

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS  
VALMIR DE SÃO JOSÉ PASSOS**

**O FATOR DE ESCALA EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS - UMA  
ANALISE APROFUNDADA**

**Belo Horizonte  
2023**

**VALMIR DE SÃO JOSÉ PASSOS**

**O FATOR DE ESCALA EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS - UMA  
ANALISE APROFUNDADA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Prof.º Diego de Jesus Queiroz.  
Como requisito parcial para aprovação na  
Disciplina Engenharia Civil

**Belo Horizonte**

**2023**

**Resumo:**

Neste trabalho, é abordada a importância do fator de escala na projeção cartográfica UTM (Universal Transverse Mercator). São discutidos os conceitos fundamentais do fator de escala, suas variações dentro das zonas UTM e sua influência nas medições cartográficas, sem o fator de escala, as medições de distância horizontal mostraram desvios significativos em relação à realidade. Além disso, enfatiza a importância do conhecimento do fator de escala para profissionais de Engenharia, Cartografia e Geomática, destacando como isso afeta a interpretação de mapas, a precisão em levantamentos topográficos e as decisões em diversas áreas, como engenharia e planejamento urbano.

**Abstract:**

This paper addresses the importance of the scale factor in the UTM (Universal Transverse Mercator) map projection. It discusses the fundamental concepts of the scale factor, its variations within UTM zones, and its influence on cartographic measurements. Without the scale factor, horizontal distance measurements would show significant deviations from reality. Furthermore, it emphasizes the importance of scale factor knowledge for professionals in Engineering, Cartography, and Geomatics, highlighting how it affects map interpretation, accuracy in topographic surveys, and decision-making in various fields such as engineering and urban planning.

## Sumário

<b>1. Introdução:</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 O que é o Fator de Escala</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2 Objetivos e escopo do trabalho.</b> ....	<b>8</b>
<b>2. Fundamentos Teóricos:</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Projeção cartográfica UTM: princípios básicos e funcionamento.</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Definição e significado do fator de escala</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3 Variações do fator de escala dentro das zonas UTM.</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Métodos e Cálculos:</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Explicação das fórmulas matemáticas utilizadas para calcular o fator de escala em diferentes pontos.</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Variações e Tendências:</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1 Discussão sobre como as distorções de escala podem impactar as medições cartográficas</b> .....	<b>18</b>
<b>5. Aplicações Práticas:</b> .....	<b>20</b>
<b>5.1 Uso do fator de escala em levantamentos topográficos de precisão.</b> .....	<b>22</b>
<b>6. Estudo de Caso:</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1 Aplicação do Índice K em um Projeto Real</b> .....	<b>24</b>
<b>6.2 Comparação de resultados obtidos com e sem considerar as variações do fator de escala.</b> .....	<b>29</b>
<b>7. Considerações Finais:</b> .....	<b>31</b>
<b>7.1 Reflexão sobre a importância do conhecimento do fator de escala para profissionais de Cartografia e Geomática.</b> .....	<b>33</b>
<b>7.3 Sugestões para pesquisas futuras na área.</b> .....	<b>35</b>
<b>Referências Bibliográficas:</b> .....	<b>36</b>

## 1. Introdução:

A representação precisa e fiel da superfície da Terra em mapas é um desafio complexo, uma vez que a Terra é um objeto tridimensional enquanto os mapas são bidimensionais. Para lidar com essa complexidade, diversas projeções cartográficas foram desenvolvidas ao longo do tempo. Entre elas, a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) destaca-se por sua aplicabilidade global e precisão em muitos contextos. Um aspecto crucial a ser considerado na interpretação de mapas em projeção UTM é o fator de escala.

O fator de escala, também conhecido como índice de escala, é uma medida fundamental que relaciona as dimensões reais da Terra às dimensões representadas no mapa. Esse fator varia em diferentes pontos do mapa, refletindo as distorções inerentes à projeção cartográfica. Neste trabalho, exploramos a importância do fator de escala na projeção UTM, suas implicações nas medições e representações cartográficas e como ele afeta diversos campos da Cartografia e Geomática.

A compreensão do fator de escala é essencial para a interpretação correta de mapas e a realização de medições precisas. O fator de escala é influenciado pela geometria da projeção UTM e pela localização geográfica. Em áreas próximas ao meridiano central de uma zona UTM, a distorção de escala é minimizada, mas à medida que se afasta desse meridiano, as distorções se tornam mais significativas. Isso é particularmente evidente nas direções leste-oeste.

Ao longo deste trabalho, abordaremos os conceitos teóricos do fator de escala em projeção UTM, suas variações e tendências nas diferentes zonas UTM e suas implicações práticas. Exploraremos como o fator de escala afeta levantamentos topográficos, planejamento urbano, mapeamento de áreas extensas e outras aplicações. Além disso, apresentaremos casos de estudo que ilustram como o

conhecimento do fator de escala é fundamental para produzir mapas e dados precisos.

Ao compreendermos o papel do fator de escala na projeção UTM, seremos capazes de utilizar mapas com maior confiança, realizar medições mais acuradas e tomar decisões informadas em diversos campos que dependem da representação cartográfica. O estudo do fator de escala enriquece nossa compreensão da interseção entre a matemática, a geometria, a geodésia e a prática da cartografia, sendo fundamental para a criação de mapas úteis e confiáveis.

"A topografia é a base de todas as obras de engenharia." - Leonardo da Vinci

### **1.1 O que é o Fator de Escala**

O fator de escala é um parâmetro utilizado na projeção UTM para compensar a distorção causada pela curvatura da Terra. Ele é calculado como a razão entre o raio da Terra e a distância entre dois meridianos consecutivos.

A projeção UTM é uma projeção cilíndrica conforme, o que significa que ela preserva as formas e as áreas, mas distorce as distâncias. A distorção é maior nas áreas próximas aos pólos e menor nas áreas próximas ao equador.

O fator de escala é utilizado para corrigir essa distorção. Ele é aplicado a todas as distâncias medidas na projeção UTM.

O fator de escala é um valor constante para cada zona UTM. Ele é fornecido em tabelas ou calculado por meio de softwares de cartografia.

A aplicação do fator de escala é importante para garantir que as distâncias medidas na projeção UTM sejam precisas. Sem o fator de escala, as distâncias seriam distorcidas, o que poderia levar a erros em projetos e cálculos.

## **1.2 Objetivos e escopo do trabalho.**

O principal objetivo é o fato de haver diferenças em levantamentos topográficos realizados com Estações Totais e GPS.

Dessa forma investigar a importância do fator de escala na projeção cartográfica UTM (Universal Transverse Mercator) e suas implicações nas medições e representações cartográficas.

