

Algumas Considerações sobre as Projeções Cartográficas utilizadas no Brasil para Mapeamentos em grandes Escalas

Ronaldo dos Santos da Rocha

Engº Cartógrafo – M. Ciências Geodésicas
 Prof. Assistente – Instituto de Geociências – U.F.R.G.S.
 Doutorando – Engenharia de Produção – U.F.S.C.

✉ rsrocha@if.ufrgs.br

✉ rsrocha@eps.ufsc.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Definição 3. Classificação <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Quanto ao método de construção 3.2 Quanto a superfície de projeção adotada 3.3 Segundo as propriedades que elas conservam em: 4. Projeções utilizadas no Brasil <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Projeções em escalas médias 4.2 Projeções para mapeamentos em escalas grandes <ol style="list-style-type: none"> 4.2.1 Projeção Gauss -Krüger - Porto Alegre 4.2.2 Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) 4.2.3 Projeção LTM (Local Transversa de Mercator) 4.3 Outras projeções propostas para utilização em grandes escalas <ol style="list-style-type: none"> 4.3.1 Projeção RTM (Regional Transversa de Mercator) 4.3.2 Projeção RTM/RS (Aplicação no Rio Grande do Sul) 4.3.3 Projeção RTM/PR (Aplicação no Paraná) 4.3.4 Projeção LTM/RJ 4.3.5 Projeção PBG (Projeção Brasileira de Gauss) 5. Distorções Lineares 6. Considerações finais 7. Bibliografia
-----------------	--

RESUMO: Desde a antiguidade, um dos maiores desafios cartográficos foi a representação plana da superfície elipsoidal do modelo da Terra. Estes mapas teriam que possuir as características de continuidade e baixa distorção.

A continuidade é necessária para uma representação sistemática de grandes regiões contínuas, evitando ilhas cartográficas.

A baixa distorção é necessária para não comprometer a qualidade geométrica das feições identificadas e medidas no mapa.

Na busca da melhor projeção para mapeamentos em escalas grandes (1/10000 à 1/500), muitas proposições são apresentadas.

A solução de representação plana topográfica local, apesar de apresentar simplicidade para o usuário, não atende os preceitos de continuidade e, apresenta baixa distorção somente para regiões de dimensões reduzidas.

A projeção U.T.M. (Universal Transversa de Mercator), obrigatória para a cartografia sistemática brasileira, é usada indiscriminadamente nas escalas maiores que 1/10000, apresentando distorções indesejáveis para representações cadastrais.

A projeção Gauss-Krüger é utilizada na cidade de Porto Alegre e região metropolitana.

A projeção L.T.M. (Local Transversa de Mercator) é utilizada pelo instituto de cartografia Aeronáutica para representações em grandes escalas de regiões estratégicas.

A projeção R.T.M. (Regional Transversa de Mercator) apresenta sua utilização mais regional.

As projeções RTM-RS e RTM-PR apresentam adaptações para minimização das distorções, nas representações do Rio Grande do Sul e Paraná, respectivamente.

A projeção P.B.G. (Projeção Brasileira de Gauss) é apresentada por Phillips-1997 para utilização em todo território brasileiro.

Este trabalho apresenta as especificações das projeções UTM, Gauss-Krüger, LTM, RTM, RTM/RS, RTM/PR, suas propriedades, quadros comparativos das distorções verificadas e algumas considerações sobre suas utilizações, para mapeamentos em escalas maiores que 1/10.000.

1. Introdução

Quando se deseja representar a superfície da Terra diversas formas podem ser utilizadas:

- Mapas
- cartas
- Plantas
- Modelos reduzidos
- Modelos numéricos
- globos, e outros.

Os globos apresentam uma grande vantagem na representação, pois mostram ao usuário uma boa visão ilustrativa do real, porém de pouca utilização prática, já que para uma escala de 1/1.000.000 teria-se um globo com raio de 6,5 metros.

A forma plana é a mais utilizada para representação das informações espaciais da superfície terrestre, pois os mapas e cartas apresentam uma praticidade satisfatória para os usuários que necessitam manipular as informações cartográficas.

Como a superfície terrestre não é plana, a cartografia se vê obrigada a usar de artifícios para representar estas informações no plano.

As projeções cartográficas são ferramentas utilizadas na cartografia para representar a superfície curva sobre o plano, com um mínimo de distorção.

