

Comportamento Térmico de Ambiente Industrial e sua Influência no Erro de Refração Atmosférica

Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal ¹
 Prof. Dr. Silvio Rogério Correa de Freitas ²
 Engenheiro Eno D. Saatkamp ³

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
 Universidade Federal do Paraná

¹ ✉ cnadal@geoc.ufpr.br

Conteúdo	1 Introdução 2 Instrumentos, Método e Observações Realizadas 3 Análise dos Resultados 4 Conclusões e Recomendações 5 Referência Bibliográficas
-----------------	---

Resumo: O presente trabalho baseou-se em observações de temperatura e gradientes vertical e horizontal de temperatura em ambientes com características industriais, onde uma sala é climatizada, sendo na seqüência colocada uma fonte de calor que progressivamente altera as condições de equilíbrio térmico. Durante este processo mediu-se direções horizontais e verticais, além da temperatura em diferentes posições na sala: horizontais e verticais. Modelou-se a atmosfera, inferindo-se o erro devido a refração atmosférica horizontal e vertical em distâncias muito curtas.

Palavras chave: topografia, temperatura, refração atmosférica

Abstract: The present work are based on temperature observations, vertical and horizontal temperature gradients, in atmospheres with industrial characteristics, where a room is acclimatized, being in the placed sequence a source of heat that progressively alters the conditions of thermal balance. During this process it was measured horizontal and vertical directions besides the temperature in different positions of the room: horizontal and vertical. The atmosphere was modeled, being inferred the mistake due to horizontal and vertical atmospheric refraction in very short distances.

Keywords: topographic survey, temperature, atmospheric refraction

1 Introdução

Com a finalidade de determinar-se a influência que uma fonte anômala de calor colocada em um ambiente pode causar nas observações de direções horizontais e verticais em termos de refração atmosférica, efetuaram-se alguns experimentos no Laboratório de Aferição do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

Esta refração é muito comum em levantamentos industriais, onde muitas vezes depara-se com o problema de monitoramento de produtos, deslocamentos, vibrações, etc, com instrumentos e alvos topográficos colocados próximos a máquinas e equipamentos em funcionamento, e que geralmente emitem calor.

2 Instrumentos, Método e Observações Realizadas

Os testes efetivados no Laboratório de Aferição utilizaram o sistema μ DAS ST3 o qual consiste de quatro sensores eletrônicos que permitem medidas de temperatura. Inicialmente, estes sensores foram calibrados, comparando seus resultados com o de termômetros padrões cuja precisão é de 0,1°C.

A seguir, dois sensores foram fixados em uma mira centimétrica de nivelamento geométrico. Um dos sensores foi colocado na marcação correspondente a 0,50m e outro na 2,50m, tornando possível a determinação de um gradiente vertical de temperatura por medição direta da temperatura em alturas diferentes e conhecidas. Gradientes horizontais foram obtidos através de deslocamentos do conjunto em vários pontos da sala do laboratório, conforme foi esquematizado na figura 1. Um terceiro sensor foi colocado no centro geométrico do laboratório ponto 5, a altura de 1,50m do piso, tornando possível o monitoramento contínuo da temperatura numa posição fixa.

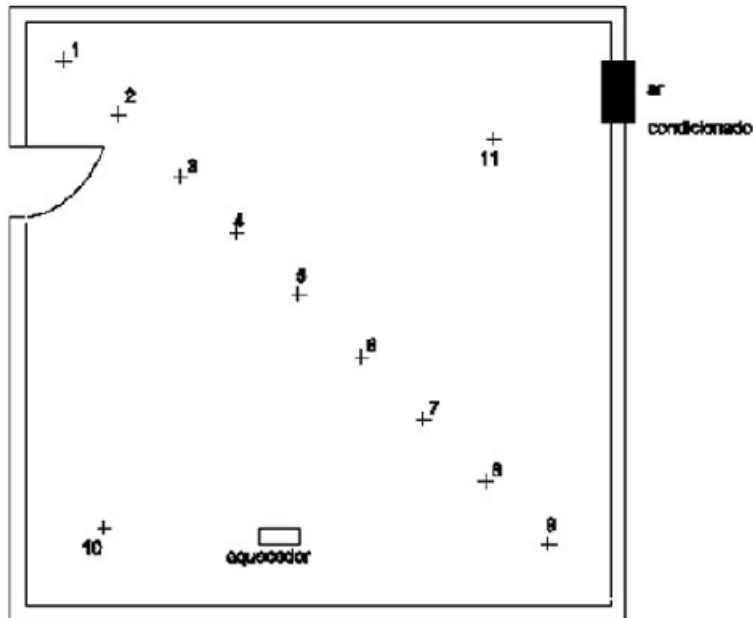


Figura 1 : Planta do Laboratório de Aferição evidenciando os pontos ocupados com os sensores de temperatura.