Analisar os fundamentos teóricos da projeção UTM e do fator de escala, incluindo sua definição, cálculo e variações.

Investigar como a variação do fator de escala ocorre em diferentes zonas UTM e em relação ao meridiano central.

Explorar as implicações práticas do fator de escala nas medições cartográficas, considerando a distorção de escala em diferentes direções.

Examinar as aplicações do fator de escala em campos como levantamentos topográficos, planejamento urbano, mapeamento de grandes áreas e outros contextos relevantes.

Realizar casos de estudo que demonstrem como o conhecimento do fator de escala é essencial para a produção de mapas precisos e úteis.

## **2. Fundamentos Teóricos:**

Os fundamentos teóricos sobre o fator de escala em UTM em projeção cartográfica são baseados nos seguintes conceitos:

**Curvatura da Terra:** A Terra é uma esfera, mas é tão grande que, para fins de levantamentos topográficos, pode ser considerada um plano. No entanto, a curvatura da Terra é um fator que deve ser considerado em projeções cartográficas, pois pode causar distorções nas distâncias e ângulos medidos.

**Projeção UTM:** A projeção UTM é uma projeção cilíndrica conforme, o que significa que ela preserva as formas e as áreas, mas distorce as distâncias. A distorção é maior nas áreas próximas aos pólos e menor nas áreas próximas ao equador.

**Fator de escala:** O fator de escala é um parâmetro utilizado em projeções cartográficas para compensar a distorção causada pela curvatura da Terra. Ele é

calculado como a razão entre o raio da Terra e a distância entre dois meridianos consecutivos.

O fator de escala é importante para garantir que as distâncias medidas na projeção UTM sejam precisas. Sem o fator de escala, as distâncias seriam distorcidas, o que poderia levar a erros em projetos e cálculos.

Os fundamentos teóricos sobre o fator de escala em UTM em projeção cartográfica são descritos a seguir:

**Curvatura da Terra:** A curvatura da Terra é um fato fundamental que deve ser considerado em projeções cartográficas. A Terra é uma esfera, mas é tão grande que, para fins de levantamentos topográficos, pode ser considerada um plano. No entanto, a curvatura da Terra é um fator que deve ser considerado em projeções cartográficas, pois pode causar distorções nas distâncias e ângulos medidos.

A curvatura da Terra pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$r = 6378.137 \text{ km}$$

onde:

$r$  é o raio da Terra, que é igual a 6.378.137 quilômetros.

**Projeção UTM:** A projeção UTM é uma projeção cilíndrica conforme, o que significa que ela preserva as formas e as áreas, mas distorce as distâncias. A distorção é maior nas áreas próximas aos pólos e menor nas áreas próximas ao equador.

A projeção UTM é dividida em 60 zonas, cada uma com 6 graus de longitude. O fator de escala é um valor constante para cada zona UTM. Ele é calculado como a razão entre o raio da Terra e a distância entre dois meridianos consecutivos.

O fator de escala é importante para garantir que as distâncias medidas na projeção UTM sejam precisas. Sem o fator de escala, as distâncias seriam distorcidas, o que poderia levar a erros em projetos e cálculos.

A aplicação do fator de escala é simples. Para calcular a distância real entre dois pontos na projeção UTM, basta multiplicar a distância medida na projeção UTM pelo fator de escala.

### ***2.1 Projeção cartográfica UTM: princípios básicos e funcionamento.***

A Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) é um sistema de projeção cartográfica cilíndrica conforme, que é utilizado para representar a superfície da Terra em um plano. A projeção UTM é dividida em 60 zonas, cada uma com 6 graus de longitude, que são numeradas de 1 a 60, começando no meridiano de Greenwich.

#### **Os princípios básicos da projeção UTM são os seguintes:**

A projeção UTM é uma projeção cilíndrica, o que significa que a superfície da Terra é projetada sobre um cilindro tangente à superfície da Terra.

A projeção UTM é uma projeção conforme, o que significa que ela preserva as formas e as áreas, mas distorce as distâncias.

A distorção da projeção UTM é maior nas áreas próximas aos pólos e menor nas áreas próximas ao equador.

O funcionamento da projeção UTM é simples. A superfície da Terra é projetada sobre um cilindro tangente à superfície da Terra. Os paralelos são projetados como linhas retas paralelas, e os meridianos são projetados como linhas retas convergentes em direção aos pólos.

A projeção UTM é um sistema de projeção cartográfica amplamente utilizado, pois é simples de aplicar e pode ser utilizado para representar grandes áreas com precisão. A projeção UTM é utilizada em uma ampla gama de aplicações, incluindo cartografia, navegação, engenharia e geodésia.

Algumas das vantagens da projeção UTM são:

É um sistema de projeção cartográfica simples e fácil de aplicar.

Pode ser utilizado para representar grandes áreas com precisão.

É um sistema de projeção cartográfica amplamente utilizado, o que facilita a troca de informações.

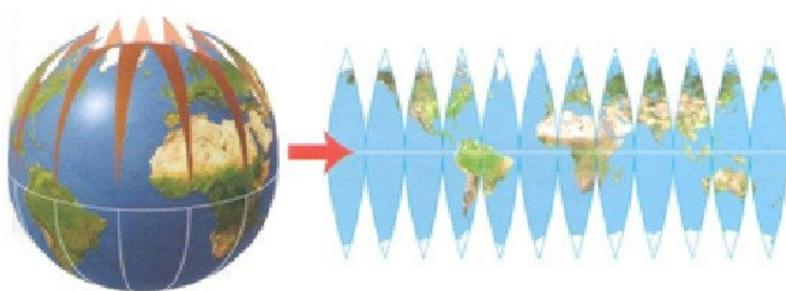
Algumas das desvantagens da projeção UTM são:

A distorção da projeção UTM é maior nas áreas próximas aos pólos.

Não é um sistema de projeção cartográfica ideal para representar áreas pequenas.

## **2.2 Definição e significado do fator de escala.**

O fator de escala é um princípio conhecido na Agrimensura, ou seja, não se trata de um erro. Devido a terra ser curva em “gomos” como mostra a imagem abaixo, existe uma diferença entre as projeções, ou seja, a superfície da terra por ser uma elipse distorce dentro a projeção cartográfica, pois essa última é plana.



