Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Definição de um Sistema de Projeção Cartográfica para Mapeamento Urbano no Estado do Rio Grande do Sul

Ronaldo dos Santos da Rocha

Pesquisas em Geociências, 23 (1/2): 25-34, jan./abr., 1997.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21223>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 1997.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Definição de um Sistema de Projeção Cartográfica para Mapeamento Urbano no Estado do Rio Grande do Sul

RONALDO DOS SANTOS DA ROCHA

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15052, CEP 91501-970,
Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 09/96. Aceito para publicação em 01/97)

Abstract - This work studies the use of map projections in large scale mapping to provide support for a Land Information System. For this purpose, evaluations of the map projections commonly used in France, Switzerland, USA and Brazil are presented. The adequate precision to record property lines in a cadastral survey is identified and then compared to the linear distortions inherent to the map projections used in Brazil. Based upon these discrepancies, an optimum projection was developed to be used in large scale cartography in the state of Rio Grande do Sul. The expressions to transform geographic coordinates into projection coordinates are also presented. Several tests have been performed and the results are portrayed on a comparative chart showing the values of geodectics, plane distance on the UTM projection and plane distance on the above mentioned projection. The identified projection presents linear distortions lower than the established precision for property delimitation, corroborating the validity of its use in a Land Information System.

INTRODUÇÃO

A Cartografia em sua concepção maior preocupa-se com a representação da superfície, de maneira clara e objetiva, que retrate com fidelidade as informações espaciais.

A forma plana é a maneira mais utilizada para a 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 matemáticas utilizadas na cartografia para representar a superfície curva sobre o plano, com um mínimo de distorção.

Inúmeras são as projeções cartográficas utilizadas para elaboração de mapas nas mais diversas finalidades, todas apresentando algum tipo de distorção no seu produto final. Estas distorções deverão ser sempre conhecidas para que o usuário efetue as devidas correções das informações espaciais, sendo as mais conhecidas a distorção da forma, da distância e da área.

A sociedade brasileira como um todo apresenta como característica básica o pouco conhecimento das informações necessárias para o trato cartográfico. No Estado do Rio Grande do Sul, como também nos outros Estados da União, esta ausência de cultura cartográfica é verificada em sua plenitude. Nas mais diversas atividades que necessitam de dados cartográficos, estas informações são extraídas dos mapas e cartas pelos usuários, sem as devidas correções que se fazem necessárias.

A consequência deste fato é a manipulação de informações espaciais distorcidas, sendo tomadas como se

fossem exatas na representação do modelo da superfície terrestre. Este fato se agrava quando as cartas e mapas são representados em escalas grandes, maiores que 1/10.000, notadamente para finalidades urbanas, podendo em muitos casos comprometer a qualidade dos trabalhos.

Como é muito difícil promover uma política global de disseminação da cultura cartográfica à sociedade brasileira de tal forma que os usuários consigam corrigir as distorções verificadas nas projeções, a alternativa mais viável é utilizar projeções cujo valor das distorções, notadamente a linear, não comprometam a qualidade dos dados espaciais a serem representados.

REALIDADE CARTOGRÁFICA

Em função da diversidade de fatores envolvidos na escolha da projeção cartográfica ideal, cada país apresenta uma solução diferenciada para as variadas escalas de levantamentos nos mapeamentos.

Os sistemas de Projeção Cartográfica da França

A França é um país, cujas dimensões podem ser comparadas a alguns estados brasileiros, e apresenta uma cultura cartográfica bastante desenvolvida ao longo da sua história. No século XIX a projeção cartográfica utilizada na França, Argélia, Tunísia e Indochina era a Projeção de Bonne. A carta construída nesta projeção foi na escala 1/80.000 e chamava-se Carta do Estado Maior.

Atualmente a projeção utilizada na França para trabalhos de qualquer precisão métrica é a cônica Conforme de Lambert, com um paralelo padrão. Para preservar esta precisão métrica o sistema de projeção utiliza a amplitude máxima de variação de distância Norte-Sul de 200 km.

Para a total cobertura do território francês, utilizam-se quatro sistemas de projeção de Lambert, a saber:

Sistema Lambert I, chamado zona norte, de paralelo central $49^{\circ} 30'$.

Sistema Lambert II, chamado zona central, de paralelo central $46^{\circ} 48'$.

Sistema Lambert III, chamado zona sul, de paralelo central $44^{\circ} 06'$.

Sistema Lambert IV, chamado zona córsega, de paralelo central $42^{\circ} 09' 54''$.

Os três primeiros destes sistemas se estendem a $1^{\circ} 48'$ do paralelo central (aproximadamente 200 Km), tendo, cada um, uma zona de recobrimento de $0^{\circ} 54'$ em latitude.

Os três sistemas admitem o mesmo meridiano central, MERIDIANO DE PARIS, origem dos eixos das ordenadas das três projeções. A origem destas projeções é a interseção dos paralelos centrais com o meridiano central.

Os paralelos limites de cada fuso são apresentados na figura 1.

Foram convencionados valores das coordenadas origem dos sistemas, como sendo:

$X = 600.000,00$ metros (variação em longitude)

$Y = 200.000,00$ metros (variação em latitude)

Na figura 1 é apresentado o território francês com seus sistemas de projeção cartográfica.

