

RONALDO DOS SANTOS DA ROCHA

**PROPOSTA DE DEFINIÇÃO DE UMA PROJEÇÃO
CARTOGRÁFICA PARA MAPEAMENTO SISTEMÁTICO
EM GRANDE ESCALA PARA O ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

ORIENTADOR: Dr. Quintino Dalmolin

CO-ORIENTADOR: Dr. Francisco H.S. Magro

CURITIBA
1994


**PROPOSTA DE DEFINIÇÃO DE UMA PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA PARA
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO EM GRANDES ESCALAS PARA O ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL.**


POR

**RONALDO DOS SANTOS DA ROCHA
ENGENHEIRO CARTÓGRAFO**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de MESTRE
EM CIÊNCIAS NO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
GEODÉSICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, pela comissão
formada pelos seguintes professores:**


Prof. Dr. Quintino Dalmolim
UFPR - Orientador


Prof. Dr. Francisco Humberto Simões Magro
UFRS - Co-orientador


Prof. MSc. Henrique Firkowski
UFPR - membro

Dedico este trabalho a:

Mário Mendes da Rocha (In memoriam)

Consuelo dos Santos da Rocha

Meus País, pelo que sou eternamente grato, pela compreensão, pela força de trabalho, pela perseverança, pelo amor e carinho.

Rosângela dos Santos da Rocha

Rosana dos Santos da Rocha

Roseli dos Santos da Rocha

Roseni dos Santos da Rocha

Roselaine dos Santos da Rocha

As melhores irmãs do mundo.

Claudia Anahy Aguilera Larrosa da Rocha

Letícia Larrosa da Rocha.

Minha esposa pelo amor, paixão, carinho e companheirismo, e minha filha que acabou de chegar e completou este grupo, fundamental para a felicidade.

Desejo externar meus agradecimentos às pessoas e entidades abaixo relacionadas:

CAPES

CPGCG-UFPR .

Os amigos:

Artur Caldas Brandão

Andréa Lopes Iescheck

Carlos Iescheck

Os professores e amigos do Departamento de Cartografia da UFPR.

Profa. Claudia Robbi

Profa. Dulce Bueno

Prof. Quintino Dalmolim

Prof. Henrique Firkowski

A Cotasul Serviços Especiais de Engenharia, ao Eng. Regis Wellausen Dias e a Eng^a. Iara Maria Prates de Lima Dias.

Aos amigos:

Verner Riebold e Dulce Vidigal do Amaral

Danilo André Ferreira

Ao Departamento de Geodésia da UFRS e ao Prof. Francisco Humberto Simões Magro

Ao Eng. Fernando Rodrigues de Carvalho

Às amigas:

Júlia Célia Mercedes Strauch

Heloisa Helena da Silva

Claudia Araújo Bins

Sumário

	Termo de Aprovação	ii
	Dedicatória	iii
	Agradecimentos	iv
	Sumário	v
	Lista de Figuras	vi
	Lista de Tabelas	vii
	Resumo	viii
	Abstract	ix
1	Introdução	01
2	Realidade Cartográfica	06
2.1	Os Sistemas de Projeções Cartográficas na França	06
2.2	O Sistema de Projeção utilizado na Suíça	09
2.3	Os Sistemas de Projeções Cartográficas utilizados nos Estados Unidos das Américas	13
2.4	Projeções Cartográficas utilizadas no Brasil	20
2.5	A Projeção UTM.	22
2.6	A projeção UTM no Estado do Rio Grande do Sul.	29
3	Estudos das precisões cadastrais e identificação da melhor projeção.....	35
3.1	Cadastro	35
3.2	Identificação da melhor Projeção para grandes escalas	39
4	Testes e conversões	48
5	Conclusões e recomendações	56
	Referências bibliográficas	59

Lista de figuras.

1	Território Francês apresentando seus sistemas de projeção cartográfica	08
2	Construção de um novo sistema cilíndrico oblíquo	11
3	Território da Suíça com seu ponto central do sistema de projeção e variação da convergência de meridiano	12
4	Variação de K dentro do fuso	28
5	Valores de K dentro do fuso, no equador	29
6	Variação de Latitude e Longitude no Estado do Rio Grande do Sul	31
7	Dimensões de uma carta formato A1 ABNT	32
8	Distribuição dos fusos RTM/RS no Estado do Rio Grande do Sul	45

Lista de Tabelas

1	Projeção Transversa de Mercator/E.U.A.	16
2	Projeção Cônica de Lambert /E.U.A.	18
3	Coefficientes de distorção linear para o RS	30
4	Valores comparativos das distorções máximas.	32
5	Distorção máxima no meridiano central do fuso	33
6	Níveis distintos de precisão	37
7	Diferentes graus de precisão	37
8	Erro de Identificação em planimetria	38
9	Erros relativos para a variação do fator de escala K_0	42
10	Distorção em função da variação de K	43
11	Regiões mais significativas do RS com seus correspondentes fusos	46
12	Coordenadas Geográficas e U.T.M	49
13	Relação de coordenadas RTM/RS	51
14	Distâncias geodésicas, UTM e RTM/RS	52
15	Diferenças de distâncias e distorção relativa	53

RESUMO

Neste trabalho é desenvolvido um estudo sobre a utilização das projeções cartográficas nos levantamentos em grandes escalas, em um sistema de informações cadastrais. Para tanto, é apresentada uma avaliação das projeções utilizadas na França, Suíça, nos Estados Unidos da América e Brasil. É identificada a precisão necessária para trabalhos cadastrais de delimitação de propriedades e comparada com as distorções lineares causadas pelo uso das projeções cartográficas no Brasil.

Conhecidas estas discrepâncias, é desenvolvida uma projeção ideal para utilização em trabalhos cartográficos de grandes escalas, no Estado do Rio Grande do Sul. Apresenta-se ainda as fórmulas de conversão de coordenadas geográficas para a projeção obtida. Diversos testes foram efetuados e são aqui apresentados quadros comparativos entre as geodésicas, as distâncias planas na projeção UTM e as distâncias planas na projeção identificada. Os resultados comprovam que a projeção obtida apresenta distorção linear menor que a projeção UTM, sendo suficiente para trabalhos de delimitação de propriedades, mostrando a validade de sua utilização em um sistema de informações cadastrais.

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 geodetics, plane distance on the UTM projection and plane distances on the above mentioned projection.

The identified projection presents linear distortions lower than the established precision for property delimitation, corroborating the validity of use in a Land Information system.

1 - INTRODUÇÃO

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

Diversas são as formas de representação desta superfície: modelos reduzidos, globos, mapas e cartas, modelos digitais do terreno e outros, todos para as mais diversas finalidades.

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 1/1.000.000 tem-se um globo com raio da ordem de 6,5 m.

Uma outra dificuldade na utilização dos globos são as dimensões escalares planimétricas (X e Y) irreconciliáveis com a altura (Z). Assim, um globo de 26 cm de diâmetro (aproximadamente 1/50.000.000) representando elevações de 9.000 metros e profundidades de 15.000 m apareceriam 0,2 mm e 0,3 mm respectivamente. Isto é, a maior altura na Terra não passaria, na escala de dois décimos de milímetro e a maior profundidade de três décimos de milímetro, conforme THOFEHRN (1980).

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 utilizadas na cartografia para representar a superfície curva sobre o plano, com um mínimo de distorção.

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, cone, cilindro).

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

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.

Para as necessidades de navegação (marítima ou aérea) deve-se utilizar projeções que preservem as direções. Para o estudo de deslocamentos, traçados viários, etc., deve-se utilizar projeções que preservem as distâncias. Para o planejamento territorial e controle de propriedades utiliza-se projeções que preservem as áreas. Para estas necessidades, tem-se as três propriedades básicas mais importantes das projeções cartográficas: a conformidade, a equidistância e a equivalência.

Ideal seria desenvolver-se funções matemáticas que fundamentassem uma projeção cartográfica capaz de apresentar estas três propriedades. Seria perfeita. Porém, não é possível colocar em uma mesma projeção todas as propriedades. Como exemplo, pode-se citar as propriedades de conformidade e equivalência; elas nunca aparecem juntas. Ou a projeção é conforme, ou é equivalente.

A decisão de se adotar uma determinada projeção cartográfica deverá levar em consideração diversos fatores, tais como:

A) A localização da região em relação ao globo terrestre, pois para distintas posições tem-se um tratamento diferenciado. Assim, uma representação de uma região situada em um dos pólos deverá ter um tratamento diferente de outra na região equatorial ou tropical.

B) A forma da região, pois para representações de localidades de grande variação de latitude e pouca em longitude (exemplo do Chile), deve-se ter um tratamento diferenciado de regiões de grandes variações de longitude e pouca variação em latitude (exemplo do Panamá).

C) As dimensões da região, pois quando se pretende representar uma área de dimensões reduzidas (exemplo de Portugal), certamente não se utilizará a mesma projeção para uma região de grande extensão, como a China, Canadá, ou Brasil.

D) A finalidade do trabalho a ser executado contribuirá fundamentalmente para a escolha de qual tipo de projeção poderá ser adotada, pois define-se com a finalidade não somente as características, como também o grau de precisão que este mapa ou esta carta deverá conter.

Uma vez identificada a precisão com que a representação deverá ser elaborada, estar-se-á definindo a escala da representação, com o menor tamanho de objeto no terreno que se pode representar no mapa.

Alguns mapeamentos apresentam características próprias que dificultam ainda mais esta decisão, por apresentar localização continental, com grande variação em longitude e latitude, grandes áreas e mais de uma finalidade para uma variação de escalas.

Toda esta problemática sobre a projeção cartográfica deve ser analisada levando-se em consideração os atuais avanços tecnológicos, pois com a "Era da informática" assistimos a uma verdadeira revolução nos processos de aquisição, tratamento e apresentação das informações geográficas. Atualmente o computador auxilia em todas as etapas de elaboração de uma carta.

Surge o mapa estruturado analiticamente, registrado em meio magnético ou ótico, capaz de apresentar características globais diferentes do mapa convencional. O mapa registrado no papel agora começa a dar lugar ao mapa registrado em meio digital.

No mapa convencional tem-se o erro gráfico e o erro causado pela instabilidade do material em que está registrado o conteúdo do mapa. O mesmo não acontece com o mapa digital, que encontra-se armazenado digitalmente. Desta forma, a inexistência desta componente no somatório do erro final num mapa valoriza ainda mais a distorção causada pela projeção cartográfica, principalmente nas representações que necessitam de um maior rigor na precisão, como o caso das cartas em escalas maiores.

Com esta alteração no procedimento de análise de um mapa, as projeções utilizadas devem sofrer uma reavaliação para saber se a distorção causada com seu uso, compromete a precisão a ser atingida, tendo em vista a finalidade do trabalho a ser executado.

Precisão e sistematização, são as grandes preocupações a serem observadas na construção de uma representação de parte da superfície da Terra, e conseqüentemente, da projeção cartográfica a ser utilizada.

A precisão está intimamente ligada à metodologia de aquisição, apoio básico, densificação e edição das informações superficiais e sua forma de representação.