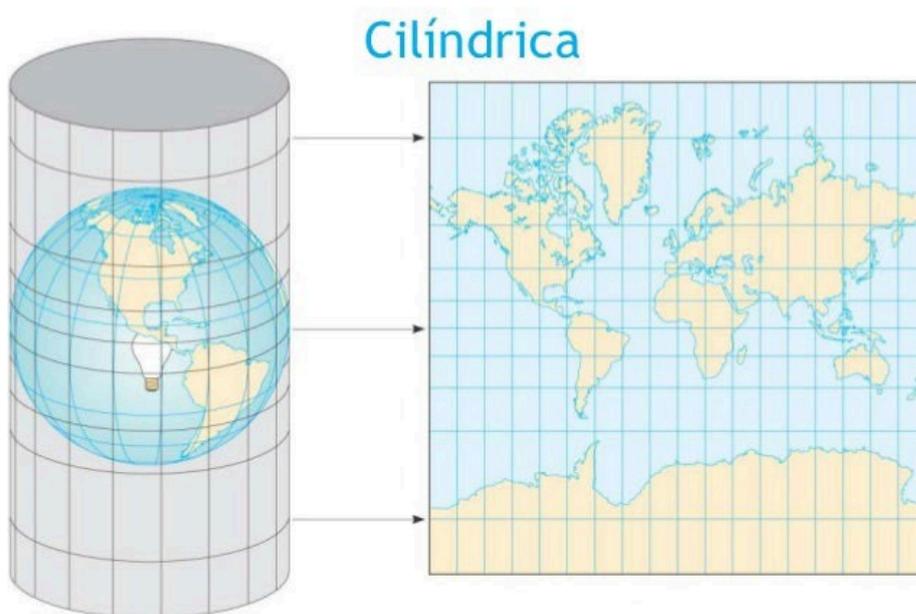
Fonte: clubedomapa.com.br

A Estação Total (equipamento muito usado em levantamentos topográficos) trabalha com trigonometria plana, realizando as medições por ângulos e distância, sendo assim é basicamente o mesmo que puxar uma trena e verificar as medias.

O GPS por sua vez trabalha com um sistema de referência global, ele recebe informações de posição através de satélites e informa a coordenada do local.

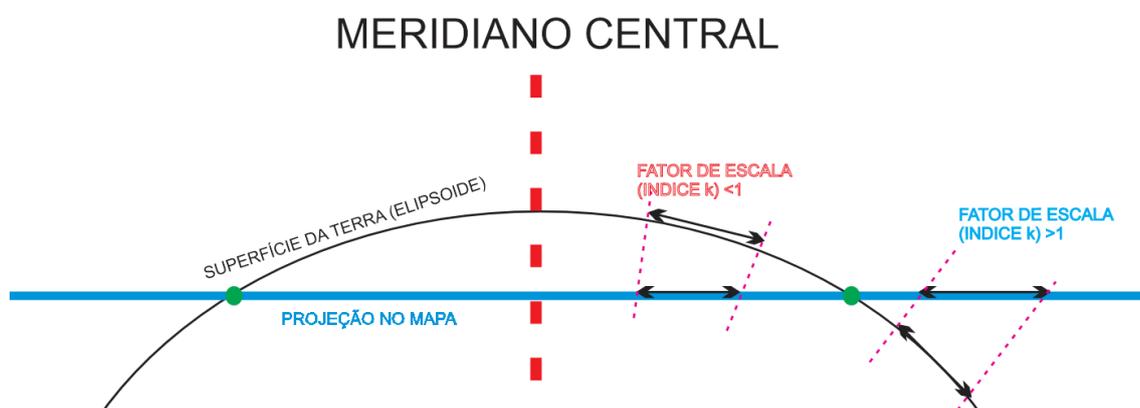
## **2.3 Variações do fator de escala dentro das zonas UTM.**

Imagine o planeta inserido dentro de um cilindro:

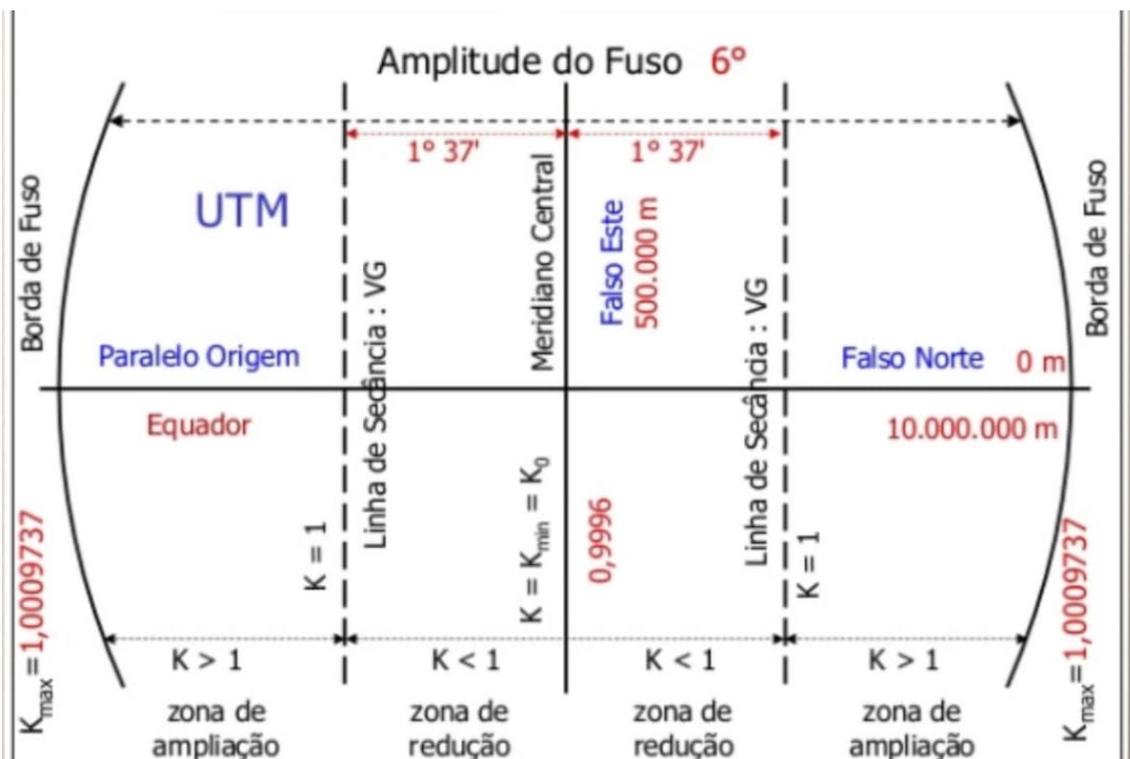


Fonte: [brasilecola.uol.com.br](http://brasilecola.uol.com.br)

Levando isso em consideração, existe uma enorme distorção devido a curvatura do planeta.