Figura 1. Território Francês com sua divisão em fusos do Sistema de projeção Cartográfica

Para a superfície cônica secante à superfície elipsoidal, o coeficiente de distorção linear apresenta os seguintes valores:

- A) No paralelo origem, $K = 1 - 1/8000 = 0,999875$ (1)
 - B) Distante aproximadamente 110 Km do paralelo central, $K = 1,000000$ (2)
 - C) Distante aproximadamente 150 km do paralelo central, $K = 1 + 1/8000$ (3)
- $K = 1,000125$

Estes valores apresentam uma deformação máxima de $\pm 1/8000$ em todo o sistema de projeção Cônica Secante de Lambert, utilizado na França, dividido em quatro fusos de recobrimento.

Sistema de Projeção utilizado na Suíça

O sistema de projeção adotado na Suíça para trabalhos de geodésia, medições e cartografia foi definido em 1902 por M. Rosenmund, engenheiro do serviço oficial de topografia, como sendo DUPLA PROJEÇÃO CONFORME CILÍNDRICA DE EIXO OBLÍQUO.(07)

Este sistema é único para todas as escalas (grandes, médias e pequenas), pois o País possui dimensões muito reduzidas, podendo ser comparada com alguns municípios brasileiros, permitindo assim este artifício.

A projeção utilizada é dupla porque desenvolve-se o elipsóide de referência (elipsóide de Bessel) sobre uma esfera, que por sua vez é desenvolvido sobre um cilindro tangente oblíquo, para uma transformação de Mercator.

A deformação linear do sistema de projeção Suíço é o produto da deformação elipsóide-esfera e esfera-plano;

$K = K_1 \cdot K_2$, chega-se a

K_1 = coeficiente de distorção linear da deformação elipsóide-esfera.

K_2 = coeficiente de distorção linear da deformação esfera-plano.

K = coeficiente de distorção linear da deformação elipsóide-plano.

Estes valores de K apresentam uma distorção de escala máxima da ordem de $1/10.000.000$.

A figura 2 apresenta o território Suíço com sua projeção cartográfica.

Figura 2. Território da Suíça com seu ponto central do sistema de projeção e variação da convergência de meridianos.

A convergência de meridiano é nula em Berna e todas as regiões situadas sobre o meridiano passante pelo ponto central. Ela apresenta sua variação máxima aproximada de:

- 1° no meridiano passante por Genebra
- + 2° no meridiano limite oeste da Suíça.

Sistemas de Projeções cartográficas utilizados nos Estados Unidos da América (E.U.A)

Os E. U.A. possuem dimensões continentais, podendo ser comparado com as dimensões do território brasileiro. Nos trabalhos cartográficos são utilizados quatro tipos diferentes de projeções em todos os seus estados e territórios, sendo estes:

- Projeção Cônica Conforme de Lambert
- Transversa de Mercator
- Obliqua de Mercator
- Equidistante Azimutal Aproximada

Cada estado americano adota, para seus trabalhos cartográficos, uma destas projeções cartográficas, apropriando suas constantes à área e localização.

Esta variedade de projeções cartográficas nasceu da necessidade sentida por pesquisadores americanos em representar um país continental, subdividido em estados de diferentes formas.

Para se adotar um ou mais sistemas de projeção cartográfica, a preservação dos ângulos é um fator importante a ser considerado, juntamente com uma mínima distorção de escala. Estas considerações conduzem inevitavelmente a adoção de uma projeção conforme, motivo que levou a maior utilização da projeção conforme cônica de Lambert com dois paralelos padrão, e a projeção transversa de Mercator.

A projeção cônica conforme de Lambert é utilizada para estados com extensão desenvolvida em longitude, e a Transversa de Mercator para estados com desenvolvimento em latitude.

Na projeção de Lambert a distorção linear varia com a distância ao paralelo central, sendo suficiente para estados com limitação de dimensões norte-sul. Não havendo esta limitação, há necessidade de se dividir a região em vários sistemas, como a solução adotada na França.

Na projeção Transversa de Mercator, a escala varia com a distância a partir do meridiano central, sendo suficiente para estados com limitação de extensão este-oeste. Caso esta extensão seja expressiva, há necessidade de se dividir a região em zonas individuais.

Exemplificando, tem-se o sistema de coordenadas do estado de Utah, utilizando esta projeção cônica. Este sistema é dividido em zonas Norte, Central e Sul.

No reticulado Lambert, as distorções lineares são constantes ao longo dos paralelos.

Na zona central do estado de Utah o coeficiente de distorção linear (K_0) é de 0,9999548. Este valor garante uma distorção linear máxima desde o limite Norte até o Sul, da ordem de 1/17.000.

Neste estado a amplitude da maior zona é de $2^\circ 5'$, enquanto a amplitude da menor zona é de $1^\circ 25'$.

A projeção Transversa de Mercator usada nos sistemas de alguns estados americanos é cilíndrica, transversa, conforme e secante.

Como exemplo, tem-se o sistema de coordenadas do

estado da Geórgia que possui maior expansão em latitude. Este sistema é formado por duas zonas, denominadas Leste e Oeste. Os dados principais deste sistema são resumidamente apresentados como segue:

A) O meridiano central da zona oeste é de longitude $84^\circ 10'$ e o da zona leste é de $82^\circ 10'$.

B) A coordenada X do meridiano central é arbitrado o valor de 152000 metros (500000 pés). A distância do meridiano central a um ponto conhecido é obtida por simples subtração. Esta distância, leste ou oeste, é representada por X', sendo $X' = X - 152000,00$. O valor da coordenada $y = 0,00$ metros.

