



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
CAMPUS PONTE DO IMARUIM**

**ROVANE MARCOS DE FRANÇA
WALMIRIA WALTER UHLMANN**

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA
EM RODOVIAS DE SANTA CATARINA**

Palhoça
2007

**ROVANE MARCOS DE FRANÇA
WALMIRIA WALTER UHLMANN**

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA
EM RODOVIAS DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro(a) Civil.

Orientador: Prof. Huri Alexandre Raimundo, Msc.

Palhoça
2007

**ROVANE MARCOS DE FRANÇA
WALMIRIA WALTER UHLMANN**

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA
EM RODOVIAS DE SANTA CATARINA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Licenciado em Engenharia Civil, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 29 de Julho de 2007

Prof. e Orientador Eng. Huri Alexandre Raimundo, Msc.

UNISUL

Prof. Eng. Nelso Lucio Huber, Msc.

UNISUL

Eng. Romualdo Theophanes de França Junior, Msc.

DEINFRA

Às nossas famílias
Aos nossos Professores
Aos nossos amigos

AGRADECIMENTOS

A Deus , quem nos deu o dom da vida, nos presenteou com a liberdade, nos abençoou com a inteligência e sabedoria, que nos deu a graça de lutarmos para a conquista de nossas realizações, a nossa Eterna Gratidão.

Eu, Rovane, agradeço em especial a Rita, minha esposa, que há muitos anos tolera minhas faltas e sempre me apoiou para chegar até aqui. À Minha mãe e irmãos que me fizeram sentir a necessidade de uma formação profissional e me incentivaram a não parar com os estudos, em especial meu irmão Romualdo, que por muitas e muitas vezes, supriu a falta de meu pai. Sem dúvida, meu pai de algum lugar conduz o que acontece em minha vida.

Eu, Walmiria, agradeço em especial ao meu marido, Rubens, que acompanhou e incentivou muito, em todos os momentos desta caminhada deste grande sonho. Obrigada pelo companheirismo e dedicação incansável. Aos meus filhos que deram sempre seu apoio.

Aos professores, que com sua imensa sabedoria sempre nos conduziram neste trabalho, abrindo nossas mentes e nos tornando cada vez mais amantes da engenharia, o nosso muito obrigado. A sua orientação é um aprendizado que levaremos para a vida toda.

Aos colegas Davi de Souza Schweitzer e Gabriel Cremona que colaboraram na elaboração dos cartogramas nos softwares de Sensoriamento Remoto, o nosso reconhecimento pela colaboração.

A todos que sempre estiveram presentes, que de alguma forma contribuíram para a construção deste sonho e que acreditaram no nosso sucesso.

Obrigado!

RESUMO

A necessidade do Georreferenciamento é cada vez maior em obras públicas, principalmente em rodovias que sofrem interferência de diversas outras obras. As grandes extensões nas rodovias exigem o tratamento de geodésia e não de topografia. Percebemos em obras grandes inconsistências relativas ao projeto, por falta de conhecimento e orientação. Analisaremos neste Trabalho de Conclusão de Curso os sistemas de projeção mais comuns aplicados em Rodovias de Santa Catarina com suas deformações.

Palavras-chave: Projeto de Rodovia, Projeção Cartográfica, Georreferenciamento, Obras Rodoviárias, Deformação, Fator de Redução.

ABSTRACT

The need of georeferencing is becoming bigger in public construction, mainly in highway that plows influenced by several other constructions. The big extensions in highway plows the matter of geodesy instead of topography. We noticed big inconsistencies concerning the construction due the lack of knowledge and orientation. Through this Conclusion Course Paper we plows going to analyze the most common Cartographic Projection applied in Santa Catarina highway and its deformations.

Keywords: Design of Highway, Cartographic Projection, Georeferencing, Construction of Highway, Deformation, Reduction Factor.

LISTA DE ABREVIATURAS

De - Distância Elipsoidal

Dfr - deformação produzida pelo Fr (projeção da DH para a De)

DH - Distância Horizontal

DI - Distância Inclinada

Dk - deformação produzida pelo K (projeção da De para o cilindro de projeção –
 D_{UTM} , D_{RTM} ou D_{LTM})

Dkr - deformação produzida pelo Kr (projeção da DH para o cilindro de projeção –
 D_{UTM} , D_{RTM} ou D_{LTM})

Dn - Distância Geoidal

D_{RTM} - Distância sobre o Plano RTM

D_{UTM} - Distância sobre o Plano UTM

E - Coordenada UTM Este

Fr - Fator de redução da DH para Dn-

H - Altitude em relação ao nível do mar (ortométrica)

K - Fator de escala da De para D_{UTM} ou D_{RTM} ou D_{LTM}

K_0 - K mínimo do sistema de projeção

Kr - Fator de escala da DH para D_{UTM} ou D_{RTM} ou D_{LTM}

LTM - Local Transversa de Mercator

MC - Longitude do meridiano central

N - Coordenada UTM Norte

PTL - Plano Topográfico Local

RTM - Regional Transversa de Mercator

UTM - Universal Transversa de Mercator

X - Coordenada X RTM ou LTM

Y - Coordenada Y RTM ou LTM

φ_m - Latitude Média entre 2 pontos

λ_m - Longitude média entre 2 pontos

LISTA DE SIGLAS

ASI - Agência Espacial Italiana

DEINFRA - Departamento Estadual de Infra-estrutura de Santa Catarina

DLR - Agência Espacial Alemã

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

GPS - Global Positioning System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE - Modelo Digital de Elevação

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NAVSTAR - Navigation Satellite with Time and Ranging

NIMA - National Imagery and Mapping Agency

SAD69 - South American Datum of 1969

SIRGAS2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

WGS84 - World Geodetic System of 1984

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 GEODÉSIA.....	13
2.2 SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA	13
2.2.1 Superfície terrestre.....	14
2.2.2 Geóide	15
2.2.3 Elipsóide de referência	17
2.3 DATUM GEODÉSICO HORIZONTAL.....	19
2.4 COORDENADAS TERRESTES.....	20
2.4.1 Coordenadas cartesianas geocêntricas.....	21
2.4.2 Coordenadas geodésicas	21
2.4.3 Coordenadas geográficas	22
2.5 PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (PTL)	24
2.6 SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	26
2.6.1 Sistema de projeção UTM.....	27
2.6.2 Sistema de projeção RTM.....	32
2.6.3 Sistema de projeção LTM	34
3 DEFORMAÇÃO ENTRE UTM x RTM x LTM x ALTITUDE.....	35
4 NORMAS DE ÓRGÃOS PÚBLICOS	38
5 CÁLCULOS DAS DEFORMAÇÕES NO ESTADO DE SC.....	39
5.1 DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO (dfr)	39
5.2 DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO K (dk)	44
5.3 DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO Kr (dkr)	49
6 DEFINIÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA USO SIMPLIFICADO	53
7 RODOVIAS CATARINENSES QUE CRUZAM FUSOS.....	54
7.1 PROJEÇÃO UTM.....	55
7.2 PROJEÇÃO RTM.....	55
7.3 PROJEÇÃO LTM	56
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Atualmente qualquer rodovia acaba por ter grandes interferências com equipamentos urbanos, como gasodutos, oleodutos, redes de transmissão, outras rodovias e demais obras civis. O que complica ainda é que estes equipamentos cada vez mais são de administração privada.

Para se prever um cruzamento de uma ferrovia projetada com uma rodovia projetada, necessitamos que estes projetos estejam numa única base para previsão de viadutos, concordâncias geométricas, cálculos de quantitativos e outros.

Os projetos devem estar georreferenciados e num único sistema de coordenadas.

O grande problema é que as rodovias possuem grandes extensões, e por isso deve-se tratar com geodésia e não topografia, devido à curvatura terrestre.

O Conhecimento da Geodésia não se iniciou recentemente. Os primeiros documentos geodésicos são anteriores a Thales de Mileto (625-547 AC) e Eratóstenes antes de 200 AC já descobria que a terra era redonda. A geodésia era tratada por filósofos, astrônomos e matemáticos. A absorção destes conhecimentos para aplicação na engenharia só foi viável no século XX com o desenvolvimento da informática e hoje se aplica de forma muito eficiente e com grande precisão.

Atualmente, a forma mais precisa, rápida e barata de se georreferenciar um ponto, é com o posicionamento via satélites.

No Brasil, com a popularização do sistema NAVSTAR GPS (Sistema de Posicionamento Global via satélites) trouxe a necessidade emergente da disseminação dos conhecimentos de geodésia. As medições feitas por GPS foram sendo incluídas nos levantamentos topográficos, onde os procedimentos foram se popularizando, mas os conhecimentos não.

É notório nos projetos e obras rodoviárias uma inconsistência de dados geométricos. Na execução, existe muita reclamação que o projeto “não bate” e as consultoras reclamam que a empreiteiras de obras não fazem corretamente.

As consultoras, as empreiteiras de obras e os departamentos de estradas de rodagem, de forma geral, não possuem pessoas qualificadas em geodésia para tomar decisões sobre qual é o melhor sistema de projeção e que traga menos deformação para a rodovia.

Este Trabalho de Conclusão de Curso visa dar subsídio para as empresas públicas e privadas definirem os sistemas de projeção mais adequados aos projetos rodoviários e conseqüentemente às demais obras que necessitam interagir com as rodovias no estado de Santa Catarina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEODÉSIA

Geodésia é uma ciência afim da topografia. Ela difere da topografia somente por considerar a curvatura terrestre. Ela estuda essencialmente:

- a forma e dimensão da terra;
- posições de pontos sobre a superfície Terrestre;
- modelagem do campo gravitacional.

2.2 SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA

Existem três superfícies estudadas pela geodésia: Superfície Terrestre, Geóide e o Elipsóide.

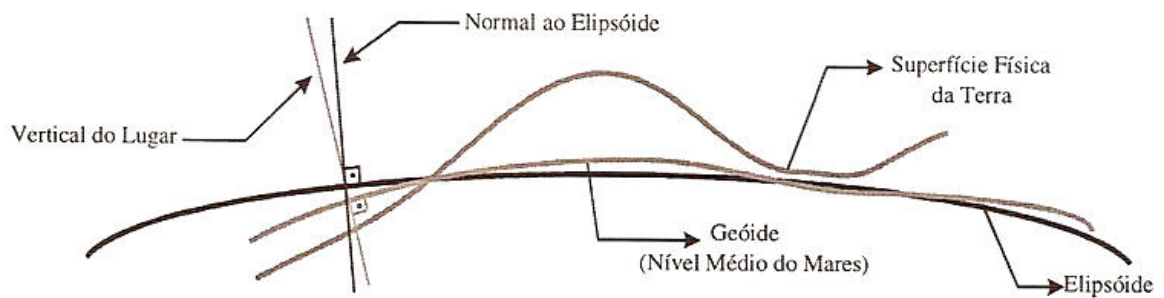


Figura 1: Superfícies de referência
Fonte: ERBA et al (2005, p. 1-7).

2.2.1 Superfície terrestre

Segundo LOCH & CORDINI em TOPOGRAFIA CONTEMPORÂNEA PLANIMÉTRICA (1995), a superfície física do globo terrestre apresenta duas porções: uma sólida (a litosfera) e outra líquida (hidrosfera.)

Portanto a Superfície Terrestre equivale à superfície do terreno com seus vales, fundo do mar e montanhas sobre a qual as medidas são executadas.



Figura 2: Superfície terrestre

Fonte: Software Google Earth, disponível no Servidor kh.google.com, acessado em 7 de junho de 2007

A Superfície Terrestre é a única visível entre as três superfícies de referência.

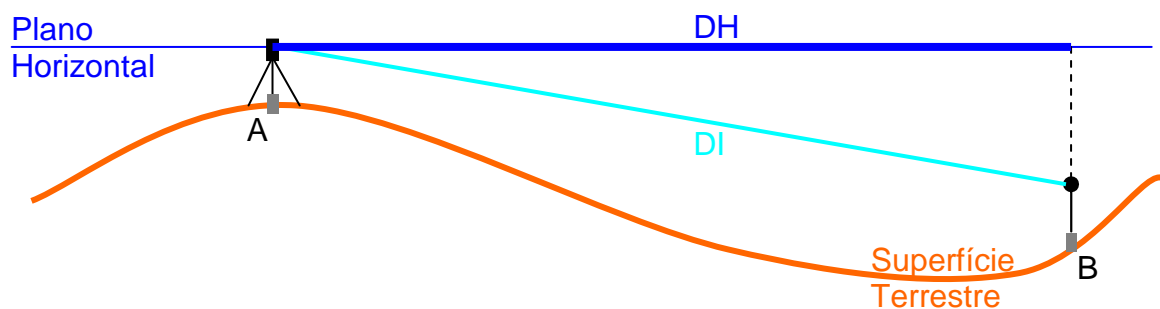


Figura 3: Superfície terrestre

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

DH: distância horizontal
DI: distância inclinada

As medições topográficas são realizadas sobre a superfície topográfica, porém são todas projetadas sobre um Plano Horizontal, mais conhecido como Plano Topográfico.

2.2.2 Geóide

Geóide é o vocábulo criado que significa o formato geométrico da Terra.

Considerado como a superfície de nível de altitude igual a zero e coincidente com o nível médio dos mares.

O geóide não é matematicamente definido, e inclusive sofre alterações dinamicamente em virtude do movimento de placas tectônicas e campo gravitacional.

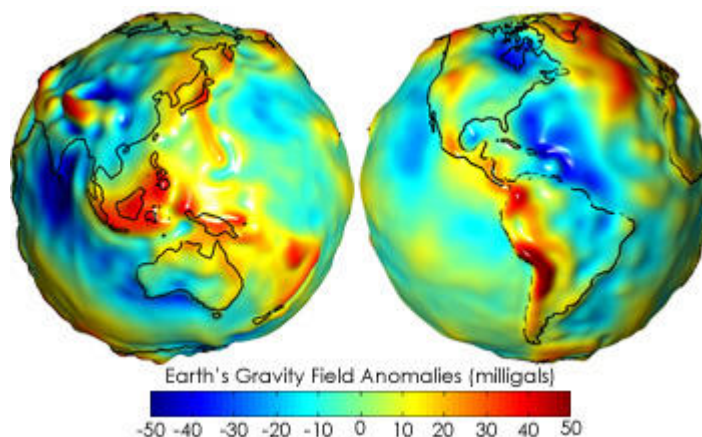


Figura 4: Representação Gráfica das Ondulações do Geóide
Fonte: <http://pt.wikipedia.org>, acessada em 15 de junho de 2007

A figura acima está exageradamente deformada, pois as anomalias do geóide não são perceptíveis a olho nu, pois são poucos metros em muitos quilômetros.

O Plano Topográfico Horizontal é paralelo ao geóide no ponto onde se encontra o equipamento topográfico.