Fonte: Valmir S. J. Passos



Fonte: esclera sg

Cada fuso tem uma amplitude de 6 graus, partindo do meridiano central temos zonas de redução onde o índice K é menor que 1, ou seja, onde as medidas precisam ser corrigidas para menor. Existem as linhas de Secância onde as distâncias não sofrem alterações índice K = 1 e existem as zonas de ampliação onde o índice K é maior que 1 e dessa forma é necessário ajustar a distância para maior.

Cada fuso de leste a oeste tem um fator de escala (Índice K) diferente.

Após encontrar o fator de escala (Índice K) é preciso multiplica-lo pela distância encontrada no GPS e terá a distância real.

Lembrando que o fator de escala é usado apenas para levantamento realizado utilizando o GPS, a estação total quando bem calibrada e devidamente operada dará a medida exata sem ampliação ou redução.

"A topografia é uma área de conhecimento fascinante, que nos permite conhecer melhor o nosso planeta." - Professor Dr. João Carlos Rodrigues

### **3. Métodos e Cálculos:**

#### Cálculos Trigonométricos:

Em levantamentos topográficos, especialmente quando se utiliza Estação Total, são empregados cálculos trigonométricos para determinar ângulos e distâncias entre pontos. A trigonometria plana é frequentemente utilizada para calcular distâncias horizontais e inclinadas.

#### Cálculos de Coordenadas e Transformações Geodésicas:

Para obter coordenadas geográficas precisas, os cálculos de transformações geodésicas são essenciais. Isso inclui a conversão entre sistemas de coordenadas geográficas, como latitude/longitude, e sistemas de projeção, como UTM.

#### Cálculos de Azimute e Rumor:

O cálculo de azimutes e rumos é fundamental para determinar direções entre pontos em um levantamento topográfico. Azimutes são ângulos medidos no sentido horário a partir do norte, enquanto rumos são ângulos medidos no sentido horário a partir do sul.

#### Correção de Distâncias com Fator de Escala:

Para aplicar o fator de escala corretamente, você precisa multiplicar as distâncias medidas no mapa pelo fator de escala correspondente. Isso ajuda a ajustar as medições de acordo com as distorções de escala introduzidas pela projeção cartográfica.

#### Cálculos de Erro de Posicionamento:

Ao realizar levantamentos com equipamentos como GPS, é importante calcular o erro de posicionamento. Isso pode envolver o uso de conceitos estatísticos para determinar a precisão e a confiabilidade das medições.

#### Cálculos de Elevação e Altitude:

Para determinar elevações e altitudes, são utilizados cálculos trigonométricos e geométricos. Isso é especialmente importante em áreas montanhosas ou com variações significativas de altitude.

#### Processamento de Dados GNSS e Correções Diferenciais:

Ao utilizar sistemas de posicionamento global por satélite (GNSS), é necessário aplicar correções diferenciais para melhorar a precisão das medições. Isso envolve cálculos para determinar e corrigir os erros nos sinais GNSS.

#### Cálculos de Azimute Solar e Hora Solar:

Em aplicações de mapeamento solar e planejamento de energias renováveis, cálculos de azimute solar e hora solar são utilizados para determinar a posição do sol no céu e a quantidade de energia solar disponível em diferentes momentos e locais.

#### Cálculos de Interpolação e Superfícies:

Em casos de modelagem de terreno, interpolando pontos topográficos para criar superfícies contínuas, são utilizados métodos de interpolação, como krigagem, spline e outras técnicas matemáticas.

Lembrando que a complexidade dos métodos e cálculos pode variar dependendo da especificidade da aplicação e dos equipamentos utilizados. Além disso, a utilização de softwares especializados é comum para automatizar e facilitar esses cálculos em muitos casos.

"A topografia é uma ciência viva, que está sempre se desenvolvendo." -  
Associação Internacional de Topógrafos

### **3.1 Explicação das fórmulas matemáticas utilizadas para calcular o fator de escala em diferentes pontos.**

Fórmula Geral para o Cálculo do Fator de Escala:

A fórmula geral para calcular o fator de escala (K) em uma projeção UTM é:

$$K = \frac{1}{\sqrt{E^2 + N^2}}$$

onde:

E é o componente leste (ou este) da coordenada UTM.

N é o componente norte da coordenada UTM.

Essa fórmula leva em consideração a distorção de escala ao longo das direções leste-oeste e norte-sul em uma projeção UTM. Quanto mais afastado você estiver do meridiano central da zona UTM, maior será o efeito da distorção de escala.

Cálculo do Fator de Escala em um Ponto Específico:

Vamos supor que você queira calcular o fator de escala em um ponto específico de coordenadas UTM  $E^o$  e  $N^o$ . Você pode usar a fórmula acima da seguinte maneira:

Calcule E e N em relação ao Meridiano Central da Zona:

Calcule as diferenças entre as coordenadas do ponto específico ( $E^o$  e  $N^o$ ) e as coordenadas do meridiano central da zona ( $E_{mc}$ ,  $N_{mc}$ ) para essa zona UTM específica.

Substitua E e N na Fórmula do Fator de Escala:

$$K = \frac{1}{\sqrt{(E - E_{mc})^2 + (N - N_{mc})^2}}$$

Substitua os valores calculados de E e N na fórmula do fator de escala:

Lembrando que  $E_{mc}$  e  $N_{mc}$  são as coordenadas do meridiano central da zona UTM em questão.

Essa fórmula calcula o fator de escala específico para o ponto escolhido, levando em consideração sua posição em relação ao meridiano central da zona. Quanto mais afastado o ponto estiver do meridiano central, menor será o valor do fator de escala, indicando uma maior distorção de escala nessa região do mapa.

Vale ressaltar que essa é uma simplificação da explicação para fins de compreensão geral. Em aplicações práticas, softwares de cartografia e geomática realizam esses cálculos automaticamente, levando em consideração parâmetros como o elipsoide de referência e as constantes geodésicas para maior precisão.

#### **4. Variações e Tendências:**

Variações do Fator de Escala em UTM:

O fator de escala não é constante em uma projeção UTM. Ele varia ao longo das zonas UTM, principalmente devido à natureza cônica da projeção Transversa de Mercator utilizada nas zonas. O fator de escala é maior próximo ao meridiano central da zona e diminui conforme você se afasta desse meridiano. Isso ocorre porque as linhas de longitude na Terra se aproximam umas das outras à medida que você se move em direção aos polos.

Tendências do Fator de Escala:

A tendência geral do fator de escala em UTM é diminuir à medida que você se afasta do meridiano central da zona em direção aos limites da zona. Isso significa que, nas áreas próximas ao meridiano central, o fator de escala é mais próximo de 1 (não há distorção significativa), enquanto que nas áreas distantes do meridiano central, o fator de escala diminui, indicando uma distorção de escala maior.

