



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

EMYDIO SILINGOVSKI JUNIOR

**ANÁLISE DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA DO SOLO E  
CONDIÇÕES DE ENTORNO EM LONDRINA, PARANÁ**

---

LONDRINA  
2006

EMYDIO SILINGOVSKI JÚNIOR

**ANÁLISE DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA DO SOLO E  
CONDIÇÕES DE ENTORNO EM LONDRINA, PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Miriam Jerônimo Barbosa.

Londrina - PR

2006

EMYDIO SILINGOVSKI JÚNIOR

**ANÁLISE DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA DO SOLO E CONDIÇÕES DE  
ENTORNO EM LONDRINA, PARANÁ.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr<sup>a</sup> Miriam Jeronimo Barbosa  
Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Deise Fabiana Ely  
Componente da Banca  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof. Dr. Paulo Henrique Caramori  
Componente da Banca  
Instituto Agrônomo do Paraná

Londrina, 22 de dezembro de 2006.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha orientadora pela constante orientação neste trabalho e sobretudo pela sua amizade.

À equipe de trabalho do setor de agrometeorologia do IAPAR da cidade de Londrina, pela ajuda no fornecimento de dados climáticos de Londrina e disponibilização de equipamentos para monitoramento.

À minha esposa e filhos pela compreensão e apoio.

Ao Departamento de Geografia da UEL, pelo empréstimo de mini-abrigos.

Ao Instituto Tecnológico SIMEPAR , à INFRAERO e EMBRAPA Soja, da cidade de Londrina pela sessão de dados climáticos.

SILINGOVSKI JUNIOR, Emydio. **Análise da temperatura em função das características da cobertura do solo e condições de entorno em Londrina, Paraná.** 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

## RESUMO

Neste trabalho, buscou-se evidenciar as influências que os tipos de coberturas do solo (grama, palha, solo nu, concreto e asfalto) e as condições de entorno (edificações, vegetação e topografia do terreno) provocam na temperatura do ar próxima destes. Ao fazer o monitoramento buscando-se porções homogêneas de solo e entorno, e isolando-se outras variáveis que pudessem interferir no experimento como: nebulosidade, precipitação e grandes passagens de massas de ar polar, foi possível visualizar e diagnosticar os fatores que mais influenciam na variabilidade da temperatura do ar e do solo. A base do experimento consistiu em primeiramente fazer a calibração dos instrumentos utilizados, tanto os de uso móvel, quanto os fixos, estes instalados em estações meteorológicas oficiais (SIMEPAR, IAPAR, AEROPORTO E EMBRAPA) na cidade de Londrina. Após a aferição instalou-se dentro de mini-abrigos meteorológicos, registradores eletrônicos de temperatura que ficaram à altura de 150 cm e 20 cm acima do solo e a 2 cm abaixo da superfície do solo. Para complementar este estudo foram feitas análises gráficas e estatísticas de uma série temporal de temperaturas do ar e solo de 30 e 25 anos, respectivamente. Em âmbito geral, este estudo possibilitou a identificação dos fatores que provocam grandes alterações na marcha da temperatura diária em nível de microclima, topoclima e mesoclima, sendo estes: a coloração das superfícies, a capacidade térmica do solo com diferentes tipos de coberturas, a sazonalidade da inclinação do sol e as influências das condições de entorno. Foi possível verificar com base na análise estatística da série temporal, que existe para o mês de dezembro e junho tendência de elevação de temperaturas máximas e mínimas, respectivamente.

**Palavras-chave:** Temperatura. Climatologia. Dados climáticos. Clima urbano. Microclimatologia.

SILINGOVSKI JUNIOR, Emydio. **Analysis of temperature in function of the soil covering characteristics and surrounding conditions of Londrina's city, PR, Brazil.** 2006. 102 p. Dissertation (Master's Course in Building and Sanitation Engineering) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2006.

### **ABSTRACT**

This study had the purpose of putting in evidence the influences the kinds of soil covering (grass, straw, soil, concrete and pavement) and the surrounding conditions (buildings, vegetation and the land topography) cause on the air temperature next to it. By looking for homogeneous portions of soil and surrounding, while monitoring, and by isolating other variables that could interfere on the experiment, such as foggy conditions, precipitation and huge passages of polar air, it was possible to visualize and diagnose the facts that most influence the air and soil temperature changes. The base of the experiment was firstly consisted in calibrating the sensors used, both in the mobile and fixed ones, all of them fixed on the official meteorological stations (SIMEPAR, IAPAR, AIRPORT AND EMBRAPA) in Londrina. After the calibration, electronic temperature registers were installed in meteorological mini-shelters, which were at the height of 150cm and 20cm above the soil and 2cm below the soil surface. Furthermore, a temporal series of air, 30 year soil and 25 year soil temperature were analyzed graphically and statistically. In general, this study made possible to identify the factors that cause great changes on the daily temperature on micro-climate, top climate and meson-climate levels, such as: the color of the surface, the thermal capacity of soil with different types of covers, seasonality of the sun declination and the influences of the surrounding conditions. Based on the statistical analysis of the temporal series, it was possible to verify that there is a high tendency of increasing the maximum and minimum temperatures, respectively, in December and in July.

**Key words:** Temperature. Climatology. Climate data. Urban climate. Micro-climatology.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Movimento das massas de ar polar na América do Sul.....	18
<b>Figura 2</b> - Trajetória das massas de ar tropicais.....	19
<b>Figura 3</b> - Distribuição da população brasileira no ano 2000.....	22
<b>Figura 4</b> - Trajetória solar para a latitude da cidade de Londrina.....	25
<b>Figura 5</b> - Balanço de radiação.....	25
<b>Figura 6</b> - Distribuição da temperatura em diversos sítios.....	27
<b>Figura 7</b> - Albedos gerados pelas várias colorações e as porcentagens refletidas para diferentes comprimentos de ondas.....	36
<b>Figura 8</b> - Comportamento das trocas de calor em um ambiente construído.....	36
<b>Figura 9</b> - Parcela de ar instável.....	37
<b>Figura 10</b> - Parcela de ar estável.....	38
<b>Figura 11</b> - Direção do fluxo dos ventos durante o dia e, em vermelho, o fluxo dos ventos durante a noite em azul.....	39
<b>Figura 12</b> - Formação de um enorme redemoinho em solo de coloração escura devido aos resíduos de uma queimada.....	40
<b>Figura 13</b> - Aparência do erro de alinhamento em duas situações idênticas.....	48
<b>Figura 14</b> - Estimativa do erro máximo de leitura visual numa escala. Duas linhas divisórias imaginárias aparecem tracejadas, definindo o máximo intervalo possível de erro visual.....	48
<b>Figura 15</b> - Desenvolvimento urbano da cidade de Londrina.....	54
<b>Figura 16</b> - Posição geográfica do estado do Paraná e do Município de Londrina.....	56
<b>Figura 17</b> - Município de Londrina, sua divisão distrital e municípios limítrofes.....	56
<b>Figura 18</b> - Termômetro infravermelho da RAITEK.....	60
<b>Figura 19</b> - Disposição dos equipamentos utilizados para a realização da calibração.....	61
<b>Figura 20</b> - Posicionamento dos mini-abrigos.....	62
<b>Figura 21</b> - Composição de Imagem NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) de 02/12/2001 da cidade de Londrina, PR.....	64
<b>Figura 22</b> - Imagem termal do Landsat 7 de 02/12/2001 às 09:45 (horário local), convertida para temperatura.....	65
<b>Figura 23</b> - Marcha da temperatura e pressão no período 25/11/2001 a 05/12/2001.....	66
<b>Figura 24</b> - A quantidade no período 25/11/2001 a 05/12/2001.....	66
<b>Figura 25</b> - Temperatura do ar para o horário das 09, 15 e 21 horas local para o mês de Dezembro de 2001.....	67
<b>Figura 26</b> - Imagem termal do Landsat 7 de (08/03/2002 às 09:45 horário local) convertida para temperatura.....	67
<b>Figura 27</b> - Marcha da temperatura e pressão no período 03/03/2002 a 12/03/2002.....	68
<b>Figura 28</b> - A quantidade no período 07/03/2002 a 08/03/2002.....	69
<b>Figura 29</b> - Temperatura do ar nos horários das 09, 15 e 21 horas (horário local), no mês de Março de 2002.....	69
<b>Figura 30</b> - Marcha da temperatura dos instrumentos durante a calibração.....	71
<b>Figura 31</b> - Valores de temperaturas com médias de uma hora.....	72

<b>Figura 32</b> - Marcha da temperatura do instrumento da estação móvel de aferição e da estação automática do SIMEPAR, entre os dias 26/04 às 17:00h. e o dia 27/04 às 14:00h., comparando com a estação AWOS do Aeroporto .....	73
<b>Figura 33</b> - Detalhes do mini-abrigo meteorológico utilizado em algumas ocasiões. ....	73
<b>Figura 34</b> - Trajetória das curvas de temperatura médias de uma hora para os registradores HMC, HOBO e da estação do SIMEPAR , entre os dias 26/04 à 27/04/2006 .....	74
<b>Figura 35</b> - Variação das temperaturas do dia 13/09 ao dia 14/09/2006 no sítio do IAPAR com os mini-abrigos da cor branca, cinza metalizado e a estação automática do SIMEPAR .....	74
<b>Figura 36</b> - Temperaturas corrigidas dos mini-abrigos cinza metalizado colocados no sítio do SIMEPAR.....	75
<b>Figura 37</b> - Valores coletados no sítio da Infraero entre 28/05/2006 a 30/05/2006.....	76
<b>Figura 38</b> - Comparação entre o instrumento padrão instalado e o instrumento da estação da Embrapa ( °C/hs).....	77
<b>Figura 39</b> - Valores obtidos na Embrapa e da estação automática da INFRAERO .....	77
<b>Figura 40</b> - Posicionamento dos equipamentos instalados no sítio meteorológico da Embrapa.....	78
<b>Figura 41</b> - Temperatura de globo a 150cm e temperatura do ar a 150 cm nos dias 12 a 16 de julho de 2006.....	79
<b>Figura 42</b> - Distribuição da temperatura do solo a 2cm de profundidade, a 20cm de altura do solo e a 150cm de altura do solo ( cobertura de grama) nos dias 12 a 16 de julho de 2006.....	80
<b>Figura 43</b> - Temperatura em função da altitude para a cidade de Londrina (570 metros) .....	81
<b>Figura 44</b> - Distribuição da temperatura do solo a 2cm de profundidade, a 20cm de altura do solo e a 150cm de altura do solo (solo nu) nos dias 12 a 16 de julho de 2006.....	82
<b>Figura 45</b> - Distribuição da temperatura do solo a 2cm de profundidade (TSOLO_P), a 20cm de altura do solo (TAR_P) e a 150cm de altura do solo com cobertura morta (AR).....	83
<b>Figura 46</b> - Temperatura do ar a 20cm e a 150cm de altura do solo .....	84
<b>Figura 47</b> - Temperaturas a 2cm de profundidade do solo e temperatura do ar a 150cm de altura.....	85
<b>Figura 48</b> - Disposição dos instrumentos no pátio de estacionamento de aeronaves.....	86
<b>Figura 49</b> - Temperatura do ar sobre uma superfície de concreto (pátio de estacionamento de aeronaves do aeroporto de Londrina) entre os dias 30/04/2006 a 01/05/2006 .....	86
<b>Figura 50</b> - Temperatura do ar sobre uma superfície de asfalto no período de 08/05/2006 a 10/05/2006.....	87
<b>Figura 51</b> - Variação média da temperatura do ar para os horários das 12, 18 e 00 UTC e temperaturas máximas e mínimas para o período de 26 anos (1980 a 2005). ....	88

<b>Figura 52</b> - Média de 26 anos (1980 a 2005) para variação anual da temperatura do solo a 2cm de profundidade para cobertura morta (palha), grama, solo nu e a temperatura do ar a 150cm às 18 UTC. ....	89
<b>Figura 53</b> - Média de 26 anos (1980 a 2005) para variação anual da temperatura do solo a 2 cm de profundidade para cobertura morta (palha), grama, solo nu e a temperatura do ar, a 150cm, às 12 UTC. ....	90
<b>Figura 54</b> - Série de temperaturas máximas dos meses de Dezembro do período 1976 a 2005 .....	92
<b>Figura 55</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de Dezembro do período 1976 a 2005 .....	92
<b>Figura 56</b> - Série de temperaturas máximas dos meses de janeiro do período 1976 a 2005. ....	93
<b>Figura 57</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de Janeiro do período 1976 a 2005 .....	93
<b>Figura 58</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de fevereiro do período 1976 a 2005 .....	94
<b>Figura 59</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de fevereiro do período 1976 a 2005 .....	94
<b>Figura 60</b> - Série de temperaturas máximas dos meses de Junho do período 1976 a 2005 .....	95
<b>Figura 61</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de junho do período 1976 a 2005 .....	95
<b>Figura 62</b> - Série de temperaturas máximas dos meses de julho do período 1976 a 2005 .....	96
<b>Figura 63</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de julho do período 1976 a 2005 .....	96
<b>Figura 64</b> - Série de temperaturas máximas dos meses de agosto do período 1976 a 2005 .....	97
<b>Figura 65</b> - Série de temperaturas mínimas dos meses de agosto do período 1976 a 2005 .....	97

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) de materiais.....	29
<b>Tabela 2</b> - Temperatura do ar, superfície de asfalto, concreto e grama para horários próximos à passagem do satélite LandSat 7 em 15/03/2006. (termômetro infravermelho) .....	70
<b>Tabela 3</b> - Modelo matemático de regressão do tipo CÚBICA ( $Tar_{18UTC} = B_0 + B_1 * Ts_{2x} + B_2 * Ts_{2x}^2 + B_3 * Ts_{2x}^3$ ), sendo “x” a cobertura de palha, solo nu ou grama .....	89
<b>Tabela 4</b> - Modelo matemático de regressão do tipo cúbica ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 * Ts_{2x} + B_2 * Ts_{2x}^2 + B_3 * Ts_{2x}^3$ ), quadrática ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 * Ts_{2x} + B_2 * Ts_{2x}^2$ ), e exponencial ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 * EXP^{Ts_{2x}}$ ), sendo “x” a cobertura de palha, solo nu ou grama .....	91

## LISTA DE FÓRMULAS

<b>Equação 1</b> - Fórmula da média e desvio padrão para uma série de observações.....	51
<b>Equação 2</b> - Fórmula para o cálculo da temperatura radiante de superfície .....	62
<b>Equação 3</b> - Fórmula de conversão de imagem no formato NDVI .....	63
<b>Equação 4</b> - Equação ( $R=0,97$ ) de ajuste da curva da temperatura do mini-abrigo cinza para o mini-abrigo branco.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWOS	AUTOMATIC WEATHER OPERATION SYSTEM
CPTEC	CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
GMT	HORÁRIO REFERENTE AO FUSO DO MERIDIANO DE GREWNCH
IAPAR	INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INFRAERO	EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
INPE	INSTITUTO NACIONAL DE ATIVIDADES ESPACIAIS
MMA	MANUAL DO COMANDO DA AERONÁUTICA
OMM	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA
SIMEPAR	SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ
UTC	UNIVERSAL TIME COORDINATED

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 MICROCLIMA, CLIMA LOCAL, MESOCLIMA E MACROCLIMA.....	16
2.2 CIRCULAÇÃO DO AR.....	17
2.3 FATORES DETERMINANTES NA FORMAÇÃO DO CLIMA LOCAL .....	21
2.4 O CLIMA, A POPULAÇÃO E A URBANIZAÇÃO .....	21
2.5 A CIDADE INTERFERINDO NO CLIMA.....	22
<b>2.6 O HOMEM E AS CONDIÇÕES DO CLIMA</b> .....	23
2.7 BALANÇO DE ENERGIA NA ATMOSFERA.....	24
2.8 FONTES DE OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS .....	25
2.9 CONDIÇÕES DE ENTORNO E VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA.....	27
2.10 DECLIVIDADES DE VERTENTES DO RELEVO .....	34
2.11 ORIENTAÇÃO DE VERTENTES DO RELEVO .....	34
2.12 ALBEDO E TROCAS TÉRMICAS.....	35
2.13 EQUILÍBRIO DA ATMOSFERA.....	37
2.14 INTERFERÊNCIA DA TOPOGRAFIA.....	38
2.15 TEMPERATURA DO AR E DE SUPERFÍCIE DO SOLO .....	39
2.16 IMAGEM DE SATÉLITE E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO SOLO .....	41
2.17 BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA .....	42
2.18 ARQUIVOS CLIMÁTICOS .....	43
2.19 SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES .....	44
2.20 OS INSTRUMENTOS E OS ERROS DE MEDIÇÃO.....	45
2.21 VALOR ABSOLUTO DO ERRO MÁXIMO .....	46
2.22 ERROS SISTEMÁTICOS E ERROS ALEATÓRIOS .....	47
2.23 ERROS EM APARELHOS ELETRÔNICOS (DIGITAIS).....	49
2.24 COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES .....	50
2.25 PADRÕES PARA AFERIÇÃO .....	50
2.26 APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA NO CÁLCULO DO ERRO.....	50
2.27 CONSEQUÊNCIA DO ERRO NOS GRÁFICOS .....	51
2.28 ERROS INESPERADOS, DE DIGITAÇÃO E DE SEPARAÇÃO DE DECIMAIS.....	51

<b>3 A CIDADE DE LONDRINA</b> .....	53
3.1 DESCRIÇÃO .....	53
3.2 O PROGRESSO URBANO DE LONDRINA .....	53
3.3 POSIÇÃO GEOGRÁFICA.....	54
3.4 SOLO DO MUNICÍPIO DE LONDRINA.....	55
3.5 CLIMA DA CIDADE DE LONDRINA.....	57
<b>4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS</b> .....	59
4.1 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS OFICIAIS UTILIZADAS NESTE TRABALHO.....	59
4.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS USADOS E CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS PRESENTES NAS COLETAS DE DADOS .....	59
4.3 DADOS DE COLETAS DE CAMPO .....	61
4.4 TEMPERATURAS DO AR E SOLO PARA DIFERENTES COBERTURAS .....	61
4.5 TEMPERATURAS RADIANTES DE SUPERFÍCIE .....	62
4.6 SÉRIE DE DADOS DE TEMPERATURA DE 30 E 25 ANOS.....	63
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	64
5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM LONDRINA .....	64
5.2 TEMPERATURA RADIANTE DE SUPERFÍCIE.....	65
5.3 CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS.....	70
5.4 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTIO DO IAPAR .....	72
5.5 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTIO METEOROLÓGICO DA INFRAERO .....	76
5.6 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTIO METEOROLÓGICO DA EMBRAPA .....	77
5.7 TEMPERATURA DO AR A 150 CM DE ALTURA E TEMPERATURA DE GLOBO .....	79
5.8 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO PARA COM COBERTURA DE GRAMA .....	79
5.9 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO SEM COBERTURA (SOLO NU).....	81
5.10 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO COM COBERTURA MORTA (PALHA).....	82
5.11 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO COM COBERTURA DE CONCRETO .....	85
5.12 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO COM COBERTURA DE ASFALTO .....	87
5.13 SÉRIE DE TEMPERATURA DO AR E DO SOLO.....	88
5.14 TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DE 30 ANOS. ....	91
<b>CONCLUSÃO</b> .....	99
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	100

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos aprofundados e recentes para locais de diferentes características de relevo, vegetação, cobertura de solo, latitudes e outros, ou seja, em nível de microclima e clima local ainda são escassos e em geral são nestes níveis que existem as maiores variabilidades em relação aos elementos meteorológicos. Normalmente quando se fala em clima pensam-se imediatamente nos registros provindos de estações oficiais, que em geral servem muito bem para uso em nível de mesoclima e macroclima. Os microclimas e climas locais extremos podem gerar grandes prejuízos na agricultura e também podem ser causadores de desconforto térmico em uma edificação que foi concebida sem considerar este fator podendo, até mesmo, gerar aumento de consumo de energia pelo uso exagerado de sistemas condicionadores de ar. Atualmente a base de dados usada para simular o clima interno em edificações é extraída diretamente da manipulação e interpretação de dados meteorológicos de estações consideradas como oficiais, sem importar-se com as diferenças existentes no microclima local, onde a sua implantação será efetivada. Tendo em vista a identificação de variações elevadas de temperatura em ambientes urbanos, na forma de ilhas de calor conforme relatado por Lombardo (1985) e Carlo (2002) são necessários estudos do microclima como forma de reduzir o consumo de energia e aumentar o desempenho térmico de uma edificação a ser implantada. No decorrer deste trabalho pretende-se analisar as variações da temperatura do ar em função de diferentes condições de entorno (solo, pavimentação, vegetação, etc.). De acordo com Carlo (2002), a diferença entre os mesoclimas ou topoclimas (climas locais) de diferentes sítios, mesmo localizados em uma mesma cidade, é resultante das condições geomorfológicas (topografia e hidrologia); ocupação urbana (densidade, altura de edifícios e cobertura vegetal); uso da cidade por ações antropogênicas. As diferenças na paisagem dos sítios podem se refletir nos dados climáticos que irão intervir, juntamente com as demais variáveis de uma simulação termo-energética no desempenho de uma edificação e, por conseguinte, no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar. Assim, a simulação do desempenho térmico de uma edificação está vinculada à qualidade dos dados de entrada disponíveis, dentre estes, os dados climáticos.

Os locais onde se realizaram as coletas de dados foram selecionados com base nas revisões bibliográficas e com o auxílio de imagens de satélites, pela praticidade e ainda pelo fator segurança, já que os levantamentos de campo foram realizados utilizando-se equipamentos de custos elevados. Neste trabalho, que abrange foi efetivado na cidade de Londrina no estado do Paraná, discute-se a relação existente entre os valores de temperatura radiante de superfície e sua relação com a temperatura do ar, que ainda é um campo pouco explorado no meio científico. Pretende-se aqui contribuir com trabalhos que fazem uso de dados meteorológicos e freqüentemente os manipulam em seus estudos. Neste trabalho foram feitas aferições de dados de temperatura entre estações oficiais existentes na cidade de Londrina e verificou-se a qualidade deste e suas diferenças em função do microclima e topoclima, para uso em aplicações como: simulação de desempenho térmico em edificações, aplicações na agricultura, monitoramento de clima urbano e outros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MICROCLIMA, CLIMA LOCAL, MESOCLIMA E MACROCLIMA

Antes de iniciar-se este estudo é necessário evidenciar algumas definições como as que vêm a seguir. De acordo com YOSHINO (1975), "[...] o clima pode ser definido como um estado da atmosfera repetindo um ciclo anual em vários pontos sobre a superfície da terra".

A partir de um número elevado de observações pode-se inferir estatisticamente sobre o clima de uma determinada área. Em relação às dimensões da área em estudo ela será considerada microclima, quando variar de 1 centímetro até 100 metros quadrados, será clima local, se variar de 100 metros a uma ordem de até 10 quilômetros quadrados, mesoclima, se as dimensões forem na ordem de 1000 metros até 200 quilômetros e macroclima, quando abranger áreas de centenas de quilômetros quadrados. Existem várias evidências sobre as mudanças do clima ao nível global ou macroclima, mas são consideráveis também, as mudanças ocorridas em nível de clima local gerado por microclimas, YOSHINO (1975).