2. Definição

Pode-se definir as projeções cartográficas como funções matemáticas que relacionam pontos de uma superfície, dita de referência (esfera ou elipsóide), a uma superfície dita de projeção (plana).

Há sistemas que se adequam, melhor do que outras, a determinadas finalidades ou que oferecem a vantagem, de uma construção simples e rápida. Nenhum, porém, pode receber as honras de sistema ideal capaz de proporcionar solução geral ao problema cartográfico.

Desta solução parcial, surgem inúmeras projeções cartográficas, cada qual preservando uma finalidade específica em função dos trabalhos a serem executados.

As características básicas que norteiam a escolha das projeções cartográficas são a localização da superfície a ser representada, as distâncias extraídas diretamente do mapa, as direções e as áreas.

A decisão de se adotar uma determinada projeção cartográfica deverá levar em consideração ainda:

a localização da região (Polos, equador, etc.)

a forma da região (Chile, Panamá)

as dimensões da região (Portugal, Suíça, Canadá, Brasil).

A finalidade do trabalho (Propriedade e grau de precisão).

Ex. Projeção plana azimutal . Regiões polares.

Projeção cônica normal. Regiões sub-tropical e de desenvolvimento em longitude.

Projeções cilíndricas transversas. Regiões de variação em latitude.

Segundo Blachut - 1981 Um sistema de projeção para aplicações em áreas urbanas deverá possuir as seguintes características gerais:

-as correspondências biunívocas entre as superfícies (elipsóide e plano) conforme, deverá ser expressa em termos de fórmulas matemáticas que permitam cálculos numéricos com uma precisão pré-determinada.

-As distorções de ângulos e distâncias deverão ser minimizadas e de fácil cálculo.

-Deve ser usado como superfície de referência um elipsóide e não uma esfera.

3. Classificação

Inúmeras são as projeções cartográficas utilizadas ao longo da história da cartografia, todas com uma característica própria orientada para atender a uma finalidade específica.

Desta gama de projeções, pode-se adotar algumas classificações, a saber;

3.1 Quanto ao método de construção

a - Projeção Geométrica;

Se baseia em princípios geométricos projetivos. Dependendo da localização do ponto de vista, as projeções geométricas podem ser subdivididas em: Gnomônica: Ponto de vista no centro da Terra. Estereográfica: Ponto de vista na superfície da Terra e Ortográfica: Ponto de vista no infinito.

b - Projeções analíticas:

São aquelas que perderam o sentido geométrico propriamente dito, em consequência da introdução de leis matemáticas. Visando conseguir determinada propriedade.

Atualmente, quase todas as projeções cartográficas são analíticas.

3.2 Quanto a superfície de projeção adotada

a - Projeções Planas. São as que utilizam um plano diretamente como superfície de Projeção. Estas projeções podem ser Polares, equatoriais e oblíquas, dependendo da localização do ponto de tangência.

b - Projeções Cônicas:

São projeções que utilizam o cone como superfície auxiliar.

Dependendo da posição do cone as projeções podem se subdividir em: Normal, Transversa e Oblíqua.

c- Projeções cilíndricas.

São projeções que utilizam o cilindro como superfície auxiliar:

Dependendo da posição do cilindro, as projeções podem se subdividir em Equatorial, transversa e oblíqua.

3.3 Segundo as propriedades que elas conservam em:

Outra classificação muito importante é quanto às propriedades que elas preservam, sendo: Equidistantes, equivalentes, conformes e afiláticas.

Equidistantes são as que não apresentam deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme.

Equivalentes: são as que não deformam as áreas, isto é, as áreas na carta guardam uma relação constante com suas correspondentes na superfície da terra.

As vezes a igualdade de áreas é obtida com uma excessiva deformação de figura.

Conforme ou ortomórficas: São as que não deformam os ângulos e, decorrente dessa propriedade, não deformam também a forma das áreas.

Não existe projeção que seja ao mesmo tempo equivalente e conforme.

Afilática; são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados. Entretanto, podem possuir uma ou outra propriedade que justifique sua construção.

4. Projeções utilizadas no Brasil

4.1 Projeções em escalas médias

Segundo CARVALHO – 1984, as projeções utilizadas no Brasil para escalas médias são as seguintes:

1900 - Projeção poliédrica, no qual pequenos quadriláteros esféricos são projetados sobre um plano tangente, com contornos idênticos, para as folhas da carta topográfica em escalas 1/100.000.

1932 - Projeção conforme de Gauss - Krüger, com fusos de 3 graus de abrangência. escala 1/50.000.