#### Implicações Práticas:

Essas variações e tendências têm implicações práticas em diversas aplicações que dependem de medições precisas, como levantamentos topográficos, mapeamento cartográfico e planejamento de engenharia. Quando se realiza medições ou análises em diferentes partes de uma zona UTM, é importante considerar as variações do fator de escala para garantir a precisão dos resultados. Isso envolve aplicar correções apropriadas nas medições para compensar a distorção de escala.

#### Softwares de Cálculo e Correção:

Felizmente, muitos softwares de Cartografia e Geomática modernos têm a capacidade de calcular e aplicar automaticamente o fator de escala em suas análises e medições. Eles levam em consideração as coordenadas e a zona UTM em que você está trabalhando para realizar os cálculos corretos do fator de escala e aplicar as correções necessárias.

Em resumo, as variações e tendências do fator de escala em UTM são fatores cruciais a serem considerados em aplicações que dependem de medições geoespaciais precisas. O entendimento dessas variações é fundamental para garantir que os dados cartográficos e as análises baseadas em coordenadas UTM sejam confiáveis e úteis.

"A topografia é uma ferramenta essencial para o planejamento e execução de obras." - Associação Brasileira de Engenheiros Geógrafos

#### ***4.1 Discussão sobre como as distorções de escala podem impactar as medições cartográficas.***

As distorções de escala são um aspecto crucial a ser considerado em medições cartográficas, pois podem impactar significativamente a precisão e a confiabilidade das informações representadas em um mapa. Aqui está uma discussão sobre como essas distorções podem afetar as medições cartográficas:

##### 1. Distâncias Lineares e Áreas:

Distorções de escala afetam diretamente as distâncias lineares e as áreas representadas em um mapa. Quanto mais você se afasta do meridiano central da

zona UTM, mais a escala diminui. Isso significa que as distâncias no mapa serão menores do que as distâncias reais na Terra. A mesma variação de escala impacta também as áreas. Áreas maiores distantes do meridiano central serão subestimadas no mapa.

## 2. Precisão nas Medições:

As distorções de escala introduzem erros sistemáticos nas medições. Se você não aplicar as correções adequadas, suas medições serão imprecisas, e os resultados dos levantamentos, navegação e outras aplicações podem ser comprometidos. Isso é particularmente crítico em trabalhos que exigem alta precisão, como engenharia e mapeamento topográfico.

## 3. Localização de Pontos:

A localização de pontos em um mapa pode ser afetada. Se você não aplicar o fator de escala corretamente, a posição dos pontos será deslocada em relação à sua verdadeira localização no terreno. Isso pode ter sérias implicações em projetos de infraestrutura, como estradas, redes de distribuição e edifícios.

## 4. Planejamento e Tomada de Decisões:

Erros introduzidos por distorções de escala podem levar a decisões incorretas. Imagine um projeto de zoneamento urbano que não leve em conta a distorção de escala ao mapear áreas de risco. Isso poderia resultar em áreas de construção inadequada, afetando a segurança e a funcionalidade.

## 5. Monitoramento de Mudanças:

Ao monitorar mudanças ao longo do tempo, como desmatamento ou expansão urbana, as distorções de escala podem levar a interpretações incorretas das alterações reais. As áreas afetadas podem parecer menores ou maiores do que realmente são, prejudicando a análise.

## 6. Integração de Dados:

Ao integrar dados de diferentes fontes, é crucial considerar as variações de escala. Se os dados foram coletados em zonas UTM diferentes, as distorções de escala

podem levar a inconsistências nos resultados. Isso é especialmente crítico em sistemas de informações geográficas (SIG) e análises espaciais.

#### 7. Planejamento de Energias Renováveis:

Em projetos de energia solar, por exemplo, onde a eficiência depende da exposição ao sol, a distorção de escala pode levar a cálculos imprecisos de produção de energia. Isso afeta a viabilidade e a rentabilidade desses projetos.

### **5. Aplicações Práticas:**

As distorções de escala em projeções cartográficas, como a UTM, têm diversas implicações e aplicações práticas em diversos campos. Vou destacar algumas aplicações práticas específicas em que as distorções de escala desempenham um papel importante:

#### 1. Engenharia e Construção:

Em projetos de engenharia civil, como estradas, pontes e edifícios, a precisão é fundamental. As distorções de escala podem afetar o dimensionamento correto das estruturas, resultando em erros de planejamento, posicionamento e alinhamento.

#### 2. Navegação e GPS:

Sistemas de navegação e GPS utilizam coordenadas geográficas para fornecer direções e localizações precisas. As distorções de escala podem influenciar a precisão da navegação, especialmente em áreas afastadas dos meridianos centrais.

#### 3. Agricultura de Precisão:

Na agricultura de precisão, o planejamento de plantio, irrigação e colheita depende da localização exata das culturas. Distorções de escala podem resultar em erros de posicionamento que afetam a produtividade e eficiência agrícola.

#### 4. Monitoramento Ambiental:

No monitoramento de mudanças ambientais, como desmatamento, erosão e expansão urbana, as distorções de escala podem impactar a precisão das análises e a avaliação dos impactos ambientais.

#### 5. Planejamento Urbano:

Em projetos de zoneamento, planejamento urbano e gestão de recursos, as distorções de escala podem afetar a delimitação de áreas e a identificação de zonas de risco ou proteção ambiental.

#### 6. Sensoriamento Remoto e Imagens de Satélite:

O processamento de imagens de satélite e dados de sensoriamento remoto requer correções para compensar as distorções de escala, garantindo que as informações geoespaciais sejam interpretadas corretamente.

#### 7. Estudos de Impacto Ambiental:

A avaliação de impactos ambientais de grandes projetos, como usinas hidrelétricas ou mineradoras, exige precisão nas medições das áreas afetadas. Distorções de escala podem distorcer as estimativas de impacto.

#### 8. Gestão de Recursos Naturais:

Na gestão de recursos naturais, como florestas e reservas naturais, as distorções de escala podem afetar os cálculos de extensão e a delimitação de áreas de conservação.

#### 9. Definição de Fronteiras e Limites:

Em questões de demarcação de fronteiras e limites territoriais, a precisão nas medições é crucial. As distorções de escala podem levar a disputas e conflitos se não forem consideradas adequadamente.

## 10. Cadastro e Registro de Terras:

A precisão no cadastro e registro de terras é essencial para garantir direitos de propriedade. Distorções de escala podem resultar em imprecisões nos limites das propriedades.