A sistematização é o princípio utilizado na cartografia para representar grandes extensões de terra, que inevitavelmente teriam maiores distorções causadas pela esfericidade da terra, como um somatório de pequenas regiões que guardam entre si uma mesma relação de formação. Com áreas menores tem-se informações mais precisas e distorções menores em função das dimensões da região.

Cabe ressaltar que esta divisão da região em áreas menores deverá ser feita de forma matematicamente criteriosa e politicamente oportuna, observando as divisões municipais, regionais e estaduais e, ser capaz de interligar as informações regionais, apresentando uma representação contínua.

Numa apressada análise pode-se questionar então a validade de se utilizar projeções cartográficas sistematicamente, para levantamentos regionais como zonas urbanas, em vez de planos locais ou projeções isoladas; cabe lembrar a importância da universalidade dos valores de suas coordenadas e a tendência de crescimento urbano verificada no Brasil, justificando o uso das projeções cartográficas.

Nos trabalhos cartográficos utilizados em projetos urbanos (escalas maiores que 1:10.000), os critérios de sistematização e precisão necessariamente passam pela análise da utilização da projeção cartográfica, para que se possa extrair o máximo das cartas resultantes nos trabalhos urbanos do Brasil.

Com este trabalho tem-se por objetivo geral apresentar um estudo da utilização das projeções cartográficas para escalas maiores que 1/10.000, nos mapeamentos topográficos urbanos.

Pretende-se ainda como objetivo específico, avaliar as projeções mais utilizadas no Brasil e em outros Países para os trabalhos urbanos e eleger, entre as pesquisadas, a mais vantajosa para mapeamentos topográficos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul, levando-se em consideração os fatores de evolução histórica, localização espacial, dimensão das áreas, distorção minimizada, sistematização e facilidade no seu uso.

Este trabalho é apresentado em cinco capítulos, sendo assim desenvolvidos:

No capítulo segundo, "**Realidade cartográfica**" apresenta-se uma descrição sucinta das projeções cartográficas utilizadas na França, Suíça e Estados Unidos da América. Apresenta ainda as projeções que já foram utilizadas no Brasil para todas as finalidades e as que atualmente são usadas para trabalhos cartográficos regionais.

No capítulo terceiro, "**Estudos das precisões cadastrais e identificação da melhor projeção**", apresenta-se um estudo sobre a resolução necessária para trabalhos cadastrais de delimitação de propriedades e elege a projeção mais vantajosa para representação de cartas topográficas urbanas, com finalidades cadastrais, a ser utilizada no Estado do Rio Grande do Sul.

No capítulo quarto "**Testes e conversões**", apresentam-se alguns testes feitos com a projeção escolhida utilizando-se informações cartográficas de algumas regiões urbanas do Rio Grande do Sul e sua comparação com a projeção usada atualmente. Neste capítulo apresenta-se ainda as fórmulas para conversões de coordenadas geográficas.

No capítulo quinto "**Conclusões e recomendações**" apresenta-se uma análise conclusiva sobre os problemas abordados neste trabalho e os novos rumos da cartografia com a utilização dos Sistemas de Informações Cadastrais.

2 - 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.

2.1 - Os Sistemas de Projeções Cartográficas da França.

A França é um País que apresenta uma cultura cartográfica bastante desenvolvida ao longo da sua história. No século XIX a projeção cartográfica utilizada não só na França, como na Argélia, Tunísia e Indochina era a Projeção de Bonne.

Estruturada com paralelo origem de 45° N, a projeção de Bonne, utilizada na França, possui como propriedade principal a equivalência (manutenção das áreas). A carta construída nesta projeção foi na escala 1/80.000 e chamava-se Carta do Estado Maior. Esta carta foi ampliada para 1/50.000 para alguns serviços em parte do Território Francês, não sendo encontrada muitas publicações sobre estes trabalhos.

Atualmente este tipo de projeção cartográfica não é mais utilizado, sendo substituído pela projeção de Lambert, onde suas coordenadas são usadas correntemente na França.

A projeção utilizada na França para trabalhos de qualquer natureza é a cônica conforme de Lambert, com um paralelo padrão (ϕ_0). 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 de um grande país como a França, necessitou-se da adoção de quatro sistemas de projeção de Lambert.

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

Sistema Lambert II, Chamado zona Central, paralelo central $46^{\circ} 48'$ N.

Sistema Lambert III, chamado zona Sul, de paralelo central 44° 06' N.

Sistema Lambert IV, chamado zona Córsega, paralelo central 42° 09' 54" N.

Os três primeiros destes sistemas se estendem a 1° 48' do paralelo central (aproximadamente 200 Km), tendo, cada um, uma zona de recobrimento de 0° 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.

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)

Os eixos das abcissas das projeções são perpendiculares aos eixos de ordenadas. Eles são orientados positivamente nos sentidos Norte e Este.

Fórmulas matemáticas permitem efetuar transformações das coordenadas geodésicas para as coordenadas planas.

A convergência dos meridianos de um ponto é o ângulo entre o meridiano e o Norte da Projeção Lambert (norte de quadrícula). Os meridianos são retilíneos, a convergência de meridianos é constante ao longo de um mesmo meridiano.

A convergência dos meridianos (γ) pode ser obtida por:

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \operatorname{sen} \varphi_0$$

onde:

$(\lambda - \lambda_0)$ representa a diferença de longitude entre um ponto e o meridiano de Paris.

Para as quatro zonas do sistema de projeção francês, no paralelo padrão tem-se:

$$\text{Lambert I} \quad \text{I} = 0,7604 (\lambda - \lambda_0)$$

$$\text{Lambert II} \quad \text{II} = 0,7290 (\lambda - \lambda_0)$$

$$\text{Lambert III} \quad \text{III} = 0,6959 (\lambda - \lambda_0)$$

$$\text{Lambert IV} \quad IV = 0,6713 (\lambda - \lambda_0)$$

Para a superfície cônica tangente, os valores assumidos pelo coeficiente de distorção linear (K) são aproximadamente:

$$K = 1,000125 \text{ a } 100 \text{ Km do paralelo origem, com erro relativo de } (8.000)^{-1}.$$

$$K = 1,000250 \text{ a } 150 \text{ Km do paralelo origem, com erro relativo de } (4.000)^{-1}.$$

$$K = 1,00050 \text{ a } 200 \text{ Km do paralelo origem, com erro relativo de } (2.000)^{-1}.$$

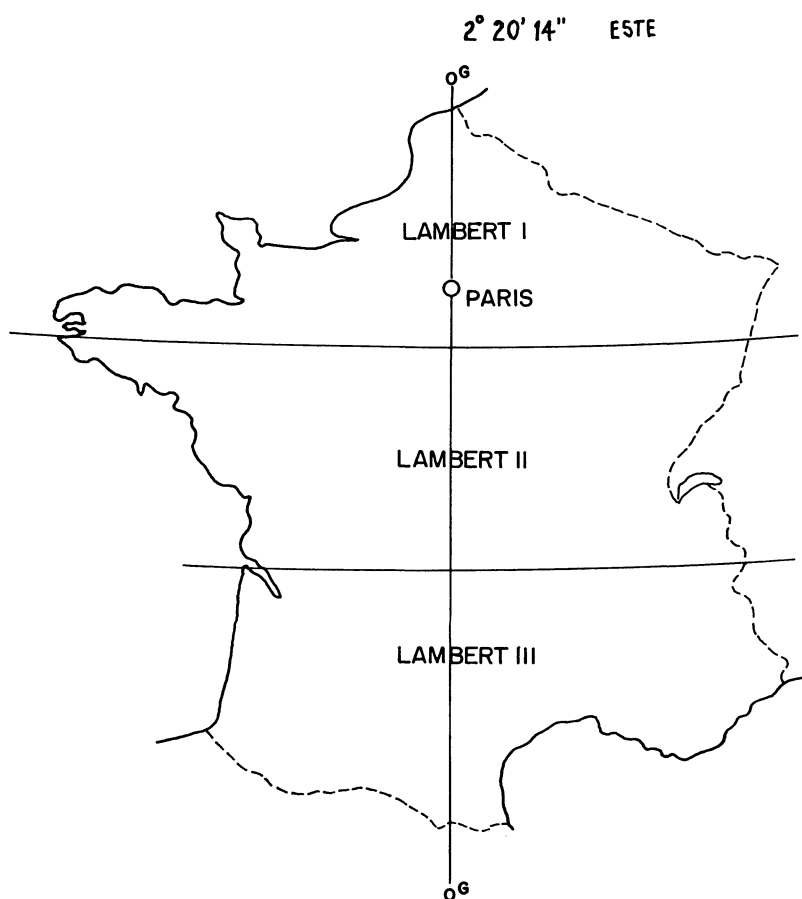


Figura 01. Território Francês apresentando seus sistemas de projeção cartográfica.

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

A) No paralelo origem, $K = 1 - (8.000)^{-1} = 0,999875$

B) Distante aproximadamente 110 Km do paralelo central, $K = 1,000000$

C) Distante aproximadamente 150 km do paralelo central, $K = 1 + (8.000)^{-1}$

$$K = 1,000125$$

Estes valores apresentam uma deformação máxima de $\pm (8.000)^{-1}$ em todo o sistema de projeção Cônica Secante de Lambert, utilizado na França, dividido em quatro fusos de recobrimento.

2.2 - 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 OBLIQUO.

Este sistema é único para todas as escalas (grandes, médias e pequenas), pois o País possui dimensões muito reduzidas, 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.

Esta projeção elipsóide -plano pode ser diretamente efetuada sem a necessidade de se utilizar a esfera como passagem auxiliar, através da passagem direta do elipsóide ao plano. Desta forma, obtêm-se diretamente as coordenadas X e Y das coordenadas geográficas, e vice-versa.

A passagem da esfera ao plano se faz por intermédio de um cilindro tangente à esfera por um círculo máximo perpendicular ao meridiano passante pelo ponto central de Berna, gerando uma projeção de Mercator oblíqua.

Imprimindo ao sistema de coordenadas uma rotação ao eixo do plano do equador e perpendicular ao meridiano passante por Berna, tem-se definido um novo sistema de coordenadas. Este círculo máximo passante pelo ponto central P_0 ($B = B_0$, $l=0$) é perpendicular ao meridiano $l=0$; definindo o círculo da base, como apresentado na figura 02.

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 :

$$K = \frac{\alpha(1-e^2)^{1/2} \cos b}{(1-e^2 \sin^2 B)^{1/2} \cos B} \text{ ch } \frac{x}{R}$$

sendo:

α = achatamento do elipsóide

e = primeira excentricidade

R = raio médio de curvatura da região

b = latitude geográfica da esfera

b_0 = latitude geográfica da esfera no ponto central

B = latitude geográfica sobre o elipsóide

B_0 = latitude geográfica sobre o elipsóide do ponto central

l = longitude

ch = cosseno hiperbólico.

