

# Análise de Deformações dos Sistemas de Projeção Transversa de Mercator em Santa Catarina

**Prof. Rovane Marcos de França**

UFSC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina  
88.020-300 Florianópolis SC  
[rovane@ifsc.edu.br](mailto:rovane@ifsc.edu.br)

**Resumo:** A necessidade do Georreferenciamento está consolidada no cadastro técnico há alguns anos, mas ainda não é realidade em obras de engenharia e levantamentos topográficos urbanos. A topografia no Brasil historicamente sempre foi tratada sobre um plano topográfico horizontal e muitos profissionais ainda o fazem desta forma. Este artigo apresenta as deformações para o estado de Santa Catarina produzidas pelos sistemas de projeção tradicionais TM (Transversa de Mercator) em relação aos levantamentos topográficos tradicionais, que ainda são a grande maioria no Brasil quando se trata de áreas urbanas ou obras de engenharia, assim como apresentar de forma prática metodologia para tratamento dos dados geodésicos de campo. Através de cartogramas é possível visualizar espacialmente as deformações em diversos aspectos. Abordamos também os aspectos que envolvem a escolha de um sistema de projeção.

**Palavras chaves:** topografia, sistema de projeção transversa de mercator, UTM, RTM, LTM.

**Abstract:** The need for georeferencing is rooted in technical cadastre for some years, but is not yet reality in engineering works and surveying cities. The topography in Brazil has historically been treated on a horizontal plane surveying and many professionals still do this. This article presents the deformations for the state of Santa Catarina produced by traditional projection systems TM (Transverse Mercator) compared to traditional surveys, which are still the majority in Brazil when it comes to urban areas or engineering works, as well how to present a practical methodology for surveying data processing field. Through cartograms can spatially visualize the deformations in several respects. We also approach the issues surrounding the choice of a projection system.

## 1 Introdução

O uso de informações georreferenciadas para o cadastro é necessário pela excênciadas ferramentas de gestão e análise. A popularização destas ferramentas e de exigências legais, como está ocorrendo com o georreferenciamento de imóveis rurais, são sem dúvida inevitáveis e os profissionais que atuam no mercado de trabalho precisam se adequar ao tratamento geodésico necessário para o uso das projeções cartográficas.

No Brasil, apesar de ser exigido há muitas décadas pelo Código do Processo Civil, o georreferenciamento não é realidade em obras de engenharia e levantamentos topográficos urbanos, assim como há alguns anos não era nos levantamentos de imóveis rurais.

É notório no Brasil o uso do plano horizontal para os levantamentos topográficos, onde existe incompatibilidade quando comparado com sistemas de projeções cartográficas simplesmente.

Conceitualmente a topografia no Brasil sempre foi tratada como sendo totalmente diferente

da geodésia e não como um caso particular dela, conceito este adotado há muitos anos nos países mais avançados em cadastro técnico.

O levantamento realizado por profissionais não capacitados em geodésia, traz muita inconsistência quando se compara dados que a princípio estariam georreferenciados. Um bom exemplo é a confusão no meio profissional do Plano LTM (Local Transversa de Mercator) com o PTL (Plano Topográfico Local).