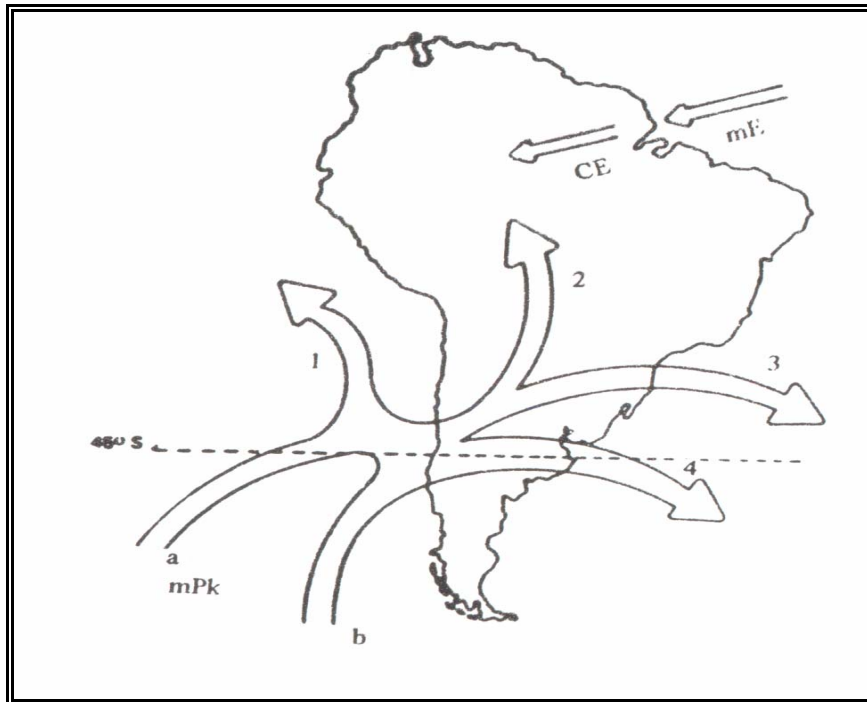
## 2.2 CIRCULAÇÃO DO AR

A circulação do ar na atmosfera desempenha um papel muito importante na formação do clima regional. A influência é maior em regiões de latitude médias e altas onde a variação sazonal da incidência da radiação solar provoca alterações no aquecimento do solo, que passa a transferir o calor adquirido para as camadas de ar superiores da atmosfera. A circulação do ar rege o movimento das massas de ar de diferentes características. Uma massa de ar vem a ser um enorme corpo de ar com características homogêneas de temperatura, pressão e umidade. O Brasil sofre a influência das massas de ar de origem Polar, Tropical e Equatorial. As massas de ar Polar e Tropical, quanto ao teor de umidade podem ser marítimas ou continentais e, quanto à temperatura, podem ser quentes ou frias. Já as massas de ar de origem Equatorial podem ser apenas marítimas e continentais, pois são sempre quentes. Em síntese, são três os elementos que promovem as alterações do clima: 1 – atmosfera geral, onde ocorre a mistura dos gases e sua circulação; 2 – a altitude, principalmente pelo efeito da variação dos gradientes verticais da atmosfera, que, devido ao distanciamento da superfície, gera um decréscimo da temperatura com o aumento da altitude; 3 – as variações de latitude, que são influenciadas pelas alterações na incidência da radiação solar (MASCARÓ, 1983).

Segundo Sonnemaker (2001), no Hemisfério Sul, devido a pequena porção de terra comparada ao oceano, entre as latitudes 40°S e a Antártica onde não há fonte de ar polar continental, as massas de ar frio que invadem o continente Sulamericano são sempre úmidas e não muito frias.

As rotas das massas de ar polar marítimo (figura 1) que invadem a América do Sul são duas: pelo oeste (a), mais freqüente, entrando com os ciclones (baixas pressões) movendo-se para nordeste e chegando à costa chilena (ao sul 45°S) e pelo sul ou sudoeste (b), quando existe um ciclone (Baixa Pressão) intenso entre as ilhas Malvinas e a Antártica.

**Figura 1** - Movimento das massas de ar polar na América do Sul



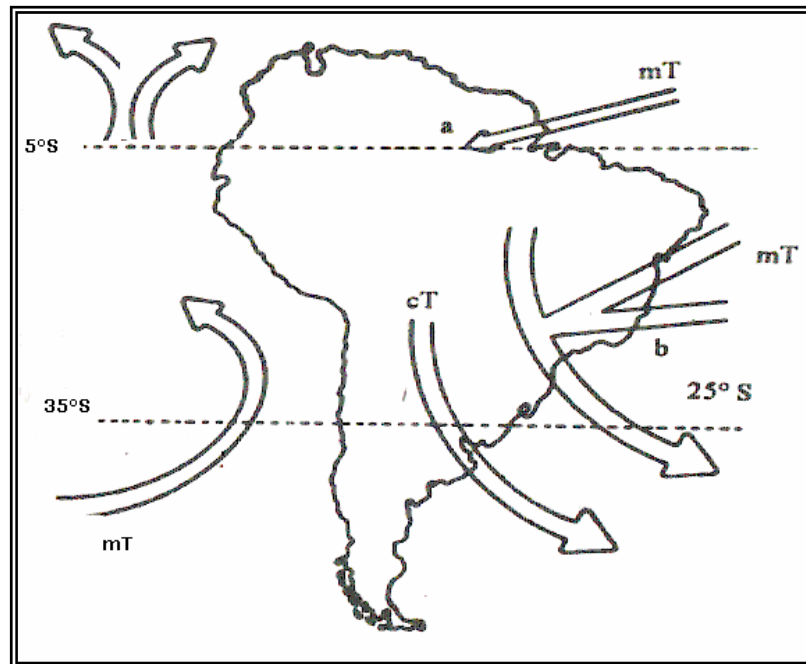
**Fonte** : Sonnemaker (2001)

Depois de alcançar o extremo sul do continente e encontrar com os Andes, tende a separar-se em duas ou mais rotas sendo que grande parte das massas cruza os Andes em sua zona meridional, onde o relevo é relativamente baixo (2, 3, 4). Outra parte se move lentamente para o norte ao longo da costa chilena (1), transformando-se em ar tropical marítimo.

A trajetória 2 pode avançar bastante dentro da faixa do Amazonas e algumas vezes atravessam o equador, também pode deslocar-se ao longo da trajetória (3) e alcançar o norte do Rio de Janeiro. As quantidades de umidade que contém o ar e sua temperatura dependem em grande parte se o deslocamento é feito sobre o oceano Atlântico ou sobre o continente.

No verão o ar polar marítimo entra no continente em latitudes mais altas que no inverno.

**Figura 2** - Trajetória das massas de ar tropicais



**Fonte** : Sonnemaker (2001)

O ar tropical marítimo (figura 2) vem a ser a massa de ar quente que predomina na América do Sul, entretanto, sua estabilidade e condições de tempo, varia muito de um lugar para outro, sendo que na parte do continente banhado pelo pacífico, o ar marítimo formado sobre o oceano é muito estável entre 5°S e 35°S. Nesta zona, uma forte inversão de temperatura, se acha abaixo de 1000 metros e o tempo, ao longo de toda a costa se caracteriza por stratus baixos, nevoeiros e chuvisco, durante quase todo o inverno.

Ao norte de mais ou menos 5°S (próximo a fronteira entre o Peru e equador), a circulação do ar muda bruscamente; a corrente marítima fria de Humboldt desaparece e se produz uma rápida diminuição na estabilidade. Dentro de uns 200 a 300 km o ar se torna instável e nessa curta distância o clima passa de árido a tropical chuvoso já, um pouco mais para o norte, ao longo das costas do Equador e Colômbia, abundantes chuvas caem quase diariamente.

Este ar tropical marítimo tem duas trajetórias principais: trajetória (a) onde depois de ter chegado ao interior, o ar se estanca ou se move lentamente sobre a bacia do rio Amazona e (b) chegando ao interior do Brasil pode bruscamente voltar para o sul, a este da Bolívia, Paraguai e Uruguai.

A diferença essencial entre as propriedades desta massa de ar no verão e inverno é a quantidade de umidade que contém. Durante o verão, a massa de ar é muito úmida e requer pouca elevação para produzir pancadas em qualquer parte ao longo de sua trajetória, sendo que no inverno requer uma elevação mais vigorosa para alcançar a instabilidade. A temperatura nesta massa de ar nesta época do ano é quase tão alta como durante o verão, porque o efeito de diminuição de nebulosidade compensa a diminuição de intensidade de radiação solar.

Ainda no inverno, as trovoadas e pancadas formam-se, principalmente, onde o ar tropical marítimo choca-se com o ar frio polar marítimo que se move para o sul, enquanto que no verão, o desenvolvimento diurno de cumulus ocorre dentro da mesma massa de ar.

As massas de ar adquirem características dependentes da superfície adjacente da região onde se forma, assim também tendem a ter suas propriedades alteradas por contato com outras superfícies adjacentes quando elas se movem para fora da origem.

O grau de modificação de uma massa de ar é dependente da velocidade com a qual ela se desloca sobre a superfície adjacente, da natureza da superfície e do contraste da temperatura entre a superfície e a massa de ar.

Quando uma massa de ar fria e seca move-se vagarosamente sobre uma porção quente de água, tanto a temperatura como a umidade da massa de ar aumentam também, tornando-se menos estável.

Estas mudanças ocorrem nas camadas mais baixas e assim que se tornam suficientemente instáveis, as correntes convectivas tendem a propagar essas modificações aos níveis mais altos e assim progressivamente.

### 2.3 FATORES DETERMINANTES NA FORMAÇÃO DO CLIMA LOCAL

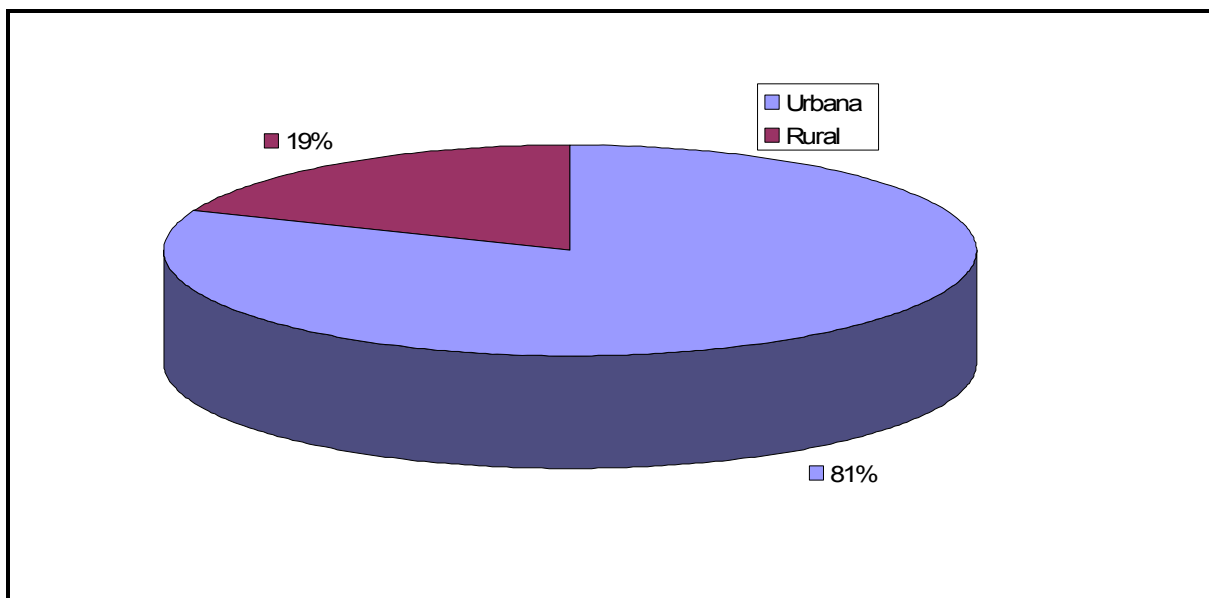
Segundo Lombardo (1985) e Geiger (1990), os fatores que provocam a diversidade dos micro-climas urbanos, são: posição e declividade das vertentes, altitude, tipo de cobertura do solo e concentração de edificações. Quanto à posição das vertentes, estas receberão maior quantidade de radiação solar quando posicionadas para o norte estando do hemisfério sul, aumentando a temperatura do solo ali presente. A declividade das vertentes relaciona-se com a inclinação do sol gerada pelo latitude, sendo que os planos que recebem os raios solares perpendicularmente terão maior aquecimento. A interferência da altitude relaciona-se com os gradientes verticais da atmosfera, que passam a ter maior ou menor estabilidade do ar em relação aos seus movimentos de convecção. O tipo de cobertura do solo, sejam estas: pavimentação (asfalto, concreto), vegetação (gramado, arborização), relaciona-se com a absorvância destes materiais, que irão reter mais radiação solar e assim elevar a temperatura da superfície onde encontram-se. A concentração de edificações interfere tanto no efeito de absorvância de seus materiais, quanto também no regime de circulação do ar nesta região.

### 2.4 O CLIMA, A POPULAÇÃO E A URBANIZAÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu acentuado crescimento das áreas metropolitanas, assim como, das industrializadas. Devido a este aumento, percebeu-se a necessidade de intensificarem-se os estudos sobre clima urbano, alertando sobre as evidências da alteração da atmosfera das cidades. O aumento significativo do crescimento da população nas últimas décadas, não só gerou modificações no clima das áreas urbanas, mas também nas áreas rurais, cujas paisagens se alteraram com a necessidade da expansão de áreas para cultivo e/ou para a criação de animais. Segundo Lombardo (1985) a partir de dados da ONU, em 1950 a média da população urbana para a América Latina era de 40.8% e 59.2% para a rural. Em 1980 era de 65.4% urbana e 34.6% rural. Projetava para 2025, 83.6% para a população urbana, mas de acordo com Monteiro (1990), dados já revelavam que mais de 80% da população estaria vivendo em área urbana, o que se

confirmou através dos dados do IBGE, no ano de 2000 a população brasileira estava distribuída conforme a figura 3.

**Figura 3** - Distribuição da população brasileira no ano 2000



Fonte: IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

## 2.5 A CIDADE INTERFERINDO NO CLIMA

A cidade é um grande modificador do clima. As atividades antrópicas, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças muito profundas na atmosfera local. A camada de ar próxima ao solo tende a ser mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais, devido às diferentes propriedades térmicas dos materiais empregados nas áreas urbanas. Neste ponto a elevação da temperatura é também mais rápida, em função da pequena inércia térmica proporcionada pelo calor latente das áreas com maior umidade. Onde existe falta de cobertura vegetal há um alto índice de impermeabilização do solo, as águas das chuvas não se infiltram no solo e o teor de umidade deste é baixo.

O regime de chuvas na região urbana é aumentado em consequência das partículas lançadas na atmosfera pelos carros e indústrias, que geram o aumento de núcleos higroscópios, um componente essencial e facilitador da

formação de nebulosidade. A nebulosidade gerada nas cidades é do tipo convectivo, devido à interferência do ambiente urbano no gradiente térmico vertical da atmosfera local.

A cidade possui formas complexas com seus prédios e ruas, que alteram a quantidade de calor absorvido no local, assim como a direção e a velocidade dos ventos pela alteração de áreas de pressões atmosféricas.

## 2.6 O HOMEM E AS CONDIÇÕES DO CLIMA

As variações climáticas podem afetar extremamente a produção agrícola, tanto trazendo enormes prejuízos para os produtores rurais, como também trazendo excelentes condições de plantio e colheita. O homem protegia-se das intempéries com o auxílio de vestimentas e abrigos. Hoje os abrigos são edificadas e climatizados, gerando controle sobre o clima interno, porém para isso existe um elevado consumo de energia, podendo ser estas de varias origens. No campo da arquitetura, a compreensão das variáveis que afetam o microclima e clima local<sup>1</sup> urbano tem se revelado de suma importância na análise para implantação de uma edificação, considerando que as oscilações do clima afetam diretamente o desempenho da edificação, tornando-a agradável ou não quando de sua ocupação.

De acordo com Lamberts, Dutra e Oliveira (1997), a economia de energia na edificação está relacionada ao conforto térmico que esta proporciona aos seus usuários. O uso de equipamentos condicionadores de ar é responsável por uma porcentagem expressiva de consumo de energia, para manter as temperaturas internas próximas dos valores considerados dentro dos limites de conforto para as atividades executadas em seus interiores (GIVONI, 1992). O nível de conforto interno em um ambiente edificado depende diretamente das variáveis climáticas do local onde a edificação está implantada.

A previsão e controle do clima gerado no interior de uma edificação dependem de fatores relacionados a mesma, tais como: materiais de construção, orientação e cor das fachadas, localização das aberturas (janelas) e esquema de ocupação dos usuários do ambiente interno. Além disto, existe também a relação de dependência com o microclima do entorno imediato e externo da edificação, sendo

---

<sup>1</sup> Também chamado de topoclima

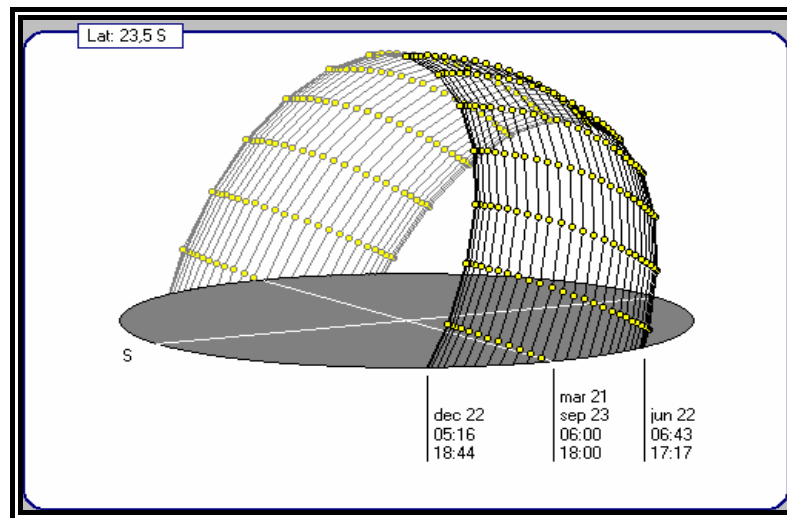
estes de relevante importância. Outro importante fator é a relação com as características do relevo, que devem ser consideradas, pois estas podem interferir bastante no desempenho da edificação.

## 2.7 BALANÇO DE ENERGIA NA ATMOSFERA

A Terra possui uma camada composta pelos seguintes gases: 78% de nitrogênio, 21% oxigênio, 1% de outros gases como ozônio, CO<sub>2</sub>, o vapor d'água e gás metano. Estes três últimos, segundo MENEGAT et al. (2004), possuem propriedades termo reguladoras da atmosfera. O vapor d'água absorve e reflete para o espaço e para a terra parte da radiação infravermelha gerada em seu interior pelos raios do espectro visível. O CO<sub>2</sub> também tem o papel de reter as radiações infravermelhas provindas da superfície da terra que tendem a serem enviadas para o espaço, mantendo a temperatura na atmosfera em níveis ideais para o desenvolvimento de seres vivos. O ozônio, como um escudo, tem a importante função de absorver na estratosfera os raios ultravioletas, radiações de comprimento de onda danoso devido ao seu poder de penetração na pele humana.

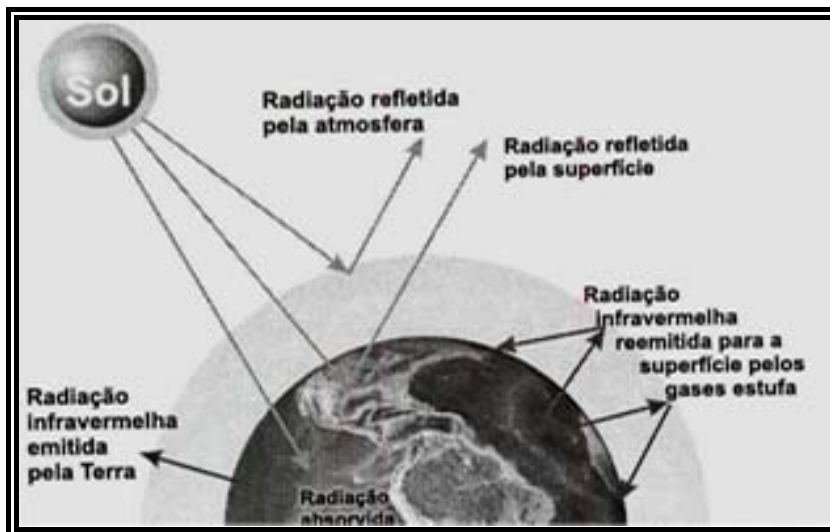
Os tipos de vegetação natural ou de reflorestamento, zoneamentos agrícolas, edificações, pavimentação da cobertura do solo e outras, em função de diferentes características térmicas de composição, absorvem ou refletem os comprimentos de onda que compõem o espectro solar incidente na superfície da Terra. O vapor d'água, em composição com núcleos higroscópios (impurezas), associado a temperaturas e gradientes térmicos verticais favoráveis, formam as nuvens. Segundo Lombardo (1985), as áreas urbanas, por gerarem maior quantidade de material particulado e gradiente térmico vertical convectivo, têm maior tendência à formação de nuvens e, por conseguinte, chuva. Os raios solares, ao chegarem à superfície, associados aos diferentes comportamentos térmicos da cobertura do solo fazem a temperatura do ar variar diária e sazonalmente, conforme o movimento solar.

**Figura 4** - Trajetória solar para a latitude da cidade de Londrina



Fonte: Sunpath – M. Roriz (2000)

**Figura 5** - Balanço de radiação



Fonte: MENEGAT, R., et al.. (2004).

## 2.8 FONTES DE OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

A Organização Mundial de Meteorologia (doravante OMM) é o organismo responsável ao nível mundial em normatizar as ações referentes à área de meteorologia. No Brasil quem representa a OMM é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que centraliza as informações das estações meteorológicas distribuídas ao nível nacional. Estas podem ser tanto oriundas do próprio INMET,

que possui sua rede de coleta de dados, como de órgãos específicos como a Marinha e a Aeronáutica. Outros órgãos ao nível Estadual e Municipal, assim como Centros de Pesquisas, fazem atuações isoladas e eventualmente disponibilizam e compartilham informações com o INMET. As informações intercambiadas em nível internacional são realizadas no padrão da OMM. Seu conteúdo varia, sendo uma síntese das informações meteorológicas das últimas três horas nas horas ímpares e de seis horas nas pares. O formato dessa informação é o do código SYNOP (MCA 105-10), e sua divulgação é feita às 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 horas (GMT). O modo de amostragem dos dados coletados pode variar, dependendo do tipo de equipamento disponível, ou pela falta de padronização entre as diversas redes de estações.

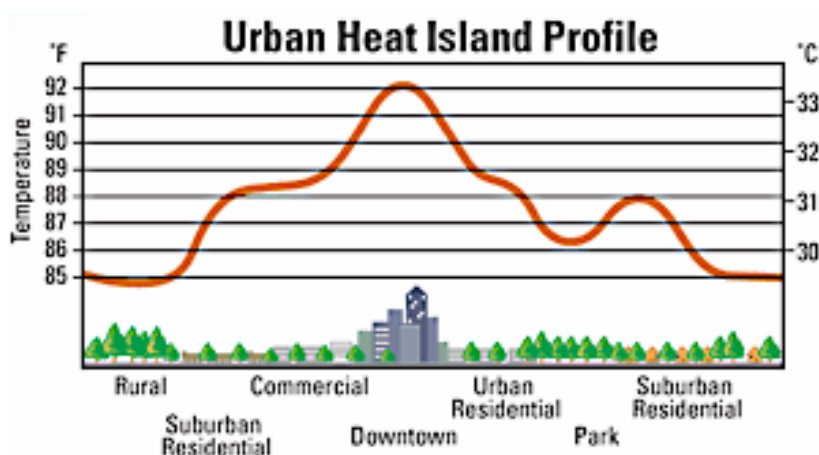
A cidade de Londrina, Paraná, por estar em uma região estratégica no ponto de vista de entrada de massas de ar, conta com cinco estações de monitoramento de dados climáticos. A do aeroporto de Londrina, operada pela Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária (INFRAERO), gera informações meteorológicas sinóticas a cada três horas, horárias e minuto a minuto, juntamente com uma estação de monitoramento de ar superior que fornece dados verticais da atmosfera na região. A estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é a mais urbana das estações, está rodeada de edificações, opera em alguns horários sinóticos (00, 12, 18 GMT). A estação do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) também opera em alguns horários sinóticos (00, 12, 18 GMT). A estação do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), que opera com dados horários, está localizada no mesmo sítio que a estação do IAPAR. A cidade conta ainda com a estação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que é a mais distante e com características predominantemente rurais.