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 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° em Genebra

+2° na extremidade Oeste da Suíça (Fig. 03)

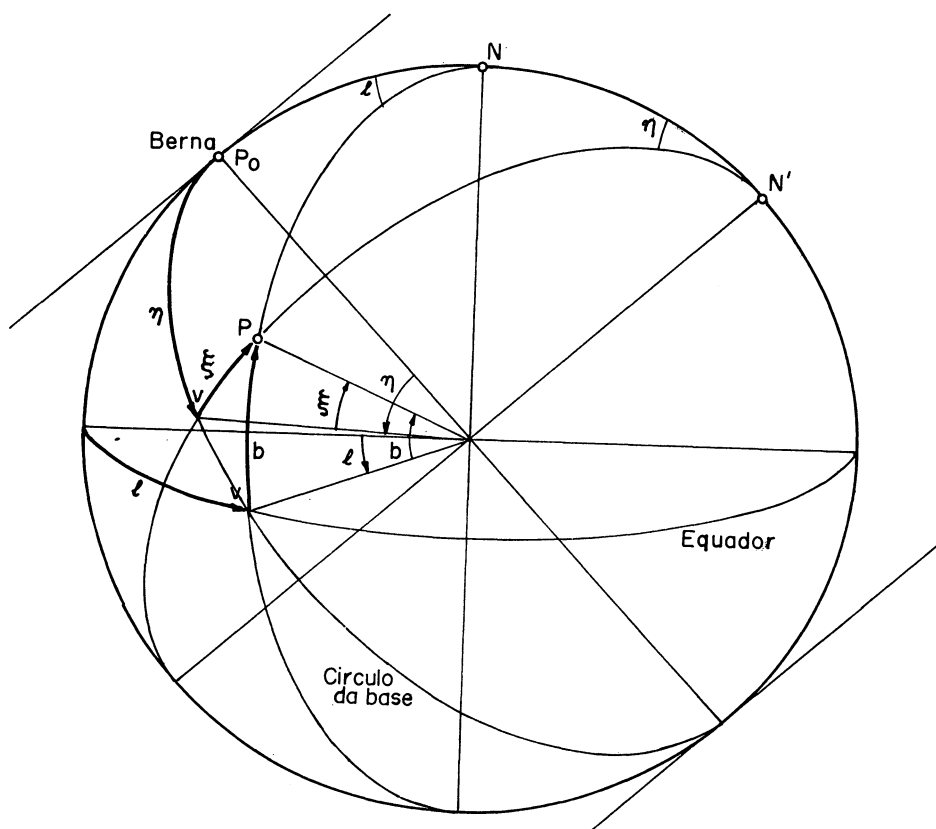


Figura. 02 construção de um novo sistema cilíndrico oblíquo.

Na figura 02, ξ e η representam as coordenadas deslocadas, N o polo Norte e N' o polo Norte deslocado.

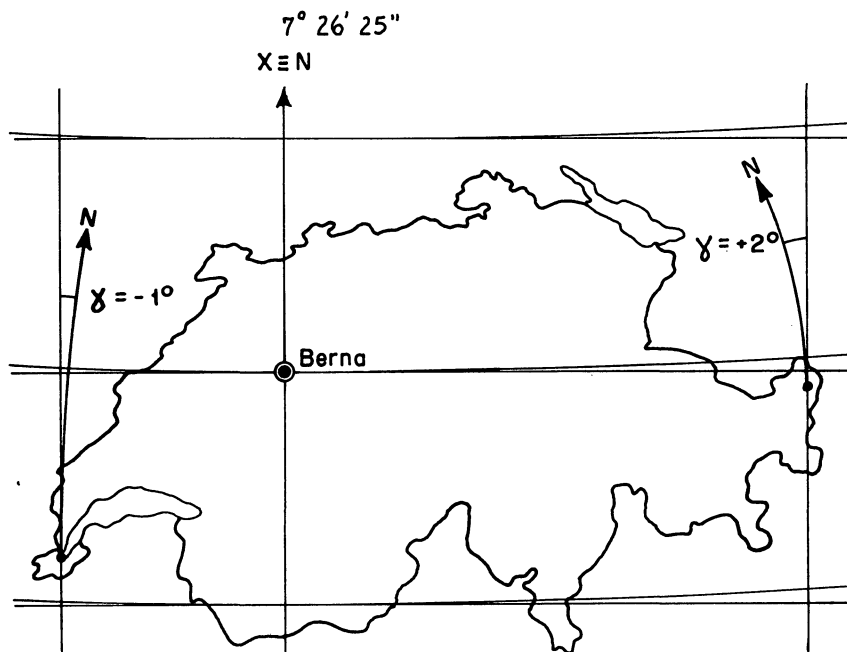


Figura 03: Território da Suíça com seu ponto central do sistema de projeção e variação da convergência de meridiano.

Para calcular a convergência (γ) em função das coordenadas planas temos:

$$\text{Tg } \gamma = \frac{\text{sen} \frac{Y}{R} \text{ ch} \frac{X}{R}}{\text{cotg } b_0 \text{ sh} \frac{X}{R} \text{ cos} \frac{Y}{R}}$$

onde:

γ representa a convergência de meridianos.

X e Y são as coordenadas planas.

$R = (MN)^{1/2}$ (raio médio de curvatura)

M = raio de curvatura da seção meridiana

N = grande normal

$b_0 = 46^\circ 54' 27,833''$

O sistema geodésico Suíço usa como modelo terrestre o elipsóide de Bessel (1841), cujos parâmetros e outros elementos derivados apresentam-se a seguir:

a = 6.377.397,155 m (semi-eixo maior do elipsóide)

$b = 6.356.078,963$ m (semi-eixo menor)

$e^2 = 0,0066743722$ (primeira excentricidade ao quadrado)

$e'^2 = 0,0067192188$ (segunda excentricidade ao quadrado)

$f = 1/299,1528153$ (achatamento do elipsóide)

Origem: meridiano central passante pela luneta do observatório de Berna, cujas coordenadas geográficas (B_0, L_0), são:

$B_0 = 46^{\circ} 57'08,660''$ (Norte)

$L_0 = 07^{\circ} 26' 22,335''$

Parâmetros de projeção:

$R = 6.378.815,904$ m

$\alpha = 1,0007291384$

$b_0 = 46^{\circ} 54' 27,833''$

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

Nos E.U.A. são utilizados quatro tipos diferentes de projeções cartográficas 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.

O sistema cartográfico do Estado do Alasca está dividido em nove fusos, sendo os de numeração de 2 a 9 organizados na projeção transversa de Mercator. O fuso I deste sistema está na projeção Obliqua de Mercator. Os sistema de coordenadas planas para Porto Rico, Ilhas Virgin, St. Croix e Américam Samoa são calculadas na projeção Cônica Conforme de Lambert. O sistema de coordenadas planas para Guan é baseado em uma projeção azimutal equidistante aproximada (CLAIRE-1973).

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 origem deste sistema está na interseção do meridiano central com o paralelo-padrão de cada zona, atribuindo a coordenada $X = 608.000,00$ metros (2.000.000 pés) e a $Y = 0,00$ metros.

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) À 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 $1/10.000$.

As tabelas 01 e 02 apresentam a configuração dos sistemas de projeção adotados em todos os Estados americanos, com suas projeções cartográficas, seus meridianos ou paralelos centrais, coeficientes de distorção linear e coordenadas do ponto origem.

Tabela 01: Projeção Transversa de Mercator

Estado/ Zona	Meridiano central		Origem			
	Longitude (° ')	A (1)	Latitude (° ')	Longitude (° ')	X (metros)	Y (metros)
Alabama						
Este	85 50	1/25000	30 30	85 50	152000	0
Oeste	87 30	1/15000	30 00	87 30	152000	0
Alaska						
zona 2	142 00	1/10000	54 00	142 00	152000	0
zona3	146 00	1/10000	54 00	146 00	152000	0
zona 4	150 00	1/10000	54 00	150 00	152000	0
zona 5	154 00	1/10000	54 00	154 00	152000	0
zona 6	158 00	1/10000	54 00	158 00	152000	0
zona 7	162 00	1/10000	54 00	162 00	212800	0
zona 8	166 00	1/10000	54 00	166 00	152000	0
zona 9	170 00	1/10000	54 00	170 00	182400	0
Arizona						
Este	110 10	1/10000	31 00	110 10	152000	0
Central	111 15	1/10000	31 00	111 55	152000	0
Oeste	113 45	1/15000	31 00	113 45	152000	0
Delaware	75 25	1/200000	38 00	75 25	152000	0
Flórida						
Este	81 00	1/17000	24 20	81 00	152000	0
Oeste	82 00	1/17000	24 20	82 00	152000	0
Georgia						
Este	82 10	1/10000	30 00	82 10	152000	0
Oeste	84 10	1/10000	30 00	84 10	152000	0
Hawai						
zona 1	155 30	1/30000	18 50	155 30	152000	0
zona 2	156 40	1/30000	20 20	156 40	152000	0
zona 3	158 00	1/100000	21 10	158 00	152000	0
zona 4	159 30	1/100000	21 50	159 30	152000	0
zona 5	160 10	Exato	21 40	160 10	152000	0
Idaho						
Este	112 10	1/19000	41 40	112 10	152000	0
Central	114 00	1/19000	41 40	114 00	152000	0
Oeste2	115 45	1/15000	41 40	115 45	152000	0
Illinois						
Este	88 20	1/40000	36 40	88 20	152000	0
Oeste	90 10	1/17000	36 40	90 10	152000	0
Indiana						
Este	85 40	1/30000	37 30	85 40	152000	0
Oeste	87 05	1/30000	37 30	87 05	152000	0
Maine						
Este	68 30	1/10000	43 50	68 30	152000	0
Oeste	70 10	1/30000	42 50	70 10	152000	0

Tabela 01: Projeção Transversa de Mercator (continuação)

Estado/ Zona	Meridiano central		Origem			
	Longitude (° ')	A (1)	Latitude (° ')	Longitude (° ')	X (metros)	Y (metros)
Michigan						
Este	83 40	1/17500	41 30	83 40	152000	0
Central	85 45	1/11000	41 30	85 45	152000	0
Oeste	88 45	1/11000	41 30	88 45	152000	0
Mississippi						
Este	88 50	1/25000	29 40	88 50	152000	0
Oeste	90 20	1/17000	30 30	90 20	152000	0
Missouri						
Este	90 30	1/15000	35 30	90 30	152000	0
Central	92 30	1/15000	35 50	92 30	152000	0
oeste	94 30	1/17000	36 10	94 30	152000	0
Nevada						
Este	115 35	1/10000	34 45	115 35	152000	0
Central	116 40	1/10000	34 45	116 40	152000	0
Oeste	118 35	1/10000	34 45	118 35	152000	0
New Jersey	74 40	1/40000	38 50	74 40	608000	0
New México						
Este	104 20	1/11000	31 00	104 20	152000	0
Central	106 15	1/10000	31 00	106 15	152000	0
Oeste	107 15	1/12000	31 00	107 50	152000	0
New York						
Este	74 20	1/30000	40 00	74 20	152000	0
Central	76 35	1/16000	40 00	76 35	152000	0
Oeste	78 35	1/16000	40 00	78 35	152000	0
Rhode Island	71 30	1/16000	41 05	71 30	152000	0
Velmont	72 30	1/28000	42 30	72 30	152000	0
Wyoming						
Zone I	105 10	1/17000	40 40	105 10	152000	0
Zona II	107 20	1/17000	40 40	107 20	152000	0
Zona III	108 45	1/17000	40 40	108 45	152000	0
Zona IV	110 05	1/17000	40 40	110 05	152000	0

Tabela 02: Projeção Cônica de Lambert/E.U.A.