C) O coeficiente de distorção linear ao longo do meridiano central vale 0,9999, conduzindo a um erro de distorção relativa da ordem de 1/10000. Na distância aproximada de 90104 metros (56 milhas) do meridiano central a distorção é nula ($K_0 = 1,0000$) e a 127000 metros aproximadamente (ponto mais extremo), a distorção linear assume novamente o valor relativo de 1/10.000.

Com esta configuração, a distorção máxima ao longo de todo o fuso apresenta-se sempre com valores menores que 1/10.000.

Para maiores estudos e comparações a respeito das projeções cartográficas utilizados nos EUA, pode-se reportar à referência bibliográfica (03).

Projeções cartográficas utilizadas no Brasil.

Para trabalhos cartográficos desenvolvidos no nosso território, as Normas Cartográficas Brasileiras prescrevem o Sistema UTM para as cartas gerais nas escalas entre 1/250.000 a 1/25.000 da cartografia sistemática terrestre. A cartografia náutica utiliza o sistema de projeção de Mercator. A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) utiliza a projeção de Lambert na carta ao milionésimo.

As cartas em escalas grandes da cartografia terrestre (maiores que 1/25.000) ainda não estão normatizadas, exceto as cartas em escalas grande da cartografia aeronáutica, as quais pela norma DIRCIA de 10/05/1975 da Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo do Ministério da Aeronáutica (D.E.P.V - MA), usam o sistema LTM (Local Transverse de Mercator).

Nas cartas para projetos regionais, para trabalhos que necessitem de uma escala maior que 1/25.000 não existe uma padronização brasileira. Desta forma, cada órgão da administração estadual e municipal elabora cartas e mapas, para as mesmas finalidades, utilizando projeções cartográficas diferentes.

As regiões metropolitanas de Curitiba, Rio de Janeiro, São Paulo, Recife e outras, utilizam a projeção UTM. Porto Alegre utiliza, além da UTM, a projeção de Gauss Kruguer, para trabalhos cadastrais, com escalas variando até 1/1.000.

Estes acervos cartográficos são estruturados para as mais diversas finalidades, desde anteprojetos de enge-

nharia, até levantamentos cadastrais, para cobrança do Imposto Predial e Territorial urbano (IPTU) ou outras de definição da propriedade.

Indiscutivelmente a projeção UTM é a mais utilizada para os levantamentos regionais em todo o Brasil, fruto de uma extrapolação da legislação cartográfica que prescreve-a para cartas e mapas somente em escalas menores que 1/25.000.

Cabe verificar se no estágio atual da cartografia, cujo mapa está registrado em meio digital, as distorções causadas pelas projeções cartográficas em uso (mais especificamente a UTM) estão comprometendo a qualidade final das cartas em grandes escalas, para as finalidades cadastrais (variação de escalas de 1/10.000 até 1/500).

Erwes, como citado em (2), sugeriu a adoção de um sistema semelhante aos sistemas europeus, projeção TM (Transverse de Mercator) e fusos de 2 graus de amplitude, numa forma de minimizar as distorções observadas nas projeções que utilizam fusos maiores.

Carvalho (1984) apresenta o problema da utilização da projeção UTM para grandes escalas, afirmando que "as cartas em escalas superiores a 1/5000 nunca chegarão ao padrão classe A, se forem projetadas em sistemas UTM"; e uma carta cadastral de cidade ou Região Metropolitana que não seja "CLASSE A" comprometerá sua utilização no suporte a projetos de engenharia.

A QUALIDADE DAS CARTAS CADASTRAIS

Nas necessidades urbanas, existe sempre uma grande demanda de variedades de cartas. A administração municipal, os serviços técnicos, os encargos de planejamento e todos aqueles envolvidos nas atividades da vida de uma cidade não podem operar adequadamente sem cartas apropriadas. Estas cartas podem diferir em escala, conteúdo e forma de apresentação. O planejamento geral requer cartas em escalas tais como 1/10.000, mas a execução de alguns projetos pode exigir cartas em escalas 1/1.000 ou maiores. Para administração municipal, uso da terra, cadastro ou planejamento detalhado se utiliza geralmente cartas na escala 1/500 a 1/2.000.

A finalidade principal de uma carta nestas escalas é a representação detalhada do terreno, onde a informação planimétrica deve representar em sua verdadeira forma e dimensão, exceto para os objetos muito pequenos, para os quais se usam símbolos pontuais. Isto requer uma escala suficientemente grande para permitir a representação clara sobre a carta dos detalhes levantados no terreno. A escala adequada para propósitos cadastrais em áreas complexas e densamente edificadas do centro de uma cidade é 1/500, por satisfazer a maioria das necessidades de gerenciamento da propriedade. Para regiões de menor complexidade, pouco densas, afastadas dos centros, medianamente ou pouco edificadas, as escalas das cartas podem variar até 1/2.000, de acordo com a finalidade do

cadastro (físico, jurídico ou sócio-econômico), conforme Blachut et alii. (1979).

A delimitação da parcela territorial requer um estudo minucioso sobre as diversas técnicas de medição do terreno, a precisão necessária para o levantamento, e o modo de representação cartográfica apropriada, sob a forma de mapas e cartas. Este processo de delimitação e apresentação das propriedades devem ser bastante preciso, e ser capaz de dirimir quaisquer dúvidas de disputa de direito de propriedade.