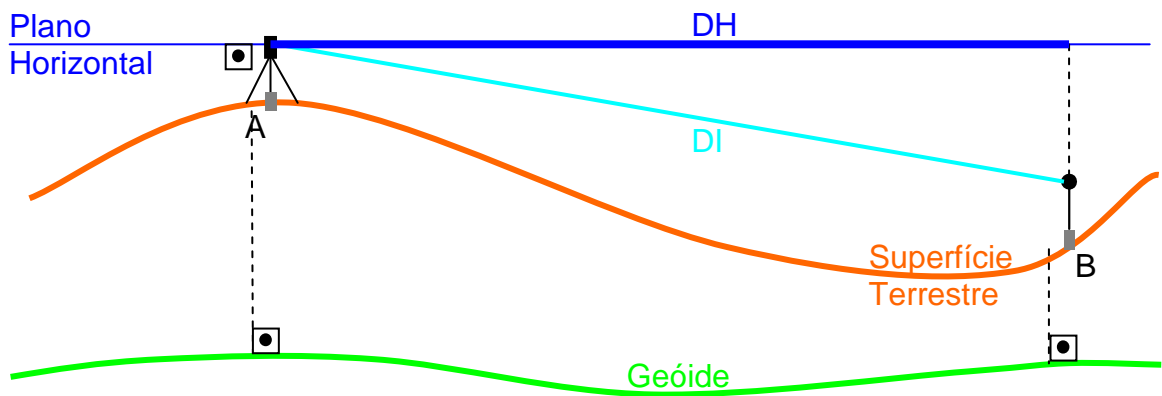


Figura 5: Plano topográfico local
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

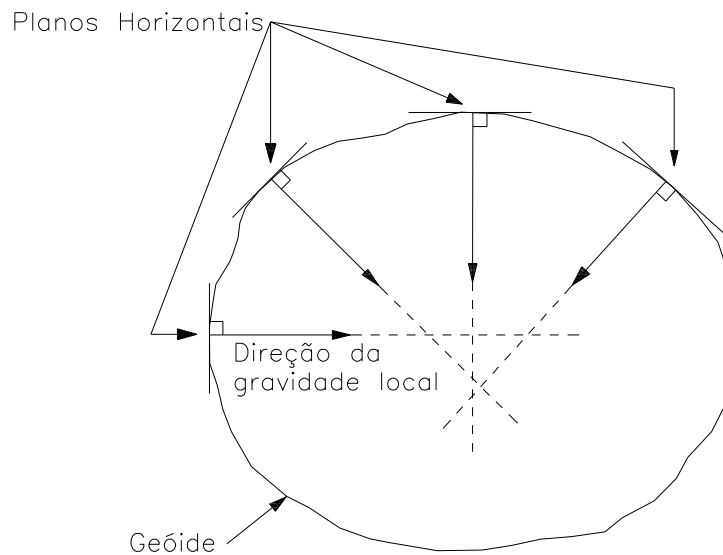


Figura 6: Planos topográficos horizontais
Fonte: França (2006, p.4)

Como podemos perceber na figura acima, os planos topográficos horizontais quando utilizados em grandes extensões, não são paralelos entre si, o que provocam uma deformação muito grande em extensas poligonais ou projetos, como ocorre nas Rodovias.

2.2.3 Elipsóide de referência

Devido à complexidade do Geóide, geodestas 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.

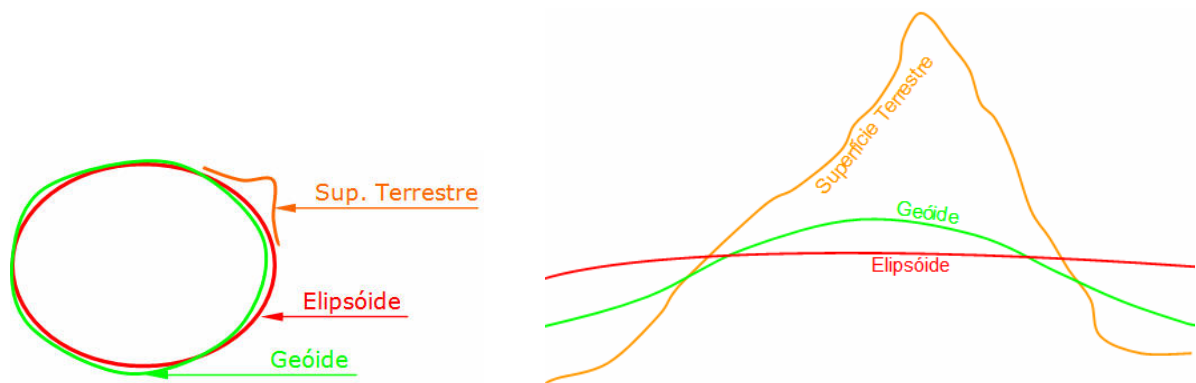


Figura 7: O Elipsóide de referência representando a terra
Fonte: França (2006, p.1)

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.

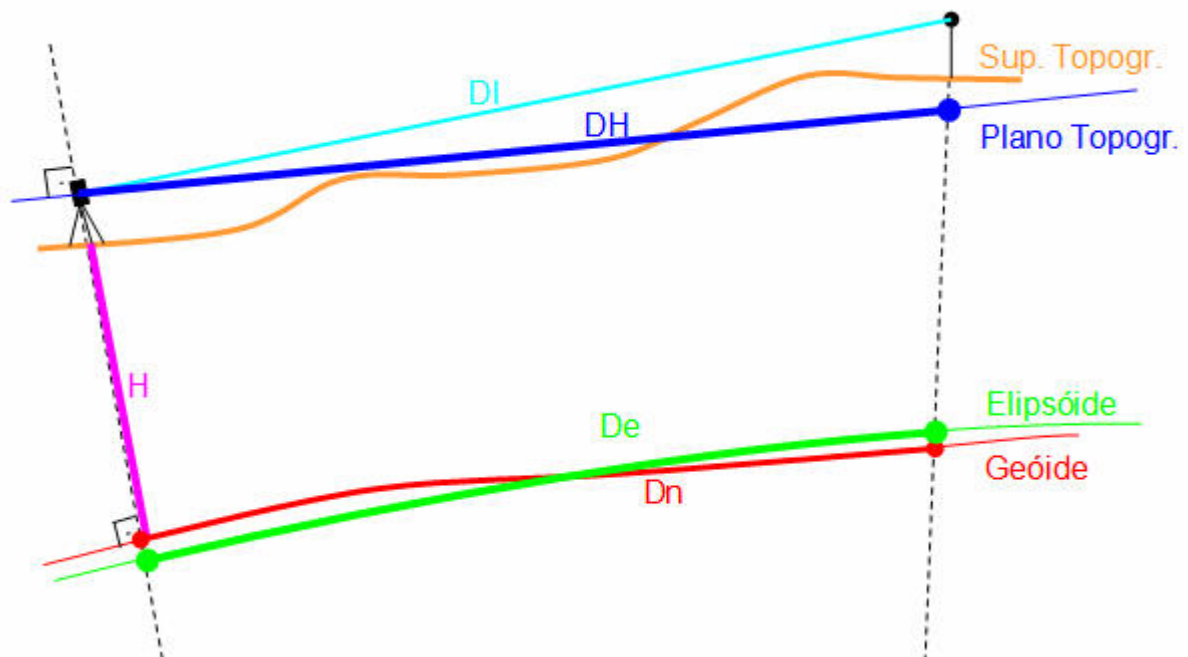


Figura 8: DH projeta sobre o elipsóide
Fonte: França (2006, p.6)

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

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

$$Fr = \frac{Rm}{Rm + Hm} \quad (2)$$

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. Segundo a equação quanto maior for a altitude, menor será o Fr e maior será a redução.

Podemos deduzir, portanto que ao nível do mar, onde Hm é próximo de zero, o Fr será muito próximo de 1 e aí a redução será mínima, onde teremos Dn praticamente igual a DH.

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 $D_n < 5000\text{m}$ (muito comum em levantamentos) poderemos considerar que $D_e = D_n$.

2.3 DATUM GEODÉSICO HORIZONTAL

A forma e tamanho de um elipsóide, bem como sua posição relativa ao geóide define um sistema geodésico (também designado por datum geodésico horizontal). Cada país ou região adota um datum horizontal que mais se aproxime ao seu geóide.

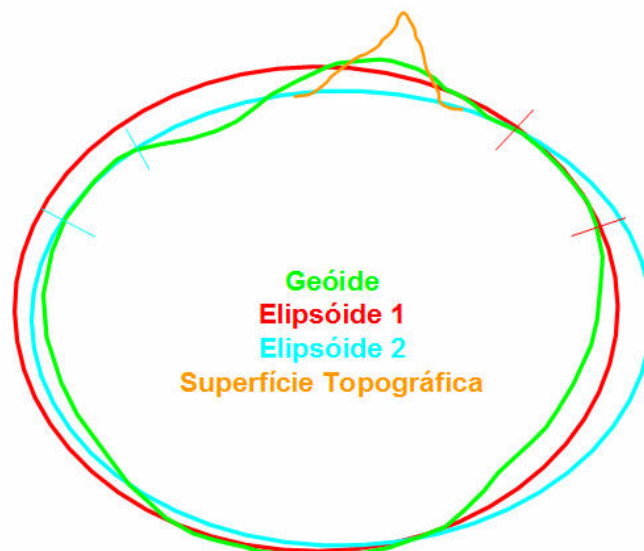


Figura 9: Datum geodésico horizontal
Fonte: França (2006, p.6)

Na definição do datum, temos também que especificar os valores de conversão para o datum internacional que é o **WGS84**.

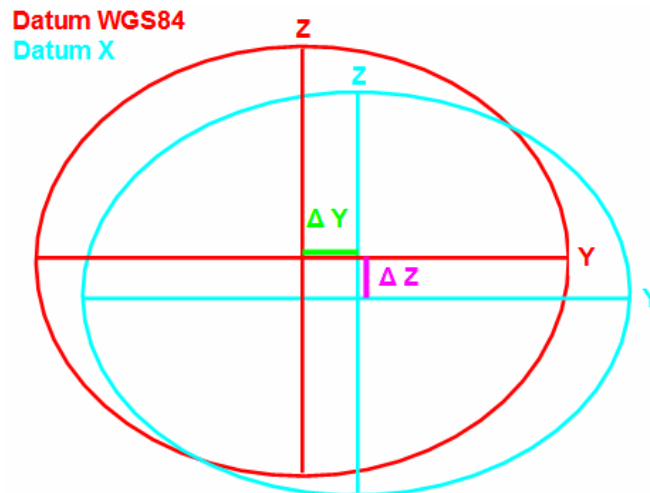


Figura 9: Datum geodésico horizontal
Fonte: França (2006, p.6)

Atualmente, o datum geodésico horizontal oficial no Brasil é o **SIRGAS2000** (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000) e até 2015 poderá ser utilizado o **SAD-69** (South American Datum of 1969). O IBGE recomenda que para novos projetos, seja adotado imediatamente o SIRGAS2000.

Mudando de Datum, mudaremos as coordenadas horizontais.

Pelo fato do SIRGAS2000 e o WGS84 serem geocêntricos (ambos no centro de massa da terra) as coordenadas entre eles varia muito pouco e podemos considerar que não existe mudança nas coordenadas.

2.4 COORDENADAS TERRESTRES

Em virtude da terra possuir forma esférica, é necessário definir um sistema de coordenadas que seja adequado para se tratar a terra num único sistema de coordenadas.

2.4.1 Coordenadas cartesianas geocêntricas

As coordenadas cartesianas geocêntricas utilizam o elipsóide como superfície de referência. As Projeções X, Y e Z (tridimensionais) possuem origem no centro do Datum.

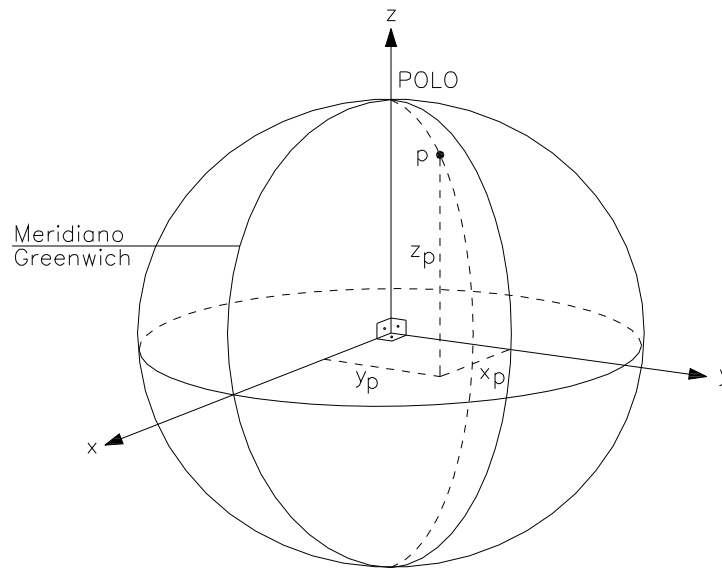


Figura 10: Coordenadas geocêntricas
Fonte: França (2006, p.3)

Este sistema de coordenadas não é utilizado na prática, pois na realidade a referência é sempre a vertical do lugar, que não coincide com os eixos do sistema. É utilizado apenas como referência para os cálculos geodésicos.

2.4.2 Coordenadas geodésicas

As coordenadas geodésicas utilizam o elipsóide como referência. Um ponto é definido por coordenadas esféricas (angulares), denominadas Latitude (φ) e Longitude (λ). O ponto P (sobre a superfície terrestre) se projeta sobre o Elipsóide formando o ponto P'.

A Latitude é formada a partir do plano do Equador até a normal ao Elipsóide, variando de 0° à 90° . Pode ser positiva se o ponto P' estiver no hemisfério

Norte, ou simplesmente N. Pode ser negativa se o ponto P' estiver no hemisfério Sul, ou simplesmente S.

A Longitude é formada a partir do Meridiano de Greenwich até o meridiano que passa pelo ponto P', variando de 0° a 180°. Pode ser positiva se o ponto P' estiver à Leste de Greenwich, ou simplesmente E. Pode ser negativa se o ponto P' estiver à Oeste de Greenwich, ou simplesmente W.

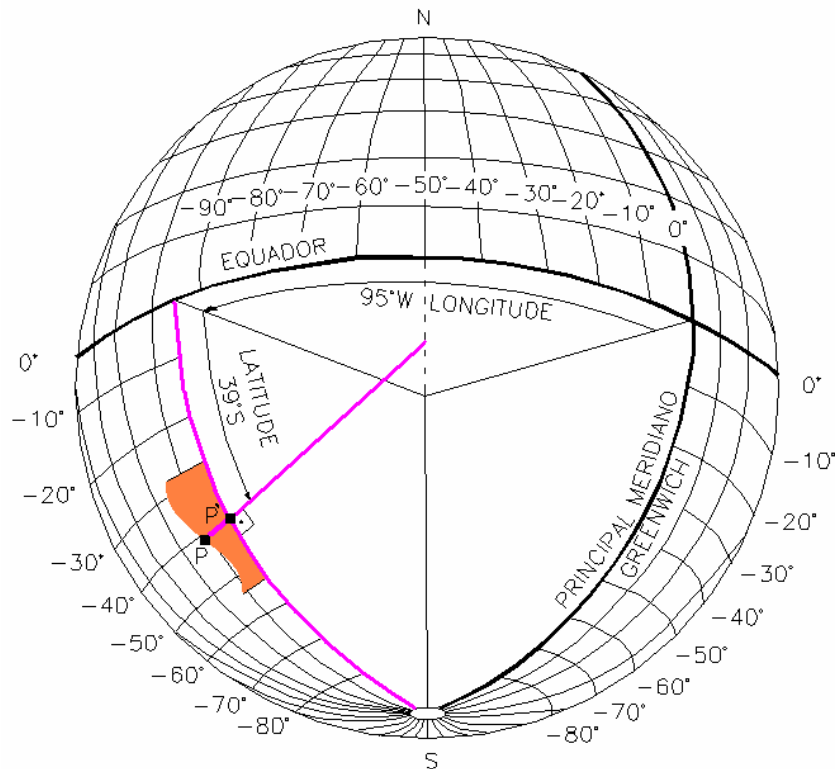


Figura 11: Coordenadas geodésicas
Fonte: França (2006, p.4)

As coordenadas geodésicas só podem ser obtidas com cálculos geodésicos.