Mendonça (1994) realizou importante trabalho na cidade de Londrina, onde integralizou questões referentes ao clima urbano fazendo analogia a cidades de médio e pequeno porte, abordando diversas variáveis meteorológicas e geomorfológicas que interferem na variação do clima, sendo seu estudo referência nesta área devido a sua abrangência.

## 2.9 CONDIÇÕES DE ENTORNO E VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA

As condições de entorno representam as principais características que delimitam certa área. Podem caracterizar-se pelo tipo de solo, vegetação, edificações que fazem parte do local e estas características interferem diretamente na variável temperatura do ar, umidade relativa e ganho de calor por radiação solar. O fenômeno “ilhas de calor” (heat island) atinge milhões de pessoas que vivem nas cidades. As diferenças de temperaturas, segundo Mendonça (1994) chegam a alcançar valores superiores a 10°C na cidade de Londrina, tomando como base valores de referência da estação meteorológica do IAPAR, que possui condições de entorno com características rurais. Este fenômeno vem causando, principalmente nos grandes centros urbanos, enorme desconforto bioclimático. Esta variação de temperatura interfere diretamente no consumo de energia para condicionamento de ar, que contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, dependendo da fonte de energia utilizada. A figura 6 mostra generalizadamente a distribuição das temperaturas entre a zona rural e a zona urbana, demonstrando como as temperaturas são tipicamente mais baixas na zona rural e nas zonas de menor densidade urbana, comparando-se com as áreas mais urbanizadas.

**Figura 6** - Distribuição da temperatura em diversos sítios



**Fonte:** <<http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html>>. Acesso em: 05 out. 2006.

A ilustração mostra como os parques, corpos de água, vegetação densa e escassez de edificações podem gerar áreas mais frescas. As ilhas de calor

são formadas na medida em que as cidades substituem a superfície de terra natural por pavimentação, edifícios e outras infra-estruturas. Estas mudanças contribuem para elevação das temperaturas urbanas de várias maneiras, seja pelo deslocamento das árvores e vegetação natural e/ou com a pavimentação do solo, diminuindo ou terminando por completo a evaporação da água do solo e/ou corpos d'água, que minimizam os efeitos de aquecimento pelo resfriamento evaporativo (evapotranspiração). As colorações do solo e vegetação estão diretamente relacionadas ao aquecimento das superfícies. Em uma área urbana, os edifícios altos, as edificações fabricadas com materiais de elevada atividade térmica, as cores das fachadas das edificações, as ruas asfaltadas e as cores dos telhados geram o aquecimento do ar pelo aumento da absorção de radiação solar, elevando sua temperatura, aliado ainda à redução da circulação de ar provocada pelas obstruções. A tabela 1 apresenta dados térmicos de materiais comumente aplicados na construção de edifícios. O calor liberado pelos escapamentos dos veículos, pelas chaminés das fábricas e dos condicionadores de ar contribui para agravar os efeitos do fenômeno da ilha de calor urbano.

**Tabela 1** - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais.

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Cimento-amianto</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes ~750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
Com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
Sem finos	1000-1200	0,35	1,00

**Tabela 2** - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais.

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> ,	1600-1800	1,05	1,00
$\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 Kg/m <sup>3</sup> ,	800-1000	0,33	1,00
$\rho$ dos inertes < 350 Kg/m <sup>3</sup>	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite	600-800	0,31	1,00
expandida fabricada em obra	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
Projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agragado leve (vermiculita ou perlita expandida)	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:1	500-700	0,25	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2			

**Tabela 3** - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais.

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
Areia (10% de umidade)	1500	0,93	
Areia (20% de umidade)	1500	1,33	
Areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
Asfalto	1600	0,43	0,92
Asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno expandido	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano extrudado	30-40	0,030	1,67

**Tabela 4 -** Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais.

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
Aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38

**Tabela 5** - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais.

<b>Material</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>
<b>Pedras</b> (incluindo junta de assentamento)			
granito, gnaisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcáreos/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
chapa de vidro comum	2700	1,10	0,84

**Fonte:** Lamberts. R. (1998)

## 2.10 DECLIVIDADES DE VERTENTES DO RELEVO

A variação da inclinação das vertentes do relevo de um determinado local associada à variação altimétrica e orientação do mesmo, importante papel na distribuição da energia calorífico-luminosa das mesmas. A este respeito Geiger (1990) assinalou que "o clima das encostas, ou clima das exposições destas, é determinado em primeiro lugar pelo fato de as superfícies inclinadas receberem, da radiação solar direta, mais ou menos calor do que a superfície horizontal".

O fluxo de radiação que afeta uma vertente bastante inclinada e posicionada em direção norte, em área subtropical austral, será bem mais intenso do que de uma outra, com a mesma inclinação e no mesmo local, posicionada em direção sul. Do mesmo modo, o sombreamento de edifícios e árvores, dentre outros, será muito mais expressivo em áreas planas que naquelas inclinadas e voltadas para norte no mesmo local. Este importante fator topo-microclimático pode ser identificado a partir da elaboração de uma carta clinográfica ou de classes de declividades do relevo. Existem diferentes formas para sua elaboração, destacando-se a proposta de De Biasi (1990), que além de apresentar um meio para sua elaboração, propõe a definição de diferentes classes de declividades em graus e percentagens, segundo aspectos da legislação ambiental brasileira.

A área urbana do município de Londrina apresenta-se com declividades mais acentuadas na sua porção sul; a parte mais urbanizada dispõe-se nos espigões, em áreas com declividades menos acentuadas (entre 0 e 10%). As declividades do relevo do sítio urbano londrinense acentuam-se, principalmente, nas proximidades dos cursos hídricos, onde chega a atingir, em alguns casos, em torno de 30%.

## 2.11 ORIENTAÇÃO DE VERTENTES DO RELEVO

A disposição das faces das vertentes do relevo pode influenciar de maneira direta na formação de topoclimas ou microclimas pois, dependendo da mesma, o balanço de energia à superfície do solo pode se dar de maneira diferenciada. Este fator se torna mais notável quanto mais a localidade se encontra afastada do Equador pois, "(...) em regiões de excesso de calor e com posições do

sol próximas do zénite a diferença das exposições das encostas não tem o mesmo significado prático que apresenta nas latitudes altas" (GEIGER, 1990), estas de zona temperada.

A pequena variação sazonal da insolação na faixa intertropical do planeta reduz consideravelmente o efeito da orientação de vertentes na formação de condições topo-microclimáticas nesta área e se desenvolve de forma contrária nas outras regiões do globo. Entretanto, segundo Geiger (1990), estudos realizados desde a década de cinquenta em áreas tropicais, evidenciam que há uma maior variação térmica das superfícies das paredes nas faces leste e oeste que na superfície do solo destas áreas. Ocorre o contrário nas regiões temperadas quando estas estão direcionadas para norte e sul, assim como as faces das vertentes, que apresentam maior variação que as direcionadas para leste e oeste quanto mais próximas se encontram do Equador.

A conjugação da declividade da encosta à sua exposição solar é fundamental para a compreensão da variação do balanço de energia das mesmas.

No caso do Hemisfério Sul, as faces de vertentes posicionadas ao norte, noroeste, nordeste, oeste e leste recebem mais energia calorífico-luminosa do que aquelas voltadas às outras direções, sendo mais valorizadas, tanto para as edificações como para a agricultura.

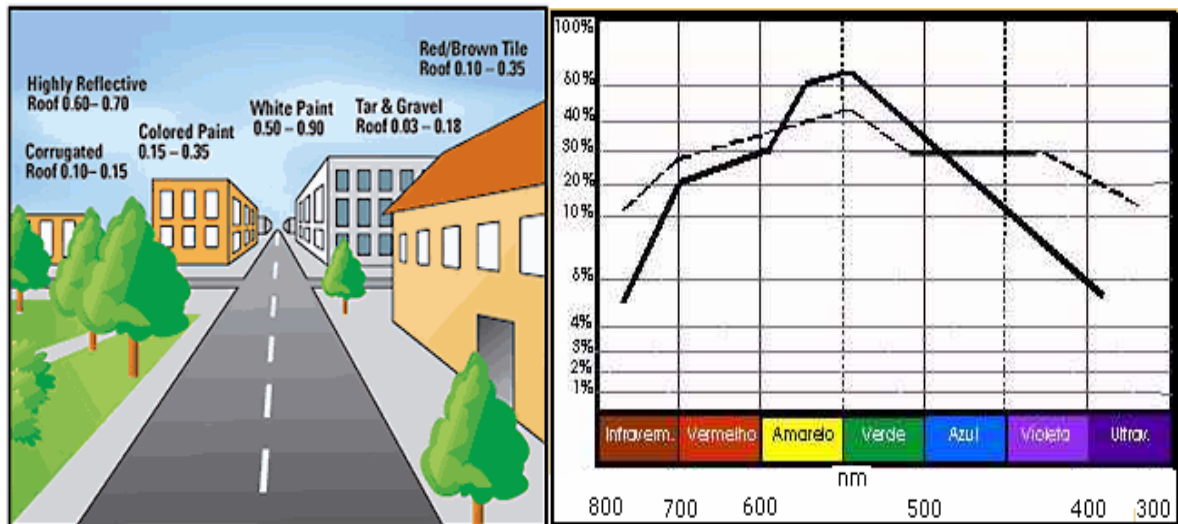
Segundo Mendonça (1994), na cidade de Londrina há uma predominante disposição norte e sul de suas vertentes. Tal fato é resultante do entalhamento dos vales londrinenses, dispostos predominantemente de oeste para leste, tendo suas partes mais elevadas à oeste. Observa-se também, que há predominância de vertentes posicionadas na direção norte/nordeste/noroeste na área mais edificada da cidade, o que, em função da posição da mesma sob o Trópico de Capricórnio, permitirá maior insolação nestas áreas.

## 2.12 ALBEDO E TROCAS TÉRMICAS

As cores das superfícies dos diferentes materiais querem sejam solo, vegetação, fachadas dos edifícios ou telhados, estão diretamente relacionadas ao aquecimento das superfícies. O albedo de uma superfície vem a ser a razão

entre a quantidade de radiação solar refletida por esta superfície e a quantidade total que ela absorve. Uma superfície com elevado albedo é mais brilhante do que uma superfície com baixo albedo. Um objeto branco, completamente refletor, tem um albedo “um” enquanto que um objeto preto, sem refletividade, tem um albedo “zero”.

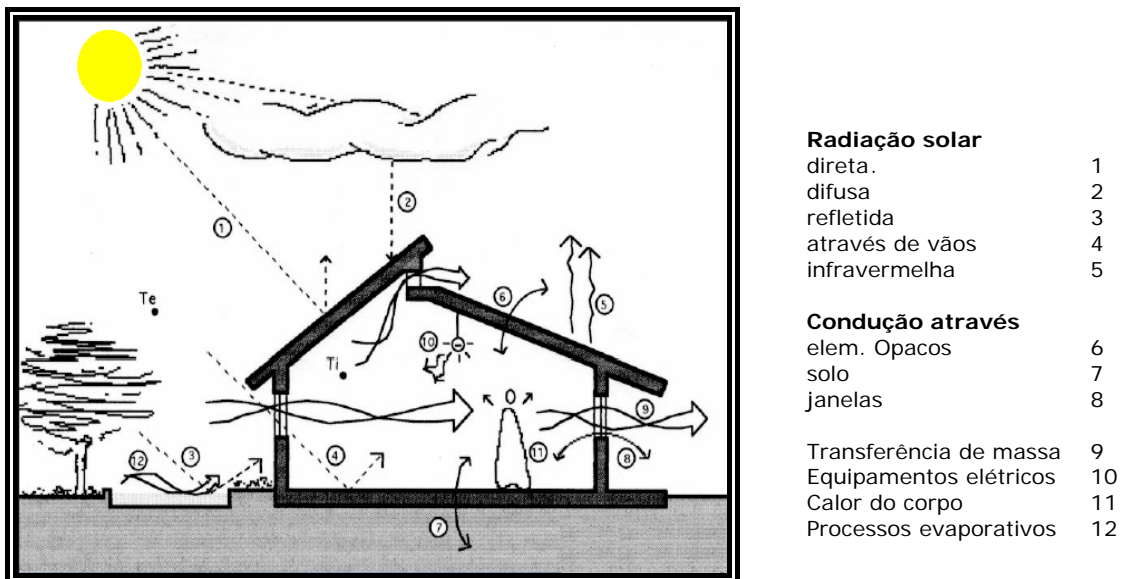
**Figura 7 -** Albedos gerados pelas várias colorações e as porcentagens refletidas para diferentes comprimentos de ondas



Fonte: <http://www.epa.gov/heatisland/strategies/coolroofs.html> <http://photografe.com.br/caraclu.htm>. Acesso em: 22 out. 2006

Na figura 8 é ilustrada uma edificação e seu entorno, onde é possível visualizar todas as interações com o ambiente.

**Figura 8 -** Comportamento das trocas de calor em um ambiente construído

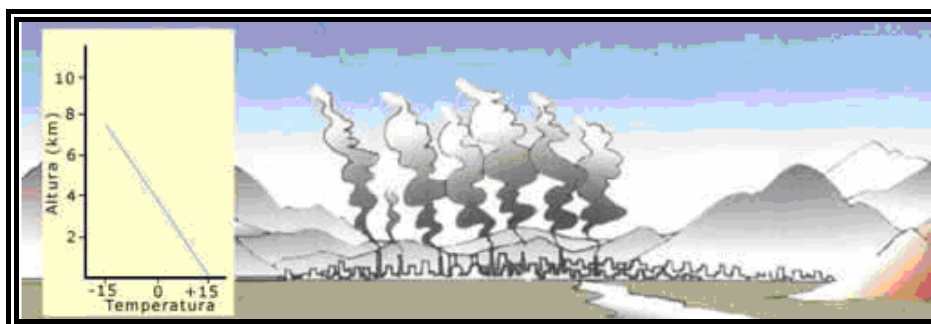


Fonte: Lamberts (1998).

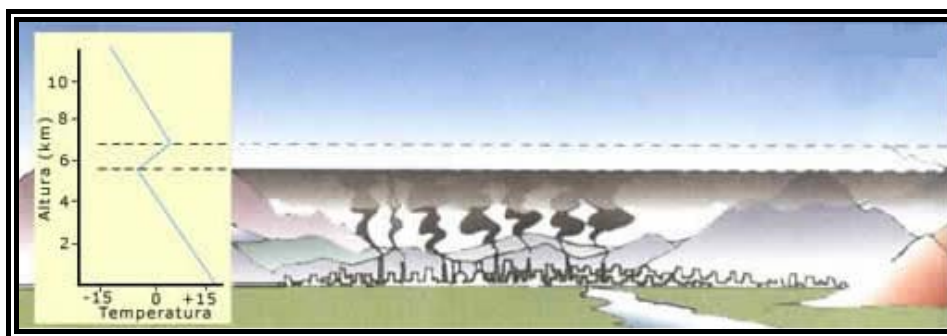
## 2.13 EQUILÍBRIO DA ATMOSFERA

O gradiente padrão vertical da atmosfera em média produz uma queda de temperatura da ordem de  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . ou  $2^{\circ}\text{C}/1000\text{ft.}$ , isto é, a temperatura decresce com a altura  $0,65^{\circ}\text{C}$  para cada 100 metros ascendido. Uma parcela de ar não saturada (contendo vapor, mas não condensada), estará instável elevando-se sempre que a temperatura decrescer mais que  $1^{\circ}\text{C}$  para cada 100 metros, gradiente também chamado de razão adiabática seca. Quando isto acontece, o ar flui normalmente na vertical e os poluentes e aerossóis se dispersam com facilidade, tornando a atmosfera limpa e fazendo com que existam correntes de convecção de ar (ver figura 9). Caso contrário o ar ficará estagnado (ver figura 10). No caso de uma atmosfera com gradiente menor que o adiabático seco, ou seja, a razão de decréscimo da temperatura do ar é inferior a  $1^{\circ}\text{C}$  para cada 100 metros, os poluentes tendem a ficar retidos nas camadas inferiores e a atmosfera começa a acumular impurezas. Um dos casos mais especiais acontece em grandes cidades, como a exemplo de São Paulo, onde em certas épocas do ano, principalmente no inverno, ocorre uma inversão térmica acentuada e prolongada que causa um efeito tampão na atmosfera e retém os poluentes e aerossóis. Esta inversão também forma o chamado “efeito estufa”, no qual as radiações do espectro solar conseguem penetrar até alcançar a superfície, mas ao se transformarem em radiações de ondas longas ficam retidas nesta camada tampão.

**Figura 9** - Parcela de ar instável



Fonte: CETESB

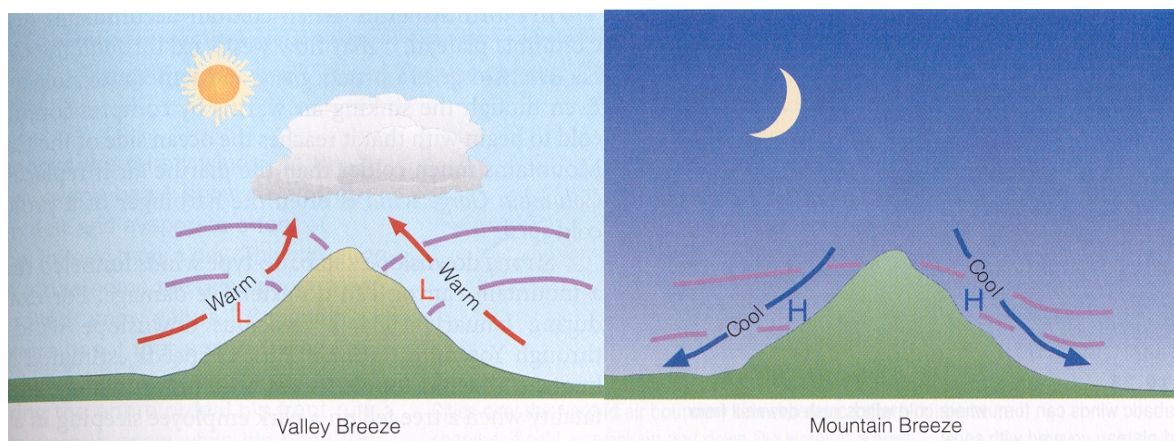
**Figura 10** - Parcela de ar estável

**Fonte:** CETESB

## 2.14 INTERFERÊNCIA DA TOPOGRAFIA

Nas regiões de topografia irregular, verificam-se sistemas de circulação particulares. As encostas mais inclinadas e as partes mais estreitas dos vales são aquecidas pelo Sol de forma mais intensa que as vastas superfícies dos vales ou os picos. Estas condições conduzem a brisas de vale durante o dia e brisas de montanha durante a noite. O ar, na vizinhança das encostas das montanhas, fica a temperatura mais elevada e eleva-se durante o dia; o ar ascendente é substituído pelo ar que se encontra nos vales, assim, durante o dia o ar sobe a encosta figura 11 (esquerda). Já durante a noite, as encostas das montanhas perdem calor e este ar frio desce a encosta por ação da gravidade sendo assim, ao amanhecer, o ar mais frio encontra-se no vale. Se o ar contiver vapor d'água suficiente, pode formar-se nevoeiro no vale. Quanto mais estreito for o vale maior a inclinação das encostas e maior é a quantidade de ar em ascensão. O ar em movimento de subida é substituído pelo ar dos vales ou dos planaltos, com menor declive. Assim, o vento durante os dias surge habitualmente das partes mais baixas e sem declive e sobe. Como a denominação do vento está associado à sua origem, este denomina-se de brisa de vale. Durante a noite, o ar frio desce sobre as encostas para o vale. A brisa segue o percurso no sentido oposto, vem das montanhas e dirige-se para o vale, assim, denomina-se de brisa de montanha figura 11 (direita).

**Figura 11** - Direção do fluxo dos ventos durante o dia e, em vermelho, o fluxo dos ventos durante a noite em azul



**Fonte:** <http://www.master.iag.usp.br/ensino/sinotica/aula17/aula17.html>. Acessado em 02/11/2006

## 2.15 TEMPERATURA DO AR E DE SUPERFÍCIE DO SOLO

De acordo com Geiger (1990), a altura padronizada para a coleta de temperaturas do ar são em alturas entre 1,25 e 2,00 metros, devido a serem estas as alturas onde existe menor interferência de obstáculos próximos ao solo. Mesmo em distâncias pequenas, os valores de temperatura podem sofrer grandes variações que estão relacionadas as condições de entorno próximas aos locais de monitoramento, sejam elas relevo, teor de vapor d'água, ocupação do solo (concentração de edificações, tipos de vegetação, pavimentação, etc). As variações na temperatura do ar, interessam a todos aqueles que tratam de plantas, como o agricultor, o florestal, o jardineiro, mas também àqueles que implantam ferrovias, estradas e também aos arquitetos e engenheiros que implantam junto ao solo suas edificações.

De acordo com Monteiro (1976), as alterações na qualidade ambiental das cidades estão intimamente ligadas aos componentes climáticos e a ação antropogênica é determinante nestas alterações. Até o presente momento, várias foram as tentativas de fazer-se o monitoramento da temperatura do ar nas áreas urbanas. As dificuldades encontradas na realização destes monitoramentos têm se tornado um empecilho para gerar trabalhos conclusivos e realmente identificar variações do clima urbano e localizar pontos com valores que se distanciam dos valores considerados referências (estações oficiais). Após a

passagem de uma massa de ar por diferentes lugares, esta começa a adquirir as propriedades das superfícies por onde ela passa. As principais características são: temperatura e umidade. O aumento de temperatura de uma massa de ar decorre predominantemente, do aquecimento por convecção, sendo o ar aquecido pelo solo da superfície terrestre que eleva sua temperatura em função da radiação solar absorvida e convertida para a forma de radiação de onda longa.

Na seqüência, a figura 12, mostra um enorme redemoinho formado em solo com vegetação recentemente queimada, por ter sua coloração escura a absorção de radiação solar é bastante elevada aumentando muito a temperatura do solo formando um sistema autoconvectivo (gradientes de temperatura decrescendo até  $3,47^{\circ}\text{C}/100\text{m}.$ ) que provocam grandes correntes de ar ascendentes.

**Figura 12** - Formação de um enorme redemoinho em solo de coloração escura devido aos resíduos de uma queimada



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

Segundo Geiger (1990), é a temperatura do solo que comanda as temperaturas das camadas de ar junto ao solo, desde que não sejam consideradas as influências da vizinhança devido a circulação de ar por advecção<sup>2</sup>. Em seu livro, este autor apresenta alguns trabalhos que comprovam esta influência.