## 2 Objetivos

### 2.1 Geral

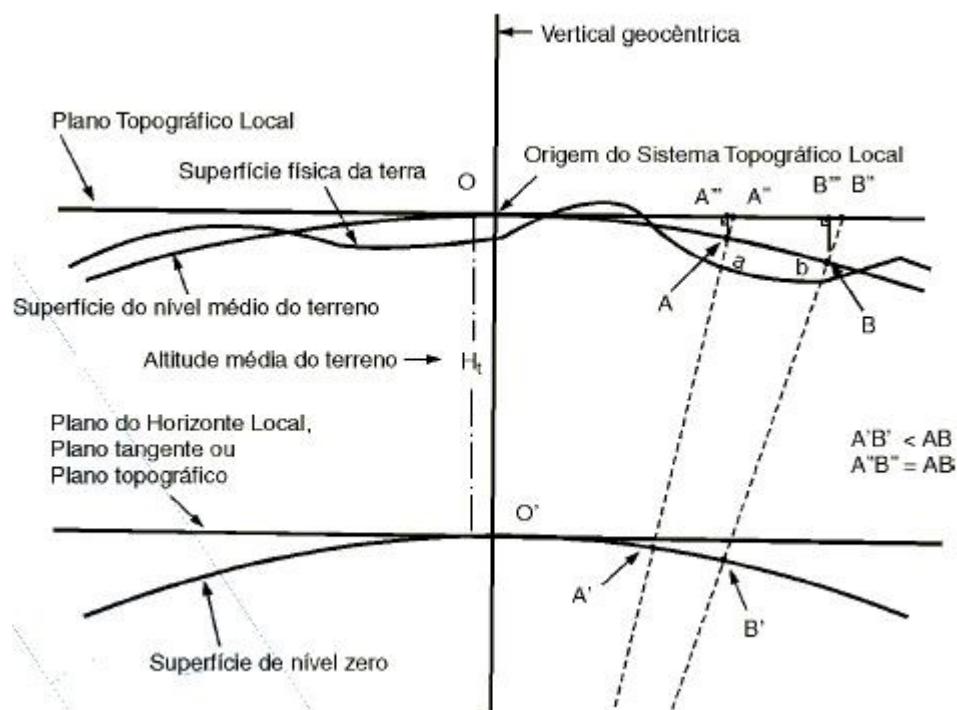
Analizar as deformações dos sistemas de projeção TM (Transversa de Mercator) em relação ao plano horizontal no estado de Santa Catarina

### 2.2 Específicos

- Calcular as deformações cartográficas em toda a extensão do estado de Santa Catarina;
- Mostrar através de cartograma as reduções das distâncias horizontais para o elipsóide;
- Mostrar através de cartogramas as deformações das projeções UTM (Universal Transversa de Mercator), RTM (Regional Transversa de Mercator) e LTM (Local Transversa de Mercator);

## 3 Redução das Distâncias

As medições na topografia são realizadas no PTL (Plano Topográfico Local). O PTL é um Plano topográfico elevado ao nível médio do terreno da área de abrangência do Sistema Topográfico Local, segundo a normal à superfície de referência no ponto de origem do sistema (ponto de tangência do plano topográfico de projeção no elipsóide de referência) (NBR14166/1998).



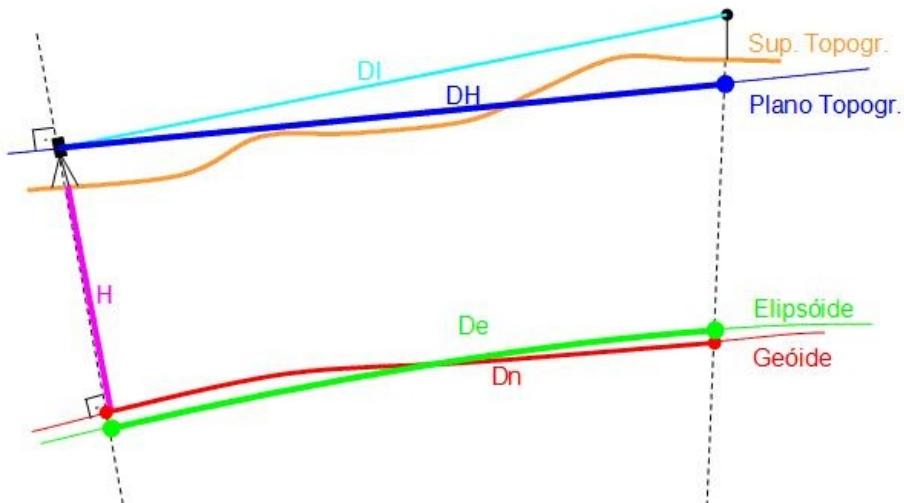
**Figura 1 : Plano Topográfico Local x Altitude Média**

O PTL é limitado a um plano quadrado de 100km de lado, sendo 50km a partir da origem. Porém no georreferenciamento é necessário tratar a terra como sua forma real, e não como um plano horizontal.