Um primeiro experimento consistiu em se fixar os três sensores no ponto 5, monitorando-se continuamente a temperatura durante 36h. Os resultados deste experimento podem ser visualizados no gráfico 1. Nota-se ao examinar este gráfico, que há estabilidade térmica do ambiente. Explica-se este fato em função de que este laboratório é isolado termicamente através do uso de placas de isopor fixadas em suas paredes e portas. Acontecem dois picos de temperatura: um quando da saída dos operadores da sala após ser ligado o sistema de aquisição e outro no retorno dos mesmos no final do período para a descarga dos dados em microcomputador.

No gráfico 1 o afastamento das duas curvas mostra que a temperatura a 2,50m de altura do piso é maior que a 0,50m deste, como as curvas deslocam-se aproximadamente em paralelo, observa-se a tendência a manutenção de um pequeno gradiente cujo valor é da ordem de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/m}$, para $0,05^{\circ}\text{C}$ em 36h.

Após a estabilização referida acima, retornou-se ao laboratório, com a perturbação térmica somente do operador, mediu-se o gradiente durante 5min em cada ponto da sala indicado na figura 1, obtendo-se o gráfico 2. Nota-se que a presença do observador gera pequenas variações no gradiente vertical ao longo de toda sala variando de $0,2^{\circ}\text{C/m}$ a $0,3^{\circ}\text{C/m}$.

Um novo experimento consistiu em desligar-se o condicionador de ar e ligar-se um aquecedor elétrico posicionado na sala (figura 1), estudando-se a disseminação desse calor anômalo durante algumas horas. Pode-se notar no gráfico 3, suas conseqüências com variações mais pronunciadas do gradiente vertical ao longo da sala, sendo maiores nas proximidades da fonte.

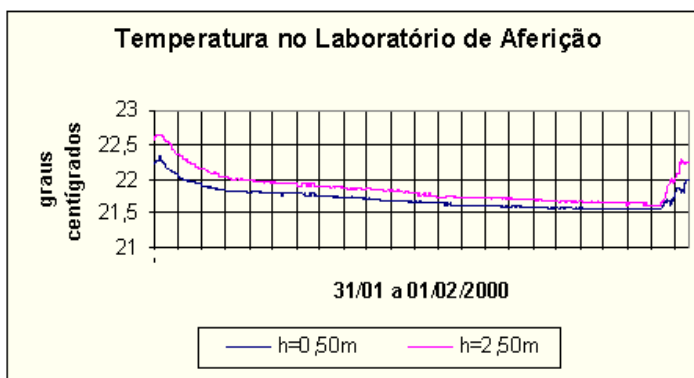


Gráfico 1 : Variação da temperatura em 36h de monitoramento no Laboratório de Aferição.

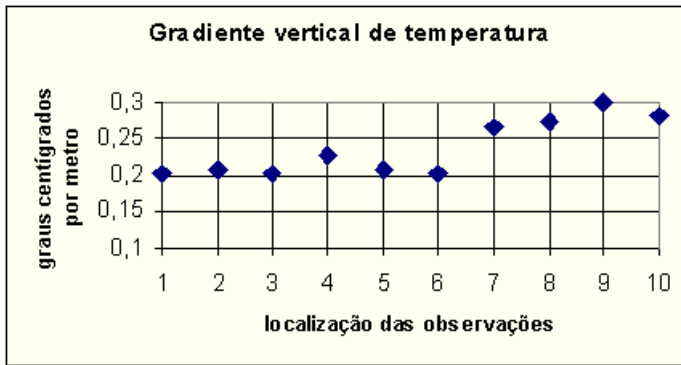


Gráfico 2 : Variação do gradiente vertical de temperatura no Laboratório de Aferição climatizado.

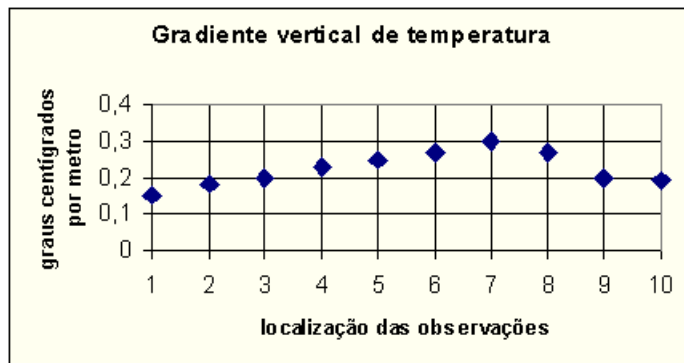


Gráfico 3 : Variação do gradiente vertical de temperatura no Laboratório de Aferição com fonte anômala de calor.