Estado/ Zona	Paralelo central do fuso		Origem			
	Latitude (° ')	A (1)	Latitude (° ')	Longitude (° ')	X (metros)	Y (metros)
Alaska Zona 10	52 50	1/6600	51 00	176 00	912000	0
Arkansas Norte	35 35	1/15600	34 20	92 00	608000	0
Sul	34 02	1/12300	32 40	92 00	608000	0
Califórnia Zona 1	40 50	1/9500	39 20	122 00	608000	0
Zona 2	39 05	1/11700	37 40	122 00	608000	0
Zona 3	37 45	1/14100	36 30	120 30	608000	0
Zona 4	36 37,5	1/16000	35 20	119 00	608000	0
Zona 5	34 45	1/12800	33 30	118 00	608000	0
Zona 6	33 20	1/21800	32 10	116 15	608000	0
Zona 7	34 08,5	1/87300	34 08	118 20	*	*
Colorado Norte	40 15	1/23200	39 20	105 30	608000	0
Central	39 06	1/15600	37 50	105 30	608000	0
Sul	37 50	1/18300	36 40	105 30	608000	0
Flórida Norte	30 10	1/19400	29 00	84 30	608000	0
Iowa Norte	42 40	1/18000	41 30	93 30	608000	0
Sul	41 12	1/19400	40 00	93 30	608000	0
Kansas Norte	39 15	1/23200	38 20	98 00	608000	0
Sul	37 55	1/15600	36 40	98 30	608000	0
Kentucky Norte	38 28	1/26400	37 30	84 15	608000	0
Sul	37 20	1/18300	36 20	85 45	608000	0
Lousiana Norte	31 55	1/11700	30 40	92 30	608000	0
Sul	30 00	1/13500	28 40	91 20	608000	0
Off Shore	27 00	1/9500	25 40	91 20	608000	0
Maryland	38 52	1/19900	37 50	77 00	243200	0
Massachu setts	42 12	1/28200	41 00	71 30	182400	0
Mainland Island	41 23	1/660000	41 00	70 30	608000	0

Tabela 02: Projeção Cônica de Lambert (continuação)

Estado/ Zona	Paralelo central do fuso		Origem			
	Latitude (° ')	A (1)	Latitude (° ')	Longitude (° ')	X (metros)	Y (metros)
Michigan						
Norte	46 17	1/10300	44 47	87 00	608000	0
Central	44 57	1/11500	43 19	84 20	608000	0
Sul	42 53	1/10700	41 30	84 20	608000	0
Tennessee	35 50	1/19400	34 40	86 00	608000	* *
Texas						
Norte	35 25	1/11200	34 00	101 30	608000	0
Central	33 03	1/7800	31 40	97 30	608000	0
Sul	29 20	1/7300	27 50	99 00	608000	0
Utah						
Norte	41 15	1/23000	40 20	111 30	608000	0
Central	39 50	1/9900	38 20	111 30	608000	0
Sul	37 47	1/20500	36 40	111 30	608000	0
Virginia						
Norte	38 37	1/19400	37 40	78 30	608000	0
Sul	37 22	1/18300	36 20	78 30	608000	0
Washington						
Norte	48 07	1/17300	47 00	120 50	608000	0
Sul	46 35	1/11700	45 20	120 30	608000	0
West Virginia						
Norte	46 10	1/18300	45 10	90 00	608000	0
Central	44 52.5	1/16900	43 50	90 00	608000	0
Sul	43 24	1/14800	42 00	90 00	608000	0

* Califórnia zona 07 X = 127275,4544 m

Y = 126492,1728 m

** Y = 30400 metros.

A(1) representa a distorção linear relativa no meridiano ou paralelo origem, referente a K_0 , sendo:

$$K_0 = 1 - A \quad (2.5)$$

2.4 - Projeções cartográficas utilizadas no Brasil.

Historicamente, no Brasil a Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) era o grande responsável pela cartografia sistemática nacional, e em 1900 ela adotou a projeção poliédrica, no qual pequenos quadriláteros esféricos são projetados sobre um plano tangente com contornos idênticos, para as folhas da carta topográfica em escala 1/100.000, formato 30'X30'.

Em 1932 a DSG adotou a projeção conforme de Gauss, com fusos de 3 graus de abrangência. Nesta projeção foram confeccionadas cartas topográficas na escala 1/50.000 no formato 10'X10'.

Em 1943 a DSG ampliou o tamanho do fuso, passando da projeção conforme de Gauss de 3 para 6 graus de amplitude, e introduzindo o cilindro secante ao invés de tangente, com $k_0=0,999333$.

Em 1951 a União Geodésica e Geofísica Internacional, numa tentativa de padronização mundial recomendou a projeção UTM. Esta projeção foi adotada pela Associação Internacional de Geodésia, e pelo Instituto Panamericano de Geografia e História.

Em 1955 A DSG resolve adotar a projeção UTM (Universal Transverse de Mercator) conforme de Gauss, cilindro secante, amplitude de 6 graus.

Atualmente, as Normas Cartográficas Brasileiras prescrevem o Sistema UTM para as cartas gerais nas escalas entre 1/250.000 e 1/25.000 da cartografia sistemática terrestre. A cartografia náutica utiliza o sistema de projeção de Lambert, também usado pelo Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 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 Vôo 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 engenharia, 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 finalidade cadastrais (variação de escalas de 1/10.000 até 1/500).

BARTOLOMEI (1981), apresenta um estudo sobre a utilização da projeção UTM no Brasil para grandes escalas, levando em consideração a amplitude do fuso de 6 graus. Ele conclui que esta distorção torna-se irrelevante diante da deformação do papel em que está impressa a carta, pois os técnicos trabalham com bases instáveis, tais como cópias heliográficas, e que apresentam muitas vezes deformações de até 2 mm. Acrescenta-se a isso o erro gráfico de 0,2 mm.

Nos seus estudos, ele apresenta ainda um erro máximo de 0,82mm para um caso extremo de uma carta na escala 1/10.000, situada no final do fuso, para dois pontos colocados nos extremos de uma diagonal. Neste caso ele apresenta a solução de

aplicação do fator de deformação de escala (K), não havendo desvantagem notável em relação a outras projeções com fusos menores, já que esta deformação seria corrigida.

ERWES (1975) 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.

CARVALHO (1984) apresenta como sugestão para levantamentos de detalhes dos aeroportos a projeção LTM (Local Transverse de Mercator), com fusos de 1 grau de amplitude e variação do coeficiente de deformação linear. A cartografia aeronáutica acolheu a idéia, expedindo Norma de Cartografia Aeronáutica para utilização do sistema LTM nas cartas em escalas 1/2000.

2.5 A PROJEÇÃO UTM.

Para trabalhos cartográficos urbanos, analógicos ou digitais, cujas escalas variam de 1/10.000 até 1/500, a projeção mais utilizada no Brasil é a U.T.M.. Porto Alegre apresenta-se com uma realidade diferente por utilizar também a projeção GAUSS-KRUGUER.

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.
- 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 metros para o hemisfério Sul.

7) Leste falso (E) = 500.000 metros

8) Fator de escala para o meridiano central (K₀) = 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.

Como a projeção UTM é derivada da Transversa de Mercator (TM), apresenta-se abaixo as fórmulas gerais para conversão das coordenadas geográficas em coordenadas TM apresentadas, por BLACHUT et alii. (1979).

Formula geral (até e¹⁰) para calcular a longitude do arco de meridiano do Equador a qualquer latitude.

$$B = A_0 C \varphi - A_1 C \operatorname{sen} \varphi \cos \varphi (1 + A_2 \operatorname{sen}^2 \varphi + A_4 \operatorname{sen}^4 \varphi + A_6 \operatorname{sen}^6 \varphi + A_8 \operatorname{sen}^8 \varphi) \quad (2.1)$$

onde:

B representa o arco de meridiano que vai do ponto ao equador

φ representa a latitude geográfica do ponto.

$$A_0 = 1 - 3 e^{-2} \{1 - 15/16 e^{-2} [1 - 35/36 e^{-2} (1 - 63/64 e^{-2} (1 - 99/100 e^{-2}))]\}$$

$$A_1 = 3/4 e^{-2} \{1 - 25/16 e^{-2} [1 - 77/60 e^{-2} (1 - 837/704 e^{-2} (1 - 2123/1860 e^{-2}))]\}$$

$$A_2 = 5/8 e^{-2} (1 - 139/144 e^{-2} (1 - 1087/1112 e^{-2} (1 - 513427/521760 e^{-2})))$$

$$A_4 = 35/72 e^{-4} (1 - 125/64 e^{-2} (1 - 221069/150000 e^{-2}))$$

$$A_6 = 105/256 e^{-6} (1 - 1179/400 e^{-2})$$

$$A_8 = 231/640 e^{-8}$$

Para o elipsóide UGGL- 1967 as constantes assumem os seguintes valores:

$$a = 6378160,000 \text{ m (semi-eixo maior)}$$

$e = 0,0818201803$ (primeira excentricidade)

$b = 6356774,719$ m (semi-eixo menor)

$b = a(1 - f) = 6356774,719$

$f = \text{achatamento} = 1/298,25$

$c = (a^2 - b^2)^{1/2} = 521862,2016$ m

$e^2 = (a^2 - b^2)/b^2 = 0,006739661$ (segunda excentricidade ao quadrado)

sendo assim:

$A_0 = 0,994976985$

$A_1 = 0,005001972$

$A_2 = 0,004185064$

$A_4 = 0,00002179287$

$A_6 = 0,0000001230692$

$A_8 = 0,0000000007447048$

De posse do valor de B, pode-se agora efetuar as transformações de coordenadas geográficas para coordenadas TM (φ e $\lambda \rightarrow X, Y$), como segue:

$$X = B + (a_2 \Delta\lambda^2 + a_4 \Delta\lambda^4 + a_6 \Delta\lambda^6 + \dots) \quad (2.2)$$

$$Y = a_1 \Delta\lambda + a_3 \Delta\lambda^3 + a_5 \Delta\lambda^5 \dots \quad (2.3)$$

onde:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \quad (2.4)$$

$\lambda_0 = \text{Meridiano Central.}$

$$a_1 = P = N \cos \varphi = c [(1/\cos \varphi)^2 + e^2]^{-1/2} \quad (2.5)$$

$$a_2 = 1/2 a_1 \sin \varphi \quad (2.6)$$

$$a_3 = 1/6 a_1 (-1 + 2 \cos^2 \varphi + e^2 \cos^4 \varphi) \quad (2.7)$$

$$a_4 = 1/12 a_2 (-1 + 6 \cos^2 \varphi + 9 e^2 \cos^4 \varphi + 4 e^4 \cos^6 \varphi) \quad (2.8)$$

$$a_5 = 1/120 a_1 [1 - 20 \cos^2 \varphi + (24 - 58 e'^2) \cos^4 \varphi + 72 e'^2 \cos^6 \varphi + \dots] \quad (2.9)$$

$$a_6 = 1/360 a_2 [1 - 60 \cos^2 \varphi + 120 \cos^4 \varphi + \dots] \quad (2.10)$$

Estas formulações são função da latitude (φ). Se a diferença de longitude ($\Delta\lambda$) está no intervalo $\pm 3^\circ 30'$, três termos de desenvolvimentos são suficientes para calcular X e Y com exatidão de 0,3 mm, a partir de coordenadas geográficas.

