamente dos totais dos demais indivíduos cartografados. Porcentagens que representam valores que independem dos demais indivíduos cartografados, traduzem a ideia de quantidades absolutas.

Dados quantitativos podem ser normalizados, ou seja, apresentar valores relativos a dois ou mais campos de atributos numéricos (como no caso da síntese). Densidade demográfica (habitantes/área), aproveitamento escolar (alunos aprovados/total de alunos) e renda per capita, são exemplos de dados normalizados.

As quantidades que expressam valores absolutos e relativos podem ser traduzidas pelas variáveis visuais: TAMANHO e COR: VALOR, sendo mais usual o emprego da

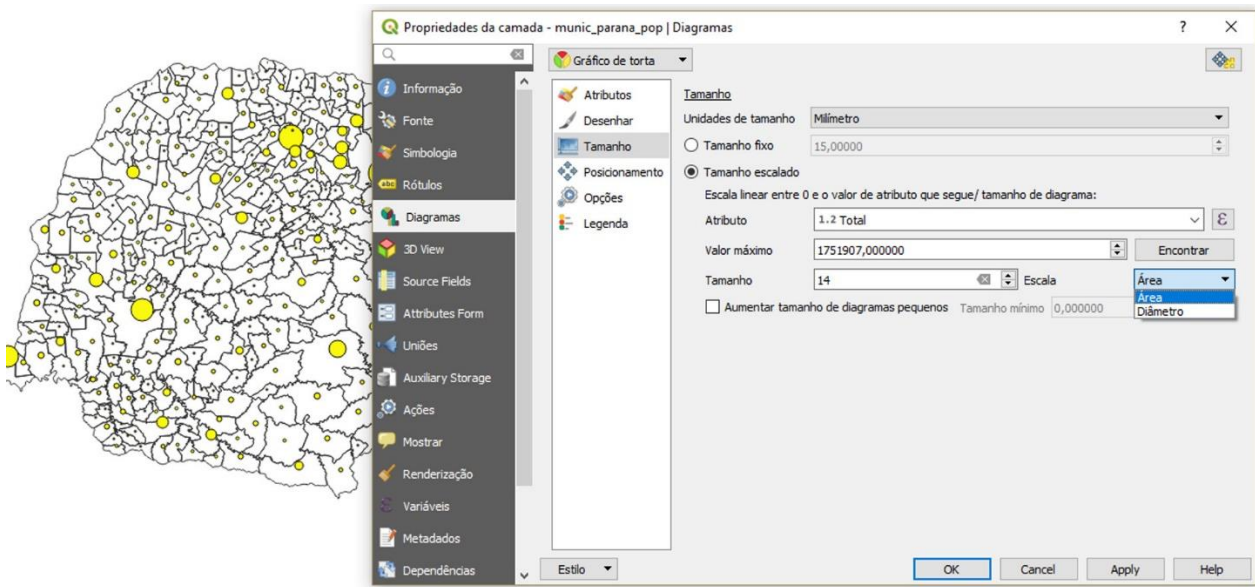
variável visual TAMANHO para traduzir graficamente dados que expressam a ideia de valores absolutos e, da variável visual COR: VALOR para representar dados relativos ou normalizados.

Dados Ordenados e Quantitativos: campos tipo texto, numérico e data.					Possibilidades de implementação: Variáveis Visuais				
ID	Campo do tipo: Texto com ideia de ORDEM	Campo do tipo: Numérico com associação da ideia de ORDEM	Campo do tipo: Data com ideia de ORDEM Temporal	Campo do tipo: Numérico com ideia de QUANTIDADE	Ponto Tamanho	Linha Tamanho	Polígono Cor: Valor	Polígono Hot to Cold	Polígono Espaçamento
1	Micro	10	jan/98	11	●	—			
2	Pequeno	20	fev/98	21	●	—			
3	Médio	30	mar/98	24	●	—			
4	Grande	40	abr/98	32	●	—			
5	Mega	50	mai/98	36	●	—			

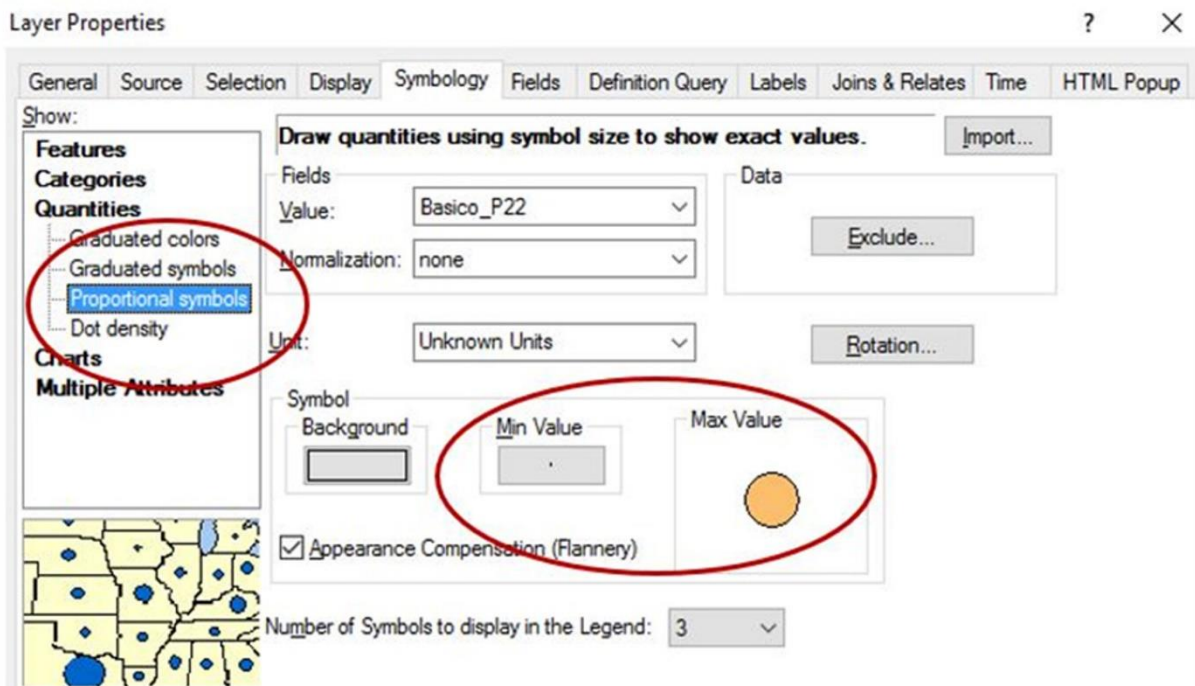
Dados que expressam Quantidade e Ordem, tipologia de campos de atributos e Variáveis Visuais

A figura acima apresenta exemplos de relações entre dados que apresentam a ideia de QUANTIDADE ou ORDEM, suas tipologias usuais (texto, número e data) e, as variáveis visuais (TAMANHO, COR: VALOR, *Hot to Cold* e Espaçamento) indicadas para tradução visual.

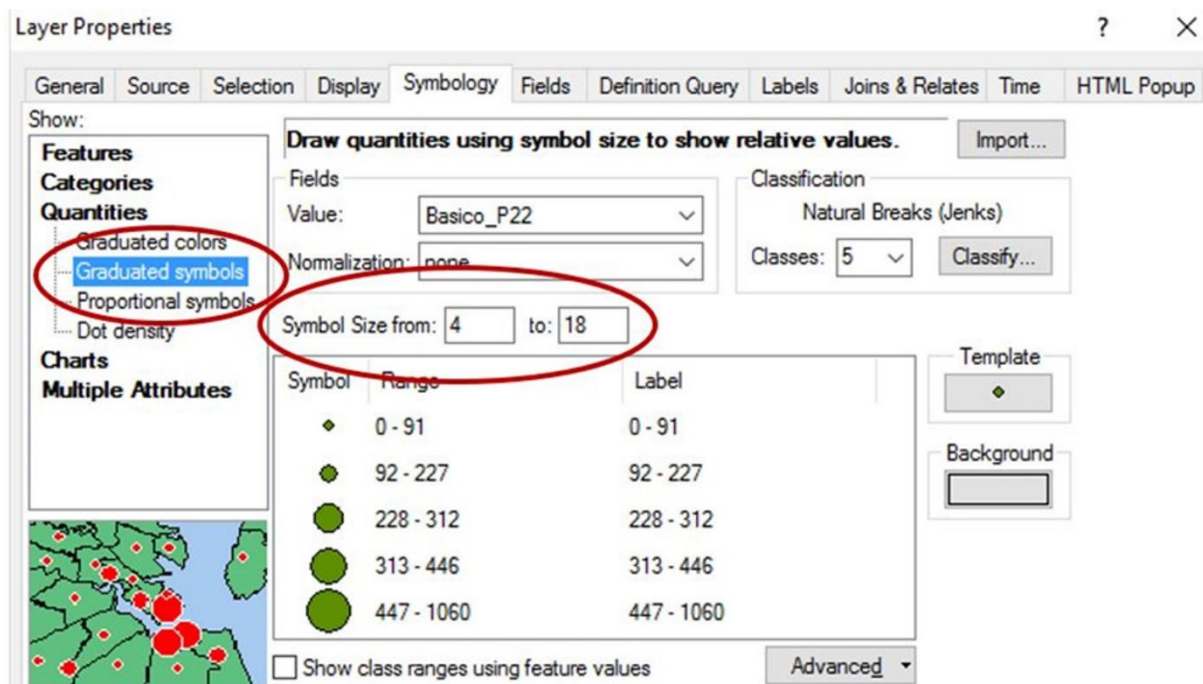
A variável visual TAMANHO é obtida a partir das variações do pequeno ao grande para uma mesma forma. Dependendo do *software* utilizado, as variações no tamanho podem ser estabelecidas pela relação das grandezas a serem representadas com a **área** da figura, **diâmetro** ou outra relação a ser escolhida.



Interface do QGIS® e função que permite estabelecer a relação das grandezas que se deseja representar com a área ou o diâmetro das figuras.



Interface do ArcGIS® e variável visual TAMANHO - função símbolos proporcionais

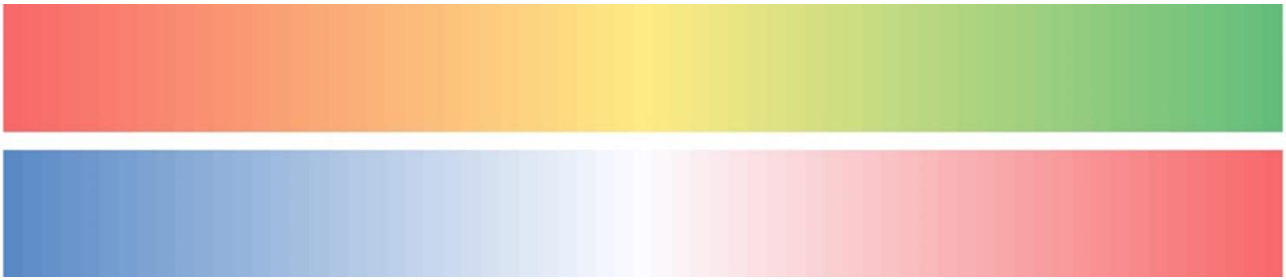


Interface do ArcGIS® e variável visual TAMANHO - função símbolos graduados

No ArcGIS®, há dois modos de empregar a variável visual tamanho: por relação proporcional à área, definindo-se apenas a menor dimensão a ser utilizada - função – “*Proportional symbol*”; ou, definindo-se uma rampa de valores para a variável visual tamanho, onde o menor e o maior símbolo servem de parâmetro para o tamanho dos demais valores - função – “*Graduated symbols*”.

A variável visual disponível nos SIGs para representar a ideia de QUANTIDADE e ORDEM, no modo de implantação zonal, é a COR: VALOR. Esta é obtida pela variação, de forma isolada, de S ou V no modelo de cores HSV (mantendo-se fixo o valor de H) e, de somente V (*Value*) ou somente L (*Lightness*) no modelo de cor HSL. Nos dois casos é possível associar estas variações a pequenas variações de H para facilitar a percepção nas variações do valor.

A variável visual COR possui uma variação na qual emprega dois ou mais matizes de cores com variações de valor. Estas composições em geral empregam cores quentes e frias em contraposição e são conhecidas como paletas do tipo: *hot to cold*.



Exemplos de Paletas *hot to cold*

Sua aplicação é para dados que traduzem a ideia de quantidade e, funcionam de forma similar à variável COR: VALOR indicando a intensidade do fenômeno (QUANTIDADE). Este recurso visual deve ser utilizado **PREFERENCIALMENTE** para transmitir a ideia de opostos (Exemplo: local pacífico *versus* local violento, local frio *versus* quente, etc.).

A variação *hot to cold* é indicada principalmente para dados de superfície contínua (como a exemplo os Modelos Digitais de Elevação). Sua utilização para polígonos (dados de superfície discreta) deve ser avaliada cuidadosamente, pois pode gerar a noção de distinção (Seletividade Dissociativa) quando utilizada para representar fenômenos com poucas classes e/ou poucos polígonos.

