



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CTC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ROVANE MARCOS DE FRANÇA**

**USO DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO TRANSVERSA DE  
MERCATOR EM OBRAS DE ENGENHARIA**

**FLORIANÓPOLIS  
2015**



**ROVANE MARCOS DE FRANÇA**

**USO DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO TRANSVERSA DE  
MERCATOR EM OBRAS DE ENGENHARIA**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Infraestrutura e Gerência Viária

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi

Coorientador: Prof. Dr. –Ing. Jürgen Wilhelm Philips

FLORIANÓPOLIS  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

França, Rovane Marcos de  
USO DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR  
EM OBRAS DE ENGENHARIA / Rovane Marcos de França ; orientador,  
Rafael Augusto dos Reis Higashi ; coorientador, Jürgen Wilhelm Philips. -  
Florianópolis, SC, 2015.  
119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. obras de engenharia. 3. projeções cartográficas. 4. georreferenciamento. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis . II. Philips, Jürgen Wilhelm. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

ROVANE MARCOS DE FRANÇA

**USO DE SISTEMAS DE PROJEÇÃO TRANSVERSA DE  
MERCATOR EM OBRAS DE ENGENHARIA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do grau de “Mestre em Engenharia Civil” e aprovada, em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC.

---

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto  
Coordenador PPGEC

---

Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi  
Orientador/Moderador

---

Prof. Dr. –Ing. Jürgen Wilhelm Philips  
Co-Orientador/Moderador

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Everton da Silva – CFH/UFSC

---

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira – PPGEC/UFSC

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine – STT/EESC/USP

---

Prof. Dr. Liseane Padilha Thives – PPGEC/UFSC



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus superior pela existência e saúde.

Aos meus pais Romualdo e Zelanda pela educação e por terem conseguido me fazer entender a importância dela para a vida.

À minha esposa Rita por entender minha ausência como esposo e companheiro para que eu pudesse galgar mais esta etapa de minha vida.

Ao meu filho Nícolas que mesmo sem entender o motivo de minhas ausências, no pouco tempo que tínhamos nos dávamos ao todo.

Ao meu filho que chegará em poucos meses, que me fez mais pai do que nunca.

Aos meus irmãos que me ensinaram a compartilhar e a me dedicar nas tarefas, especialmente ao Romualdo e Rozelanda que são minhas referências na engenharia.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do Curso Técnico de Agrimensura do Instituto Federal de Santa Catarina, pelo incentivo e trocas de aulas, e em especial ao Hasenack, Cabral, Leonel, Lino e Flavio que tiveram importante participação nas discussões e contribuições.

Ao meu orientador Rafael Higashi que me acolheu sem titubear, permitindo que este trabalho se concretizasse.

Ao meu co-orientador Philips que há anos é uma referência em Geodésia e discussões sobre o tema.

A todos, a minha eterna gratidão.



## RESUMO

A necessidade do Georreferenciamento está consolidada no cadastro técnico, mas ainda não é realidade em obras de engenharia e levantamentos topográficos urbanos no Brasil. A topografia no Brasil historicamente sempre foi tratada sobre um plano topográfico horizontal e muitos profissionais ainda o fazem desta forma. Com a popularização dos sistemas GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) e dos aplicativos de processamento de dados no Brasil, o georreferenciamento de informações pôde ser aplicado em áreas da engenharia que não detém conhecimento de geodésia ou cartografia. Nos projetos de engenharia passou-se a adotar o sistema de projeção Transversa de Mercator, mas que trouxeram erros de posicionamento nas execuções das obras em virtude da falta de profissionais capacitados em geodésia. Esta pesquisa apresenta os conceitos fundamentais de geodésia, assim como uma revisão bibliográfica sobre legislação e normas técnicas a respeito das precisões exigidas na implantação das obras de engenharia. Analisou-se também as deformações produzidas pela projeção transversa de Mercator e qual a sua repercussão para as obras de engenharia. Se o tratamento geodésico necessário para a implantação das obras georreferenciadas não for realizado, as deformações passam a se transformar em erros na obra, podendo causar transtornos durante e após a sua execução. Através de uma metodologia prática e bastante simplificada para tratamento dos dados geodésicos em campo para implantação de obras de engenharia, é possível garantir a qualidade mínima exigida para as obras, evitando assim prejuízos financeiros e de tempo.

**Palavras chaves:** obras de engenharia, projeções cartográficas, georreferenciamento.



## ABSTRACT

The need of Georeferencing is consolidated in the technical cadastre, but it is still not reality on engineering construction and urban survey in Brazil. Historically the survey in Brazil has always been treated over a Topographical Horizontal Plan and many workers still do this way. Since the GNSS (Global Navigation Satellite System) system and softwares in Brazil is becoming more popular, the georeferencing of information could be applied in areas of engineering that does not contain the knowledge of geodesy or cartography. In the projects of engineering was started to use the map projections Transverse Mercator, but that brought errors of positioning on executions of constructions caused by not enough people qualified in geodesy in the market. This research shows the principal concept of geodesy, as well as a bibliographic revision about legislation and technical rules in respect of precision required in the implantation of engineering construction. Also was analyzed the deformations produced by the map projections Transverse Mercator and which it's affect on engineering constructions. If the needed treatment geodetic for the implantation in the georeferenced construction does not get completed, the deformations start to become in construction errors, which could cause problems before and after its execution. Through a simple methodology and very simplified for the treatment of data geodesic in field for the implantation of engineering construction, it's possible to guarantee the minimum quality required in constructions, avoiding financial losses and time.

**Keywords:** engineering constructions, map projections, georeferencing.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da Dissertação .....	31
Figura 2: Medições sobre a superfície terrestre .....	34
Figura 3: Representação gráfica do geóide.....	35
Figura 4: Geóide e Elipsoide .....	36
Figura 5: Superfície Terrestre, Geóide e Elipsoide no detalhe. ....	36
Figura 6: Parâmetros do elipsoide .....	37
Figura 7: SGR posicionados em relação ao geóide .....	38
Figura 8: Coordenadas geodésicas de um ponto P no hemisfério norte.....	39
Figura 9: Coordenadas geodésicas de um ponto P no hemisfério sul .....	40
Figura 10: Coordenadas cartesianas geocêntricas de um ponto P.....	40
Figura 11: Elementos do Sistema Topográfico Local.....	42
Figura 12: Distância medida sendo reduzida ao elipsoide.....	44
Figura 13: Uso de um plano como sistema de projeção .....	46
Figura 14: Uso de um cone como sistema de projeção.....	46
Figura 15: Uso de um cilindro como sistema de projeção.....	47
Figura 16: Uso de um cilindro transversal ao eixo da terra .....	48
Figura 17: Projeção da Distância Elipsoidal sobre o Cilindro de projeção .....	48
Figura 18: Sistema GNSS RTK UHF/VHF.....	58
Figura 19: Locação com GNSS RTK .....	59
Figura 20: Locação com estação total. ....	60
Figura 21: Cilindros UTM, RTM e LTM sobre o Elipsoide.....	61
Figura 22: Detalhe 1 da projeção da Distância Horizontal .....	62
Figura 23: Detalhe 2 da projeção da Distância Horizontal .....	62
Figura 24: Detalhe 3 da projeção da Distância Horizontal .....	63
Figura 25: Erro linear sistemático devido ao desprezo da deformação.....	65
Figura 26: Erro linear sistemático devido ao erro angular.....	66
Figura 27: Fluxograma do Método de desenvolvimento da dissertação .....	68
Figura 28: Cartograma Hipsométrico do Estado de SC.....	72
Figura 29: Cartograma da deformação da DH para De .....	73
Figura 30: Cartograma da deformação da De para DUTM .....	74
Figura 31: Cartograma da deformação da De para DRTM.....	75
Figura 32: Cartograma da deformação da De para DLTM.....	76
Figura 33: Cartograma da deformação da DH para DUTM .....	77
Figura 34: Cartograma da deformação da DH para DRTM.....	78
Figura 35: Cartograma da deformação da DH para DLTM.....	79
Figura 36: Localização dos Municípios no estado.....	80
Figura 37: Localização do loteamento.....	82
Figura 38: Loteamento com infraestrutura completa.....	83
Figura 39: Rastreamento do ponto B1 .....	84
Figura 40: Rastreamento do vértice 91851 .....	85
Figura 41: Levantamento dos vértices identificados no projeto com RTK.....	85
Figura 42: Diferença Posicional da parcela 1 da quadra 1.....	86
Figura 43: Distribuição espacial dos pontos medidos.....	87
Figura 44: Erro na redução adotando o raio teórico de 6378000m para DH=500m .98	
Figura 45: Redução da DH em função da altitude.....	99

Figura 46: Deformação da  $D_n$  para reduzi-la à  $D_e$  ..... 100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de tolerâncias em função da distância .....	53
Tabela 2: Deformações dos sistemas TM em alguns municípios de SC.....	81
Tabela 3: Resumo de deformações dos sistemas UTM, RTM e LTM em SC .....	81
Tabela 4: Diferenças posicionais do projeto x levantamento .....	86
Tabela 5: Ponto de referência para o comparativo das distâncias.....	88
Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento .....	90
Tabela 7: Diferenças do método proposto .....	104



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Normas técnicas relacionadas a Topografia .....	25
Quadro 2: Características dos sistemas Transversa de Mercator .....	49



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica  
CTM – Cadastro Territorial Multifinalitário  
DLTM – Distância na projeção LTM  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
DRTM – Distância na projeção RTM  
DTM – Distância em qualquer projeção TM  
DUTM – Distância na projeção UTM  
GLONASS – Sistema Global de Navegação por Satélite (Rússia)  
GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite  
GPS – Sistema de Posicionamento Global (USA)  
GSM – Sistema global para comunicação móvel  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
LTM – Local Transversa de Mercator  
MC – Meridiano Central  
MNE – Modelo Numérico de Elevação  
NBR – Norma Brasileira da ABNT  
NTRIP – Protocolo na internet para disponibilização dos dados GNSS  
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes  
PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC  
PTL – Plano Topográfico Local  
RBAC – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil  
RTK – Correção em tempo real para GNSS (*Real time Kinematic*)  
RTM – Regional Transversa de Mercator  
SAD-69 – Sistema Geodésico *South American Datum 1969*  
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro  
SGR – Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geodésico para as Américas  
SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle  
TM – Transversa de Mercator  
TM-POA – Projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre  
UGGI – União Internacional de Geodésia e Geofísica  
UTM – Universal Transversa de Mercator



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	Considerações Iniciais .....	23
1.2	Justificativa.....	25
1.3	Objetivos.....	29
1.3.1	Objetivo Geral .....	29
1.3.2	Objetivos Específicos .....	30
1.4	Estrutura da Pesquisa .....	30
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>33</b>
2.1	Geodésia e Topografia .....	33
2.2	Superfície terrestre, geóide e elipsoide .....	34
2.3	Sistema Geodésico de Referência .....	37
2.4	Coordenadas geodésicas e cartesianas geocêntricas.....	39
2.5	Plano Topográfico Local.....	41
2.6	Redução de distâncias .....	43
2.7	Projeções Cartográficas .....	45
2.8	Projeção Transversa de Mercator.....	48
2.9	Precisão exigida para Obras de Engenharia .....	50
2.9.1	Legislação .....	50
2.9.2	Normas Técnicas .....	52
a)	Obras de edificações .....	52
b)	Obras de Rodovias .....	53
c)	Obras de Usinas Hidrelétricas.....	54
d)	Obras de Linhas de Transmissão .....	55
e)	Obras de Loteamentos .....	55
f)	Obras de Portos.....	55
g)	Obras de Aeroportos .....	55
h)	Obras de Ferrovias .....	56
2.9.3	Padrões adotados em obras .....	56
2.10	Técnicas para implantação de obras de engenharia.....	56
2.10.1	GNSS RTK .....	57
2.10.2	Estação Total .....	60
2.11	Deformação nos sistemas de projeção .....	61
2.12	Propagação dos erros .....	63
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>67</b>
3.1	Materiais Utilizados .....	67
3.2	Método.....	67
<b>4</b>	<b>ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>69</b>
4.1	Deformação dos Sistemas de Projeção no Estado de Santa Catarina .....	69
4.2	Projeto x Implantação : Obra de Loteamento.....	82
<b>5</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRAS COM ESTAÇÃO TOTAL.....</b>	<b>97</b>
5.1	Redução das distâncias .....	97
5.2	Fator de escala K .....	101
5.3	Fator de escala combinado.....	102

5.4	A implantação do projeto .....	102
5.5	Validação do Método .....	104
5.6	Passo a passo do método prospoto .....	105
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE A – Equações para o cálculo do Raio Médio .....</b>	<b>119</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

As vantagens de informações georreferenciadas já não são novidades nem tampouco desconhecidas dos profissionais de engenharia. Durante o desenvolvimento de Projetos de Engenharia georreferenciados, é possível analisar estudos e interferências com equipamentos urbanos, gasodutos, oleodutos, redes de transmissão, rodovias e demais obras civis já existentes, assim como as que estiverem em fase de projeto.

Como exemplo, para se prever um cruzamento de uma ferrovia projetada com uma rodovia projetada, é necessário que estes projetos estejam numa única base cartográfica para previsão de viadutos, concordâncias geométricas, cálculos de quantitativos dentre outras vantagens. Também facilita muito a análise ambiental, podendo ser utilizadas imagens de satélites georreferenciadas, mapeamentos pretéritos e demais informações devidamente estruturadas.

O Ministério dos Transportes, através do PNL T - Plano Nacional de Logística e Transportes, adota em sua Política de Transporte, em nível nacional, uma base de dados georreferenciadas que se aproxima muito das diretrizes apontadas pela Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR, para a organização da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil – INDE. Toda esta base de dados é georreferenciada (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2014).

O conhecimento da Geodésia não iniciou recentemente. Os primeiros documentos geodésicos são anteriores a Thales de Mileto (625-547 a.C.) e Eratóstenes (200 a.C) já descobria que a terra era redonda (Loch e Cordini, 2000). 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.

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

No Brasil, a popularização do sistema GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélites) trouxe a necessidade emergente da disseminação dos conhecimentos de geodésia. As medições feitas por GNSS foram incluídas nos levantamentos topográficos, nos quais os

procedimentos foram se popularizando, mas os conhecimentos teóricos não. A formação de profissionais que atuam em topografia no Brasil, historicamente sempre foi voltada ao uso de um plano topográfico horizontal tratado de forma totalmente isolado de outros levantamentos. A necessidade de tratamento geodésico adequado e uso de projeção cartográfica, acabavam sendo aplicadas apenas na elaboração de bases cartográficas de áreas extensas.

Este comportamento se justificava por diversos motivos, dentre os quais pode-se citar a dificuldade em realizar transporte de coordenadas geodésicas de marcos de precisão, via de regra implantados em locais de difícil acesso situados a consideráveis distâncias da região onde os trabalhos eram realizados, bem como a pequena escala normalmente adotada nas cartas convencionais disponíveis em nosso país (Azambuja, 2007). Além disso, o desenvolvimento científico foi tardio no país, sendo notório somente nas últimas décadas. A necessidade de uma rede de referência surgiu juntamente com a popularização do georreferenciamento mais preciso de informações.

As inconsistências de dados georreferenciados em obras de engenharia é fato observável na execução. Termos são recorrentes na execução da obra como “o projeto não bate”, onde são detectadas diferenças na implantação quando se utiliza procedimentos não apropriados para o georreferenciamento. Silva e Frederico (2014) comentam que é normal o uso de “falso UTM”, onde um ponto do início do projeto tem suas coordenadas determinadas em UTM e todo o levantamento planimétrico é trasladado de acordo com aquela coordenada, sem as devidas transformações. Neste caso se for realizada uma verificação de ponto na outra extremidade do projeto a coordenada falsa UTM trasladada não coincidirá com a coordenada UTM real medida em campo, devido a propagação dos erros produzidos pela falta de transformação adequada do sistema de projeção.

Atualmente, poucos cursos de Engenharia Civil no Brasil possuem em sua grade curricular uma disciplina de geodésia. O mais comum são poucas horas de topografia, insuficientes para aprofundamento geodésico adequado deste importante conhecimento. Os cursos que tem a disciplina de Geodésia, normalmente focam na geodésia celeste ou teórica, não dando a devida importância para aplicações práticas, como implantação de obras com projetos georreferenciados. Não que os cursos de engenharia civil devam formar especialistas em posicionamento, mas é necessário que os engenheiros civis saibam quais são as consequências das deformações causadas pela

não aplicação devida dos sistemas de projeção e as soluções para as implantações de obras de engenharia.

Visto a deficiência do conhecimento geodésico nas obras de engenharia, não é difícil encontrar problemas no uso das projeções cartográficas na implantação de projetos georreferenciados.

Foi este panorama que norteou esta pesquisa na busca de ilustrar os problemas nas obras de engenharia e orientar profissionais para executarem as implantações de forma simplificada e adequada a qualidade necessária.

## 1.2 Justificativa

A deficiência de normas técnicas no Brasil nas mais diversas áreas é notória, seja por estar defasada ou não ser específica, seja por simplesmente não existir. A título de exemplo, o Quadro 1 mostra as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) relacionadas à topografia. Observa-se que não estão presentes normas para implantação de obras rodoviárias, portuárias, parcelamento de solo, drenagem, redes de abastecimento e linhas de transmissão. Além de importantes normas como a NBR 13133/1994 - Execução de Levantamento Topográfico teve sua publicação há 20 anos, ficando defasada perante novas tecnologias e metodologias desta área que foi revolucionada pelo posicionamento por satélites, escaneamento a laser e levantamento aéreo não tripulado.

Quadro 1: Normas técnicas relacionadas a Topografia

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>
NBR 13133/1994	Execução de levantamento topográfico	1994
NBR 14166/1998	Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento	1998
NBR 14645/2005	Elaboração do "como construído" (as built) para edificações	2005
NBR 15309/2005	Locação topográfica e acompanhamento dimensional de obra metroviária e assemelhada - Procedimento	2005
NBR 15777/2009	Convenções topográficas para cartas e plantas cadastrais - Escalas 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000 - Procedimento	2009

Fonte: consulta realizada no site da ABNT, 2014

A obrigatoriedade de georreferenciamento já surge estampada em leis. Desde 2001, a lei federal 10.267 obriga os imóveis rurais a serem georreferenciados. Nela está especificada no §3º do artigo 3º:

Nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento de imóveis rurais, a identificação prevista na alínea a do item 3 do inciso II do § 1º será obtida a partir de memorial descritivo, assinado por profissional habilitado e com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, contendo as **coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro** e com precisão posicional a ser fixada pelo INCRA, garantida a isenção de custos financeiros aos proprietários de imóveis rurais cuja somatória da área não exceda a quatro módulos fiscais.

Este cenário em muito breve também estará nos imóveis urbanos. A portaria 511/2009 do Ministério das Cidades já recomenda em seu artigo 26 que os municípios exijam a demarcação dos vértices dos imóveis nos novos parcelamentos, georreferenciados ao SGB. Os projetos de engenharia fazem uso do solo, logo estarão influenciando nos imóveis rurais e urbanos exigindo desapropriação.

Projetos georreferenciados implantados erroneamente gerarão num futuro próximo problemas territoriais, principalmente para empreendimentos que geram mudanças nos registros de imóveis, como rodovias, linhas de transmissão, oleodutos, gasodutos, barragens, loteamentos, entre outros, através da desapropriação.

Com o avanço e proliferação das técnicas espaciais de posicionamento, especialmente o GNSS, os métodos topográficos clássicos (poligonação, nivelamento geométrico, etc.) foram substituídos pelas técnicas de posicionamento por satélites, com os benefícios da precisão, simplicidade operacional, rapidez e baixo custo (Gonçalves *et al.*, 2010; Tanajura *et al.*, 2011; Santos, 2011; Amaro *et al.*, 2012a *apud* Ferreira *et al.* 2014). Na grande maioria de obras de infraestrutura, poderão ser adotadas as técnicas de posicionamento GNSS, pois é comum termos o céu livre de obstáculos permitindo que os sinais transmitidos pelos satélites cheguem diretamente às antenas receptoras sem obstruções ou multicaminhamentos. Porém não são em todas as obras que a adoção destas técnicas é possível. Obras que possuem proximidade com árvores, edifícios, pontes, montanhas, dentro de túneis, são susceptíveis à graves problemas que resultam num

posicionamento errado, como multicaminhamento e interrupção de sinais provocando soluções não confiáveis (Segantine, 2005).

Para os levantamentos topográficos com GNSS, vários métodos relativos (diferenciais) que usam fase da onda portadora são adotados, sendo os mais comuns o estático e o semicinemático (Monico, 2008). Estes métodos permitem, mesmo com uma rede de referência pouco densa (como é o caso no Brasil), que rapidamente se possa fazer um transporte de coordenadas e executar um levantamento topográfico utilizando o posicionamento GNSS. Para os levantamentos topográficos, pode-se utilizar as técnicas com pós-processamento, onde as coordenadas finais são calculadas somente após o levantamento.

Para a implantação de obras de engenharia, o uso do GNSS só foi possível com a popularização dos sistemas de processamento em tempo real totalmente automatizado, utilizando fase da portadora (RTK – Real Time Kinematic), que ocorreu nos últimos anos.

A solução para casos onde existam obstáculos para os sinais GNSS, é a adoção da topografia convencional, fazendo uso de ângulos e distâncias. O equipamento adotado atualmente para esta finalidade é a estação total. Porém as medições executadas com a estação total são realizadas fisicamente em campo, utilizando como referência o plano horizontal para a projeção das distâncias e ângulos. Existe portanto, a necessidade de tratamento geodésico quando o trabalho em campo é para implantação de um projeto georreferenciado. Hoje no mercado existem poucos modelos de estações totais que executam este processamento automatizado. Devido ao alto custo de sua comercialização, ainda não é o padrão do mercado brasileiro e de outros países em desenvolvimento. Resta então para o profissional que está implantando a obra em campo, conhecido popularmente como topógrafo, executar os cálculos de forma apropriada. Para isso ele necessita de conhecimentos específicos de geodésia para uma aplicação prática, evitando erros no georreferenciamento das obras.

A NBR 13133/1994 da ABNT especifica que deve-se utilizar o plano topográfico como projeção. O uso do plano topográfico, gera para cada levantamento uma individualização que fica impossível realizar comparativo com dados do entorno ou a junção destes dados para a composição de uma base única. Não está previsto para esta norma técnica o processamento de dados georreferenciados. A norma permite inclusive que seja adotado um sistema de projeção topográfica orientado a uma direção qualquer. Estas são deficiências de uma norma que tem por objetivo estabelecer os procedimentos para os levantamentos

topográficos que desta forma, não permitem a composição de uma única base de dados de forma contínua.

Para a implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal, existe a NBR 14166/1998. Um dos seus objetivos é referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de **anteprojetos**, de **projetos**, de **implantação e acompanhamento de obras de engenharia** em geral, de **urbanização**, de levantamentos de **obras como construídas** e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários. Esta norma exige que todos os levantamentos utilizem como projeção um plano topográfico local, posicionado ao nível da superfície física da Terra, sendo o ponto origem devidamente georreferenciado. O sistema de projeção deve estar orientado ao norte, o que permite com alguns cálculos o seu georreferenciamento, mas não a comparação direta.

Órgãos públicos que necessitam elaborar uma base cartográfica, adotam sistemas de projeção de forma individualizada, utilizando Sistemas Geodésicos de Referência praticamente únicos e próprios, o que se traduz em mais problemas no cruzamento destas informações ditas georreferenciadas. Como exemplo, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) através de suas instruções de serviço para levantamentos destinados a Projetos Executivos de Engenharia define que, para o apoio topográfico, as coordenadas não deverão apresentar erros maiores que 5cm. Esta instrução de serviço define também a projeção LTM e o Sistema Geodésico de Referência SAD69 a serem adotados para a elaboração do levantamento topográfico, e conseqüentemente o Projeto de Engenharia.

A precisão posicional de 5cm é “bastante justa”, não impedindo que se tenha erros sistemáticos. Um erro sistemático de 5 mm a cada 100m, facilmente chegará nos 50 mm em 1000m, sendo esta distância bastante curta para uma obra de infraestrutura. Uma deformação de 5mm em 100m é “bastante pequena” para um sistema de projeção. Se a deformação não for calculada apropriadamente, passa-se a tê-la como erro, e o que é muito pior, de forma acumulativa.