Pode-se converter as coordenadas TM (X,Y) em coordenadas geográficas (φ , λ), aplicando as fórmulas gerais como seguem:

$$\varphi = \varphi_1 + b_2 y^2 + b_4 y^4 + b_6 y^6 + \dots \quad (2.11)$$

$$\lambda = \lambda_0 + b_1 y + b_2 y^3 + b_5 y^5 + \dots \quad (2.12)$$

Onde:

λ_0 é a longitude do Meridiano Central.

φ_1 é a latitude correspondente ao ponto de meridiano central cuja longitude retificada desde o equador $B=X$; ambos os valores medidos em radianos e os coeficientes são:

$$b_1 = C^{-1} [(1 / \cos \varphi_1)^2 + e'^2]^{1/2} \quad (2.13)$$

$$b_2 = -1/2 b_1^2 \operatorname{sen} \varphi_1 \cos \varphi_1 (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1) \quad (2.14)$$

$$b_3 = -1/6 b_1^3 (2 - \cos^2 \varphi_1 + e'^2 \cos^4 \varphi_1) \quad (2.15)$$

$$b_4 = -1/12 b_1^2 b_2 [3 + (2 - 9e'^2) \cos^2 \varphi_1 + 10e'^2 \cos^4 \varphi_1 - 4e'^4 \cos^6 \varphi_1] \quad (2.16)$$

$$b_5 = 1/120 b_1^5 [24 - 20 \cos^2 \varphi_1 + (1 + 8e'^2) \cos^4 \varphi_1 - 2e'^2 \cos^6 \varphi_1 + \dots] \quad (2.17)$$

$$b_6 = 1/360 b_1^4 b_2 (45 + 16 \cos^4 \varphi_1 + \dots) \quad (2.18)$$

Para o cálculo de φ_1 , que corresponde a uma longitude dada $B = X$ de um arco de meridiano, pode ser expressa em aproximações sucessivas $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$, onde:

$$\varphi_1 = X / A_0 C \quad (2.19)$$

partindo-se de B_0 e obtendo-se uma função aproximada de B para ϕ aproximada.

$$\phi_2 = \phi_1 + (X - B(1)) / A_0 C \quad (2.20)$$

$$\phi_1 = \phi_n \text{ quando } B_n = X$$

Transformando as coordenadas TM (X,Y) em coordenadas UTM (N,E) e vice-versa, temos:

Para o hemisfério norte (metros):

$$N = 0,9996 X \quad (2.21)$$

$$E = 500.000 + 0,9996 Y \quad (2.22)$$

$$X = N / 0,9996 \quad (2.23)$$

$$Y = (E - 500.000) / 0,9996 \quad (2.24)$$

Para o hemisfério sul (metros):

$$N = 10.000.000 + 0,9996 X \quad (2.25)$$

$$E = 500.000 + 0,9996 Y \quad (2.26)$$

$$X = (N - 10.000.000) / 0,9996 \quad (2.27)$$

$$Y = (E - 500.000) / 0,9996 \quad (2.28)$$

A deformação linear, como se mantém constante em torno de um ponto, atua como uma verdadeira variação de escala que cresce do Meridiano Central para as bordas do fuso, na projeção T.M..

O artifício de utilizar uma superfície secante ao cilindro, como na projeção U.T.M. é utilizado para distribuir as distorções lineares dentro de um fuso. As reduções e ampliações máximas ocorrem no Meridiano Central e nas bordas do fuso respectivamente.

O coeficiente de deformação de escala ou coeficiente de deformação linear ou ainda fator ou módulo de deformação linear (K), pode ser definido como a razão entre a

distância obtida na medição do mapa e a distância medida no terreno, corrigida ao horizonte e do fator da altitude.

O coeficiente de deformação linear pode ser calculado a partir das coordenadas geográficas (φ, λ) , aplicando a fórmula geral (Blachut et alii (1980), como segue:

$$K = K_0 (1 + a_8 \Delta\lambda^2 + a_{10} \Delta\lambda^4 + \dots), \text{ onde} \quad (2.29)$$

$$a_8 = 1/2 \cos^2 \varphi (1 + e'^2 \cos^2 \varphi) \quad (2.30)$$

$$a_{10} = 1/24 \cos^2 \varphi [-4 + (9 - 28 e'^2) \cos^2 \varphi + 42 e'^2 \cos^4 \varphi + \dots] \quad (2.31)$$

alternativamente, a partir das coordenadas U.T.M, temos:

$$K = K_0 (1 + b_8 Y^2 + b_{10} Y^4 + \dots) \quad (2.32)$$

$$\text{onde } Y = (E - Y') / K_0 \quad (2.33)$$

$Y' = 500.000$ metros.

$$Y = (E - 500.000) / 0,9996 \quad (2.34)$$

$$b_8 = 1/2 C - 2 (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1)^2 \quad (2.35)$$

$$b_{10} = 1/24 R_1^{-4} (1 + 4e'^2 \cos^2 \varphi_1 + \dots) \quad (2.36)$$

O valor de K varia com a posição do ponto dentro do fuso, logo $K = f(\varphi, \lambda)$.

A figura 04 representa um fuso, onde:

$K=1$ para as interseções do cilindro secante com o Elipsóide (linha B e D)

$K>1$ entre as linhas A e B e as linhas D e E, nestes setores há uma ampliação dos valores das medições lineares.

$K<1$... Entre as linhas B e D, neste intervalo há uma redução dos valores das medições lineares.

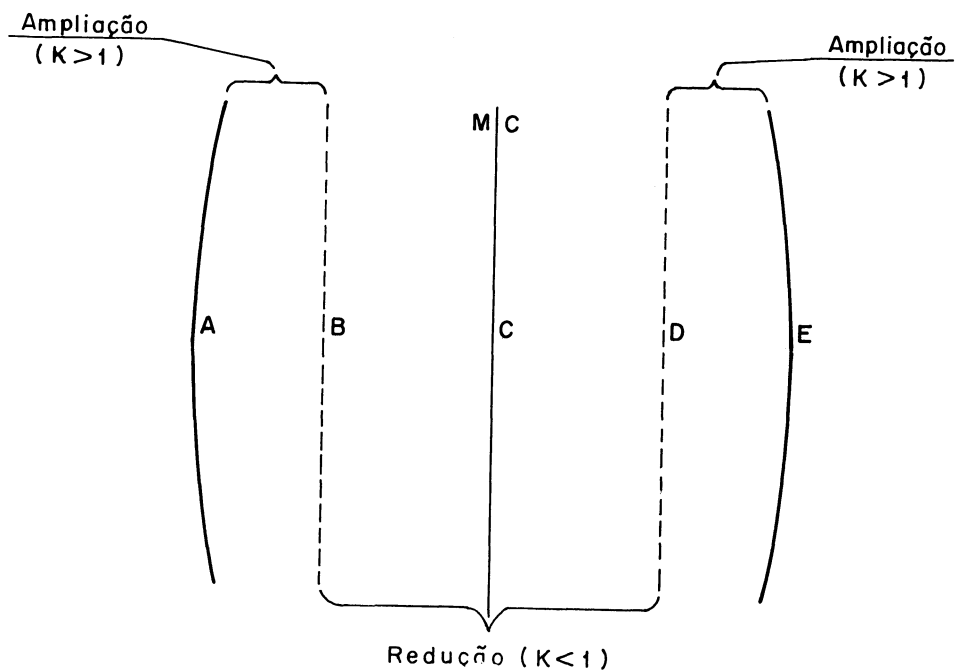


Figura 04. Variação de K dentro do fuso

A seguir apresenta-se alguns valores notáveis de K, aplicando-se em 2.29, variando a latitude e a longitude dentro do fuso.

1) Para $\lambda_0 = \lambda$ ou seja, no meridiano central do fuso ($\Delta\lambda = 0$), temos:

$$\Delta\lambda = 0^\circ$$

$$K = K_0 = 0,9996$$

Haverá uma diminuição de um metro para cada 2500 metros, ao longo do meridiano central.

$$K_0 = 1 - 1 / 2500$$

2) Para $\Delta\lambda = 3^\circ$ e $\varphi = 0^\circ$ (equador)

$$K = 0,9996 \times 1,001381612 = 1,000981059$$

Ou seja, haverá uma ampliação de 1 metro a cada 1020 metros medidos.

$$K = 1 + 1 / 1020$$

Na figura 05 apresenta-se os valores de K para o Equador.

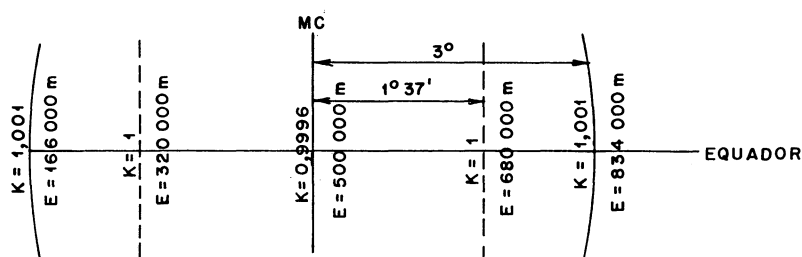


Figura 05. valores de K dentro do fuso, no equador.

Para os extremos do fuso ($\Delta\lambda = 3^\circ$ graus), tem-se que:

$K \cong 1 + 1/1019$, ou seja, a ampliação é máxima nos extremos do fuso e no equador onde o aumento é de 1 metro para cada 1019 metros.

2.6 A PROJEÇÃO UTM NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma variação na região de dimensões elevadas, limitado aproximadamente pelos paralelos 27° Sul (Iraí) e 34° Sul (Chuí), e pelos meridianos 49° Oeste e 58° Oeste, conforme a fig. 06.

Desta forma, pode-se observar que o Estado contempla 2 fusos UTM, de meridianos central 51° e 58° Oeste. Com isto a variação da longitude é total, com $\Delta\lambda$ variando de zero (no meridiano central), até $\Delta\lambda = 3^\circ$ no final dos fusos.