---

<sup>2</sup> Circulação de ar na direção horizontal

É certo também, que o aquecimento do ar próximo a superfície tem forte relação com a maior concentração de vapor d'água que gera variações nos valores de calor latente e calor sensível ligados ao uso e ocupação do solo. Em áreas de maior cobertura de vegetação a inércia térmica é maior, pois precisam de mais tempo para transformar a água em vapor, em virtude de seu calor latente. Ao contrário, superfícies com baixos índices de umidade tendem a ter maiores variações térmicas.

## 2.16 IMAGEM DE SATÉLITE E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO SOLO

Os satélites vêm auxiliado bastante quando se trata de monitoramento ambiental pois é possível fazer estudo em grandes áreas. Esse tipo de tecnologia é chamada de sensoriamento remoto, que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O satélite ao ser concebido possui algumas características que possibilitam a maior concentração do seu uso em aplicações específicas, isto está relacionado com a quantidade de sensores, canais espectrais (faixas de comprimentos de onda que o sensor capta) e resolução espacial, relacionada ao tamanho do pixel. Existem, atualmente, vários satélites em órbita ou que já deixaram de operar devido a problemas técnicos como: GOES, NOAA, SPOT, QUICK BIRD, IKONOS, CBERS, LANDSAT e outros.

O satélite LandSat-1 começou a operar em julho de 1972 e foi o primeiro de sete satélites lançados, o LandSat-7, o último a ser colocado em órbita, possui oito canais espectrais. São três canais na faixa de comprimento de onda visível com resolução espacial de 30 metros, sendo estes: o canal-1, 0.45-0.52  $\mu\text{m}$ ; canal-2, 0.52-0.60  $\mu\text{m}$  e canal-3, 0.63-0.76  $\mu\text{m}$ . Quatro canais nas faixas do infravermelho próximo, médio e termal, sendo o canal-4, 0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ; canal-5, 1.55-1.75  $\mu\text{m}$ ; canal-6, 10.42-12.50  $\mu\text{m}$ ; canal-7, 2.08-2.35 $\mu\text{m}$ . Destes últimos, o canal-6, infravermelho termal, possui resolução espacial de 60 metros e os demais infravermelhos com 30 metros e existindo ainda um canal pancromáticos (0.5-0.9 $\mu\text{m}$ ), canal-8, com resolução espacial de 15 metros Para monitoramento de temperatura de superfície da terra é utilizado o sensor infravermelho termal canal 6,

com resolução espacial de 60 metros que possibilita diferenciar pequenas áreas em função da emissão de radiação de ondas longas.

## 2.17 BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA

Na década de 60, os irmãos Olgay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão projeto bioclimático (GIVONI, 1992). A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Também foi desenvolvido por Olgay um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima.

Em 1969, Givoni concebeu uma carta bioclimática para edifícios que corrigia algumas limitações do diagrama idealizado por Olgay. A carta de Givoni se baseia em temperaturas internas do edifício, propondo estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima, enquanto que Olgay aplicava seu diagrama estritamente para as condições externas. Em seu trabalho mais recente, Givoni (1992) explica que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados aceitam usualmente uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como situação normal, demonstrando assim a sua aclimatação. Givoni, (1992) concebeu, então, uma carta bioclimática adequada para países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua carta anterior foram expandidos. Segundo Givoni (1992), em países em desenvolvimento, percebe-se que o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%) e de temperatura (entre 18°C e 29°C). Quando o ambiente interior estiver com temperatura próxima a 18°C, deve-se evitar o impacto do vento, que pode produzir desconforto. Em situações de temperatura próxima a 29°C é importante controlar a incidência de radiação solar sobre as pessoas, evitando assim o excesso de calor. Analisando esta situação pelo método de Fanger conclui-se que o conforto térmico só é possível próximo aos 29°C se as pessoas estiverem vestindo roupas leves e submetidas a pequena quantidade de ventilação. Isto vem reforçar a idéia de Givoni

(1992), de que em países em desenvolvimento estes costumes permitem a aclimação das pessoas até limites de temperatura e umidade relativa mais amplos em relação aos países desenvolvidos.

## 2.18 ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Dados climáticos ou meteorológicos possuem diversas aplicações no mundo atual. No campo da agronomia, são analisados para realizações de previsões para o plantio de determinada cultura ou para possibilitar substituição por outra cultura que se adapte às condições climáticas prevista. Na indústria da confecção de vestuários, para planejar o volume de peças de vestuários necessárias para atender a população, diminuindo sobras ou escassez do produto. No campo da arquitetura iniciou-se, há alguns anos, a análise de desempenho térmico da edificação por meio de simulação térmica, proporcionando economia de energia sem dispêndio com uso de condicionadores de ar. Neste campo porém, existem outras variáveis que interferem no consumo de energia de uma edificação. É possível citar algumas variáveis arquitetônicas como: forma, materiais empregados na construção, sistema de climatização artificial, geração interna de calor pelo uso de equipamentos ou pelo uso e ocupação humana que também dissipa energia na forma de calor. Porém o principal item a ser verificado é a orientação das aberturas (janelas) em relação ao sol e as condicionantes climáticas. A simulação termo-energética é uma proposta eficiente para fornecer subsídios ao projetista sobre uma previsão média de desempenho de uma edificação ainda em fase de projeto. O total de energia térmica do sistema é obtido através do somatório da energia calorífica emanada na forma de calor dissipado provindo da estimativa de cargas de aquecimento e resfriamento, dissipação de energia de fontes luminosas, outros equipamentos instalados, temperaturas externas, as características do edifício e padrões de uso e ocupação humana, a qual também dissipa energia na forma de calor.

Mendes et al. (2001) atentou para a escassez de arquivos climáticos de qualidade no Brasil, que está geralmente relacionada às condições dos equipamentos de medição ou falhas humanas, como falta de manutenção dos equipamentos ou periodicidade no registro de dados. Segundo Carlo (2002), as diferenças de consumo utilizando arquivos climáticos medidos em estações distintas

mostraram ser significativa e coerentes com as condicionantes climáticas, chegando a diferenças de consumo entre sítios da ordem de 6%, quando as diferenças entre os graus hora eram de 49%. Os resultados obtidos alertam para os consumos que são possíveis de serem encontrados e que o especialista em simulação deve ter conhecimento do grau de diferenças que podem ser encontradas dependendo do arquivo climático utilizado, sabendo avaliar o melhor procedimento para cada caso de acordo com os objetivos da simulação, deve também, tomar em conta a qualidade dos arquivos climáticos.

Para obtenção de melhores resultados são necessários arquivos climáticos com dados horários de qualidade, provenientes de estações automáticas que realizem aferições e calibrações periódicas em seus equipamentos. Hoje os dados climáticos são coletados nos aeroportos, visando subsidiar a segurança e economia no planejamento de vôo das aeronaves, em institutos de pesquisa com vistas a pesquisas agrícolas ou uso em pesquisas espaciais, porém existe a necessidade de uso em pesquisas no campo do conforto ambiental e a eficiência energética de edificações e planejamento urbano.

## 2.19 SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Em seus estudos, Mendes et al. (2001) constataram que dados climáticos completos e de qualidade no território brasileiro são uma das principais dificuldades encontradas por pesquisadores para a realização das simulações. Além disso, considera-se que não é viável a instalação de estações climáticas em diversos locais de uma mesma cidade, dificultando a obtenção de arquivos climáticos medidos em estações fisicamente próximas à localização do edifício simulado. Conhecendo-se as diferenças micro-climáticas é possível simular o consumo de energia com o uso de um arquivo climático gerado de uma estação meteorológica mais próxima e depois fazer as correções necessárias adequando a cada caso simulado. Poucas estações meteorológicas no território brasileiro fornecem dados horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido ou umidade relativa, direção do vento, velocidade do vento, nebulosidade e pressão. Em quantidades ainda menores estão as estações que coletam dados de radiação solar,

sendo estes dados necessários para completar uma série mínima para a compilação de um arquivo climático.

## 2.20 OS INSTRUMENTOS E OS ERROS DE MEDIÇÃO

De acordo com Lunazzi (2000), toda medição contém um determinado erro. Essa afirmação, apesar de elementar é plausível de esquecimento e tem-se a tendência de acreditar que os valores utilizados são perfeitos. Esta tendência firma-se pelo costume de interpretar fenômenos físicos por meio de valores já suficientemente testados, em que foi visto que os erros não podem alterar conceitualmente as conclusões obtidas das medições. Portanto, não é necessário nesses casos carregar junto aos valores as incertezas. Em muitos outros casos esses valores não são fornecidos, no que a pessoa que declara os resultados, dando garantia de que já se realizou todas as análises necessárias de maneira a não haver incerteza nas conclusões. A análise de erros é uma tarefa sempre trabalhosa e, como mesmo os grandes especialistas podem ter deixado de considerar algum fator, nunca é aceito um resultado de grande importância sem que este tenha sido verificado experimentalmente em mais de um laboratório. Os valores das constantes fundamentais usadas em metrologia devem ser homologados por três laboratórios específicos de diferentes países. Quanto mais critérios sejam aplicados para verificar a confiabilidade dos valores medidos, mais se tem certeza sobre os resultados obtidos. Sobre os aparelhos, convém dizer que além da confiabilidade em sua origem, as mudanças geradas pelo transporte e diversidade de ambiente podem ser suficientes para invalidar os testes realizados antes do embarque.

Com o aumento da precisão dos sensores dos instrumentos e a conseqüente diminuição do erro na medição, vê-se que as teorias necessitam ser acrescidas de mais termos ou novas formulações que contemplem novos detalhes detectados.

## 2.21 VALOR ABSOLUTO DO ERRO MÁXIMO

O valor absoluto do erro máximo ou cota máxima de erro, em uma medição, é o intervalo de incerteza na leitura, dentro do qual se sabe que o valor medido se encontra. Escolhe-se em geral, para indicar o valor medido o centro desse intervalo, que é um valor arbitrário de referência, e acrescenta-se a essa faixa uma incerteza. Assim, se expressa o valor como:  $x \pm \Delta x$ , quando o intervalo foi  $\Delta x$ , sendo  $x$  o valor no centro do intervalo. Muitas vezes um valor vem com erro expressado em porcentagem, por exemplo, 10%, neste caso é expresso como:

$x \pm \Delta x$ , sendo  $\Delta x = 0,10/2$ . Em algumas situações pode-se definir um erro assimetricamente, como por exemplo:  $x+1\%$ ,  $x-3\%$ , quando uma lei de distribuição que regula o processo aleatório não é uma distribuição normal.

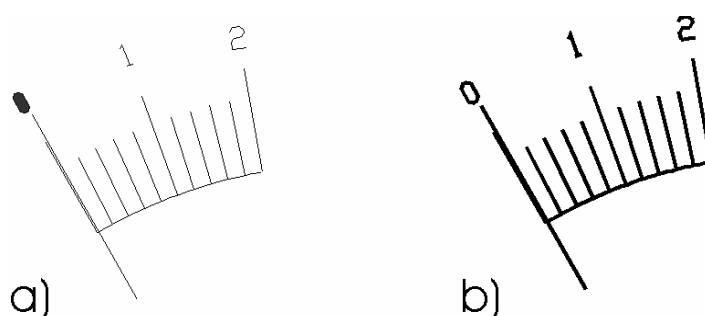
## 2.22 ERROS SISTEMÁTICOS E ERROS ALEATÓRIOS

A primeira classificação geral chama de sistemáticos os erros que sempre acontecem da mesma maneira, enquanto os aleatórios podem ter valores positivos ou negativos, grandes e pequenos, configurando uma distribuição normal, ou em outros casos, diferentes tipos de distribuição.

Como exemplo disto, na leitura de um instrumento de escala com agulha, também chamado de analógico, tem-se que definir primeiramente o zero da escala fazendo alinhamento visual da agulha com a primeira divisão.

A posição dessa primeira divisão a respeito das outras não é perfeitamente regular, senão o mais regular que o fabricante pode fazer. Se um erro afetasse essa posição ele afetaria todas as outras leituras. Tem-se então, que a precisão da construção da escala afeta as medições, de uma maneira que o fabricante calcula e inclui em sua avaliação do erro final. Neste caso ocorre um erro sistemático, mas é possível que o erro de posicionamento varie aleatoriamente para cada divisão, ou que haja uma combinação dos dois tipos de erros. A calibração da posição inicial passa também pela qualidade do ajuste visual ao considerar que a linha de uma divisão está perfeitamente coincidente com a linha da agulha. É fácil entender que isto depende da precisão do sistema visual (fator de erro aleatório) e também da espessura das linhas. Se as linhas forem grossas o aparecimento da divisão pela lateral da agulha ficaria mascarado, figura 13 (b). De toda forma, o fator básico vem dado pelo menor detalhe que se pode visualizar, menor que uma décima de milímetro, mas que varia de uma pessoa para outra.

**Figura 13** - Aparência do erro de alinhamento em duas situações idênticas

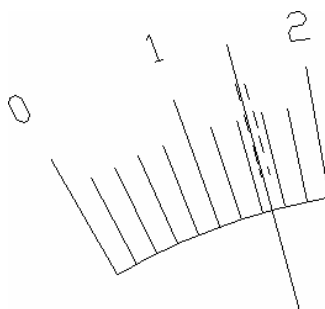


- a) No caso de linhas finas (a agulha está fora da linha).  
 b) No caso de linhas grossas (a agulha se confunde com a linha).

**Fonte:** LUNAZZI (1985)

A leitura na posição final da agulha não acontece geralmente pela sobreposição exata da agulha com uma divisão, e o valor estimado para a leitura é mais afetado de erro, tomando-se o caso da Figura 14, onde a agulha se encontra na posição mais desfavorável.

**Figura 14** - Estimativa do erro máximo de leitura visual numa escala. Duas linhas divisórias imaginárias aparecem tracejadas, definindo o máximo intervalo possível de erro visual.



**Fonte:** LUNAZZI (1985)

Dividindo-se o espaço em três percebe-se, certamente, que a agulha está próxima do centro, não é possível dizer que está em algum dos outros terços. Assim, o erro vem a ser de  $1/3$  da menor divisão. Pode-se afirmar que a divisão mental do espaço entre divisões seria possivelmente mais precisa, mas para isto o

esforço mental passa a ser maior e a situação menos natural. Se for somado o valor de  $1/3$  a algum erro do ajuste do zero, tem-se a regra muito conhecida que diz "o erro é metade da menor divisão do instrumento". O erro não vale sempre metade da menor divisão, apenas o erro de leitura visual poderia valer isto, sem generalizar para toda a experiência de medição.

Outro tipo de erro, o chamado "erro de paralaxe" (erro gerado pela mudança de perspectiva de uma cena). Como a agulha está um pouco acima do plano da divisão, se o observador está de lado verá a coincidência acontecer quando, na visão frontal, não acontece. Se sempre observasse desde a mesma posição (e não muito perto do painel), tem-se o caso feliz de um erro sistemático se cancelando na posição inicial e na posição final. Mas como não é garantido o posicionamento fixo do observador, alguns instrumentos trazem junto da escala um pequeno espelho onde se deve alinhar a agulha com sua imagem refletida antes de medir, desta maneira, obriga-se o observador a ter uma visão frontal.

## 2.23 ERROS EM APARELHOS ELETRÔNICOS (DIGITAIS)

Os medidores eletrônicos, também chamados de digitais, são diferentes dos elétricos. São mais delicados e incorporam elementos ativos, por isto necessitam de uma fonte de energia. São mais instáveis e sujeitos as mudanças dos materiais por causa do uso, clima ou simplesmente do tempo. São mais indicados para o caso da medição de sinais de pequena amplitude sem realizar correções pelo efeito da resistência interna dos equipamentos de medição. Os multímetros ou sensores eletrônicos podem ter leitura por bobina móvel (analógicos) ou por mostradores de cristal líquido (digitais), onde cada número é composto por meio de sete segmentos que escurecem quando uma corrente muito pequena é aplicada. Um multímetro digital costuma ser fabricado de maneira que o erro do instrumento coincida com o valor correspondente ao dígito que não é mostrado, introduzindo geralmente um processo de arredondamento (se  $\geq 0,5$ ; acrescenta-se 1; se  $< 0,5$ ; despreza-se o valor). Como ele incorpora amplificadores pode possuir maior sensibilidade e ter mais precisão. Mesmo assim, é possível verificar em laboratório que alguns valores são melhores medidos por instrumentos analógicos do que em digitais.

## 2.24 COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES

Se medindo uma mesma fonte, notar-se uma diferença de leituras entre um instrumento analógico e um digital, não é correto dizer que o analógico é o errado, pois qualquer um dos dois pode errar.

Quando um valor de  $x$  é medido por um método e se obtém o resultado  $x_1$ , depois por outro método obtendo  $x_2$ , não faz sentido comparar  $\Delta x = x_1 - x_2$  e dizer que esse é o erro. Por acaso, a diferença poderia ser nula, pois as medições sempre estão acompanhadas de erros. Pode-se comparar  $\Delta x_1$  com  $\Delta x_2$ , para saber qual método é melhor. Nos dois métodos, se os erros forem bem calculados, devem oferecer uma região de valores comuns, ou seja que as faixas de incerteza devem ter sobreposição e seria nessa região de sobreposição onde o valor correto deve se encontrar.

## 2.25 PADRÕES PARA AFERIÇÃO

A única saída para avaliar completamente um instrumento é aferi-lo com instrumentos mais estáveis desenhados especificamente para aferições, ou por meio de elementos como pilhas e resistores do tipo chamado "padrão". O IPT (no campus da USP) e o INMETRO (no Rio de Janeiro) são laboratórios que possuem padrões. Os padrões usados são geralmente de terceira ou quarta geração, quer dizer que foram aferidos por padrões de terceira ou segunda geração, e assim por diante, até chegar nos padrões primários que são guardados nos principais institutos de metrologia do mundo, mas que cada vez mais conseguem ter uma definição que permita sua reconstrução a partir de propriedades físicas básicas e não pela cópia de uma peça que pode eventualmente desaparecer.

## 2.26 APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA NO CÁLCULO DO ERRO

Se o fenômeno oferece variações maiores que o erro de leitura, os valores lidos serão diferentes ao se repetir a medição, podendo-se aplicar estatística, tirando a média  $\langle x \rangle$  e o desvio quadrático, que é representado pela letra grega sigma ( $\Sigma$ ). A média representa o valor mais provável e o desvio o erro mais

provável. Para isto o número de medições precisa ser grande, isto é, até que o valor da média e o do desvio deixem de ter variações apreciáveis ou um erro tolerável.

**Equação 1** - Fórmula da média e desvio padrão para uma série de observações

$$x \approx \langle x \rangle \pm \sigma$$

com:

$$\langle x \rangle = \sum x_i / N \text{ e: } \sigma = \sqrt{\sum (x - x_i)^2 / N}$$

Assim, usa-se como erro absoluto  $\Delta x$  e o valor de  $\sigma$ , o que deixa uma probabilidade baixa de o erro estar fora dessa faixa. Esta modalidade é usada em física porque dá o erro mais provável e em engenharia, onde permite baixar os custos de produção.

## 2.27 CONSEQUÊNCIA DO ERRO NOS GRÁFICOS

Ao colocar as faixas de erro na representação de valores medidos num gráfico, a curva esperada pode passar por qualquer ponto dentro dessa faixa, não necessariamente pelo valor medido. O fato de um ponto medido ser superior (ou inferior) aos outros não indica que esse seja o máximo (ou o mínimo) da curva, visto que falta conhecer todos os outros pontos na vizinhança. No caso da interseção de duas curvas, a extensão da largura delas até a faixa de erro determina uma possibilidade de deslocamento do ponto de interseção no sentido das abscissas, dando uma faixa de erro para o ponto de interseção.

## 2.28 ERROS INESPERADOS, DE DIGITAÇÃO E DE SEPARAÇÃO DE DECIMAIS

Quando um valor aparece muito discrepante do esperado é importante não descartá-lo a priori, pois a partir desse valor poderá ser possível verificar se algo anormal está acontecendo. Não é adequado forçar que um valor se

adapte em uma determinada curva. Dados também são afetados por erros de digitação, fugindo completamente do valor inicial.

Erros de separação de decimais por meio de uma vírgula também podem ser motivadores de erros.

### **3 A CIDADE DE LONDRINA**

#### **3.1 DESCRIÇÃO**

A cidade de Londrina surgiu em 1929, como primeiro posto avançado de um projeto promovido pelos ingleses através da Companhia de Terras do Norte do Paraná. Isto aconteceu, quando se realizou uma verdadeira reforma agrária, sem intervenção do Estado, no Norte do Paraná, oferecendo aos trabalhadores sem posses a oportunidade de adquirirem os pequenos lotes, já que as modalidades de pagamento eram adequadas às condições de cada comprador. Em 21 de agosto de 1929, chegou a primeira expedição da Companhia de Terras Norte do Paraná ao local denominado Patrimônio Três Bocas, no qual o engenheiro Dr. Alexandre Razgulaeff fincou o primeiro marco nas terras onde surgiria Londrina. O nome da cidade foi uma homenagem prestada a Londres - "pequena Londres", pelo Dr. João Domingues Sampaio, um dos primeiros diretores da Companhia de Terras Norte do Paraná. A criação do Município ocorreu cinco anos mais tarde, através do Decreto Estadual n.º 2.519, assinado pelo interventor Manoel Ribas, em 3 de dezembro de 1934. Sua instalação foi em 10 de dezembro do mesmo ano, data em que se comemora o aniversário da cidade.

#### **3.2 O PROGRESSO URBANO DE LONDRINA**

Segundo Árias Neto (1998), o progresso do norte foi seguindo seu caminho normal e sem agitação até 1947. Mas, após esta ocorreu um incremento populacional muito acima do normal. Em 1932 o Município de Londrina contava com 150 casas, em 1933 com 333 casas. A imagem de crescimento harmônico se desfez sob o impacto do desordenamento causado pela explosão do progresso de fins dos anos quarenta e início dos anos cinqüenta. Quando de fato, o sítio urbano desagregou-se com a proliferação dos loteamentos clandestinos e os equipamentos públicos tornaram-se insuficientes (transportes, comunicações, abastecimento de água e energia elétrica). Os conflitos sociais agravaram-se com a presença de milhares de pessoas que aportavam na cidade em busca de fortuna ou de uma vida melhor.

**Figura 15** - Desenvolvimento urbano da cidade de Londrina



**Fonte:** Perfil de Londrina edição 2003

### 3.3 POSIÇÃO GEOGRÁFICA

O município de Londrina está situado entre 23°08'47" e 23°55'46" de Latitude Sul e entre 50°52'23" e 51°19'11" de Longitude a Oeste de Greenwich, ocupa 1.715,897 Km<sup>2</sup>, cerca de 1% da área total do Estado do Paraná.

A densidade demográfica do município é de 259,07 hab/Km<sup>2</sup> (2000). A zona urbana de Londrina<sup>3</sup> é de 118,504 Km<sup>2</sup> e a zona de expansão urbana é de 119,796 Km<sup>2</sup>, totalizando 238,30 Km<sup>2</sup>. A altitude da área urbana central da cidade é de 610 m.

O Município de Londrina é constituído pelo Distrito Sede e mais os distritos de Lerroville, Warta, Irerê, Paiquerê, Maravilha, São Luiz, Guaravera e Espírito Santo.

<sup>3</sup> A Lei nº 7.484, de 20/07/98 define o Perímetro da zona Urbana e da zona de Expansão Urbana do Distrito Sede do município de Londrina.

Zona urbana compreende as áreas urbanizadas ou em vias de ocupação e as glebas com potencial de urbanização que ainda não sofreram processo regular de parcelamento.

A Zona de Expansão Urbana é aquela externa à Zona Urbana onde se prevê ocupação ou implantação de equipamentos e empreendimentos considerados especiais e necessários à estrutura urbana.