Alguns autores indicam a possibilidade de uso da variável visual COR (com pequenas variações no matiz) para transmitir a noção de QUANTIDADE. Contudo, variações no matiz podem, dependendo da distância utilizada para separar os valores de matiz, promover diferentes efeitos visuais e transmitir diferentes tipos de significados, conforme demonstrado a seguir.

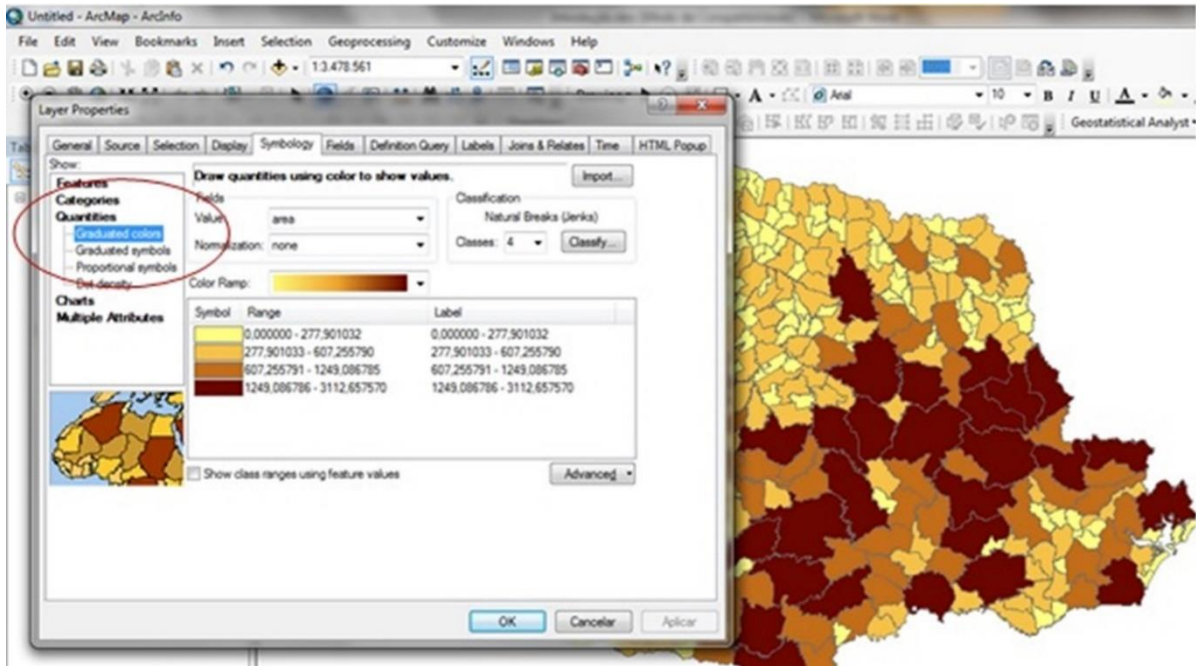


Efeito visual da variação nos valores de matiz H (*hue*) nos modelos de cor HSV ou HSL. As variações somente em H podem gerar diferentes significados cognitivos. Acima de 30 pontos de variação entre um valor de matiz e outro, obtém-se a ideia de Seletividade Dissociativa.

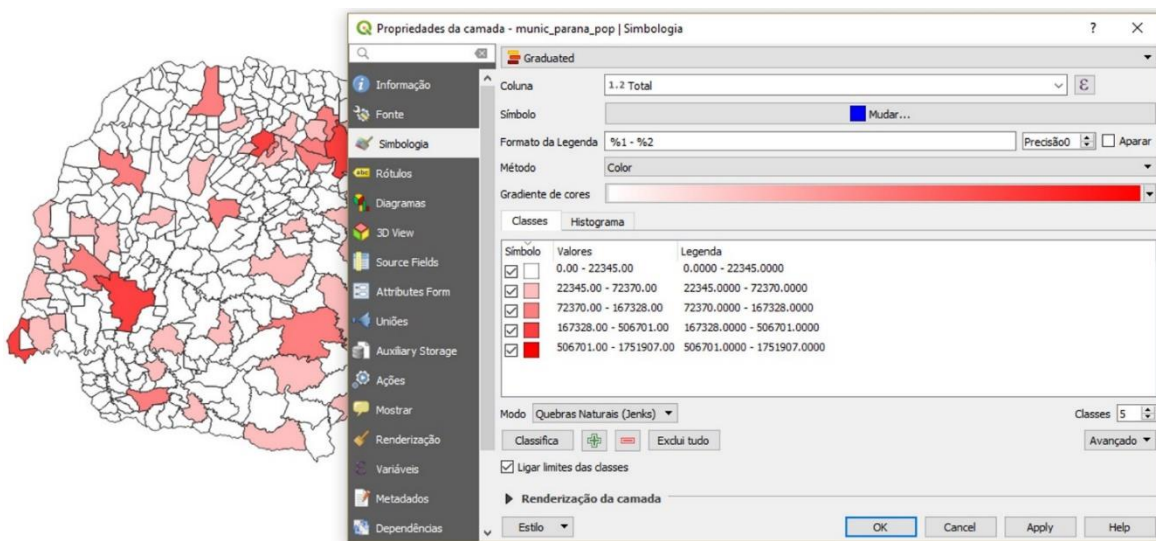
Variações no matiz e significados cognitivos transmitidos: Seletividade Associativa (observada para até dois matizes com distância de 30 pontos), Seletividade Dissociativa (mais de dois matizes com distância igual ou superior a 30 pontos). Ideia de Quantidade, com significado similar à paleta *Hot to Cold* (variações no matiz com distância de 20 pontos). Quantidade ou Ordem, para variações de matiz com distância igual ou inferior a 10 pontos.

Para os modos de implantação pontual e linear, a variável visual disponibilizada para indicar a ideia de QUANTIDADE pelos SIGs é o TAMANHO, que pode ser utilizada também na forma de pictograma.

Nos SIGs, em geral atributos QUANTITATIVOS são tratados como QUANTIDADES (*Quantities* – Ex.: ArcGIS®) ou GRADUADO ou DIAGRAMAS (Ex.: QGIS®).



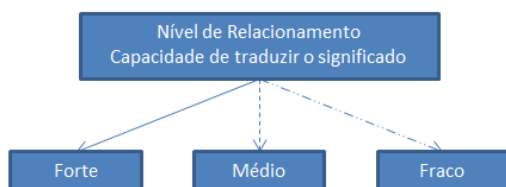
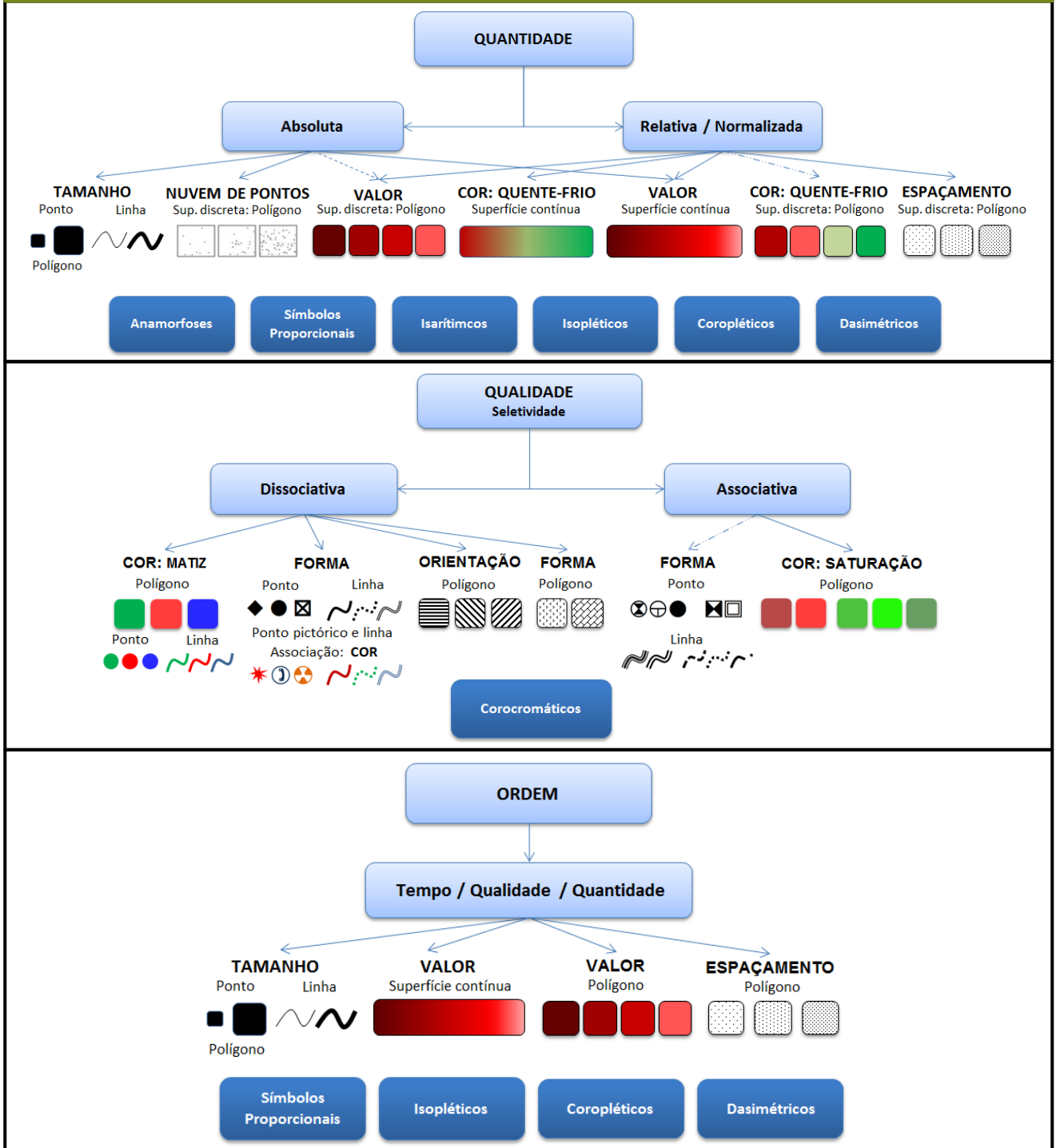
Interface do ArcGIS® e funções para tratar graficamente dados que traduzem a ideia de Quantidade ou Ordem



Interface do QGIS® e funções para tratar dados que traduzem a ideia de Quantidade ou Ordem

No geral, a escolha da variável visual a ser utilizada para representar dados que traduzem a ideia de qualidade, quantidade ou ordem, pode ser feita com auxílio de uma árvore de decisão, conforme apresentado a seguir.

Árvore de decisão para escolha da variável visual



Mapas Corocromáticos são aqueles que empregam a variável visual COR (Matiz ou Saturação) para transcrever a ideia de Seletividade (Associativa ou Dissociativa).

Mapas Coropléticos são aqueles que empregam a variável visual VALOR para transcrever a ideia de Quantidade ou Ordem.

Esta árvore de decisão segue as premissas da Semiologia Gráfica e apresenta variáveis visuais usualmente disponibilizadas pelos SIGs.

Discretização de dados: trabalho com mapas coropléticos, isopléticos e isarítmicos

Mapas coropléticos, isopléticos e isarítmicos apresentam quantidades associadas aos lugares. Enquanto os coropléticos apresentam quantidades associadas a polígonos (superfícies discretas), os isopléticos apresentam as grandezas associadas a faixas de isovalores (superfícies contínuas formadas por pixels, porém discretizadas) e os isarítmicos apresentam linhas que indicam locais de isovalor. Estes mapas representam grande parte dos mapas temáticos produzidos em ambiente SIG.

Por se tratar de mapas usualmente empregados para diferentes temas, os mapas coropléticos, isopléticos e isarítmicos, em geral, não apresentam padronização para a definição do número e intervalo de classes (ou intervalo de faixas no caso dos mapas isopléticos). Isto faz com que, frequentemente, caiba ao elaborador a decisão sobre quantas classes ou faixas devem ser utilizadas (definição do Número de classes: N_c ; ou do Número de faixas: N_f). Também caberá ao elaborador do mapa definir qual valor deve iniciar e terminar cada classe, ou seja, definir o Intervalo de Classes ou Faixas: I_c/I_f – para mapas coropléticos e isopléticos e, a Equidistância entre Isolinhas: E_i para mapas isarítmicos.