A Tabela 03 apresenta os valores do coeficiente de distorção linear para o Rio Grande do Sul com variação da latitude e longitude de 1 em 1 grau, do ponto mais ao Norte até o ponto mais ao Sul.(fig.06).

Tabela 03: COEFICIENTES DE DISTORÇÃO LINEAR PARA O RS.

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

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. Desta forma tem-se as seguintes distorções lineares:

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

Com estes valores de K pode-se analisar a deformação linear devido à projeção cartográfica adotada para as cartas urbanas nas escalas mais utilizadas.

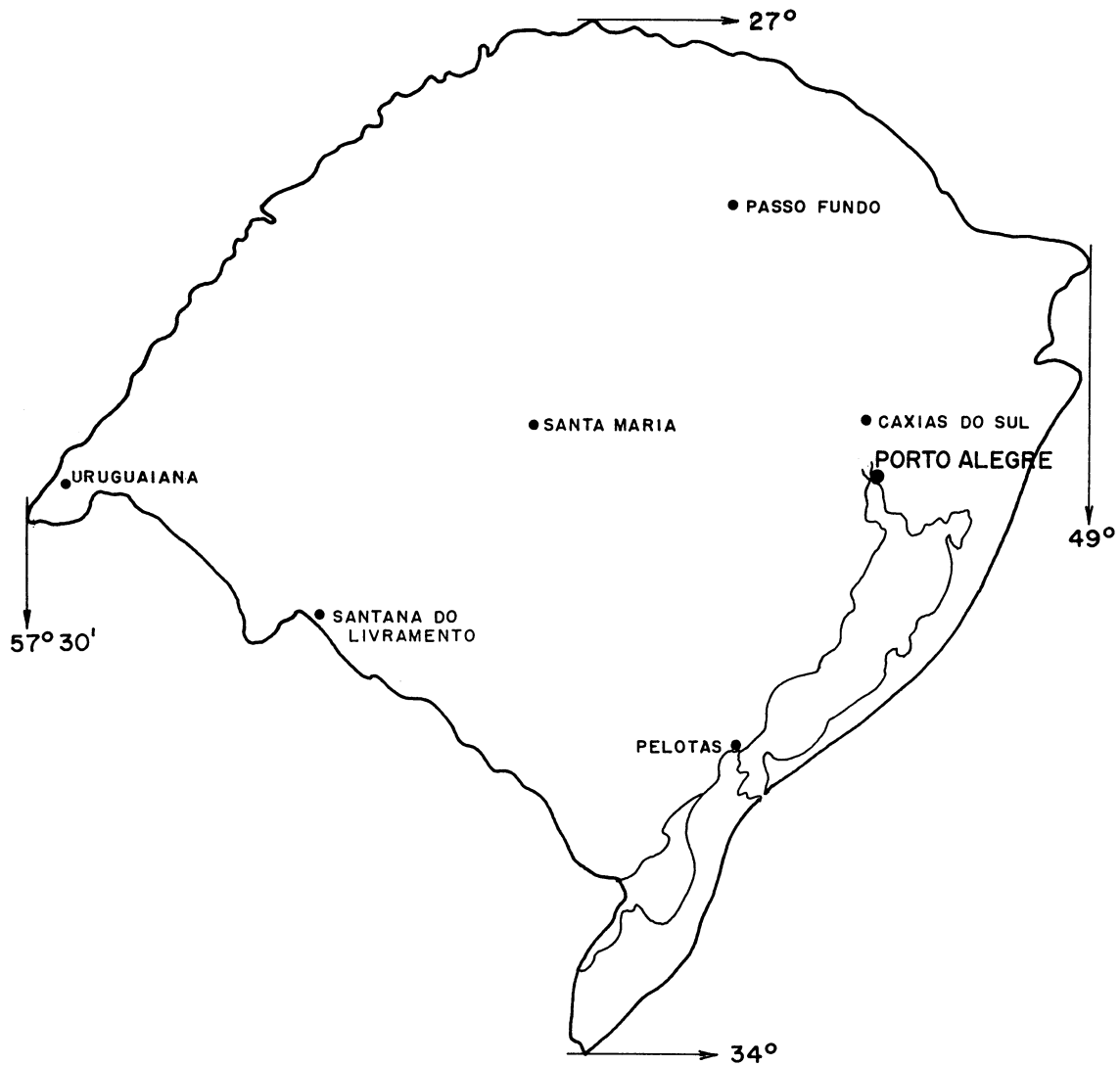


Figura 06. Latitudes e longitudes limitantes do estado do Rio Grande do Sul

Analisando a Figura 07 temos:

d_{max} = maior dimensão de uma folha = 790 mm

Δd_{max} = deformação devido aos sistemas de projeção

$\Delta d_{max} = d_{max} - d_{max}/K_{max} = 790\text{mm} - 790/1,00069442 = 0,5482 \text{ mm}$

Este valor corresponde a máxima distorção linear observada em uma carta quando não se efetua a correção do fator de escala.

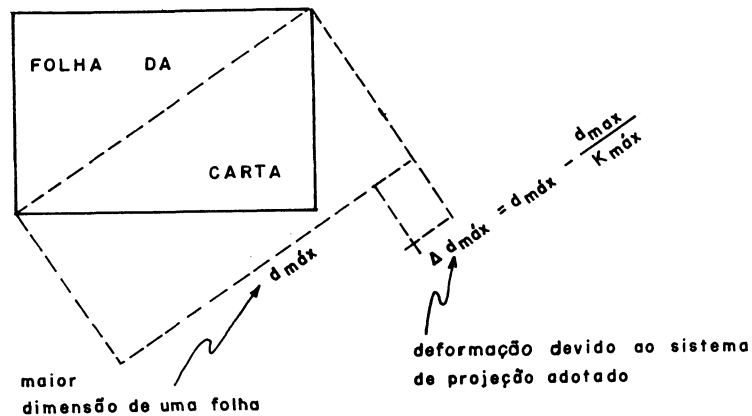


Figura 7. Dimensões de uma carta formato A1 ABNT

A Tabela 04 apresenta as deformações máximas das medidas extraídas das cartas sem se efetuar as devidas correções de distorção da projeção UTM., assim como seus respectivos valores no terreno.

TABELA 04. VALORES COMPARATIVOS DAS DISTORÇÕES MÁXIMAS

Escala das Cartas	1/10.000	1/5.000	1/2.000	1/1.000	1/500
$d_{\text{máx}}$	790 mm	790 mm	790 mm	790 mm	790 mm
$Dd_{\text{máx}} (\varphi=27^\circ \text{ S})$	0,55 mm	0,55 mm	0,55 mm	0,55 mm	0,55 mm
Correspondente no terreno de $Dd_{\text{máx}}$	5,5 m	2,75 m	1,1 m	0,55 m	0,275 m
$Dd_{\text{máx}} (\varphi=34^\circ \text{ S})$	0,43 mm	0,43 mm	0,43 mm	0,43 mm	0,43 mm
Correspondente no terreno	4,3 m	2,15 m	0,86 m	0,43 m	0,21 m

Para os dados extremos de variação da latitude (27° S a 34° S), meridiano limite do fuso UTM ($\Delta\lambda = 3^\circ$) e maior dimensão de uma folha (790 mm) tem-se as discrepâncias apresentadas na Tabela 04.

Para o meridiano central do fuso, $\Delta\lambda 0^\circ$, tem-se $K = 0,9996$ que conduz aos seguintes dados:

$$\Delta d_{\max} = d_{\max} - d_{\max}/K_{\max} = 790\text{mm} - 790/0,9996 = -0,313 \text{ mm}$$

que corresponde a uma distorção de redução máxima de escala para uma região situada no meridiano central do fuso U.T.M.

A Tabela 05 apresenta as deformações máximas das medidas extraídas das cartas no meridiano central, sem se efetuar as devidas correções de distorção da projeção U.T.M., assim como seus respectivos valores no terreno.

TABELA 05. DISTORÇÃO MÁXIMA NO MERIDIANO CENTRAL DO FUSO.

escala da carta	1/10000	1/5000	1/2000	1/1000	1/500
dmax	790m	790mm	790mm	790mmm	790 mm
Ddmax (DL=0)	0,32mm	0,32mm	0,32mm	0,32mm	0,32mm
corres pondenteno terreno	3,2 m	1,6m	0,64m	0,32m	0,16m

Numa avaliação para a Região Metropolitana de Porto Alegre localizada no meridiano central do fuso ($\lambda_o=51^\circ$ 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.

Comparando-se a necessidade cadastral de delimitação da propriedade de $\pm 10\text{cm}$ para regiões urbanas com a distorção causada pela utilização da projeção U.T.M nestas cartas, sem a correção do fator K, chega-se à conclusão que esta distorção supera a tolerância cadastral. Nota-se que esta distorção constitui apenas em um dos componentes básicos na composição da precisão final da carta, fato que prejudica ainda mais a utilização desta projeção.

3 - Estudos das precisões cadastrais e identificação da melhor projeção.

3.1 - Cadastro

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).

O propósito do cadastro físico e fiscal é determinar a localização, tamanho, tipo e uso geral dos bens imóveis e registrar os dados pertinentes a seu valor e direito de propriedade. Os bens imóveis podem consistir em uma parcela da terra, com ou sem edificação, ou partes de um edifício, 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 solicita 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.

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 6:

Tabela 06. NÍVEIS DISTINTOS DE PRECISÃO.

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

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 na tabela 07: Sendo estes valores a diferença de posicionamento obtido por 2 processos distintos de levantamentos, independente de traçados.

Tabela 07 : DIFERENTES GRAUS DE PRECISÃO

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

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) $\pm 3,00$ cm de erro máximo nas regiões urbanas.
- 2) $\pm 9,00$ 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.

Para se chegar a um valor criterioso a respeito da delimitação das propriedades em áreas urbanas, alguns fatores terão que ser analisados, principalmente o tipo de divisa apresentado, assim como o erro de posicionamento que esta divisa acarreta.

BLACHUT et alii. (1979) apresenta a Tabela 08 sobre os erros de identificação em planimetria para as diversas divisas de propriedades:

Tabela 08 : ERRO DE IDENTIFICAÇÃO EM PLANIMETRIA.

Tipo de divisas	Erro de Identificação
Arestas definidas de edificios	± 1 a 2 cm
Limites de monumentos de concreto	± 1 cm
Meio-fio de calçadas	± 1 a 2 cm
Cercas permanentes	± 2 cm
Postes	± 5 cm
cercas de madeira	+/- 5 cm
árvores	± 5 a 7 cm
Arestas de terraplanagem ou dique	± 10 a 15 cm

Analisando as necessidades cadastrais dos municípios brasileiros, a cultura instalada sobre a demarcação de loteamentos e parcelamento de propriedades urbanas no Estado do Rio Grande do Sul, e comparando com os dados apresentados na Tabela 04, pode-se tecer algumas considerações:

1) Em um loteamento ou desmembramento de uma gleba, a demarcação dos lotes é feita por estacas de madeira.

2) Numa primeira monumentalização, as estacas de madeira são substituídas por cercas de madeira ou madeira com arame, numa divisa provisória.