É possível inferir uma relação direta entre o aumento da temperatura e o aumento da refração que causa uma diminuição no valor da direção vertical como mostra o gráfico. O sentido da refração lateral exige um estudo completo de distribuição e transmissão de calor no ambiente.

3 Análise dos Resultados

A refração atmosférica é bem estabelecida, através de um modelo de atmosfera baseado em camadas concêntricas, cujo resultado pode ser representado pela fórmula de Laplace (*Chauvenet, 1876*):

$$R = \alpha_0 (1 - \beta_0) \text{tg } z_0 - 0,5 \alpha_0 (\beta_0 - \alpha_0) \text{tg}^3 z_0 \quad (1)$$

onde os valores de α_0 e β_0 são calculados segundo as expressões:

$$[\alpha_0]_{T,P} = [\alpha_0]_{0,760} \frac{P}{760} \cdot \frac{273}{273 + T} \quad (2)$$

$$e, \quad [\beta_0]_{T,P} = [\beta_0]_0 \frac{273 + T}{273} \quad (3)$$

onde, P é a pressão atmosférica em mm de Hg, T é a temperatura em °C.

Nas condições normais de temperatura e pressão CNTP (T= 0° C e P= 760 mm Hg), e para um comprimento de onda da luz igual a $\lambda = 5750 \text{ \AA}$, o índice de refração do ar tem por valor:

$$[n]_{0,760} = 1,00029255$$

que resulta nos coeficientes:

$$[\alpha_0]_{0,760} = 0,00029255 \text{ rd}$$

e,

$$[\beta_0]_0 = 0,001254 \text{ rd}$$

Nas expressões acima, os valores da temperatura e pressão são considerados como tomados em uma atmosfera "seca". Para que α_0 e β_0 sejam representativos é necessário que a pressão lida no barômetro, que é exercida por uma atmosfera de composição mista, a qual inclui a contribuição devida ao vapor d'água (bastante significativa) seja corrigida deste fator. Torna-se necessário a medida de temperatura com psicrômetros cujos termômetros possuem bulbos seco e úmido, permitindo o cálculo da temperatura de saturação do ar, e a conseqüente temperatura do vapor d'água da atmosfera. A pressão medida pode então ser reduzida a uma pressão representativa de uma atmosfera sem aquela contribuição.

Na modulação da pressão atmosférica, o maior problema que aparece é o oriundo das anomalias locais de atmosfera, devido a poeira, fumaça, vento, proximidade do observador da objetiva, gradiente térmico devido a irradiação do corpo humano, e outros que dificilmente podem ser modelados. O limite de precisão em observações ópticas na astrometria é estimado em 0,15", devido a estas anomalias.

A refração lateral é particularmente significativa quando o instrumento ou a linha de visada estão próximas a fontes de irradiação de calor. Um exemplo deste fato ocorre em cidades onde as linhas de visadas estão próximas a paredes expostas ao Sol. O erro neste caso na medida de ângulos pode chegar a segundos de arco (Chrzanowski, 1977).

A refração lateral pode ser explicada pelas diferenças horizontais da temperatura do ar, que fazem o raio visual tender a se aproximar da fonte de calor. Este efeito é na verdade a maior fonte de erros nas medidas de direções horizontais com instrumentos topográficos. Assumindo-se um gradiente horizontal (dT/dx) uniforme o qual persiste ao longo de toda a visada de comprimento S, o ângulo γ da refração lateral poderá ser calculado pela expressão:

$$\gamma'' = 8,0'' \frac{P S}{T^2} \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

onde, P é a pressão barométrica em mbar, T é a temperatura em ° K e dT/dx é medido ortogonalmente a linha de visada.

$$T = 273,15 + t \text{ ° C} \quad (5)$$

Um gradiente de 0,001 ° C/m que persiste numa visada de 10km, causará uma refração lateral de 0,9".

A refração atmosférica também influencia a velocidade de propagação da onda eletromagnética, sendo portanto, uma correção necessária às medidas eletrônicas de distância.