Como o universo de temas que podem ser cartografados com o uso destes mapas é imenso, a padronização prévia do N_c e I_c/E_i é uma tarefa quase impossível e, por vezes pouco produtora, uma vez que a adequação dos mapas a novos recortes espaciais pode resultar na inadequação dos valores observados de N_c e I_c/E_i em uma proposta pré-existente. Contudo, algumas reflexões podem ajudar na confecção destes mapas:

Classificação de dados numéricos: definindo o número de classes - Nc

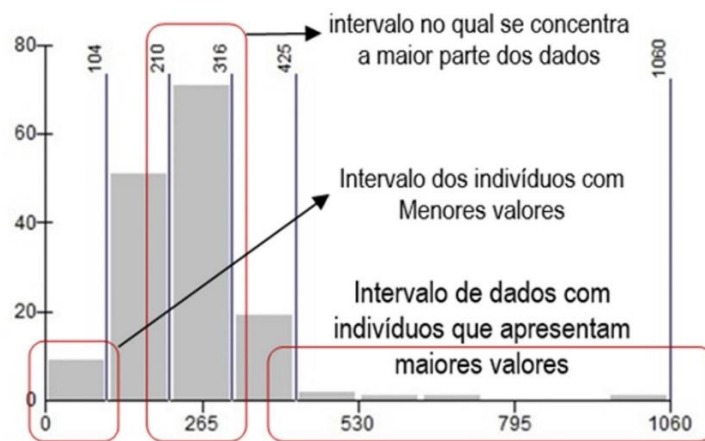
Apesar da existência de propostas para identificação do número ideal de classes (sendo a mais famosa: STURGES, 1926), a definição do Nc deve levar em conta o grau de detalhamento que se pretende dar ao fenômeno, a quantidade de polígonos cartografados, a amplitude dos valores, a finalidade do mapa e o perfil do usuário.

O aumento no número de classes aumenta, em tese, a capacidade de distinção do tema cartografado, enquanto a redução aproxima ou agrega indivíduos distintos em uma mesma classe. Desta forma, uma divisão em três classes/faixas resulta em uma maior agregação de polígonos/pixels, enquanto a divisão em nove classes ou faixas reduz o número de indivíduos em cada classe e aumenta o grau de distinção entre as mesmas.

Via de regra, assume-se que quanto menor o número de polígonos ou menor a amplitude dos valores a serem discretizados, maior a necessidade de separação e, de forma oposta, quanto maior o número de polígonos ou a amplitude de valores, maior a necessidade de agrupar os dados distintos, facilitando a visualização de subgrupos e faixas de semelhantes.

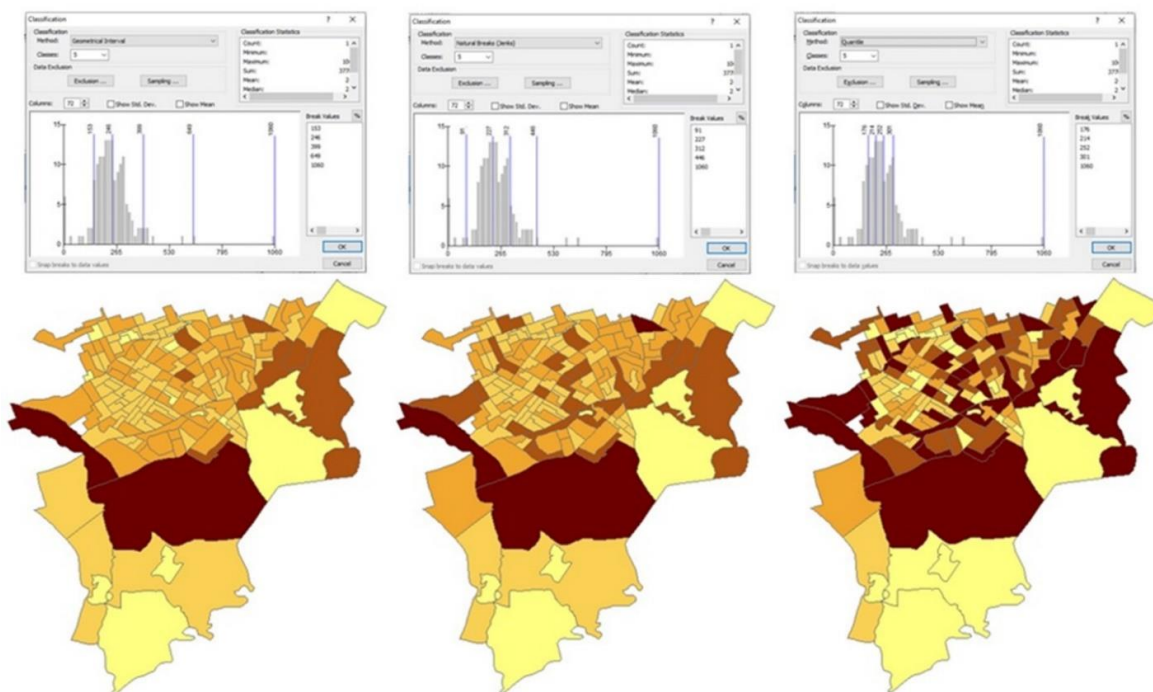
Também é usual a definição do número de classes/faixas em números ímpares (3, 5, 7 e 9), permitindo que uma das classes se situe, a princípio, em uma posição mais central ou próxima ao valor “médio”. Desta forma, tem-se a possibilidade de uma, duas ou mais classes acima desta classe intermediária e, da mesma forma, uma, duas ou mais classes abaixo.

A definição do Nc/Nf não deve ser feita sem antes observar, em um histograma (ver figura), a distribuição dos valores a serem representados, o que irá balizar, também, a definição do Ic/If/Ei. A lógica a ser observada é a de que o comportamento do fenômeno a ser representado, ou seja, sua forma de distribuição e agrupamento é quem deve definir, estatisticamente, o número de classes ou faixas e os seus intervalos, e não o contrário.

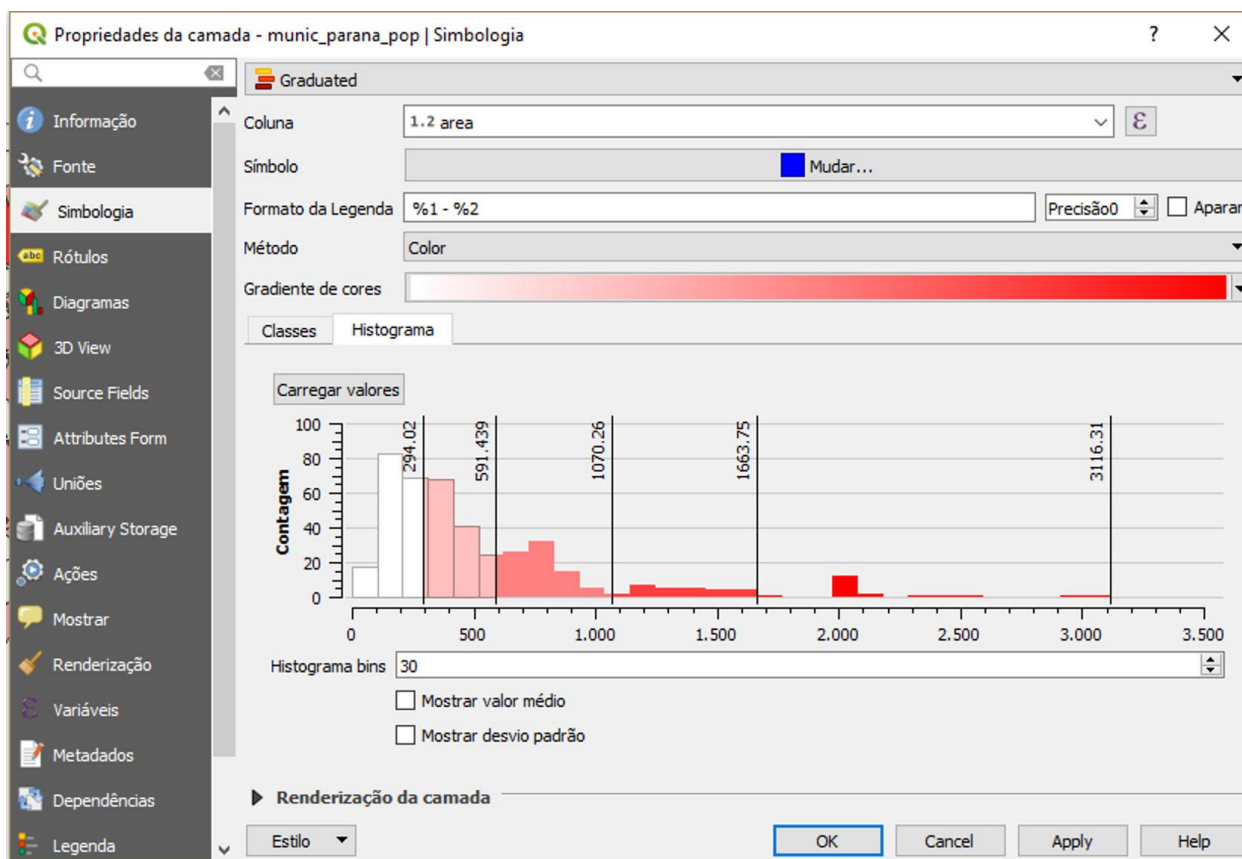


Exemplo de Histograma

Uma boa dica é a de observar o histograma montado a partir de um número menor de colunas (na figura acima o histograma foi elaborado com 10 colunas). O número menor de colunas permite visualizar a forma de distribuição e agrupamentos dos dados.



Diferentes formas de particionar os dados: Intervalo Geométrico (esquerda), Jenks (centro) e Quantil (direita) e, seus efeitos sobre a percepção de como o fenômeno varia no espaço.



Acesso a função de HISTOGRAMA no QGIS®

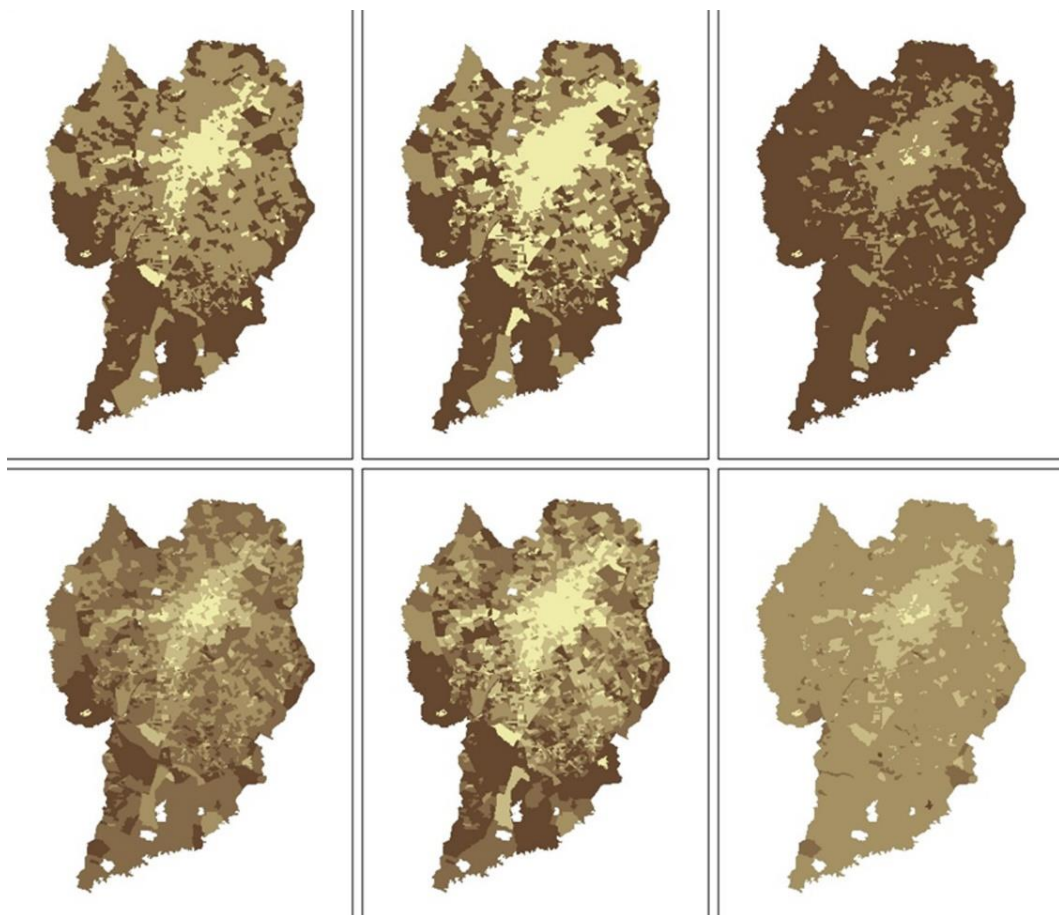
Para exemplificar: apesar da declividade variar de 0% a mais de 10000%, o que define as classes de declividade empregadas em um estudo de perda de solos não é a aplicação de um tratamento estatístico no qual a amplitude dos valores observados é dividida pelo número de classes desejadas. As classes: plano, ondulado e escarpado não são definidas por tratamentos estatísticos arbitrários e sim, pelo resultado da observação do fenômeno e de suas implicações em relação à finalidade do mapeamento, neste caso, perda de solos.

Portanto, as definições de N_c/N_f e $I_c/I_f/E_i$ devem levar em consideração, simultaneamente, o objetivo do mapeamento, o perfil do usuário, a necessidade de detalhamento ou generalização, a quantidade de polígonos e a amplitude dos valores, além da distribuição do fenômeno pela faixa de valores observados.

Cabe ainda considerar o uso de propostas pré-existentes de N_c/N_f e $I_c/I_f/E_i$, como a exemplo da declividade para estudos de solos da EMBRAPA (Pereira; Lombarde Neto

(2004), a do IBGE (2011) para o estudo dos municípios quanto à população e para as definições da equidistância das isolinhas para cartas topográficas de acordo com a escala.