3) Finalmente as cercas de madeira ou madeira com arame são substituídas por muros permanentes de alvenaria.

Somando-se os erros posicionais ocorridos nas três etapas de demarcação das propriedades urbanas chega-se a um valor de ± 10 cm como erro máximo na delimitação de uma propriedade. Este valor torna-se suficientemente adequado para dirimir qualquer disputa de partilha legal da propriedade.

Este valor confunde-se com o erro máximo tolerável na extração de uma distância direta da carta cadastral (1/500) em comparação com a medida efetuada no terreno.

Na composição do erro total na elaboração de uma carta, o somatório dos erros de cada etapa (aquisição da informação superficial, processamento e edição) não deve ultrapassar o valor de 10cm. Neste processo de elaboração de cartas cadastrais as projeções cartográficas utilizadas no Brasil para levantamentos cadastrais, necessitam ser analisadas.

3.2 - 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 1/5000, armazenadas em meio magnético ou digital, a sua distorção terá que ser menor que a resolução no terreno para esta finalidade, que é de 10 cm como apresentado neste capítulo.

Para um caso extremo no qual se tem uma diagonal de uma carta formato A1, medindo 790 mm, para se ter uma distorção linear menor que 10 cm, tem-se como erro linear máximo, sem correção do fator de escala igual a:

1/2000 0,1 m = 1580 m, correspondendo a um erro relativo de 1/15800

1/1000 0,1m = 790m, correspondendo a um erro relativo de 1/7900

1/500 0,1m = 395m, correspondendo a um erro relativo de 1/3950

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 Coordinator 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 graus 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.

Variando o valor do coeficiente de distorção linear K_0 , os erros relativos apresentam os seguintes comportamentos, no meridiano central e no final do fuso, como apresentado na Tabela 09.

Tabela 09: ERROS RELATIVOS PARA A VARIAÇÃO DO FATOR DE ESCALA K_0 . ($p/\varphi = 30^\circ$).

φ	0,999995		0,99992		0,99994	
	MC	1°	MC	1°	MC	1°
30°	$(200000)^{-1}$	$(9100)^{-1}$	$(12500)^{-1}$	$(28729)^{-1}$	$(16670)^{-1}$	$(18200)^{-1}$
φ	0,99995		0,99996			
	MC	1°	MC	1°		
30°	$(20000)^{-1}$	$(15400)^{-1}$	$(25000)^{-1}$	$(13300)^{-1}$		

Os valores apresentados na Tabela 09 apontam para um valor ideal de K_0 no intervalo, $0,99994 < K_0 < 0,99995$.

Apresentando a distorção para toda a variação em latitude no RS e variando o valor de K_0 neste intervalo, chega-se à Tabela 10.

Tabela 10: DISTORÇÃO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE K

φ/k	0,999942		0,999945	
	MC	1º	MC	1º
27º	(17240) ⁻¹	(15730) ⁻¹	(18000) ⁻¹	(15000) ⁻¹
30º	(17240) ⁻¹	(17602) ⁻¹	(18000) ⁻¹	(16700) ⁻¹
34º	(17240) ⁻¹	(15730) ⁻¹	(18000) ⁻¹	(15000) ⁻¹
φ/k	0,999947		0,99995	
	MC	1º	MC	1º
27º	(18870) ⁻¹	(14580) ⁻¹	(20000) ⁻¹	(13970) ⁻¹
30º	(18870) ⁻¹	(16170) ⁻¹	(20000) ⁻¹	(15430) ⁻¹
34º	(18870) ⁻¹	(19160) ⁻¹	(20000) ⁻¹	(18100) ⁻¹

Avaliando os valores obtidos chega-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 menor que 10 cm para trabalhos cadastrais.

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.

A Projeção eleita, **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.**
- Sendo X e Y as coordenadas TM (3.21 e 3.22)

A projeção RTM/RS apresenta as principais características que proporcionam a sua adoção no RS para trabalhos cadastrais, pois além de atender a necessidade da precisão final da carta ou mapa, apresenta as seguintes vantagens:

A) Pertence a mesma lei de formação da projeção U.T.M. (Conforme, Cilíndrica, Secante,), facilitando com isto seu entendimento e sua implantação.

B) Deriva da projeção T.M. (transversa de Mercator), facilitando a transformação das coordenadas geográficas em RTM e vice-versa e UTM em RTM e vice-versa, de acordo com as expressões 3.2, 3.3, 3.11, 3.12, 5.1 e 5.2.

C) O valor adotado de K_0 garante uma distribuição da distorção linear, chegando ao maior erro relativo da ordem de 1/15000 de ampliação nos meridianos finais do fuso e 1/18000 de redução linear no Meridiano Central do fuso. Estes valores na projeção UTM são de 1/1440 e 1/2500 respectivamente.

D) Cobre toda a extensão territorial do RS em 5 fusos, de acordo com a Figura 8.

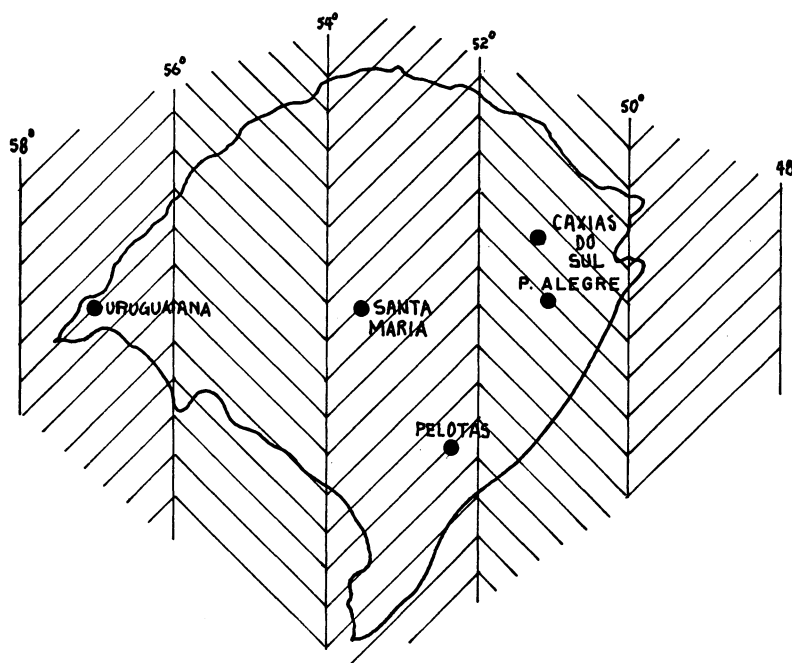


Figura 08. Distribuição dos fusos RTM/RS no Estado do Rio Grande do Sul.

LAIRD (1978) em seu trabalho "DESIGN CRITERIO FOR A COHESIVE NORTH AMERICAN PLANE COORDINATE SYSTEM" culpa a utilização da projeção UTM pelas distorções de escalas nas cartas de desenvolvimento urbano, e apresenta a necessidade de se utilizar uma outra projeção plana conforme pela tendência de crescimento de disputa de terras. A proposta apresentada foi a projeção S.P.C. (State Plane coordinate), similar a RTM com $K_0 = 0,99995$, para uma região com latitude superior à localizada acima do paralelo 36° . Esta região corresponderia aproximadamente à região do Uruguai, ao sul do Brasil.

CARVALHO (1984) apresenta a projeção LTM, (Local Transverse de Mercator) com módulo de deformação linear K_0 de $0,999995$ e fuso de 1 grau. Sua proposta era de utilização desta projeção para cadastro e locação para obras de engenharia. As distorções lineares causada por esta projeção é da ordem de $1/35000$ e $1/200000$ respectivamente nas bordas do fuso e no meridiano central.

Estes valores são suficientes para a finalidade proposta, porém o problema reside na pequena dimensão do fuso de 1 grau (aproximadamente 110 km) dimensão menor que inúmeras regiões metropolitanas , ocasionando os já conhecidos inconvenientes de ordem prática de mudança de fuso.

CARVALHO - (1993) reconheceu esta dificuldade pela pequena dimensão do fuso, concordando que o valor de 2 graus é mais adequado para utilização em trabalhos cadastrais.

Na Tabela 11 apresenta-se as regiões mais significativas do Estado com seus fusos correspondentes.

TABELA 11. REGIÕES MAIS SIGNIFICATIVAS DO RS COM SEUS CORRESPONDENTES FUSOS.

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
Uruguaiana	57°	57	Região fronteiriça do estado . Fronteira com a Argentina e próximo ao Uruguai

A sociedade brasileira apresenta algumas características peculiares, inclusive no trato com as informações cartográficas. A cultura cartográfica disseminada no país promove a utilização dos documentos cartográficos diretamente, sem as correções que se façam necessárias. Esta prática é sentida inclusive nos segmentos sociais que utilizam a cartografia como ferramenta de desenvolvimento, coordenação, planejamento e orientação.

Existe uma necessidade cada vez maior de simplificar a linguagem das cartas e mapas para uma mais fácil compreensão das informações apresentadas. A proposta de se identificar uma projeção cartográfica ideal para trabalhos em grandes escalas possui este caráter simplificador. Para esta simplicidade sem perda de qualidade a projeção RTM/RS., com os parâmetros definidos neste capítulo, apresenta-se como uma projeção ideal a ser utilizada na cartografia digital, para escalas maiores que 1/10.000 no estado do Rio Grande do Sul.

4 - 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 $1\text{cm} \pm 2 \text{ p.p.m.}$ 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.

TABELA 12. 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	6794137,62 1	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

2 - RDOP (Que indica a simetria da constelação).

Para qualquer distância, RDOP deverá ser menor que 0,75.

De posse destas coordenadas geográficas, calculou-se as suas correspondentes coordenadas U.T.M.

Como a localização da região em estudo possui o mesmo meridiano central (51°), as coordenadas RTM/RS foram obtidas diretamente das coordenadas UTM, como segue:

$$N_{RTM} = ((N_{UTM} - 10.000.000) (K_o'/K_o)) + 5.000.000 \quad (5.1)$$

$$E_{RTM} = ((E_{UTM} - 500.000)(K_o'/K_o)) + 400.000 \quad (5.2)$$

onde:

N_{UTM} e E_{UTM} correspondem as coordenadas UTM.

N_{RTM} e E_{RTM} correspondem as coordenadas RTM/RS.

K_o representa o coeficiente de distorção linear do Meridiano Central do fuso na projeção UTM, e vale 0,9996.

K_o' corresponde ao coeficiente de distorção linear do Meridiano Central do fuso na projeção RTM e vale 0,999945.

Apresenta-se na Tabela 12 as coordenadas geográficas e as coordenadas UTM dos pontos utilizados.