Existe na literatura brasileira um equívoco gravíssimo quanto às deformações dos sistemas de projeção. As deformações são tidas indevidamente como erros dos sistemas. Vários autores apontam o sistemas de projeção LTM como sendo o que tem menor deformação (Souza e Silveira, 2008; Correa, 2012; Oliveira e Silva, 2012; Loch, 2012; Morais, 2004) e por este motivo são mais destinados a obras de engenharia. O desenvolvimento dos cálculos geodésicos demonstram que isso definitivamente não ocorre. O quanto um sistema de projeção

deforma, depende da localização do ponto e inclusive de sua altitude. Além da deformação linear ( $k$ ), deve-se levar em conta ainda a altitude da região considerada, pois nos sistemas de projeção TM (Transversa de Mercator), todos os pontos da superfície física da Terra são projetados sobre a superfícies de referência e depois projetados na superfícies de projeção (CODEPLAN, 1976; França e Uhlmann, 2007; Netto et al., 2004; Silva et al., 2013).

Erros de georreferenciamento nas obras poderão ter conflitos com interferências inesperadas, produzindo paralização da obra para a solução, que muitas vezes não são simples, acarretando custos adicionais.

Os custos e atrasos pela inconsistência de projetos com a realidade, acabam sendo absorvidos pela sociedade com prejuízos consideráveis. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2014), em apenas seis importantes obras de infraestrutura no Brasil, foram contabilizados R\$ 28 bilhões de prejuízo aos cofres públicos. Alguns dos fatores identificados pela Confederação Nacional das Industrias têm origens recorrentes, como má qualidade dos projetos, demora na realização das desapropriações e falta de qualificação técnica.

Países como Alemanha, Suíça, Áustria, Estados Unidos e Austrália, fazem o tratamento adequado dos sistemas de projeção há muitos anos, antes mesmo de existir equipamentos que pudessem realizar os processamentos automatizados. Nestes países de referência, os profissionais que atuam nas obras de engenharia possuem formação com conhecimento em Geodésia.

Com base na revisão bibliográfica sobre os sistemas de projeções e em estudos de caso mostrando as deformações e problemas gerados nas obras de engenharia pelo seu desprezo, essa pesquisa visa contribuir científica e tecnicamente, para que sejam estabelecidos procedimentos para a utilização de dados georreferenciados e projetados para as obras de engenharia, dessa forma fornecendo material para os futuros projetos e implantação de obras georreferenciadas de infraestrutura no Brasil.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Estabelecer procedimentos simplificados para uso adequado dos sistemas de projeção transversa de Mercator nas Obras de Engenharia, permitindo sua adoção sem comprometimento do georreferenciamento.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar os erros cometidos no georreferenciamento durante a execução de obras de engenharia;
- Demonstrar aplicações simplificadas de sistemas de projeção em obras de infraestrutura, garantindo a qualidade geométrica;
- Analisar o impacto do georreferenciamento das obras de engenharia;
- Análise das deformações dos sistemas de projeção no Estado de Santa Catarina.

### 1.4 Estrutura da Pesquisa

A presente pesquisa está estruturada em seis seções, onde a seção 1 denominado Introdução, apresenta a estrutura geral desta pesquisa, as considerações iniciais identificando o problema, justificativas que deram suporte ao desenvolvimento e os objetivos geral e específicos.

A seção 2 traz o referencial teórico de publicações científicas, dando sustentação à pesquisa. Inclui nesta seção a pesquisa em legislações, normas técnicas e padrões adotados em obras, as técnicas para o posicionamento assim como sua precisão necessária.

Os materiais utilizados e o método de desenvolvimento da dissertação são apresentados na seção 3.

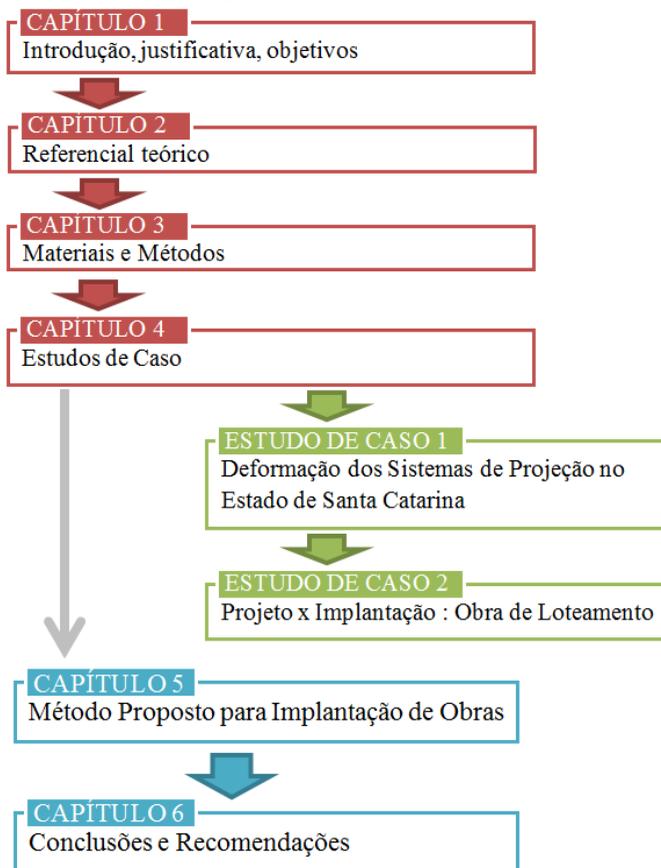
Na seção 4 estão os dois estudos de caso. O primeiro apresenta uma análise das deformações nos sistemas de projeção Transversa de Mercator em Santa Catarina demonstrado através de cartogramas. Foram demonstradas as projeções mais usuais no Brasil que são a UTM (Universal Transversa de Mercator), RTM (Regional Transversa de Mercator) e LTM (Local Transversa de Mercator). O segundo estudo de caso é o levantamento topográfico georreferenciado de um loteamento, onde o projeto foi elaborado em UTM e a implantação de toda a infraestrutura foi executada de forma organizada. Buscou-se neste estudo de caso comparar as coordenadas de projeto com as coordenadas dos pontos implantados.

Na seção 5 apresenta-se a proposição de um método simplificado para cálculos geodésicos, mas que atende perfeitamente a implantação de obras de engenharia com projetos georreferenciados.

Por fim, a sexta e última seção apresenta as conclusões e recomendações da pesquisa, e na sequência deste, as referências

bibliográficas. A Figura 1 apresenta um fluxograma da estrutura da pesquisa.

Figura 1: Estrutura da Dissertação



Fonte: o autor



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Geodésia e Topografia**

Segundo Cintra (2004), a Geodésia pode ser definida como sendo a ciência que procura determinar a geometria da superfície terrestre. Dela surge a Geodésia Aplicada, que visa uma descrição da superfície terrestre para fins de cartografia e engenharia.

Torge (2001) afirmou que Geodésia é a ciência da medição e mapeamento da superfície da terra.

A Geodésia é a Ciência que tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra e os parâmetros definidores do campo da gravidade (Gemael, 2012).

Segundo o conceito de Cordini e Loch (2000), Topografia é a ciência aplicada que utiliza medições de distâncias horizontais e verticais, ângulos e orientação para, a partir de uma projeção ortogonal sobre um plano, representar os pontos que definem a forma, as dimensões e as posições relativas de uma parte da superfície terrestre, sem considerar sua curvatura. Neste mesmo conceito, Nogueira (2009) corrobora afirmando que as coordenadas obtidas na topografia são referidas ao plano horizontal de referência.

Casaca (2007) esclarece que o conceito de topografia de representar, de maneira minuciosa, a superfície terrestre num determinado local, pretendia historicamente simplificar os problemas de representação causados pela curvatura terrestre. Casaca (2007) afirma também que atualmente, dado o interesse de que as representações vizinhas contíguas sejam contínuas e compatíveis, a curvatura terrestre não pode ser ignorada. Para Xerez (1947) o fato de considerar a curvatura da Terra não está ligada somente ao tamanho da área, mas também com o objetivo da medição. Sendo assim, trabalhos em pequenas áreas podem ser realizados considerando o seu entorno e os parâmetros terrestres.

Um exemplo que ilustra a não necessidade da representação sobre um plano são os levantamentos topográficos para monitoramentos de deformações em estruturas. Para qual direção a estrutura está deformando é o objetivo do levantamento, mas pouco importa o sistema de projeção adotado (Gonçalves et al., 2012).

Andrade (2003) afirma que a Fotogrametria anda em consonância com a Geodésia e Cartografia. A Fotogrametria Terrestre, utilizada amplamente para levantamentos de fachadas em edifícios, sempre foi

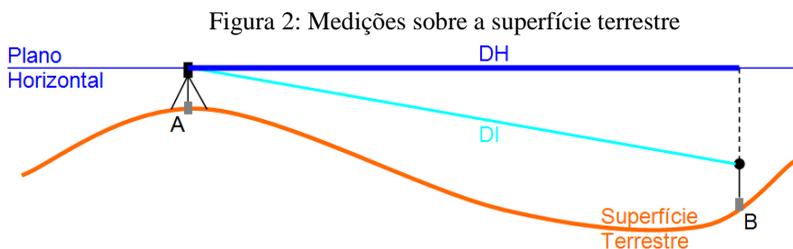
estudada pela Geodésia. Observa-se que neste tipo de Fotogrametria, o sistema geodésico de referência é um plano vertical, posicionado no espaço onde os pontos notáveis e feições são projetados ortogonalmente sobre ele. A afirmativa de Andrade, corrobora com o conceito de que a geodésia não é apenas quando considera-se a curvatura terrestre.

Muitas são as divisões da Geodésia propostas por autores, o que de fato não influencia nada em sua aplicação. Mas, o conceito de que a topografia difere da geodésia pelo fato de ser simplificada e não considerar a curvatura da terra, definitivamente devemos banir de nossa literatura. Atualmente, com a necessidade de georreferenciamento, os levantamentos topográficos, mesmo que em pequenas extensões, precisam ser georreferenciados para que possam compor uma única base de dados: o Cadastro Técnico. O negligenciamento da curvatura terrestre em pequenas extensões incorrerá num erro sistemático que poderá comprometer a composição deste rico e detalhado mosaico de dados, originado nos levantamentos mais específicos para as aplicações de engenharia.

Para esta dissertação, será adotado o conceito de topografia restrita somente à extensão de uma área estudada, independente se a curvatura da Terra será desprezada ou não.

## 2.2 Superfície terrestre, geóide e elipsoide

A Superfície Terrestre, no qual as medições são realizadas (Figura 2), não é matematicamente definida. Portanto, esta superfície não pode ser utilizada como referência para se calcular a posição georreferenciada (Schofield, 2007). A Superfície Terrestre é dinâmica e sofre alterações por força da natureza e ações antrópicas.

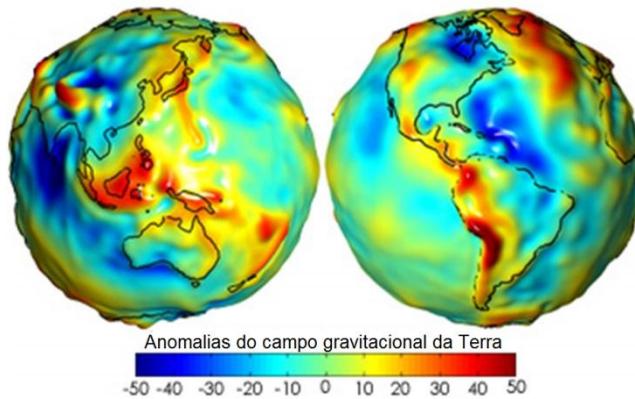


(DH: distância horizontal, DI distância inclinada)

Fonte: o autor

Segundo Schofield (2007) a forma real da Terra é um geóide definido pela superfície equipotencial que mais se aproxima ao nível médio do mar. O geóide portanto tem uma forma irregular, podendo ser representado por modelos matemáticos obtidos por medições físicas gravimétricas (Segantine, 2005). A Figura 3 ilustra a variação do geóide ao longo do globo terrestre.

Figura 3: Representação gráfica do geóide

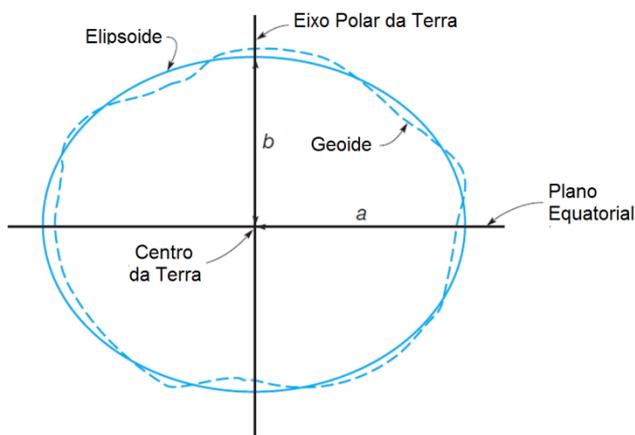


Fonte: EARTH OBSERVATORY, 2014

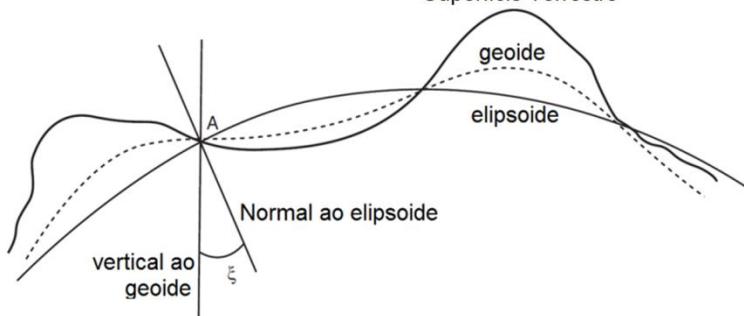
Os pontos levantados na superfície terrestre devem ser projetados ao geóide para que estejam compatíveis com a forma real da Terra. No entanto, devido às variações na distribuição de massa no interior da Terra, o geóide, que embora muito suave é ainda uma superfície irregular e matematicamente não definida, portanto, não pode ser utilizado como referência para o posicionamento (Schofield, 2007).

A figura matematicamente definida que melhor se adapta ao geóide é um elipsoide formado pela rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor. As Figuras 4 e 5 ilustram o relacionamento entre estas superfícies, buscando um melhor ajuste do elipsoide sobre o geóide. Na Figura 4 observa-se o elipsoide em linha contínua e o geóide em linha tracejada, ambos tem o centro na interseção dos eixos do plano equatorial e do eixo polar (centro de massa) caracterizando uma referência geocêntrica.

Figura 4: Geoide e Elipsoide.



Fonte: Guilani e Wolf, 2012

Figura 5: Superfície Terrestre, Geoide e Elipsoide no detalhe.  
Superfície Terrestre

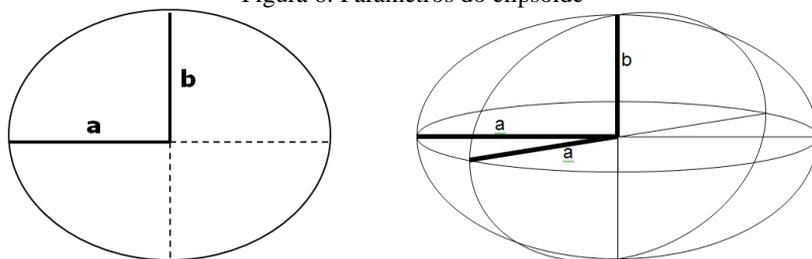
Fonte: Schofield, 2007

Dadas as considerações anteriores, todas as medições realizadas sobre a superfície terrestre devem ser projetadas sobre o elipsoide, que efetivamente servirá de forma geométrica da Terra para a geodésia.

No Brasil foram adotados oficialmente, em sua história cartográfica, três elipsoides. O atual, denominado GRS80 (Sistema Geodésico de Referência de 1980) é recomendado pela União de Geodésia e Geofísica Internacional e possui os seguintes parâmetros:

- Semi-eixo maior: 6378137,00000m
- Semi-eixo menor: 6356752,31414m
- Achatamento:  $1/298,257222101$  ( $f = \frac{a-b}{a}$ )

Figura 6: Parâmetros do elipsoide



Fonte: o autor

### 2.3 Sistema Geodésico de Referência

Segundo Seeber (2003) um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é a definição conceitual completa de como um sistema de coordenadas é formado. Ele define a origem e a orientação dos planos fundamentais ou eixos do sistema. Inclui também os modelos matemáticos e físicos fundamentais para aplicação prática. A sua materialização é definida pelo conjunto de estações que serão utilizadas fundamentalmente como referência para toda e qualquer medição que necessite estar a ele referenciado.

O IBGE publicou no Informativo Geocêntrico (2006) que a implantação de um SGR é dividida em duas partes: definição e materialização na superfície terrestre. A definição compreende a adoção de um elipsoide de revolução, sobre o qual são aplicadas injunções de posição e orientação espacial. Já a materialização na superfície terrestre consiste em observações (atualmente utilizando o GNSS) sobre as estações devidamente monumentadas (marcos), onde estas observações são ajustadas gerando um conjunto de valores de coordenadas para cada um dos marcos.

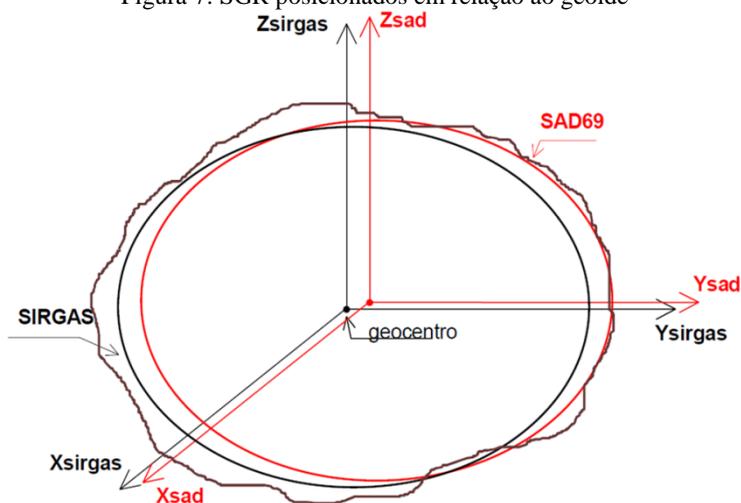
Blitzkow (2004) comenta que para a definição de um Sistema Geodésico de Referência, é necessário definir um elipsoide e a sua posição em relação ao Geoide.

Portanto, cada vez que se posiciona um elipsoide para um melhor ajuste ao geoide, cria-se um SGR (ou Datum Horizontal), conforme demonstra a Figura 7.

No Brasil atualmente, o Sistema Geodésico de Referência adotado é o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000) com as seguintes definições (IBGE, 2005):

- Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*)
- Figura geométrica para a Terra: Elipsoide GRS80
- Origem: Centro de massa da Terra
- Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em  $\pm 0,005''$  com as direções definidas pelo *BIH (Bureau International de l'Heure)*, em 1984,0.
- Época de Referência das coordenadas: 2000,4

Figura 7: SGR posicionados em relação ao geóide



Fonte: IBGE, 2006

O IBGE define desta forma o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que deve ser adotado para as mais diversas finalidades. Para IBGE (2004):

O estabelecimento do SGB desenvolve-se tendo como objetivo contribuir para a solução do problema geodésico, sem, contudo, se descuidar dos aspectos aplicados, em que a aplicação maior é a referência para as atividades cartográficas. Os pontos geodésicos, subsidiariamente, suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitam **apoiar as grandes obras de engenharia** tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia; barramentos para a transmissão de

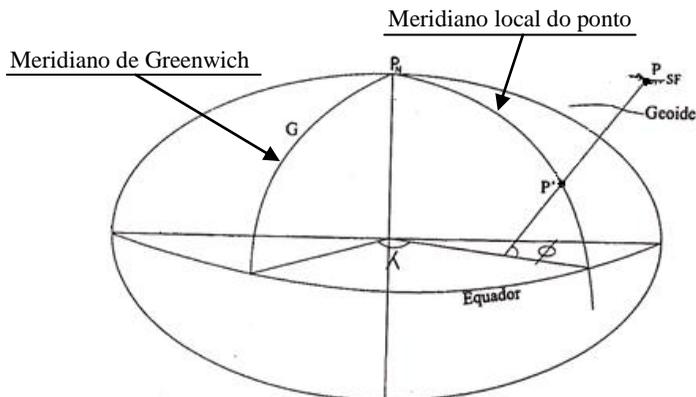
energia ou abastecimento de água e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes”

## 2.4 Coordenadas geodésicas e cartesianas geocêntricas

Segundo Gemael (2012) latitude geodésica ( $F$ ) é o ângulo formado pela normal (expresso nas Figuras 8 e 9 pelo segmento  $P-P'$ ) de um ponto  $P$  (sobre a superfície física – SF) até sua projeção sobre o equador. Ela pode ter sua direção ao norte (positiva) ou ao sul (negativa), portanto variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Já a longitude geodésica ( $\lambda$ ) é o ângulo formado a partir do meridiano de Greenwich ( $G$ ) até o meridiano local do ponto de interesse. A latitude geodésica e longitude geodésica formam as coordenadas geodésicas. Estes ângulos podem ser observados nas Figuras 8, 9 e 10.

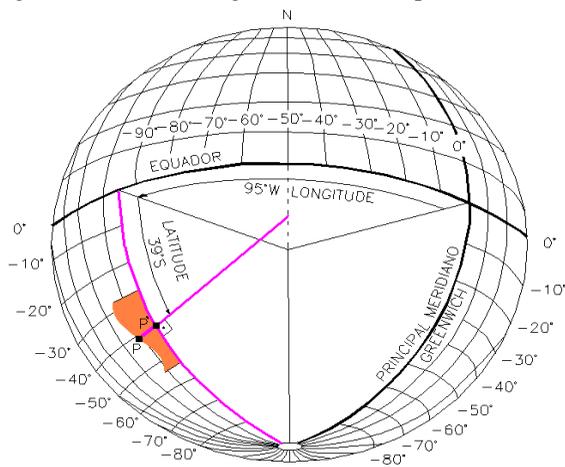
As coordenadas geodésicas são a forma mais comum de posicionamento sobre o globo terrestre.

Figura 8: Coordenadas geodésicas de um ponto  $P$  no hemisfério norte



Fonte: Gemael, 2012

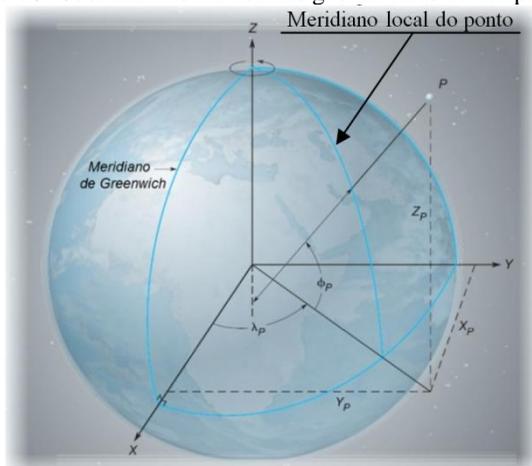
Figura 9: Coordenadas geodésicas de um ponto P no hemisfério sul



Fonte: o autor

Com o desenvolvimento da Geodesia através do posicionamento por satélite, foi possível expressar a posição tridimensional de um ponto, permitindo assim obter as coordenadas cartesianas geocêntricas ( $X_p$ ,  $Y_p$  e  $Z_p$ ) do centro de uma antena receptora numa estação de rastreamento (Blitzkow, 2011). As coordenadas cartesianas geocêntricas de um ponto P podem ser observadas na Figura 10.

Figura 10: Coordenadas cartesianas geocêntricas de um ponto P.



Fonte: Guilani, 2012.

Tais coordenadas podem ser convertidas para geodésicas adotando-se uma superfície matemática de referência, ou seja, um elipsoide (Blitzkow, 2011).

## 2.5 Plano Topográfico Local

A NBR 13133/1994 da ABNT, define o Sistema de Projeção Topográfica, também conhecido como Sistema Topográfico Local, como sendo o sistema de projeção utilizado nos levantamentos topográficos pelo método direto clássico para a representação das posições relativas dos acidentes levantados, através de medições angulares e lineares, horizontais e verticais, cujas características são:

a) as projetantes são ortogonais à superfície de projeção, significando estar o centro de projeção localizado no infinito;

b) a superfície de projeção é um plano normal à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento, sendo seu referencial altimétrico referido ao datum vertical brasileiro;

c) o plano de projeção tem a sua dimensão máxima limitada a 80 km, a partir da origem.