Revisando a bibliografia disponível, não se identificou um consenso na comunidade internacional a respeito do valor ideal de resolução no terreno para este trabalho, e a precisão da carta a ser gerada. Estes valores sofrem variações em função de alguns fatores, tais como técnicas disponíveis, valorização da propriedade, cultura cartográfica local, forma de divisa de propriedade e outras.

No cadastro municipal da cidade de Nova Iorque, as especificações dos trabalhos de agrimensura solicitam localização das esquinas das propriedades na área de Manhattan com precisão da ordem de 25mm no terreno. Este valor é aceito como erro máximo posicional em um levantamento de localização de propriedades, e inclui o erro posicional da rede de controle (Rede fundamental), a densificação do apoio básico e a determinação dos vértices delimitadores de propriedades, segundo BLACHUT et alii. (1979).

O cadastro suíço estruturou sua base cadastral em 1912 a partir do estabelecimento do Estatuto Civil da Suíça.(07). Para um País de 41.000 Km² de extensão e uma população aproximada de 6.000.000 de habitantes, apresenta uma base cartográfica na escala 1/25.000 de todo o seu território. A padronização do apoio fundamental normatiza de 1 a 2 pontos de apoio básico por Km² e apresenta 3 níveis distintos de precisão, como apresentado na tabela 1.

Regiões	Erro médio planimétrico	Erro médio altimétrico
Áreas urbanas	± 2,0 cm	± 2,0 cm
Áreas agrícolas	± 3,0 cm	± 4,0 cm
Áreas de difícil acesso	± 4,0 cm	± 6,0 cm

Tabela 1: Níveis distintos de precisão no cadastro Suíço.

Juntamente com esta configuração de apoio básico, o estatuto civil da Suíça definiu os graus de precisão para os pontos de divisa de propriedades, como apresentado abaixo. Sendo estes valores a diferença de posicionamento obtido por dois processos distintos de levantamentos, independente de traçados, como mostrado na tabela 2.

Regiões	Grau de precisão	Observações
01	6,0 cm	grande exploração
02	10,0 cm	média exploração
03	16,0 cm	regiões agrícolas eflorestas
04	40,0 cm	montanha, pasto e florestas

Tabela 2: Diferentes graus de precisão do cadastro Suíço.

Na representação gráfica, o erro máximo para a diferença entre a distância obtida do mapa cadastral e a calculada de coordenadas deverá ser menor que 0,2 mm, para todo grau de precisão, segundo Kauter (1987).

Em um estudo desenvolvido para uma região do Canadá em 1977, conforme pode-se constatar em Mclaughlin (1977), foi discutida a padronização da precisão cadastral como sendo da ordem de:

- 1) ± 3,00 cm de erro máximo nas regiões urbanas.
- 2) ± 9,00 cm de erro máximo nas regiões sub-urbanas.
- 3) ± 30 a 60 cm de erro máximo nas regiões rurais.

Nos levantamentos cadastrais brasileiros não existe um padrão adotado para a delimitação de propriedade. Como consequência, tem-se que os trabalhos cartográficos urbanos são estruturados mais comumente em cartas na escala 1/2.000, carregando consigo seus erros gráficos e de produção.

Bueno (1995), apresenta um estudo sobre este padrão cartográfico para levantamentos urbanos, reportando-se a legislação cartográfica vigente no Brasil, pois as entidades públicas e privadas, produtoras e usuárias de serviços cartográficos, estão submetidas às instruções das normas técnicas da cartografia nacional. Estas instruções destinam-se a estabelecer procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de produtos cartográficos, bem como critérios a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas.

Para tanto, o decreto 89.818 de 20 de junho de 1984, publicado no Diário Oficial da União, estabelece estas normas, constando no Capítulo II a "Classificação de uma Carta quanto à exatidão" e "Classes de cartas". As cartas quanto à exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica, PEC, no qual noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico Planimétrico estabelecido.

As cartas são classificadas pelo PEC como A, B e C, especificadas a seguir:

CLASSE A: PEC planimétrico igual a 0,5 mm na escala da carta, sendo 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente;

CLASSE B: PEC planimétrico igual a 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente;

CLASSE C: PEC planimétrico igual a 1 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-padrão correspondente.

Segundo carvalho (1984), o Erro-padrão preconizado de 0,3 mm da Classe A, é composto de 0,2 mm para o Erro gráfico e 0,1 mm para o Limite de Erro de Representação Gráfica.

Fazendo um estudo sobre as afirmações de Carvalho (1984), e analisando as dimensões da folha no formato A1, onde o maior comprimento retirado na carta é 790 mm na diagonal, podemos determinar a amplitude do fator de distorção para a carta classificada como Classe A pelo PEC.

$$K_{min} = \frac{D_{max} - L}{D_{max}} (04)$$

Sendo:

K fator de distorção linear;

L: limite de erro de representação gráfica = 0,1 mm:

Dmax: diagonal da folha do formato A1 = 790 mm

Kmin: Coeficiente de distorção linear mínimo.

Os valores encontrados para a distorção devido à projeção são de 0,999873 na região de maior redução e de 1.000126 na região de maior ampliação.

Através desta análise determinamos dentro das normas cartográficas, citadas anteriormente, os valores correspondentes entre a máxima e mínima distorção de representação para cartas com padrão Classe A.

A PROJEÇÃO UTM NO RIO GRANDE DO SUL

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma variação na região de dimensões elevadas, limitado aproximadamente pelos paralelos 27ºSul (Iraí) e 34ºSul (Chuí), e pelos meridianos 49ºOeste e 58º Oeste, conforme a figura 03.