Na Tabela 13 apresenta-se as coordenadas RTM/RS dos pontos utilizados

TABELA 13: RELAÇÃO DE COORDENADAS RTM/RS.

ponto	coordenadas RTM/RS	
	Norte (m)	Este (m)
01	1791676,111	318445,931
02	1791643,400	318099,181
03	1797742,380	317655,930
04	1792221,065	318093,569
05	1792331,872	318509,480
06	1792709,337	318207,512
07	1792982,284	318617,966
08	1793031,156	318883,838
09	1793856,058	318759,632
10	1793380,413	318715,035
11	1792320,740	318858,377
12	1792280,288	319116,999
13	1785798,809	325527,500
14	1795375,300	325914,947
15	1785450,604	325505,859
16	1785244,459	325624,314
17	1782330,466	330473,593
18	1781798,339	330530,057
19	1781256,849	330591,711
20	1780962,575	330439,402

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

Na Tabela 14 apresenta-se as distâncias obtidas com as coordenadas geográficas, UTM e RTM/RS.

TABELA 14. DISTÂNCIAS GEODÉSICAS, 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

Foram feitas comparações entre as distâncias elipsóidicas 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 15 apresenta-se as diferenças das distâncias utilizadas, assim como as diferenças relativas.

TABELA 15. DIFERENÇAS DE DISTÂNCIAS E DISTORÇÕES RELATIVAS.

Base	Diferença Geod.-UTM (metros)	Distorção relativa	Diferença Geod. - RTM/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

Analisando os valores contidos na tabela 15, pode-se tecer algumas considerações, a saber:

A) A região em estudo possui sua variação em longitude de $51^{\circ} 42'$, zona de redução para a projeção UTM e de ampliação para a projeção RTM/RS. Com efeito, visto que todas as distâncias UTM são maiores 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 14 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 um valor da distorção linear relativa está fora deste intervalo.

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 15 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.

Para se obter as coordenadas planas na projeção RTM/RS, tendo-se as coordenadas geográficas, independente de coincidência com fuso UTM, deve-se efetuar os seguintes passos:

A) Transformação das coordenadas geográficas (φ e λ) em coordenadas TM (X, Y) através das formulas 2.2 e 2.3.

B) Transformação das coordenadas TM (X, Y) em coordenadas RTM/RS (N', E') aplicando as seguintes formulas:

$$N_{RTM} = 5.000.000 + K_o' X \quad (5.3)$$

$$E_{RTM} = 400.000 + K_o' Y \quad (5.4)$$

onde:

X e Y são as coordenadas TM.

N_{RTM} e E_{RTM} são as coordenadas RTM/RS

K_o' representa o coeficiente de distorção linear para o Meridiano Central.

Para transformação de coordenadas RTM/RS em coordenadas geográficas, obtém-se as coordenadas TM aplicando-se as fórmulas:

$$X = (N_{RTM} - 5.000.000)/K_o' \quad (5.5)$$

$$Y = (E_{RTM} - 400.000)/K_0' \quad (5.6)$$

De posse das coordenadas TM chega-se às coordenadas geográficas utilizando as fórmulas 2.19 e 2.20 do segundo capítulo deste trabalho.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As projeções cartográficas são transformações matemáticas utilizadas pela cartografia para representar a superfície de referência da Terra. Por não existir uma projeção cartográfica ideal, capaz de representar a superfície da Terra sem distorções, correções são necessárias para extrair com fidelidade as informações registradas nas cartas e mapas.

Como a sociedade brasileira não apresenta uma cultura cartográfica desenvolvida, com os usuários não sendo bons interpretadores de dados cartográficos, nota-se que as informações cartográficas são extraídas das cartas e mapas sem as devidas correções. Desta forma, a finalidade da cartografia, apresentada em sua definição pela Associação Cartográfica Internacional, por ocasião do XX Congresso Internacional de Geografia em 1964, não está contemplada no tocante à sua utilização. "Conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, **assim como a sua utilização**".

Desta forma, ferramentas mais eficazes devem ser utilizadas para minimizar as distorções causadas pelos processos de representação da superfície da Terra, principalmente para os trabalhos cartográficos em escalas cadastrais, onde se exige uma maior precisão.

A projeção cartográfica U.T.M., oficial nas cartas e mapas da cartografia sistemática, também é muito utilizada na cartografia cadastral, com escalas variando de 1/500 a 1/10.000. Para esta faixa de escalas, a projeção U.T.M. apresenta distorções

maiores que as previstas para representação de uma propriedade urbana, registrada em um cadastro municipal.

A projeção cartográfica R.T.M. segue uma família de projeções cartográfica derivada da T.M. (Transversa de Mercator), e apresenta distorções suportáveis para elegê-la como ideal para utilização em cartas de grandes escalas.

De utilização regional, o critério de sistematização e precisão capacitam-na a ser utilizada no estado do Rio Grande do Sul, em suas variações de latitude e longitude. Com fusos de 2 graus de amplitude, são necessários 5 fusos para cobrir a extensão territorial do Estado do Rio Grande do Sul.

A utilização da projeção R.T.M. vem completar um hiato presenciado na representação cartográfica nacional em diferentes escalas; desta forma teremos:

a) Projeção Policônica de Lambert, utilizada para cartas em escalas menores que 1/250000, cuja finalidade é apresentar uma visão geral de uma unidade da federação ou macro-região, assim como localização das informações geográficas mais importantes.

b) Projeção Universal Transversa de Mercator, tendo sua utilização normatizada na cartografia sistemática que abrange as escalas entre 1/250000 e 1/25000 inclusive. Sua utilização é bastante diversificada, abrange análise intermunicipal, regional e municipal, administração dos serviços estaduais e municipais, recursos físicos e outros. A responsabilidade deste nível de informações está a cargo do governo federal através da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

c) Projeção Regional Transversa de Mercator, utilizada para cartas e mapas em escalas maiores que 1/25000. Sua utilização abrange a análise estratégica de empresas e concessionárias de serviços públicos estaduais e municipais, análise de organização urbana, avaliação de ocupação e parcelamento do solo e delimitação de propriedade.

A configuração da projeção R.T.M/RS deverá ser re-dimensionada, caso se queira utiliza-la em outros Estados brasileiros, principalmente no valor do coeficiente de distorção linear, que sofre variação com a variação da latitude. Outra preocupação que deverá ser atendida é a distribuição dos fusos numa mesma região urbana.

A cartografia atualmente apresenta uma evolução acelerada, fruto do avanço tecnológico na área da informática. As cartas e mapas podem hoje estar registradas em meio ótico ou magnético e, estarem integradas com outros tipos de informações nos Sistemas de Informações Geográficas. A comunidade cartográfica ainda não apresentou normas que orientem a utilização maciça dos procedimentos de informática em todas as etapas de elaboração de uma carta.

Os pacotes de programas desenvolvidos para os sistemas de informações geográficas apresentam muitas facilidades para transformações matemáticas que podem envolver sistemas geodésicos e projeções cartográficas. As coordenadas geográficas podem facilmente ser convertidas para esta ou aquela projeção cartográfica. Porém os cálculos de distâncias, áreas, ângulos, assim como relações de topologia e análise continuam sendo feitas sobre uma base cartográfica estruturada numa projeção plana.

Nossa intenção passa pela continuação em desenvolver estudos neste assunto, por identificarmos uma carência nacional, a ser desenvolvida numa próxima etapa. Nesta continuidade podemos conhecer com mais profundidade estas experiências internacionais de utilização das projeções cartográficas, em escalas cadastrais, numa cartografia digital e o seu desenvolvimento com a evolução da informática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1 - BARTOLOMEI, Gerson Brum. **Sistema de Projeção UTM. Para Grandes Escalas.** 1a. DL. DSG. Min. Exército. 1981.
- 2 - BLACHUT, T.J. CHRZANOWSKI, A. SAASTAMOINEN, J.H. **Cartografía y Levantamientos Urbanos.** Direccion General de Geografia del Territorio Nacional. Springel - Verlang. New York Inc. 1979.
- 3 - CARVALHO, Fernando Rodrigues de. **Error Prediction and Computations in Photogrammetric Flight Planning, A Thesis.** The Ohio State University. USA. 1972.
- 4 - CARVALHO, Fernando Rodrigues de. **Cadastro Geoambiental Polivalente, Projeção TM (Conforme de Gaus).** Informativo COCAR n. especial. Presidência da República. Secretaria de Planejamento. Comissão de Cartografia. Brasília. Dezembro de 1984.
- 5 - CARVALHO, Fernando Rodrigues DE. **Conversa Interpessoal.** Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. maio de 1993.
- 6 - CLAIRE, Charles N. **State Plane Coordinates By Automatic Data Processing.** U.S. Government Printing Office. Washington. 1968.
- 7 - CUENIN, René. **Cartographie Generale.** Tome1. Editions Eyrolles. Paris . 1972.
- 8 - EBERL, Horst Karl Dobner. **Sistemas Catastrales .** Editorial Concepto S.A. Distrito Federal. Mexico. 1982.
- 9 - ERWES, Herbert. **Sugestões Sobre as Redes Geodésicas Básicas para o Moderno Cadastro Urbano e Levantamentos Urbanos - Suas Utilidades.** VII Congresso Brasileiro de Cartografia. São Paulo. Julho de 1975.

- 10 - FLEMING, N. L. **Continuous Updating - An Essential Requirement of a Modern Cadastre.** The Canadian Surveyor. Vol. 29. N.1 March 1975.
- 11 - KAUTER, Bernhard. **The Swiss Cadastre and The District Surveyor.** The Canadian Surveyor . Vol. 41. N. 4 - 1987.
- 12 - KRAKINSKY, Edward J. **Conformal Map Projections in Geodesy.** Department of Surveying Engineering. University of New Brunswick. September. 1973.
- 13 - LAIRD, Maxwell O. **Design Criteria for a Cohesive North American Plane Coordinate System.** Surveying and Mapping. 06/1978.
- 14 - MALING, D.H.. **Coordinate Systems and Maps Projections .** Great Britain by Ebenezer Baylis & Son Limited. The Trinity Press. London. 1980.
- 15 - MCLAUGHLIN. **Maritime Cadastral Accuracy Study.** Land Registration and Information Service Technical Report. U.Of. New Brunswick. Fredericton. New Brunswick. Canadá. 1977.
- 16 - MERCHANT, Dean C. **Spatial Accuracy Standards For Large Scale Line Maps.** Dept. of Geodetic Science and Surveying. Columbus, Ohio.
- 17 - MITCHELL, Hugh C. SIMONS , Lansing. **The State Coordinate Systems (A Manual for Surveyors).** U.S. Department of Commerce. United State. Government Printing office. Washington. 1974.
- 18 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL (USA). **Panel on a Multipurpose Cadastre. Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre.** National Academy Press. Washington, D.C. 1983.
- 19 - PAGARETE, Joaquim Antônio Costa Franco. **Transformação de Coordenadas em Geodésia e Cartografia.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa . 1984.
- 20 - SANTOS, Adeildo Antão. **Representações Cartográficas.** Universidade Federal de Pernambuco. Editora Universitária. Recife. 1985.

- 21 - THOFEHRN, Hans Augusto. **Alguns Aspectos do Uso da Cartografia.** Revista do Seite. Ano 1, N. 1. Sistema Estadual de Informação Técnica e Estatística. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1980.