2.4.3 Coordenadas geográficas

As coordenadas geográficas utilizam o geóide como referência, e não o elipsóide como as coordenadas geodésicas. O ponto também é definido por coordenadas esféricas (angulares), denominadas Latitude (φ) e Longitude (λ). O Ponto P (sobre a superfície terrestre) se projeta sobre o Geóide formando o ponto P'.

As coordenadas geográficas só podem ser obtidas com observações astronômicas.

Este conceito é relativamente recente, onde antigamente não se diferenciava coordenadas geodésicas de geográficas.

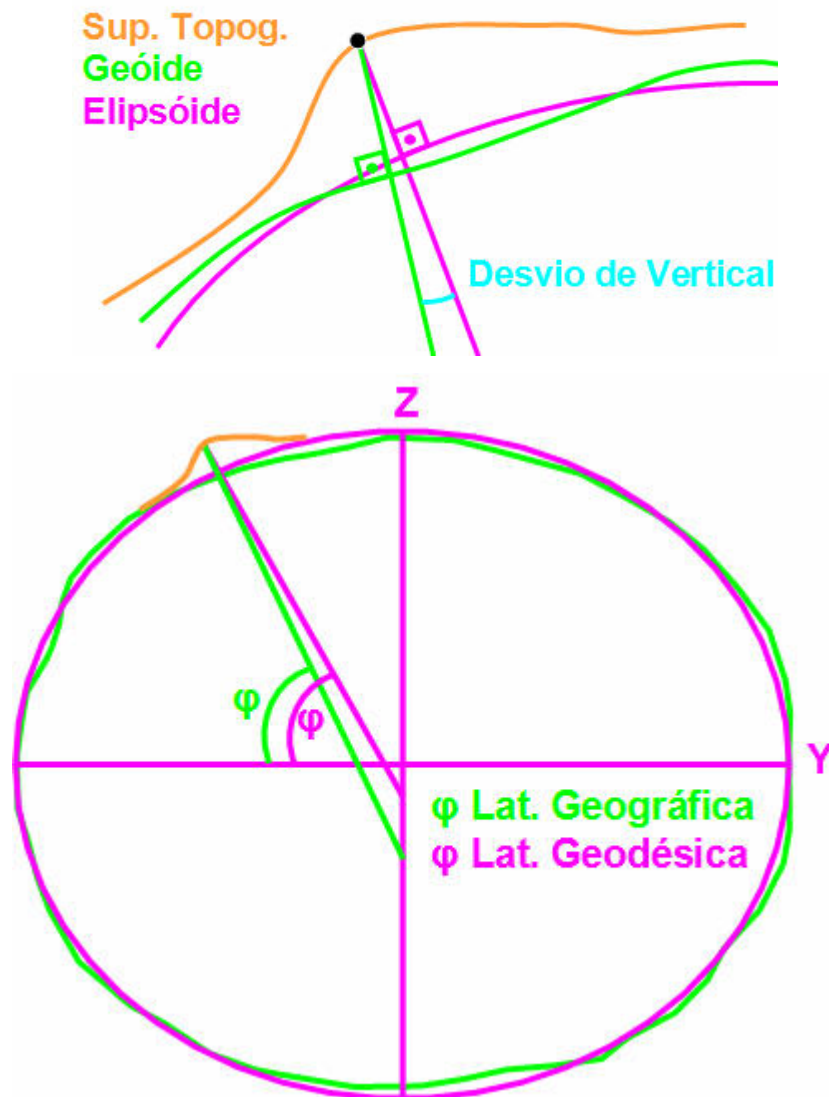


Figura 12: Coordenadas Geográficas x Geodésicas
Fonte: França (2006, p.4)

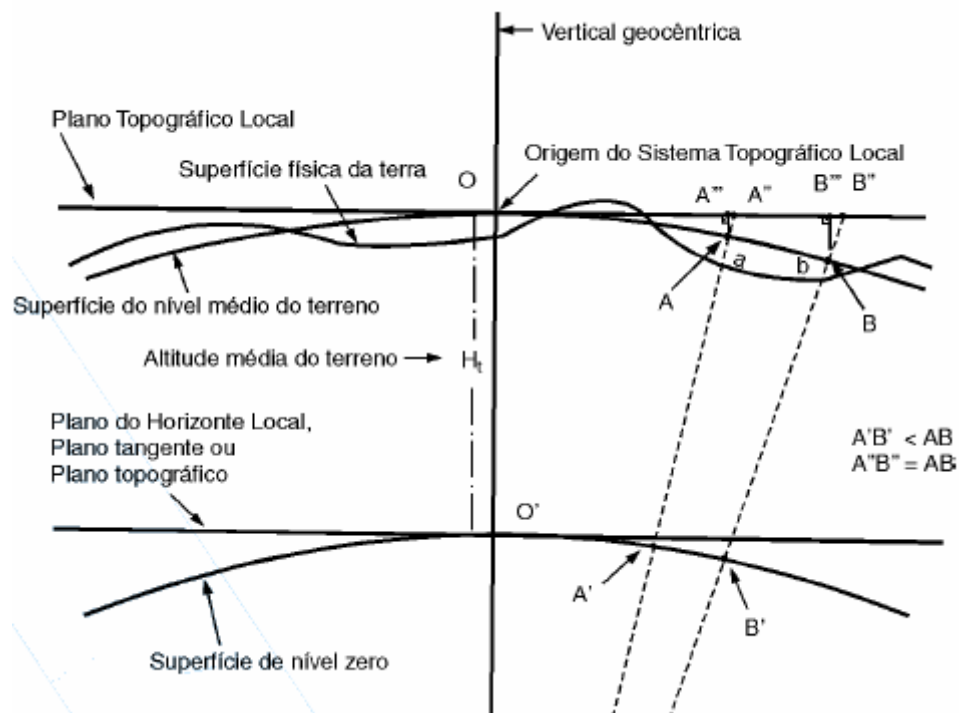


Figura 15: Plano Topográfico Local x Altitude Média
Fonte: NBR14166/1998

O PTL é limitado a um plano quadrado de 100km de lado, sendo 50km a partir da origem.

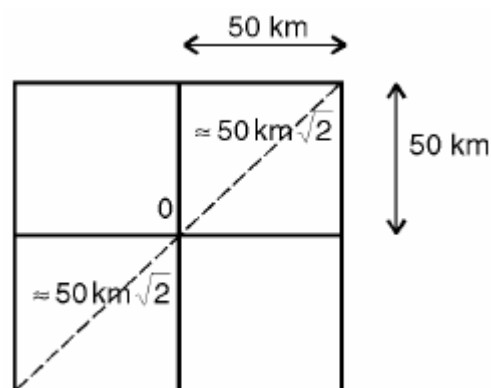


Figura 16: Dimensão do plano topográfico local
Fonte: NBR14166/1998

2.6 SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

Como podemos ver, utilizando qualquer tipo de coordenadas terrestres, não é possível projetar os pontos num plano, pois as coordenadas tratam o globo terrestre realmente como ele é. Ao tentar tornar a terra esférica num plano simplesmente pressionando-a, ele se partirá, não tendo continuidade e sofrendo deformações absurdas.

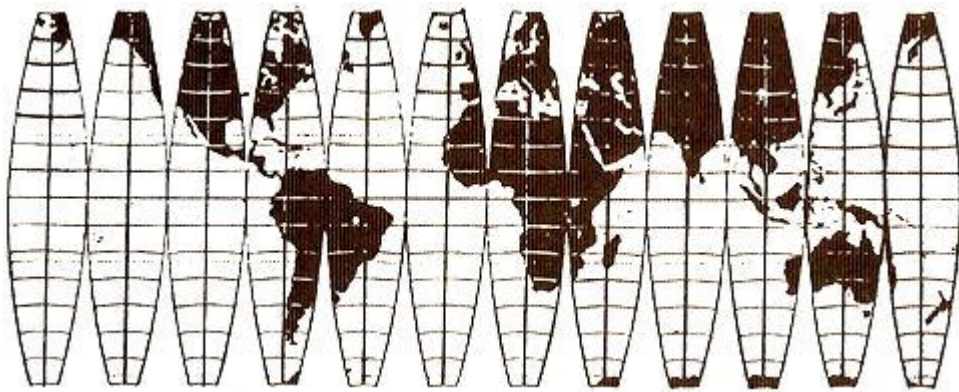


Figura 17: A terra pressionada sobre um plano
Fonte: Duarte (1994,p.83)

Para que possamos utilizar um sistema métrico e plano cartesiano, temos que utilizar um sistema de projeção. Existem vários tipos de sistema de projeção:

Segundo DUARTE (1995), a projeção cartográfica é a base para a construção de mapas.

A representação da rede geográfica sobre um plano necessita de cuidados especiais, tendo em vista que a superfície de uma esfera ao assumir uma forma plana irá sempre sofrer de deformações. A projeção dos paralelos e dos meridianos na superfície interna de um cilindro, de um cone ou diretamente num plano foi a solução geométrica encontrada de modo a tornar mais fácil o entendimento das deformações. Obviamente estes são os três princípios geométricos básicos cujo resultado final pode ser obtido diretamente com a aplicação de fórmulas matemáticas, sem a necessidade dos desenhos abaixo.

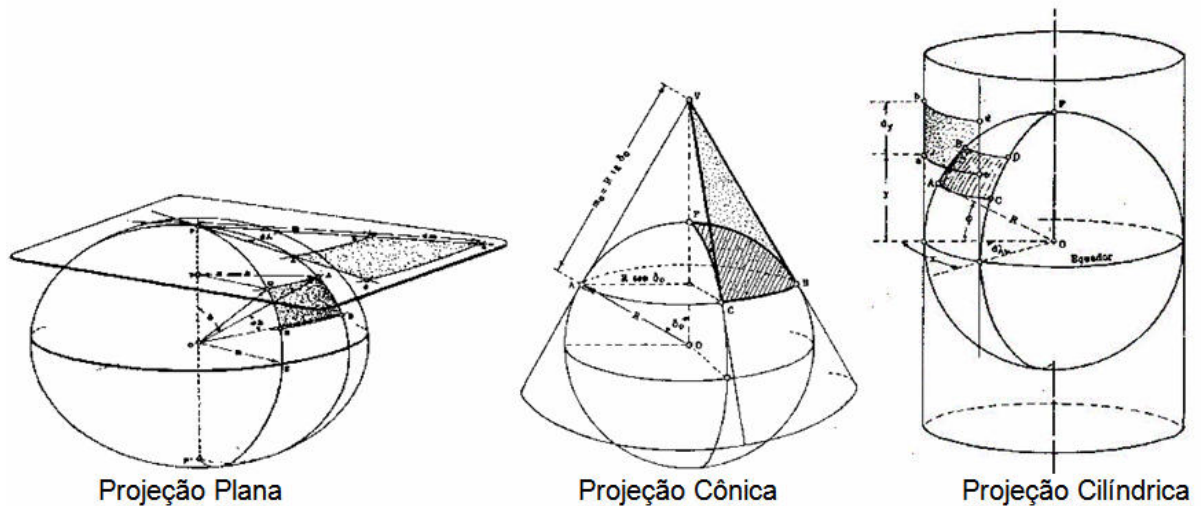


Figura 18: Superfícies básicas para obtenção das projeções cartográficas
Fonte: França (2006, p.5)

Todas as três superfícies são possíveis de planificação. Será adotada uma ou outra, dependendo da deformação dos elementos mais importantes para uma determinada finalidade.

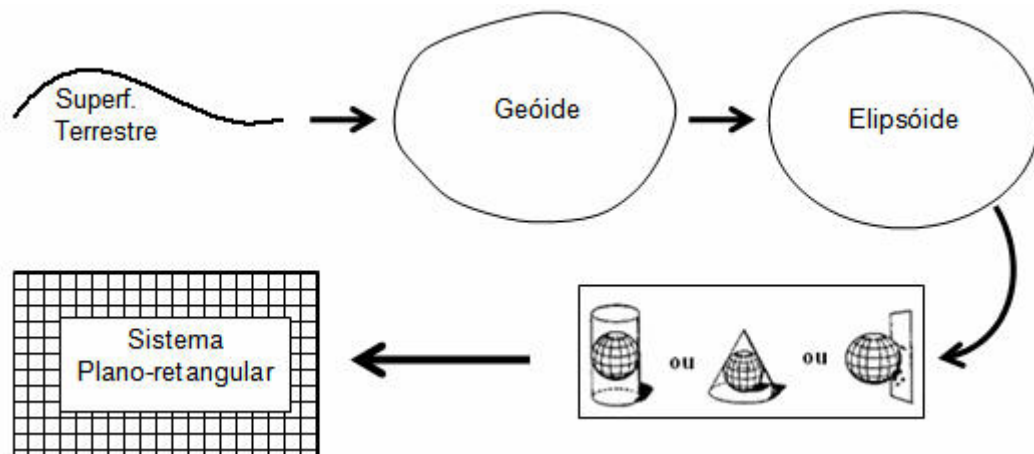


Figura 19: Processo para projetar da superfície terrestre até o sistema de coordenadas plano retangular

Fonte: França (2006, p.6)

2.6.1 Sistema de projeção UTM

O Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) utiliza a projeção cilíndrica como referência, mas dispõe o cilindro transversal ao eixo de rotação da terra. Além disso, o cilindro é secante ao elipsóide.

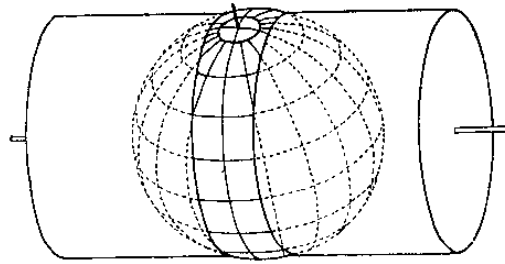


Figura 20: Cilindro transversal secante ao elipsóide.
Fonte: Silveira (1990)

Para reduzirmos as deformações, utilizaremos apenas um fuso com a amplitude de 6° .

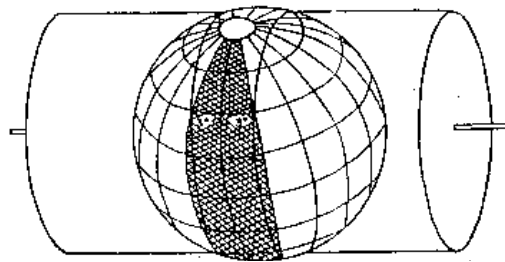


Figura 21: Fuso usado em cada cilindro.
Fonte: Silveira (1990)

Portanto, teremos 60 fusos UTM de 6° para o recobrimento terrestre total. Cada fuso é numerado a partir do antimeridiano de Greenwich ($\lambda=180^\circ\text{W}$).