Este conceito foi aprimorado na NBR 14166/1998, onde registra-se o seguinte:

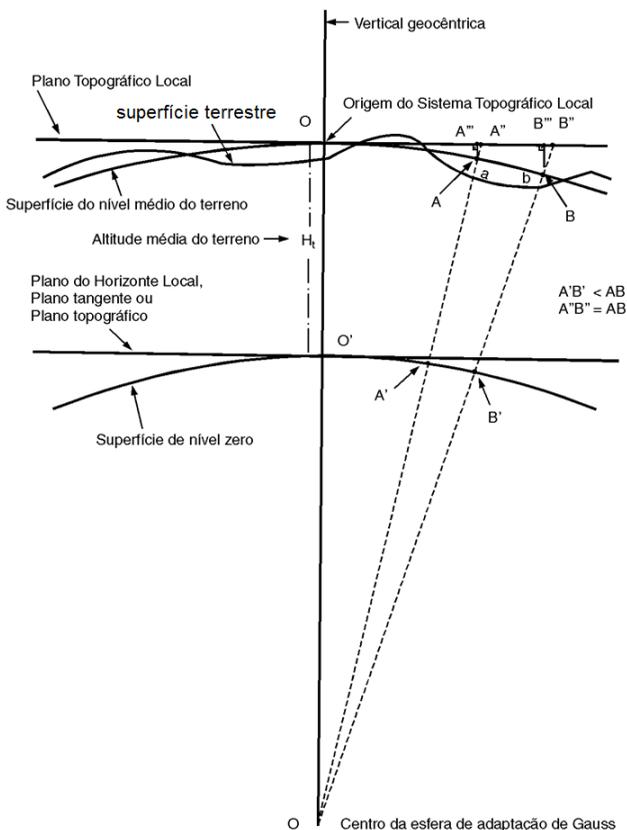
Sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados, em verdadeira grandeza, sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsoide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto de que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência com a do plano tangente, sem que os erros, decorrentes da abstração da curvatura terrestre, ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento.

A maioria das obras de engenharia são realizadas em áreas de extensão limitada, caso em que a superfície de referência pode ser tomada como um plano paralelo ao geoide, posicionado próximo à superfície terrestre, denominado Plano Topográfico Local. Em outras

palavras, a curvatura da Terra é ignorada e todos os pontos da superfície física são ortogonalmente projetados sobre esta superfície plana (Schofield, 2007), tal como ilustrado na Figura 11.

O Plano Topográfico Local é portanto um plano perfeitamente horizontal por definição.

Figura 11: Elementos do Sistema Topográfico Local



Fonte: NBR 14166/1998

As premissas de uma Terra plana se aplicam em pequenas extensões, mas não quando necessita-se georreferenciá-la, pois neste caso é necessário considerar a Terra como ela realmente é e não como ela parece ser.

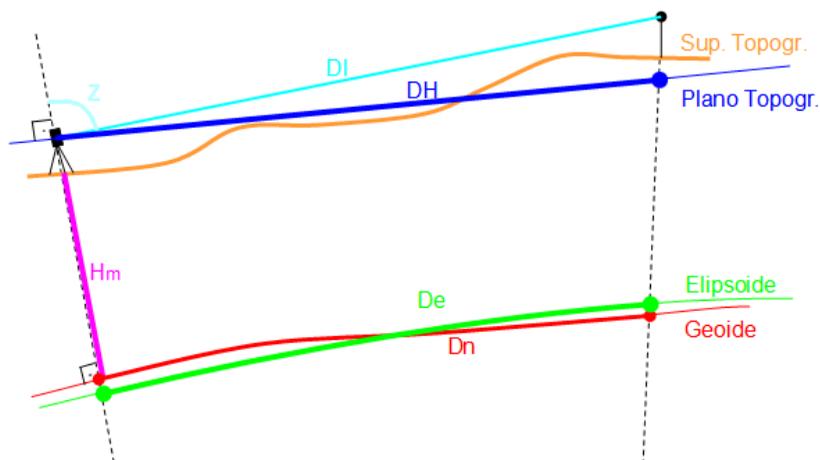
A consideração da Terra como um plano, produz erros sistemáticos no posicionamento que passam a não ser aceitáveis quando compara-se obras diferentes que possuirão pontos de origem diferentes. A construção de uma rodovia é um exemplo, por se tratar de uma estrutura longilínea e com elevado comprimento. Se utilizado o Plano Topográfico como referência, o mesmo terá um ponto de origem e a partir deste se formará a referência paralela ao geoide, mas somente neste ponto, pois ao se distanciar desta origem os erros aumentarão e cada vez mais o plano topográfico perderá o paralelismo ao geoide.

Portanto, projetos de engenharia no Plano Topográfico Local facilitam de certa maneira a obra, mas complicam e muito as transformações para um único sistema (georreferenciado) que permita a comparação com outros projetos e bases de dados ambientais, geológicas, geotécnicas, arqueológicas, entre outras.

## **2.6 Redução de distâncias**

Instrumentos topográficos convencionais, tais como as estações totais, são orientados com relação à direção da gravidade local, medindo ângulos e distâncias. Nos levantamentos georreferenciados, é necessária a projeção da distância e do ângulo sobre a real forma da terra: o geoide. (Guilani e Wolf, 2012). Mas na geodésia o geoide é representado pelo elipsoide. Portanto, para a adoção de uma projeção cartográfica, é necessário que a distância medida em campo seja reduzida a uma única superfície matemática de referência que represente a forma da Terra (elipsoide), conforme pode-se observar na Figura 12.

Figura 12: Distância medida sendo reduzida ao elipsoide



Fonte: o autor

A primeira redução necessária é ao horizonte, quando medida com medidor eletrônico (estação total ou distanciômetro). Da trigonometria extraímos DH como mostra a equação 1:

$$DH = DI \cdot \text{sen}Z \quad (1)$$

Sendo:

DH = distância sobre o plano horizontal [m]

DI = distância Inclinada [m]

Z = ângulo zenital.

Na sequência é necessária a redução da DH ao nível médio dos mares (coincidente com o geoide), pois a DH foi medida numa determinada altitude (Hm).

A NBR 14166/1998, apresenta o fator de elevação (c), fator este utilizado para projetar a DH em Dn (distância geoidal):

$$c = \frac{R + Hm}{R} \quad (2)$$

Sendo:

c = fator de elevação

R = raio médio local da Terra na latitude média [m] entre os pontos medidos. A NBR 13133/1994 indica o valor de R aproximadamente 6378000m.

Hm = altitude média da medição [m]

A NBR 14166/1998 simplifica o cálculo de c, pois o valor de H é muito pequeno se comparado com R:

$$c = 1 + 1,57 \cdot 10^{-7} \cdot H \quad (3)$$

Sendo:

c = fator de elevação

H = altitude da medição [m]

Conforme Cintra (2004), o cálculo pode ser realizado pela equação 4, adotando um termo multiplicativo para a DH:

$$Dn = DH \cdot \frac{R - Hm}{R} \quad (4)$$

Sendo:

Dn = distância sobre o geoide [m]

DH = distância sobre o plano horizontal [m]

R = raio médio local da Terra na latitude média [m]

Hm = altitude média da medição [m]

Finalmente é necessário reduzir Dn para o elipsoide (De), sendo que Silveira (1990) apresenta a equação 5:

$$De = Dn + (1,027 \cdot Dn^3 \cdot 10^{-15}) \quad (5)$$

Onde:

De = distância sobre o elipsoide [m]

Dn = distância sobre o geoide [m]

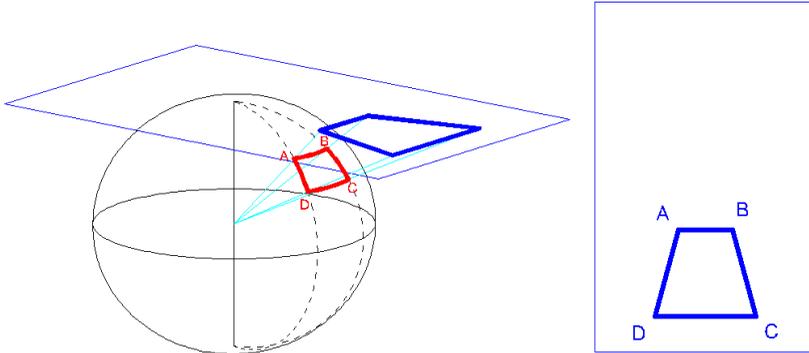
## 2.7 Projeções Cartográficas

Segundo Cintra (2004), Sistema de Projeção é o modo como se correlacionam os pontos da superfície terrestre com suas representações planas.

Souza e Garnés (2012) afirmam que do ponto de vista da Cartografia convencional, a representação de pontos de um elipsoide num plano, se dá por uma correspondência biunívoca (correspondência matemática com a transformação direta e a transformação inversa definidas de maneira única) a uma superfície de projeção desenvolvível

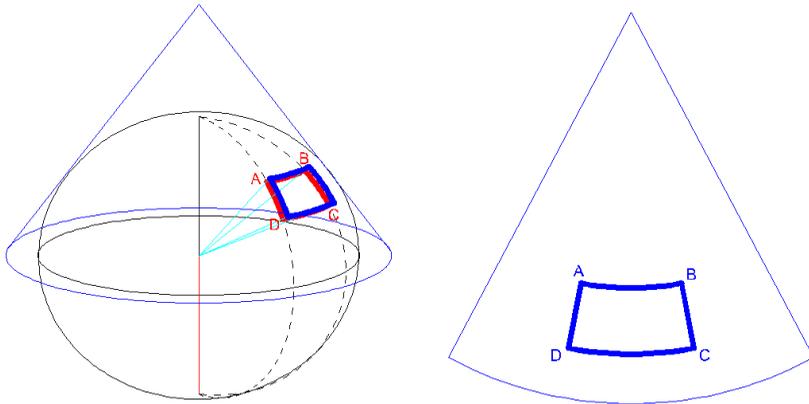
no plano. A superfície, neste caso, pode ser o próprio plano (Figura 13), um cone (Figura 14) ou um cilindro (Figura 15).

Figura 13: Uso de um plano como sistema de projeção



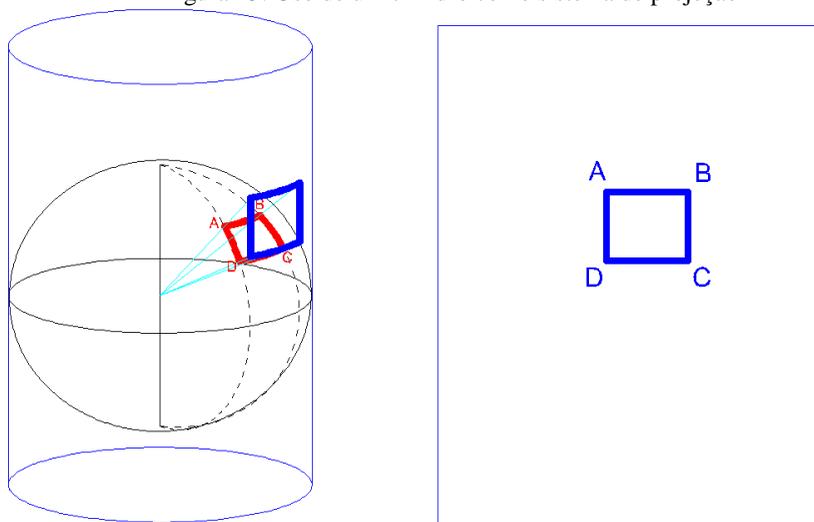
Fonte: o autor

Figura 14: Uso de um cone como sistema de projeção



Fonte: o autor

Figura 15: Uso de um cilindro como sistema de projeção



Fonte: o autor

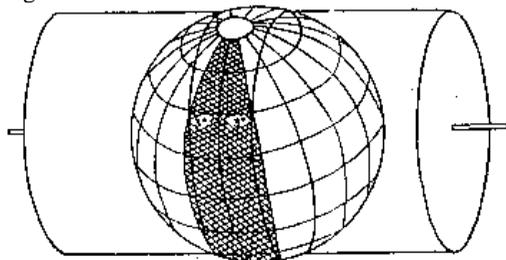
Ainda segundo Souza e Garnés (2012), quando a projeção é efetuada surgem as deformações pela incompatibilidade da representação curva nas superfícies desenvolvíveis no plano, e a projeção ganha sua particularidade dependendo do tipo de deformação ocorrida (angular, linear e área). Cintra (2004) diz que estas distorções são inevitáveis pela própria natureza. Nogueira (2009) afirma que qualquer sistema de projeção representará a superfície da terra com deformações, as quais serão tanto maiores quanto mais extensa for a área em consideração.

Para projetos e ante-projetos de engenharia, em que se necessita conhecer a escala, e onde a precisão é algo importante, adotam-se sistemas conformes, principalmente o UTM (Cintra 2004). Diz-se que uma projeção cartográfica é conforme quando a forma dos pequenos objetos é conservada (Gaspar 2005), mas não sua escala. Isso significa que mantemos os ângulos deles muito próximo do real (Figura 15), que é uma característica importante para os projetos de engenharia, mesmo sofrendo deformações lineares. Desta forma qualquer ponto na superfície pode ser localizado a partir de um par de coordenadas sobre um plano, podendo ser aplicadas as formulações da trigonometria plana e geometria analítica (Philips 1997).

## 2.8 Projeção Transversa de Mercator

Dentre as projeções mais populares estão as derivadas da Transversa de Mercator. A Projeção Transversa de Mercator é uma projeção cilíndrica conforme, em que o eixo da superfície de projeção é colocado perpendicular ao eixo de rotação da Terra, conforme ilustrado na Figura 16.

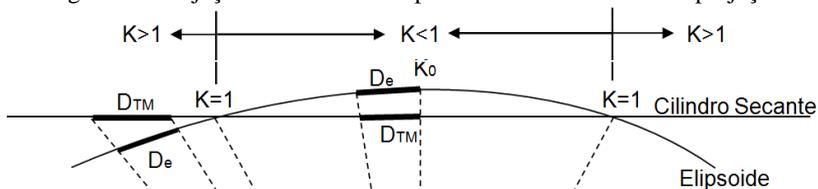
Figura 16: Uso de um cilindro transversal ao eixo da terra



Fonte: Silveira, 1990

Este importante aspecto é mais adequado à representação de regiões com grande desenvolvimento em latitude, pouco variando a escala (fator  $K$ ) neste sentido (Gaspar 2005). Na interseção do elipsoide com o cilindro secante, forma-se a linha de secância, linha esta que possui  $K=1$ . Na direção da longitude a sua extensão é bastante reduzida para evitar grandes deformações que trariam falta de linearidade da escala de deformação (Figura 17).

Figura 17: Projeção da Distância Elipsoidal sobre o Cilindro de projeção



Fonte: o autor

Apresenta-se no quadro 2, as características das projeções cartográficas baseadas na Transversa de Mercator.

Quadro 2: Características dos sistemas Transversa de Mercator

Projeção	Amplitude do fuso	Fator de escala no meridiano central ( $K_0$ )	N no Equador (Hemisférios Norte e Sul)	E no Meridiano Central
Gauss-Krugüer	3°	1	0 e 5.000.000	200.000
Gauss-Tardi	6°	0,999333	0 e 5.000.000	500.000
UTM	6°	0,9996	0 e 10.000.000	500.000
RTM	2°	0,999995	0 e 5.000.000	400.000
LTM	1°	0,999995	0 e 5.000.000	200.000

Sendo  $K_0$  o menor K do sistema.

Fonte: Netto, Tostes e Idoeta 2008

Com os parâmetros do sistema de projeção definidos, o fator de escala que deformará as distâncias elipsoidais ( $De$ ) poderá ser calculado pela equação 6, conforme Oliveira e Silva (2012), que faz uso das coordenadas geodésicas médias do alinhamento, haja visto que o fator de escala  $K$  varia ao longo do alinhamento.

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

Sendo:

$K$  = fator de escala da  $De$  para a projeção

$K_0$  = fator de escala no Meridiano Central

$\varphi_m$  = Latitude média do alinhamento

$\lambda_m$  = Longitude média do alinhamento

MC = Meridiano Central

Para obter a distância sobre a projeção TM (DTM), é necessário utilizar a distância sobre o elipsoide ( $De$ ) e o fator escala da projeção fazendo da seguinte forma, conforme Cintra (2004):

$$DTM = De \cdot K \quad (7)$$

Sendo:

De = distância sobre o elipsoide [m]

K = fator de escala da De para a projeção

## 2.9 Precisão exigida para Obras de Engenharia

A precisão exigida para o posicionamento das obras de engenharia depende diretamente do tipo de obra a ser implantada. Por exemplo, numa obra de terraplenagem, o posicionamento da crista de um corte estar 10cm errado, não será problema, mas os pilares de um edifício pré-moldado em concreto estarem errados em 10cm, será um grave problema. Talvez, a solução gerará um custo altíssimo, seja para o empreendedor ou seja para a sociedade.

Além de atender o tipo de obra, o posicionamento deve também atender a precisão necessária em função do meio em que serão inseridas. O conhecimento da área inundada de uma barragem, por exemplo, é necessário para gerar os laudos de desapropriação de imóveis que serão impactados pelo lago. Estes laudos servirão para indenização e desmembramento dos imóveis. Portanto, como toda obra é implantada sobre a superfície física, a precisão deve atender a legislação sobre a questão territorial.

### 2.9.1 Legislação

Não existe uma legislação específica que defina a precisão posicional para os diversos tipos de obras de engenharia. Porém, em obras que necessitem alteração em registros de imóveis, deverão atender a legislação sobre a documentação técnica necessária para este fim.

Se a obra estiver sobre imóveis rurais, deve atender a Lei nº 10.267/2001, lei esta conhecida como lei do georreferenciamento de imóveis rurais, pela importante mudança no cadastro destes imóveis.

A Lei nº 10.267 exige que as características, confrontações, localização e área dos imóveis rurais, sejam obtidas por memorial descritivo contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites, e que estes sejam georreferenciados ao SGB, **com precisão posicional definida pelo INCRA**. Como suporte à essa lei o INCRA publicou a norma técnica, que atualmente encontra-se na terceira edição, que define entre muitas coisas, a precisão posicional de  $\pm 50\text{cm}$  para os vértices dos

limites artificiais, que são os limites criados pelo homem como: cercas, muros, marcos, entre outros.

Para obras que tenham influência sobre imóveis urbanos, não existe legislação específica que defina a precisão posicional necessária. As diretrizes do CTM através da portaria nº 511 (2009) do Ministério das Cidades, orienta o seguinte:

Art. 11 Os municípios que adotarem o CTM, no âmbito de sua autonomia, implantarão, conservarão e manterão a inviolabilidade dos marcos vinculados ao SGB, de acordo com as recomendações do IBGE.

Parágrafo único - **Levantamentos e locações de obras e novos loteamentos devem ser referenciados ao SGB**, apoiados nos marcos municipais correspondentes.

Art. 12 O CTM **utilizará o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM)**, até que seja definida uma projeção específica.

...

§ 2º **Poderá ainda ser admitida outra projeção cartográfica**, já utilizada no município, **até a definição de uma nova projeção** para o CTM.

Observa-se que a orientação sobre o georreferenciamento é bem clara na portaria. Também é clara a orientação do uso do sistema UTM até que outra orientação seja definida. O objetivo desta orientação é sem dúvida evitar o uso indiscriminado de várias projeções sem as devidas análises, fazendo uso do sistema de projeção mais utilizado em todo o mundo, inclusive recomendado pela UGGI (União Internacional de Geodésia e Geofísica).

Na mesma portaria, está também especificado:

Art. 13 Os vértices que definem os limites de cada parcela devem constituir uma figura geométrica fechada.

§ 1º Os limites legais das parcelas devem ser obtidos, com **precisão adequada**, por meio de levantamentos topográficos e geodésicos..

Observa-se que a portaria não entra na esfera da definição da precisão posicional. Mas muitas pesquisas e estudos estão avançando para sustentar esta definição. Luz (2013), concluiu que a precisão para a determinação de vértices dos imóveis urbanos, deve ser de  $\pm 8\text{cm}$ .

Portanto, toda e qualquer obra de engenharia “deve” atender no mínimo as precisões de  $\pm 50\text{cm}$  para ocupações em áreas rurais e para esta pesquisa será considerada a precisão de  $\pm 8\text{cm}$  para ocupações em áreas urbanas. Ambos os valores foram definidos para atender o artigo 500 do Código Civil Brasileiro, instituído pela Lei nº 10.406/2002, que

especifica uma variação máxima de 5% sobre as medidas de extensão, conjuminado com as dimensões mínimas para os imóveis.

## 2.9.2 Normas Técnicas

As normas técnicas referentes as obras de engenharia são específicas e é necessário analisarmos cada uma delas para identificarmos as precisões exigidas.

### a) Obras de edificações

A ABNT publicou a NBR 14645/2005 em 3 partes, que trata da Elaboração do “como construído” (*as built*) para edificações:

- Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificação;
- Parte 2: Levantamento planialtimétrico - Registro público;
- Parte 3: Levantamento planialtimétrico - Locação topográfica e controle dimensional da obra.

Estas normas técnicas não especificam a precisão posicional dos pontos, somente a relativa entre 2 pontos levantados. Elas também permitem que se não existir uma rede de referência, o levantamento topográfico seja feito num sistema arbitrário, utilizando o norte magnético, ou seja, não georreferenciado. Elas trazem como referência a NBR 13133/1994, ou seja, deve-se utilizar o plano topográfico local como sistema de projeção.

A única referência sobre georreferenciamento é feita pela NBR 14645-2/2005 e especifica que o levantamento deve utilizar como referência a quadra georreferenciada correspondente.

A tolerância relativa à dimensão entre dois pontos é especificada na NBR 14645-1/2005 pela equação 8:

$$T = 0,006 \cdot \sqrt{L} \quad (8)$$

Sendo:

T = tolerância relativa entre dois pontos [m]

L = medida entre dois pontos [m]

O valor da tolerância definido pela referida norma, tem como valor máximo 24cm.

Tabela 1: Valores de tolerâncias em função da distância

<b>Dimensão (m)</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1600</b>
<b>Tolerância (cm)</b>	1,9	2,7	4,2	6,0	13,4	24,0

Fonte: o autor

Os valores citados na Tabela 1 não expressam e nem tampouco tem relação com a precisão posicional do georreferenciamento, pois o erro posicional num georreferenciamento pode conter erros sistemáticos de muitos metros de erro de posicionamento, mas com erros relativos de poucos milímetros.

#### **b) Obras de Rodovias**

Não existem normas da ABNT que tratem da execução de obras rodoviárias. As especificações dos procedimentos para a execução das obras, são redigidas por órgão federal, estadual ou municipal, em função da jurisdição de cada rodovia.

O DNIT nas suas Instruções de Serviços IS-204/205/226/227/238 define que o sistema de projeção a ser adotado deve ser o LTM com o SGR SAD69. A precisão posicional é definida somente na instrução de serviço IS-227 onde especifica que os pontos de coordenadas planialtimétricas para apoio às poligonais de locação do traçado devem possuir erro máximo de 10cm e para o apoio aerofotogramétrico não devem exceder 5cm. As especificações de serviço não definem qual a precisão a ser implantado o ponto da rodovia. A única definição sobre os pontos locados é que devem ser utilizados equipamentos classe 2, conforme NBR 13133/1994. A referida norma técnica especifica a precisão de estações totais classe 2: angular (7") e linear (5mm+5ppm). Quanto ao projeto de desapropriação, as diretrizes orientam que os elementos obtidos deverão ter precisão adequada para representar e identificar as propriedades que serão desapropriadas, também não sendo objetiva quanto a definição a precisão posicional.

Nas rodovias estaduais cada órgão define seus próprios critérios. O DEINFRA/SC (Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina) publicou em 1998 a instrução de serviço IS-03, que trata dos estudos topográficos para projetos. Esta instrução de serviço traz as mesmas especificações que as diretrizes do DNIT.