1943 - Projeção conforme de Gauss com fusos de 6° e cilindro secante ao invés de tangente.

1955 - Projeção U.T.M., cilindro secante, amplitude de 6 graus. utilização nas cartas de 1/250.000 à 1/25.000

As normas cartográficas Brasileiras prescrevem a projeção UTM para ser utilizada no mapeamento sistemático, cobrindo as escalas de 1/250.000 à 1/25.000. Os mapeamentos executados nas escalas maiores que 1/25.000 não foram contemplados, deixando um hiato a ser preenchido pelos Estados e Municípios, nas suas cartas em escalas maiores.

4.2 Projeções para mapeamentos em escalas grandes

4.2.1 Projeção Gauss -Krüger - Porto Alegre

A projeção Gauss-Krüger foi implantada na região metropolitana de Porto Alegre, RS nos anos 70, para mapeamentos nas escalas de 1/15.000, 1/5.000 e 1/1.000.

Possui as seguintes características:

- 1) Transversa de Mercator com fusos de três graus de amplitude em longitude e cilindro tangente.
- 2) Projeção conforme (preserva os ângulos de pequenas regiões)
- 3) Origem das coordenadas Norte no equador;
- 4) Origem das coordenadas Leste no meridiano central de 51° Oeste de Greenwich
- 5) unidade de medida - metro;
- 6) norte (N) = 5.000.000,00 metros.

7) Leste falso (E) = 200.000 metros.

8) Fator de escala para o meridiano central (K_0) = 1,00000 (cilindro tangente no meridiano central).

4.2.2 Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator)

O sistema UTM adota a projeção conforme de Gauss e apresenta as seguintes especificações para o Brasil:

1- Transversa de Mercator com fusos de seis graus de amplitude em longitude e cilindro secante.

2- Elipsóide de referência UGGI. 1967;

3- Origem das coordenadas Norte no equador;

4- Origem das coordenadas Leste no meridiano central;

5- Unidade de medida - metro;

6- Norte (N) = 0 para o hemisfério Norte e Norte falso = 10.000.000,00 para o hemisfério sul.

7- Leste falso (E) = 500.000 metros.

8- Fator de escala para o meridiano central (K_0) = 0,9996

9- Numeração dos fusos de 1 a 60, começando no anti-meridiano de Greenwich crescendo no sentido Leste.

10- Latitudes Limites: 80 ° Norte e Sul.

A Projeção UTM é usada indistintamente em diversas escalas, desde as médias escalas (1/250000 – 1/25.000) até as escalas cadastrais (1/10.000 – 1/1.000). Esta utilização trás algumas consequências negativas para a cartografia, com valores de distorção linear acima do aceito.

4.2.3 Projeção LTM (Local Transversa de Mercator)

Esta projeção foi proposta por CARVALHO –1984 e adotada pelo Instituto de Cartografia Aeronáutica para mapeamento de aeroportos, na escala 1/2000.

Apresenta as seguintes características:

- a. Projeção de Gauss (TM)
- b. Fusos de 1 grau de amplitude.
- c. $K_0 = 0,999995$
- d. $N = N' + 5.000.000,00$
- e. $E = E' + 200.000,00$
- f. Distorção no meridiano central = 1/200.000
- g. Utilizado na cartografia aeronautica para cartas nas escalas 1/2000 .

4.3 Outras projeções propostas para utilização em grandes escalas

4.3.1 Projeção RTM (Regional Transversa de Mercator)

CARVALHO –1985, apresenta a projeção RTM numa variação da LTM para aplicações mais regionais, evitando fusos muito reduzidos e regiões de duplicidades de fusos.

Apresenta-se abaixo as especificações da projeção RTM.

- a. Projeção Cilíndrica, Transversa, secante, conforme.
- b. Fusos de 2 graus
- c. $K_0 = 0,999995$ Distorção linear no meridiano central = 1/200000
- d. $N = N' + 5000000,00$
- e. $E = E' + 400000,00$
- f. Distorção linear máxima: 1/200.000 no meridiano central e 1/9.000 no final do fuso.

4.3.2 Projeção RTM/RS (Aplicação no Rio Grande do Sul)

ROCHA – 1994 desenvolve um estudo sobre aplicações das projeções na cartografia em grandes escalas, apresentando a projeção RTMRS como solução de minimização das distorções lineares, a ser aplicadas nas escalas cadastrais no território Gaúcho.