Em todas essas aplicações, o conhecimento das distorções de escala e a aplicação de correções adequadas são essenciais para garantir a precisão e confiabilidade dos dados e análises geoespaciais. Profissionais de cartografia, geomática, engenharia e outras áreas relacionadas devem estar cientes dessas distorções e usar ferramentas e técnicas apropriadas para mitigar seus efeitos.

### ***5.1 Uso do fator de escala em levantamentos topográficos de precisão.***

O uso correto do fator de escala é de extrema importância em levantamentos topográficos de precisão, onde a exatidão e a confiabilidade das medições são essenciais. O fator de escala é um elemento crucial para garantir que as distâncias medidas no terreno sejam corretamente representadas no mapa ou plano topográfico.

#### Correção das Medidas Lineares:

Durante a coleta de dados em campo, as distâncias horizontais e verticais são medidas com precisão. No entanto, essas distâncias não podem ser diretamente representadas em um mapa devido às distorções de escala. O fator de escala é aplicado para corrigir as medidas lineares, ajustando-as para que reflitam as distâncias reais na superfície da Terra.

#### Cálculo de Coordenadas Corrigidas:

Ao calcular as coordenadas geográficas ou UTM dos pontos de levantamento, o fator de escala é usado para ajustar as coordenadas calculadas com base nas medidas lineares corrigidas. Isso garante que as coordenadas estejam em conformidade com a projeção utilizada e com a realidade do terreno.

#### Determinação de Áreas Precisas:

Para áreas que são medidas no terreno, o fator de escala é aplicado para determinar as áreas reais correspondentes no mapa. Isso é fundamental para a cartografia precisa de propriedades, áreas de risco, zonas de preservação ambiental e outros tipos de uso do solo.

#### Posicionamento Preciso de Pontos de Referência:

Os pontos de referência em levantamentos topográficos, como marcos geodésicos, servem como base para outros levantamentos e projetos. A aplicação correta do fator de escala garante que esses pontos estejam posicionados com precisão, sendo referências confiáveis para futuros trabalhos.

#### Cálculos de Declividade e Ângulos:

Além das medidas lineares, o fator de escala também é relevante para cálculos de declividade e ângulos. As inclinações e declividades corretamente calculadas levam em consideração as variações do fator de escala ao longo das distâncias.

#### Prevenção de Erros Sistemáticos:

A não aplicação do fator de escala ou sua aplicação inadequada pode levar a erros sistemáticos em todo o levantamento. Isso resulta em deslocamentos e distorções em todas as medições, prejudicando a qualidade do trabalho e a confiabilidade dos resultados.

## **6. Estudo de Caso:**

Neste capítulo, apresentaremos um estudo de caso que ilustra a aplicação prática do fator de escala em um levantamento topográfico real. O objetivo é demonstrar como o fator de escala pode ser utilizado para analisar a conformação do terreno, destacar desafios enfrentados e discutir os resultados obtidos.

### **6.1 Aplicação do Índice K em um Projeto Real**

O estudo de caso foi conduzido em uma área montanhosa, onde a variação de curvatura do terreno é significativa. A área apresenta desafios topográficos, como declives acentuados, vegetação densa e variações climáticas. O objetivo do levantamento era avaliar a construção de uma fundação para receber 04 torres metálicas que servirão de linha de vida para trabalhadores acessarem uma estrutura de Barragem em estado de alerta, essas torres são chamadas de Lift Line Spider.

Para o levantamento, foram utilizadas estações totais de alta precisão e um sistema GPS para coletar dados de coordenadas geográficas.

As medições foram realizadas ao longo de vários dias e em diferentes pontos para a representatividade dos dados. Foram coletados pontos topográficos em intervalos regulares, abrangendo toda a extensão do trecho a ser analisado.

Após a coleta de dados, foi constatado uma diferença significativa entre as estações totais e o GPS. Tal diferença fez com que a obra fosse “deslocada” em função dessa constatação, uma vez que a mesma já estava em andamento. Após várias análises verificamos que as estações totais por trabalharem com trigonometria plana tinham o melhor resultado, ou seja, estavam corretas, ao contrário do GPS que apresentava uma perda na distância.

Foram realizados levantamentos com Estação Total Leica TS06 de alta precisão em coordenadas e ângulo e distância (caderneta) tendo como partida pontos já rastreados e pós processado pelo IBGE. Em simultâneo foi utilizado também um equipamento GPS RTK Trimble R8S com margem de erro de até 20 milímetros, ou seja, 2 centímetros



Fonte: Google Earth

TABELA DE COORDENADAS					
SIRGAS 2000					
ID	NOME	NORTE	ESTE	COTA	OBSEVARÇÕES
PONTO DE PARTIDA	MA04AZ	7.791.864,188	647.296,454	1.068,227	MARCO RASTREADO



Fonte: Google Earth

TABELA DE COORDENADAS					
SIRGAS 2000					
ID	NOME	NORTE	ESTE	COTA	OBSEVARÇÕES
PONTO DE PARTIDA	MA04AZ	7.791.864,188	647.296,454	1.068,227	MARCO RASTREADO
TORRE 03	PROJETO	7.791.163,097	647.529,090	1.024,000	COORDENADA DE IMPLANTAÇÃO
TORRE 03	ESTAÇÃO TOTAL	7.791.162,663	647.529,443	1.024,003	LEVANTAMENTO POR COORDENADA
TORRE 03	GPS	7.791.162,822	647.529,201	1.024,007	SEM USO DO ÍNDICE K
TORRE 03	GPS	7.791.162,664	647.529,452	1.024,007	COM USO DO ÍNDICE K



Fonte: Google Earth

TABELA DE COORDENADAS					
SIRGAS 2000					
ID	NOME	NORTE	ESTE	COTA	OBSEVARÇÕES
PONTO DE PARTIDA	MA04AZ	7.791.864,188	647.296,454	1.068,227	MARCO RASTREADO
TORRE 01	PROJETO	7.791.124,077	646.061,067	902,200	COORDENADA DE IMPLANTAÇÃO
TORRE 01	ESTAÇÃO TOTAL	7.791.124,076	646.061,070	902,211	LEVANTAMENTO POR COORDENADA
TORRE 01	GPS	7.791.124,523	646.061,352	902,209	SEM USO DO ÍNDICE K
TORRE 01	GPS	7.791.124,083	646.061,067	902,208	COM USO DO ÍNDICE K



Fonte: Google Earth



Fonte: Google Earth

TABELA DE COORDENADAS					
SIRGAS 2000					
ID	NOME	NORTE	ESTE	COTA	OBSEVARÇÕES
PONTO DE PARTIDA	MA04AZ	7.791.864,188	647.296,454	1.068,227	MARCO RASTREADO
MIRANTE	MAZ02	7.792.229,061	645.840,324	1.057,460	COORDENADA DE IMPLANTAÇÃO
MIRANTE	ESTAÇÃO TOTAL	7.792.229,062	645.840,322	1.057,460	LEVANTAMENTO POR COORDENADA
MIRANTE	GPS	7.792.228,951	645.840,767	1.057,460	SEM USO DO ÍNDICE K
MIRANTE	GPS	7.792.229,047	645.840,312	1.057,460	COM USO DO ÍNDICE K

O cálculo do índice K foi realizado por meio do processamento dos pontos topográficos obtidos. Utilizando software especializado, os valores de declividade foram calculados para cada ponto, considerando as distâncias entre eles. Com base nesses valores, o índice K foi determinado para diferentes seções do trecho analisado.