Em último caso e, considerando a ausência de uma proposta inicial, sugere-se o uso de cinco classes em análises exploratórias de dados, por apresentar moderado grau de detalhamento e, da definição do limite das classes através do emprego das técnicas de Quantil ou Quebras Naturais (Jenks). Isto porque, estas metodologias evitam a formação de classes vazias, além de considerar a frequência e distribuição dos elementos ao longo dos seus valores.



Densidade média de moradores por domicílio em Curitiba – PR
Censo IBGE 2010. Número de Classes: 3 (acima) e 5 (abaixo), com intervalos definidos por quantil,
quebras naturais e classes equidistantes

Considerações gerais sobre a produção de mapas temáticos: abordagem da Geovisualização (Semiologia e Layout)

A Semiologia Gráfica apresenta um plano de equivalência entre o significado da mensagem que se deseja transmitir e os elementos visuais (variáveis visuais) utilizados na comunicação, fornecendo as premissas de uma linguagem gráfica para a construção de mapas. Também apresenta os pressupostos para a comunicação com reduzido ruído e elevada interação entre o mapa e seu usuário. Segundo a Semiologia Gráfica, um mapa pode ser considerado como corretamente elaborado, quando conseguir comunicar de forma eficiente a informação que se deseja transmitir.

Neste contexto, dois tipos de mapas podem ser identificados: mapas cujo objetivo principal é o de fornecer um endereço espacial ao dado (Mapas de Dados Geoespaciais - MDG) e mapas temáticos com ênfase na representação e espacialização de informações e padrões espaciais (Mapas de Padrões Espaciais - MPE).

Mapas de Dados Geoespaciais (MDG) são aqueles em que o usuário busca conhecer o dado geoespacial em relação a suas dimensões, geometria e posição. Apresentam ênfase na acurácia posicional, topológica e temática. Em geral, seu *layout* é mais formal e a simbologia adotada encontra-se previamente definida por normas específicas. Também conhecidos como mapas para LER, estes mapas podem apresentar um grande número de dados geoespaciais sobrepostos e elevado grau de complexidade.

Enquadram-se nesta categoria mapas de uso da terra, cobertura vegetal, pedológico, relevo, cartas topográficas, mapas de clima, geotécnicos, etc. Objetivam responder a perguntas como: o que há em tal local, qual o nome desta formação/feição, qual o tamanho da área de floresta nativa, qual a extensão da área de alúvio, qual o limite espacial do clima x, aonde se localizam as manchas de uso da terra com solo exposto, qual a maior extensão ou área de..., qual o limite espacial do ..., etc.

Os usuários destes mapas empreendem o tempo que for necessário para a extração das informações desejadas, o que pode levar de segundos a minutos ou horas e, diferentes operações de álgebra de mapas.

Mapas de padrões espaciais (MPE) são aqueles que objetivam ir além da apresentação dos dados na forma de tabelas. Têm foco na percepção conjunta de uma camada de dados ou, quando necessário, duas ou mais camadas, desde que limitadas ao objetivo do tema a ser representado. Funcionam como janelas para informações ocultas nas tabelas de atributos. Seu objetivo é a percepção de um fenômeno e seus padrões espaciais.

Apresentam padrões espaciais que dificilmente seriam perceptíveis pela consulta diretamente a uma tabela. Enquanto a consulta à tabela revela um ou outro valor de forma isolada, estes mapas têm por finalidade apresentar elementos não perceptíveis de forma isolada ou, não perceptíveis quando o dado se encontra sobreposto a um conjunto numeroso de outros temas. O objetivo principal não é a representação exata das quantidades envolvidas, mas permitir a percepção do fenômeno a ser representado, preferencialmente de forma rápida.

Estes mapas, também conhecidos como mapas para VER, são similares a gráficos e outras figuras que buscam demonstrar padrões ou tipologias dos dados, permitindo a aquisição de novas informações, facilitando a comunicação e, por vezes, substituindo os dados ou a comunicação escrita.

São especialmente úteis quando os padrões que se deseja revelar não são facilmente perceptíveis via consulta direta aos dados ou, quando a sobreposição de um conjunto numeroso de camadas (excesso de informações) inviabiliza a percepção do mesmo. São exemplos de mapas de padrões espaciais os mapas de: epidemias, densidade demográfica, violência, migração, desenvolvimento socioeconômico, vulnerabilidade, etc.

Diferentes dos mapas que objetivam a localização e dimensionamento de feições, seu objetivo é a percepção do fenômeno cartografado e, não mais, a consulta de forma individualizada e pontual ao dado contido em uma ou mais linhas da tabela de atributos.

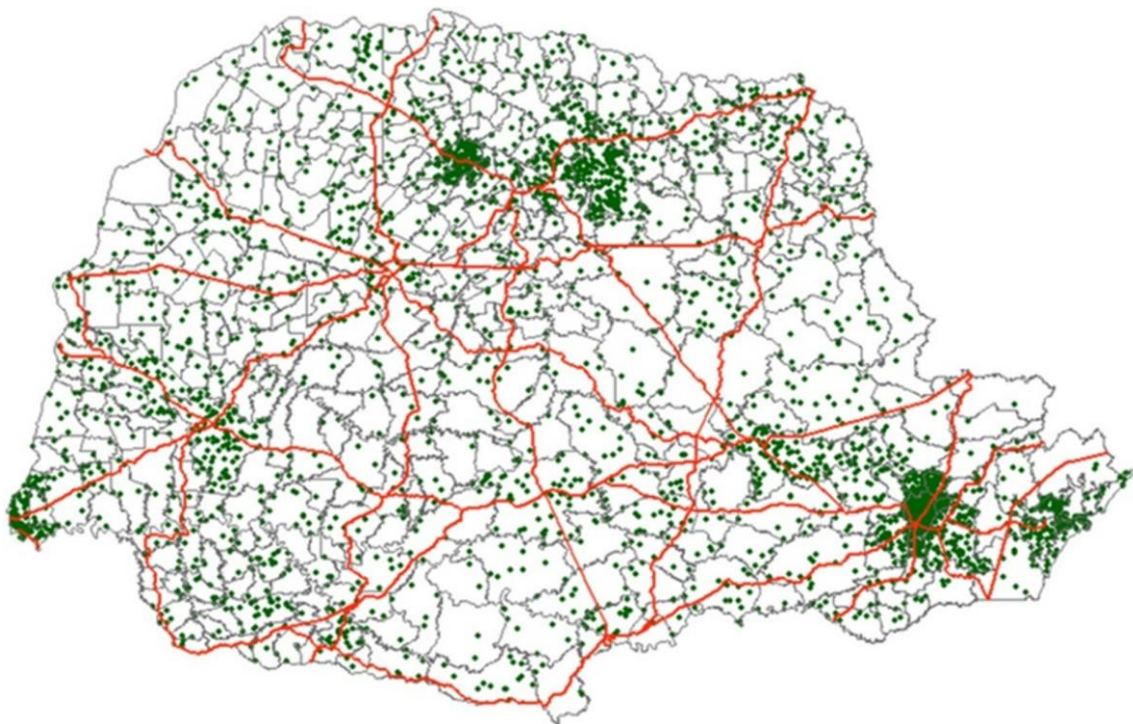
Para atingir seus objetivos, estes mapas devem ter a capacidade de comunicar a informação que se deseja transmitir de forma mais rápida e eficiente do que a consulta à tabela de atributos. Como mencionado anteriormente, o mapa será considerado semiologicamente correto se a comunicação com o usuário for eficiente visualmente (objetivo da produção do mapa), tanto em termos de tempo para

aquisição da informação, quanto em nível de visão conjunta do fenômeno cartografado.

Não se justifica a construção de um mapa (ou qualquer outro material gráfico) cujo objetivo é comunicar padrões espaciais, se o tempo gasto para aquisição da informação via mapa for maior que o tempo gasto para aquisição da mesma por consulta a tabelas e/ou aplicação de procedimentos de filtragem, álgebra de mapas ou estatísticos. Um mapa cujo objetivo é a comunicação de padrões espaciais funciona de forma análoga aos materiais publicitários, facilitando a comunicação e, por vezes, substituindo a comunicação escrita.

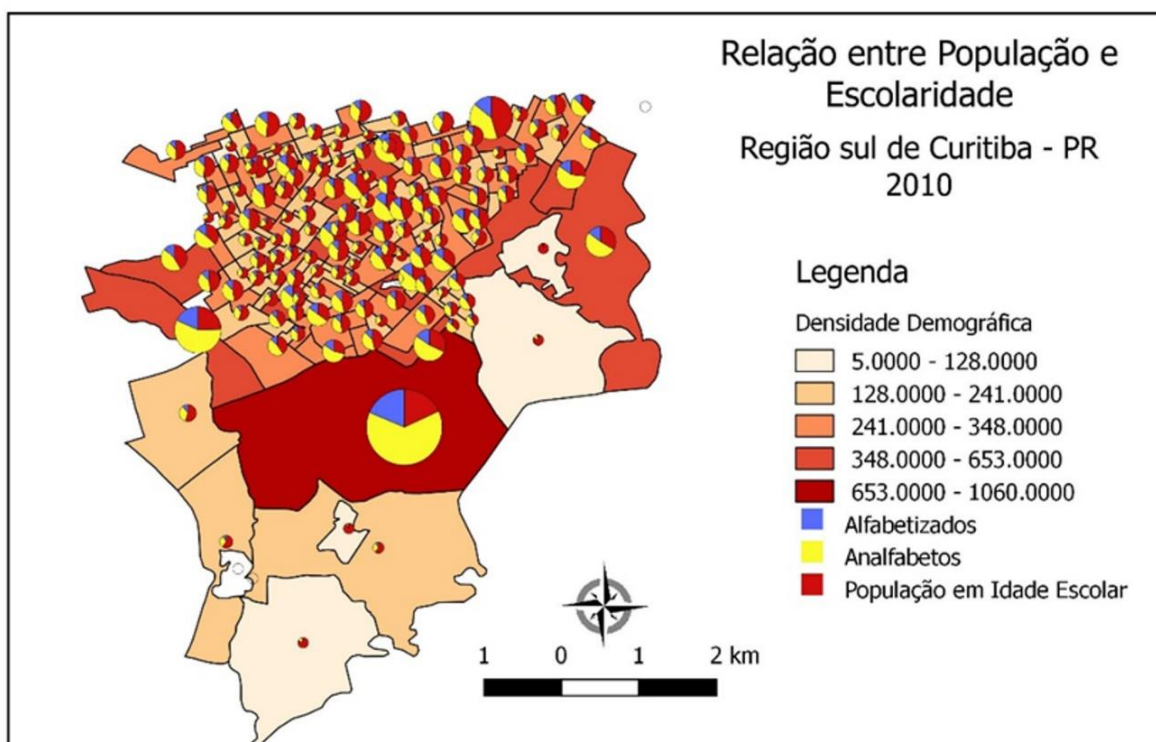
É possível ilustrar o que foi dito pela análise de um mapa de densidade de pontos. Nestes mapas o objetivo não é a aquisição do valor exato do dado de uma unidade espacial ou a posição exata do dado em relação às suas coordenadas, mas a percepção do padrão de distribuição espacial dos dados (MPE).

A representação de mais de um dado em um MPE tem por finalidade demonstrar a relação entre os padrões espaciais existentes (exemplo: malha viária e população no Paraná).



Relação entre a malha viária e a distribuição da população no estado do Paraná

Contudo, a representação de múltiplos dados pode inviabilizar o uso do mapa, por apresentar grau de complexidade desproporcional à capacidade de visualização do usuário. Neste caso, a percepção do fenômeno passa a ser pontual ou seletiva por tema, o que poderia ser feito diretamente na tabela. Este mapa poderá servir a usuários com elevada capacidade de leitura de mapas e conhecimento do assunto, porém, se seu destino é a sala de aula ou um usuário não especialista, sua construção é inútil.



Exemplo de mapa temático com excesso de informações sobrepostas. A percepção conjunta dos dados se perde e passa a ser feita ou por tema ou por unidade espacial.

Por fim, ao produzir um MPE o elaborador deverá sempre avaliar sua eficácia verificando o grau de interação com o usuário.

Exemplo de Aplicação em Ambiente SIG

Introdução

A produção de mapas em SIG por vezes demanda a duplicação de camadas de dados e/ou a separação dos dados de uma mesma camada, de forma a permitir a aplicação correta das variáveis visuais. Isto pode se fazer necessário uma vez que nem sempre os SIGs terão a capacidade de tratar adequadamente as diferentes tipologias de dados armazenados nas tabelas de atributos.

O exemplo a seguir aborda a construção de um mapa corocromático, cuja finalidade é compor um relatório técnico com apresentação final via impressão em A4. O mapa busca evidenciar uma determinada área de interesse em relação à malha viária e sua distribuição sobre os municípios presentes.

O exemplo encontra-se dividido em duas etapas. A primeira etapa concentrou a seleção das variáveis visuais, enfatizando as questões pertinentes à semiologia gráfica. Na segunda etapa o mesmo mapa foi revisto com as abordagens do *layout* e da percepção pelo usuário.