Devido à complexidade do Geóide (real forma da terra), geodesistas perceberam que poderiam utilizar um elipsóide como sistema de referência - ERBA et alli (2005). Um elipsóide de referência é uma superfície matematicamente definida que se aproxima do geóide. Devido à sua relativa simplicidade, os elipsóides de referência são usados como superfície preferida na qual são efetuados os cálculos da rede geodésica e são definidas as coordenadas de pontos tais como Latitude e Longitude.

Para que possamos utilizar um único sistema de coordenadas georreferenciado, teremos que utilizar uma única superfície de referência. Porém esta superfície deve ser curva e matematicamente definida. Por isso usamos o elipsóide.

O Elipsóide, por muitas vezes, está distante da superfície terrestre onde é realizada a medição. É necessário uma conversão da distância do plano topográfico horizontal para o elipsóide.



**Figura 2 : DH projeta sobre o elipsóide**

O primeiro passo é converter a DH para Dn usando as fórmulas (1) e (2):

$$Dn = DH \cdot Fr \quad (1)$$

$$Fr = 1 - (Hm / Rm) \quad (2)$$

Onde:

DH: distância horizontal

Fr: fator de redução

Hm: Altitude média da medição

Rm: Raio médio da Terra (valor teórico=6370000)

Dn: distância geoidal

De: distância elipsoidal

H: altura entre o geóide e a superfície do terreno, perpendicular ao geóide.

Podemos perceber que a projeção da DH sobre o geóide depende somente da altitude.

Após termos o valor da distância já reduzida ao Geóide, teremos então que projetá-la sobre o Elipsóide com a seguinte equação (3):

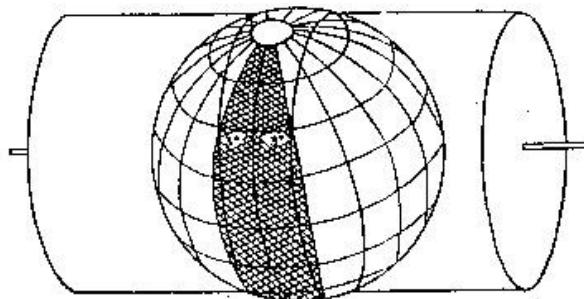
$$De = Dn + (1,027 \cdot Dn^3 \cdot 10^{-15}) \quad (3)$$

Como o valor multiplicativo  $10^{-15}$  é muito pequeno, praticamente zero, em  $Dn < 5000\text{m}$  (muito comum em levantamentos) poderemos considerar que  $De = Dn$ .

#### 4 Sistema de Projeção TM (Transversa de Mercator)

Para que possamos utilizar um sistema métrico e plano cartesiano, temos que utilizar um sistema de projeção.

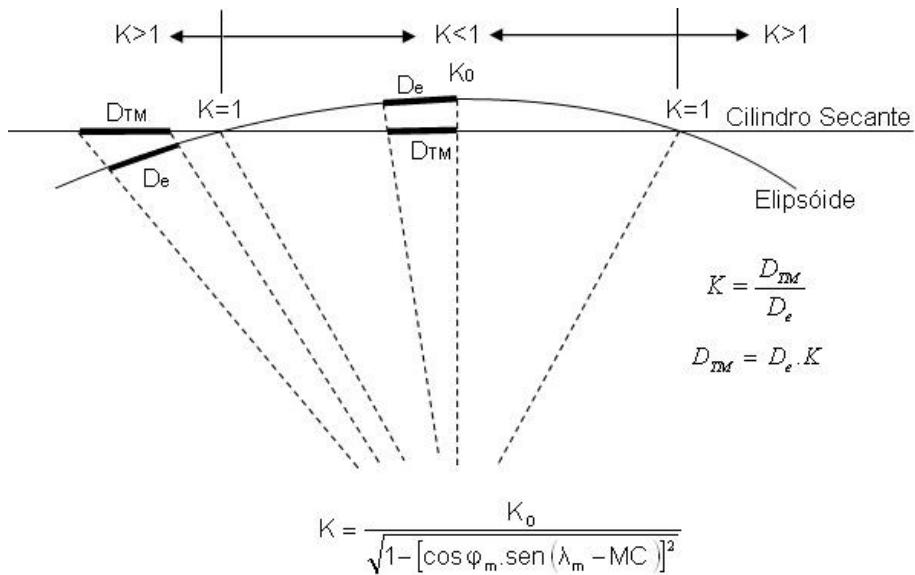
A projeção TM é cilíndrica com seu eixo Transversal ao Eixo de Rotação da Terra. Ocorre deformação apenas nas distâncias (projeção Conforme) e consequentemente nas áreas. Os ângulos se deformam tão pouco que cartograficamente são desprezíveis. Sobre o cilindro, projetamos um determinado fuso para diminuir as deformações. Para o recobrimento total, necessitaremos de vários cilindros de projeção.