Apresenta-se abaixo as especificações da projeção RTMRS.

- a. Projeção Cilíndrica, Transversa, secante.
 - b. Conformidade.
 - c. Fusos de 2 graus de amplitude.
 - d. $K_0 = 0,999945$
 - e. Distorção Linear máxima: 1/18000 no meridiano central
1/17000 no final do fuso.
- f) Divisão do Território do RS em 5 fusos de 2 graus de amplitude

4.3.3 Projeção RTM/PR (Aplicação no Paraná)

Segundo BUENO - 1995, o sistema RTM-PR foi definido para as características geográficas do Paraná, objetivando a minimização das deformações devido a projeção em carta nas escalas grandes.

Possui as seguintes características:

- Fusos com amplitude de 2° e 15'
- $K_0 = 0,999915$
- Divisão do estado do Paraná em 3 fusos.

4.3.4 Projeção LTM/RJ

PEDRO et al – 1995 apresenta a projeção LTM adaptada às aplicações cadastrais no Município do Rio de Janeiro, com as seguintes características:

- Sistema TM
- Fusos de 1 grau de amplitude
- Meridiano central 43 graus 30 minutos WGr.
- Fator de escala $K_0 = 0,99998$
- Distorção linear máxima: 1/50.000

4.3.5 Projeção PBG (Projeção Brasileira de Gauss)

Philips - 1997 desenvolveu uma projeção cartográfica, para aplicação cadastral no território nacional, apresentando as seguintes características:

- a. Projeção de Gauss (cilíndrica, transversal e conforme)
- b. Fusos: numeração de 2 em 2 graus sem sobreposição,
- c. $K_0 = 0,99994$
- d. Coordenadas: GX = 10000000,00 no equador
- e. Coordenadas GY= 500000,00 no meridiano central, acrescido pelo número do fuso em milhões (CIM).
- f. Distorção linear de 1/16667 à 1/20000. Para São Paulo.

5. Distorções Lineares

Analisando as especificações das projeções utilizadas ou propostas no Brasil, para mapeamentos em escalas maiores que 1/10.000, chega-se a alguns resultados:

a) Projeção Gauss-Krüger

Por ser uma projeção tangente, seu fator de escala $K_0 = 1,000$. Neste caso ela não apresenta distorção linear na região do meridiano central.

Para um fuso de 3 ° de amplitude, tem-se um valor de 1° e 30 ' de distância máxima ao meridiano central. Para este caso a distorção de escala apresenta o valor de 0,156 metros para cada 1000 metros medidos. O valor poderá ser melhor interpretado pela distorção relativa de 1/6410.

b) Projeção UTM

A projeção UTM apresenta uma secância em duas linhas complexas, variando sua posição em relação à distância do meridiano central e em relação à latitude.

Seu fator de escala é de 0,9996, como apresentado acima, significando uma distorção linear de 1/2500, em todo o meridiano central. Sua distorção linear máxima no final do fuso ocorre no equador de 1/1019, enquanto que no paralelo 30 ° S (Porto Alegre) seu valor é de 1/1579.

c) Projeção LTM.

Nesta projeção, seu fator de escala é de 0,999995 e apresenta uma distorção no meridiano central de 1/200.000.

Como a projeção LTM apresenta fusos de 1° de amplitude, sua distorção no final do fuso, no equador apresenta distorção relativa de 1/35.000.

d) Projeção RTM

Esta projeção apresenta o mesmo fator de escala 0,999995 da projeção LTM, apresentando a mesma distorção relativa de 1/200.000.

Por apresentar um fuso de 2° de amplitude, seus valores para distorção linear no equador e paralelo 30° sul são respectivamente: 1/6741 e 1/9106.

e) Projeção RTM/RS

Desenvolvida para aplicação no Estado do RS, possui o fator de escala de 0,999945, com fuso de 2° de amplitude.

Seus valores máximos de distorção apresentam-se no meridiano central do fuso de 1/18.000 e, no final do fuso com 1/17.000.

f) Projeção RTM/PR

Esta projeção foi desenvolvida para aplicação no estado do Paraná, possuindo fator de escala de 0,999915, com as seguintes deformações máximas:

- No meridiano central: 1/11.764

-No final do fuso: 1/12.500

g) Projeção LTM/RJ

Projetada para aplicação no município do Rio de Janeiro, apresentando fator de escala de 0,99998, com valores máximos de distorção no meridiano central e no final do fuso de 1/50.000.

h) Projeção PBG

Definida pra utilização no território nacional. Seu fator de escala é 0,99994, com fuso de 2 ° de amplitude. Distorção no meridiano central = 16.670

Distorção no final do fuso: No equador: 1/10752 Na latitude 30° = 1/18.181.