Desta forma, pode-se observar que o Estado contempla dois fusos UTM, de meridianos central 51º e 58º Oeste. Com isto a variação da longitude é total, com Δλ (variando de zero (no meridiano central), até Δλ = 3º no final dos fusos (λ = Lambda).

Figura 3: Latitudes e longitudes limitantes do Estado do Rio Grande do Sul.

Por todo o meridiano central do fuso desde o extremo Norte até o extremo Sul o valor assumido por K é 0,9996. No extremo do fuso a variação de K é 1,00069442 a 1,00054659 nos limites Norte e Sul, como apresentado na tabela abaixo:

φ	$\Delta\lambda_0$	$\Delta\lambda_1$	$\Delta\lambda_2$	$\Delta\lambda_3$
27°	0,9996	0,999721525	1,000086216	1,00069442
28°	0,9996	0,999719325	1,000077400	1,00067400
29°	0,9996	0,999717072	1,000068390	1,000654200
30°	0,9996	0,999714771	1,00005918	1,00063351
31°	0,9996	0,999712423	1,000049780	1,00061234
32°	0,9996	0,999710032	1,00004021	1,00059078
33°	0,9996	0,9997076	1,00003047	1,00056886
34°	0,9996	0,999705131	1,00002059	1,00054659

Tabela 4: Coeficiente de distorção linear para o RS.

Para estes valores, tem-se as seguintes distorções lineares:

- a) $K = 1 + 1/1440$ (5), consequentemente para $\varphi = 27^\circ$ e $\Delta\lambda = 3^\circ$ haverá uma ampliação de 1 metro para cada 1440 metros medidos.
- b) $K = 1 + 1/1829$ (6) para $\varphi = 34^\circ$ e $\Delta\lambda = 3^\circ$ haverá uma ampliação de 1 metro para cada 1829 metros medidos.

Numa avaliação para a Região Metropolitana de Porto Alegre localizada no meridiano central do fuso ($\lambda_0 = 51^\circ$ Oeste) tem-se esta configuração para $K = 0,9996$: para a escala 1/2000, a distorção linear pode chegar a 64 cm em um caso extremo, e para a escala 1/1000 o valor da distorção, chega a 32 cm.

Para a região de Santa Maria (λ aproximado de 54° , φ de $29^\circ 30'$) tem-se o outro extremo da distorção final do fuso, com o valor de $K=1,000643947$: para a escala 1/2000, a distorção linear poder chegar a 1,01m em um caso extremo, e para a escala 1/1000 o valor da distorção de 50 cm.

Para os valores da deformação linear devido a utilização da projeção UTM no RS, em comparação com os valores correspondentes entre a máxima e mínima distorção de representação para cartas com padrão Classe A, chega-se a conclusão que a utilização da UTM na elaboração de cartas em escalas cadastrais no território gaúcho, compromete a classificação destas cartas na classe A.

IDENTIFICAÇÃO DA MELHOR PROJEÇÃO PARA GRANDES ESCALAS

Para a identificação de uma projeção cartográfica para utilizações em levantamentos urbanos aplicada no estado do Rio Grande do Sul, alguns fatores devem ser analisados nos seus pormenores quanto ao usuário, à forma, às distorções e quanto à sistematização; a saber:

I - Quanto ao usuário:

Qualquer alteração nos procedimentos cartográficos usuais para gerar mapas e cartas, mesmo apresentando melhorias consideráveis, deve ser implantada com um aproveitamento máximo da cultura cartográfica instalada na manipulação com as projeções cartográficas. Neste estudo, a projeção a ser eleita deverá apresentar os mesmos princípios da U.T.M, pelo domínio que esta apresenta na cartografia brasileira.

II - Quanto à forma:

A região em estudo (RS), possui uma variação de 27 a 34 graus de latitude Sul e 49 a 58 graus de longitude Oeste, ou seja, 7 por 9 graus. A projeção a ser adotada deverá também considerar estas dimensões da região, assim como sua localização.

III - Quanto à sistematização:

Os trabalhos cartográficos executados no Estado do Rio Grande do Sul deverão estar interligados e organizados de forma a permitir a recuperação de feições cartográficas de diferentes folhas de regiões distantes. A projeção cartográfica a ser adotada deverá ser capaz de permitir a universalidade dos dados a representar através de uma sistematização.

IV - Quanto às distorções:

Por fim, para que se eleja uma projeção a ser utilizada em mapas e cartas cadastrais com escalas variando entre 1/500 a 1/10000, armazenadas em meio magnético ou digital, a sua distorção terá que ser menor que o Limite de Erro de Representação Gráfica de 0,1 mm contido no Erro-Padrão.

Analisando as projeções usadas nos países pesquisados e comparando-as com as necessidades prementes (quanto ao usuário, forma, sistematização e distorções), chega-se à conclusão que a projeção R.T.M (Regional Transversa de Mercator) é a que melhor se adapta às necessidades Regionais do RS.