A transformação de Zona de Expansão em Zona Urbana fica vinculada ao processo de aceitação de loteamentos regularmente aprovados e implantados ou o visto de conclusão de obras regularmente aprovadas e construídas

### 3.4 SOLO DO MUNICÍPIO DE LONDRINA

O solo da região é de origem basáltica, entretanto, conforme a sua localização, em topografia mais plana ou acidentada, apresenta tipos de solos diferentes, conseqüentemente, de fertilidade variável.

A camada de solo é de profundidade variável, indo de várias dezenas de metros, nos espigões, até menos de um metro, próximo aos ribeirões, onde, na maioria das vezes, a água flui sobre a superfície compacta do basalto.

O solo de Londrina se caracteriza, segundo Embrapa (1981 e 1999), por:

1. *Terra Vermelha Estruturada:*
  - a) Terra Vermelha Estruturada Eutrófica, horizonte “A” moderado, textura argilosa, fase floresta tropical, subperinitólia, relevo suave ondulado e ondulado;
2. *Latossolo Vermelho:*
  - a) Latossolo Vermelho Eutrófico, horizonte “A” moderado, textura argilosa, fase floresta tropical, subperinitólia, relevo suave ondulado e praticamente plano;
  - b) Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte “A” moderado, textura argilosa, fase floresta tropical, subperinitólia, relevo suave ondulado;

Nesta região o subsolo promete ser rico em minérios, conforme apontam as pesquisas que só agora tiveram início.

**Figura 16** - Posição geográfica do estado do Paraná e do Município de Londrina



**Fonte:** PERFIL DE LONDRINA – 2004

**Figura 17** - Município de Londrina, sua divisão distrital e municípios limítrofes



**Fonte :** PERFIL DE LONDRINA - 2004

### 3.5 CLIMA DA CIDADE DE LONDRINA

O clima da cidade de Londrina, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 24° C e a do mês mais frio, inferior a 14,1° C.

Nesta região situada no norte do estado do Paraná os efeitos das entradas de massas de ar são profundamente sentidos, pois provocam grandes alterações, principalmente na temperatura do ar. Aqui há influência das massas de ar polares que podem ser de origem marítima ou continental e de característica quente ou fria, e das massas de ar tropicais, que também podem ser de origem marítima ou continental e característica quente ou fria.

Levantamento feito por Barbosa (1999), a partir das normais climatológicas do IAPAR, estação meteorológica da cidade de Londrina, do período de 1976 à 1996, constatou que a temperatura média anual desse período foi de 27.5°C, para a média das médias máximas mensais e 15.9°C, para a média das médias mínimas. A média mensal do mês mais frio foi de 11.4°C para julho e de 29.6°C, para fevereiro.

Londrina, localizada num espigão, apresenta verão quente e inverno ameno, com índice de médio de umidade relativa do ar de 71%, de acordo com mesmo levantamento anterior.

Pólo de uma região essencialmente agrícola, Londrina sempre foi beneficiada por um regime pluviométrico bem distribuído durante todo o ano, sendo raríssimos os períodos de grandes estiagens ou chuvas prolongadas. Para o período de 1976 a 1996 a precipitação pluviométrica anual total média foi de 1.611 mm, sendo janeiro e dezembro, os meses mais chuvosos e, agosto e julho, os meses mais secos.

O sistema hidrográfico do Paraná, pela declividade do relevo em direção a Oeste, em sua grande maioria drena neste sentido, formando a Bacia do Paraná que, por sua vez, interliga a Bacia do Prata.

Porém, o subsistema hidrográfico do Município corre no sentido predominantemente de Oeste para Leste, uma vez que o relevo está genericamente inclinado da região de Londrina para o Rio Tibagi, que tem sentido Sul-Norte, desaguando no Rio Paranapanema, um dos tributários do Rio Paraná.

Os principais rios do Município são Taquara, Apucarana e Tibagi. Os principais ribeirões são: Apertados, Cafezal, Apucarantina, Jacutinga, Cambezinho, Bom Retiro e Quati.

No município são poucas as áreas remanescentes da formação vegetal natural (mata pluvial tropical e subtropical) que recobria a região de Londrina. A Mata dos Godoy (Reserva Florestal Estadual) e Reserva Indígena do Apucarantina são formações florestais que demonstram a variedade de gêneros e espécies de vegetação que se encontravam na região.

Em razão do desmatamento verificado no município de Londrina, existem outras poucas áreas com vegetação natural, em propriedades particulares.

Londrina é a sede da Microrregião Geográfica 041, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2000).

## 4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

### 4.1 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS OFICIAIS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

Para a realização deste trabalho partiu-se do pressuposto de acordo com a revisão bibliográfica, de que a temperatura de superfície do solo, relevo e condições de entorno interferem na temperatura do ar, considerando-se esta analogia buscou-se quantificar este nível de interferência. Primeiramente, foram mapeadas as estações meteorológicas oficiais na cidade de Londrina, sendo encontradas as seguintes:

1. Aeroporto de Londrina que pertence à União (Comando da Aeronáutica) e é operada pela estatal Infraero com coordenadas  $23^{\circ}19'S$  e  $051^{\circ}08'W$  e 570 metros de altitude;
2. Iapar e Simepar pertencentes ao governo do estado do Paraná, localizadas no mesmo sítio com coordenadas  $23^{\circ}21'S$  e  $051^{\circ}10'W$  e 585 metros de altitude;
3. Estação da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) localizada nas coordenadas  $23^{\circ}11'S$  e  $051^{\circ}11'W$  e 630 metros de altitude;
4. Estação meteorológica do INMET, localizada nas coordenadas  $23^{\circ}18'S$  e  $051^{\circ}08'W$  e 566 metros de altitude, que também pertence a União.

### 4.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS USADOS E CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS PRESENTES NAS COLETAS DE DADOS

Para ter-se a menor interferência das condições atmosféricas presente buscou-se coletar os dados sempre em dias com céu sem nebulosidade e condições estáveis acompanhando as previsões numéricas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (Instituto Nacional de Atividades Espaciais – INPE).

Na coleta de dados foram utilizados dois registradores de dados modelo 21X fabricados pela Campbell Scientific, com medidores de temperatura modelo HMP45A, com sensores de temperatura termo-resistivo com erro de  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  à temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e instalados em colméias de cor branca para evitar a influência da radiação solar, os dados coletados por este medidor estão neste trabalho nomeados como HMC.

Registradores de temperatura (nomeados aqui como HOBO) modelo HOBO, H1, fabricados pela Onset Scientific, com sensor termo-resistivo e erro de  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$  colocados em mini-abrigos de madeira de dois tipos: na cor cinza metalizado de acordo com Mendonça (1994) e na cor branca de acordo com Varejão-Silva (2006), para evitar a influência da radiação solar.

Registradores de dados modelo BABUC A/M, com sensor de temperatura termo-resistivo colocados em mini-abrigos de madeira para evitar a influência da radiação solar, nomeados como BABUC.

Para a aferição dos valores de temperatura radiante adquiridos pelos sensores infravermelhos do satélite LandSat7, utilizou-se um termômetro infravermelho de marca Raitek, figura 18, que capta as temperaturas radiantes de superfície, estes dados foram coletados no sítio do Aeroporto de Londrina, Paraná, devido ao aparelho ser de propriedade da Infraero. O trabalho restringiu a área estudada como sendo a que abrange a região metropolitana da cidade de Londrina no estado do Paraná numa área  $20 \times 20 \text{ Km}^2$ .

**Figura 18** - Termômetro infravermelho da RAITEK



#### 4.3 DADOS DE COLETAS DE CAMPO

Antes da utilização dos dados verificou-se a calibração dos mesmos, por meio de comparações realizadas entre os dias 21/04 a 24/04/2006. Os instrumentos foram colocados em um abrigo modelo padrão da estação meteorológica do aeroporto de Londrina conforme disposição na figura 19.

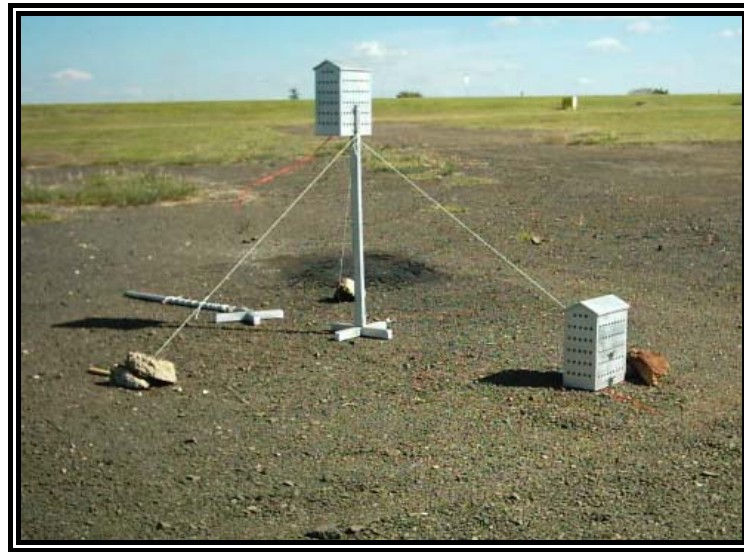
**Figura 19** - Disposição dos equipamentos utilizados para a realização da calibração



#### 4.4 TEMPERATURAS DO AR E SOLO PARA DIFERENTES COBERTURAS

Para monitorar as temperaturas do ar a 20cm e 150 cm e do solo a 2 cm de profundidade utilizou-se de registradores modelo HOBO H1 fabricados pela Onset, com sensores termos-resistivos, instalados em mini-abrigos posicionados nas diferentes alturas e registradores enterrados a 2 cm de profundidade no solo indicados na figura 20.

**Figura 20** - Posicionamento dos mini-abrigos



#### 4.5 TEMPERATURAS RADIANTES DE SUPERFÍCIE

Para amostrar pontos da superfície da cidade de Londrina que indicassem maior emissão de calor na forma de ondas longas, utilizou-se os valores de temperatura radiante de superfície das imagens do satélite Landsat 7, obtidos na conversão de valores de pixel do canal infravermelho termal datadas de dezembro de 2001 e março de 2002, para temperatura em graus Celsius, fazendo uso do software SIG “Grass” e da fórmula da equação 2.

**Equação 2** - Fórmula para o cálculo da temperatura radiante de superfície

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Onde:

T = Temperatura em graus Kelvin;

K1 = Constante de calibração 1 (W.m2.sr-1)(666.09)

K2 = Constante de calibração 2 em °K (1282.7)

$L_\lambda$  = Radiancia espectral (W.m2.sr-1)

Fonte: NASA

Para melhor visualizar e mostrar com mais detalhes o uso e ocupação do solo da cidade de Londrina, e facilitar a análise entre os valores obtidos de temperatura de superfície, temperatura do ar e o tipo de usos e ocupação do

solo, optou-se também, em gerar a imagem de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) feita usando-se a seguinte fórmula (equação 3):

**Equação 3** - Fórmula de conversão de imagem no formato NDVI

$$\text{NDVI} = (\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3})$$

Onde: Band 4 é o canal infravermelho próximo (0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ), Band 3 é o canal do espectro visível (0.63-0.76  $\mu\text{m}$ ).

#### 4.6 SÉRIE DE DADOS DE TEMPERATURA DE 30 E 25 ANOS

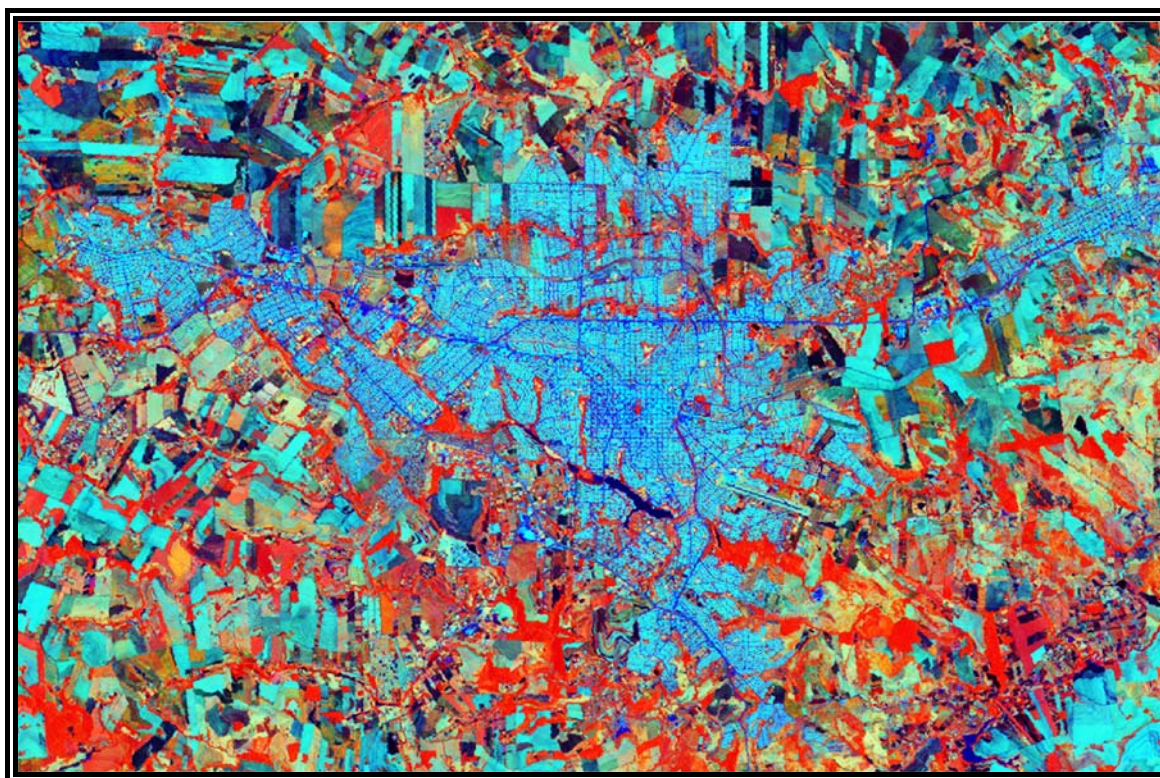
Com base em uma série de dados analisou-se a estatística sobre a tendência de variação de temperatura do ar e do solo das 12, 18 e 00 UTC e as máximas e mínimas do ar em uma série de temperaturas de 30 e 25 anos coletadas no IAPAR. Tratou-se de fazer a correlação entre as séries e também verificar se haveria alguma tendência de aumento de temperatura, tanto para as máximas como para as mínimas. Para analisar a tendência traçou-se a reta de regressão pelo método dos mínimos quadrados com relação às médias do mês em estudo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM LONDRINA

Usando-se a imagem de composição de canais NDVI da figura 21, localizou-se a partir desta, áreas com vegetação densa (florestas) com cores em vermelho escuro, vegetação menos densa tons de vermelho, em azul escuro áreas com pavimentação asfáltica e solos descobertos e em tons de azul, visualiza-se as áreas com solo com vegetação rasteira e/ou com ocupação por edificações. Pode-se, inclusive, perceber as divisões em quadras.

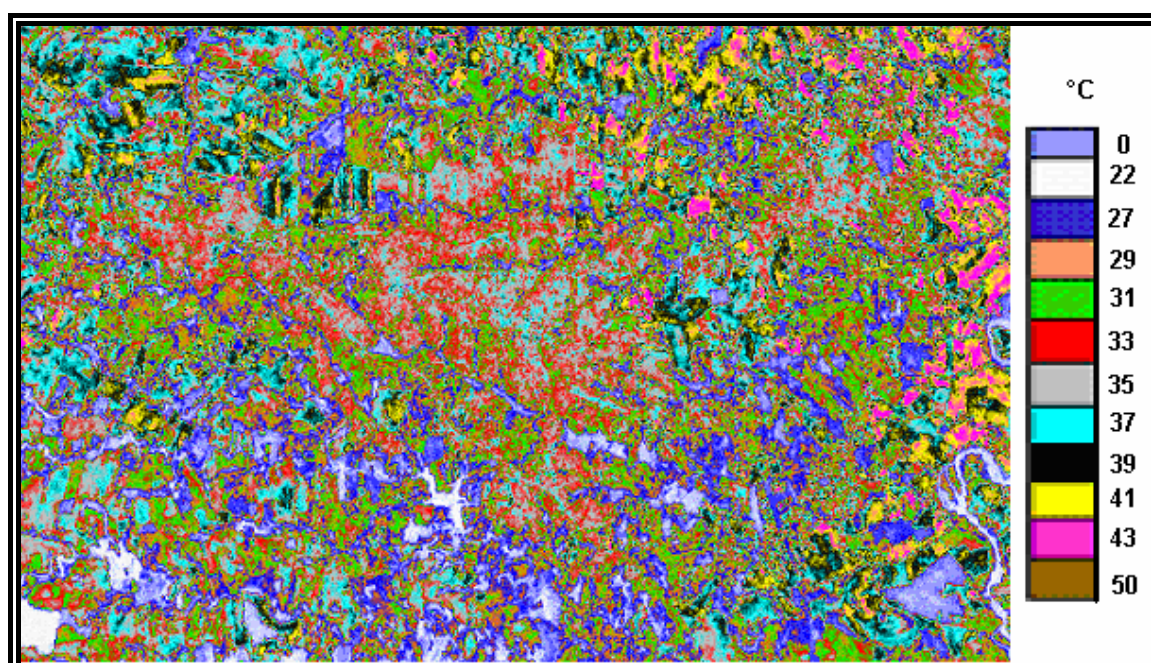
**Figura 21** - Composição de Imagem NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) de 02/12/2001 da cidade de Londrina, PR



## 5.2 TEMPERATURA RADIANTE DE SUPERFÍCIE

A imagem da figura 22 mostra as temperaturas de superfície na data e horário da aquisição da imagem (02/12/2001 às 09:45AM). De acordo com a legenda de cores é possível visualizar a distribuição de temperaturas de superfície.

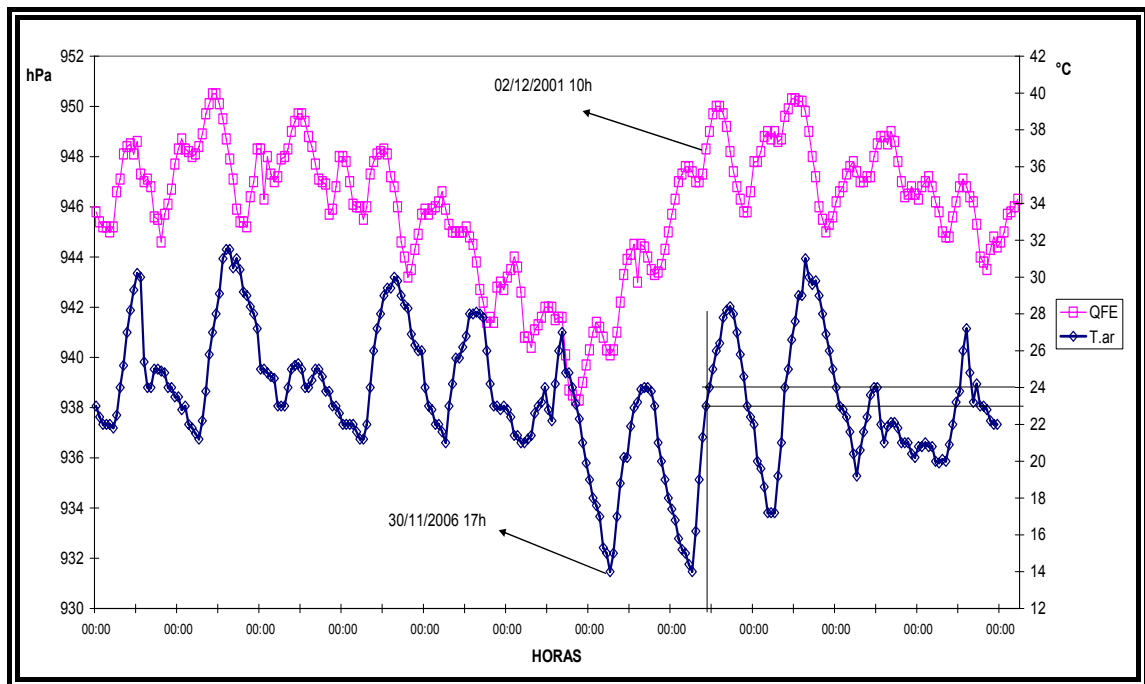
**Figura 22** - Imagem termal do Landsat 7 de 02/12/2001 às 09:45 (horário local), convertida para temperatura



As áreas referentes às vegetações e fundos de vale, locais mais frescos, variaram de 22°C a 27°C (tonalidade branco ao azul escuro), enquanto as áreas referentes à zona urbana, mais aquecidas, variaram de 33°C a 37°C (vermelho a azul celeste). Identificam-se também encontram-se pontos com temperatura de superfície variando de 39°C a 43°C, que são áreas com solos nus ou cobertos com vegetação seca. A variação de temperatura diária do ar a 150 cm de altura na estação do aeroporto de Londrina e INMET, para o dia 02/12/2001, está representada nas figuras 23 e 25 sendo próxima à 23°C e 24°C às 09:45 horas, sendo este o horário da imagem termal apresentada, mostrando-se bem inferior a temperatura de superfície. Analisando a marcha da pressão ao nível da estação meteorológica (QFE), temperatura e precipitação é possível verificar a passagem de

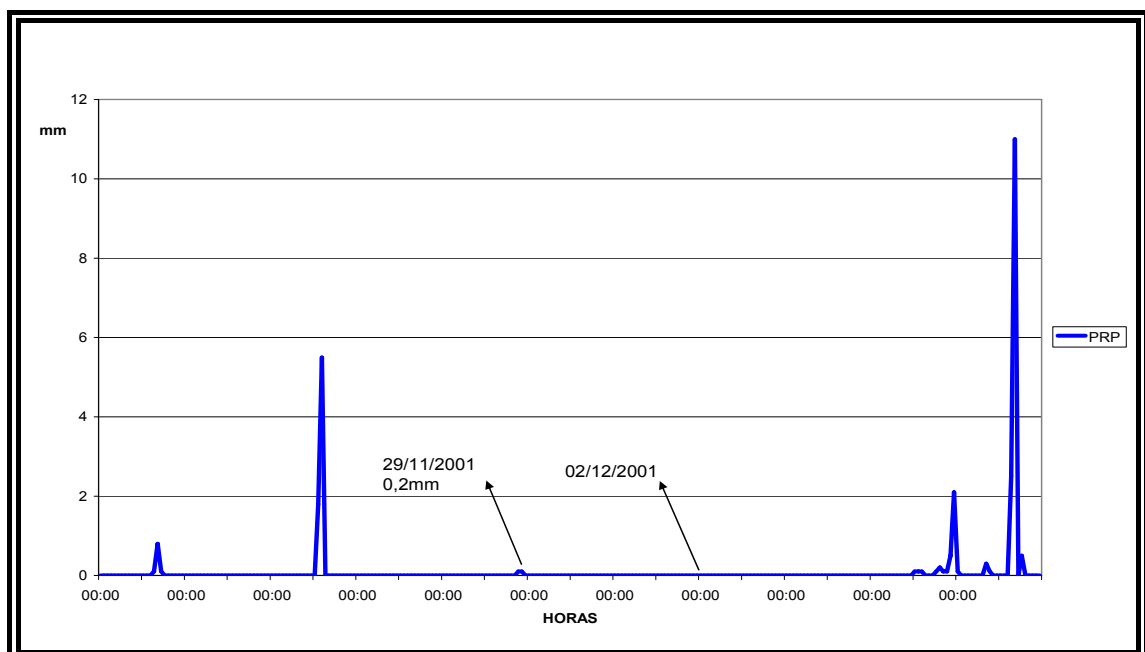
uma massa de ar fria que interferiu na marcha normal de aquecimento do ar pela superfície do solo. O solo no dia 02/12/2001 apresentava-se com baixa umidade devido a pequena quantidade de precipitação dos dias anteriores (0,2mm) conforme figura 24.