O DER/SP define pela ET-DE-B00/002 que o apoio topográfico deve ter erro máximo compatível com a escala de sua representação. Para a escala 1:1000 o erro máximo deve ser de 28cm e para a escala 1:500 o erro máximo deve ser 14cm. As definições em função da escala gráfica não fazem sentido algum, haja vista que a qualidade da implantação em campo de um projeto não pode estar vinculado à sua representação em papel. Esta mesma especificação técnica define o sistema de projeção UTM para os projetos, com o SGR SAD69.

No âmbito municipal praticamente nenhuma prefeitura brasileira têm as definições técnicas de como deve-se levantar ou implantar um rodovia. Foram pesquisadas nas 10 maiores cidades brasileiras e nada que tratasse da precisão posicional foi encontrado. As cidades pesquisadas foram: São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Brasília, Fortaleza, Belo Horizonte, Manaus, Curitiba, Recife e Porto Alegre.

A prefeitura municipal de São Paulo, através da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras, publicou a IP-03 Projeto Geométrico. Esta Instrução de Projeto especifica que o projeto dever ser apresentado sobre plantas topográficas que indicarão claramente todos os detalhes, sem especificar as precisões a serem atingidas. Para a execução, a mesma secretaria tem publicada a IE-01 Preparo do subleito do pavimento. Esta Instrução de Execução define apenas que o controle geométrico deverá verificar as cotas do eixo longitudinal e das bordas das seções transversais de projeto do subleito, com medidas a cada 20m. Observa-se também a falta de especificação quanto a precisão posicional.

Em Porto Alegre foi instituído o Sistema Cartográfico de Referência de Porto Alegre através do decreto nº 18.315 (Porto Alegre, 2013). Nele está definido que todos os projetos e obras devem adotar o sistema de projeção TM-POA (Transversa de Mercator para Porto Alegre), sistema este baseado no RTM, mas não especifica a precisão para as várias finalidades. A Secretaria Municipal de Obras e Viação, por sua vez, também não define.

O procedimento comum nas obras de rodovias municipais é o uso das normas estaduais ou do DNIT, porém não foram encontradas nas cidades pesquisadas nada sobre estas orientações.

### **c) Obras de Usinas Hidrelétricas**

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em suas Diretrizes para Elaboração de Serviços de Cartografia e Topografia orientam que o sistema de projeção a ser utilizado deve ser o UTM para

seus projetos. O SGR deve ser o SIRGAS2000 e até 2014 poderia ser o SAD69.

As diretrizes não especificam precisões posicionais necessárias para atender a finalidade do levantamento topográfico nem tampouco para a implantação dos vértices.

#### **d) Obras de Linhas de Transmissão**

A CELESC através de sua especificação ESP-LT-035 - Especificação de topografia, cadastro e georreferenciamento (2011), define que a precisão posicional planimétrica, dos marcos, estações e vértices de poligonais, deverá ser de 10 cm. Já para os vértices definidores da área atingida em um imóvel, a precisão posicional planimétrica deverá ser de 20 cm.

O sistema de projeção adotado é o UTM e o LTM, com o SGR SIRGAS2000.

#### **e) Obras de Loteamentos**

A lei de parcelamento do solo n° 6.766/1979 não exige que o levantamento seja georreferenciado. A lei especifica que deva existir uma planta do imóvel a ser parcelado, mas não especifica o SGR, nem tampouco a precisão posicional dos vértices deste imóvel.

Segundo De Paula Neto (2014), de maneira geral as prefeituras não exigem que os parcelamentos do solo urbano apresentem a retificação do imóvel amarrado ao SGB, podendo desta forma ocorrer divergências entre o que foi projetado e o que foi executado. De Paula Neto afirma ainda que os projetos, mesmo sendo feitos e entregues em meio digital, são ajustados na base cartográfica do município, sendo as coordenadas resultantes das parcelas impossíveis de serem verificadas na implantação.

#### **f) Obras de Portos**

Não existem normas técnicas apropriadas para obras de portos. Para a execução das fundações a ABNT publicou a NBR 6122/2010, onde especifica que os tubulões não devam exceder um deslocamento de 10% do seu diâmetro. Portanto, a tolerância do posicionamento depende do diâmetro de cada estaca. Como os tubulões normalmente variam de 40 cm a 150cm, tem-se portanto precisões variando de 4cm a 15cm.

#### **g) Obras de Aeroportos**

A RBAC n° 154 da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) que orienta como devem ser elaborados os projetos de Aeródromos, não

especifica absolutamente nada sobre o sistema de projeção, SGR e precisões para o posicionamento da obra.

#### **h) Obras de Ferrovias**

A ISF-203 do DNIT, que trata dos estudos topográficos para a elaboração do projeto, especifica que as poligonais de apoio devem ter precisão relativa de 1:10000. No caso de medições com GNSS deve-se utilizar receptores geodésicos, o que garante a precisão de poucos centímetros no processamento relativo, apesar de não especificar o valor limite. A projeção cartográfica deve ser a LTM e SGR SAD69.

A locação especificada na ISF-204 deve atender a precisão relativa de 0,0002.L [m], ou seja, 20cm/km.

### **2.9.3 Padrões adotados em obras**

A falta de legislação e normas técnicas definidoras levam os engenheiros de obras a definirem seus próprios padrões de precisão. A precisão para as obras em geral é sempre relativa a 2 pontos. A precisão relativa facilita o controle e a liberação pela fiscalização, que poderá fazer as inspeções dimensionais com uma simples trena. Porém, desta forma não são identificados erros no posicionamento conforme o projeto. As consequências de um posicionamento errado de uma obra podem levar anos para serem detectadas, sendo impossível corrigir os erros após a obra implantada.

### **2.10 Técnicas para implantação de obras de engenharia**

Sobre o levantamento topográfico concluído, o projeto de engenharia é elaborado, mantendo para o projeto o sistema de projeção cartográfica do referido levantamento topográfico.

Após o projeto executivo finalizado e devidamente aprovado, a execução da obra pode iniciar. Entra novamente em cena a topografia para implantar os pontos notáveis do projeto que servirão de orientação para o início dos serviços, como desmatamento, destocamento e limpeza.

Para isto, é necessário a locação por coordenadas a partir de pontos de apoio que são implantados preferencialmente na etapa do levantamento topográfico. Os pontos utilizados no levantamento topográfico já estarão no mesmo sistema de referência do projeto, facilitando o processo de implantação. Se o projeto está

georreferenciado, os pontos de apoio originais deixam de ter grande importância, pois no momento da execução da obra, pode-se rapidamente com GNSS implantar novos pontos georreferenciados para servir de apoio à implantação.

A implantação de pontos da obra é executada conforme cada tipo de obra de engenharia. A forma de materialização do projeto varia de região para região e até mesmo de empreiteira para empreiteira. Piquetes, estacas, pinturas, borboletas, pregos, pinos, gabaritos entre outros, são formas de materialização do projeto para que a obra seja conduzida conforme o projeto.

### **2.10.1 GNSS RTK**

Nas últimas cinco décadas, a geodésia deixou de observar astros verdadeiros e passou a observar astros artificiais, os satélites, fazendo com que a execução de parte dos serviços de topografia clássica passasse a utilizar o sistema GNSS (Guandalini, 2012).

Segundo Blitzkow (2011) as medidas precisas (centimétricas) do GNSS, possíveis através da técnica de 'Fase da Portadora', permitem aplicações na área da engenharia tanto na locação de obras quanto no monitoramento de grandes estruturas.

O Sistema Global de Navegação por Satélite - GNSS conquistou os profissionais pela simplicidade da aplicação, redução de auxiliares, maior precisão e principalmente pela falta de redes de referência densas o suficiente.

A técnica GNSS RTK (Real Time Kinematic – Cinemático em Tempo Real) é um posicionamento diferencial onde o processamento para a resolução das ambiguidades é realizado em tempo real utilizando a inicialização OTF - On The Fly - (Monico, 2008). Isso permite que tenhamos em campo instantaneamente durante a medição a solução encontrada (fixa, flutuante, parcial ou somente código C/A), além da precisão posicional na horizontal e na vertical.

O processamento é feito no receptor móvel e, para isso, os dados do receptor de referência devem ser transmitidos para o receptor móvel. Existem algumas soluções de transmissão:

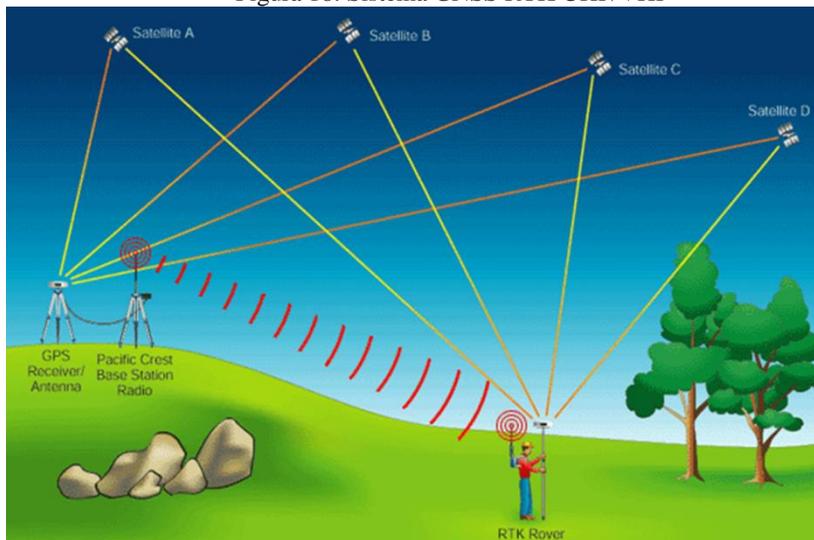
a) via rádio UHF/VHF/*Bluetooth*: a estação de referência deve ser equipada com um rádio modem transmissor que transmitirá os dados (via rádio) para uma estação móvel, que se utiliza destas informações para determinar sua posição com precisão (Junior e Krueger 2007). A

Figura 18 ilustra o par de receptores recebendo sinais dos mesmos satélites e o receptor base transmitindo os dados via rádio para o receptor rover para o processamento em tempo real.

b) via GSM (celular): a estação de referência efetua comunicação GSM diretamente com a estação móvel utilizando celular para a transmissão dos dados.

c) via NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*): a estação de referência transmite os dados via internet para um servidor, onde o receptor móvel irá se conectar para baixar instantaneamente os dados necessários para o processamento em tempo real (Costa et al. 2008; IBGE 2014).

Figura 18: Sistema GNSS RTK UHF/VHF



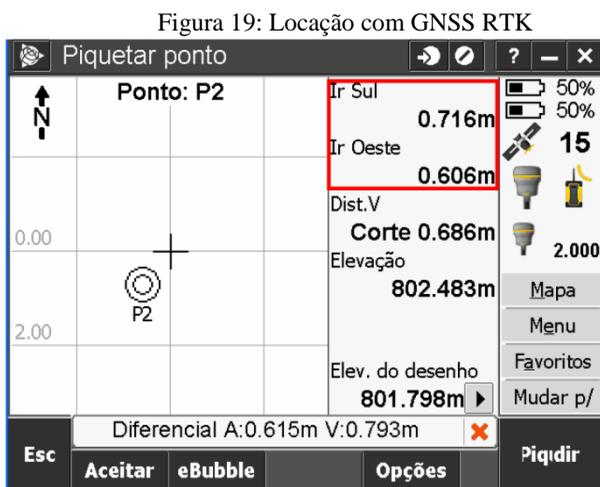
Fonte: Pacificcrest, 2014

Os serviços topográficos tradicionais, o georreferenciamento de imóveis rurais e a locação de pontos com precisão podem empregar a técnica RTK/GSM, desde que haja a disponibilidade de sinal de telefonia celular (Guandalini, 2012). Guandalini afirma ainda, que a respeito das principais vantagens da técnica RTK, pode-se listar: obtenção instantânea das coordenadas, da solução da ambiguidade e do erro do relógio em tempo real; alta produtividade; possibilidade da

locação de pontos e da divisão de áreas com acurácia centimétrica; utilização de vários equipamentos móveis tendo como referência um único receptor base.

Pela praticidade, precisão obtida, facilidade nos cálculos, redução de auxiliares de topografia e redução dos custos dos equipamentos, a técnica RTK está sendo utilizada com maior frequência.

Para a implantação o processamento em tempo real é fundamental, pois é necessário saber a coordenada da ocupação instantaneamente para a comparação imediata com a coordenada de projeto, permitindo que se faça o deslocamento buscando encontrar o ponto a ser implantado. Na Figura 19, como exemplo pode-se consultar que é necessário se deslocar para 0,719m para o sul e 0,606m para o oeste para alcançar o ponto projetado georreferenciado.



Fonte: o autor

Com as informações do posicionamento, incluindo as precisões e as soluções, o profissional pode decidir em campo se o posicionamento atende a finalidade da obra ou não.

O posicionamento do ponto é obtido pelas suas coordenadas cartesianas geocêntricas 3D, onde o programa de processamento em campo pode transformar imediatamente para uma projeção cartográfica conforme o projeto, incluindo o Sistema Geodésico de Referência. Desta forma, o posicionamento GNSS é nativamente georreferenciado, não

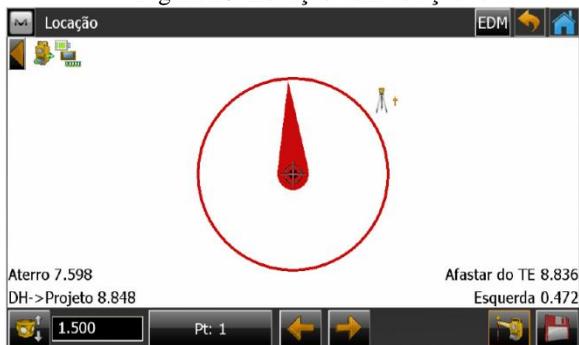
necessitando qualquer cálculo adicional para a implantação de pontos na obra.

### 2.10.2 Estação Total

A estação total atualmente é o equipamento básico de topografia. Como o GNSS possui grandes restrições em função de obstáculos acima do horizonte, a estação total ainda se mantém como solução para muitos casos de obras de engenharia. Com a presença de obstruções, o GNSS será empregado principalmente para determinar os pontos de estação ocupados por taqueômetros eletrônicos (Estações Totais) ou outros instrumentos convencionais utilizados em levantamentos (Seeber, 2003).

A partir de pontos coordenados de projeto, em qualquer projeção TM, é necessário transformá-la para coordenadas polares (ângulos e distâncias) para então executar a implantação dele em campo. O ângulo deve ser o azimute de quadrícula (azimute plano), ângulo utilizado para orientação dos sistemas TM. A Figura 20 demonstra a tela de locação com uma estação total, onde a orientação é a partir do equipamento.

Figura 20: Locação com estação total.



Fonte: o autor

Segundo Codeplan (1976), no cálculo dos lados, a partir de coordenadas plano-retangulares do sistema, há que considerar, obrigatoriamente, o coeficiente de deformação linear  $K$  e a correção ao nível médio dos mares. A mesma Codeplan recomenda desprezar a redução angular para projetar os azimutes de quadrícula para o plano topográfico, já que as projeções cilíndricas deformam de forma insignificante os ângulos.

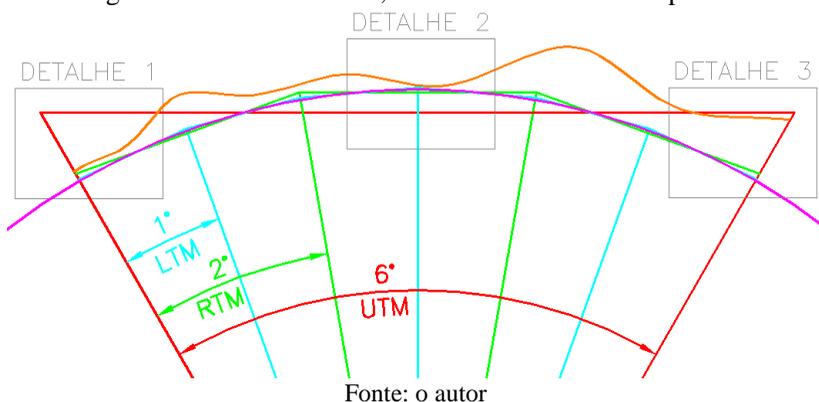
## 2.11 Deformação nos sistemas de projeção

Para obras de engenharia deve-se utilizar projeções cilíndricas para que o ângulo medido em campo não seja deformado na projeção, pelo menos que não sejam relevantes na prática. Admite-se então deformações lineares, pois apenas mudarão a escala dos elementos medidos em campo, não deformando a forma geométrica.

Os sistemas secantes de projeção fazem com que a deformação da distância elipsoidal seja melhor distribuída ao longo do fuso. Serão analisadas portanto as projeções transversa de Mercator mais comuns no Brasil que são a UTM, RTM e LTM.

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 elipsoide.

Figura 21: Cilindros UTM, RTM e LTM sobre o Elipsoide.



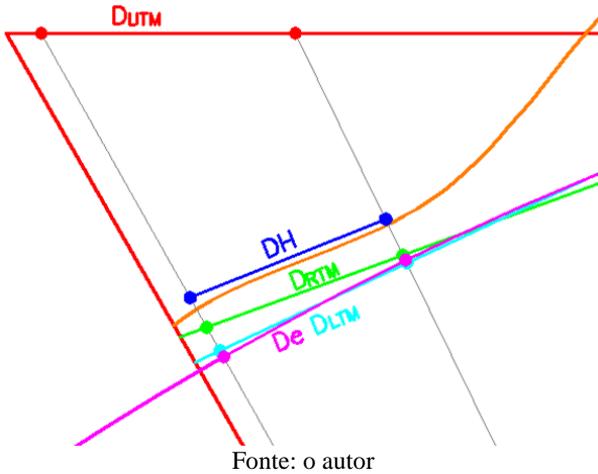
Porém as distâncias são medidas no Plano Topográfico Local e não sobre o elipsoide. Deve-se considerar também a redução da distância horizontal para o elipsoide.

Analisando cada um dos detalhes identificados na Figura 21, pode-se observar:

**a) Detalhe 1:** no detalhe 1 (Figura 22) observa-se que DH está mais próxima do plano RTM, que dos planos UTM e LTM. Isso ocorre por

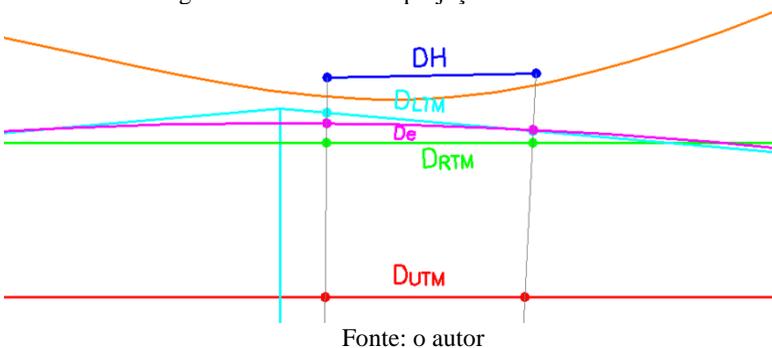
causa da altitude dos pontos medidos em campo e da disposição dos planos de projeção. Portanto, neste caso, a projeção que menos deforma é a RTM. É importante destacar que a DLTM é a mais próxima do elipsoide e portanto possui o  $K$  mais próximo de 1, porém é o sistema de projeção RTM que sofre menor deformação.

Figura 22: Detalhe 1 da projeção da Distância Horizontal.



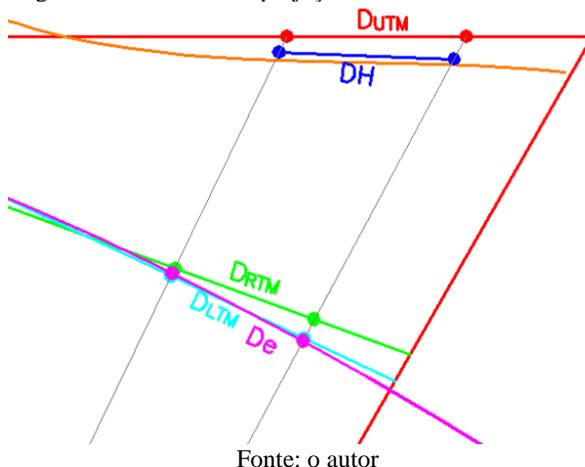
**b) Detalhe 2:** neste detalhe (Figura 23) por causa da altitude e da disposição dos planos, observa-se que DH está mais próxima do plano LTM, que dos planos UTM e RTM. Portanto, neste caso, a projeção que menos deforma é a LTM.

Figura 23: Detalhe 2 da projeção da Distância Horizontal.



c) **Detalhe 3:** nesta situação (Figura 24) o plano de projeção que possui menor deformação é o UTM, pois a DH está mais próxima a ele.

Figura 24: Detalhe 3 da projeção da Distância Horizontal.



Fonte: o autor

Conforme é possível observar nas Figuras 22, 23 e 24 que qualquer um dos sistemas pode deformar menos.

Inicialmente, quando as cartas impressas eram a única forma de representação gráfica, o quanto uma projeção deformava tinha relevante importância, pois o objetivo era adotar um sistema de projeção que a deformação fosse insignificante para a escala adotada.

Hoje, a adoção de um sistema de projeção cartográfica permite o uso de informações georreferenciadas sobre uma superfície planificável. Consequentemente, pode-se aplicar as equações tradicionais trigonométricas e analíticas para se obter os valores de área, distância entre pontos e ângulos para orientação.

Mesmo utilizando uma projeção cartográfica que deforme menos, a deformação ainda poderá ser significativa para aplicações em obras de engenharia, sendo impossível desprezá-la para a implantação de obras.

## 2.12 Propagação dos erros

Guilani e Wolf (2012) definem o erro como sendo a diferença entre o valor observado e o valor verdadeiro. Estes erros podem ser de caráter grosseiro, sistemático ou acidentais.

Os erros grosseiros são gerados pelo observador, onde equívocos em leituras ou erros operacionais podem ser eliminados por uma simples repetição. Portanto, é um erro que se deve eliminar completamente.

Os erros acidentais ou aleatórios são gerados por variações imprevisíveis, seja por limitações do observador ou do ambiente, mas possuem dispersão em torno da medida real. Este erro pode ser tratado estatisticamente, onde pode-se minimizá-lo com a repetição de medições (Tabacniks, 2011).

Já os erros sistemáticos são erros bem característicos gerados por equipamentos ou por um processo em si (Tabacniks, 2011). É um erro que não sofre dispersão, ou sua dispersão é imperceptível frente a outros erros acidentais. Um erro sistemático tem uma única direção (a mais ou a menos) sendo possível, quando identificado, corrigir o valor medido. Este tipo de erro também pode ser compensado, adotando técnicas que irão identifica-lo mesmo se acumulado. Para este tipo de erro, a repetição das observações não irá identifica-lo.

Um dos grandes problemas dos levantamentos topográficos, assim como de implantação topográfica, é a propagação de erros. Pelo motivo de ser oriunda basicamente de 2 grandezas diferentes (erros angulares e erros lineares), a determinação de um erro propagado é complexa.

Silva e Frederico (2014) chamam a atenção que as deformações dos sistemas de projeção não consideradas podem atingir facilmente valores além da tolerância dos projetos de engenharia e, portanto, é necessário fazer uso de fatores de correção de escala e de redução de altitude. Assim sendo, deformações não consideradas se tornarão automaticamente em erros lineares. Como a deformação muda lentamente com a posição dentro de um fuso, tem-se a deformação da distância numa mesma direção (para mais ou para menos) numa grande região, que se não for considerada nos cálculos, se tornarão erros sistemáticos. A título de exemplo será adotado um loteamento fictício no município de Caçador, SC:

Latitude (aproximada): 26°46'30" S

Longitude (aproximada): 51°00'40" W

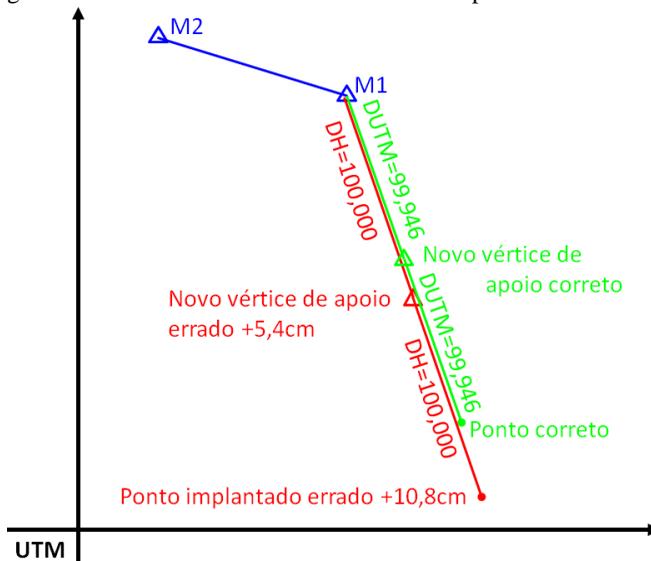
Altitude (aproximada): 900m

Precisão posicional: ±10cm (sem definição legal)

Com os dados do município de Caçador, para uma distância horizontal medida de 100,000m tem-se uma distância UTM de 99,946m, ou seja, uma redução de 5,4cm, que é totalmente admissível para a precisão posicional de ±10cm. O problema ocorre quando é necessário

implantar um novo vértice de apoio a 100m e depois implantar um novo ponto, pois como o erro é sistemático, tem-se um acúmulo dos erros, conforme pode-se observar na Figura 25. O ponto implantado terá um erro posicional de 10,8cm o que estaria fora da precisão exigida.