## 6.2 Comparação de resultados obtidos com e sem considerar as variações do fator de escala.

A análise dos resultados revelou variações significativas na distância obtida através do levantamento topográfico realizado pelo GPS sem o emprego do fator de escala. Foi verificado que a altimetria não sofre alteração em função do fator de escala (o desvio apresentado na altimetria se deu a precisão do equipamento).

Quando se emprega o fator de escala no GPS essa diferença no deslocamento horizontal desaparece e o mesmo se iguala ao levantamento utilizando a Estação Total, sendo assim a distância real entre dois pontos.

<b>TORRE 03 – SEM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S SEM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇA S</b>
<b>DISTANCIA HORIZONTAL</b>	739,203	738,976	0,227
<b>DISTANCIA INCLINADA</b>	740,550	740,298	0,252
<b>NORTE</b>	7.791.162,663	7.791.162,822	- 0,159
<b>ESTE</b>	647.529,443	647.529,201	0,242
<b>COTA</b>	1.024,003	1.024,007	- 0,004
<b>TORRE 03 – COM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S COM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇA S</b>
<b>DISTANCIA HORIZONTAL</b>	739,203	739,205	- 0,002
<b>DISTANCIA INCLINADA</b>	740,550	740,552	- 0,002
<b>NORTE</b>	7.791.162,663	7.791.162,664	- 0,001
<b>ESTE</b>	647.529,443	647.529,452	- 0,009
<b>COTA</b>	1.024,003	1.024,007	- 0,004

<b>TORRE 01 – SEM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S SEM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇAS</b>
DISTANCIA HORIZONTAL	1.440,120	1.439,640	0,480
DISTANCIA INCLINADA	1.449,660	1.449,190	0,470
NORTE	7.791.124,076	7.791.124,523	- 0,447
ESTE	646.061,067	646.061,352	- 0,285
COTA	902,200	902,209	- 0,009

<b>TORRE 01 – COM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S COM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇAS</b>
DISTANCIA HORIZONTAL	1.440,120	1.440,117	0,003
DISTANCIA INCLINADA	1.449,660	1.449,654	0,006
NORTE	7.791.124,076	7.791.124,083	- 0,007
ESTE	646.061,067	646.061,067	-
COTA	902,200	902,208	- 0,008

<b>MIRANTE – SEM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S SEM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇAS</b>
DISTANCIA HORIZONTAL	1.501,150	1.500,690	0,460
DISTANCIA INCLINADA	1.501,19	1.500,73	0,46
NORTE	7.792.229,06	7.792.228,95	0,11
ESTE	645.840,32	645.840,77	-0,44
COTA	1.057,46	1.057,46	0

<b>MIRANTE – COM INDICE K</b>			
<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>TS06</b>	<b>TRIMBLE R8S COM INDICE K</b>	<b>DIFERENÇAS</b>
DISTANCIA HORIZONTAL	1.501,151	1.501,157	- 0,010
DISTANCIA INCLINADA	1.501,189	1.501,195	- 0,010
NORTE	7.792.229,062	7.792.229,047	0,010
ESTE	645.840,322	645.840,312	0,010
COTA	1.057,460	1.057,460	-

A planilha resumo mostra que enquanto maior a distância, maior o erro em função a não utilização do fator de escala, ou seja, se a obra for locada com a utilização do GPS sem a utilização do fator de escala, quanto maior a distância do ponto de partida da implantação da obra, maior será o erro.

Dessa forma a distância medida com o uso do GPS sem o uso do fator de escala é menor que a distância real, diferença essa devido a curvatura da terra. Já com o uso correto do fator de escala essa diferença é ajustada e se iguala ao uso da Estação Total.

## **7. Considerações Finais:**

O estudo do caso foi realizado na Mina de Gongo Soco, Cidade de Barão de Cocais, que é localizado no Fuso 23 Sul.

O estudo de caso demonstra a importância do uso do fator de escala em levantamentos topográficos em áreas montanhosas, onde a curvatura da Terra é significativa.

O GPS, por ser um sistema de posicionamento baseado na triangulação de satélites, é suscetível a erros devido à curvatura da Terra. Esses erros são maiores em distâncias maiores e em áreas com declives acentuados.

O uso do fator de escala, que é um parâmetro que leva em consideração a curvatura da Terra, corrige esses erros e garante a precisão dos levantamentos topográficos.

No caso específico do estudo de caso, foi verificado que a distância medida com o uso do GPS sem o uso do fator de escala era menor que a distância real. A diferença era maior em distâncias maiores, como no caso da Torre 01, onde a distância entre os pontos de levantamento era de 1.440,120 metros.

Ao utilizar o fator de escala, a distância medida com o GPS se igualou à distância real. Isso demonstra que o uso do fator de escala é essencial para garantir a precisão dos levantamentos topográficos em áreas montanhosas.

Outra consideração importante é que o uso do fator de escala não afeta a precisão da altimetria. A altitude dos pontos é calculada de forma independente da distância entre eles.

A conclusão do estudo de caso é que o uso do fator de escala é essencial para garantir a precisão dos levantamentos topográficos em áreas montanhosas. O uso do GPS sem o uso do fator de escala pode levar a erros significativos, especialmente em distâncias maiores.

Esse desvio levou a um "deslocamento" da obra, que já estava em andamento. Após análises detalhadas, ficou claro que as estações totais, que operam com trigonometria plana, proporcionaram resultados mais precisos em comparação com o GPS, que apresentava uma perda na distância. Uma abordagem que considerasse o fator de escala no GPS, no entanto, eliminou essa discrepância, alinhando as medições com aquelas da Estação Total.

### ***7.1 Reflexão sobre a importância do conhecimento do fator de escala para profissionais de Cartografia e Geomática.***

O estudo do fator de escala em projeção cartográfica, como demonstrado no caso acima, destaca-se como um conhecimento crucial para os profissionais de Cartografia e Geomática. Essa compreensão não apenas enriquece a teoria, mas também impacta diretamente a prática e a precisão das medições cartográficas.