Primeira proposta: abordagem semiológica

Conforme exposto anteriormente, o primeiro mapa utilizado neste exemplo (corocromático) apresenta uma determinada área de interesse ambiental e sua distribuição espacial em relação aos municípios e à malha viária. Como a área de interesse (Polígono) se sobrepõe à camada de dados dos municípios (Polígonos) foi utilizada a variável visual orientação para representar a área de interesse, uma vez que nos SIGs esta variável se apresenta como “hachura”, permitindo a sobreposição de temas e a visualização conjunta de duas camadas de dados de ocorrência zonal (polígonos).

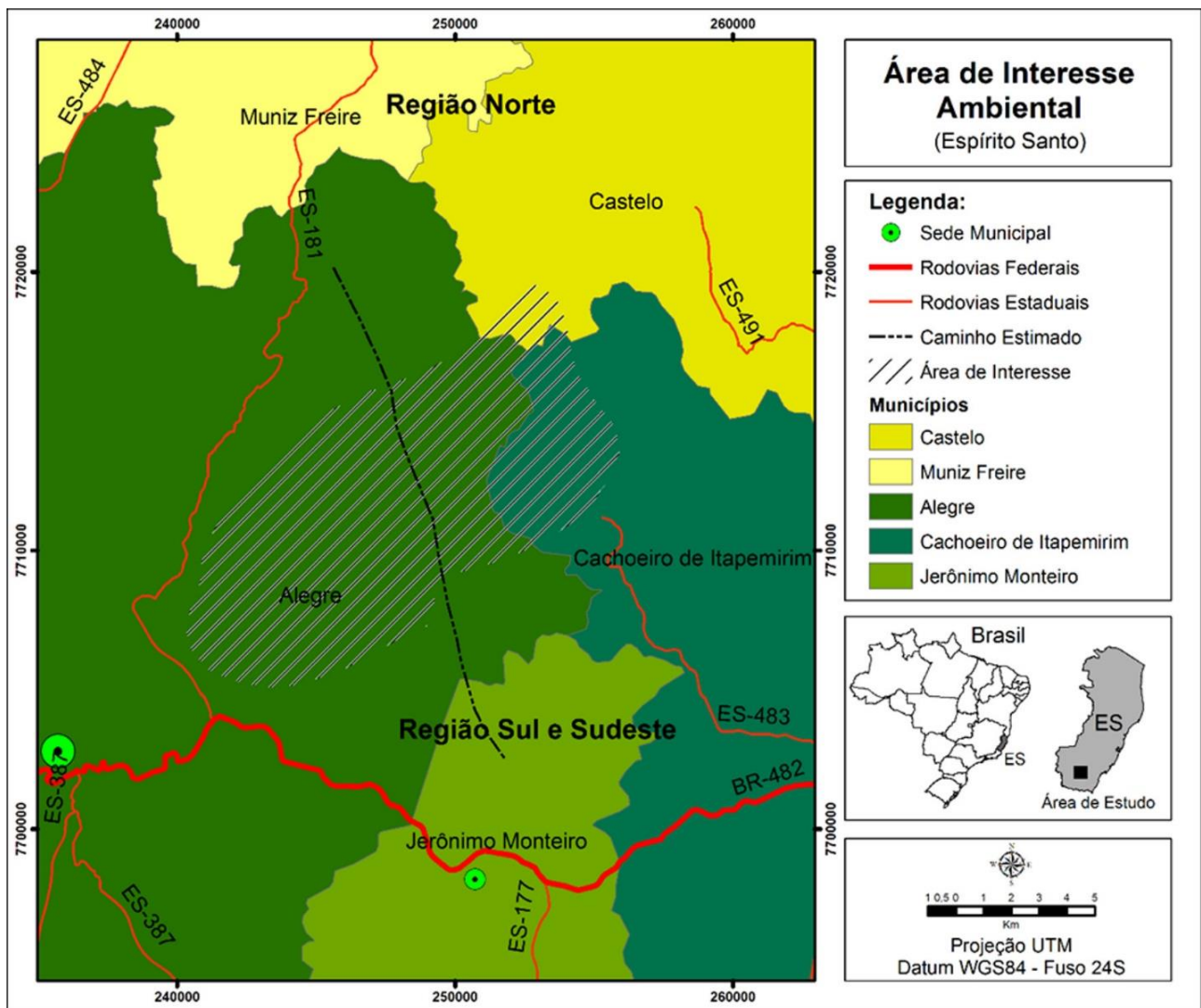
Como os municípios integram duas regiões geográficas distintas, foram utilizados dois matizes de cores (verde e amarelo: variável visual COR: MATIZ). O uso desta variável

permitiu indicar que existem duas regiões distintas (seletividade dissociativa), sendo o matiz do verde empregado para a região sul e sudeste e, o matiz do amarelo para a região norte.

A variável visual COR: SATURAÇÃO foi empregada com o objetivo de produzir uma associação dos municípios com a região na qual os mesmos se encontram inseridos (seletividade associativa). Desta forma, o matiz do amarelo apresenta dois valores de saturação e o do verde três, o que possibilita distinguir que todos os municípios são unidades espaciais distintas, ao mesmo tempo em que se associa cada um à sua região de ocorrência.

Em geral, os *softwares* de SIG disponíveis não identificam as relações descritas (seletividade associativa e dissociativa). As paletas que se abrem durante a construção dos mapas sugerem ao elaborador do mapa apenas a possibilidade de aplicar paletas de cores (variações dos matizes para uso em seletividade dissociativa) ou de saturação (paletas que apresentam pequenas variações de matizes associadas a variações mais acentuadas de saturação). Desta forma, as características associativa e dissociativa presentes nos dados, só são possíveis de se obter a partir da atribuição manual de cada tonalidade empregada no mapa.

Para evidenciar a localização da malha viária em relação à área de interesse, foram empregadas as variáveis visuais tamanho e forma com finalidades distintas. A variável visual TAMANHO foi empregada para estabelecer uma hierarquia (ORDEM) entre as rodovias (Federal e Estadual) permitindo ao leitor inferir sobre a tipologia das rodovias (mesmo sem a consulta à legenda). A variável FORMA foi utilizada para diferenciar a via a ser implementada, ainda estimada, das demais rodovias. Finalmente, para contextualizar a localização da área de interesse em relação às sedes municipais, foi aplicada a variável visual TAMANHO para diferenciar o tamanho das populações dos municípios no entorno da área de interesse.



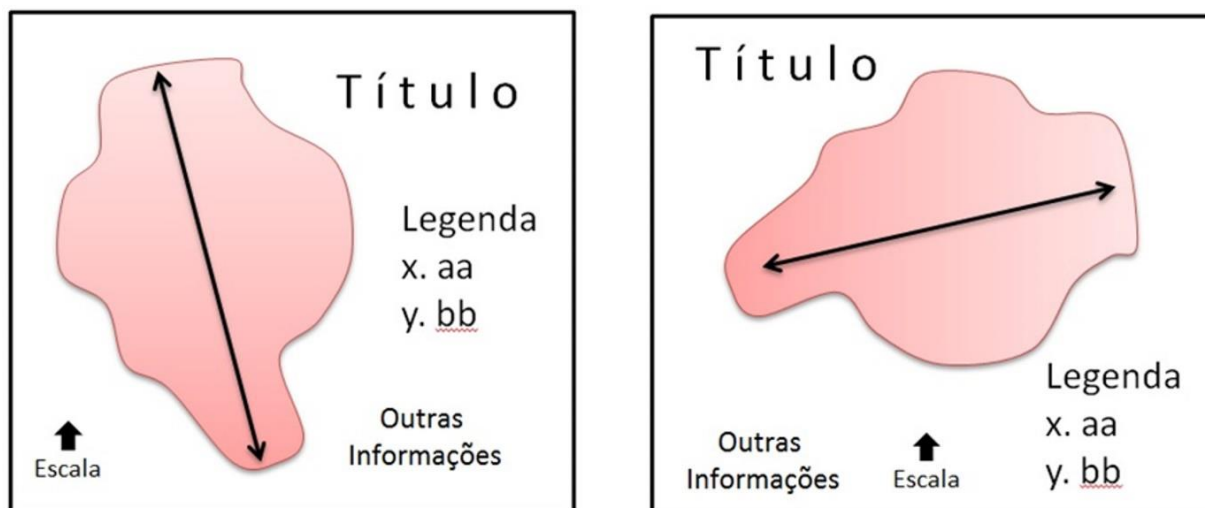
Primeira proposta de construção: abordagem baseada nas regras da Semiologia Gráfica

Segunda proposta: abordagem do *layout* e percepção

Diferentes *layouts* podem ser utilizados na confecção de mapas temáticos. Conhecidos na linguagem SIG como *Templates*, os *layouts* de mapas devem observar principalmente o perfil do usuário e a finalidade do mapa.

Para definição do *layout* e permitir que o mapa apresente boa interação com o usuário devem ser observados o **ponto focal**, a **geometria** da área cartografada e, a **disposição** dos demais elementos gráficos que irão compor o mapa.

A distribuição dos elementos presentes no mapa temático deve levar em consideração a **geometria** da área a ser cartografada. Nesta análise observa-se o quão verticalizada ou horizontalizada é a área de interesse, bem como se a mesma disponibiliza espaços vazios no seu entorno. Temas cartografados que apresentam geometria mais verticalizada favorecem o posicionamento do título, da legenda e dos demais elementos ao lado do mapa, enquanto que temas mais horizontalizados sugerem a disposição destes nas partes superior e inferior do mapa.



Distribuição dos elementos gráficos no mapa em função da Geometria: verticalizada (esquerda) e horizontalizada (direita)

Cabe lembrar que a leitura e percepção dos elementos no mapa, em geral, se inicia do canto superior esquerdo para o canto inferior direito e, o ponto focal do mapa localiza-se um pouco acima do centro geométrico do mesmo.

Formato final de impressão ou disponibilização do mapa

Mapas para impressão:

É recomendável que o *layout* do mapa na janela do SIG esteja configurado com o mesmo tamanho no qual o mapa será disponibilizado - A4, A3, A2, A1, A0 ou outro. O ajuste da janela do *software* em conformidade com o layout de impressão evita a redução/ampliação e, conseqüente, a alteração das fontes, figuras, escala, etc.

Desta forma, mapas produzidos para impressão em A3, por exemplo, devem ser elaborados com a janela de trabalho do *software* configurada para o formato A3. O mesmo deve ser observado na produção de mapas para artigos, relatórios técnicos, mapas murais, etc. Alterações no tamanho do mapa alteram o tamanho dos elementos cartografados, figuras, a espessura das linhas e o tamanho dos textos empregados, podendo esta alteração reduzir a capacidade de percepção dos temas pelo usuário.

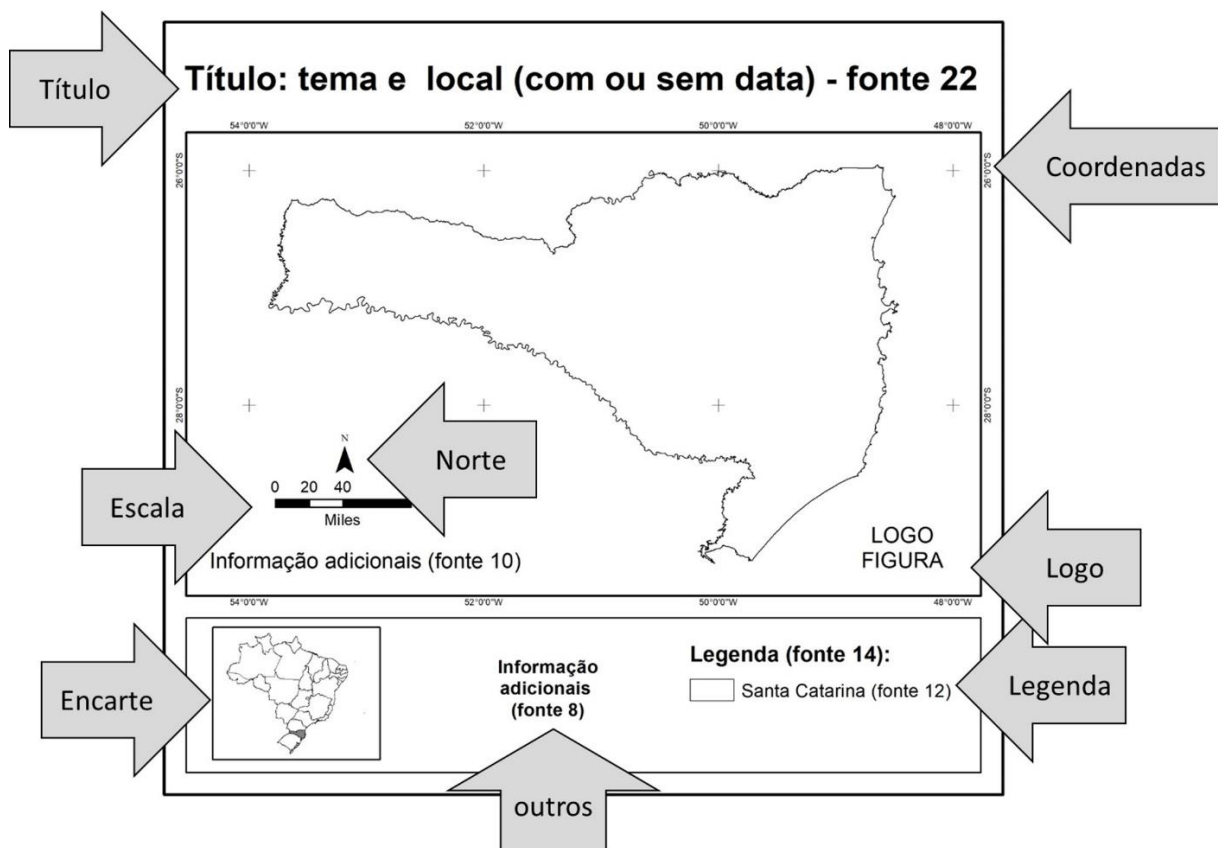
Mapas para uso em meio digital:

Estes mapas devem levar em consideração a possibilidade de ampliação e redução por ferramentas de *zoom in* e *zoom out*. No caso de serviços de mapas pela WEB, deve-se observar também a possibilidade de ativação de múltiplas camadas de dados pelos usuários, o que pode levar à saturação do mapa e à perda na capacidade de comunicação.