Figura 25: Erro linear sistemático devido ao desprezo da deformação



Fonte: o autor

Erros de posição oriundos de erros lineares são fáceis de propagar e simples de serem identificados. Porém, isso não ocorre com os erros angulares que acabam sendo complexos de serem identificados, pois eles deslocam os pontos medidos e se transformam também em erro de posição, se somando ao erro de fonte linear.

Os erros angulares mais críticos não são oriundos dos equipamentos topográficos, mas sim da metodologia de implantação dos pontos de apoio utilizados. Um erro de posição de um ponto utilizado como apoio, pode se transformar num erro angular e com isso deslocar uma irradiação ou mesmo uma poligonal inteira. A título de exemplo, será adotada uma rodovia no município de São Paulo, SP:

Latitude (aproximada): 23°33'01" S

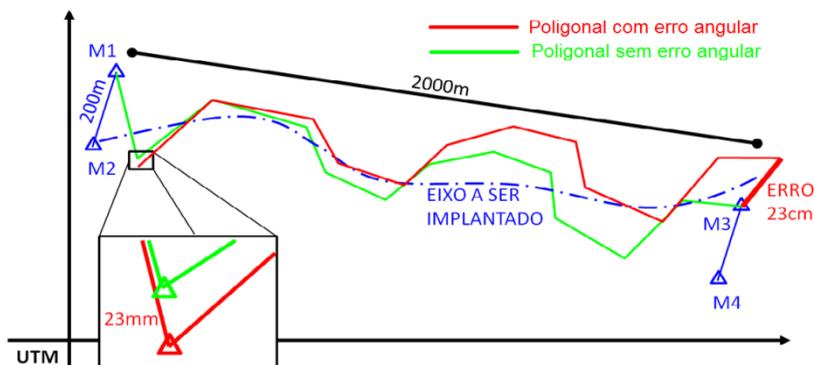
Longitude (aproximada): 46°38'02" W

Altitude (aproximada): 700m

Precisão posicional:  $\pm 5\text{cm}$  (definido por norma)

Com os dados do município de São Paulo, para uma distância horizontal medida de 200,000m tem-se uma distância LTM de 199,977m, ou seja, uma redução de 2,3cm, que é totalmente admissível para a precisão posicional de  $\pm 5\text{cm}$ . Com a finalidade de implantar o eixo da rodovia, será necessário implantar vários vértices de apoio que permitam visibilidade ao eixo a ser implantado. Tendo a poligonal a ser implantada aproximadamente 2km, parte-se de M1 com orientação a ré em M2 distando 200m. Pode-se observar na Figura 26 a presença do erro posicional de 2,3cm no primeiro vértice implantado. Este erro posicional gerará um erro angular que provocará uma rotação em toda a poligonal, produzindo um erro posicional do final da poligonal de 23cm, totalmente fora da precisão exigida por norma.

Figura 26: Erro linear sistemático devido ao erro angular



Fonte: o autor

O erro de posicionamento gerado pelo erro angular é influenciado pela extensão da poligonal a ser implantada.

## 3 MATERIAIS E MÉTODO

### 3.1 Materiais Utilizados

Para a elaboração desta pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

- Leis, normas técnicas e instruções de órgãos no âmbito nacional, estadual e municipal;
- Livros, dissertações, teses, artigos científicos e revistas técnicas;
- Estação total e receptores GNSS RTK;
- Programas: Topcon Tools, Topograph, Autocad e Surfer.

### 3.2 Método

A Dissertação foi desenvolvida em 5 etapas bem características (Figura 27), sendo elas:

- **Identificação do Problema:** primeiramente foi feita uma pesquisa sobre a fundamentação teórica de geodésia e sistemas de projeções para aplicação em obras de engenharia. A dificuldade técnica de executar os cálculos em campo chama a atenção em função dos equipamentos que são padrão no mercado brasileiro. Por este motivo, vários cálculos complexos devem ser executados em campo para que o projeto de engenharia georreferenciado seja implantado em campo corretamente ou ainda devem ser feitos anteriormente à implantação, o que provoca atrasos em alterações do projeto ou necessidades especiais durante a execução da obra. Poucos cursos de engenharia civil possuem formação adequada de geodésia para trabalhar com obras georreferenciadas.

- **Normas Técnicas:** nesta etapa buscou-se uma revisão na legislação, normas técnicas, especificações de serviços e procedimentos técnicos dos órgãos competentes que orientam como devem ser elaborados os projetos e a execução da obra. Observou-se a precariedade destes importantes instrumentos norteadores das obras no Brasil.

- **Estudos de caso:** foram realizados dois estudos de caso, onde o primeiro objetivou identificar as deformações dos sistemas de projeção Transversa de Mercator em todo o Estado de Santa Catarina. Com isso

pode-se verificar a real importância do tratamento geodésico das medições e dos dados de projeto para a implantação da obra em campo. Para a comprovação prática da identificação do problema, foi realizado o segundo estudo de caso, onde foi realizado um levantamento topográfico georreferenciado para verificar se o posicionamento da obra foi executado de acordo com o projeto. A obra escolhida foi um loteamento urbano com toda a infraestrutura já implantada, onde foi analisada a qualidade do posicionamento absoluto do georreferenciamento e também o relativo aos pontos para identificar a origem dos erros produzidos.

- **Método para Implantação de Obras:** Nesta etapa foram compiladas as equações de geodésia e projeções cartográficas, simplificando-as sem comprometer a qualidade do posicionamento, visando facilitar os procedimentos de campo. Com o procedimento desenvolvido, fez-se a validação do método analisando com o padrão, se os erros incluídos em função das simplificações são ou não consideráveis.

- **Conclusões:** nesta última etapa fez-se as conclusões da pesquisa, focando nos resultados obtidos e pontos importantes a serem destacados, juntamente com as recomendações para o uso adequado das projeções cartográficas em obras de engenharia, de forma que o georreferenciamento das mesmas seja executado de forma adequada.

Figura 27: Fluxograma do Método de desenvolvimento da dissertação



Fonte: o autor

## **4 ESTUDOS DE CASO**

### **4.1 Deformação dos Sistemas de Projeção no Estado de Santa Catarina**

Para ilustrar as deformações dos sistemas de projeção tomou-se como exemplo o estado de Santa Catarina, que possui uma extensão territorial próxima de 100.000km<sup>2</sup>, que o faz o 9º estado brasileiro em extensão territorial.

Para ilustrar as deformações de forma gráfica foram desenvolvidos cálculos com a planilha eletrônica Microsoft Excel versão 2010, e os cartogramas modelados no programa Surfer versão 8. Para melhor expressar as deformações, adotou-se a medida de 1000 metros e a deformação em centímetros. A direção da deformação (se a menor ou a maior) não importa para nossa análise, pois o objetivo é analisar as deformações

Pode-se observar no cartograma hipsométrico (Figura 28) a amplitude altimétrica do estado variando de 0 metros (nível do mar) até pouco mais de 1800 metros. Como fonte destas altitudes foram utilizados os dados do SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle). Esta missão teve como objetivo gerar um Modelo Numérico de Elevação (MNE) da Terra usando a interferometria com resolução de 90m. Os dados estão disponibilizados gratuitamente no site [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/). A resolução espacial de 90m é muito alta para nossa finalidade, onde o modelo numérico de elevação foi tratado no programa de Sensoriamento Remoto Global Mapper versão 16 para adequar à resolução de 0,1º na Latitude e Longitude, o que representa espacialmente uma malha de 10km x 10km suficientes para a escala dos cartogramas. Foram então exportados para o Surfer para elaboração do MNE.

Como visto na seção 2, a distância horizontal precisa ser reduzida ao elipsoide, o que traz uma primeira deformação para que todas as dimensões estejam numa única superfície de referência, utilizando as equação 4 e 5 da seção 2.6. No cartograma da Figura 29, pode-se observar que em função das elevadas altitudes no estado (próximas de 1800m) tem-se reduções da distância horizontal (DH) para a elipsoidal (De) de até 30cm a cada km medido em campo. No litoral do estado, as deformações são menores que 5cm/km. Chama-se atenção também para o extremo oeste do estado, que em função da baixa altitude também tem reduções variando de 0 a 10cm/km.

Para a obtenção das distâncias no sistema de projeção TM a partir da  $D_e$ , precisamos utilizar o fator de escala  $K$ , fazendo uso das equações 6 e 7 anteriormente vista na seção 2.8. Para cada um dos sistemas UTM, RTM e LTM tem-se as respectivas distâncias  $D_{UTM}$ ,  $D_{RTM}$  e  $D_{LTM}$ .

Analisando as deformações da distância elipsoidal ( $D_e$ ) em função do fator de escala  $K$  no estado de Santa Catarina, tem-se o cenário exposto nas Figuras 30, 31 e 32. Observa-se que nestes cartogramas as deformações da  $D_e$  sofrem grande variação em função da longitude e pouco em função da latitude.

As deformações da  $D_e$  na projeção UTM estão ilustradas na Figura 30, onde pode-se observar que chega-se a ter uma deformação de  $-40\text{cm/km}$  próximo do Meridiano Central,  $+40\text{cm/km}$  no litoral e de  $+60\text{cm/km}$  no extremo oeste do estado. O estado de Santa Catarina está integralmente coberto por um único fuso UTM, que é o de número 22.

No sistema de projeção RTM as deformações da  $D_e$  chegam a  $-5\text{cm/km}$  no Meridiano Central, e  $+15\text{cm/km}$  nos bordos de cada fuso, como pode-se observar na Figura 31. Para o recobrimento total do estado de Santa Catarina são necessários os fusos de número 64, 65 e 66.

Já no sistema de projeção LTM (Figura 32), a deformação da  $D_e$  varia de  $-5\text{cm/km}$  próximo do Meridiano Central e  $+5\text{cm/km}$  nos bordos de cada fuso, que para o recobrimento total do estado de Santa Catarina são necessários seis fusos numerados de 127 a 132.

É importante ressaltar que as deformações geradas pelo fator de escala  $K$  (Figuras 30,31 e 32), são sobre as distâncias elipsoidais ( $D_e$ ) e não sobre as distâncias horizontais ( $D_H$ ), portanto não exprimem as deformações das medições de campo sobre o plano horizontal.

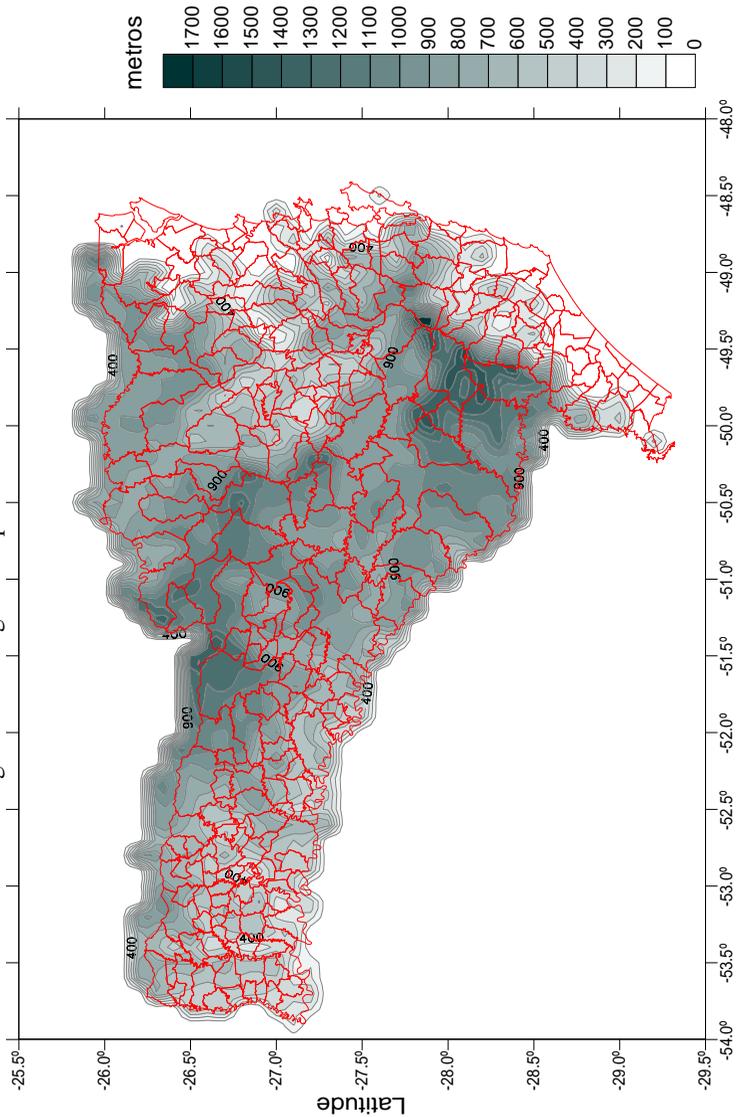
Para analisarmos as deformações das medições executadas em campo nos sistemas de projeção, é necessário considerar a redução das distâncias horizontais e também o fator de escala  $K$ . As Figuras 33, 34 e 35 mostram os cartogramas com as deformações em cm sobre uma distância horizontal de 1000m nos sistemas UTM, RTM e LTM. Nota-se que as deformações da  $D_H$  perdem a linearidade de deformações como ocorre com a  $D_e$  no sentido Leste-Oeste, pois neste caso sofrem também as deformações em função das altitudes.

Na Figura 33 pode-se observar maiores deformações da  $D_H$  para a  $D_{UTM}$  no Centro do estado, pois as reduções em função da altitude e do fator  $K$  acabam se somando e chegam a  $-60\text{cm/km}$ . No extremo oeste do estado as deformações UTM chegam a  $+60\text{cm/km}$  e no extremo leste a  $+40\text{cm/km}$ . As faixas claras as deformações são próximas de  $0\text{cm/km}$ , ou seja, as  $D_H$  são muito próximas da  $D_{UTM}$ .

Na Figura 34 as manchas de deformação da DH para  $D_{RTM}$  se apresentam mais claras se comparadas com a UTM. Observa-se que as deformações são pouco influenciadas pela posição no fuso, sendo a redução para o elipsoide o que mais influencia. Pode-se observar que nos locais de maior altitude são onde temos maiores deformações, que chegaram a  $-27\text{cm/km}$ .

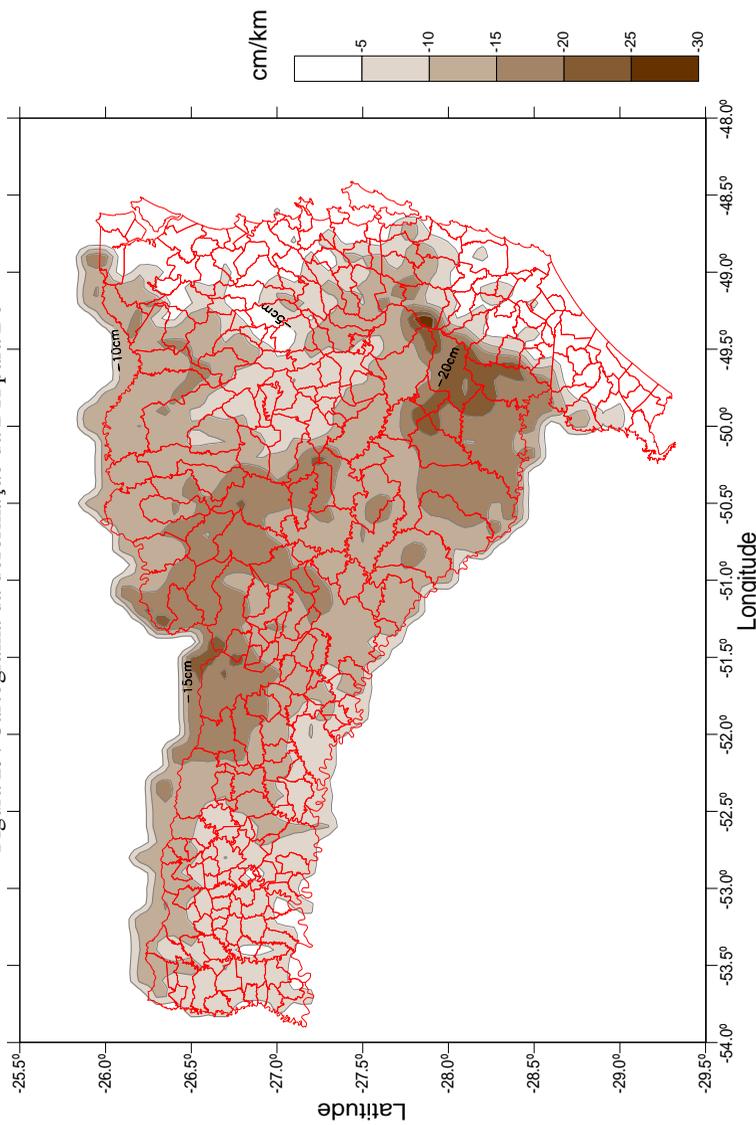
A deformação da DH para  $D_{LTM}$  pode ser observada na Figura 35. Assim como na projeção RTM, as maiores deformações são negativas e ocorrem nas maiores altitudes. De uma maneira geral, a mancha de deformações são mais distribuídas do que a RTM, sendo ao longo de todo o litoral as deformações entre 0 a  $5\text{cm/km}$ .

Figura 28: Cartograma Hipsométrico do Estado de SC



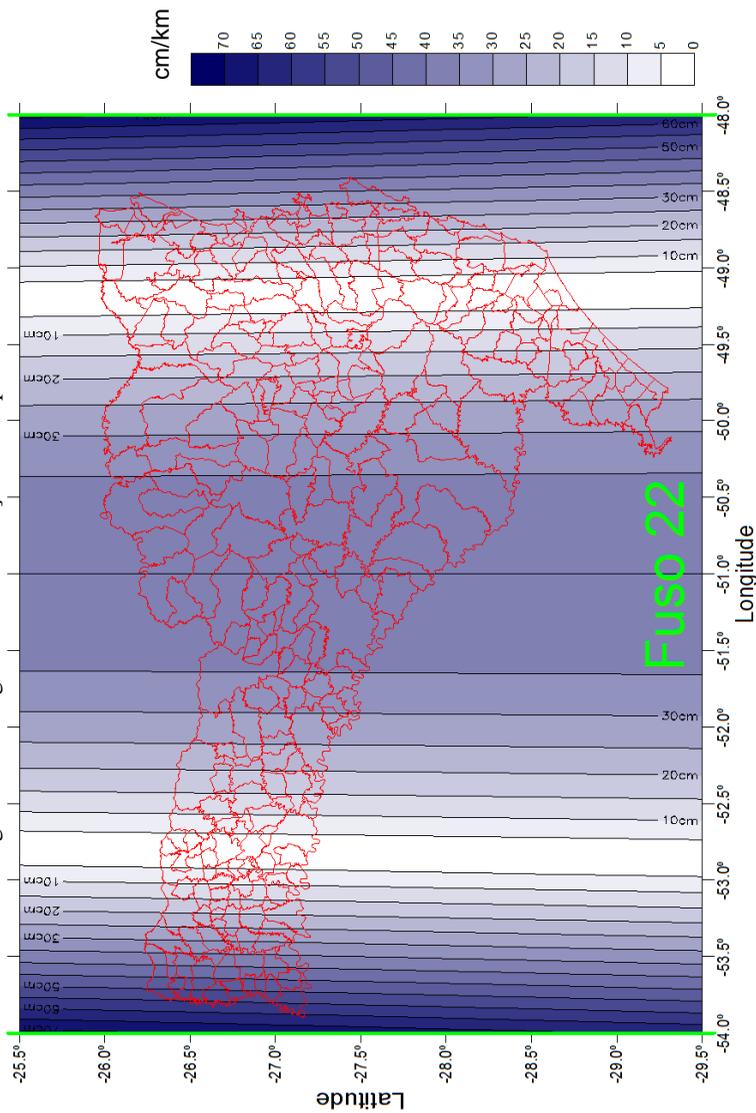
Fonte: o autor

Figura 29: Cartograma da deformação da DH para De



Fonte: o autor

Figura 30: Cartograma da deformação da De para DUTM



Fonte: o autor

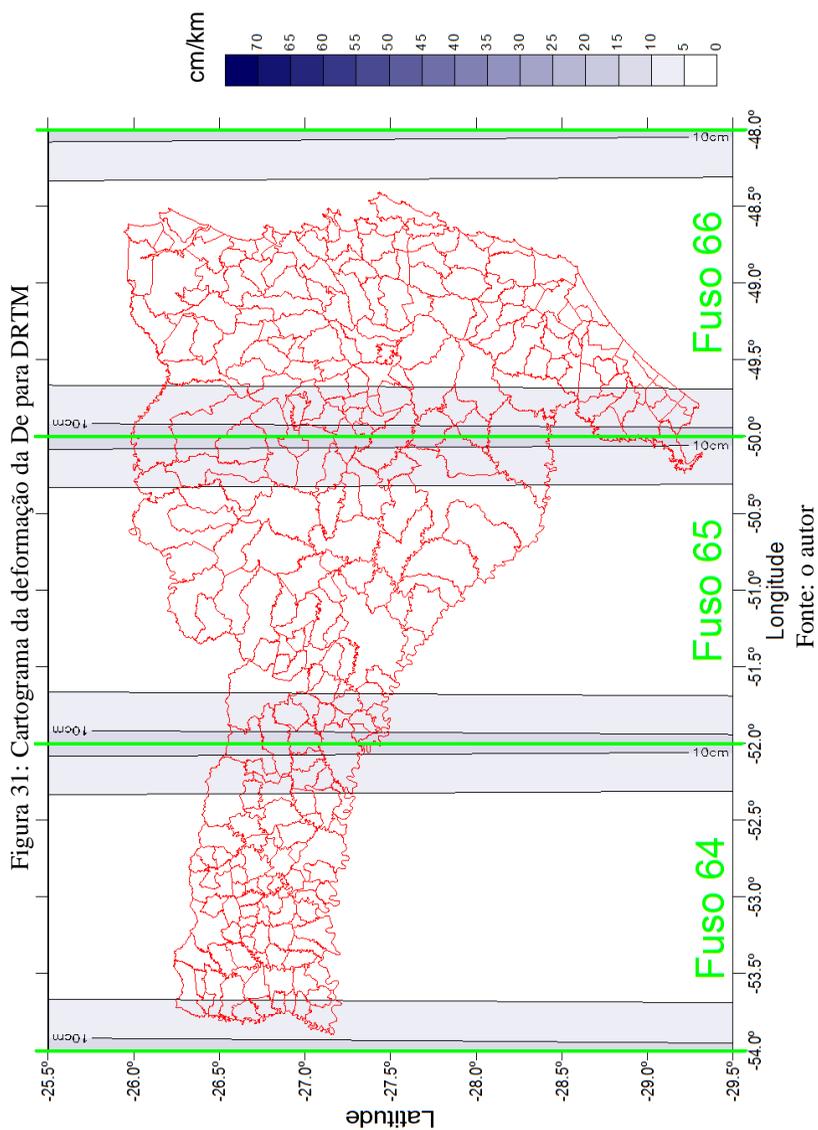
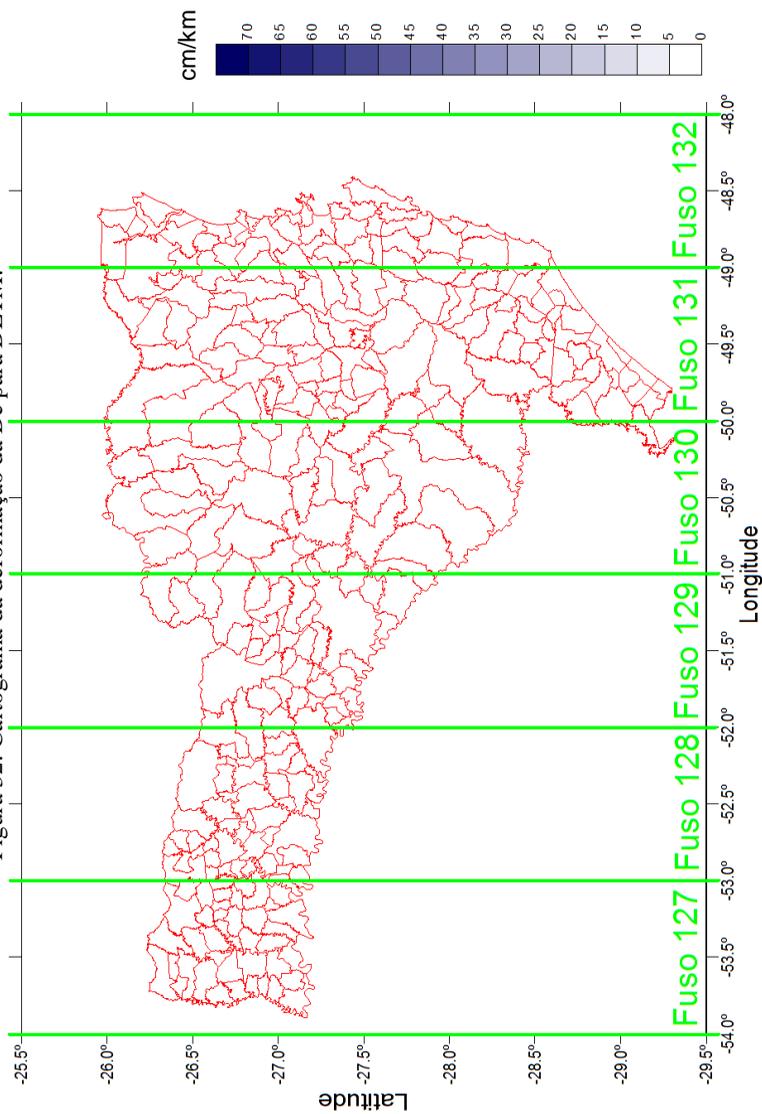