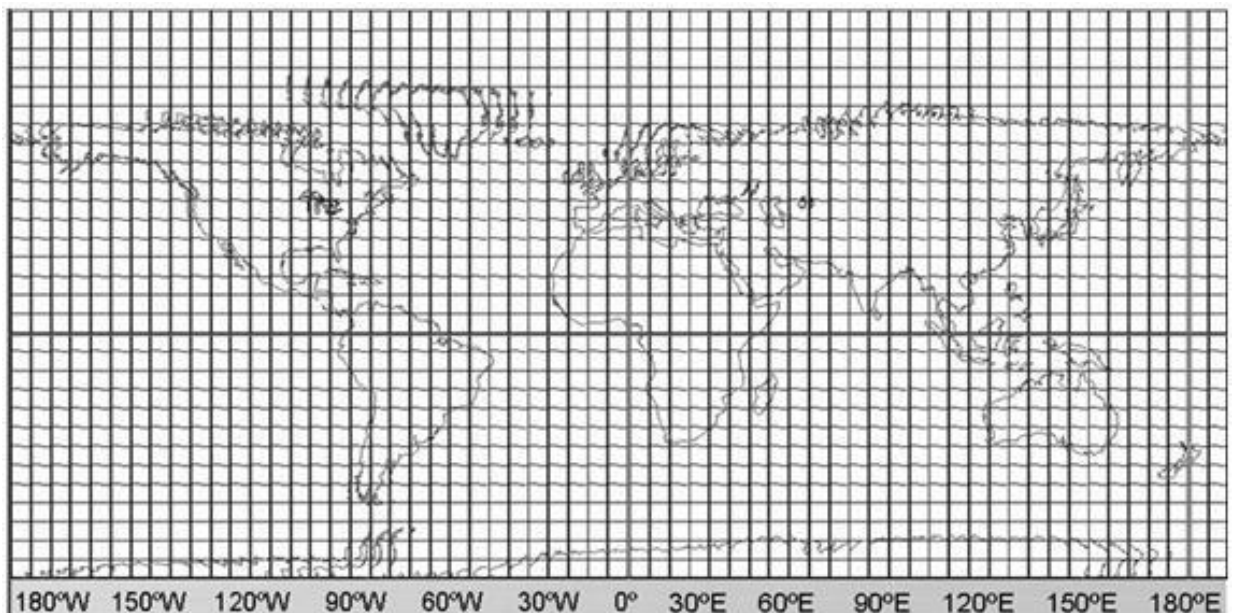


Figura 22: recobrimento mundial com o sistema UTM
Fonte: França (2006, p.8)

Como podemos ver na imagem acima, os fusos não são contínuos havendo replicação de um mesmo ponto em mais de um fuso, o que para um mapeamento é inconcebível. Quanto mais próximo dos pólos, pior é a replicação. Se

for eliminar a replicação, teremos pontos abertos no mapa, o que evidencia a impossibilidade de continuidade. Portanto não poderemos trabalhar com 2 fusos juntos. Cada fuso terá que montar um sistema próprio, orientado pelo número do Fuso ou pelo Meridiano Central.

Os fusos UTM podem ser ampliados em até 30' de longitude. Mais do que 30' não é recomendado por trazer deformações muito grandes. Nas latitudes acima de 80°N e 80°S também não é recomendado.

No Brasil, temos 8 fusos UTM para o recobrimento total. O estado de Santa Catarina é um dos poucos estados do Brasil que está integralmente englobado num único fuso. O Fuso UTM que abrange nosso estado é o de número 22, que corresponde ao meridiano central 51°W.

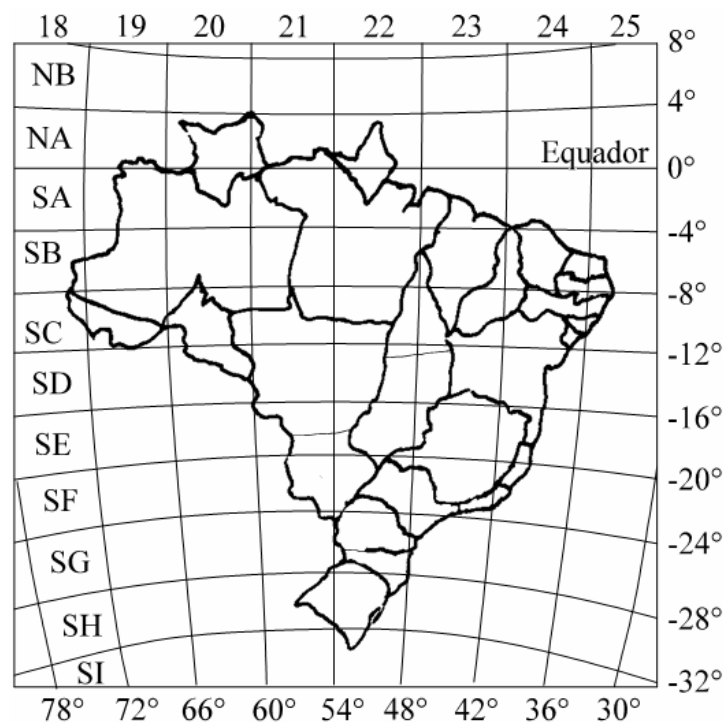


Figura 23: recobrimento do Brasil no sistema UTM.

Fonte: Noções básicas de cartografia, IBGE, disponível em www.ibge.gov.br

Como o cilindro é secante, dentro de cada fuso teremos distâncias que partindo do elipsóide, sofrerão redução e outras ampliações, para que sejam projetadas sobre o cilindro UTM.

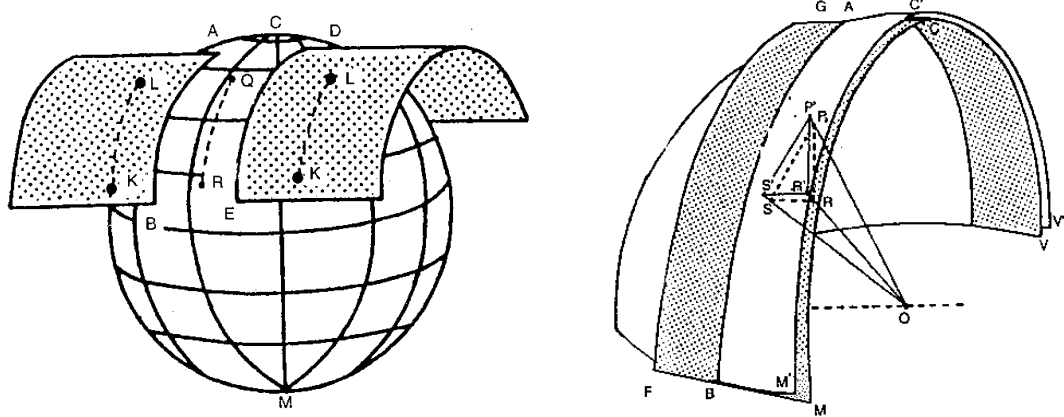


Figura 24: projeção de distâncias no cilindro.
Fonte: França (2006, p.7)

Num corte, poderemos observar o cilindro secante ao elipsóide. Quanto maior for a distância do cilindro em relação ao elipsóide, maior será a deformação.

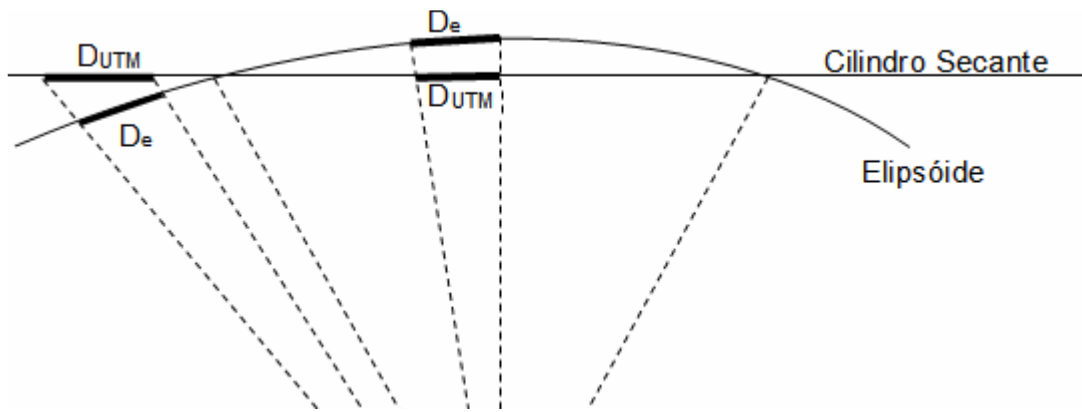


Figura 25: Projeção da Distância Elipsoidal sobre o Cilindro de projeção
Fonte: França (2006, p.6)

Podemos gerar uma relação K (fator de escala) entre a D_{UTM} (distância UTM) e a D_e (distância elipsoidal).

$$K = \frac{D_{UTM}}{D_e} \quad (4)$$

$$D_{UTM} = D_e \cdot K \quad (5)$$

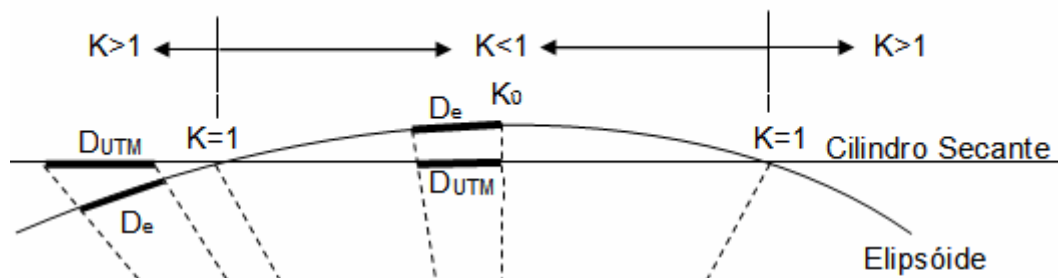


Figura 26: Fator de Escala K ao longo do fuso
Fonte: França (2006, p.7)

Observando o fuso em vista frontal, teremos então Zonas de Ampliação e Zonas de Redução, onde teremos a redução máxima no meridiano central e a ampliação máxima no Bordo do Fuso. Na linha de secância não teremos deformação nenhuma, onde o $K=1$, lembrando sempre que o K , representa o fator de escala entre a D_e e a D_{UTM} .

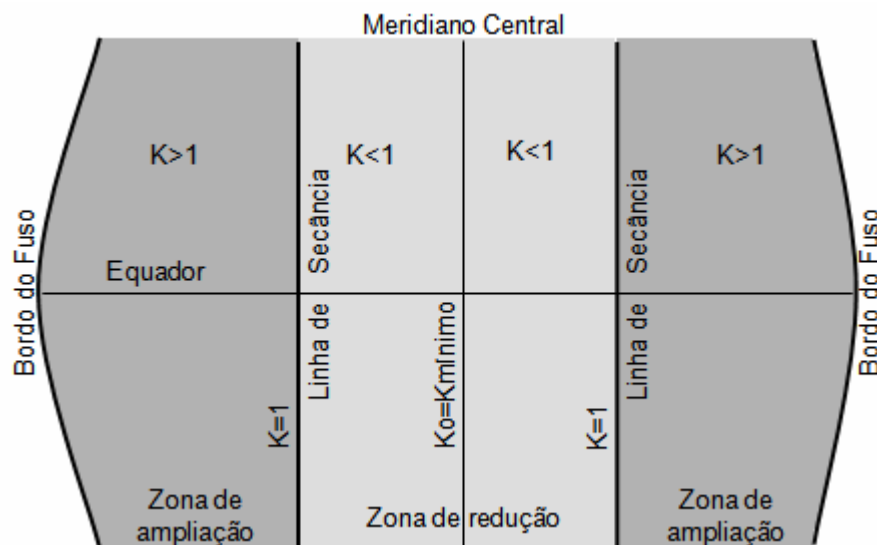


Figura 27: Fator de Escala K ao longo do fuso
Fonte: França (2006, p.8)

O Fator K é calculado com a seguinte fórmula (6):

$$K = \frac{K_0}{\sqrt{1 - [\cos \phi_m \cdot \sin(\lambda_m - MC)]^2}} \quad (6)$$

Onde:

K_0 : K mínimo (para o sistema UTM é 0,9996)

ϕ_m : latitude média entre 2 pontos

λ_m : longitude média entre 2 pontos

MC: longitude do meridiano central

Para o cálculo das coordenadas, é incluído um falso norte e um falso este para evitar coordenadas negativas. Na direção Norte, temos acrescido 10000000,0000m no Equador para o Hemisfério Sul. Para o Hemisfério Norte, o Equador vale 0m. Na direção Este, temos o acréscimo de 500000,0000m no Meridiano Central. Isso se repete nos 60 fusos UTM. Por isso, para definir um único ponto georreferenciado em UTM, temos que informar:

- Datum
- Meridiano Central
- Hemisfério
- Coordenadas N e E

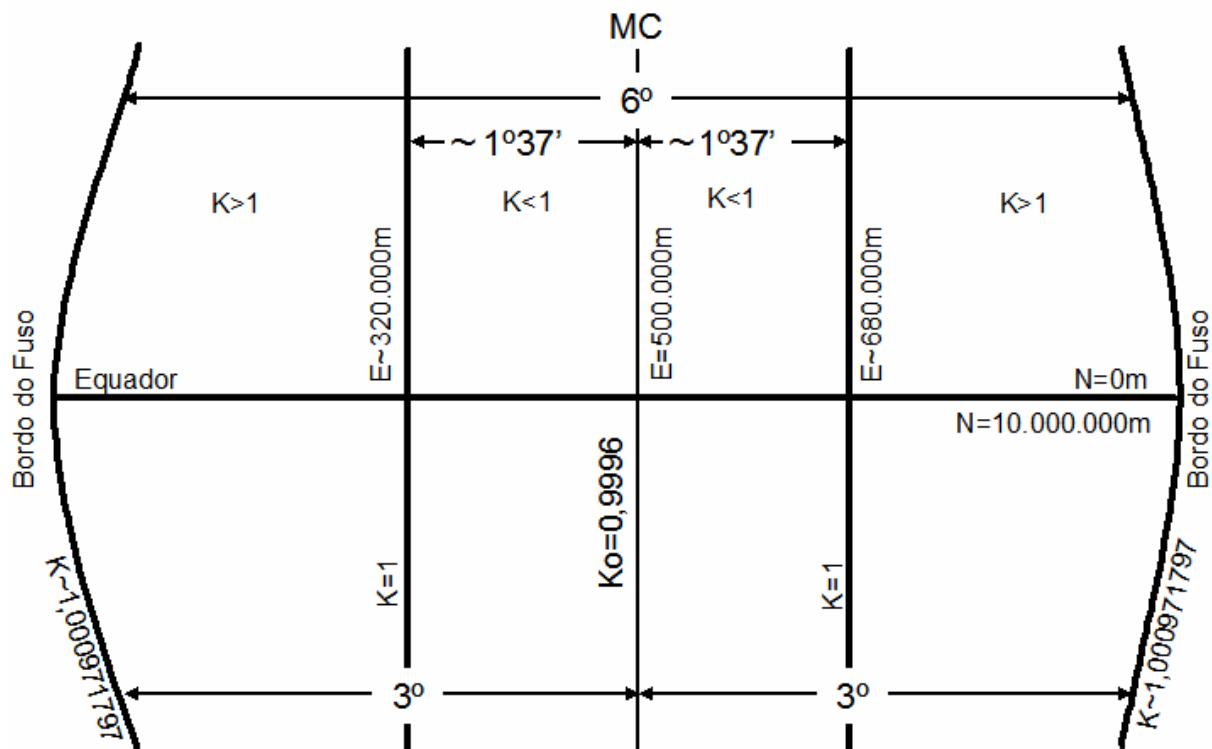


Figura 28: Características do sistema UTM ao longo do fuso

Fonte: França (2006, p.9)