**Figura 23** - Marcha da temperatura e pressão no período 25/11/2001 a 05/12/2001



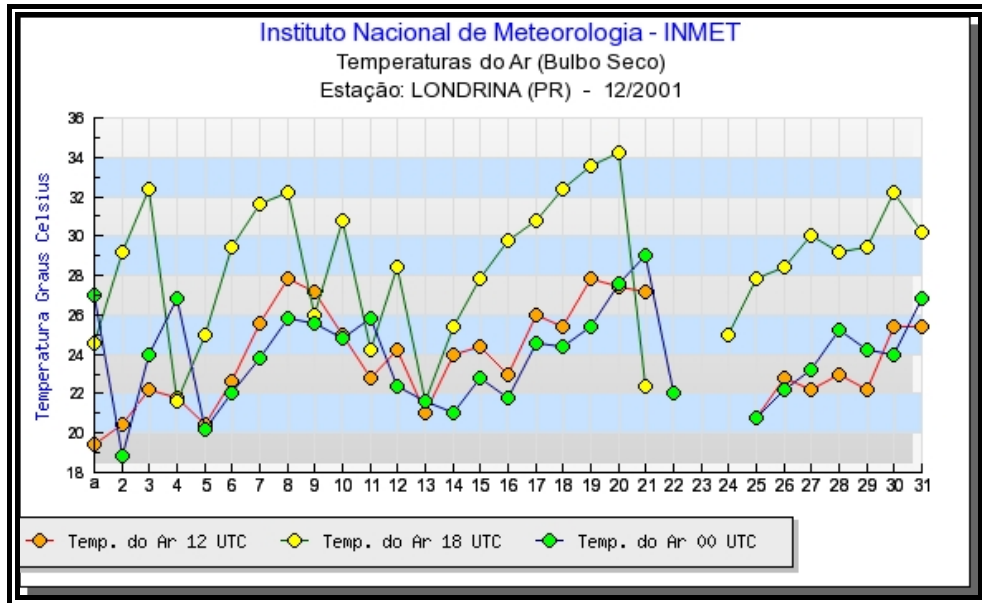
Fonte – INFRAERO

**Figura 24** - A quantidade no período 25/11/2001 a 05/12/2001



Fonte – INFRAERO

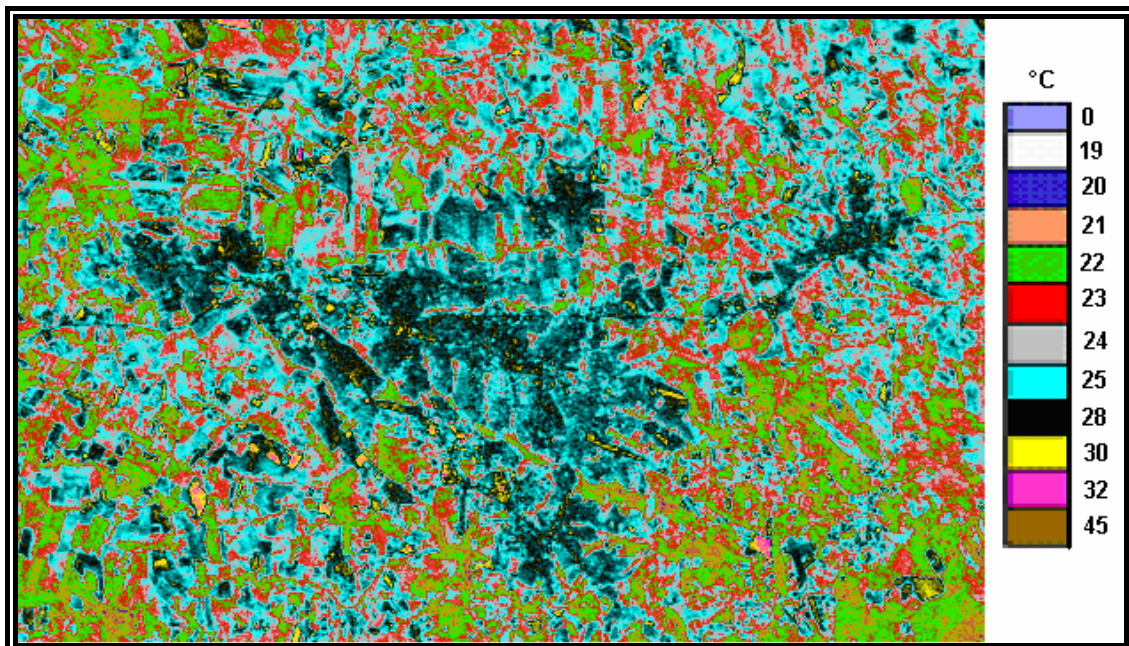
**Figura 25** - Temperatura do ar para o horário das 09, 15 e 21 horas local para o mês de Dezembro de 2001



Fonte - INMET

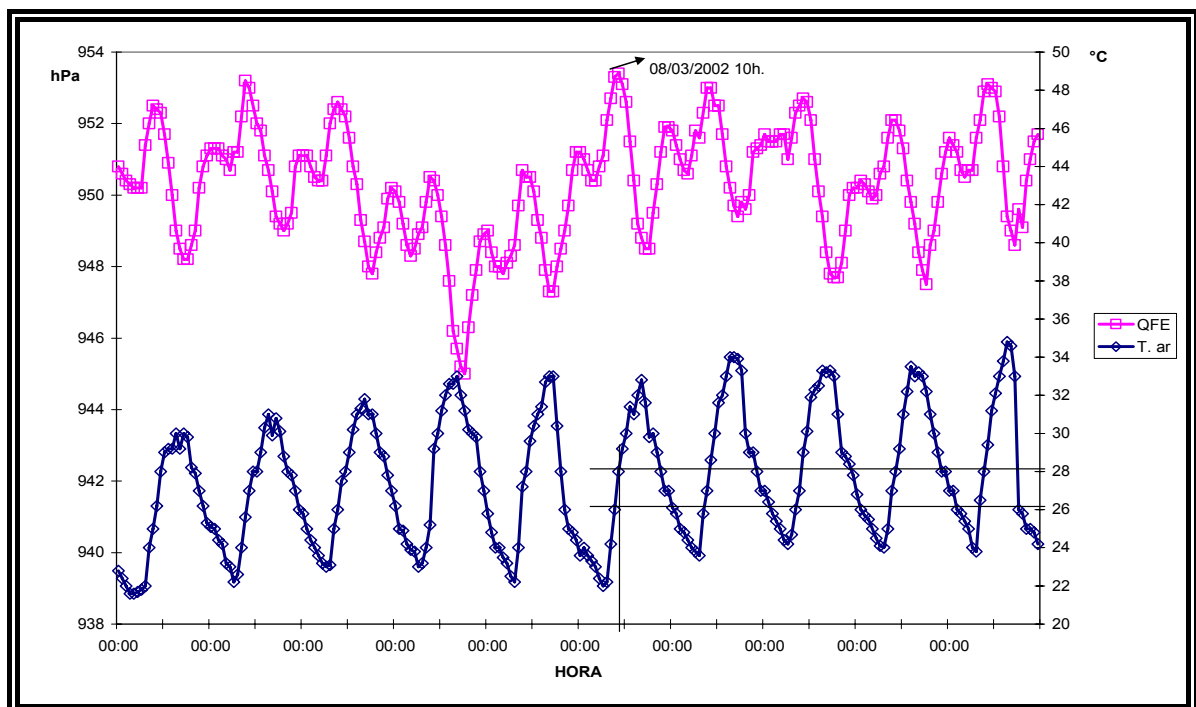
A imagem da figura 26 mostra as diferentes temperaturas de superfície na data e horário da aquisição da imagem da imagem (08/03/2002 às 09:45AM).

**Figura 26** - Imagem termal do Landsat 7 de (08/03/2002 às 09:45 horário local) convertida para temperatura.



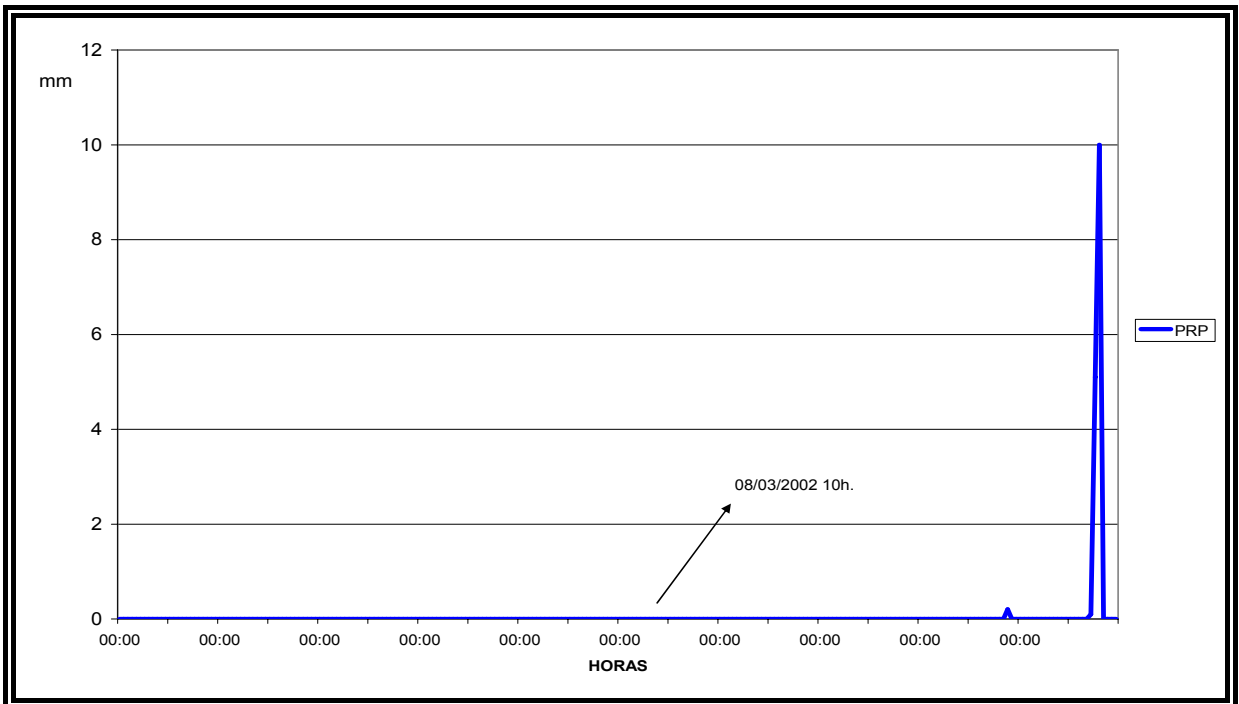
De acordo com a legenda de cores pode-se visualizar a distribuição de temperaturas de superfície e notar a diminuição da temperatura de superfície em função do novo posicionamento do sol na data da aquisição da imagem, porém a temperatura diária para o dia 08/03/2002 é maior que a do dia 02/12/2001 em função da presença de uma massa de ar de elevada temperatura. Para a área urbana percebe-se uma diminuição bastante acentuada da temperatura de superfície, que ficou entre 25°C e 28°C. Os gráficos representados nas figuras 27 e 29, indicam que a temperatura do ar entre 09:00 e 10:00h. (janela de passagem do satélite) naquele dia ficou entre 26°C e 28°C, neste caso bem próxima à temperatura de superfície. Em ambas imagens de satélite foi possível visualizar a pista do aeroporto, comprovando sua elevada absorção de radiação solar e transformação em energia na forma de calor. Nos dias anteriores à aquisição da imagem de satélite não ocorreram precipitações, portanto o solo encontrava-se com baixa umidade e baixa inércia térmica.

**Figura 27** - Marcha da temperatura e pressão no período 03/03/2002 a 12/03/2002



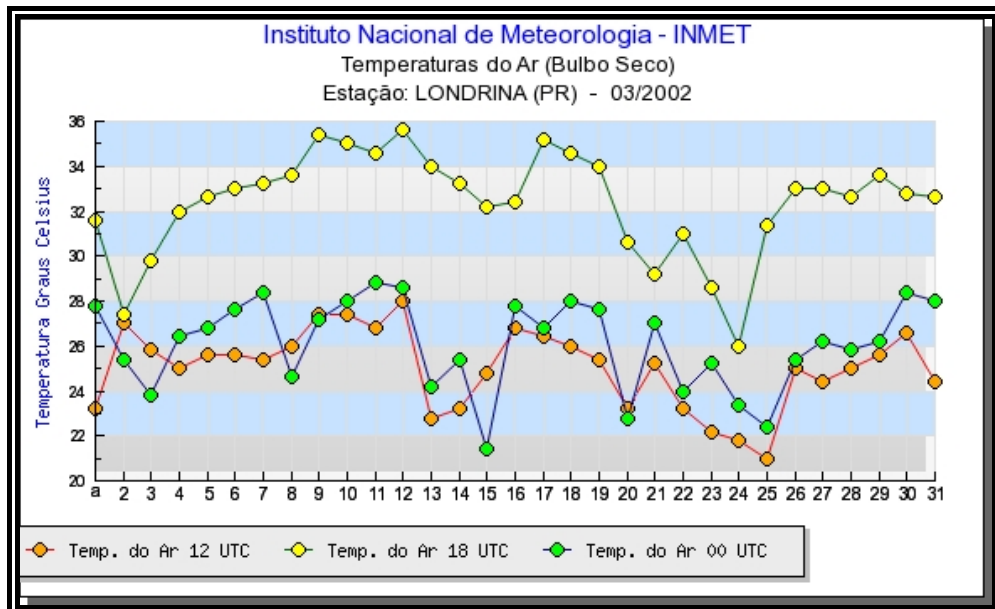
Fonte - INFRAERO

**Figura 28** - A quantidade no período 07/03/2002 a 08/03/2002



Fonte - Infraero.

**Figura 29** - Temperatura do ar nos horários das 09, 15 e 21 horas (horário local), no mês de Março de 2002



Fonte - INMET

A Tabela 2 mostra os valores obtidos em coleta de campo utilizando-se um sensor infravermelho termal da marca Raitek, o que possibilitou

aferir os valores obtidos pela imagem de satélite e que indica o aquecimento diferenciado de cada superfície.

**Tabela 6-** Temperatura do ar, superfície de asfalto, concreto e grama para horários próximos à passagem do satélite LandSat 7 em 15/03/2006. (termômetro infravermelho)

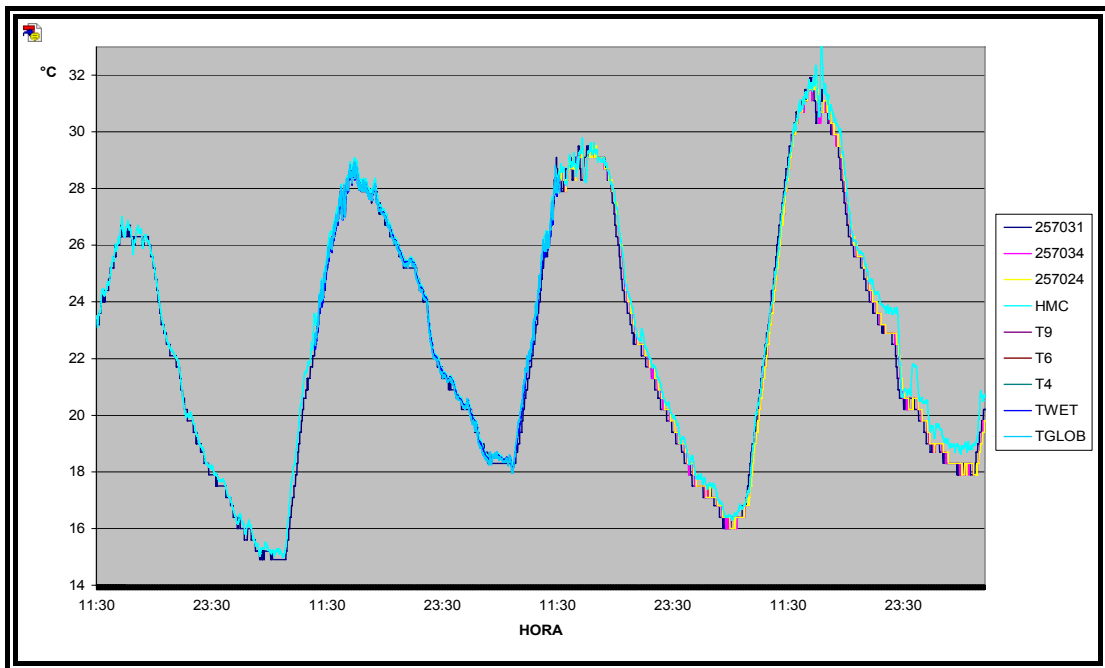
Hora	09:30	10:00	10:30
temperatura do ar	25	25,6	27,7
temperatura da superfície de asfalto	43	44,8	50
Temp. da superfície de concreto	37,5	40	44
temperatura da superfície de grama	32,4	34	40

Analisando-se a tabela é possível verificar a marcha e variação de temperatura para cada tipo de material sendo o asfalto (maior albedo) aquele que absorve mais energia solar e a transforma em calor.

### 5.3 CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

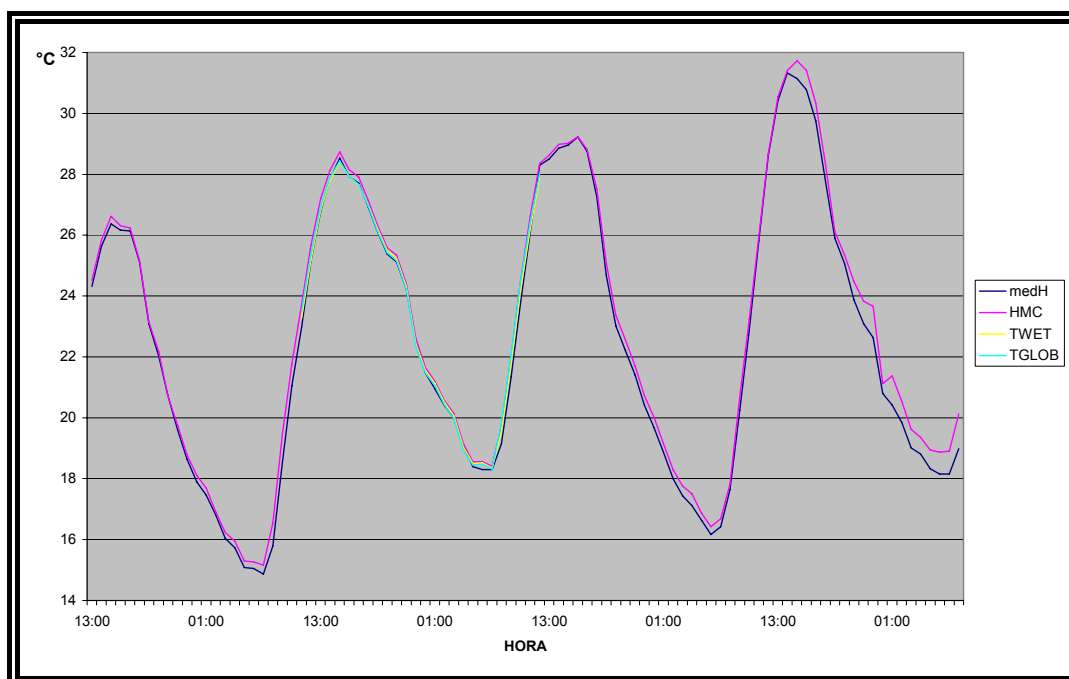
A partir de uma coleta de dados inicial, possibilitou-se fazer a validação dos valores obtidos pelos sensores de cada registradores de dados. Foram utilizados três registradores de dados do tipo HOBO H8 (Onset), equipados com sensores de temperatura e umidade relativa do ar sendo nomeados nas figuras com seus números de série: 257031, 257034 e 257024. Foram também utilizados dois medidores HMP45A da VAISALA, com sensores PT100, resistivos, com erro de dois décimos de graus Celsius, sendo que uma série dados forma perdida devido a falha na programação, três HOBO H1 (Onset) com sensores de temperatura do tipo resistivo (T9, T6, T4), e dois sensores resistivos (TWER, TGLOB), adaptados para coletar apenas temperatura do ar, conectados em um registrador de dados modelo BABUC/M, conforme mostra a figura 30.

**Figura 30** - Marcha da temperatura dos instrumentos durante a calibração.



Na aquisição de dados a cada minuto, pode-se perceber a homogeneidade dos dados de temperatura devido ao abrigo meteorológico modelo padronizado na cor branca e também as oscilações de temperatura de até 2°C, conforme Varejão-Silva (2006).

Para os mesmos dias de coleta usando-se a média de uma hora e não os intervalos de minuto a minuto, percebe-se no gráfico da figura 31 melhores aderências dos valores amostrados, devido à suavização através da média.

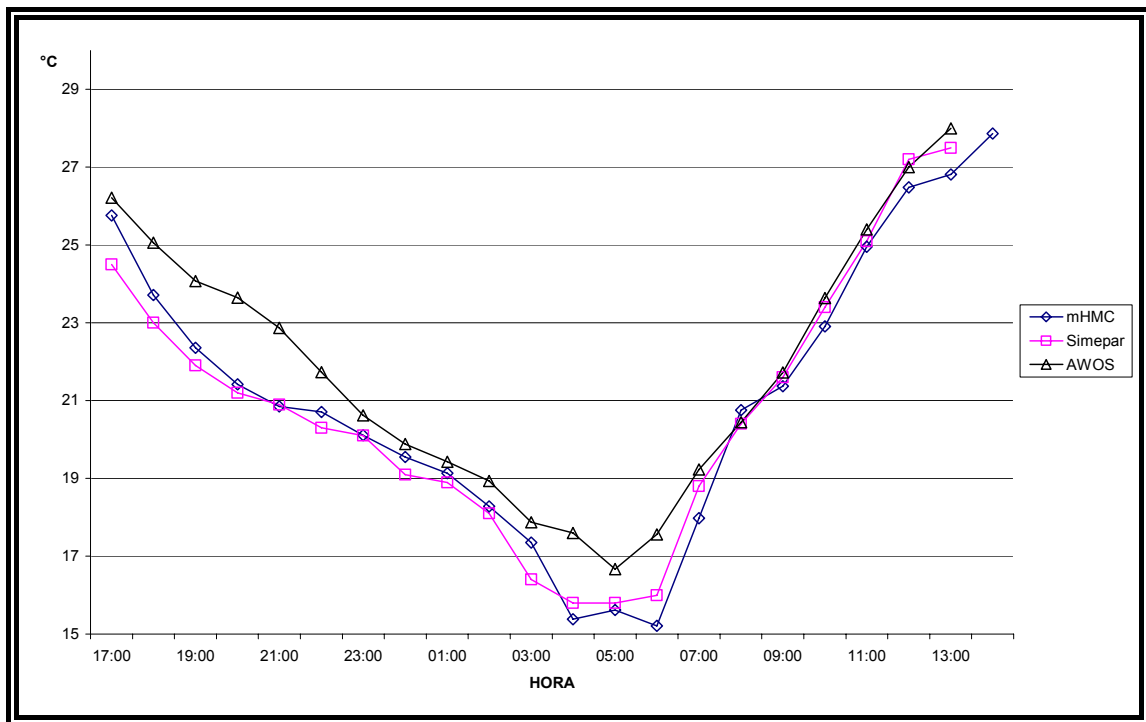
**Figura 31** - Valores de temperaturas com médias de uma hora.