**Figura 3 :** Fuso usado em cada cilindro

##### 4.1 Fator de Escala

Para fazer a projeção das distâncias elipsoidais sobre o cilindro, utilizamos um fator de escala denominado  $K$ .



**Figura 4 :** Fator K no fuso TM

Sendo,

$f_m$ : a latitude média entre os pontos

$l_m$ : a longitude média entre os pontos

## 4.2 As projeções TM

Existem 3 tipos de projeção TM utilizadas no Brasil, sendo a UTM mais utilizada no Brasil e no Mundo.

Sistema TM	Fuso	K0	Falso Este	Falso Norte (N)	Falso Norte (S)
UTM	6°	0,9996	500000	0	10000000
RTM	2°	0,999995	400000	0	5000000
LTM	1°	0,999995	200000	0	5000000

**Figura 5 :** Tabela com parâmetros das projeções TM

Com estas amplitudes, o estado de SC necessita para ser totalmente coberto, de um único fuso UTM, 3 fusos RTM e 6 fusos LTM.

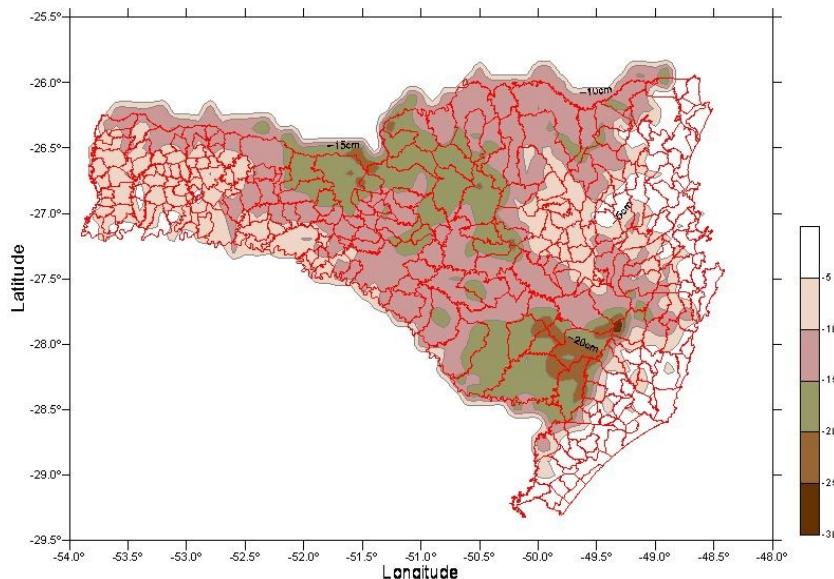
## 5 Deformações

Para analisar as deformações, utilizamos como referência uma distância de 1000m. Como em levantamentos topográficos, a distância considerável parte da ordem do centímetro, utilizaremos a deformação em cm/Km.

Para facilitar a visualização, produzimos cartogramas que mostrarão espacialmente as deformações em diversos aspectos. Elaboramos uma imagem com pontos a cada 0,1° na longitude e na latitude (equivalente a 16km x 16km), gerando 2501 pontos, entre as latitudes 25°30'S a 29°30'S e a longitude 48°W a 54°W, que engloba o Estado de Santa Catarina na sua totalidade.

### 5.1 Deformação em função do fator de redução

Para calcular a deformação em função do fator de redução, necessitamos saber das altitudes. Utilizamos então as imagens do Projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). O Projeto SRTM foi uma missão espacial da NASA (National Aeronautics and Space Administration) e outros importantes órgãos espaciais, tendo como objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra.