O quadro abaixo apresenta as distorções lineares para as aplicações específicas:

Projeções	Fuso	K ₀	Distorção no meridiano central	Distorção no final do fuso
Gauss-Krüger	3°	1,000	1,0000	1/6410
UTM	6 °	0,9996	1/2500	1/1019 (Lat=0°) 1/1579 (Lat=30°)
LTM	1°	0,999995	1/200.000	1/35.000 (Lat=30°)
RTM	2°	0,999995	1/200.000	1/6740 (Lat=0°) 1/9106 (Lat=30°)
RTM/RS	2°	0,999945	1/18.000	1/17.000 (Lat=30°)
RTM/PR	2° 15'	0,999915	1/11.764	1/12500 (Lat=24°)
LTM/Rio	1°	0,99998	1/50.000	1/50.000 (Lat=23°)
PBG	2°	0,99994	1/16670	1/10750 (Lat=0°) 1/18.000 (lat=30°)

6. Considerações finais

No âmbito da cartografia, a representação do modelo da superfície terrestre no plano, no final do século 20, constitui-se ainda num assunto sem solução única.

Os avanços tecnológicos permitem que se transformem informações cartográficas digitais para diferentes projeções, em função das necessidades do mapeamento.

A função das projeções cartográficas continua em evidência, tanto na representação gráfica como na utilização das coordenadas das informações pontuais.

A solução adotando um plano topográfico, apesar de apresentar uma maior simplicidade local, já não é aceita para aplicações cartográficas, uma vez que não se tem uma sistematização, continuidade ou universalidade dos dados.

O Brasil possui dimensões continentais, dificultando uma solução única na identificação da melhor projeção a ser utilizada. A UTM não atende as necessidades cartográficas de distorção mínima, para escalas maiores que 1/10.000.

Soluções particularizadas são apresentadas e implantadas, permitindo uma solução regional, estadual ou municipal.

Alguns países como Canadá ou Estados Unidos apresentam soluções regionais ou estaduais, na definição das projeções cartográficas para grandes escalas.

As projeções citadas neste presente trabalho apresentam soluções de minimização de distorção linear para algumas regiões ou estados brasileiros, nas cartas elaboradas nas escalas maiores que 1/10.000.

Verifica-se que há uma tendência de desenvolvimento de sistemas de projeções cartográficas estaduais ou mesmo regionais. Nada mais correto, desde que se trabalhe com superfícies de projeção matematicamente desenvolvidas e, sempre referenciadas às coordenadas do Sistema Geodésico Brasileiro.

7. Bibliografia

BLACHUT,T.J.; CHRZANOWSKI,A.; SAASTAMOINEN,J.H.: *Cartografia y levantamientos urbanos*. Direccion General de Geografia del Territorio Nacional, Springer - Verlag, New York Inc. 1979.

BUENO, Dulce Machado et all.: *Sugestão de uma projeção cartográfica para mapeamentos em escalas grandes do Estado do Paraná*. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Salvador 1995

CARVALHO, Fernando Rodrigues de: *Cadastro Geoambiental Polivalente, Projeção TM (Conforme de Gauss)*. Informativo COCAR especial. Presidência da República, Secretaria de Planejamento, Comissão de cartografia, Brasília, Dezembro de 1984

CLAIRE, Charles N.: *State plane coordinates by automatic data processing*. U.S. Government Printing office, Washington 1968

MCLAUGHLIN.: *Maritime Cadastral Accuracy study. Land /Registration and Information Service Technical Report*. U. Of. New Brunswick. Fredericton. New Brunswick, Canadá. 1977

PEDRO, Lucidalva dos Santos, et all.: *Proposta de um sistema de projeção cartográfica para o cadastro técnico do município do Rio de Janeiro*. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador 1995

PHILIPS,J.: *Uma projeção geodésica para o cadastro imobiliário brasileiro*. UFSC - Santa Catarina - 1997

ROCHA, Ronaldo dos Santos da.: *Proposta de definição de uma projeção cartográfica para mapeamento sistemático em grande escala para o Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado - CPGCG - UFPR. Curitiba - 1994