Para se obter uma propagação da variação de temperatura na refração atmosférica, a qual deve ser somada a distância zenital observada, derivou-se a fórmula de Laplace (expressão 1) em relação à temperatura, resultando em:

$$\partial R = -\alpha_{0,760} \frac{P}{760} \frac{273}{(273+T)^2} \partial T - \alpha_{0,760}^2 \frac{P^2}{760^2} \frac{273^2}{(273+T)^3} \partial T$$

Supondo-se que o raio óptico irá atravessar todas as camadas da atmosfera terrestre; tendo-se em conta que as direções verticais normalmente utilizadas na topografia tem valor muito próximo a 90°, adotando-se a temperatura e pressão atmosférica média de Curitiba, tem-se como exemplo: uma distância zenital de 89°, uma temperatura de 22o C e pressão atmosférica 685 mmHg, supondo-se uma variação de temperatura de

1o C, resultaria uma variação de refração de $-17,6''$.

Similarmente, para a refração atmosférica horizontal, obteve-se a seguinte equação:

$$\partial y = -8'' \frac{P.S}{(273+T)^4} \frac{\Delta T}{\Delta X} \partial T$$

Nota-se que a partir das expressões acima pode-se modelar a variação da refração em função da variação da temperatura. Expressões similares podem ser obtidas para a pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Para um estudo aprofundado no tema sugere-se *Brunner (1984)*.

Procedeu-se, durante o reaquecimento do ambiente, medições de direções horizontais e verticais em dupla posição da luneta a alvos posicionados próximo à fonte, do instante das observações e das temperaturas na estação total e no alvo. O instrumento utilizado foi a estação total TC2002, os resultados são apresentados no gráfico 4 da seguinte forma: no eixo dos y representou-se o afastamento da média de uma direção observada (considerando a posição direta e invertida da luneta) em relação a média da primeira direção observada. No eixo dos x o instante correspondente a média da observação contado continuamente desde a inicial. A temperatura observada correspondente aos instantes acima, também é mostrada no gráfico 5.

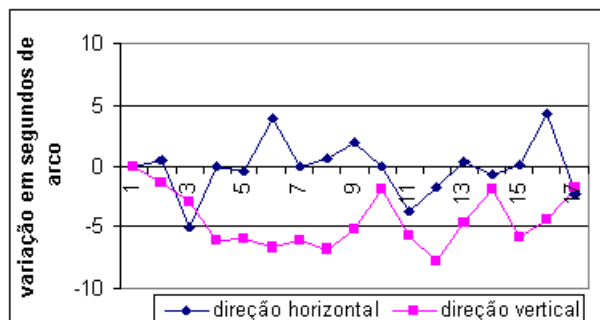


Gráfico 4 : Variação de uma direção horizontal e uma direção vertical em função da variação de temperatura.

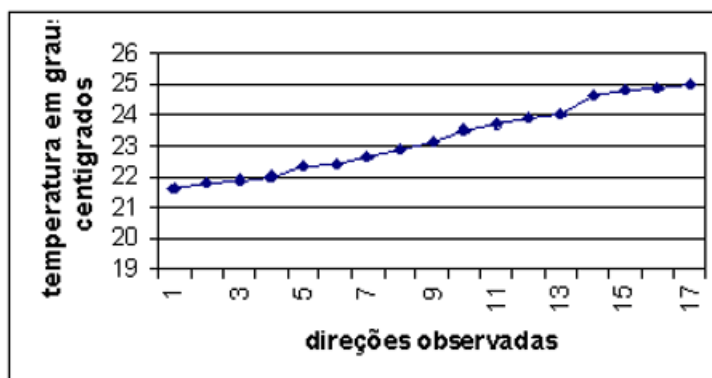


Gráfico 5 : Variação da temperatura induzida pela fonte anômola nas proximidades da estação total.

4 Conclusões e Recomendações

Os resultados nos demonstram a necessidade de se obter dados ambientais durante as observações de precisão, principalmente os referentes a temperatura do ar, a pressão atmosférica.

Pode-se demonstrar, que muitos equipamentos colocados em ambientes climatizados, também podem apresentar erros devido a pequenas variações de temperatura.

A refração atmosférica deve ser levada em conta nos trabalhos de precisão, principalmente nas observações de direções tanto horizontais como verticais.

5 Referência Bibliográfica

BRUNNER, F.K. Geodetic Refraction. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1984.

CHAUVENET, W. Manual of Spherical and Practical Astronomy. Philadelphia: J.B. Lippincott & Co. London: Trübner & Co. vol. I., 1876.

CHRZANOWSKI, A. Design and error analysis of surveying Projects. *Select Papers and lecture notes*. University of New Brunswick. 1977.60p.

NADAL C.A. Método da interseção óptica tridimensional aplicado à Engenharia de Precisão. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPr. Curitiba, 2000. 121p.