#### 5.4 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTIO DO IAPAR

Entre os dias 26/04 às 17:00h. e o dia 27/04 às 14:00h. foram realizadas amostragens de temperatura, a cada minuto, no sítio meteorológico do IAPAR, para validar os dados desta estação e, cujos resultados, podem ser apreciados no gráfico da figura 32, onde foram plotados os valores das médias horárias.

Percebe-se boa aderência entre as temperaturas da estação Campbell com sensores HMC45 da VAISALA com os valores registrados pela estação automática do SIMEPAR, para os dias monitorados. Com relação à estação AWOS do aeroporto de Londrina, percebe-se que neste sítio há maior inércia térmica e as temperaturas durante a noite e madrugada são maiores que no sítio do IAPAR, para o período considerado.

**Figura 32** - Marcha da temperatura do instrumento da estação móvel de aferição e da estação automática do SIMEPAR, entre os dias 26/04 às 17:00h. e o dia 27/04 às 14:00h., comparando com a estação AWOS do Aeroporto.



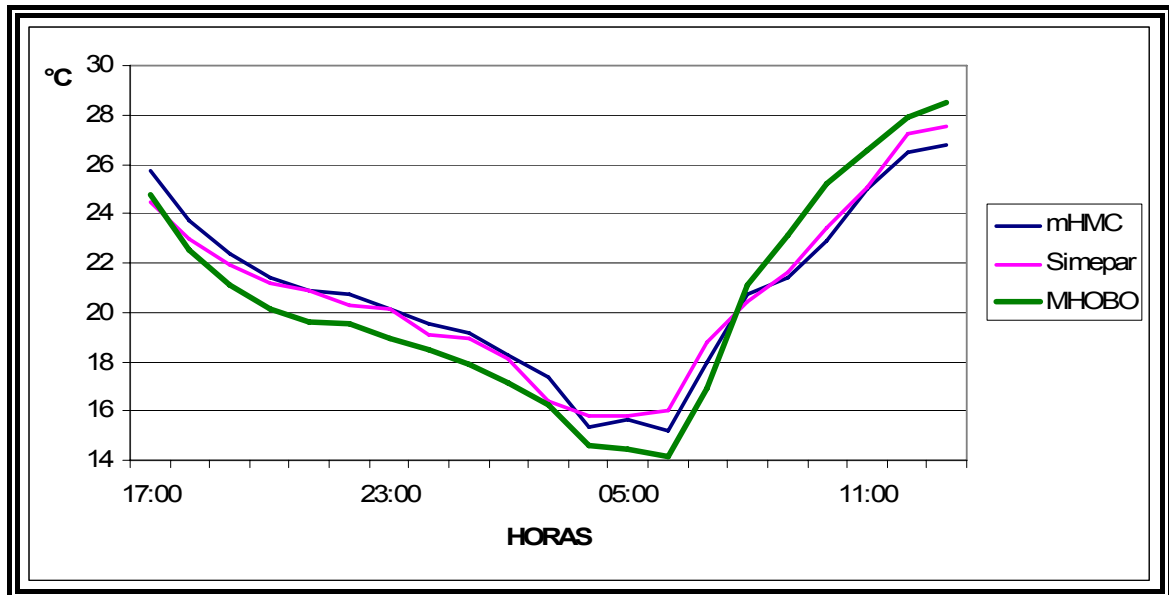
No sítio do IAPAR também foram colocados registradores do tipo HOBO (Onset), dentro de mini-abrigos meteorológicos, estes abrigos são do mesmo modelo usado por Mendonça (1994) (ver figura 33). Os resultados obtidos pela coletas estão indicados na figura 34.

**Figura 33** - Detalhes do mini-abrigo meteorológico utilizado em algumas ocasiões.

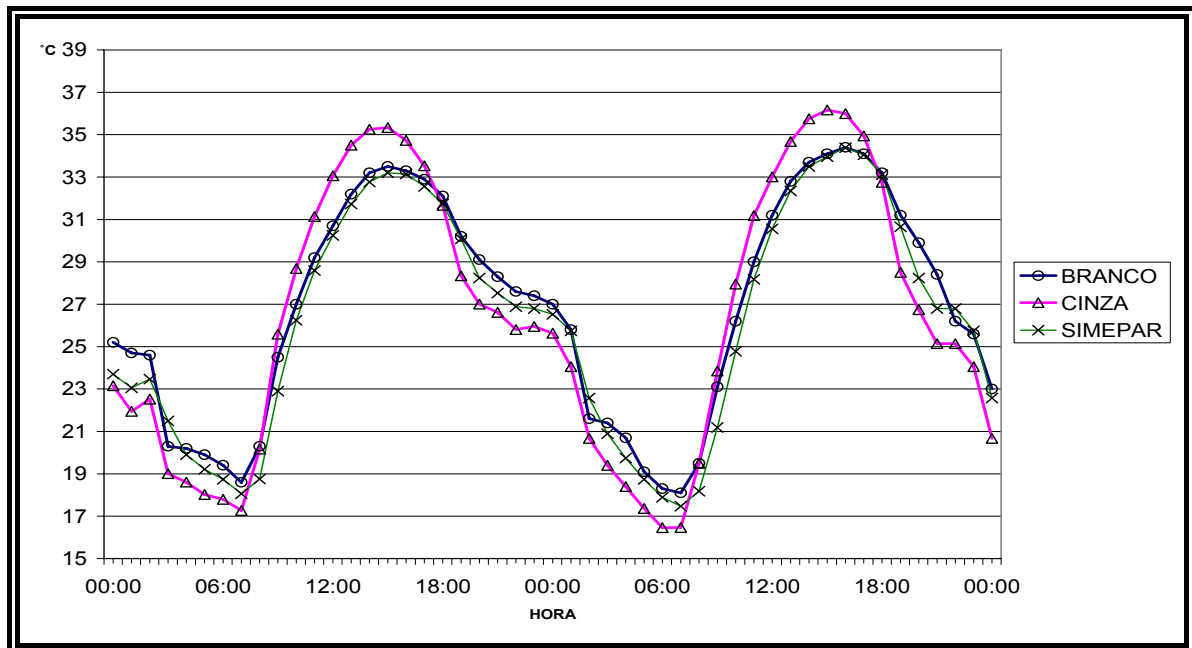


As temperaturas médias dos medidores do tipo HOBO (MHOBO), a média dos medidores do tipo HMC (mHMC) e do medidor da estação automática do SIMEPAR (Simepar).

**Figura 34** - Trajetória das curvas de temperatura médias de uma hora para os registradores HMC, HOBO e da estação do SIMEPAR, entre os dias 26/04 à 27/04/2006



**Figura 35** - Variação das temperaturas do dia 13/09 ao dia 14/09/2006 no sítio do IAPAR com os mini-abrigos da cor branca, cinza metalizado e a estação automática do SIMEPAR



A partir dos gráficos das figura 34 e 35, é possível notar que o sistema de coleta com registradores colocados em mini-abrigos abertos e pintados

de cor cinza metalizado, sofrem aquecimento por influência da radiação solar durante o dia e, durante noite, tendem a perder mais calor, devido às aberturas e baixa inércia térmica.

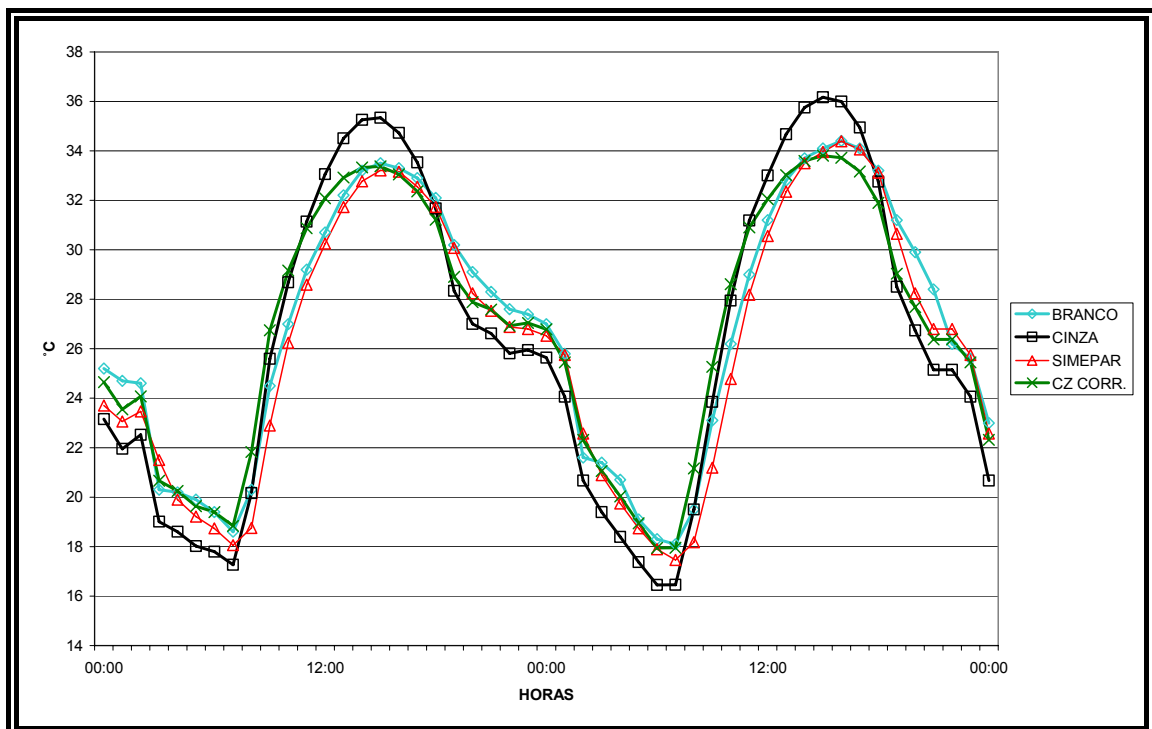
Com o uso de um software de estatística foi elaborada a seguinte equação de correção devido ao efeito da cor cinza metalizado do abrigo para as amostras:

**Equação 4** - Equação ( $R=0,97$ ) de ajuste da curva da temperatura do mini-abrigo cinza para o mini-abrigo branco.

$$\text{TempBR} = -4.2167 + 1.5939X - 0.015X^2$$

Nesta regressão conseguiu-se uma correlação elevada ( $R=0,97$ ), que mostra um bom ajuste dos valores corrigidos com apenas uma pequena defasagem, em virtude do aquecimento e resfriamento mais acentuado. O gráfico da figura 36 confirma o resultado.

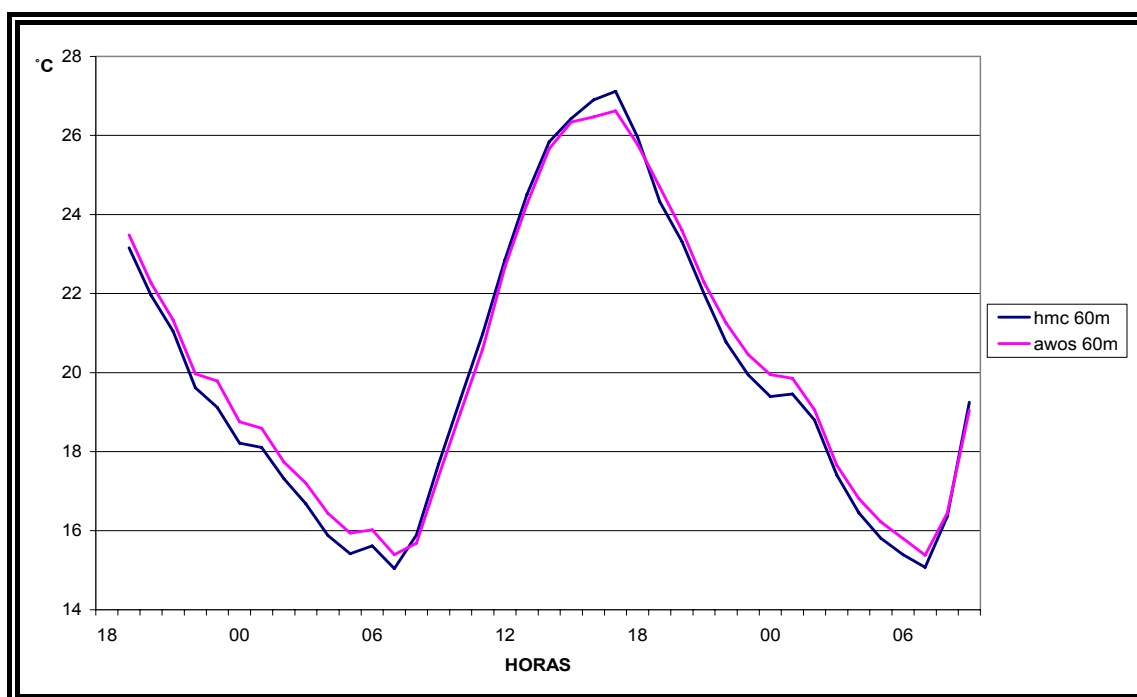
**Figura 36** - Temperaturas corrigidas dos mini-abrigos cinza metalizado colocados no sítio do SIMEPAR.



## 5.5 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTIO METEOROLÓGICO DA INFRAERO

Aferiu-se os valores obtidos na estação automática AWOS do aeroporto de Londrina que está em fase de homologação para operação. Esta possui vários recursos adicionais em relação à estação que está sendo mantida como operacional, destacando-se o registro automático de todos os valores coletados em intervalos de minuto a minuto. Na figura 37 é evidenciado bom acompanhamento da marcha de temperatura do ar entre os sensores, apesar da amplitude térmica do dia ser de aproximadamente 12°C, o que mostra a excelente qualidade do equipamento. Uma questão a ser abordada é que este instrumento é do tipo volume de ar aspirado, para manter constante a velocidade do ar que passa pelos sensores. No Brasil existem experimentos deste tipo conforme os realizados por Azevedo e Tarifa (2001), na confecção de um mini-abrigo aspirado.

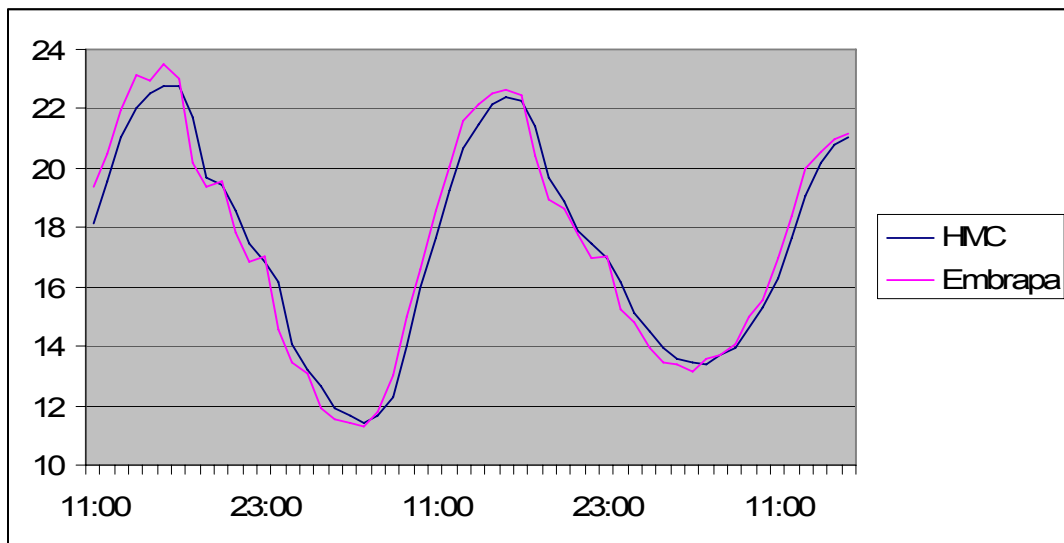
**Figura 37** - Valores coletados no sítio da Infraero entre 28/05/2006 a 30/05/2006



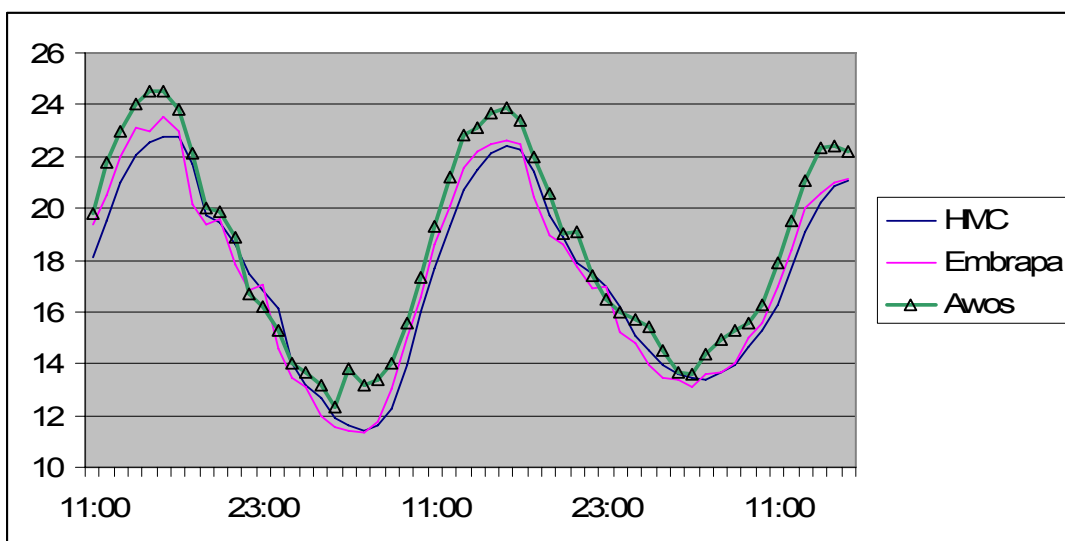
## 5.6 AFERIÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO SÍTO METEOROLÓGICO DA EMBRAPA

O sítio da Embrapa está localizado em uma zona basicamente rural com exceção das edificações que comportam o centro de pesquisa. Os dados foram coletados entre os dias 05/05/2006 e 07/05/2006, os resultados estão demonstrados no gráfico e apresentam boa aderência e fase entre os valores registrados.

**Figura 38 -** Comparação entre o instrumento padrão instalado e o instrumento da estação da Embrapa ( °C/hs)



**Figura 39 -** Valores obtidos na Embrapa e da estação automática da INFRAERO



Com relação ao gráfico da figura 39, é possível perceber que os valores indicados pela estação da Infraero (AWOS), que está inserida em área urbana, apresentam valores de temperatura do ar superiores a 1°C acima dos registrados na estação da Embrapa, que é uma estação rural, correspondendo com os resultados das temperaturas de superfície providas das imagens de satélites onde nota-se que as temperaturas radiantes de superfície são mais elevadas nas áreas urbanas, do que nas áreas rurais do entorno da cidade, com exceção de alguns pontos isolados com temperatura radiante mais elevada, que são aquelas com cobertura seca ou de solo nu, conforme mostram as imagens termais do satélite LandSat7 (figuras 22 e 26).

**Figura 40** - Posicionamento dos equipamentos instalados no sítio meteorológico da Embrapa

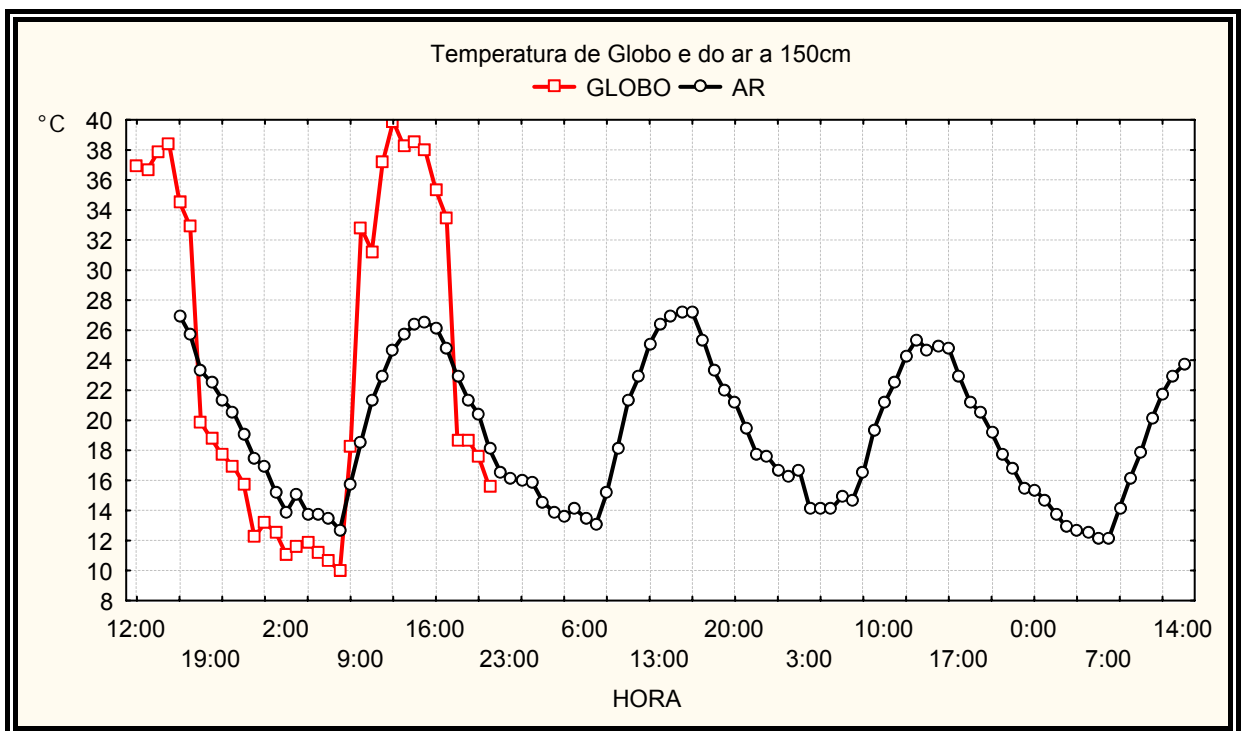


Destaca-se na figura acima o posicionamento dos equipamentos instalados junto ao solo com sensores a 20cm de altura e sensores instalados a 150cm de altura em mini-abrigos cinza metalizados. Esses dados foram desprezados devido as variações apresentadas no gráfico 35, pois a coloração cinza metalizada interferiu nos resultados acentuando os valores extremos das medições tanto para as máximas como para as mínimas.

## 5.7 TEMPERATURA DO AR A 150 CM DE ALTURA E TEMPERATURA DE GLOBO

Nesta etapa de monitoramento realizou-se a coleta de temperaturas de globo (corpo negro) exposto diretamente a radiação solar relacionando-o com a temperatura do ar a 150cm de altura. O resultado apresentado na figura 41 mostra a grande diferença de temperatura em virtude do elevado índice de absorvância do corpo negro em comparação com a temperatura do ar coletada em um mini-abrigo de cor branca. Verifica-se que o ganho de calor é maior que perda de calor durante a noite, pois este não tem relação com a cor e sim com a perda de calor para a atmosfera.