Denominação generalizada para o Sistema SPC (State Plane Coordinate System), esta projeção é utilizada em vários sistemas cadastrais e cartográficos dos Estados Americanos. Seus parâmetros variam em torno de alguns valores médios. Carvalho (1985) apresenta os seguintes parâmetros:

- a) Projeção de Gauss (Transversa de Mercator)
- b) Fusos de 2 graus, com meridianos centrais nas longitudes de grau ímpar.
- c) Coeficiente de distorção linear (K_0) = 0,999995
- d) $N = N' + 5000000$ metros (Hemisfério Sul)
 $N = N'$ (Hemisfério Norte)
- e) $E = E' + 400000$ metros

O valor de amplitude do fuso torna-se suficiente para abranger uma região de aproximadamente 220 km de variação de longitude, dimensão suficiente para contemplar a região metropolitana e regiões urbanas do RS, sem mudanças de fuso.

O valor de K_0 descrito, apresenta uma secância entre a superfície cilíndrica e a superfície do elipsóide que aproxima-se bastante do meridiano central do fuso. Com isto reduz-se consideravelmente a distorção nesta região, tendo-se um erro relativo de 5 milímetros por quilômetro (1/200000). A projeção U.T.M apresenta uma distorção relativa de 1/2500 no meridiano central do fuso. A distorção no final do fuso apresenta ainda valores elevados. No caso da projeção RTM, chega a 1/8500 a distorção relativa nesta região.

Apesar deste valor do coeficiente de distorção linear K_0 apresentar considerável redução da distorção linear em relação ao coeficiente utilizado na projeção U.T.M (1/1440), este valor poderia ser mais apropriado.

As constantes das coordenadas apresentadas foram sugeridas por Carvalho (1984) para distinguir as coordenadas RTM (5000000,400000) das UTM (10000000, 500000).

A condição de secância da superfície cilíndrica sobre o elipsóide foi criada para distribuir as distorções ao longo do fuso, de forma que haja um equilíbrio entre a máxima ampliação e a máxima redução.

O valor de K_0 (0,999995) proposto por Carvalho na projeção RTM apresenta uma redução no meridiano central do fuso bastante minimizado, sendo da ordem de 1/200000 o valor da distorção relativa.

Em contrapartida a ampliação apresentada no final do fuso é da ordem de 1/9000 (variação no paralelo de 30°).

Para uma melhor distribuição desta distorção linear faz-se necessário reduzir o fator de escala no meridiano central e ampliar no meridiano final do fuso, chegando-se ao valor de $K_0 = 0,999945$ como o melhor para ser utilizado no estado do Rio Grande do Sul. O intervalo do erro relativo para este valor de K_0 apresenta como redução máxima no meridiano do fuso de 1/18000, enquanto que a ampliação máxima no meridiano final do fuso é de

1/15000. Estes valores são suficientes para atender as necessidades de apresentar uma distorção linear que não comprometa a classificação das cartas na Classe A, segundo a legislação cartográfica brasileira.

Define-se assim a projeção R.T.M (Regional Transverse de Mercator), como a projeção cartográfica ótima para trabalhos em escalas maiores que 1/10000, armazenadas em meio magnético ou ótico, para finalidades cadastrais.

O sistema de Projeção eleito, Projeção Regional Transversa de Mercator (RTM/RS) para o Estado do Rio Grande do Sul, apresenta os seguintes parâmetros:

- 1) Transversa de Mercator com fusos de dois graus de amplitude.
- 2) Meridianos Centrais nas longitudes de grau ímpar (49°, 51°, 53°, 55° e 57° Oeste).
- 3) Origem das coordenadas Norte no equador.
- 4) Origem das coordenadas Este no Meridiano Central.
- 5) Unidade de medida o metro.
- 6) $N = X + 5000000$ (Hemisfério Sul)
 $N = X$ (Hemisfério Norte).
- 7) $E = Y \pm 400000$.
- 8) Fator de Escala (k_0) no Meridiano Central = 0,999945
- 9) Paralelos limites de 27 a 34 graus Sul.

Na Tabela 5 apresenta-se as regiões mais significativas do Estado com seus fusos correspondentes.

Cidade	Longitude	Fuso	Observação
Porto Alegre	51°	51	Toda a região metropolitana está contemplada neste fuso
Caxias do Sul	51° 20'	51	Município que mais cresce no estado
Pelotas	52° 30'	53	Polo industrial e cultural da região sul do estado
Santa Maria	53° 20'	53	Região central do estado e polo migratório da região
Uruguiana	57°	57	Região fronteira do estado. Fronteira com a Argentina e próximo ao Uruguai

Tabela 5. Regiões mais significativas do RS com seus correspondentes fusos.

TESTES E CONVERSÕES

Como a projeção RTM/RS deriva da projeção TM (Transversa de Mercator), torna-se fácil obter estas coordenadas planas partindo-se das coordenadas geográficas, convertendo-as em TM e depois em RTM/RS.

A finalidade da escolha desta projeção para trabalhos cartográficos no Rio Grande do Sul reside na facilidade da extração das informações cartográficas por usuários com pouco conhecimento das representações cartográficas, sem a necessidade da correção da projeção, e com uma perda de qualidade geométrica mínima. Esta

perda é muito inferior à projeção UTM, largamente utilizada no Brasil.

Para apresentar uma comparação entre estas duas projeções cartográficas, utilizou-se um conjunto de 20 pontos de coordenadas de alguns municípios gaúchos, compondo 20 bases reais, numa situação atual com os pontos monumentalizados e intervisíveis.

As coordenadas geográficas foram obtidas utilizando a técnica de rastreamento orbital NAVSTAR/GPS, posicionamento relativo, realizada em julho de 1990.

Para este trabalho foram utilizados dois receptores GPS série 4000 ST da TRIMBLE NAVIGATION LTD., operando com o código L1 e C/A, e oito canais de aquisição independente.