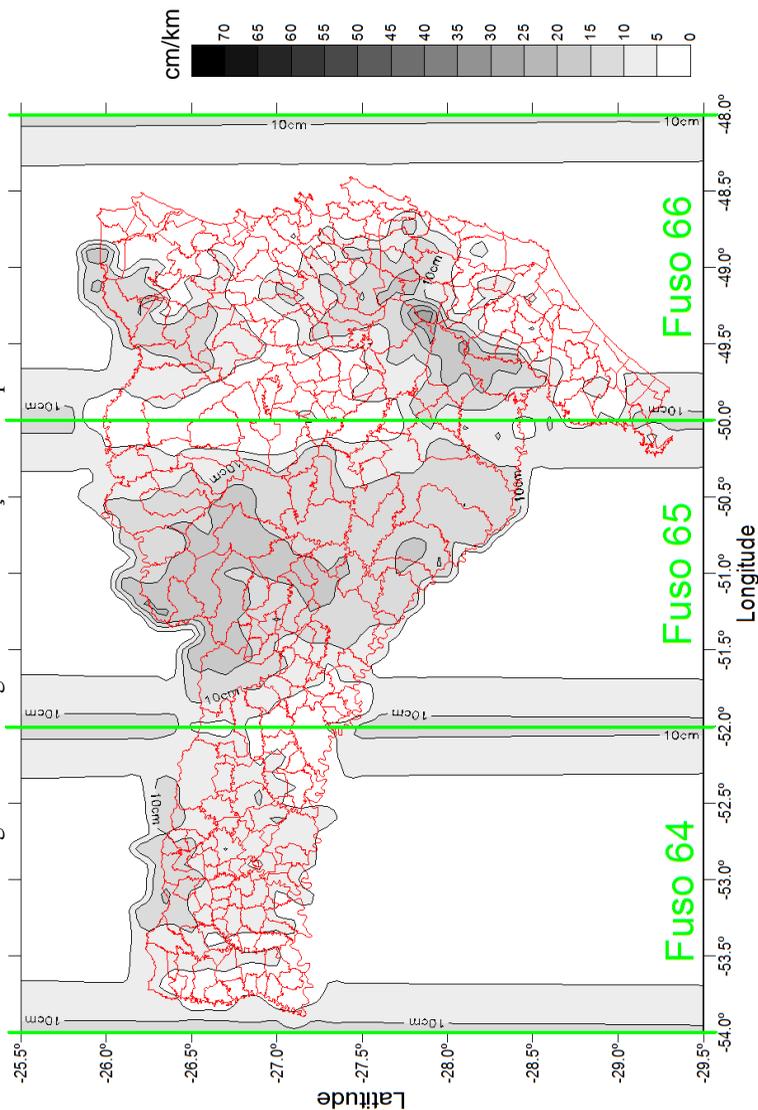
Figura 32: Cartograma da deformação da De para DLTM.



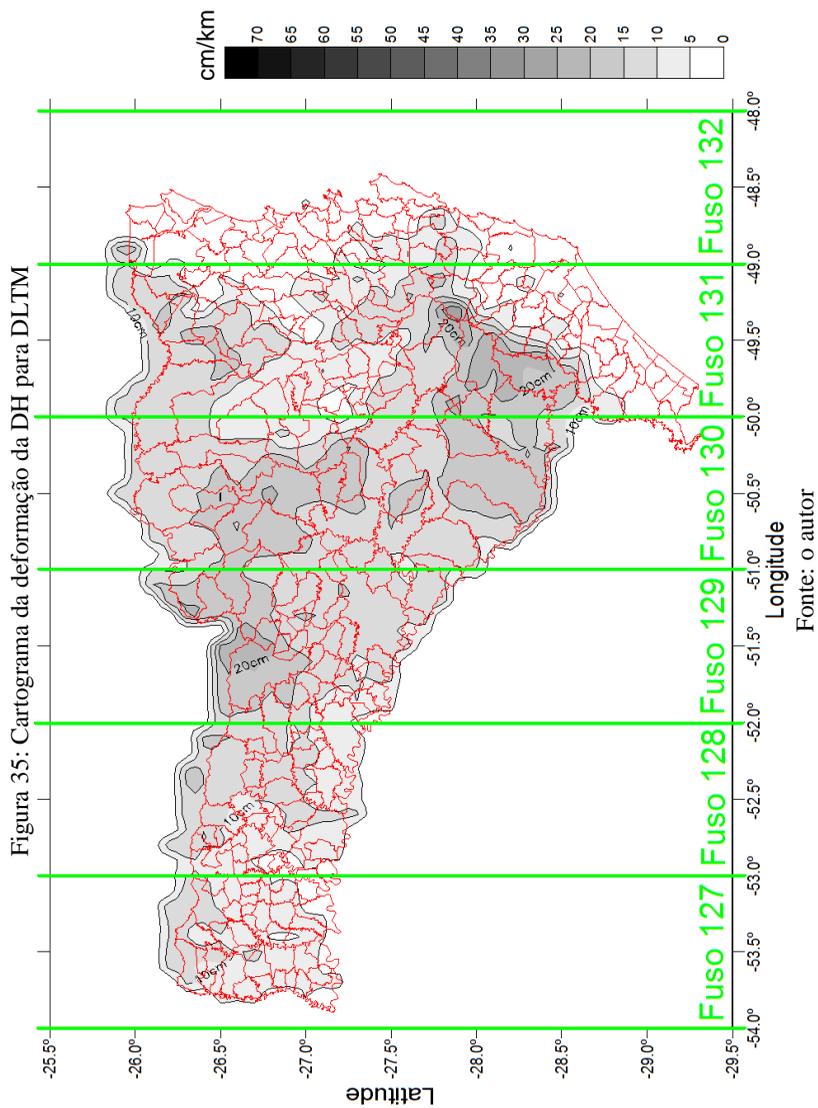
Fonte: o autor



Figura 34: Cartograma da deformação da DH para DRTM

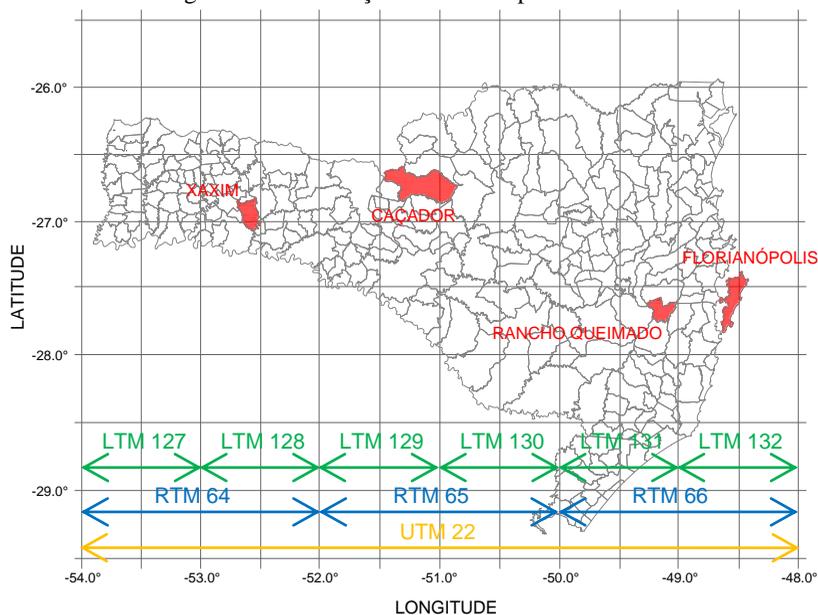


Fonte: o autor



Para uma análise mais localizada, calculou-se as deformações em quatro municípios de Santa Catarina escolhidos em diferentes condições de altitude e posição nos fusos UTM, RTM e LTM (Figura 36). Os municípios escolhidos foram: Florianópolis, Rancho Queimado, Caçador e Xaxim.

Figura 36: Localização dos Municípios no estado



Fonte: o autor

Na Tabela 2 pode-se verificar as deformações encontradas da DH nas projeções UTM, RTM e LTM.

O município de Florianópolis está localizado próximo ao bordo do Fuso UTM 22, próximo à linha de secância do fuso RTM 66 e próximo ao Meridiano Central do fuso LTM 132. Com sua altitude média de 20m, o sistema de projeção que mais deforma é o UTM com +29,6cm/km e o que menos deforma é o LTM com -0,7cm/km.

Rancho Queimado está localizado próximo à linha de secância do Fuso UTM 22, próximo ao meridiano central do fuso RTM 66 e próximo ao bordo do fuso LTM 131. Com sua altitude média de 800m, o sistema de projeção que mais deforma é o RTM com -13,1cm/km e o que menos deforma é o UTM com -5,4cm/km.

O Município de Caçador está localizado próximo ao meridiano central do Fuso UTM 22, próximo ao meridiano central do fuso RTM 65 e próximo à linha de secância do fuso LTM 129. Com sua altitude média de 930m, o sistema de projeção que mais deforma é o UTM com -54,6cm/km e o que menos deforma é o LTM com -12,2cm/km.

Xaxim está localizado próximo à linha de secância do Fuso UTM 22, próximo à linha de secância do fuso RTM 64 e próximo ao meridiano central do fuso LTM 128. Com sua altitude média de 800m, o sistema de projeção que mais deforma é o UTM com -23,9cm/km e o que menos deforma é o RTM com -10,5cm/km.

Tabela 2: Deformações dos sistemas TM em alguns municípios de SC

Municípios	DH	Altitude média	Deformação DH → DTM (cm/km)		
			UTM	RTM	LTM
Florianópolis	1000	20	+29,6	+1,3	-0,7
Rancho Queimado	1000	800	-5,4	-13,1	-10,2
Caçador	1000	930	-54,6	-15,1	-12,2
Xaxim	1000	800	-23,9	-10,5	-13,0

Fonte: o autor

Um resumo das deformações (em módulo) encontradas no estado de Santa Catarina pode ser observado na Tabela 3. O sistema de projeção que possui maior deformação no estado de Santa Catarina é o UTM com deformações de até 59cm/km, tendo em média 32,8cm/km. Já o RTM foi o sistema que possui menor deformação com deformação máxima de 27,3cm/km e média de 8,2cm/km.

Tabela 3: Resumo de deformações dos sistemas UTM, RTM e LTM em SC

Valores	Deformação DH → DTM (cm/km)		
	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: o autor

Pode-se observar que todos os sistemas de projeção trazem consigo deformações, que na maioria dos casos é **relevante** para obras de engenharia. Dependendo da posição dentro do fuso e da altitude da medição realizada, os sistemas de projeção se alternam entre os que mais deformam e menos deformam.

Mesmo que adotemos um sistema que deforme menos, poderemos ainda ter deformações não aceitáveis para obras de engenharia, se desprezarmos-as.

## 4.2 Projeto x Implantação : Obra de Loteamento

Para ilustrar os problemas de implantação de projetos georreferenciados foi escolhido um loteamento concluído no ano de 2013 com toda a infraestrutura necessária (Figura 38). Está localizado em Florianópolis, entre os Bairros Ribeirão da Ilha e Campeche (Figura 37).

Figura 37: Localização do loteamento



Fonte: adaptado de Google Earth, 2014

O projeto do loteamento foi elaborado sobre um levantamento topográfico georreferenciado na projeção UTM a partir de 2 vértices. Apesar do projeto não especificar as coordenadas dos pontos notáveis, o arquivo vetorial foi disponibilizado pelo empreendedor, permitindo a consulta das coordenadas de todos os pontos.

Figura 38: Loteamento com infraestrutura completa



Fonte: o autor

Para verificação da fidelidade da implantação dos pontos de projeto foi realizado um levantamento topográfico, o qual serviu também à tese de doutoramento de De Paula Neto, Leonel Euzébio com o título “Contribuição para o parcelamento do solo urbano baseado no cadastro territorial multifinalitário”, defendido em 2014 na Universidade Federal de Santa Catarina no programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Como a área é apropriada para levantamento com GNSS, para a execução do levantamento topográfico foi definido o método RTK, pois permite alcançar a precisão necessária para o estudo e traz grande produtividade, uma vez que já existe no loteamento algumas obras de edificações prejudicando a intervisibilidade para adoção de qualquer método com estação total.

A implantação do loteamento teve o acompanhamento constante de uma equipe de topografia fazendo as demarcações para orientação das obras de infraestrutura, assim como a demarcação dos lotes ao final das mesmas. Isso é importante para que a obra seja conduzida geometricamente de forma rigorosa, lembrando a necessidade de

aplicação das equações das deformações do sistema de projeção. A equipe fez uso de estação total, o que exige a transformar a DUTM em DH para uma implantação correta dos pontos de projeto. Portanto, a adoção do método RTK se confirma como uma excelente opção para este estudo de caso para identificar os possíveis problemas inerentes ao método adotado na implantação com estação total.

Para a adoção do método RTK foi necessário a implantação de um ponto na área do levantamento para servir de referência, denominado B1. Para o transporte de coordenadas para o ponto B1 foi utilizada a técnica de rastreamento GNSS diferencial estático. O equipamento utilizado foi da marca NAVCOM, modelo SF-3040 de dupla frequência (L1/L2) com RTK. O rastreamento GNSS (Figura 39) ocorreu por um período de aproximadamente 40 minutos com intervalo de gravação de 5 segundos e foi realizado a partir do vértice 91851 do IBGE (Figura 40) pertencente ao SGB, que se encontra a 11,5km de distância do loteamento. A precisão horizontal do ponto B1 foi de  $\pm 5,1\text{mm}$ .

Como o SGR adotado no levantamento topográfico foi o SAD-69, fez-se a transformação dele para o SIRGAS2000, SGR adotado no levantamento topográfico deste estudo de caso. Para a transformação foi utilizado o programa PROGRID versão 2010, disponibilizado pelo IBGE.

Figura 39: Rastreamento do ponto B1



Fonte: o autor

Para levantamentos cinemáticos o equipamento NAVCOM SF-3040 (Figura 41) possui precisão horizontal de  $\pm(10\text{mm}+0,5\text{ppm})$ . Para

garantir a qualidade dos dados, o equipamento foi configurado para armazenar somente pontos com precisão horizontal melhor que 20mm e solução fixa da ambiguidade. Buscou-se levantar alguns pontos identificados no projeto que estavam monumentados com marco de concreto (Figura 41), ou seja, antes dos imóveis serem ocupados.

Figura 40: Rastreio do vértice 91851



Fonte: o autor

Figura 41: Levantamento dos vértices identificados no projeto com RTK



Fonte: o autor

Foram levantados 146 pontos de lotes distribuídos espacialmente de forma bem irregular, buscando identificar os possíveis erros na implantação. A Figura 43 ilustra a distribuição dos vértices.

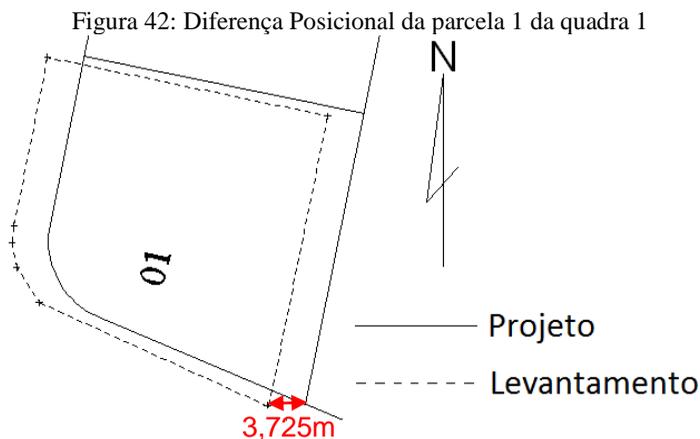
Uma primeira análise foi do erro de posicionamento confrontando a coordenada medida no levantamento com a coordenada do projeto. Utilizando a conclusão de Luz (2013) em sua dissertação de mestrado que especifica 8cm para a precisão posicional dos vértices de móveis urbanos, nenhum vértice medido ficou com precisão posicional melhor que este valor. Foram identificadas diferenças variando de 14,1cm até 3,725m, conforme pode-se observar na Tabela 4.

Tabela 4: Diferenças posicionais do projeto x levantamento

Diferenças	N[m]	E[m]	Horizontal[m]
A MAIOR	0,374	1,818	3,725
A MENOR	-1,574	-3,723	0,141
DESVIO PADRÃO	0,468	1,394	0,813

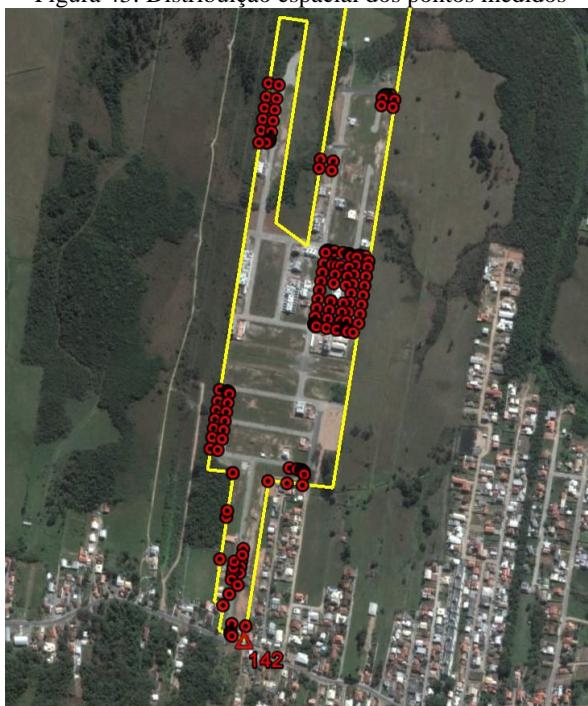
Fonte: De Paula Neto, 2014

A maior diferença posicional encontrada foi na parcela 1 da quadra 1, tendo um deslocamento da obra implantada para a direção oeste de 3,725m (Figura 42). Pelo deslocamento dos demais vértices da parcela fica evidente o erro sistemático no posicionamento.



Fonte: adaptado de De Paula Neto, 2014

Figura 43: Distribuição espacial dos pontos medidos



Fonte: o autor

Conforme visto na seção 2.12, a propagação de erros é complexa e não é possível identificar em cada um dos vértices quais foram as fontes de erros, pois para isso seria necessário acompanhar efetivamente a execução. Mas neste estudo de caso buscou-se identificar os erros provenientes do uso dos sistemas de projeção. Estes erros podem ser identificados comparando a distância entre os pontos implantados em campo com as distâncias definidas no projeto. Como a implantação foi realizada com uma estação total, o não uso das transformações da DUTM em DH para a implantação, acarretará num erro sistemático entre os pontos. Para eliminar os erros sistemáticos de translação e rotação devidos a erros angulares gerados a partir dos pontos de apoio, definiu-se como ponto de referência o ponto 142, que fica no extremo sul do loteamento (Tabela 5).

Tabela 5: Ponto de referência para o comparativo das distâncias

PONTO DE REFERÊNCIA	PROJETO		LEVANTAMENTO	
	N [m]	E [m]	N [m]	E [m]
142	6932827,304	744541,333	6932827,171	744537,610

Fonte: o autor

Como as deformações do sistema de projeção são proporcionais às distâncias, quanto menor for a distância, menor será a deformação, podendo outros pequenos erros inerentes ao processo de implantação topográfica ocultar o uso ou não da transformação da DUTM para DH. Em função disto, foram analisadas somente as distâncias maiores que 400m, onde tem-se maiores deformações do sistema de projeção, totalizando 109 pontos.

Os passos para análise foram:

- a) Com as coordenadas UTM de projeto foram calculadas as DUTM a partir do ponto 142;
- b) As coordenadas UTM foram transformadas em geodésicas utilizando o programa PROGRID;
- c) Com as coordenadas geodésicas de todos os pontos, calculou-se os fatores de escala K, conforme a equação 6 da seção 2.8;
- d) De posse do fator K de todos os pontos, foram calculados os fatores K médio de cada alinhamento entre o ponto 142 e os demais pontos;
- e) Com o K médio de cada alinhamento foram calculadas as De (distâncias elipsoidais) utilizando a equação 7;
- f) Com a equação 5 transformou-se a De em Dn (distância geoidal);
- g) A equação 4 e a altitude média do levantamento (8m) foi transformada a Dn em DH

Simulando que a locação dos pontos seria executada a partir do ponto 142, são as DH calculadas no passo “g” que deve-se utilizar em campo para a implantação, pois é efetivamente a DH que será medida com a estação total. Na Tabela 6 (organizada pela maior distância) elas estão identificadas como “DH a locar”.

Com as coordenadas UTM do levantamento, foi executado o mesmo procedimento dos passos “a” até “g”, chegando então na “DH Locada”. Estas seriam efetivamente as DH locadas, caso tivessem sido implantadas a partir do ponto 142.

A diferença linear entre o que deveria ter sido locada e a que efetivamente foi locada estão listadas na Tabela 6. Os valores destacadas em vermelho são os que estão pior que a precisão de 8cm, valor tomado como referência para aceitação dos resultados. Pode-se identificar que dos 109 pontos analisados somente 5 ficaram com diferenças menores que 8cm. Somente um ponto deu diferença negativa, o que evidencia a presença de erros sistemáticos a maior.

Comparando a DUTM de projeto com a DH locada efetivamente, percebe-se que os valores são muito próximos. Usando como exemplo o ponto 72, a diferença entre a distância locada e a que deveria ter sido locada foi de 35cm a mais. Comparando a distância locada diretamente com a distância UTM, temos uma diferença de -18mm. Observa-se que dos 109 pontos, 94 ficaram com diferenças menores ou próximas de 8cm. Isso caracteriza que foram locadas as distâncias UTM e não as horizontais como deveria ter ocorrido, mostrando a falta de conhecimento geodésico dos profissionais que atuam em obras de engenharia.