Neste sentido, é fundamental o planejamento dos níveis de *zoom* e da possibilidade de combinação e sobreposição de camadas. Mapas impressos e mapas para uso em meio digital apresentam padrões distintos de percepção dos elementos cartografados, bem como, diferentes níveis de perceptibilidade das variáveis visuais, de contraste e, distintas possibilidades de dimensionalidade dos elementos cartografados. Portanto, devem ser pensados de forma diferenciada, observando-se sempre a forma de disponibilização pretendida e o perfil do usuário.

Proporcionalidade entre o tamanho dos elementos que compõem o mapa e o grau de relevância dos mesmos

O título do tema central cartografado é a informação mais relevante da representação e deve ocupar o maior espaço no *layout* final. Espaços destinados a legenda, encarte, logomarcas, escalas, fontes e demais elementos gráficos não devem ocupar área maior que aquela destinada à representação do tema central, devendo seguir uma hierarquia de relevância para definição do tamanho e disposição dos mesmos no mapa. Cabe destacar que de acordo com a teoria da Gestalt, a percepção do tema cartografado será feita, em um primeiro momento, pelo conjunto dos elementos apresentados, portanto imagens que possam desviar a atenção do usuário devem ser evitadas.



Dimensão dos elementos e textos de acordo com a relevância

Os diferentes elementos físicos e textuais que compõem o mapa devem ter sua dimensão definida em consonância com o seu grau de importância. Apesar de formalmente uma série de elementos serem considerados essenciais em um mapa, como a exemplo o norte e a escala, diferentes cartogramas atendem plenamente sua finalidade mesmo sem a presença dos mesmos. Contudo, a supressão destes elementos restringe seu uso, pois não possibilitam a contextualização correta da informação (data, local, escala, autor, etc.).

As coordenadas, em geral adicionadas nas laterais do mapa e, a indicação do norte e da escala devem permitir ao usuário localizar e dimensionar no espaço o fenômeno representado. Estes elementos são acessórios à informação central, que é o tema cartografado e, não devem ocupar locais de destaque, ter grandes dimensões ou utilizar tamanho de fonte maior que as das demais informações.

Quanto a inserção da escala deve-se observar que, enquanto a presença da escala gráfica garante ao usuário a possibilidade de mensurar as feições presentes no mapa ainda que suas dimensões sejam alteradas, a escala numérica indica a qualidade ou grau de refinamento com o qual os dados foram produzidos. Como durante a publicação do mapa em revistas, livros e artigos, em geral o mapa é reduzido, esta informação (escala numérica) permite ao usuário entender como e porque dados de dimensões tão reduzidas foram obtidos e representados e, a qualidade relativa ao posicionamento dos mesmos. Os dois tipos de escala devem estar presentes no mapa.

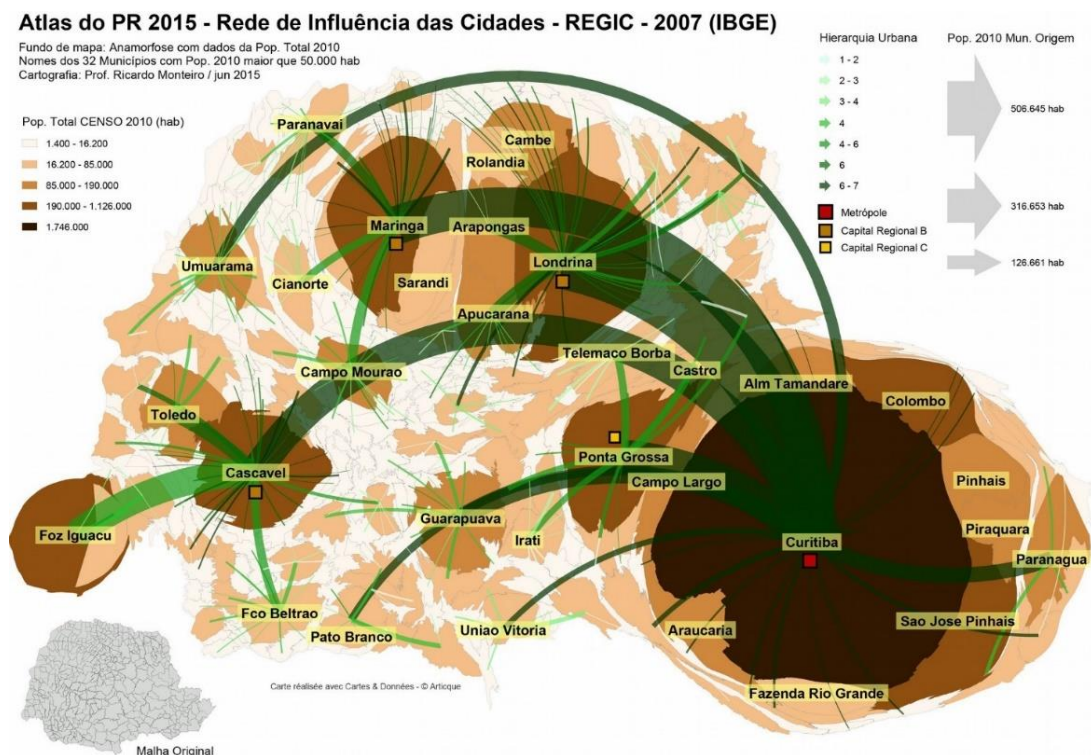
Cabe lembrar que mapas que utilizam o sistema de projeção UTM empregam a grade UTM como referência de norte e, portanto, tem como norte da folha/mapa o NQ (norte da quadrícula), conforme já abordado no capítulo 1 deste livro. Neste caso, uma atenção especial deve ser dada para inserção do norte, uma vez que a maioria dos softwares de SIG não dispõem do NQ, mas apenas do NG, ou simplesmente N, o qual indica a direção do norte geográfico.

Da mesma forma o encarte, logomarcas e demais informações acessórias devem ser figuras discretas e nunca mais chamativas que o tema central cartografado. Outra questão importante se refere ao aproveitamento de espaços no mapa, uma vez que a geometria do tema central cartografado pode promover a existência de vazios que podem ser preenchidos com as informações acessórias e outros elementos.

Limite de percepção do usuário, excesso de dados e síntese

A sobreposição de camadas de dados e temas, tanto em mapas impressos quanto em mapas para uso em meio digital, pode gerar uma sobrecarga à representação cartográfica e reduzir a capacidade de compreensão, memorização e análise por parte do usuário. Por vezes, dois mapas pequenos, dispostos lado a lado (**coleção de mapas**) com temas em separado ou, dois mapas disponibilizados via WEB com grupos de temas habilitados em separado, podem resultar em uma maior capacidade de transcrição da informação e interação com o usuário do que um único mapa com todos os temas ou camadas sobrepostas (**superposição de mapas**).

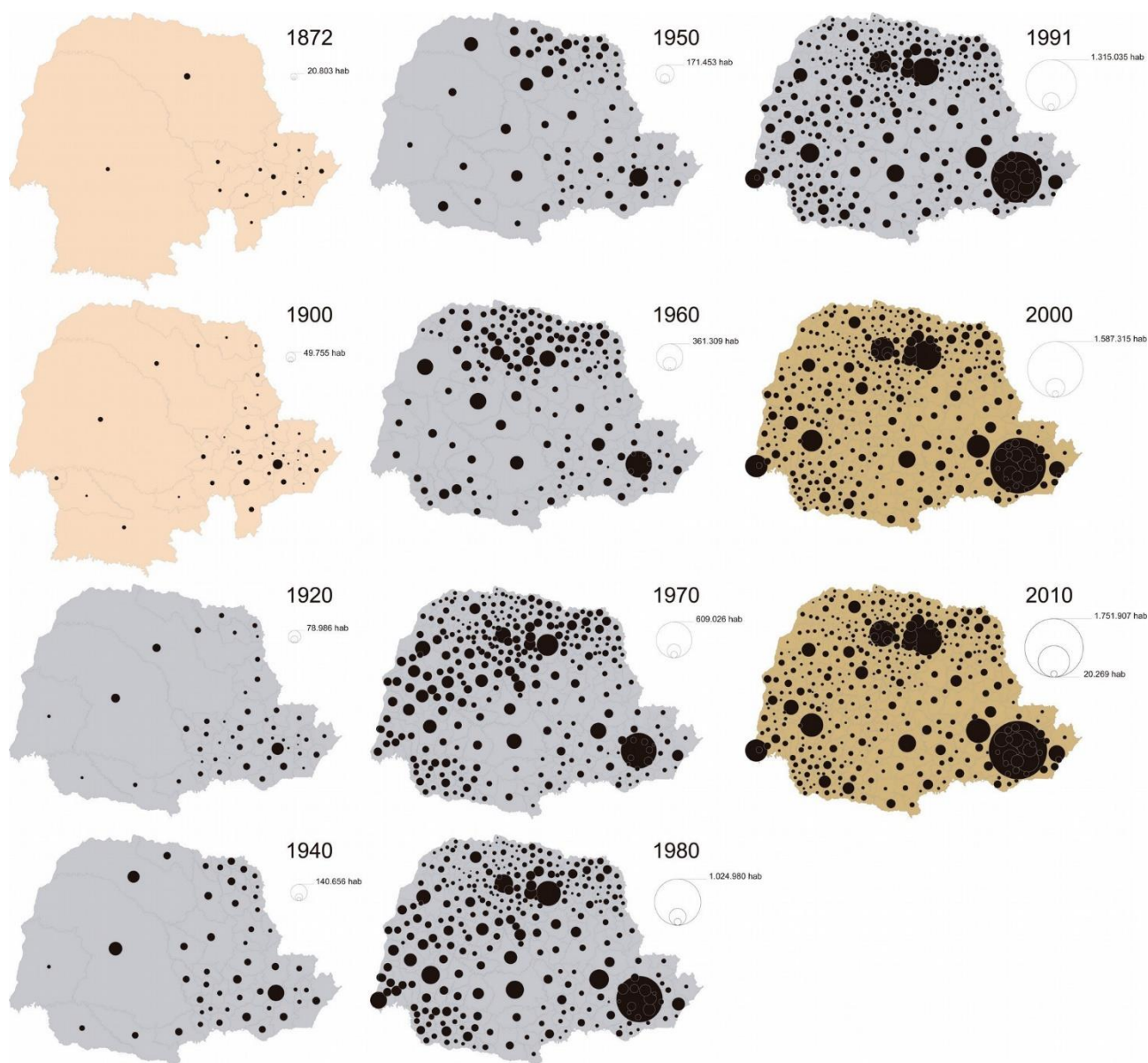
Por sua complexidade, a **superposição ou sobreposição de mapas** reduz o uso deste tipo de material gráfico a um número limitado de pessoas que possuem formação adequada para o uso e compreensão dos mesmos. O uso deste tipo de representação para um público mais abrangente demanda que o material final seja previamente avaliado quanto a capacidade de comunicação e interação com usuário final.



Por sua complexidade, a **superposição de mapas** (neste caso associada ao uso da anamorfose), dificulta a obtenção e memorização da informação. Disponível em:

<https://journals.openedition.org/confins/10966?lang=pt>

População nos municípios do PR - 1872 – 2010



Mesmo apresentando dois temas (alteração no limite estadual e população), o que aumenta a complexidade da informação apresentada, a **coleção de mapas** acima é um excelente exemplo da eficiência deste tipo de material gráfico no processo de comunicação, pois possibilita de forma rápida a aquisição e memorização da informação veiculada. Disponível em:

<https://journals.openedition.org/confins/10966?lang=pt>

Por sua simplicidade, a coleção de mapas permite que um número maior de usuários tenha acesso a informação e, em geral, apresenta melhores resultados quanto a

compreensão e memorização do fenômeno representado e dos padrões espaciais observados.

Como descrito anteriormente, o produtor do mapa tem que ter em mente o perfil do usuário e o objetivo da representação cartográfica. Neste sentido, deve avaliar se os temas em separado, ou sobrepostos, possibilitam uma melhor percepção e espacialização do fenômeno cartografado.