2.6.2 Sistema de projeção RTM

O Sistema de Projeção RTM (Regional Transversa de Mercator) possui as mesmas características que o UTM, diferindo apenas:

- na amplitude do fuso que é de 2° de longitude (180 fusos)
- $K_0 = 0,999995$

- Falso $Y=5000000,0000\text{m}$ no Equador e $X=400000,0000\text{m}$ no Meridiano Central

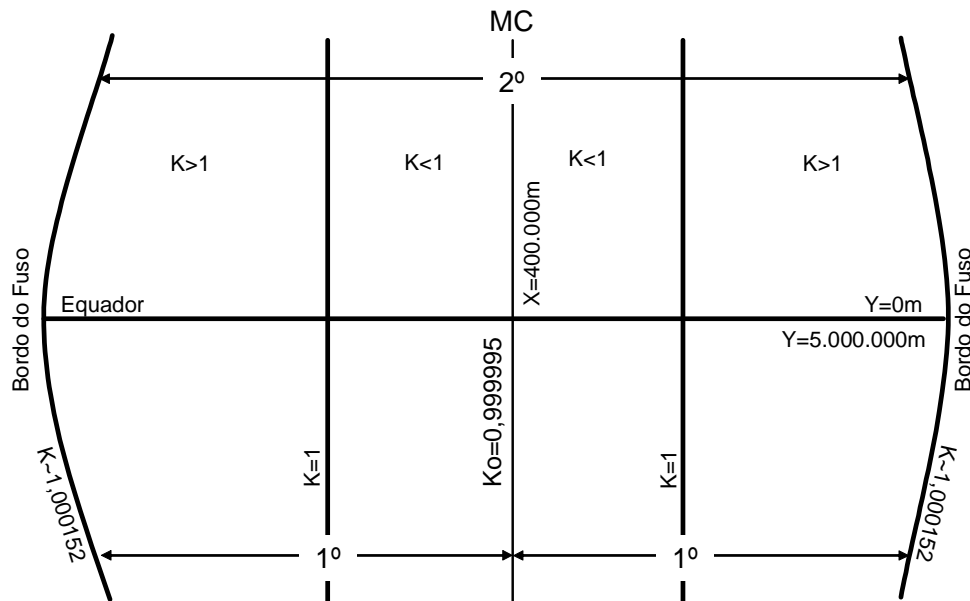


Figura 29: Características do sistema RTM ao longo do fuso
Fonte: França (2006, p.10)

Como a amplitude é de 2° , teremos o recobrimento de Santa Catarina com 3 fusos. Lembramos aqui que estes fusos devem ser tratados separadamente, pois não são contínuos.

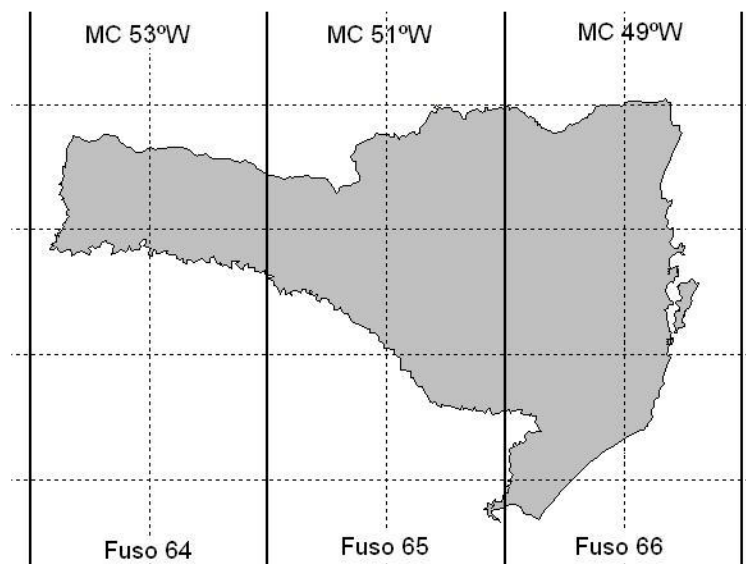


Figura 30: recobrimento de Santa Catarina no sistema RTM.
Fonte: França (2006, p.10)

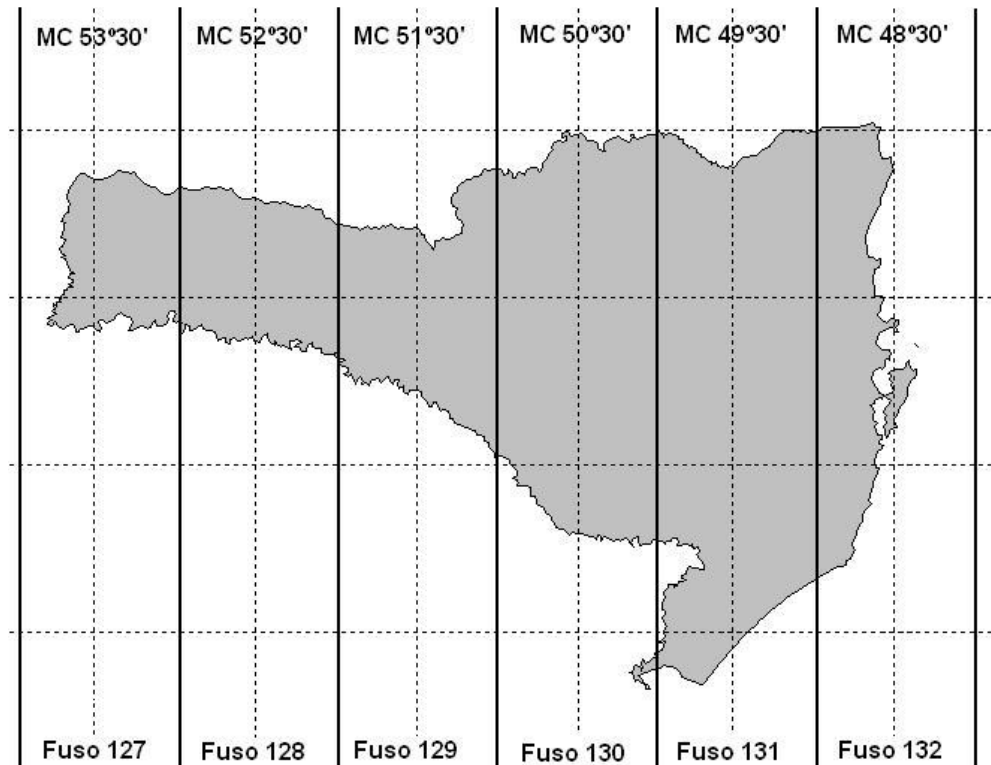


Figura 32: recobrimento de Santa Catarina no sistema LTM.

Fonte: França (2006, p.11)

3 DEFORMAÇÃO ENTRE UTM x RTM x LTM x ALTITUDE

Uma confusão normal entre os profissionais da área de geodésia é a de que o K (fator de escala) quanto mais próximo de 1 trará menos deformação. Esta análise faz conceber que o Sistema LTM trará menor deformação, pois é este sistema que possui o fuso com menor amplitude e logicamente estará mais próximo do elipsóide.

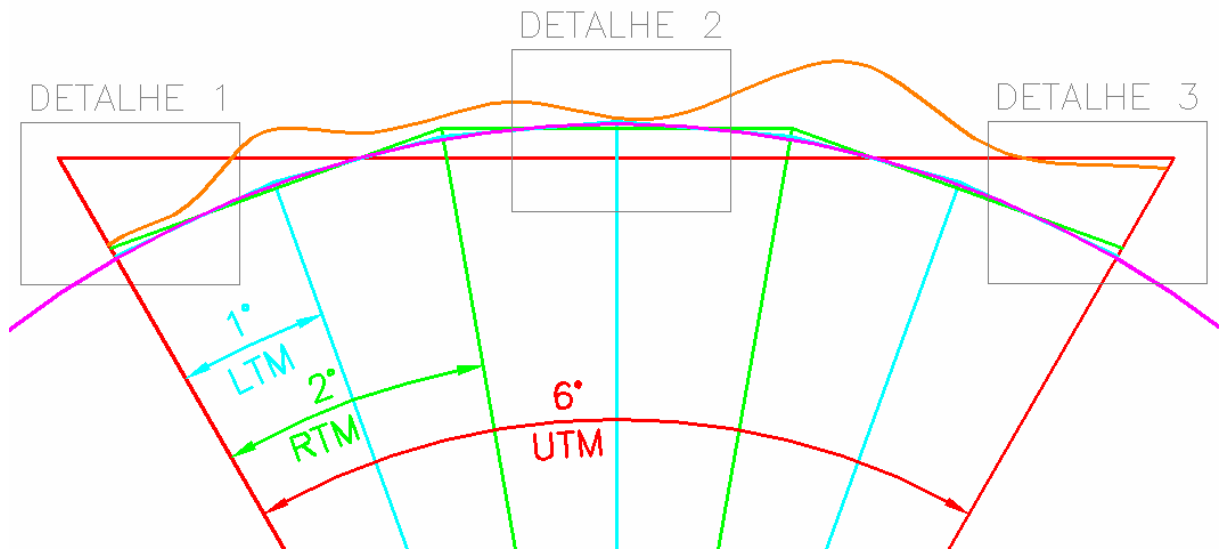


Figura 33: Cilindros UTM, RTM e LTM sobre o Elipsóide.
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

Porém as distâncias são medidas no Plano Topográfico Local e não sobre o Elipsóide. Teremos que considerar também o Fr (Fator de Redução) e este depende exclusivamente da altitude da medição.

Portanto, chamaremos de Kr o fator de conversão da distância horizontal para a distância no cilindro de projeção, determinados pelas fórmulas (7) e (8)

$$Kr = K.Fr \quad (7)$$

$$Kr = \frac{D_{TM}}{DH} \quad (8)$$

Analisando os detalhes temos:

a) Detalhe 1: no detalhe 1 vemos que DH está mais próxima do plano RTM, do que dos planos UTM e LTM. Isso ocorre por causa da altitude dos pontos medidos em campo e da disposição dos planos de projeção. Portanto, neste caso, a melhor projeção é a RTM. É importante destacar que a D_{LTM} é a mais próxima do Elipsóide e possui o K mais próximo de 1, porém é o Kr do RTM que está mais próximo de 1.

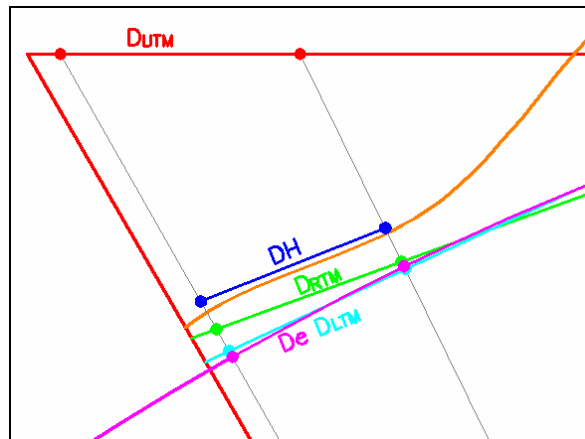


Figura 32: Detalhe 1 da projeção da Distância Horizontal.
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

b) Detalhe 2: agora, por causa da altitude e da disposição dos planos, vemos que DH está mais próxima do plano LTM, do que dos planos UTM e RTM. Portanto, neste caso, a melhor projeção é a LTM. Aqui é a LTM que possui o K e o K_r mais próximos de 1.

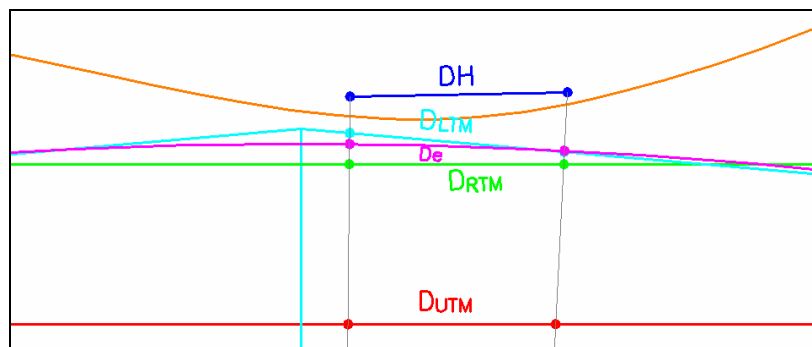


Figura 33: Detalhe 2 da projeção da Distância Horizontal.
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

c) Detalhe 3: nesta situação o melhor plano de projeção é o UTM, pois a DH está mais próxima a ele. Percebamos que neste caso o K é muito maior que 1, porém o K_r é muito próximo de 1.

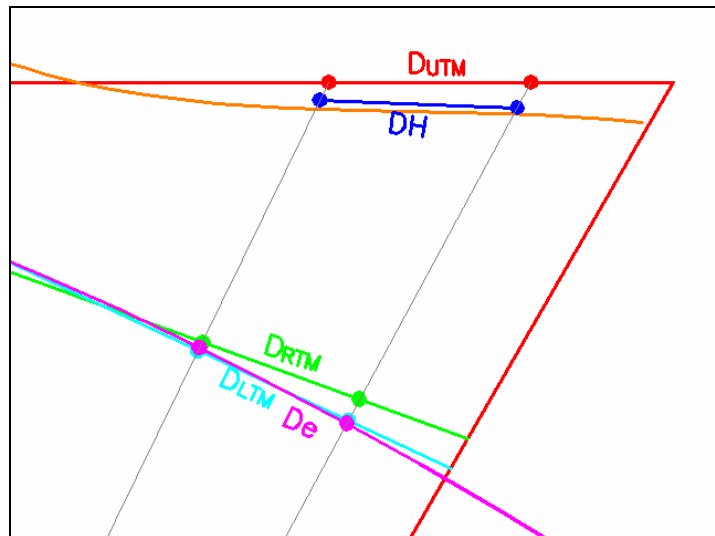


Figura 34: Detalhe 3 da projeção da Distância Horizontal.
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

4 NORMAS DE ÓRGÃOS PÚBLICOS

Pesquisando junto aos diversos órgãos, detectamos algumas divergências que por conveniência, deveriam ser padronizadas. Consultamos os seguintes órgãos públicos que de uma forma ou de outra possuem envolvimento com as rodovias:

- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
- DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes)
- DEINFRA (Departamento Estadual de Infra-estrutura)
- SPU (Secretaria do Patrimônio da União)
- CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina)
- ELETROSUL Centrais Elétricas
- DER-PR (Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná)
- DAER-RS (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul)
- DER-SP (Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo)
- DER-RJ (Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro)
- DER-ES (Departamento de Estradas de Rodagem do Espírito Santo)
- DER-DF (Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal)
- DER-RN (Departamento de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Norte)

- DER-AL (Departamento de Estradas de Rodagem do Alagoas)
- AGETOP (Agência Goiana de Transportes e Obras)
- DER-PE (Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco)
- DER-PB (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado da Paraíba)
- DER-MG (Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais)

Somente 7 órgãos nos responderam.