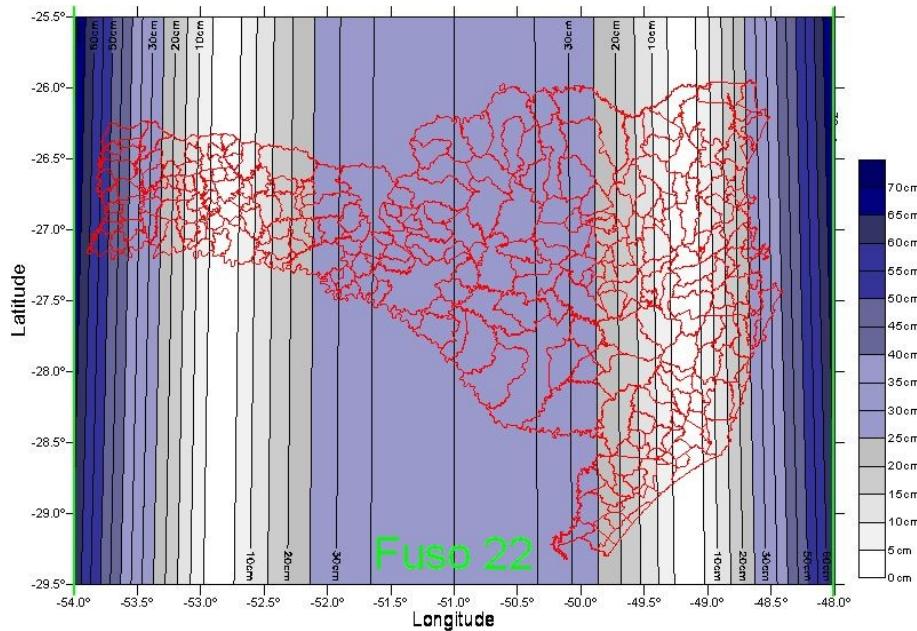


**Figura 6 :** Cartograma da deformação da DH para De – deformações em cm/km

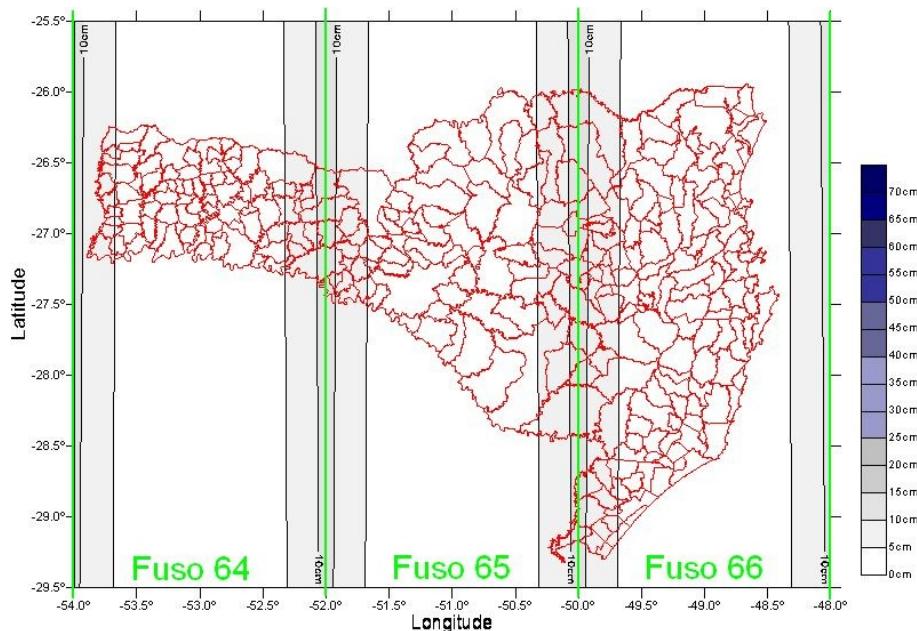
Os dados foram tratados no Software de Sensoriamento Remoto Erdas imagine 8.7 para adequar à nossa resolução de 0,1° na Latitude e Longitude. Foram então exportados para o Software de modelagem SURFER, onde pudemos geoprocessar os dados da imagem aplicando a equação, gerando uma nova matriz com a deformação.