Por fim, dependendo da quantidade de temas que devem ser sobrepostos para gerar a informação desejada, o produtor pode optar por elaborar um mapa de síntese, no qual nenhuma das camadas é apresentada mas sim a combinação de múltiplos temas, via álgebra de mapas ou análise multicritério, conforme apresentado por Sampaio (2012). Esta combinação dá origem a um único mapa de síntese a ser disponibilizado para o usuário final.

Recomenda-se que a produção do mapa considere o número mínimo de camadas necessário para a transmissão e compreensão da informação, evitando-se construções complexas e de difícil percepção.

Exemplo: uma coleção de mapas apresentando a disponibilidade de rede de esgoto, coleta de lixo, número de moradores, pavimentação, eletrificação, etc. pode não transmitir para o usuário final a ideia de como se encontra a condição de habitação de um município. Neste caso, o cruzamento dos temas pelo elaborador do mapa pode resultar em um mapa de síntese que possibilite ao usuário perceber a informação que se deseja transmitir, ou seja, a qualidade das habitações (SAMPAIO, 2012).

Imagens parasitas

A presença, no mapa, de qualquer elemento que não possa ser identificado pelo leitor ou que não esteja presente na legenda, é considerada desnecessária e polui a representação cartográfica desviando o foco do usuário, gerando ruído na comunicação e reduzindo a capacidade de percepção do tema central.

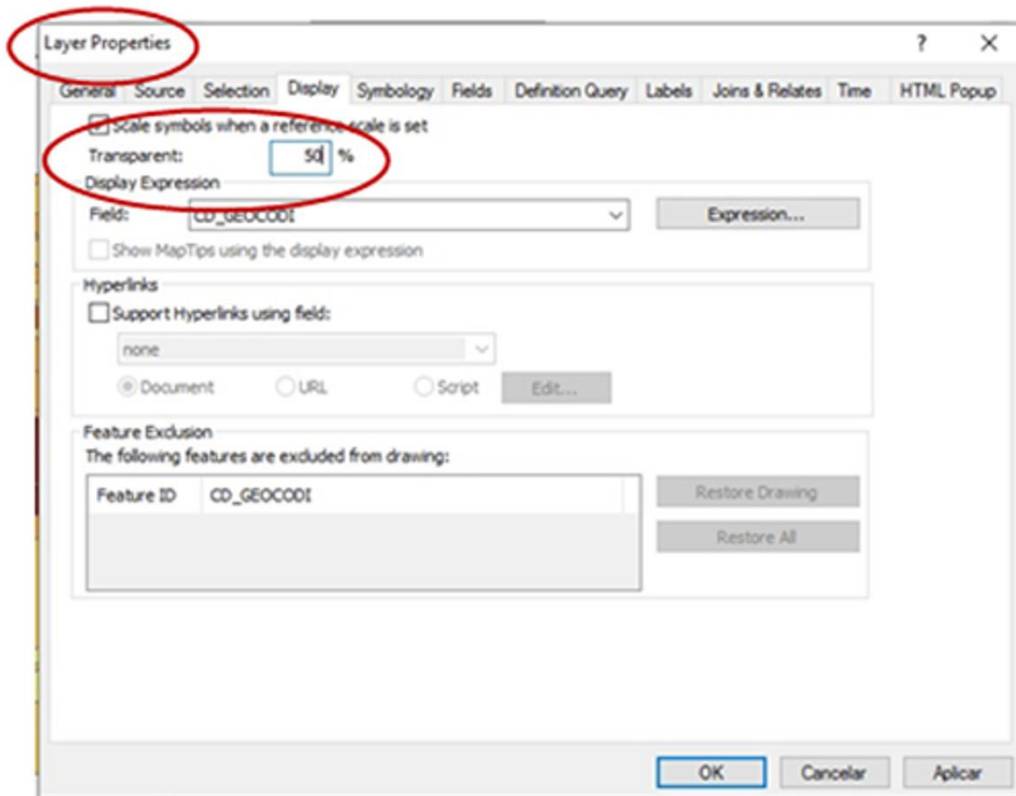
Linhagem

Uma das formas de diferenciar um mapa de uma figura é a observação dos elementos básicos que todo mapa deve conter, como projeção, fonte, autor, escala, etc., os quais possibilitam estabelecer a linhagem dos dados (inclusive quando para uso via WEB) e, ainda, a recuperação da informação cartográfica, ou seja, sua correta localização e dimensionamento.

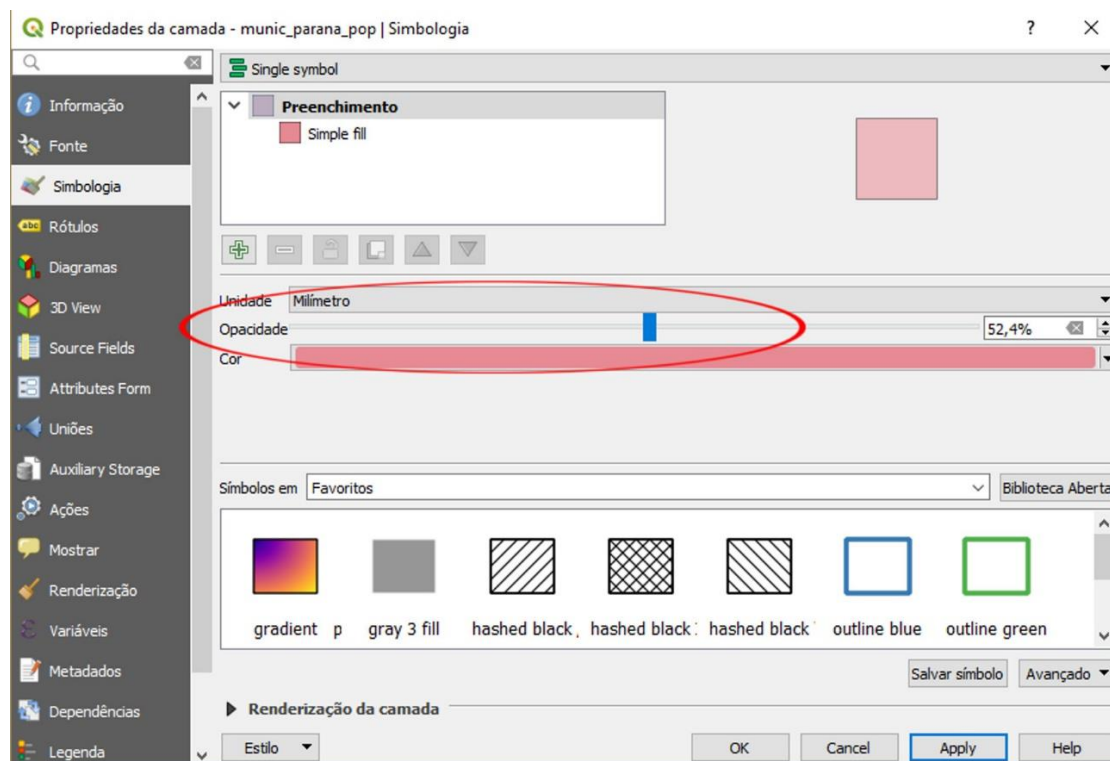
Como muitas vezes os mapas finais integram relatórios ou documentos técnicos impressos em A4 ou A3, a escala numérica deve fazer par com a escala gráfica. Enquanto a escala gráfica informa a escala de impressão da representação temática, a escala numérica informa ao usuário a acurácia posicional dos dados e, conseqüentemente, a qualidade com a qual o estudo/levantamento foi feito.

Nível de contraste e relevância dos temas

Na elaboração dos mapas os temas ou camadas de dados mais relevantes podem apresentar níveis de visualização diferenciados, o que pode ser obtido a partir do controle da transparência das camadas de dados, facilitando a percepção pelo usuário do tema central. Nestes casos, o uso de diferentes níveis de transparência direciona o olhar e a percepção dos usuários do mapa, facilitando a compreensão do fenômeno cartografado.

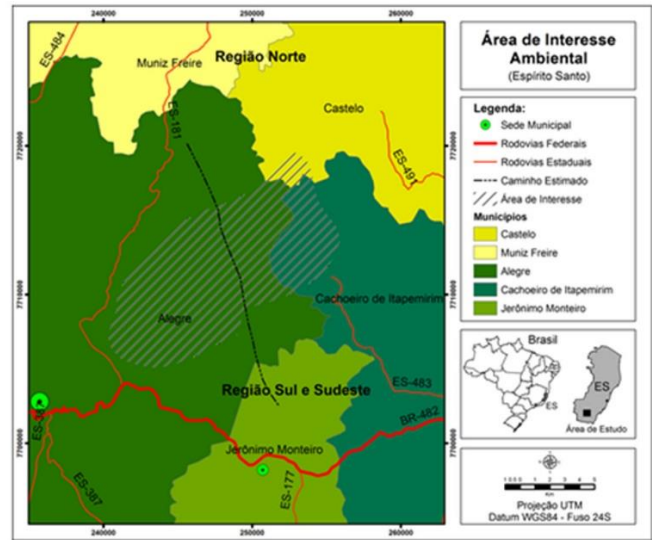


Funções de ajuste do nível de transparência das camadas de dados: Interface do ArcGIS®

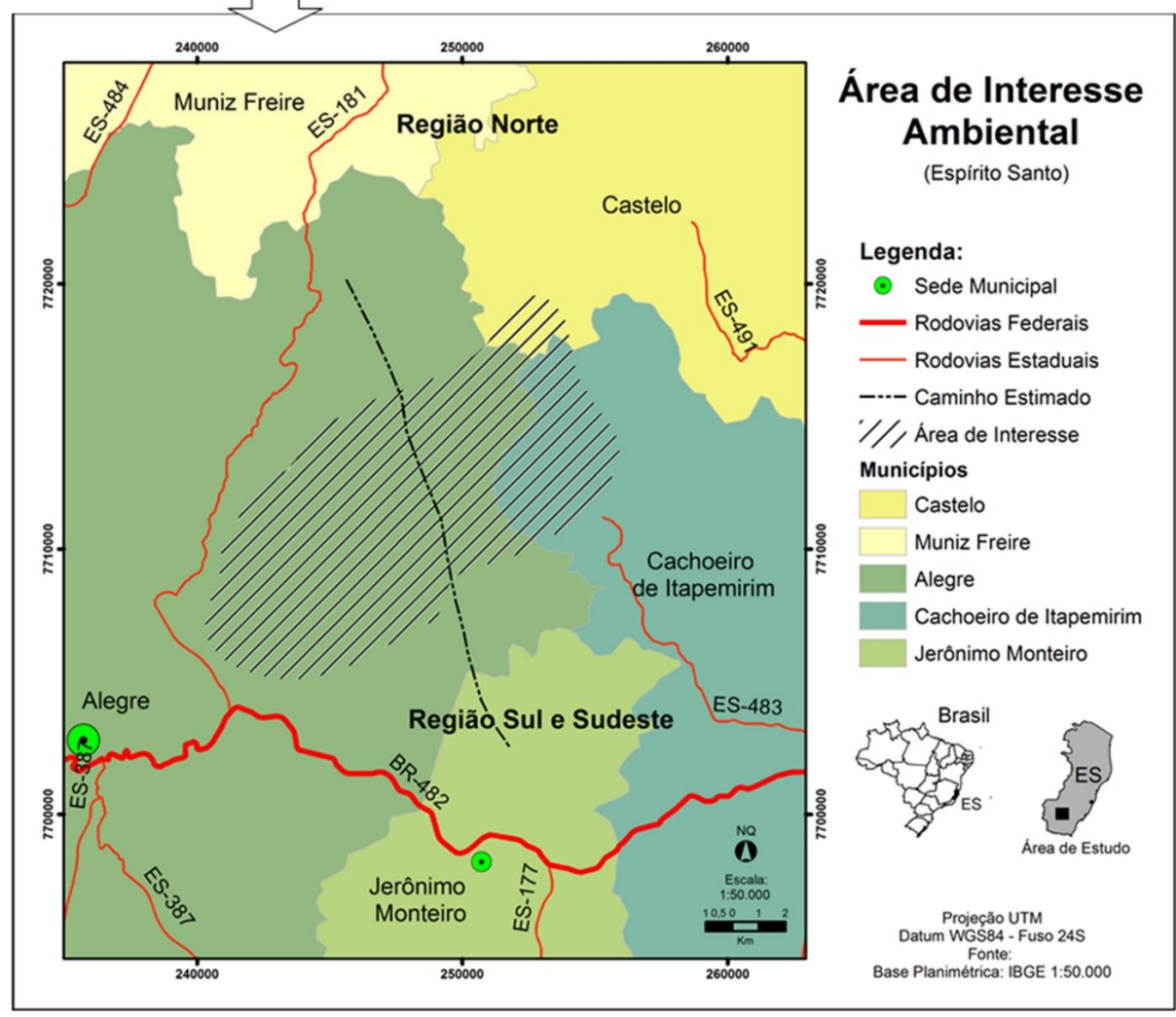


Funções de ajuste do nível de transparência das camadas de dados: Interface do QGIS®

Versão 1 →



↓
Versão Final



Proposta inicial e final do mapa temático, observando-se os princípios da Semiologia Gráfica, do layout, a geometria da área cartografada e, a disposição e o dimensionamentos dos demais elementos

Referências Bibliográficas

ABLE SOFTWARE CORPORATION. Leading Software Developer for 3D Imaging, Modeling, and Raster to Vector Conversion. Disponível em: <<http://www.ablesw.com/>> Acesso em: 17 maio 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10068:1987 – Folha de Desenho – Leiaute e dimensões – Padronização. Comitê: ABNT/CB-004 Máquinas e Equipamentos Mecânicos. Publicação: 30/10/1987.