ÓRGÃO	SISTEMA DE PROJEÇÃO	DATUM	OBSERVAÇÃO
DER/PR	UTM	SAD69	Não normalizado
DER/DF	Plano Topográfico Local	-	Não normalizado
CELESC	LTM	SIRGAS2000	Não normalizado
DNIT	UTM	SAD69	Não normalizado
ELETROSUL	UTM	SAD69	Não normalizado
DEINFRA/SC	LTM	SAD69	Não normalizado
DER/PE	Geodésicas	Não informado	Não normalizado

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

5 CÁLCULOS DAS DEFORMAÇÕES NO ESTADO DE SC

Para analisar as deformações, utilizamos como referência uma distância de 1000m. Como em obras rodoviárias, 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 (dfr)

Como vimos em 2.2.3, o fator de redução produz uma deformação da distância horizontal única e exclusivamente em função da altitude.

Para calcular a dfr, utilizamos as imagens do Projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

O Projeto SRTM é um programa de pesquisa para conhecer e examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e vida, assim como conhecer sua evolução espacial. Os dados da SRTM são o resultado de uma missão espacial da NASA (National Aeronautics and Space Administration), NIMA (National Imagery and Mapping Agency), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana), tendo como objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria. A missão coletou medidas 3-D da superfície terrestre usando interferometria. A Interferometria compara duas imagens de radar tomadas de pontos ligeiramente diferentes para obter elevação ou informação de mudanças na superfície. (fonte: <http://www.esteio.com.br/newsletters/paginas/006/coordenadas.htm>)

Isso foi feito com o Radar a bordo de uma espaçonave.

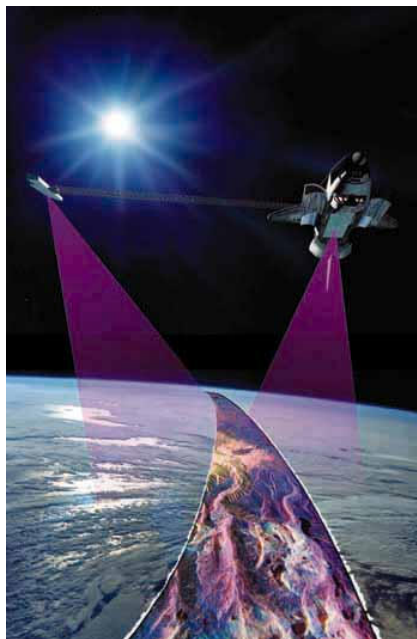


Figura 35: espaçonave da NASA realizando as medições da superfície terrestre.
Fonte: www.geo.unizh.ch/rsi/research/SARLab/srtm/, acessado em 14 de junho de 2007.

As elevações obtidas neste programa estão disponíveis gratuitamente na internet no site www2.jpl.nasa.gov/srtm/.

Um exemplo do uso dos dados do SRTM, é o software Google Earth, que fez uma fusão de imagens de satélite com os dados do SRTM e disponibiliza gratuitamente acesso à qualquer lugar do mundo ao clique do mouse. A Figura 2: Superfície terrestre do item 2.2.1 deste TCC, é uma ilustração desta ferramenta.

A EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), disponibiliza também os dados do SRTM já tratados para download, somente do estado de Santa Catarina. Utilizamos estes dados medidos pela Nasa e tratados pela EPAGRI, para obtermos um cartograma com as deformações em função da altitude (dfr).

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 utilizando uma função específica que pega cada valor da altitude e aplica numa equação, gerando uma nova matriz com a deformação.

Para o cálculo da deformação, pegamos o fator de redução, multiplicamos por 100000cm e diminuimos os 10000000cm. O valor que iremos trabalhar é em módulo, pois neste trabalho não importa se a deformação é positiva ou negativa, mas sim o seu valor absoluto.

$$dfr = |Fr.100000 - 100000| \quad (9)$$

Sendo dfr a deformação produzida pelo Fr (projeção da DH para a De).

No próprio Surfer, modelamos as deformações apresentando-as em forma de cartograma.

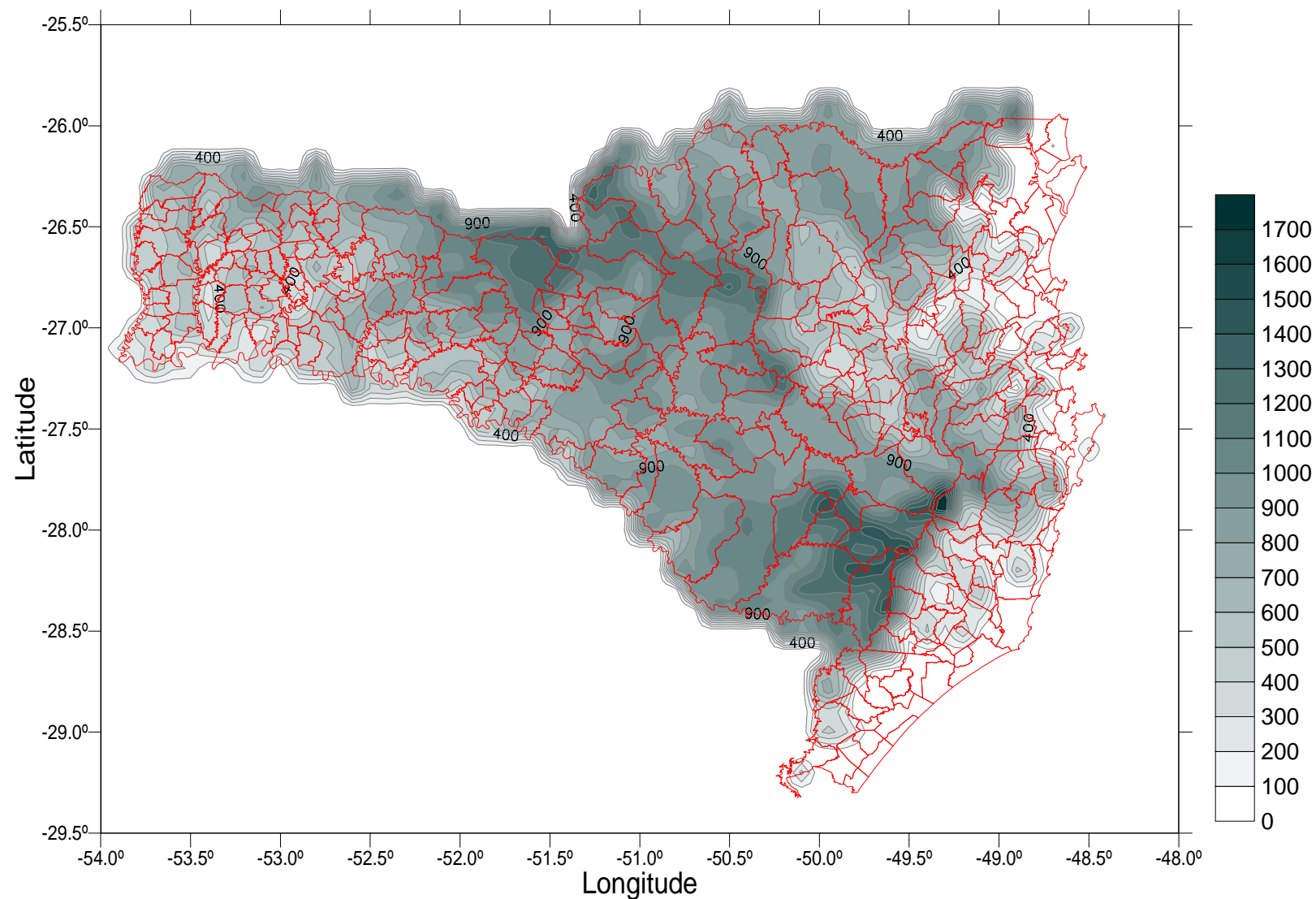


Figura 36: Cartograma Hipsométrico do Estado de Santa Catarina – altitude em metros
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

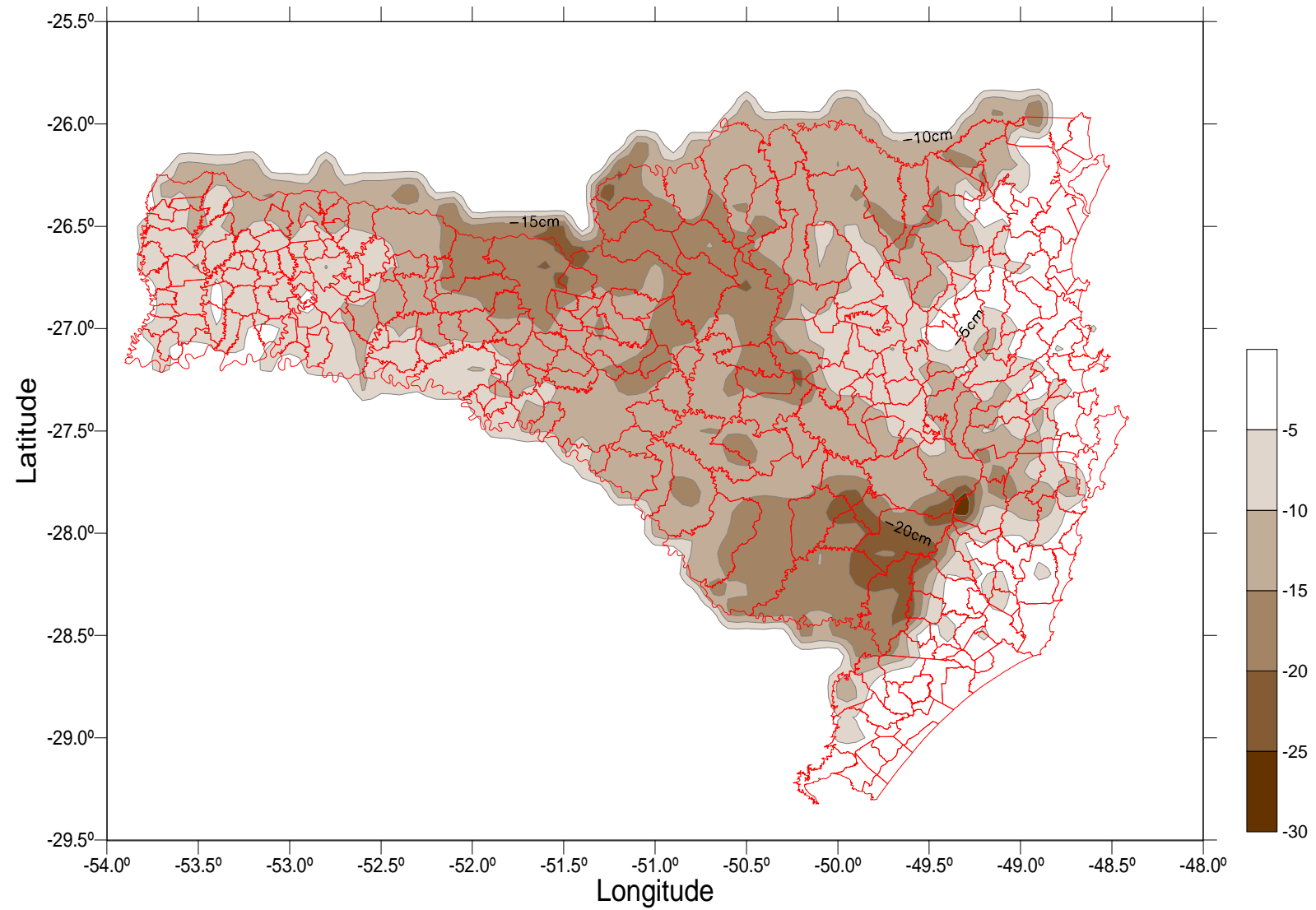


Figura 37: Cartograma da deformação da DH para De – dfr em cm/km
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

5.2 DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO K (dk)

No item 2.6.1 pudemos observar como é realizado o cálculo do fator K, que é o fator de escala da distância elipsoidal para o plano de projeção. Ele depende da posição dentro do fuso, ou seja, da latitude e longitude, do meridiano central do fuso e do K_0 de cada projeção.

Elaboramos uma planilha eletrônica no Excel para efetuar os cálculos do K nas projeções UTM, RTM e LTM nas coordenadas variando de $0,1^\circ$ em $0,1^\circ$ para abranger toda a imagem do cartograma.

	D	E	F	G	H	I
		MC=	-49			
		Ko=	0,999995			
		Latitude	Longitude	K		
		-25,5	-48,1	1,000095511057		
		-25,6	-48,1	1,000095343448		
		-25,7	-48,1	1,000095175369		
		-25,8	-48,1	1,000095006821		
		-25,9	-48,1	1,000094837806		

Figura 38: planilha eletrônica elaborada para o cálculo do K
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

No sistema UTM, Santa Catarina está inteiramente num único fuso, o de número 22. Este fuso possui o MC= 51° W e $K_0=0,9996$.

No sistema RTM, Santa Catarina é coberta por 3 fusos. O fator de escala é $K_0=0,999995$.

Fuso	Bordo Esquerdo	Meridiano Central	Bordo Direito
64	54° W	53° W	52° W
65	52° W	51° W	50° W
66	50° W	49° W	48° W

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

No sistema LTM, Santa Catarina é coberta por 6 fusos. O fator de escala é $K_0=0,999995$.

Fuso	Bordo Esquerdo	Meridiano Central	Bordo Direito
127	54°W	53°30'W	53°W
128	53°W	52°30'W	52°W
129	52°W	51°30'W	51°W
130	51°W	50°30'W	50°W
131	50°W	49°30'W	49°W
132	49°W	48°30'W	48°W

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

Com o K de todos os sistemas de projeção calculados, partimos para o cálculo da deformação, onde pegamos o K, multiplicamos por 100000cm e diminuimos os 10000000cm. O valor que iremos trabalhar é em módulo, pois neste trabalho não importa se a deformação é positiva ou negativa, mas sim o seu valor absoluto.

$$dk = |K.100000 - 100000| \quad (10)$$

sendo dk: deformação produzida pelo K (projeção da De para o cilindro de projeção – D_{UTM}, D_{RTM} ou D_{LTM})

No Surfer, importamos as deformações do Excel e modelamos, apresentando-as em forma de cartograma.