Após o processamento, o comprimento da linha base apresentou a precisão de 1cm ± 2 p.p.m. da distância medida.

Os parâmetros de erros (RMS e RDOP) para os pontos utilizados foram inferiores aos preconizados pelo fabricante para estes tipos de serviços, como sendo:

- 1 - RMS (Que indica o erro médio quadrático do sinal)
Para distância base até 10 Km, RMS varia de 0,02 a 0,06 metros.
Para distância base de 10 a 20 Km, RMS varia de 0,06 a 0,09 metros.
- 2 - RDOP (Que indica a simetria da constelação).
Para qualquer distância, RDOP deverá ser menor que 0,75.

A tabela 06 apresenta os pontos com as coordenadas geográficas e UTM.

Ponto	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
	latitude (S)	longitude (O)	Norte (m)	Este (m)
	(° ' ")	(° ' ")		
01	28 59 25,285	51 50 12,933	6792783,043	418474,068
02	28 59 26,268	51 50 25,751	6792750,344	418127,438
03	28 59 22,950	51 50 42,099	6792849,290	417684,341
04	28 59 07,830	51 50 25,809	6793317,813	418121,828
05	28 59 04,002	51 50 10,414	6793438,578	418537,594
06	28 58 51,673	51 50 21,470	6793815,913	418235,722
07	28 58 42,902	51 50 06,237	6794088,766	418646,044
08	28 58 41,376	51 49 56,404	6794137,621	418911,825
09	28 58 14,555	51 50 00,777	6794962,238	418787,662
10	28 58 29,993	51 50 02,548	6794486,757	418743,080
11	28 59 04,443	51 49 57,529	6793427,450	418886,373
12	28 59 05,816	51 49 47,987	6793387,012	419144,906
13	29 02 37,733	51 45 52,737	6786907,769	425553,194
14	29 02 51,570	51 45 38,518	6786484,406	425940,508
15	29 02 49,038	51 45 53,621	6786559,684	425531,560
16	29 02 55,758	51 45 49,292	6786353,610	425649,975
17	29 04 31,389	51 42 50,703	6783440,623	430497,581
18	29 04 48,683	51 42 48,734	6782908,679	430554,025
19	29 05 06,282	51 42 46,576	6782367,376	430615,658
20	29 05 15,810	51 42 52,273	6782073,204	430463,401

Tabela 6. Coordenadas geográficas e UTM.

Na Tabela 07 apresenta-se as coordenadas RTM/RS dos pontos utilizados.

Ponto	coordenadas RTM/RS Norte (metro)	coordenadas RTM/RS Este (metro)	Ponto	coordenadas RTM/RS Norte (metro)	Coordenadas RTM/RS Este (metro)
01	1791676,111	318445,931	11	1792320,740	318858,377
02	1791643,400	318099,181	12	1792280,288	319116,999
03	1797742,380	317655,930	13	1785798,809	325914,947
04	1792221,065	318093,569	14	1795375,300	325914,947
05	1792331,872	318509,480	15	1785450,604	325505,859
06	1792709,337	318207,512	16	1785244,459	325624,314
07	1792982,284	318617,966	17	1782330,466	330473,593
08	1793031,156	318883,838	18	1781798,339	330530,057
09	1793856,058	318759,632	19	1781256,849	330591,711
10	1793380,413	318715,035	20	1780962,575	330439,402

Tabela 7: coordenadas RTM/RS dos pontos utilizados

Utilizando as coordenadas geodésicas foram calculadas as distâncias geodésicas. Utilizando as coordenadas UTM e RTM/RS foram calculadas as distâncias planas.

Na Tabela 08 apresenta-se as distâncias obtidas com as coordenadas geográficas, UTM e RTM/RS.

base	Distância geodésica (metro)	Distância UTM (metro)	Distância RTM/RS (metro)
1 - 2	348,288	348,169	348,290
3 - 4	641,210	641,022	641,243
5 - 6	483,385	483,227	483,400
7 - 8	270,314	270,233	270,326
9 - 10	477,713	477,566	477,731
10 - 12	1171,236	1170,856	1171,260
09 - 11	1538,452	1537,959	1538,490
05 - 09	1544,554	1544,044	1544,577
04 - 10	1324,233	1323,779	1324,233
03 - 08	1780,021	1779,470	1780,085
03 - 10	1950,554	1949,930	1950,604
05 - 10	1068,494	1068,130	1068,499
03 - 12	1556,892	1556,405	1556,942
03 - 11	1334,281	1333,847	1334,308
04 - 12	1025,610	1025,415	1025,769
04 - 11	772,619	772,365	772,632
04 - 12	609,673	609,497	609,708
13 - 14	573,997	573,801	573,999
15 - 16	237,744	237,673	237,755
19 - 20	331,348	331,239	331,354
18 - 20	840,658	840,376	840,667

Tabela 8: Distâncias obtidas com as coordenadas geográficas, UTM e RTM/RS.

Foram feitas comparações entre as distâncias elipsoidicas em relação às planas, tanto na projeção UTM como na RTM/RS.

As diferenças entre as distâncias são as distorções lineares causadas pela utilização das projeções cartográficas. Estes resíduos podem ser encarados como o erro

cometido na extração de informações lineares de uma carta ou mapa sem a devida correção do fator de escala.

Na Tabela 9 apresenta-se as diferenças das distâncias utilizadas, assim como as diferenças relativas.