ASPRS. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 81, n. 3, p.1-26, 2015. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0099-1112&volume=81&issue=3&spage=1>>.

BERTIN, J. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes.* Paris: Mouton/Gauthier-Villars, 1967.

BORGES, K. A. V., DAVIS JR., C. A., LAENDER, A. H. F. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. *Geoinformatica*, v. 5, n. 3, p. 221-260, 2001.

BRASIL. Presidência da República – Casa Civil – Sub-Chefia para Assuntos Jurídicos. Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira.

BRASIL. Presidência da República – Casa Civil – Sub-Chefia para Assuntos Jurídicos. Decreto nº 89817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

BRASIL. Presidência da República – Casa Civil – Sub-Chefia para Assuntos Jurídicos. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no Âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais INDE.

CAIVANO, J. L. Visual texture as a semiotic system. *Semiotica*, v. 80, n. 3-4, p. 239-252, 1990. ASPRS. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 3, p. 1-26, 2015. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0099-1112&volume=81&issue=3&spage=1>> . .

BERTIN, J. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes.* Paris: Mouton/Gauthier-Villars, 1967.

BRANDALIZE, M. C. B.; ANTUNES, A. F. B. Contributions of remote sensing to the cartographic development of the Brazilian Territory: An introductory overview. **Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection**, , n. 198-199, p. 2-7, 2012.

BRANDALIZE, M. C. B.; DELAZARI, L. S. Análise de redes sociais a partir do uso da informação espacial. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, n. 2, p. 185-202, 2012.

BRASIL. DECRETO 89817. Brasília - DF, 1984.

BRASIL. **Decreto 6.666 de 27 de novembro de 2008. Institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.** Brasília - DF, 2008.

BRAVO, J. V. M.; CAMBOIM, S. P.; DE MENDONÇA, A. L. A.; SLUTER, C. R. A compatibilidade dos metadados disponíveis em sistemas VGI com o perfil de metadados empregado na infraestrutura nacional de dados espaciais do Brasil (INDE-BR). **Boletim de Ciências Geodesicas**, v. 21, n. 3, p. 465–483, 2015.

CAIVANO, J. L. Visual texture as a semiotic system. **Semiotica**, v. 80, n. 3–4, p. 239–252, 1990.

CAIVANO, J. L. Cesia: A system of visual signs complementing color. **Color Research & Application**, v. 16, n. 4, p. 258–268, 1991. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/col.5080160408>>. .

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. DE. Introdução à ciência da geoinformação. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, p. 345, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/%5Cnwww.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. .

CAMBOIM, S.; BRAVO, J.; SLUTER, C. An Investigation into the Completeness of, and the Updates to, OpenStreetMap Data in a Heterogeneous Area in Brazil. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, n. 3, p. 1366–1388, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2220-9964/4/3/1366/>>. .

CARVALHO, A.; MAIO, D.; AUGUSTO, L.; et al. OLIMPÍADA DE CARTOGRAFIA DE NACIONAL PARA O ENSINO MÉDIO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, p. 1441–1456, 2016.

CUBAS, M. G.; SAMPAIO, T. V. M. THE COLOR ANALYSIS (VISUAL VARIABLE) IN DIGITAL MAPS: A RESEARCH BASED ON TESTS WITH EIGHTH GRADE ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS IN CURITIBA – PARANÁ. 27th International Cartographic Conference 16th General Assembly. **Anais...** . p.23–28, 2015. Rio de Janeiro: ISBN 978-85-88783-11-9.

CUBAS, M. G. **ANALISE DA VARIÁVEL VISUAL COR EM MAPAS DIGITAIS: UM ESTUDO BASEADO EM TESTES COM ALUNOS DO OITAVO ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL**, 2015. UFPR.

CUBAS, M. G.; SAMPAIO, T. V. M. PERCEPÇÃO DA VARIÁVEL VISUAL COR EM MAPAS DIGITAIS EM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS : O CASO DO ENSINO FUNDAMENTAL EM CURITIBA - PR. , 2000.

D’ALGE, J. C. L. **GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: APLICAÇÃO AOS MAPAS DE VEGETAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**, 2007. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DENT, B. Cartography: thematic map design. **Cartographic Perspectives**, 2009.

DIBIASE, D.; REEVES, C.; MACEACHREN, A. M.; et al. Chapter 15 - Multivariate Display of Geographic Data: Applications in Earth System Science. **Visualization in Modern Cartography**, v. 2, p. 287–312, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080424156500223>>. .

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. **NORMA PARA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA PRODUTOS DE CONJUNTO DE DADOS GEOESPACIAIS (ET-PCDG)**. 1º ed. Rio de Janeiro, 2014.

DSG - DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **NORMA DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS (ET-CQDG)**. 2016.

DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET-ADGV). **Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. Brasília-DF, 2ª edição**, v. 2, 2016.

FGDC. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy.

World, p. 28, 1998. Disponível em: <<http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>>. .

HELLDEN, U.; STERN, M. Evaluation of Landsat imagery and digital data for monitoring desertification indicators in Tunesia. 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment. **Anais...** . v. 3, p.1601–1610, 1980. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0019262526&partnerID=40&md5=96bbbef71add9300c83e501b86733d71>>. .

HUNG, M. N. W. B.; SAMPAIO, T. V. M.; SCHULTZ, G. B.; et al. LEVANTAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO EM BACIA EXPERIMENTAL COM VEGETAÇÃO FLORESTAL ESPARSA. **RA'E GA - O Espaço Geografico em Analse**, v. 43, p. 215–231, 2018.

IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativo Estático - GPS**. 2008.

IBGE. **Indicadores Sociais Municipais - Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010**. 2011.

IBGE. **Avaliação da qualidade de dados geoespaciais - Manuais técnicos em geociências**. 1º ed. Rio de Janeiro, 2017.

IESCHECK, A. L.; PAOLAZZI, C.; SLUTER, C. R.; CAMBOIM, S. P. ESTRUTURAÇÃO E PUBLICAÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS EM CONSONÂNCIA COM A INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS (INDE) E COM OS PADRÕES DE INTEROPERABILIDADE DO GOVERNO ELETRÔNICO (E-PING). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, p. 1425–1439, 2016.

ISSMAEL, L. S. **Generalização Cartográfica: Determinação de Operadores e de Escalas Catastróficas**, 2003. Instituto Militar de Engenharia.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. M. **Digital terrain modelling. Principles and methodology**. 2005.

LOPES, J. **GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA**, 2005. Universidade de Lisboa.

MACEACHREN, A. How Maps Work. **Cartographica**, v. 29, p. 66–74, 1995.

MACEACHREN, A. M. Visualizing uncertain information. **Cartographic Perspective**, v. 13, n. 13, p. 10–19, 1992. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.62.285&rep=rep1&type=pdf>>. .

MACHADO, A. A.; CAMBOIM, S. P. DIAGNÓSTICO DA PERSPECTIVA DO USUÁRIO NA CRIAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS DE DADOS ESPACIAIS SUBNACIONAIS : ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA Diagnostic from the User Perspective for the Creation of Spatial Data Infrastructures on Regional . , p. 1633–1651, 2016.

MARIA DA SILVA, L.; FERREIRA, L. M.; CAMBOIM, S. P.; FREITAS, S. R. C. DE. Análise de dados geodésicos a partir do desenvolvimento de uma aplicação standalone. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, p. 308–325, 2017.

MARTINELLI, M. **Curso de Cartografia Temática**. São Paulo, 1991.

MARTINELLI, M. **Cartografia Temática: Caderno de Mapas Vol. 47**. EDUSP, 2003.

MATOS, J. L. DE. **Fundamentos de informação geográfica**. 5º ed. Lisboa: Lidel, 2008.

MAUNE, D. F.; FOR PHOTOGRAMMETRY, A. S.; SENSING, R. **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual**. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2007.

- MCCLEARY, G. F. An Effective Graphic "Vocabulary". **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 3, n. 2, p. 46–53, 1983.
- MONTEIRO, R. R. A cartografia do fenômeno urbano e econômico no Paraná: uma leitura com auxílio da semiótica. **Confins (on line)**, v. 27, 2016.
- MORRISON, J. L. Applied Cartographic Communication: Map Symbolization For Atlases. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 21, n. 1, p. 44–84, 1984. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3138/X43X-4479-4G34-J674>>. .
- NEUMAN, G.; SILVEIRA, C. T. DA; SAMPAIO, T. V. M. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ESCALA NA OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS DE MDE. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, p. 179–199, 2018.
- PAZ, O. L. D. S. DA. **RELAÇÃO DO LITOTIPO E DO RELEVO COM A DIMENSÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM DE PRIMEIRA ORDEM E COM A OCORRÊNCIA DE NASCENTES: UMA AVALIAÇÃO ENQUANTO PARAMETRO AUXILIAR PARA O MAPEAMENTO DA REDE DE DRENAGEM**, 2015. Universidade Federal do Paraná - UFPR.
- PEREIRA, L.; LOMBARDE NETO, F. Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. (**Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43**), v. 43, p. 36, 2004. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?f=2012/BR/BR2012103600036.xml;BR2004114508>>. .
- ROBINSON, A. C.; DEMŠAR, U.; MOORE, A. B.; et al. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. **International Journal of Cartography**, p. 1–29, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23729333.2016.1278151>>. .
- ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A. J.; GUPTILL, S. C. Elements of Cartography. **Soil Science**, 1995. Disponível em: <http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1960/08000/Elements_of_Cartography__Second_Edition.22.aspx>. .
- RUAS, A. Map Generalization. In: S. Shekhar; H. Xiong (Orgs.); **Encyclopedia of GIS**. p.631–632, 2008. Boston, MA: Springer US. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_743>. .
- SAMPAIO, T. V. M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente - ES**, 2008.
- SAMPAIO, T. V. M. ALGEBRA DE MAPAS E CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE FEIÇÕES PONTUAIS E ZONAS COM ATRIBUTOS QUALITATIVOS – UMA ANÁLISE A PARTIR DA CORRELAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NASCENTES E LITOTIPOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BENEVENTE – ES . Anais do VII Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. **Anais...** . p.1–11, 2010. Maringá - PR.
- SAMPAIO, T. V. M. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 121–131, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/9701>>. Acesso em: 10/1/2015.
- SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade. Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia. **Anais...** . p.CD-ROM, 2008. Belo Horizonte.
- SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Revista Brasileira de Geomorfologia **ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE : UMA NOVA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O**

MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO SUBSÍDIO A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, p. 47–60, 2014a.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Variáveis Auxiliares para o mapeamento da rede de drenagem: correlação espacial entre nascentes, unidades de relevo e litotipos na bacia hidrográfica do rio Benevente - ES. *GEOUSP: espaço e tempo*, v. 18, p. 624–634, 2014b.

SANTOS, S. D. R.; DELAZARI, L. S.; BRANDALIZE, M. C. Projeto cartográfico para representação tridimensional de redes de energia. *Boletim de Ciências Geodesicas*, v. 19, n. 2, p. 247–267, 2013.

SLOCUM, T. A. *Thematic cartography and visualization*. 1999.

SLOCUM, T. A.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. *Thematic Cartography and Geovisualization*. 2008.

SOPCHAKI, C. H. *Influência do N amostral e das características do relevo na qualidade de modelos digitais do terreno*, 2016. UFPR. Disponível em:

<[http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45147/R - T - CARLOS HENRIQUE SOPCHAKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45147/R-T-CARLOS%20HENRIQUE%20SOPCHAKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. .

SOPCHAKI, C. H.; LANGARO, J. S.; SOUSA, M. S. DE; SAMPAIO, T. V. M. AVERIGUAÇÃO DA NBR 13133 JUNTO AOS PADRÕES DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA PARA FINS DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS ALTIMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO EM ÁREA NO MUNICÍPIO DE NOVA PRATA DO IGUAÇU-PR. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, p. 471–480, 2016.

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. DE S. DA; GRAÇA, N. L. S. DE S.; SAMPAIO, T. V. M. VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE ORTOMOSAICOS PRODUZIDOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA SEM O USO DE PONTOS DE APOIO. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 43, p. 200–214, 2017.

SOPCHAKI, C. H.; SAMPAIO, T. V. M. Airborne Laser Scanner : principles of operation , recent uses in Brazil and regulatory issue from laws and parameters in Brazil and in the USA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 6, n. 7, p. 338–353, 2016.

SOUSA, M. S. DE; SAMPAIO, T. V. M. Avaliação da acurácia de bases cartográficas: um estudo de caso da rede de drenagem do estado do Paraná na escala 1:50.000 para a carta MI 2818-4. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. *Anais...* . p.ID 1417, 2015. João Pessoa - PB.

STURGES, H. The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*, v. 21, n. 153, p. 65–66, 1926.



Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-88783-14-0



9 788588 783140