Outros pontos divergiram a distância em até 1,33m. Estas grandes diferenças para o projeto podem ser erros grosseiros ou alterações do projeto, sendo este último mais provável pois erros grosseiros gerariam erros de concordância no projeto geométrico do loteamento, sendo possível identifica-los visualmente em campo. Se foi o caso de alterações de projeto, estas alterações não foram registradas por um “*as built*”, já que não é obrigatório nas obras de engenharia a execução de “*as built*” através de um levantamento topográfico.

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento- 1/6

PTO	PROJETO					LEVANTAMENTO					DIF. LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH LOCADA [m]				
72	6933884,653	744882,499	1111,028	1110,659	6933883,260	744883,786	1111,378	1111,010	0,351	-0,018		
73	6933885,131	744874,348	1109,007	1108,642	6933883,791	744875,709	1109,395	1109,030	0,387	0,022		
74	6933885,047	744872,736	1108,444	1108,080	6933883,537	744872,969	1108,321	1107,957	-0,123	-0,488		
75	6933883,954	744869,763	1106,515	1106,152	6933882,380	744870,732	1106,542	1106,180	0,028	-0,335		
71	6933875,056	744889,866	1104,201	1103,835	6933873,565	744891,129	1104,498	1104,132	0,297	-0,070		
76	6933881,020	744866,960	1102,883	1102,522	6933880,012	744868,778	1103,697	1103,336	0,814	0,453		
77	6933878,818	744866,134	1100,535	1100,175	6933877,503	744867,433	1100,900	1100,540	0,365	0,005		
91	6933919,130	744640,948	1096,361	1096,003	6933918,878	744642,364	1096,721	1096,363	0,360	0,002		
90	6933914,846	744661,354	1094,145	1093,787	6933914,510	744662,739	1094,515	1094,157	0,370	0,012		
70	6933860,772	744885,866	1089,385	1089,023	6933859,362	744887,061	1089,740	1089,378	0,355	-0,007		
69	6933865,501	744863,340	1086,987	1086,633	6933864,233	744864,630	1087,400	1087,046	0,413	0,059		
92	6933892,257	744635,347	1069,095	1068,746	6933892,035	744636,613	1069,456	1069,107	0,361	0,012		
89	6933888,019	744655,534	1066,846	1066,497	6933887,771	744656,779	1067,274	1066,925	0,428	0,079		
93	6933870,720	744630,859	1047,250	1046,908	6933870,485	744631,979	1047,573	1047,231	0,324	-0,018		
88	6933866,488	744651,015	1044,957	1044,615	6933866,187	744652,151	1045,310	1044,969	0,354	0,012		
94	6933849,182	744626,370	1025,411	1025,076	6933848,986	744627,447	1025,757	1025,422	0,346	0,011		
87	6933844,958	744646,496	1023,073	1022,739	6933844,654	744647,518	1023,402	1023,068	0,329	-0,005		
95	6933827,645	744621,882	1003,579	1003,252	6933827,401	744622,846	1003,855	1003,528	0,276	-0,051		
86	6933823,427	744641,977	1001,194	1000,867	6933823,168	744642,898	1001,547	1001,219	0,352	0,025		
85	6933809,293	744639,011	986,835	986,513	6933809,019	744639,858	987,158	986,835	0,323	0,000		

Fonte: o autor

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento - 2/6

PTO	PROJETO					LEVANTAMENTO					DIF. LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	LOCAR [m]	DH A [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	LOCADA [m]			
84	6933806,194	744637,631	983,616	983,295	6933805,741	744638,247	983,731	983,410	0,116	-0,206		
83	6933803,511	744634,161	980,611	980,291	6933803,101	744634,309	980,709	980,389	0,098	-0,222		
82	6933802,943	744630,701	979,724	979,404	6933802,691	744631,518	980,030	979,710	0,306	-0,014		
96	6933803,753	744616,903	979,369	979,050	6933803,577	744617,716	979,687	979,367	0,317	-0,002		
78	6933759,919	744762,503	958,482	958,165	6933759,005	744763,222	958,757	958,441	0,275	-0,041		
79	6933765,122	744737,723	958,160	957,845	6933764,389	744738,491	958,504	958,189	0,344	0,028		
81	6933742,528	744758,859	940,719	940,408	6933741,655	744759,469	941,011	940,701	0,293	-0,018		
80	6933747,716	744734,141	940,390	940,081	6933746,977	744734,846	940,715	940,405	0,325	0,015		
49	6933570,389	744817,752	792,832	792,569	6933569,231	744817,601	793,125	792,862	0,294	0,030		
50	6933572,663	744806,916	791,262	790,999	6933571,471	744806,760	791,470	791,207	0,208	-0,054		
51	6933572,644	744804,738	790,515	790,253	6933571,448	744805,016	790,857	790,594	0,342	0,080		
36	6933577,187	744785,367	788,592	788,331	6933575,991	744786,053	788,958	788,697	0,367	0,105		
52	6933571,398	744802,426	788,572	788,310	6933570,607	744803,178	789,445	789,183	0,873	0,611		
37	6933575,318	744788,314	787,734	787,473	6933574,968	744787,854	788,557	788,296	0,823	0,562		
35	6933579,665	744773,564	787,387	787,126	6933578,678	744773,459	787,647	787,386	0,260	0,000		
53	6933569,661	744801,241	786,541	786,280	6933569,458	744801,739	787,880	787,618	1,339	1,078		
48	6933560,916	744823,937	786,163	785,902	6933559,659	744823,765	786,399	786,138	0,236	-0,025		
34	6933583,116	744757,123	786,014	785,754	6933582,202	744757,001	786,260	786,000	0,246	-0,013		
54	6933568,781	744800,973	785,622	785,361	6933567,622	744800,824	785,843	785,583	0,221	-0,039		
38	6933572,722	744789,318	785,586	785,326	6933572,710	744789,178	786,839	786,578	1,253	0,992		
33	6933585,592	744745,330	785,248	784,989	6933584,736	744745,225	785,499	785,240	0,251	-0,008		

Fonte: o autor

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento - 3/6

PTO	PROJETO				LEVANTAMENTO				DIF.	
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH LOCADA [m]	LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
39	6933571,266	744789,233	784,178	783,918	6933570,871	744789,234	785,114	784,854	0,937	0,677
32	6933585,253	744742,240	784,124	783,865	6933584,641	744742,584	784,713	784,455	0,589	0,331
31	6933582,900	744739,814	781,230	780,972	6933582,762	744740,124	782,259	782,001	1,029	0,771
30	6933581,726	744739,409	779,991	779,734	6933580,850	744739,278	780,194	779,936	0,202	-0,055
47	6933549,622	744821,567	774,774	774,516	6933548,371	744821,323	774,998	774,741	0,225	-0,033
55	6933554,571	744797,991	771,227	770,971	6933553,384	744797,738	771,396	771,140	0,169	-0,086
40	6933549,921	744784,754	762,515	762,263	6933548,798	744784,512	762,697	762,444	0,181	-0,071
23	6933553,426	744768,058	760,696	760,444	6933552,419	744767,800	760,902	760,651	0,207	-0,045
22	6933555,152	744759,837	759,939	759,688	6933554,205	744759,587	760,166	759,915	0,227	-0,024
24	6933556,878	744751,616	759,274	759,023	6933555,957	744751,369	759,488	759,237	0,214	-0,037
25	6933560,381	744734,930	758,209	757,959	6933559,537	744734,690	758,420	758,170	0,211	-0,039
46	6933531,339	744817,734	756,349	756,098	6933530,098	744817,400	756,564	756,313	0,215	-0,036
56	6933536,270	744794,247	752,727	752,478	6933535,163	744793,835	752,930	752,681	0,203	-0,046
41	6933532,608	744781,120	744,951	744,705	6933531,543	744780,794	745,170	744,923	0,219	-0,028
21	6933537,839	744756,203	742,314	742,069	6933536,898	744755,873	742,530	742,285	0,217	-0,028
26	6933543,068	744731,295	740,543	740,299	6933542,235	744730,989	740,751	740,507	0,208	-0,036
45	6933513,058	744813,897	737,936	737,691	6933511,812	744813,489	738,134	737,890	0,199	-0,046
57	6933517,988	744790,410	734,223	733,980	6933516,905	744789,950	734,444	734,201	0,221	-0,022
42	6933515,296	744777,487	727,393	727,153	6933514,260	744777,021	727,605	727,364	0,211	-0,029
20	6933520,526	744752,570	724,692	724,453	6933519,653	744752,148	724,954	724,714	0,262	0,023
27	6933525,755	744727,661	722,878	722,640	6933524,938	744727,241	723,076	722,838	0,198	-0,040

Fonte: o autor

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento - 4/6

PTO	PROJETO				LEVANTAMENTO				DIF. LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH LOCADA [m]		
44	6933494,776	744810,059	719,537	719,298	6933493,559	744809,579	719,750	719,511	0,213	-0,025
43	6933499,707	744786,572	715,729	715,492	6933498,625	744785,961	715,911	715,674	0,182	-0,055
28	6933508,443	744724,027	705,214	704,982	6933507,636	744723,536	705,408	705,176	0,194	-0,038
68	6933476,495	744806,221	701,152	700,920	6933475,247	744805,669	701,326	701,093	0,174	-0,059
58	6933481,425	744782,734	697,244	697,013	6933480,368	744782,056	697,438	697,207	0,194	-0,036
8	6933480,670	744770,220	692,298	692,069	6933479,610	744769,563	692,444	692,215	0,146	-0,083
19	6933486,006	744745,167	689,519	689,291	6933485,005	744744,725	689,668	689,441	0,149	-0,078
9	6933485,901	744745,303	689,459	689,231	6933484,900	744744,861	689,609	689,381	0,150	-0,077
18	6933491,130	744720,392	687,552	687,325	6933490,347	744719,836	687,756	687,530	0,205	-0,022
67	6933458,213	744802,384	682,784	682,557	6933457,034	744801,712	682,991	682,765	0,208	-0,019
59	6933463,144	744778,896	678,770	678,545	6933462,063	744778,141	678,928	678,703	0,158	-0,067
7	6933463,357	744766,586	674,761	674,538	6933462,291	744765,906	674,905	674,682	0,144	-0,080
10	6933468,588	744741,669	671,848	671,626	6933467,658	744741,013	672,009	671,788	0,161	-0,060
17	6933473,817	744716,758	669,891	669,670	6933472,977	744716,096	670,017	669,796	0,126	-0,094
66	6933439,932	744798,546	664,433	664,213	6933438,745	744797,753	664,603	664,383	0,170	-0,050
60	6933444,881	744774,970	660,293	660,075	6933443,823	744774,218	660,487	660,269	0,194	-0,025
6	6933446,044	744762,952	657,233	657,016	6933445,172	744762,208	657,548	657,331	0,315	0,098
11	6933451,275	744738,036	654,241	654,026	6933450,351	744737,300	654,392	654,177	0,151	-0,065
16	6933456,505	744713,124	652,231	652,017	6933455,717	744712,388	652,394	652,179	0,162	-0,052
61	6933430,651	744771,983	645,931	645,717	6933429,698	744771,239	646,236	646,023	0,305	0,092
5	6933433,116	744760,239	644,149	643,937	6933432,074	744759,396	644,280	644,067	0,130	-0,082

Fonte: o autor

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento - 5/6

PTO	PROJETO				LEVANTAMENTO				DIF. LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH LOCADA [m]		
65	6933422,452	744786,703	643,745	643,532	6933421,294	744785,862	643,903	643,690	0,158	-0,055
62	6933427,628	744772,292	643,219	643,007	6933427,172	744771,245	643,884	643,671	0,665	0,452
63	6933425,918	744773,520	642,067	641,854	6933424,925	744772,621	642,293	642,080	0,226	0,014
64	6933424,730	744775,849	641,807	641,595	6933423,662	744775,015	641,999	641,787	0,192	-0,020
4	6933430,091	744758,276	640,638	640,427	6933429,962	744758,382	641,948	641,736	1,310	1,098
15	6933443,575	744710,415	639,045	638,835	6933442,777	744709,609	639,183	638,972	0,137	-0,073
3	6933429,252	744754,309	638,514	638,303	6933428,379	744755,907	639,613	639,402	1,099	0,888
14	6933441,515	744710,416	637,059	636,850	6933440,748	744709,815	637,284	637,075	0,225	0,015
2	6933433,454	744734,295	636,123	635,914	6933432,551	744733,480	636,278	636,069	0,155	-0,055
13	6933439,882	744711,078	635,662	635,453	6933439,147	744710,397	635,901	635,692	0,239	0,030
12	6933438,483	744712,398	634,667	634,459	6933437,772	744711,670	634,926	634,717	0,258	0,049
1	6933437,655	744714,281	634,381	634,172	6933436,846	744713,483	634,535	634,327	0,154	-0,055
113	6933321,824	744516,466	495,145	494,980	6933321,911	744515,023	495,255	495,091	0,110	-0,055
114	6933318,741	744531,153	491,543	491,379	6933318,707	744529,709	491,599	491,436	0,057	-0,107
115	6933317,390	744533,655	490,146	489,983	6933317,404	744532,259	490,262	490,099	0,116	-0,047
116	6933315,399	744534,879	488,137	487,975	6933315,385	744533,498	488,231	488,069	0,094	-0,069
117	6933312,828	744535,021	485,565	485,403	6933312,785	744533,532	485,631	485,470	0,066	-0,095
112	6933299,537	744511,821	473,154	472,997	6933299,638	744510,251	473,258	473,101	0,104	-0,053
118	6933295,456	744531,400	468,258	468,102	6933295,446	744529,878	468,339	468,183	0,081	-0,075
111	6933281,915	744508,149	455,821	455,669	6933282,009	744506,486	455,902	455,750	0,081	-0,071
119	6933277,835	744527,728	450,736	450,586	6933277,863	744526,087	450,839	450,689	0,103	-0,047

Fonte: o autor

Tabela 6: Comparativo das distâncias de projeto x levantamento - 6/6

PTO	PROJETO					LEVANTAMENTO					DIF. LINEAR [m]	DUTM PROJETO X DH LOCADA [m]
	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH LOCADA [m]				
110	6933264,294	744504,476	438,542	438,396	6933264,410	744502,702	438,630	438,484	0,089	-0,057		
120	6933260,214	744524,056	433,254	433,110	6933260,243	744522,373	433,340	433,196	0,086	-0,059		
109	6933246,673	744500,804	421,323	421,182	6933246,787	744498,959	421,392	421,252	0,070	-0,071		
121	6933242,592	744520,383	415,816	415,678	6933242,570	744518,585	415,834	415,696	0,018	-0,120		
108	6933229,051	744497,131	404,172	404,037	6933229,291	744494,891	404,383	404,248	0,211	0,077		

Fonte: o autor



## **5 MÉTODO PROPOSTO PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRAS COM ESTAÇÃO TOTAL**

Uma das limitações para a implantação topográfica com estação total é o conhecimento de geodésia e suas equações complexas ou de difícil aplicação em campo sem sofisticados equipamentos com programas específicos.

Buscou-se uma forma prática e simplificada de desenvolver o cálculo das distâncias no sistema de projeção, sem perder a qualidade no posicionamento.

O desenvolvimento das equações na geodésia busca há séculos a formulação matemática da forma da terra, obviamente para atender todos os casos, independente de equipamentos ou de aplicações específicas. Porém, grande parte das obras de engenharia possui algumas características que permitem a simplificação do processo para adoção de estações totais na sua implantação. Com o exemplo pode-se citar:

- precisão posicional de poucos centímetros;
- áreas com ausência de obstáculos, permitindo o apoio com GNSS;
- estações totais que permitem a adoção de fatores de escala.

### **5.1 Redução das distâncias**

Conforme visto na seção 2.6, a distância medida pelas estações totais são as inclinadas e são reduzidas ao horizonte por trigonometria (equação 1).

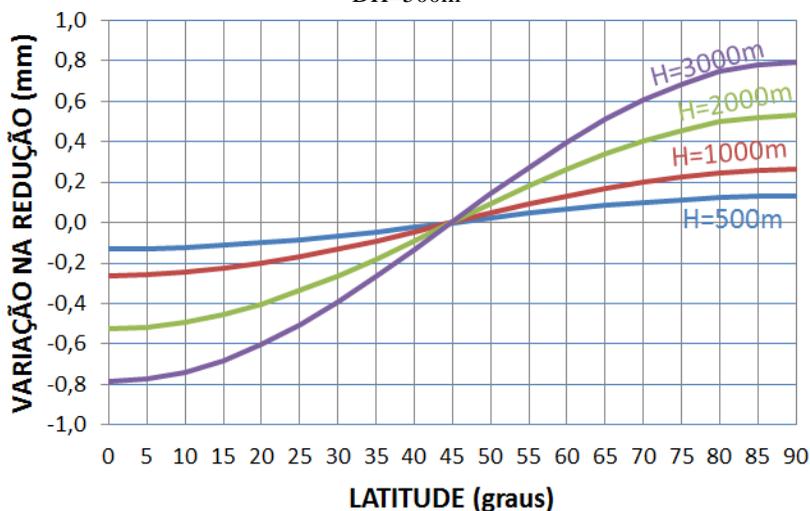
Na implantação de uma obra de engenharia, as distâncias comumente medidas são de poucas centenas de metros, pois o processo de implantação com estação total exige visibilidade e constante comunicação. Quando muito chegam a 1 ou 2 km para os casos de poligonais visando a densificação de pontos de apoio. A partir dos pontos de apoio considerar-se-á uma distância limite de 500m para implantação.

Observa-se na equação 4 que para a redução das distâncias são necessários a altitude em que a distância está sendo medida e também o raio da Terra na latitude média do alinhamento. Para analisar se o valor teórico do raio médio da Terra de 6378000m recomendado pela NBR 13133/1994 é apropriado, foram calculadas as variações dele para o raio da Terra em função das latitudes fazendo uso das equações do

Apêndice A. Foram adotados para análise o SGR SIRGAS2000 e a distância de 500m, nas altitudes de 500m, 1000m, 2000m e 3000m. Pode-se observar na Figura 44 que mesmo numa altitude de 3000m tem-se variação de insignificantes  $\pm 0,8\text{mm}$  nas latitudes extremas de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . Portanto a equação 4 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Dn = DH \cdot \frac{6378000 - Hm}{6378000} \quad (9)$$

Figura 44: Erro na redução adotando o raio teórico de 6378000m para  $DH=500\text{m}$



Fonte: o autor

Com um tratamento algébrico pode-se ainda reescrever a equação 9 na forma da equação 10.

$$Dn = DH \cdot \left( 1 - \frac{Hm}{6378000} \right) \quad (10)$$

Adotando o termo multiplicativo nomeado de Fr (equação 11):

$$Fr = 1 - \frac{Hm}{6378000} \quad (11)$$

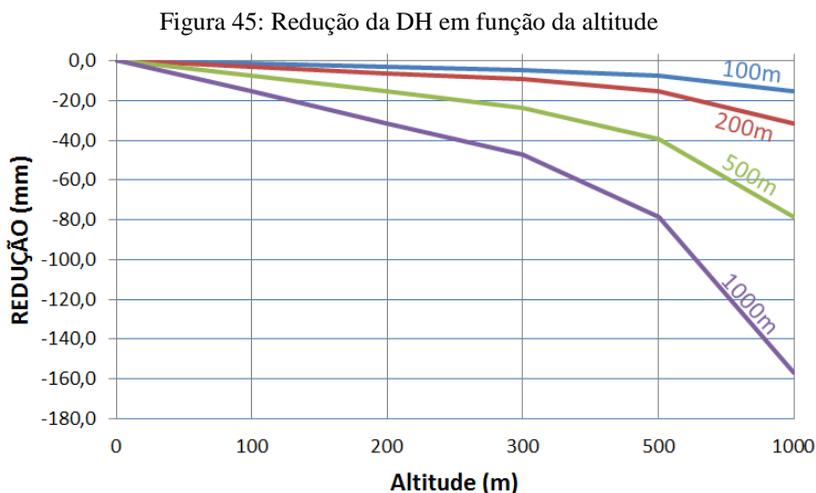
Substituindo a equação 11 na 10 tem-se a equação 12:

$$Dn = DH.Fr \quad (12)$$

Pode-se observar na equação 11 que o Fr (fator de redução) varia com a altitude. O gráfico da Figura 45 mostra os valores de redução em função da altitude para distâncias horizontais de 100, 200, 500 e 1000 metros, adotando a equação 13.

$$Redução = DH. \left( 1 - \frac{Hm}{6378000} \right) - DH \quad (13)$$

Considerando uma distância máxima de 500m para a implantação de obras de engenharia, a variação de 250m na altitude já produz uma deformação de -20mm. Portanto, para obras não se pode adotar uma altitude média, pois obras em encostas atingem facilmente variações na altitude da ordem de muitas centenas de metros. É importante frisar que a adoção de uma altitude média gerará um erro sistemático que poderá se propagar ao longo da obra até chegar num ponto de apoio.



Fonte: o autor

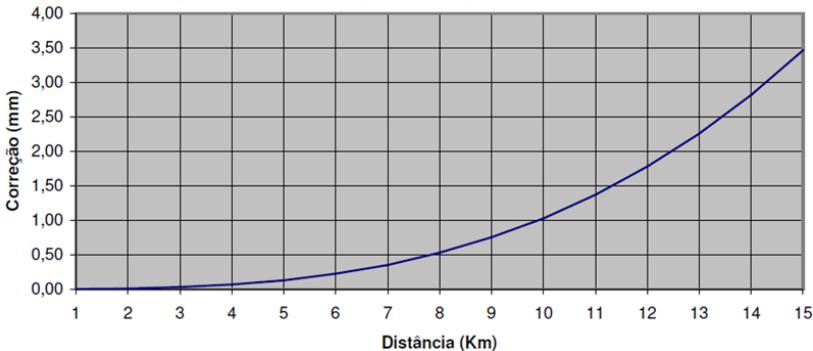
Como a distância horizontal medida está projetada no plano horizontal local no ponto em que a estação total está calada, será necessário adotar a altitude deste ponto de estação e não a média do

levantamento. A altura do equipamento (cerca de 1,50m) é insignificante para este cálculo, podendo ser adotada diretamente a altitude do ponto. Portanto pode-se reescrever a equação 11 da seguinte forma:

$$Fr = 1 - \frac{H}{6378000} \quad (14)$$

Para finalizar a redução das distâncias, é necessário projetar a distância sobre o elipsoide fazendo uso da equação 5. A redução do Geóide para o Elipsoide aplicando a equação 5 é imperceptível na prática, pois apresenta valor inexpressivo, devendo ser considerado em distâncias individualmente medidas maiores que 10 km (Sherrer 1985, *apud* Morais 2004), conforme pode-se visualizar na Figura 46. Observa-se nesta figura que as dimensões do elipsoide e sua posição em relação ao geóide não tem influência prática para a redução das distâncias, pois sempre estará próximo do geóide e as distâncias medidas em campo para implantação de obras maiores que 500 metros são incomuns.

Figura 46: Deformação da Dn para reduzi-la à De



Fonte: Morais, 2004

Portanto pode-se adotar:

$$De = Dn \quad (15)$$

Considerando a equação 12 e 15, tem-se:

$$De = DH.Fr \quad (16)$$

## 5.2 Fator de escala K

O cálculo do fator de escala K é feito aplicando a equação 6 da seção 2.8, que é em função das coordenadas geodésicas do ponto médio do alinhamento formado entre a estação total e o ponto a ser implantado.

Os projetos de engenharia trazem as coordenadas numa projeção TM e não as geodésicas. Isso torna necessária a transformação das coordenadas TM em geodésicas, que é um processo matematicamente complexo e moroso, sendo utilizado na prática programas geodésicos para esta finalidade. O problema é que não se têm disponíveis estes programas em campo, o que exigirá que estas transformações sejam feitas preteritamente. Mas em campo ainda poderá ser necessário o cálculo de um novo ponto não previsto utilizando as informações do projeto. Mesmo tendo as coordenadas geodésicas em campo, o cálculo é moroso, prejudicando a produtividade.