Base	Diferença Geod.-UTM (metros)	Distorção relativa	Diferença Geod.-TM/RS (metros)	Distorção relativa
1 - 2	0,119	1/2926	- 0,002	1/174000
3 - 4	0,188	1/3400	- 0,033	1/19400
5 - 6	0,158	1/3050	- 0,015	1/32000
7 - 8	0,081	1/3330	- 0,012	1/22520
9 - 10	0,147	1/3240	- 0,018	1/26250
10 - 12	0,380	1/3078	- 0,024	1/48790
09 - 11	0,493	1/3100	- 0,038	1/40000
05 - 09	0,510	1/3019	- 0,023	1/65200
04 - 10	0,454	1/2917	- 0,010	1/132000
03 - 08	0,551	1/3230	- 0,064	1/27812
03 - 10	0,624	1/3125	- 0,050	1/39000
05 - 10	0,364	1/2900	- 0,005	1/213600
03 - 12	0,487	1/3180	- 0,050	1/31000
03 - 11	0,434	1/3074	- 0,027	1/49000
04 - 12	0,195	1/5260	- 0,159	1/6500
04 - 11	0,254	1/3041	- 0,013	1/59230
05 - 12	0,176	1/3460	- 0,035	1/17500
13 - 14	0,196	1/2927	- 0,002	1/287000
15 - 16	0,071	1/3340	- 0,011	1/21614
19 - 20	0,109	1/3040	- 0,006	1/55200
18 - 20	0,282	1/2981	- 0,009	1/93000

Tabela 9: diferenças das distâncias utilizadas, assim como as diferenças relativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos valores contidos na tabela 08, chega-se a algumas considerações, a saber:

A) A região em estudo possui sua variação em longitude de 51º 42', zona de redução para a projeção UTM e de ampliação para a projeção RTM/RS. Com efeito, visto que todas as distâncias UTM são menores que as geodésicas, todas as distâncias RTM/RS são maiores que as geodésicas.

B) A distorção linear relativa , para cartas na projeção UTM nesta região, terá que estar contida no intervalo 1/2500 à 1/3600 aproximadamente, tendo em vista os coeficientes de distorção linear K variarem de 0,9996 a 0,99972 respectivamente. Na tabela 8 apenas um valor da distorção linear relativa não está contido neste intervalo.

C) A distorção linear relativa para cartas na projeção RTM/RS terá que ser menor que 1/17.000. Com efeito, apenas a base 4-12 apresenta um valor da distorção linear maior que este valor.

O motivo destas discrepâncias, ainda que insignificante em relação ao todo, deve-se provavelmente ao erro de posição dos vértices na determinação das coordenadas geodésicas pela utilização do GPS.

A Tabela 8 sintetiza o ganho de qualidade na redução da distorção linear quando se utiliza a projeção RTM/RS em substituição à projeção UTM para escalas maiores que 1/10.000 no estado do Rio Grande do Sul, dentro dos padrões aceitáveis na avaliação do P.E.C. planimétrico na classificação da Classe A da Legislação cartográfica Brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blachut, T.J. Chrzanowski, A. Saastamoinen, J.H. 1979. *Cartografia y Levantamientos Urbanos*. Direccion General de Geografia del Territorio Nacional. Springel - Verlag. New York Inc., 516 p. .

Carvalho, F.R. de.1984. *Cadastro Geoambiental Polivalente, Projeção TM (Conforme de Gauss)*. Informativo COCAR n. especial. Presidência da República. Secretaria de Planejamento. Comissão de Cartografia. Brasília, 42p.

Claire, C.N. 1968. *State Plane Coordinates By Automatic Data Processing*. U.S.Government Printing Office. Washington, 160 p.

Bueno, D.M.C., Saito, C.R.L. Bosio, V. 1995.. Sugestão de uma Projeção cartográfica para mapeamento em escalas grandes do Estado do Paraná. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 17., 1995, Salvador. *Anais Salvador*, v. 2.

Eberl, H.K.D. 1982. *Sistemas Catastrales* . Editorial Concepto S.A. Distrito Federal. Mexico, 284p.

Fleming, N.L. 1975. Continuous Updating - An Essential Requirement of a Modern Cadastre. *The Canadian Surveyor*, 29:46-54.

Kauter, B. 1978. The Swiss Cadastre and The District Surveyor. *The Canadian Surveyor*, 41(4) :541-553.

Laird, M.O. 1978. Design Criteria for a Cohesive North American Plane Coordinate System. *Surveying and Mapping*, 6:70-94.

Maling, D.H..1980. *Coordinate Systems and Maps Projections* . Great Britain by Ebenezer Baylis & Son Limited. The Trinity Press. London, 255p.

Mclaughlin. 1977. *Maritime Cadastral Accuracy Study*. Land Registration and Information Service Technical Report. U.Of. New Brunswick. Fredericton. New Brunswick. Canadá, p. 97-106.

Mitchell, H.C.; Simons, L. 1974. *The State Coordinate Sustems (A Manual for Surveyors)*. U.S. Department of Commerce. United State. Washington, Government Printing office,120 p.

National Research Council (USA). 1983. *Panel on a Multipurpose Cadastre. Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre*. National Academy Press. Washington, D.C..p. 90-95.

Rocha, R.S. 1994. *Proposta de definição de uma projeção cartográfica para mapeamento sistemático em grande escala para o estado do Rio Grande do Sul...* Curitiba, 61p. Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.