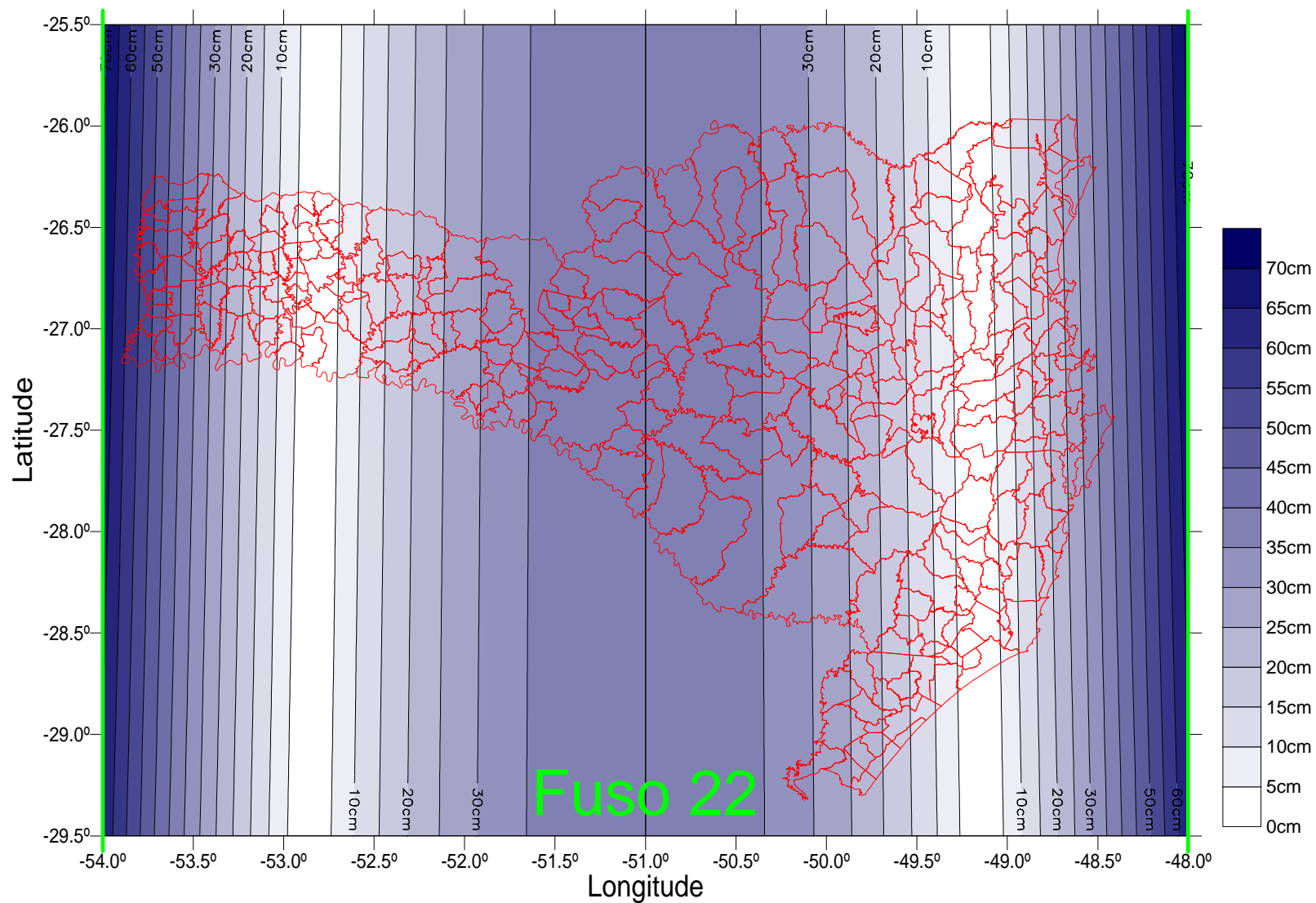


Figura 39: Cartograma da deformação da De para DUTM – dk em cm/km – único fuso UTM

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

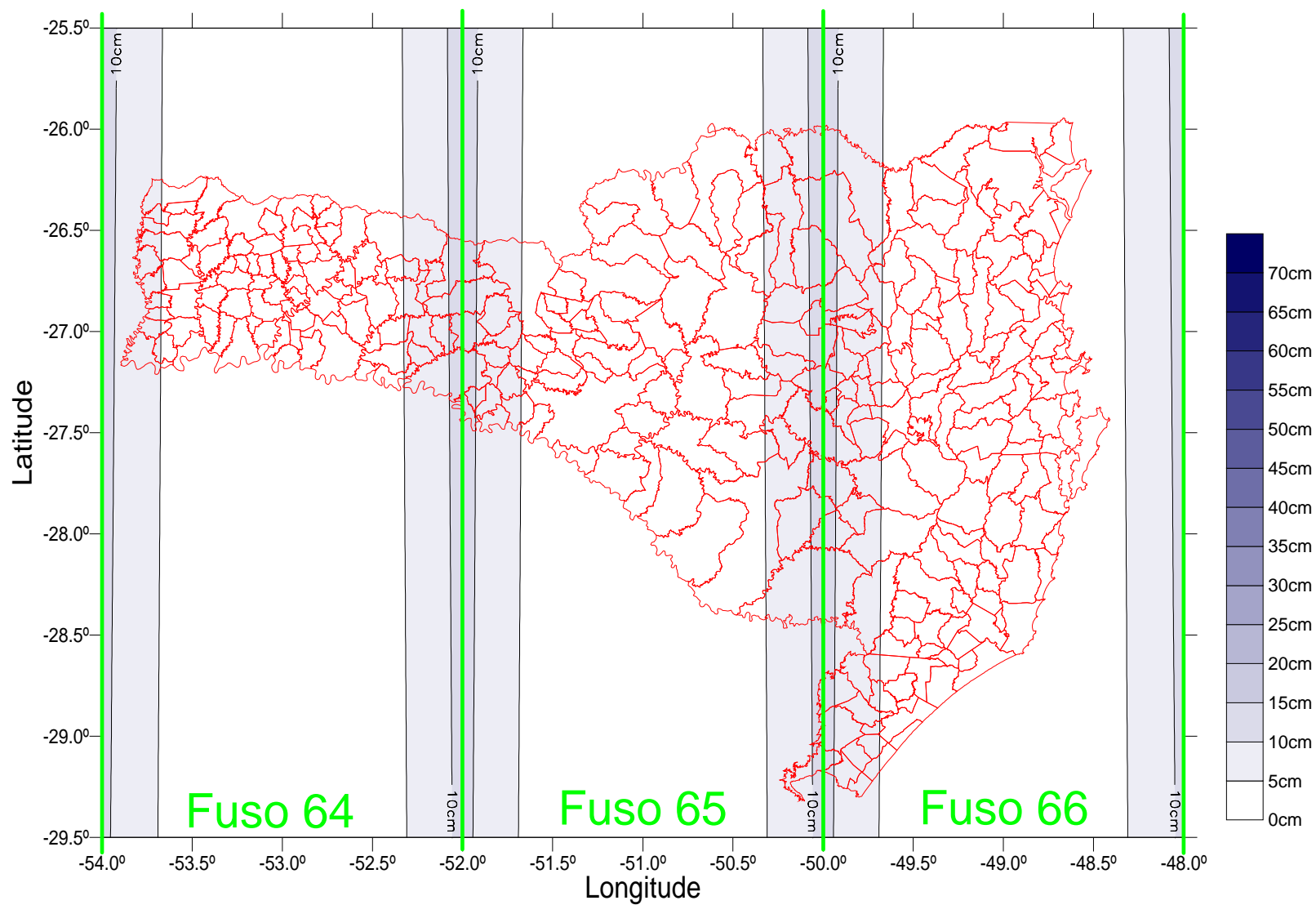


Figura 40: Cartograma da deformação da De para DRTM – dk em cm/km –três fusos RTM
 Fonte: Elaboração dos autores, 2007

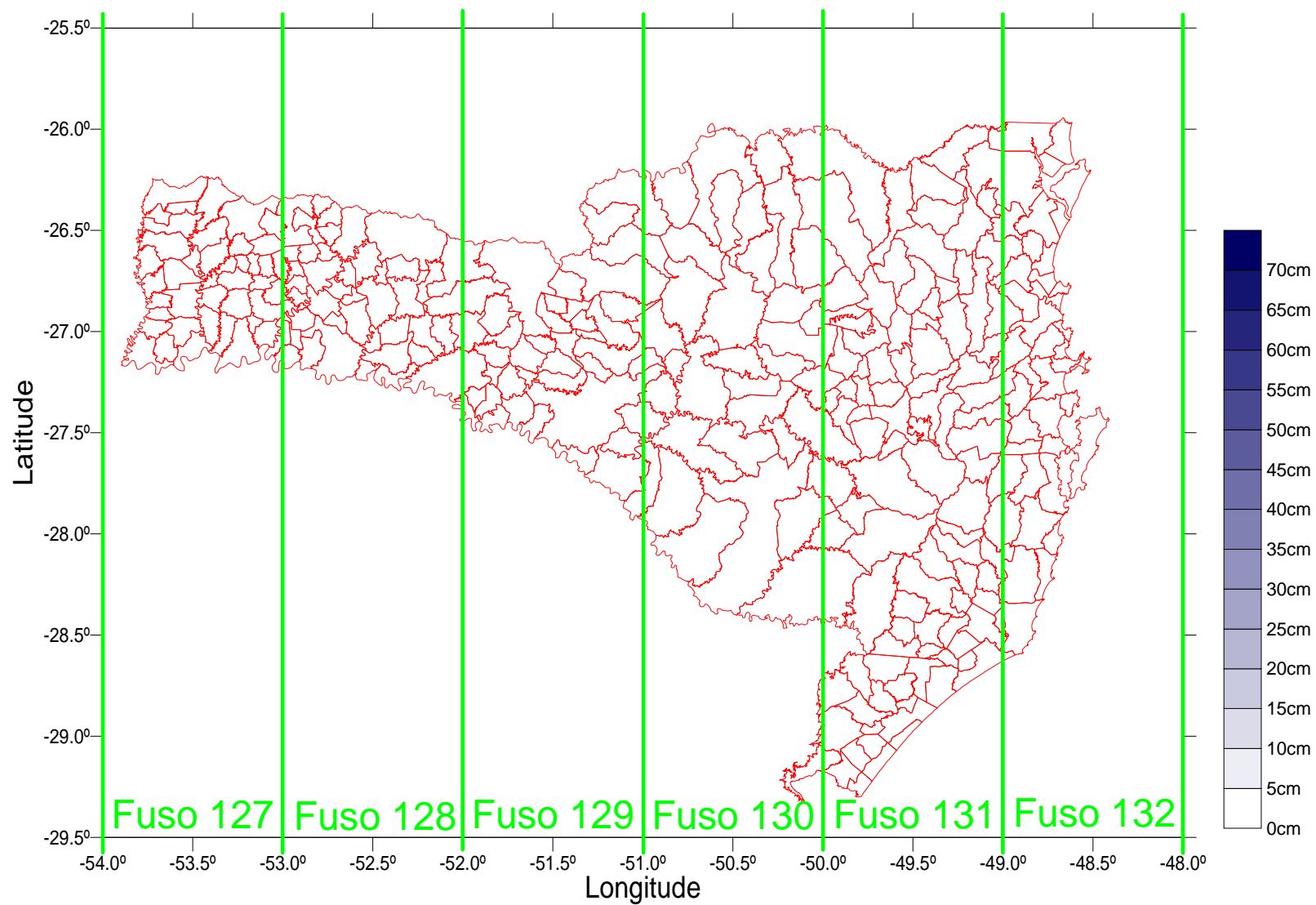


Figura 41: Cartograma da deformação da De para DLTM – dk em cm/km – seis fusos LTM
Fonte: Elaboração dos autores, 2007

5.3 DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO K_r (d_{kr})

No item 3 pudemos observar como é realizado o cálculo do fator K_r , que é o fator de escala da distância horizontal para o plano de projeção. Ele nada mais é do que uma sobreposição dos efeitos do K e do F_r .

O software Surfer permite que se faça cálculos com as imagens matriciais. Calculamos o K_r diretamente no software Surfer, utilizando os dados oriundos do SRTM, implementando a equação:

$$d_{kr} = |k.F_r.100000 - 100000| \quad (11)$$

sendo d_{kr} : deformação produzida pelo K_r (projeção da DH para o cilindro de projeção – D_{UTM} , D_{RTM} ou D_{LTM})

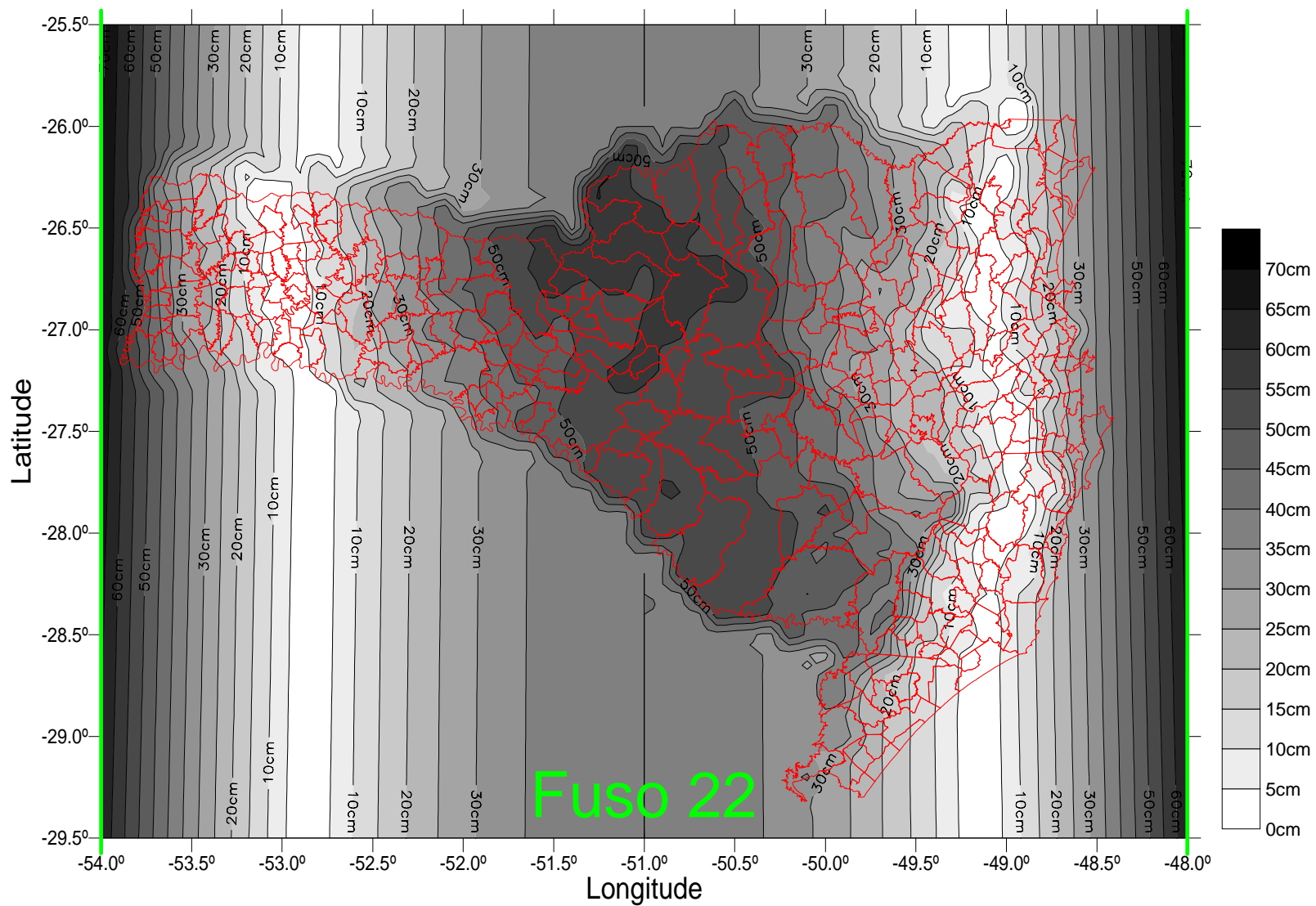


Figura 42: Cartograma da deformação da DH para DUTM – dkr em cm/km – único fuso UTM