## 5.2 Deformação em função do k

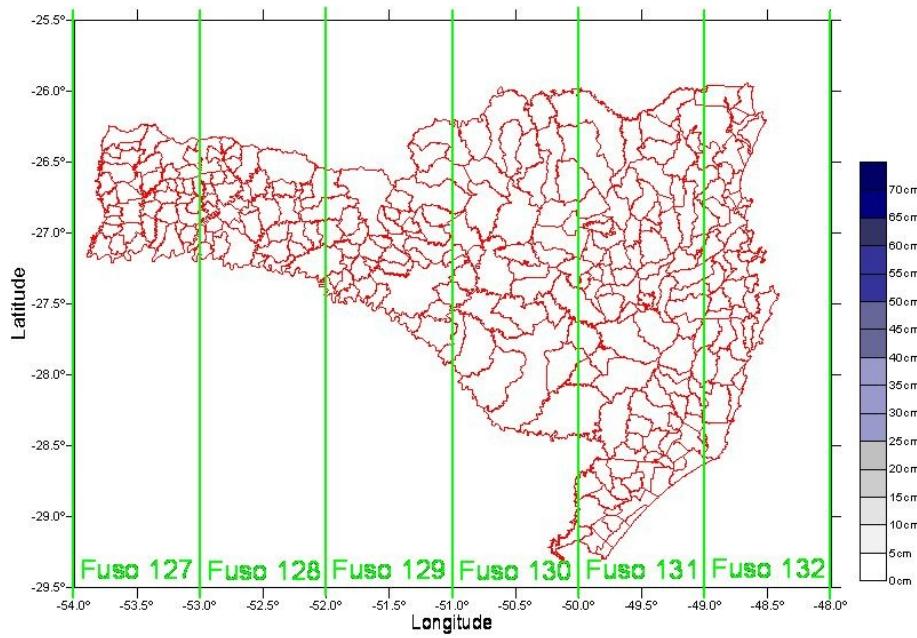
Para facilitar o cálculo do fator K, elaboramos uma planilha eletrônica para gerar uma matriz com os valores da deformação da De em função do fator K.