Philips (1997) apresenta uma formulação simplificada para calcular o fator K apenas com a coordenada X:

$$K = K_0 \left( 1 + \frac{(X - X_0)^2}{2 \cdot Rm^2} \right) \quad (16)$$

Sendo,

X – coordenada *Este*

X<sub>0</sub> – coordenada *Este* do Meridiano Central

Adotando o Rm = 6378000m e tratando algebricamente a equação 16, pode-se escrevê-la da seguinte maneira:

$$K = K_0 + \frac{K_0 \cdot (X - X_0)^2}{81357768000000} \quad (17)$$

Observa-se que K<sub>0</sub> está sendo dividido por um divisor muito maior que ele, o que significa que mesmo K<sub>0</sub> variando nos sistemas UTM, RTM e LTM, o resultado será igual para efeitos práticos, conforme pode-se observar na equação 18.

$$\frac{0,9996 \cdot (X - X_0)^2}{81357768000000} \cong \frac{0,999995 \cdot (X - X_0)^2}{81357768000000} \cong 1,23 \cdot 10^{-14} \cdot (X - X_0)^2 \quad (18)$$

Portanto, podemos escrever a equação 17 da seguinte forma:

$$K = (X - X_0)^2 \cdot 1,23 \cdot 10^{-14} + K_0 \quad (19)$$

Desta forma, para calcular o fator de escala K em função da coordenadas Este, tem-se as seguintes equações para a projeção UTM, RTM e LTM:

$$K_{UTM} = (X - 500000)^2 \cdot 1,23 \cdot 10^{-14} + 0,9996 \quad (20)$$

$$K_{RTM} = (X - 400000)^2 \cdot 1,23 \cdot 10^{-14} + 0,999995 \quad (21)$$

$$K_{LTM} = (X - 200000)^2 \cdot 1,23 \cdot 10^{-14} + 0,999995 \quad (22)$$

### 5.3 Fator de escala combinado

A USACE (1994) na EM 1110-1-1005, afirma que na prática os fatores de redução da elevação e o fator de escala da projeção são combinados. Daí resulta o termo de “fator combinado”.

Portanto, fazendo a unificação do fator de escala K e do fator de redução Fr, chega-se no fator de escala combinado Kr:

$$Kr = K \cdot Fr \quad (23)$$

Considerando a equação 23, logo pode-se calcular a distância sobre qualquer projeção TM a partir da Distância Horizontal aplicando a seguinte equação:

$$D_{TM} = DH \cdot Kr \quad (24)$$

### 5.4 A implantação do projeto

A partir das coordenadas planas na projeção TM pode-se calcular a DTM que deverá ser demarcada em campo para a implantação dos pontos georreferenciados. Como a Estação Total mede a DH sobre o plano topográfico local (na verdade calculada a partir da DI e ângulo zenital, conforme equação 1), será necessário transformar a DTM em DH, para então demarcar ela. Adotando a equação 24, isolou-se a DH:

$$DH = \frac{D_{TM}}{Kr} \quad (25)$$

De maneira geral, as estações totais tiveram um desenvolvimento tardio, em se tratando dos programas internos. Os fabricantes desenvolveram programas bastante poderosos, porém eles estão embarcados em estações totais que possuem valor de comercialização acima do padrão de mercado. Com isso, se perdura ainda no mercado de países em desenvolvimento, como padrão, equipamentos que não fazem o processamento geodésico apropriado de forma automatizada, exigindo do usuário conhecimento geodésico para poder entender e alimentar o programa adequadamente.

Com os pontos notáveis de projeto introduzidos na estação total, através de suas coordenadas georreferenciadas num determinado sistema de projeção, será necessário identificar no manual a forma que a estação total processa os dados, transformando a DTM em DH. Para a finalidade de cálculos geodésicos, existem no mercado basicamente duas categorias de estações totais:

- **modelos sofisticados:** exige a configuração do datum e sistema de projeção para a obra e a estação total calcula as deformações automaticamente para cada coordenada, comparando as distâncias de forma adequada. Operacionalmente os cálculos são transparentes para o usuário, onde fica bastante simples a operação de campo. Estes modelos normalmente possuem um custo maior no mercado e ainda não são padrão do mercado brasileiro.

- **modelos básicos:** exige do profissional a introdução dos fatores de escala (K e Fr, ou diretamente o Kr) para cada estação ocupada. Desta forma a estação total poderá calcular a DTM pelas coordenadas e transformar automaticamente em DH para comparar com a distância medida. Estes são os modelos padrão do mercado brasileiro, porém muitos profissionais que atuam em obras não possuem conhecimento para o tratamento geodésico adequado. Os fatores de escala podem ser aplicados diretamente nas distâncias ou somente ao calcular as coordenadas no sistema de projeção, dependendo de cada modelo e fabricante. Fazendo uso das equações do Fr (Equação 14), fator K (Equações 20, 21 ou 22) ou do fator Kr (Equações 23), o profissional poderá alimentar adequadamente a estação total para que ela possa

aplicar os fatores de escala e com isso executar a locação correta do ponto georreferenciado.

## 5.5 Validação do Método

Para validar o método proposto utilizou-se os dados do estudo de caso do loteamento. Para identificar as diferenças do cálculo das distâncias a serem locadas, aplicou-se as equações propostas do Fr (equação 14), do  $K_{UTM}$  (equação 20) e do Kr (equação 23), simulando a implantação a partir do vértice 142. A Tabela 7 mostra alguns resultados obtidos

Tabela 7: Diferenças do método proposto

PONTO	N [m]	E [m]	DUTM [m]	DH A LOCAR [m]	DH PROPOSTA [m]	DIFERENÇA [m]
72	6933884,653	744882,499	1111,028	1110,659	1110,654	-0,005
93	6933870,720	744630,859	1047,250	1046,905	1046,899	-0,006
78	6933759,919	744762,503	958,482	958,167	958,160	-0,007
23	6933553,426	744768,058	760,696	760,446	760,440	-0,006
60	6933444,881	744774,970	660,293	660,074	660,072	-0,003
111	6933281,915	744508,149	455,821	455,672	455,669	-0,003
108	6933229,051	744497,131	404,172	404,040	404,037	-0,003

Fonte: o autor

Pode-se observar que as diferenças foram de no máximo 7mm em 958,160m, totalmente admissível para o posicionamento da grande maioria das obras de engenharia. É importante ressaltar que as distâncias a serem locadas numa obra são sempre muito menores do que as apresentadas na Tabela 7, o que gerará menor diferença, pois ela é proporcional a distância. A exemplo desta obra, com certeza ela não seria locada inteira a partir de um único vértice com uma estação total. A prática é de implantar uma poligonal de apoio e a partir destes pontos efetuar a locação dos pontos de projeto a poucas dezenas de metros, quando muito algumas centenas.

Outro importante detalhe é que a propagação destes erros não comprometerá as obras, pois serão erros muito menores que os gerados por centragem, visadas, verticalidades de acessórios, variações de temperatura e pressão, entre outros. Além disso, o método propõe a

implantação de uma poligonal para densificar os pontos de apoio, seja com GNSS ou Estação Total com processamento de poligonais.

## 5.6 Passo a passo do método proposto

O método proposto permite que possamos realizar implantação de projetos de engenharia georreferenciados para a execução de obras de forma simplificada utilizando estações totais básicas, que ainda são padrão no mercado brasileiro.

A seguir, os passos necessários para que o método seja eficaz.

- a) Implantar pontos de apoio com GNSS nos extremos da área ou um par a cada 2km para obras de infraestrutura linear (rodovias, linhas de transmissão, dutos, hidrovias, entre outros). Estes pontos devem estar estrategicamente posicionados de forma que permitam a locação do maior número possível de pontos do projeto. O par de pontos visível deve ser um vetor rastreado;
- b) Em casos de impossibilidade de implantação de pontos de apoio conforme item “a”, implantar pontos de apoio com poligonais tipo II ou tipo III conforme NBR 13133/1994 enquadrados nos pontos implantados com GNSS onde forem possíveis. Estes pontos devem estar estrategicamente posicionados de forma que permitam a locação do maior número possível de pontos do projeto;
- c) Em caso da impossibilidade de implantação de pontos conforme o item “b”, implantar pontos auxiliares com visadas irradiadas com estação total a partir dos pontos de apoio implantados no item “a”;
- d) Se o modelo da estação total efetuar o processamento completo, deve-se configurar o sistema de projeção assim como o SGR definido no projeto. Desta forma as distâncias no sistema de projeção serão transformadas para o plano topográfico automaticamente durante o processo de locação e bastará executar o programa específico de locação;
- e) Se o modelo de estação total não efetuar o processamento completo, será necessário calcular o fator de escala K dos pontos de apoio dos itens “a”, “b” e “c” em função da coordenada X aplicando as equações 20, 21 ou 22;

- f) Se o modelo da estação utilizar os fatores de escala  $K$  e altitude, serão necessários conhecer também a altitude dos pontos de apoio. Com a altitude, a própria estação total calculará o  $Fr$  (equação 14) para então calcular o fator combinado ( $Kr$ );
- g) Caso o modelo da estação total exigir o  $K$  e  $Fr$ , a estação total calculará o  $Kr$  a partir dos valores informados;
- h) Se a estação total exigir somente o  $Kr$ , será necessário calculá-lo a partir do  $K$  e  $Fr$  utilizando a equação 23;
- i) Se a estação total não permitir o uso de fatores de escala, assim como quando a implantação for executada com teodolito e distanciômetro, a  $DH$  deve ser calculada a partir da DUTM com o  $Kr$ , fazendo uso da equação 25.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As projeções cartográficas durante muitos anos no Brasil foram adotadas quase que exclusivamente para mapas de pequenas escalas. Por este motivo no Brasil as projeções ganharam o adjetivo de “cartográficas”. Com a popularização do georreferenciamento e o uso das projeções em grandes escalas no Brasil, uma denominação mais adequada atualmente para estes sistemas de projeção seria “Projeção Geodésica”.

Ainda é inconcebível no Brasil que a topografia tenha como característica conceitual o desprezo da curvatura terrestre. Os levantamentos topográficos na maior das escalas precisam ser utilizados para compor o mais rico dos mosaicos, necessitando a consideração da curvatura terrestre permitindo que possa ser gerada uma grande área a partir de pequenas.

Durante a implantação de obras de engenharia com estação total é fundamental que seja adotado em campo os fatores de deformação, tanto o fator de escala da projeção (K), quanto o fator de redução (Fr). Existem estações totais no mercado que permitem os cálculos totalmente automáticos, não necessitando qualquer cálculo prévio ou no campo por parte do profissional, eliminando erros grosseiros que facilmente se transforma em sistemático. Erros sistemáticos foram observados no estudo de caso “Projeto x Implantação : Obra de Loteamento” onde a parcela 1 da quadra 1 apareceu deslocada em mais de 3,7m.

Na literatura existem muitos autores afirmando que a LTM possui deformação mínima, por este motivo é indicada para projetos de engenharia. Porém, como visto, a deformação deve ser considerada a partir da distância horizontal medida em campo, sendo considerado inclusive o fator de redução (Fr). No estudo de caso “Deformação dos Sistemas de Projeção no Estado de Santa Catarina” pode-se observar que no município de Rancho Queimado o sistema de projeção que gera menor deformação é o UTM. Já em Xaxim, o RTM é o sistema de projeção que deforma menos e em Florianópolis o LTM. Assim sendo, qualquer um dos sistemas de projeção pode sofrer deformações acentuadas, não significando que uma determinada projeção que deforme menos num determinado local terá deformação desprezível. No município de caçador, as projeções UTM, RTM e LTM possuem deformações de -54,6cm/km , -15,1cm/km e -12,2cm/km respectivamente. Por menor que seja a deformação de um sistema de projeção, esta deve ser calculada para evitar erros sistemáticos, que

acabam comprometendo a qualidade do posicionamento das obras de engenharia.

O Estudo de caso “Projeto x Implantação: Obra de Loteamento” comprovou que o profissional responsável pela implantação do loteamento não fez a implantação da obra conforme o projeto. Algumas parcelas tiveram erros posicionais de até 3,725m. Quando comparada a Distância Horizontal Locada com a Distância Horizontal a Locar dos 109 pontos analisados, somente 5 pontos ficaram com diferenças menores que 8cm. Comparando a Distância Horizontal Locada com a Distância UTM dos 109 pontos analisados, 94 pontos ficaram com diferenças menores que 8cm. Fica evidente a falta de conhecimento geodésico para a locação da distância correta (DH), sendo locada em campo a DUTM que foi calculada pelas coordenadas.

Adotando o método proposto por esta pesquisa para implantação de obras com estação total, os cálculos são simples e práticos até mesmo para execução deles em campo com calculadora comum. Estas simplificações atendem a grande maioria das obras de engenharia. Obras que exigem precisão posicional de poucos milímetros, devem obrigatoriamente refazer a análise descrita nesta pesquisa para subsidiar a tomada de decisão de uso ou não das simplificações.

A deformação não implica em erro. Pouco importa a projeção adotada, pois isso não afetará a qualidade do trabalho. O erro passa a existir quando a deformação não é aplicada, e a propagação deste pode comprometer o georreferenciamento de toda a obra. Uma dimensão, seja ela linear, de superfície ou volume, não aumenta nem diminui de tamanho por causa do sistema de projeção. Não há ganho ou perda. Apenas é um outro referencial quando compara-se com o plano topográfico, plano este que impede o seu uso em grandes áreas como é o caso da extensão territorial do Brasil.

De maneira geral, não existem normas técnicas que especifiquem a precisão posicional para obras de engenharia. Quando muito especificam a precisão relativa, mas esta não garante a precisão posicional. Os erros são proporcionais às distâncias. É necessário que a precisão posicional tome importância nas obras de engenharia.

Os Cursos de Engenharia Civil, que efetivamente são os cursos que formam os gestores de obras, devem ter obrigatoriamente na atualidade uma disciplina de Geodésia, que não precisa e nem deve ser formativa, pois isso demandaria uma carga horária bastante elevada. Ela deve ser informativa, deixando bem claro as deformações nos sistemas de projeção cartográfica para que possam entender e exigir das equipes de topografia a adoção adequada dos sistemas de projeção.

Nos cursos de Agrimensura e Cartografia, é fundamental que se tenha na disciplina de geodésia, aplicação prática dos sistemas de projeção em obras de engenharia, pois existem características importantes que devem ser atendidas quanto a precisão.

Uma importante recomendação é que nas obras sejam implantados pares de pontos de apoio preferencialmente com GNSS para controle de erros de locação com estação total. Assim, os erros propagados poderão ser identificados e desta forma ajustá-lo ou mesmo facilitar o retrabalho caso esteja fora do tolerável. O ideal é que cada ponto de apoio tenha intervisibilidade para uma visada a ré e a vante. Na implantação destes pontos com GNSS é importante também que o par de pontos utilizado como referência para a estação total, seja um vetor rastreado, reduzindo significativamente o erro angular nas visadas de referência, seja ela à ré ou à vante.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Diretrizes para Elaboração de Serviços de Cartografia e Topografia**. Março de 2009.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 2ª Edição. Editora SBEE, Curitiba, 2003. 274p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 1994. **NBR 13133 Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 1998. **NBR 14.166: Rede de referência cadastral municipal – procedimento**. Rio de Janeiro. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2000. **NBR 14645-1: Elaboração do “como construído” (*as built*) para edificações**  
**Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificação**. Rio de Janeiro. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2005. **NBR 14645-2: Levantamento planimétrico para registro público, para retificação de imóvel urbano**. Rio de Janeiro. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2010. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro. 91p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2005. **NBR 14645-3: Locação topográfica e controle dimensional da obra**. Rio de Janeiro. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2014. **Pesquisa de Normas Técnicas: Topografia**. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 30 novembro 2014.

AZAMBUJA, J. L. F.; MATSUOKA, M. T. **Topografia e GPS – conquistas e desafios**. II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia na UFRGS, Porto Alegre, p16-21, 2007.

BLITZKOW, D. **Sistema de Posicionamento por Satélite GPS**. Informações Espaciais II – Notas de Aula. 11ª ed. p. 9-40, 2004.

BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. C.; GUIMARÃES, G. N.; COSTA, S. M. A. **O conceito atual dos referenciais usados em geodésia**. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba, número 63/5, p. 633-648, 2011.

BRASIL. **Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 10.267**, de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil.

BRASIL. **Portaria nº 511 – Ministério das Cidades, de 07 de dezembro de 2009**. Estabelece Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Brasília, 08 dez 2009.

CASACA, J.; MATOS, J.; BAIO, M.; tradução SILVA, L. F. C. F.; CORREA, D. C. **Topografia Geral**. 4ª edição. Editora LTC, 2007, 207p.

CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A. **ESP-LT-035 - Especificação de topografia, cadastro e georreferenciamento**. 2011.

CINTRA, J. P. **Sistema de Projeção UTM**. Informações Espaciais II – Notas de Aula. 11ª ed. p. 41-102, 2004.

CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central. **Projeto do sistema cartográfico do Distrito Federal – SICAD**. Brasília. 213p. 1976.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Atraso na execução de seis obras do PAC causa prejuízo de R\$ 28 bilhões.** Disponível em: <  
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/imprensa/2014/05/1,38391/atraso-na-execucao-de-seis-obras-do-pac-causa-prejuizo-de-r-28-bilhoes.html>>. Acesso em: 01 junho 2014.

CORRÊA, I. C. S. **Topografia aplicada à Engenharia Civil.** 13ª edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JÚNIOR, N. J. M.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. **RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos Levantamentos RTK e DGPS.** II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2008.

DE PAULA NETO, L. E. **Contribuição para o parcelamento do solo urbano baseado no cadastro territorial multifinalitário.** Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Florianópolis, SC, 2014. 155 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **ET-DE-B00/002 - Especificação técnica para levantamento topográfico, batimetria e cadastro.** 40p. 2006.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA (DEINFRA). **IS-03: Instrução de Serviço para Estudo Topográfico.** 39p. 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **IS-204/205/226/227/238 Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 484p. 2006.

EARTH OBSERVATORY. **Gravity Anomaly Maps and The Geoid.** Disponível em: <  
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GRACE/page3.php>> Acesso: 12 julho 2014.

EXAME.COM. **As 200 cidades mais populosas do Brasil**. Disponível em < <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/as-200-cidades-mais-populosas-do-brasil>> Acesso: 15 novembro 2014.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. **Geodésia aplicada à integração de dados topográficos e batimétricos na caracterização de superfícies de praia**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, número 66/1, p. 167-184, 2014.

FRANÇA, R.; UHLMANN, W. **Análise de Sistemas de Projeção Cartográfica em Rodovias de Santa Catarina**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) UNISUL, Coordenação de Engenharia Civil, Palhoça, 2007.

GASPAR, J. A. **Cartas e projeções cartográficas**. 3ª ed. Editora Lidel, Lisboa. 331p. 2005.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Ed. UFPR, Curitiba, 2012. 304p.

GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; SOUZA, J. J. **Topografia: Conceitos e Aplicações**. 3ª edição, Editora Lidel, Lisboa, 2012. 357p.

GUANDALINI, M. **Análise metodológica do posicionamento relativo através do GNSS e suas aplicações na engenharia - uso da técnica RTK/GSM**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2012. 209p.

GUILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary surveying : an introduction to geomatics**. 13 ed. Editora Pearson, 2012. 958p.

IBGE, **Resolução do Presidente número 1 de 2005**. Publicada em 25 de fevereiro de 2005. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.

IBGE. **RBMC-IP - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>>. Acesso: 10 julho 2014.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3 Ed, Brasília, 2013.

INFORMATIVO GEOCÊNTRICO. Ano 1, número 1. IBGE, Diretoria de Geociências. 2006. 8p.

JUNIOR, J. F.; KRUEGER, C. P. **Posicionamento RTK empregando diferentes estações de referência**. Revista Brasileira de Cartografia, número 59/02, p137-144, 2007.

LOCH, C. **Visão da Academia sobre mapeamento cadastral no Brasil**. Jornada INDE/Academia, Subsídios para o Plano Nacional de Geoinformação. Brasília, setembro de 2012. Disponível em <<http://www.planejamento.gov.br/jornadainde/evento.asp?evt=1>>. Acesso em: 03 março 2014.

LOCH. C.; CORDINI. J. **Topografia Contemporânea: planimetria**. 2ed. Florianópolis. EdUFSC, 2000. 321p.

LUZ, L. A. S. **Uma proposta para a precisão posicional do cadastro urbano brasileiro**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Florianópolis, SC, 2013. 82 p.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Plano Nacional de Logística e Transportes: Base de Dados Georreferenciada**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/index/conteudo/id/3322/module/default>>. Acesso em: 07 julho 2014.

MONICO, J. F. G., **Posicionamento pelo NAVISTAR - GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 287p.

MORAIS, R. V. **Estudo de projeções geodésicas no cadastro técnico urbano - análise de fechamento de poligonais**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Florianópolis, SC, 2004. 87p.

NETTO, N. P.; TOSTES, F.; IDOETA, I. V. **Características dos sistemas TM**. Informações Espaciais II – Notas de Aula. 11ª ed. p. 103-138, 2004.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. 3a ed. Florianópolis. 327p. 2009.

OLIVEIRA, R. N. Q.; SILVA, D. C. **Sistemas de projeção transversa de mercator no georreferenciamento de imóveis rurais**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012.

PACIFICCREST. **Positioning Data Links For Land Surveying**. Disponível em:  
<[http://www.pacificcrest.com/products/product\\_wireless.shtml](http://www.pacificcrest.com/products/product_wireless.shtml)>. Acesso em 21/07/2014.

PHILIPS, J. **As Projeções de Gauss e as Coordenadas UTM**. Revista Eletrônica Geodésia Online, Florianópolis, 1997. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br>>. Acesso em 10/05/1998.

PORTO ALEGRE. **Decreto nº 18.315**, de 2013. Institui o Sistema Cartográfico de Referência de Porto Alegre (SCR-POA).

SCHOFIELD, W; BREACH M. **Engineering surveying**. Oxford, Inglaterra. Editora Elsevier. 6ª edição. 622p. 2007.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS – SÃO PAULO. **IE – 01 Preparo do subleito do pavimento**. 5p. 2004.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS – SÃO PAULO. **IP – 03 Projeto Geométrico**. 21p. 2004.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin: Nova York: Editora Walter de Gruyter, 2003. 2nd edição. 589 p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS: sistema de posicionamento global**. EESC/USP, São Carlos, 2005. 381p.

SILVA, C. H. S.; GUALBERTO, S.; TUPINAMBÁS, W. J. M.; SARAIVA C. **Coordenadas topográficas X Coordenadas UTM**. Portal MundoGEO, 2013. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/coordenadas-topograficas-x-coordenadas-utm/>>. Acesso em: 27/02/2014.

SILVA, D. C.; FREDERICO, L. N. S. **Cálculo de fator de escala UTM para medições com estações totais**. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, p455-462, 2014.

SILVEIRA, L. C. **Cálculos geodésicos no sistema UTM aplicados a topografia**. Ed. Luana, 2a Ed. 166p. Morro da Fumaça, 1990.

SOUZA, G. F.; SILVEIRA, L. N. **Implantação de marcos geodésicos para projetos de construção e restauração de rodovias**. Revista Tecnologia e Ambiente, vol. 14, 2008.

SOUZA, W. O.; GARNÉS, S. J. A. **Análises de projeções cartográficas para grandes escalas**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012.

TABACNIKS, M. H. **Conceitos Básicos da Teoria de Erros**. Revisado por QUIVY, A.A; MARTINELLI, M.; OLIVEIRA, J. R.; LEVIN, A. Universidade de São Paulo - USP, 23p, 2011

TORGE, W. **Geodesy**. 3ª edição revisada e ampliada, Berlin, 416p, 2001.

USACE. **Control and Topographic Surveying EM 1110-1-1005**. US Army Corps of Engineers. 1994. Disponível em: <<https://www.novaregion.org/DocumentCenter/Home/View/756>> Acesso em 15/10/2014).

XEREZ, C. **Topografia Geral: Topografia, Fotogrametria, Elementos de Geodésia e de Astronomia Geodésica**. Volume 1. Edição Técnica Revista de Engenharia dos Alunos do I.S.T. Editora Tip. Jorge Fernandes Ltda. Lisboa, Portugal. 1947. 358p



**APÊNDICE A – Equações para o cálculo do Raio Médio**

Para calcular o Raio Médio (Rm) foram utilizadas as equações publicadas por Torge (2001):

$$1^{\text{a}} \text{ excentricidade } e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$\text{Grande Normal } N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi}}$$

$$\text{Raio de Curvatura da Seção Meridiana } M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi)^3}}$$

$$\text{Raio Médio } Rm = \sqrt{N \cdot M}$$