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

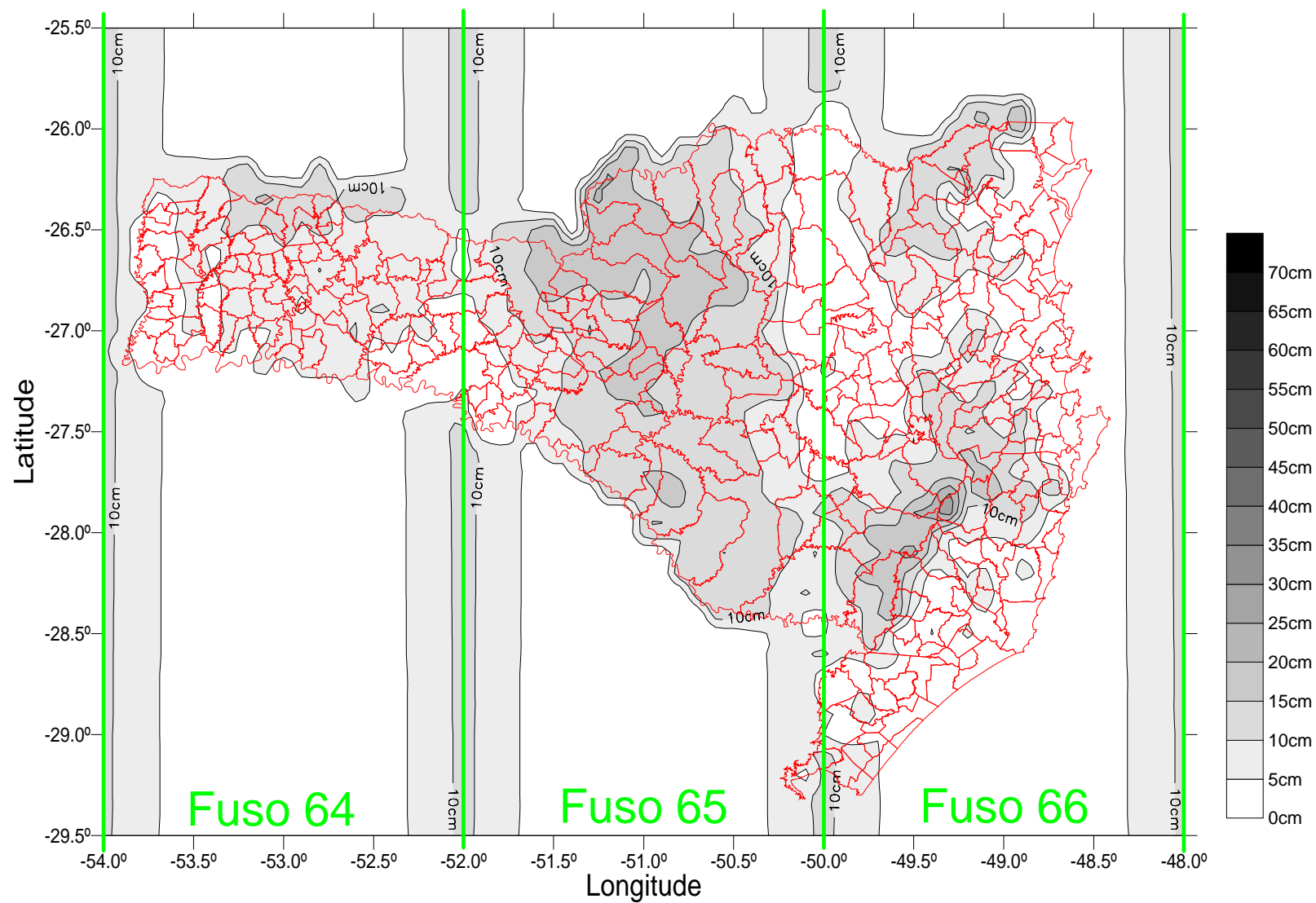


Figura 43: Cartograma da deformação da DH para DUTM – dkr em cm/km – único fuso RTM

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

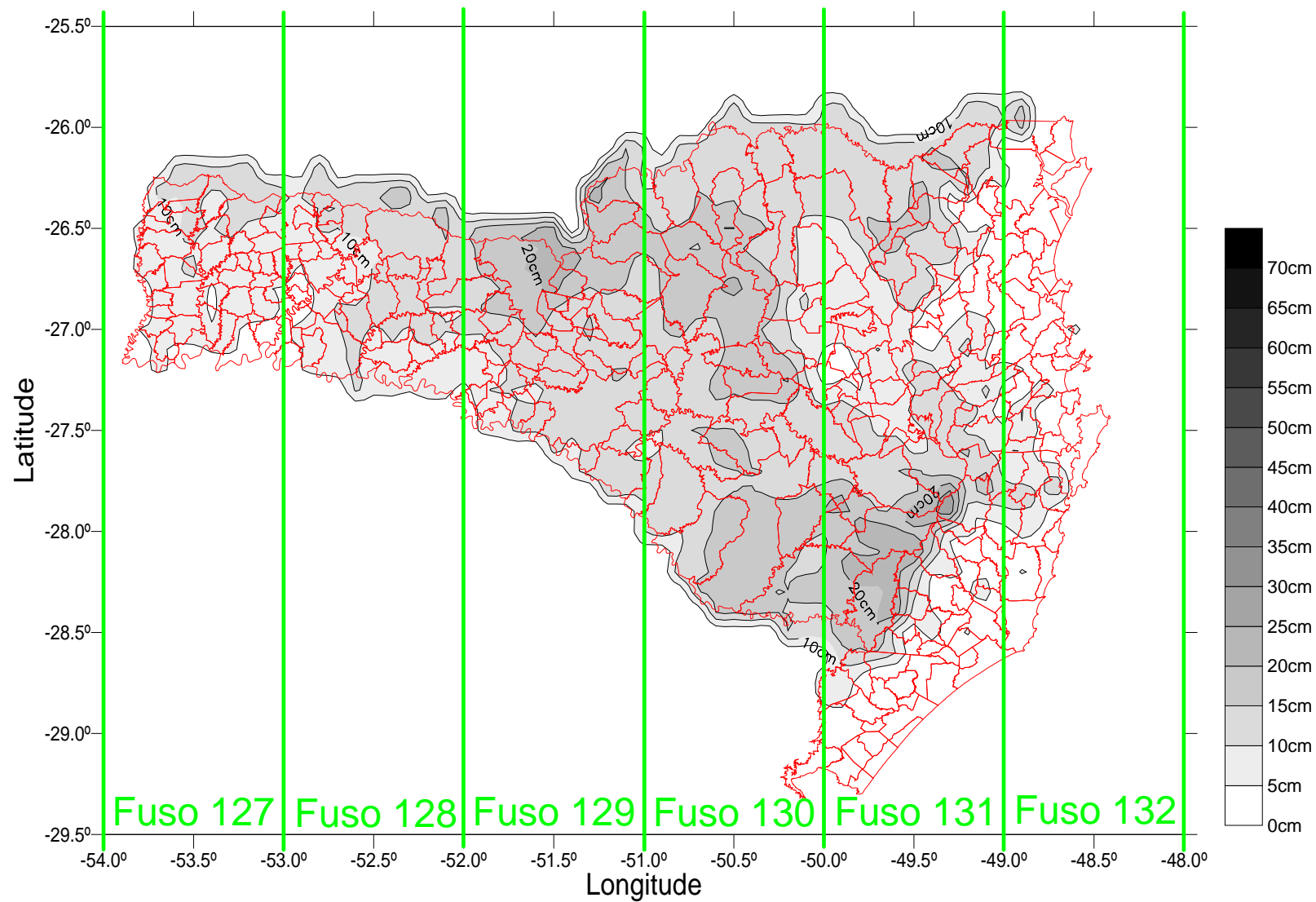


Figura 44: Cartograma da deformação da DH para DUTM – dkr em cm/km – único fuso LTM
 Fonte: Elaboração dos autores, 2007

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

	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

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

6 DEFINIÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA USO SIMPLIFICADO

O uso de softwares de topografia nas consultorias que desenvolvem projetos rodoviários é realidade há mais de uma década. Independente de qual software é utilizado, todos do mercado nacional, sem exceção, fazem processamentos geodésicos dos dados coletados em campo com estação total. Se o levantamento for realizado com GPS, aí nem precisa conversões, pois GPS é Geodésia pura. Portanto, com um levantamento topográfico processado num plano de projeção que considere a curvatura terrestre (UTM, RTM ou LTM) facilmente executado com os atuais softwares, os projetos também estarão nesta projeção, sem a necessidade de se alterar nenhum procedimento.

Os problemas do uso da Geodésia em rodovias, ronda o projeto e a obra. O projeto pelo imediatismo político da administração pública que não reserva tempo para a utilização do conhecimento e tecnologia existentes. Em campo na implantação da obra o problema se agrava, pois a estação total ainda é predominante. Poucos modelos de estações totais fazem processamentos geodésicos. Algumas permitem a introdução da deformação, porém muitos profissionais nem sabem para que serve.

Para que adotem os processos adequados e facilite o uso em campo, descrevemos abaixo algumas orientações que serão necessárias para as devidas conversões das distâncias horizontais para o plano de projeção, e vice-versa:

a) Processamentos de escritório: no escritório as coordenadas devem sempre ser processadas no sistema de projeção adequados, geodesicamente correto, considerando a curvatura terrestre.

b) adotar um único K_r para um determinado segmento: sabemos que em obras, não há a necessidade da precisão de milímetros. Poucos centímetros são aceitáveis e o primeiro passo é definir o quanto. Cada órgão deve definir esta qualidade e então analisar em função da variação do K_r a extensão máxima que produzirá a deformação aceitável.

c) introduzir o K e a altitude ou somente o K_r : Se a estação total permitir, introduza diretamente os valores para a conversão de distâncias. A própria estação total irá calcular as reduções e ampliações necessárias para a locação da obra ou medição em campo.

d) fazer os cálculos manuais: caso a estação total não permitir introduzir o K ou K_r , é necessário os cálculos manuais. Neste caso trabalha-se em campo com as coordenadas na projeção de projeto e converte-se em campo com o uso de uma calculadora comum. Numa locação a estação total calcula a distância de projeto pelas coordenadas que se quer locar. É necessário calcular a distância horizontal e é possível aplicando diretamente pela equação (12):

$$DH = \frac{D_{TM}}{K_r} \quad (12)$$

7 RODOVIAS CATARINENSES QUE CRUZAM FUSOS

O Estado de Santa Catarina tem mais de 130 rodovias, entre federais e estaduais.

Devido ao estado possuir maior extensão no sentido transversal aos fusos de projeção, analisamos quais rodovias cruzam mais de um fuso.

7.1 PROJEÇÃO UTM

Não existem rodovias em mais de um fuso, pois o estado de SC está integralmente num único fuso, o de número 22.

7.2 PROJEÇÃO RTM

ITEM	RODOVIA	FUSO		
		64	65	66
1	BR116		X	X
2	BR280		X	X
3	BR282	X	X	X
4	BR283	X	X	
5	BR470		X	X
6	BR477		X	X
7	SC302		X	X
8	SC424 (projetada)		X	X
9	SC430		X	X
10	SC438		X	X
11	SC439		X	X
12	SC451 (projetada)	X	X	
13	SC461	X	X	
14	SC488	X	X	

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

7.3 PROJEÇÃO LTM

ITEM	RODOVIA	FUSO					
		127	128	129	130	131	132
1	BR101					X	X
2	BR116				X	X	
3	BR158 (projetada)	X	X				
4	BR280			X	X	X	X
5	BR282	X	X	X	X	X	X
6	BR283	X	X	X			
7	BR470			X	X	X	X
8	BR475 (projetada)					X	X
9	BR477				X	X	
10	BR486					X	X
11	BR488	X	X	X			
12	SC301					X	X
13	SC302			X	X	X	
14	SC407					X	X
15	SC413					X	X
16	SC420					X	X
17	SC424 (projetada)				X	X	
18	SC430				X	X	
19	SC431					X	X
20	SC438				X	X	
21	SC439				X	X	
22	SC451 (projetada)		X	X	X		
23	SC453			X	X		
24	SC456			X	X		
25	SC458			X	X		
26	SC461		X	X			
27	SC469	X	X				
28	SC470					X	X
29	SC473	X	X				
30	SC474					X	X
31	SC479 (projetada)	X	X				
32	SC481					X	X
33	SC481					X	X
34	SC487					X	X
35	SC488		X	X			

Fonte: Elaboração dos autores, 2007

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A escolha de um sistema de projeção não deve ser definido somente se baseando na menor deformação total. Deve-se analisar também a quantidade de rodovias que teremos problemas com transposição de fuso.

Quando uma rodovia transpõe um fuso em pouca extensão, podemos ampliar o fuso na tentativa de abranger toda a extensão da rodovia, porém deve-se analisar a deformação para que não ultrapasse o limite estabelecido por cada órgão.

Quando a rodovia cruzar mais de um fuso e não for possível ampliá-lo, deve-se separar o projeto para que se possa trabalhar com 2 fusos, pois as coordenadas se repetirão.

O sistema de projeção UTM se destaca pelo fato do fuso 22 abranger todo o território catarinense, porém possui grandes deformações totais, chegando a 59cm/km.

Podemos observar que o sistema de projeção RTM se apresentou com menor deformação total e com 14 rodovias transpondo fusos, podendo ser reduzida até para 13, pois a SC461 pode ter o fuso 65 ampliado e assim englobar a rodovia completamente.

Percebemos que no sistema de projeção LTM temos 35 rodovias com transposição de fusos e deformações totais ligeiramente maiores que a RTM.

O uso do GPS está cada vez mais comum em levantamentos topográficos, mas não em obras. O uso de receptores com correções em tempo real (RTK – Real Time Kinematic) resolve integralmente todos os problemas de georreferenciamento, porém este sistema ainda não é popular no Brasil.

É necessário que as empresas invistam nos engenheiros e técnicos para dominar a base dos projetos e obras que é a geodésia e não mais a topografia.

É muito importante que os órgãos gestores de rodovias, definam o sistema de projeção e normalizem urgentemente os procedimentos a serem adotados para os projetos e obras, além de fiscalizarem os procedimentos junto aos projetos e obras contratados.

O Datum já está definido pelo IBGE e deve ser o SIRGAS2000. O uso do SAD69 deve ser somente em casos de projetos em andamento, porém o quanto antes for adotado, menor será o trabalho no futuro.

É necessário um estreitamento dos órgãos públicos que prestam serviços e de que alguma forma tenham envolvimento com rodovias, criando um Grupo de Trabalho para estudar o melhor sistema de projeção para que todos adotem um único, facilitando o cruzamento de projetos e informações.

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.

CEBRAPROT. **Os Sistemas de Coordenadas UTM, RTM e LTM**. Tomo único, 1ª ed., Criciúma, Ed. Luana, 1999.

CINTRA, Jorge Pimentel. **Informações Espaciais II: Sistema de Projeção UTM**: São Paulo: Amanda Editora, 2004.

Datum horizontal, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2007.

DEINFRA/SC. **Mapa Rodoviário de Santa Catarina Março 2006**. Escala 1:1000000.

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**. 1ª Ed. Criciúma: Editora Luana, 1990.

Philips, Jürgen. **Uma Projeção Geodésica para o Cadastro Imobiliário Brasileiro**. Recife: 1997.