**Figura 7 :** Cartograma da deformação da De para DUTM – deformações em cm/km – único fuso UTM



**Figura 8 :** Cartograma da deformação da De para DRTM – deformações em cm/km – três fusos RTM

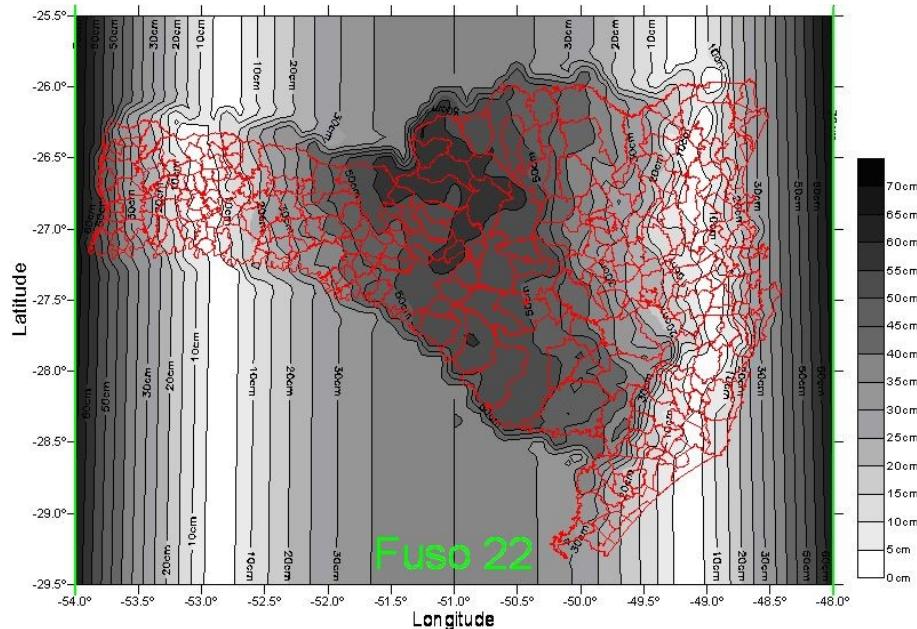


**Figura 9 :** Cartograma da deformação da De para DLTM – deformações em cm/km – seis fusos LTM

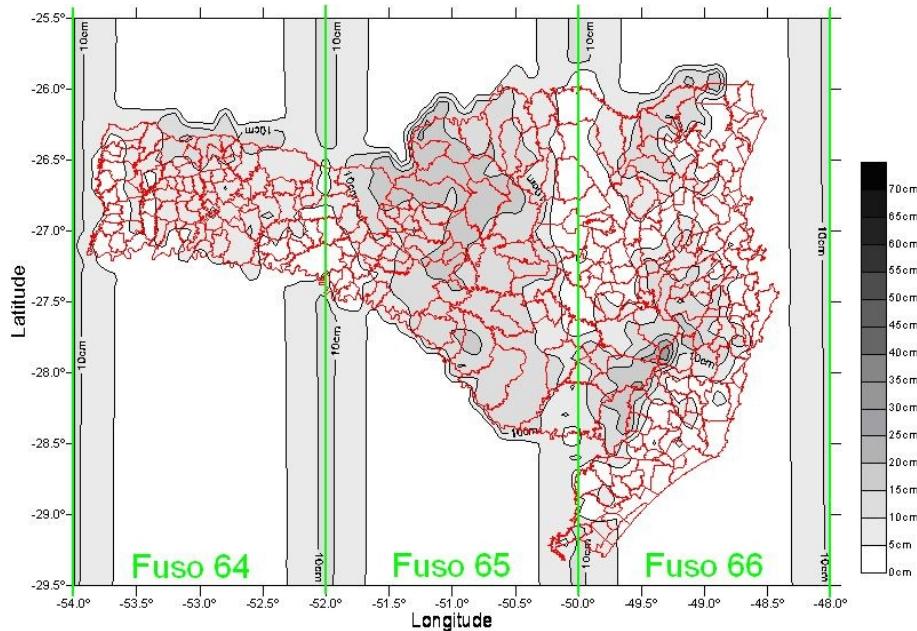
Podemos observar que as deformações da De para DTM é menor na projeção LTM, pois apresenta variações menores que 5cm/km. Porém as comparações são feitas sempre com a DH e não De. Desta forma, a deformação utilizando o fator K não representa a deformação das distâncias sobre o plano topográfico, que efetivamente são as distâncias medidas em campo.

### 5.3 Deformação em função do kr

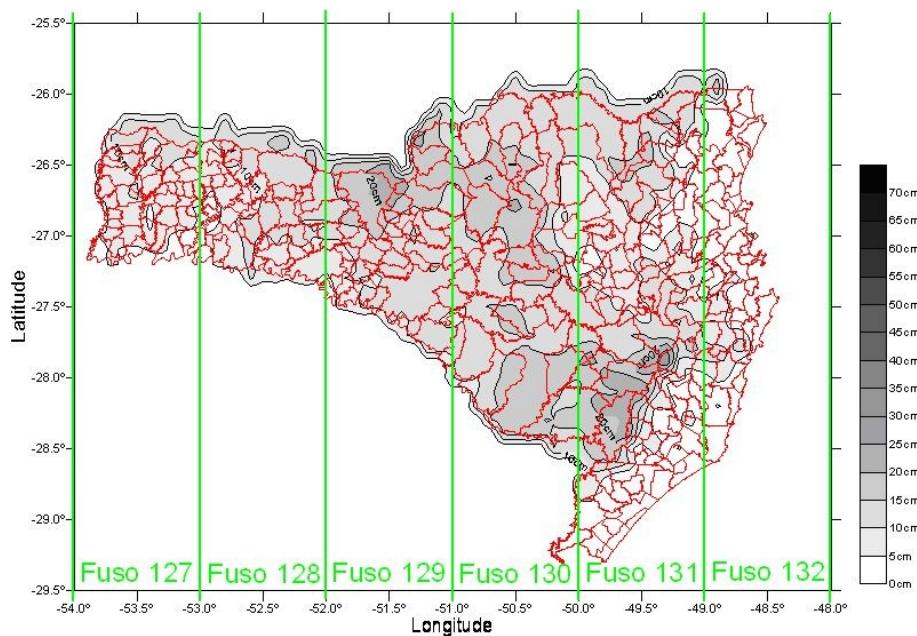
O fator Kr nada mais é do que a sobreposição dos efeitos de K e do Fr. Efetuando a multiplicação de imagens, podemos obter então a sobreposição dos efeitos e obter os cartogramas de deformação das distâncias sobre o PTL (DH) para as distâncias sobre o plano TM (DTM).