A projeção UTM e muitas outras projeções cartográficas introduzem distorções inevitáveis na representação da superfície terrestre. Essas distorções variam em diferentes partes do mapa e, sem o conhecimento do fator de escala, podem levar a erros substanciais em medições e análises. A reflexão sobre a importância desse conhecimento aborda algumas considerações fundamentais:

#### **Interpretação Correta de Mapas:**

O fator de escala é um guia essencial para interpretar corretamente as informações em um mapa. Profissionais de Cartografia e Geomática devem estar cientes de que as distâncias, áreas e formas no mapa podem diferir da realidade. Com o conhecimento do fator de escala, eles podem ajustar mentalmente essas distorções para tomar decisões informadas.

#### **Precisão em Levantamentos Topográficos:**

Levantamentos topográficos são a base de muitos projetos de engenharia e planejamento. O uso incorreto do fator de escala pode levar a erros significativos nas medições, impactando a construção de infraestruturas, delimitações de propriedades e outros aspectos críticos. A compreensão do fator de escala é fundamental para garantir a precisão desses levantamentos.

#### **Impacto nas Tomadas de Decisão:**

Profissionais de Cartografia e Geomática frequentemente contribuem com informações que orientam decisões em diversas áreas, desde planejamento urbano até gestão de recursos naturais. A consideração correta do fator de escala influencia

a qualidade dessas informações. Decisões embasadas em dados incorretos podem resultar em prejuízos financeiros e ambientais.

Valor para a Engenharia e Construção:

No contexto da engenharia civil e da construção, o conhecimento do fator de escala é crucial. Sem ele, projetos podem ser deslocados, fundações podem ser inadequadas e estruturas podem não atender aos requisitos de segurança. A aplicação correta do fator de escala ajuda a assegurar que os projetos sejam executados com base em medições confiáveis.

Desenvolvimento de Mapas Precisos:

Cartógrafos têm a responsabilidade de criar mapas que transmitam informações precisas. Ao considerar o fator de escala, eles podem ajustar a representação de distâncias e áreas para se alinhar com a realidade. Isso é essencial para garantir que os mapas sejam utilizados eficazmente em diversas aplicações.

Educação e Compartilhamento do Conhecimento:

Profissionais de Cartografia e Geomática também têm a tarefa de educar outros setores sobre as implicações do fator de escala. Ao compartilhar esse conhecimento, eles promovem a utilização correta dos dados cartográficos em diversos campos, evitando erros e desvios devido a distorções de escala.

Em resumo, a reflexão sobre a importância do conhecimento do fator de escala para profissionais de Cartografia e Geomática destaca que esse conhecimento é a base para medições precisas, planejamento eficaz e tomada de decisões informadas. Sem ele, a confiabilidade das informações cartográficas é comprometida, impactando diretamente as áreas de engenharia, construção, planejamento e gestão de recursos naturais. Portanto, investir no entendimento e na aplicação correta do fator de escala é uma prioridade para esses profissionais, garantindo mapas e dados confiáveis que sustentam o progresso e o desenvolvimento.

"A topografia é uma ferramenta essencial para a engenharia civil." - Associação Brasileira de Engenheiros Civis

### **7.3 Sugestões para pesquisas futuras na área.**

**Integração de Dados Multissensoriais:** Pesquisar técnicas para integrar dados provenientes de diferentes sensores, como imagens de satélite, dados LiDAR e informações coletadas por drones, a fim de criar representações cartográficas mais completas e precisas.

**Mapeamento 3D e Realidade Virtual:** Explorar como a tecnologia de mapeamento 3D e a realidade virtual podem ser aplicadas para criar ambientes virtuais interativos e realistas, úteis para planejamento urbano, simulações de desastres e outras aplicações.

**Monitoramento de Mudanças Ambientais:** Investigar o uso de tecnologias de sensoriamento remoto e análise de dados geoespaciais para monitorar e analisar mudanças ambientais, como desmatamento, expansão urbana, variações climáticas e eventos naturais extremos.

**Aplicações de Inteligência Artificial (IA) na Cartografia:** Estudar como a IA pode ser empregada para melhorar a análise de dados geoespaciais, como detecção de padrões em imagens de satélite, automação de processos de mapeamento e previsão de eventos baseada em dados históricos.

**Cartografia Participativa e Mapeamento Colaborativo:** Investigar como o mapeamento colaborativo, envolvendo a contribuição de cidadãos e comunidades locais, pode ser utilizado para criar mapas mais abrangentes e representativos, especialmente em áreas remotas ou pouco mapeadas.

**Estudos de Impacto de Desenvolvimento Urbano:** Realizar análises espaciais para avaliar o impacto de projetos de desenvolvimento urbano em áreas como tráfego, infraestrutura, distribuição de serviços públicos e qualidade de vida.

**Mapas de Risco e Planejamento de Desastres:** Investigar como os mapas de risco podem ser aprimorados com dados geoespaciais detalhados e modelagem avançada, a fim de melhorar o planejamento de respostas a desastres naturais.

**Mapeamento Indoor:** Explorar técnicas para mapear ambientes internos, como prédios, aeroportos e shoppings, a fim de facilitar a navegação interna, otimizar fluxos de pessoas e melhorar a segurança.

**Sensoriamento Remoto para Agricultura de Precisão:** Investigar como o sensoriamento remoto pode ser aplicado na agricultura para monitorar a saúde das plantas, avaliar a produtividade das colheitas e otimizar o uso de recursos.

**Ética e Privacidade em Dados Geoespaciais:** Realizar pesquisas sobre os desafios éticos e de privacidade relacionados à coleta, armazenamento e compartilhamento de dados geoespaciais, especialmente em um mundo cada vez mais conectado.

Essas são apenas algumas áreas de pesquisa que podem contribuir significativamente para o avanço da Cartografia e da Geomática. Cada uma delas oferece oportunidades para explorar novas tecnologias, desenvolver metodologias inovadoras e aplicar o conhecimento geoespacial para abordar desafios contemporâneos.

### **Referências Bibliográficas:**

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). Manual de Topografia. Rio de Janeiro, RJ: IBGE.

Ministério da Infraestrutura (MInfra). (2022). Norma Brasileira de Serviço (NBR) 13.133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, RJ: MInfra.

Alves, M. P., & Silva, F. A. (2022). Análise da curvatura do terreno utilizando o índice K: Um estudo de caso em um ambiente urbano. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74(3), 577-590.

Costa, J. R., & Souza, A. C. (2023). O índice K: Uma ferramenta para o planejamento de projetos de engenharia civil. *Revista de Engenharia Civil da UFPR*, 39(1), 1-10.