**Figura 10 :** Cartograma da deformação da DH para DUTM – deformações em cm/km – único fuso UTM



**Figura 11 :** Cartograma da deformação da DH para DUTM – deformações em cm/km – três fusos RTM



**Figura 12 :** Cartograma da deformação da DH para DUTM – deformações em cm/km – seis fusos LTM

Fazendo uma análise dos valores das deformações nas matrizes formadas nas imagens, chegamos aos seguintes valores:

	Deformações totais (cm)		
	UTM	RTM	LTM
Máxima	59,0	27,3	28,0
Mínima	0,0	0,0	0,0
Média	32,8	8,2	10,4
Desvio Padrão	17,5	5,2	5,5

**Figura 13 :** Deformações Mínimas e Máximas em SC

Podemos observar que o sistema de projeção que possui menor deformação para todo o estado de SC, é o sistema de projeção RTM, e não o LTM como muitos profissionais apontam sem a devida análise.

## 6 Conclusões e recomendações

A escolha de um sistema de projeção não deve ser definido somente se baseando na menor deformação total. Deve-se analisar o inconveniente de se trabalhar em diversos fusos, quando estes forem menores. Aí temos o grande destaque da projeção UTM, que com seus 6° de aplitude, permite o uso num mesmo sistema plano-cartesiano sem a necessidade de transformações, de uma grande extensão territorial (no equador são cerca de 660km).

As deformações não são erros, desde que sejam tratadas corretamente. A única vantagem de se utilizar um sistema de projeção que possui menor deformação, é que ele terá menos erros quando algum profissional não fizer o devido tratamento geodésico com as distâncias, situação muito comum no Brasil.

É necessário que os profissionais busquem aperfeiçoamento para que os tratamentos geodésicos sejam corretamente tratados evitando erros em levantamentos e implantações de obras.

## 7 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico.** Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.
- CEBRAFROT. **Os Sistemas de Coordenadas UTM, RTM e LTM.** Tomo único, 1<sup>a</sup> ed., Criciúma, Ed. Luana, 1999.
- CINTRA, Jorge Pimentel. **Informações Espaciais II: Sistema de Projeção UTM:** São Paulo: Amanda Editora, 2004.
- DUARTE, Paulo Araújo. **Fundamentos de cartografia.** Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.
- ERBA, Diego Alfonso et alli. **Topografia: Para Estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia.** São Leopoldo: Editora da Universidade do Rio dos Sinos, 2005.
- FRANÇA, Rovane Marcos de. **Sistema Geodésico de referências: projeções cartográficas e gps.** Florianópolis, 2006. Apostila da disciplina de Geodésia e Georreferenciamento do Curso Técnico de Geomensura do CEFET/SC.
- LOCH, Carlos; CORDINI, Jucilei. **Topografia Contemporânea Planetária.** Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.
- Noções básicas de cartografia.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2007.
- RAMOS, Djacir. **Geodésia na prática.** Araraquara: Ed. Mdata Informática, 1999.
- SILVEIRA, L.C. **Cálculos Geodésicos no Sistema UTM aplicados a Topografia.** 1<sup>a</sup> Ed. Criciúma: Editora Luana, 1990.
- Philips, Jürgen. **Uma Projeção Geodésica para o Cadastro Imobiliário Brasileiro.** Recife: 1997.