**Figura 41** - Temperatura de globo a 150cm e temperatura do ar a 150 cm nos dias 12 a 16 de julho de 2006

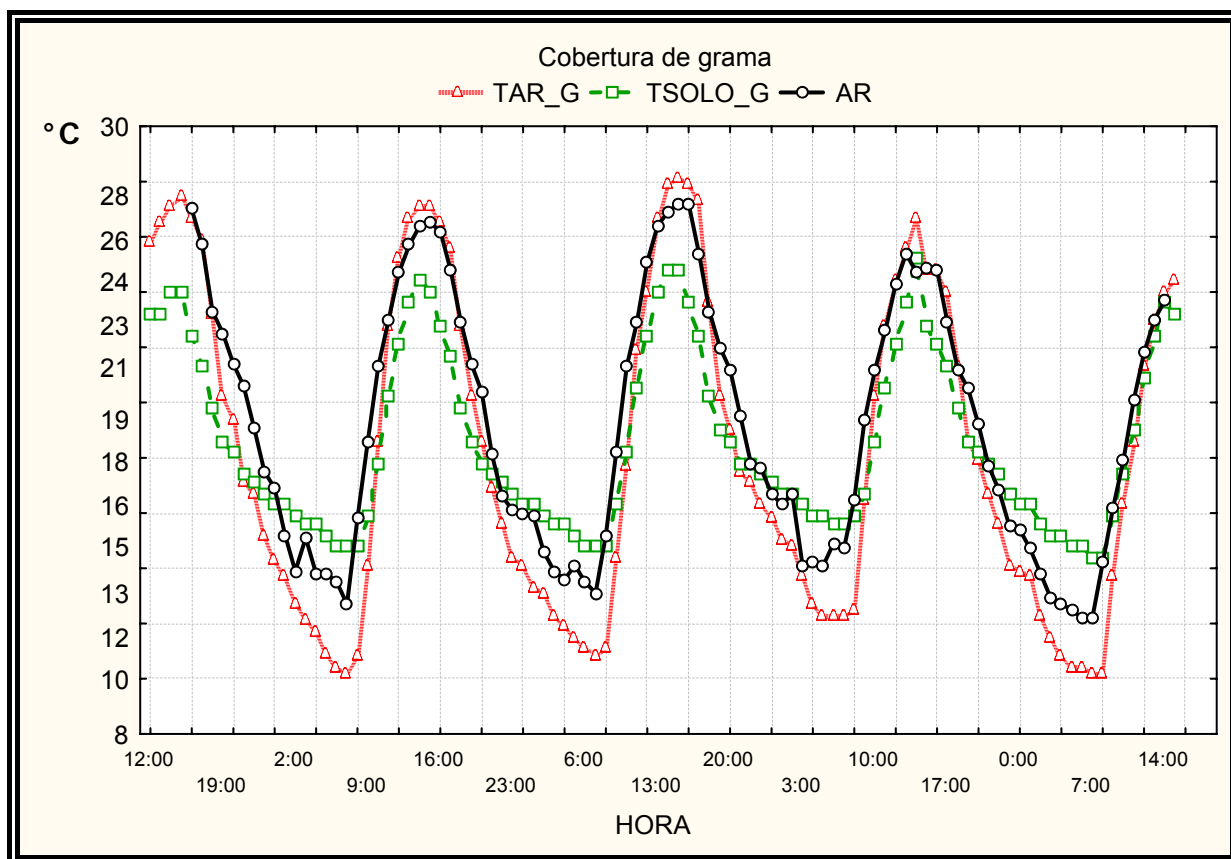


## 5.8 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO PARA COM COBERTURA DE GRAMA

Foram instalados registradores de temperatura do tipo HOBO da ONSET para o monitoramento das temperaturas a 20 cm de altura do solo e a uma profundidade de 2 cm no solo com cobertura de grama e relacionou-se com a

temperatura do ar a 150 cm de altura (figura 42). Percebe-se que a temperatura a 2 cm de profundidade no solo com grama, possui menor oscilação térmica comparada às demais temperaturas.

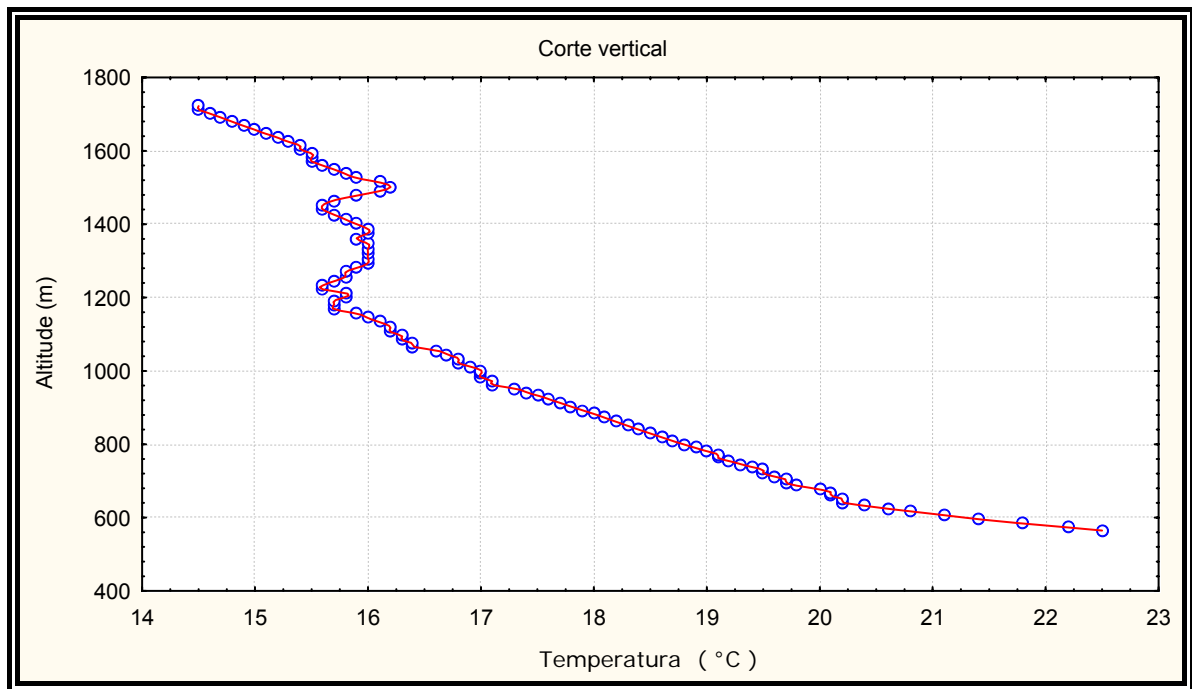
**Figura 42** - Distribuição da temperatura do solo a 2cm de profundidade, a 20cm de altura do solo e a 150cm de altura do solo (cobertura de grama) nos dias 12 a 16 de julho de 2006.



A temperatura do solo a 20 cm de altura possui maior oscilação em virtude do aquecimento provocado na superfície da cobertura com grama que passa a influenciar as camadas mais próximas por convecção. Em termos genéricos isto é percebido facilmente quando visualiza-se as temperaturas verticais da atmosfera no período da 12 UTC com céu sem cobertura por nuvens (figura 41) entre 570 m. e 640 m.

Nota-se uma inversão térmica na camada próxima ao solo no sítio do IAPAR (figura 42), provocada pela perda de calor superficial do solo. O solo com cobertura de grama mantém um elevado índice de umidade conseguindo também elevado grau de inércia térmica.

**Figura 43** - Temperatura em função da altitude para a cidade de Londrina (570 metros)



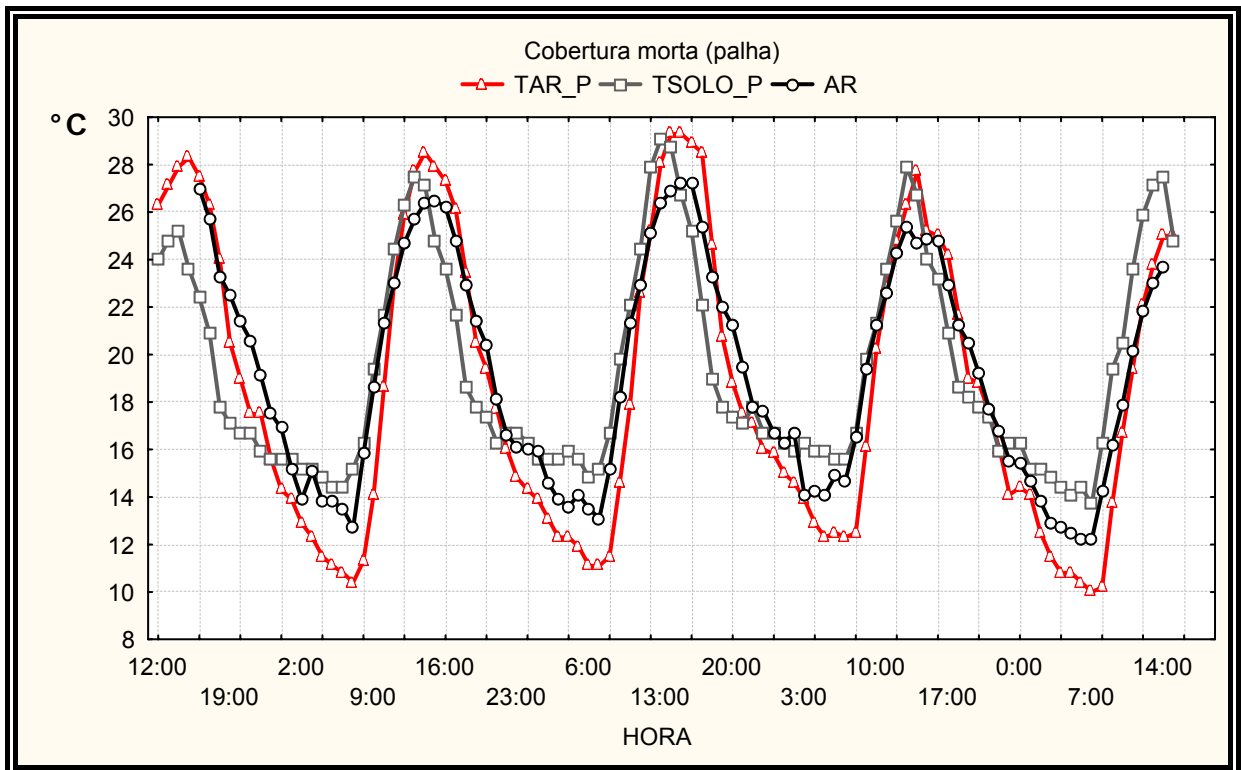
**Fonte** : Estação de altitude do aeroporto de Londrina, INFRAERO.

### 5.9 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO SEM COBERTURA (SOLO NU)

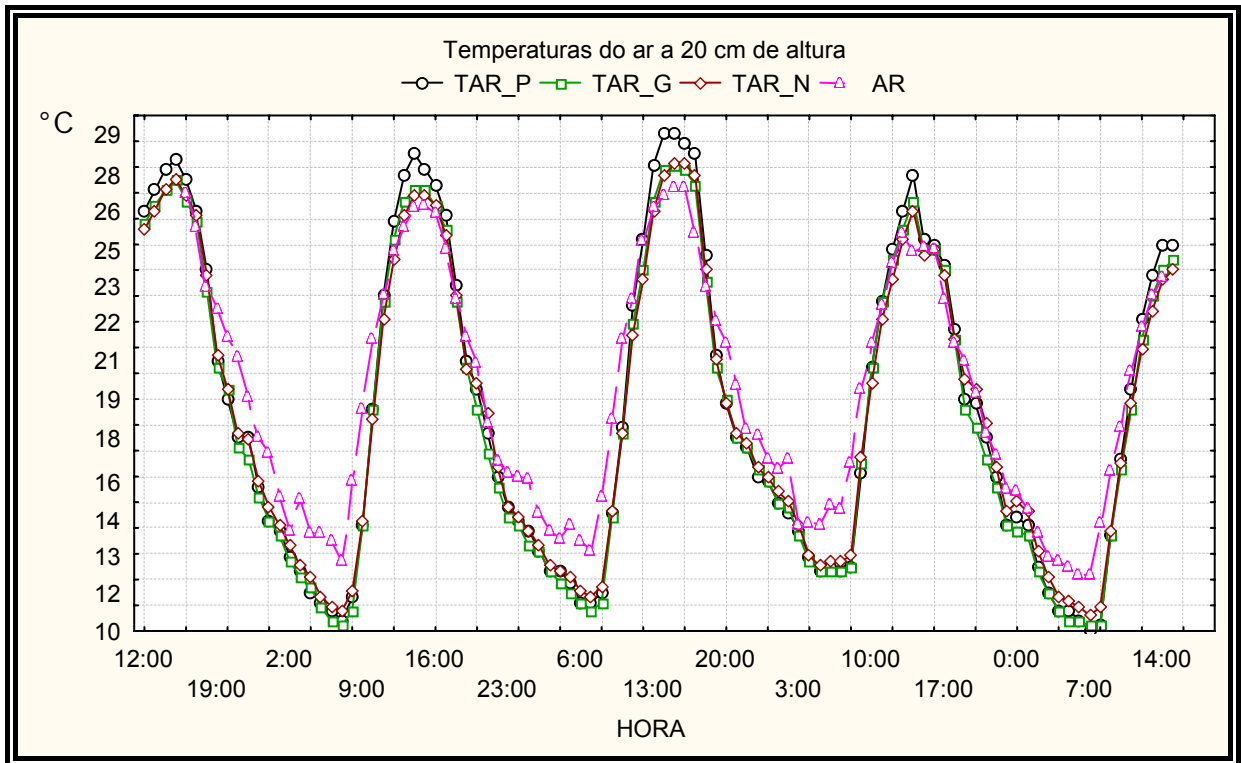
No solo nu na figura 44 percebe-se que a temperatura do solo a 2 cm de profundidade tem suas temperaturas máximas, superando a do ar a 150 cm e durante o período noturno tem maior inércia térmica que este, superando os demais registros, provavelmente, devido a retenção de umidade em seus poros. A perda superficial de calor é grande para este tipo de cobertura, pois sua parte superior apresenta uma quantidade muito baixa de umidade, contribuindo bastante para a queda da temperatura do ar a 20 cm.



**Figura 45** - Distribuição da temperatura do solo a 2cm de profundidade (TSOLO\_P), a 20cm de altura do solo (TAR\_P) e a 150cm de altura do solo com cobertura morta (AR).

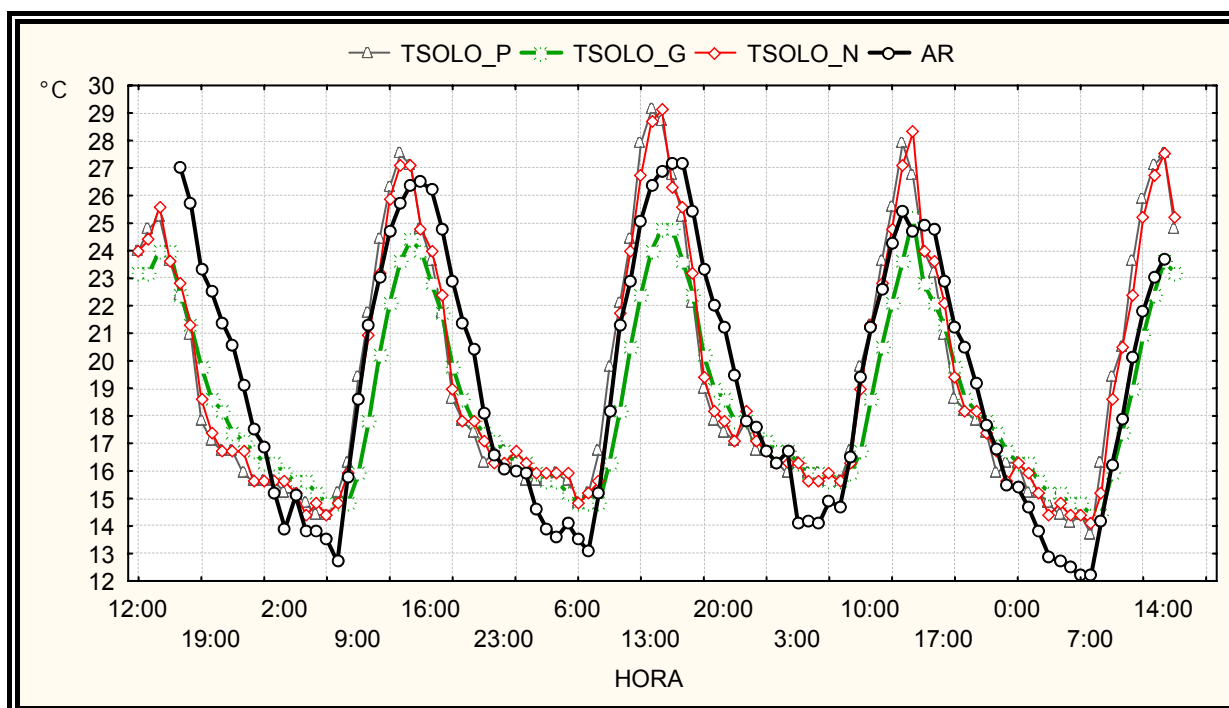


As áreas expostas ao ar livre ficam extremamente mais secas, provocando baixa inércia térmica, facilmente detectada observando as temperaturas dos instrumentos. Como se pode ver, a temperatura do ar a 20cm de altura acompanha a variação da temperatura do solo durante o período diurno, sendo levemente superior e, durante o período noturno, a queda de temperatura é mais acentuada (inversão de temperatura).

**Figura 46** - Temperatura do ar a 20cm e a 150cm de altura do solo

Na figura acima se visualiza as temperaturas a 20 cm de altura nas diferentes coberturas de solo, cobertura morta (TAR\_P), cobertura com grama (TAR\_G), cobertura de solo nu (TAR\_N) e temperatura do ar (AR). Neste monitoramento percebe-se que a temperatura a 20 cm de altura na cobertura morta (TAR\_P) é superior as demais revelando elevado ganho de calor. A temperatura do ar permaneceu mais baixa devido a inércia térmica e a mistura de ar por advecção e/ou convecção.

**Figura 47** - Temperaturas a 2cm de profundidade do solo e temperatura do ar a 150cm de altura.



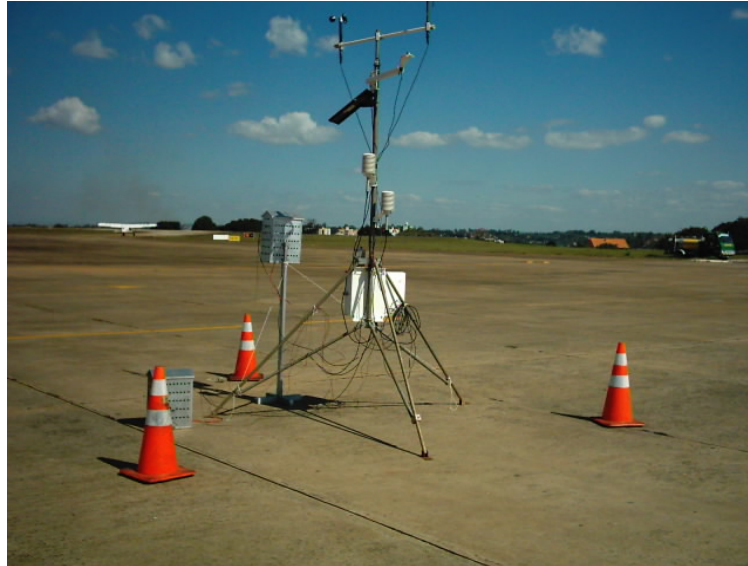
No gráfico da figura 47 visualizam-se as temperaturas a 2cm de profundidade nas diferentes coberturas de solo: (TSOLO\_P) cobertura morta, (TSOLO\_G) cobertura de grama e (TSOLO\_N) solo nu e a temperatura do ar a 150cm de altura. O aquecimento na cobertura morta e solo nu é bem superior ao do ar e cobertura de grama, sendo esta a menor de dentre todas.

### 5.11 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO COM COBERTURA DE CONCRETO

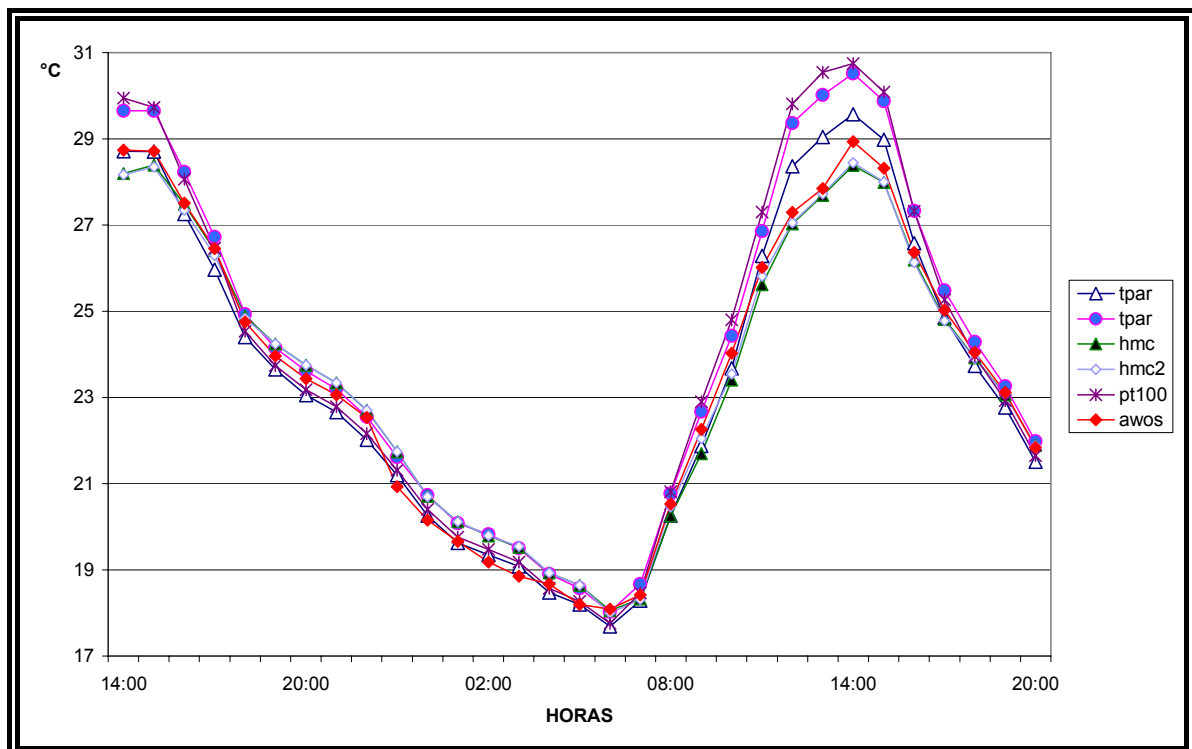
Utilizando-se um armazenador de dados da Campbell modelo 21X, posicionaram-se os sensores para amostragem dos dados, da seguinte maneira: os sensores termopar (tpar), representados na figura 49 pela esfera azul e o sensor (pt100), representado por asterisco, foram posicionados em um abrigo meteorológico em madeira a uma altura de 20cm do solo. Os sensores hmc e hmc2 mediram a temperatura do ar a uma altura de 200cm, o sensor termopar representado pela linha com triângulo, ficou posicionado no abrigo meteorológico em madeira 150cm do solo. Nos valores amostrados representados no gráfico foram inseridas as temperaturas do ar da estação oficial do aeroporto de Londrina (AWOS) como

referência. Esta, por sua vez, está localizada próxima à pista de pouso e decolagem de aeronaves e disposta em superfície gramada.

**Figura 48** - Disposição dos instrumentos no pátio de estacionamento de aeronaves



**Figura 49** - Temperatura do ar sobre uma superfície de concreto (pátio de estacionamento de aeronaves do aeroporto de Londrina) entre os dias 30/04/2006 a 01/05/2006.

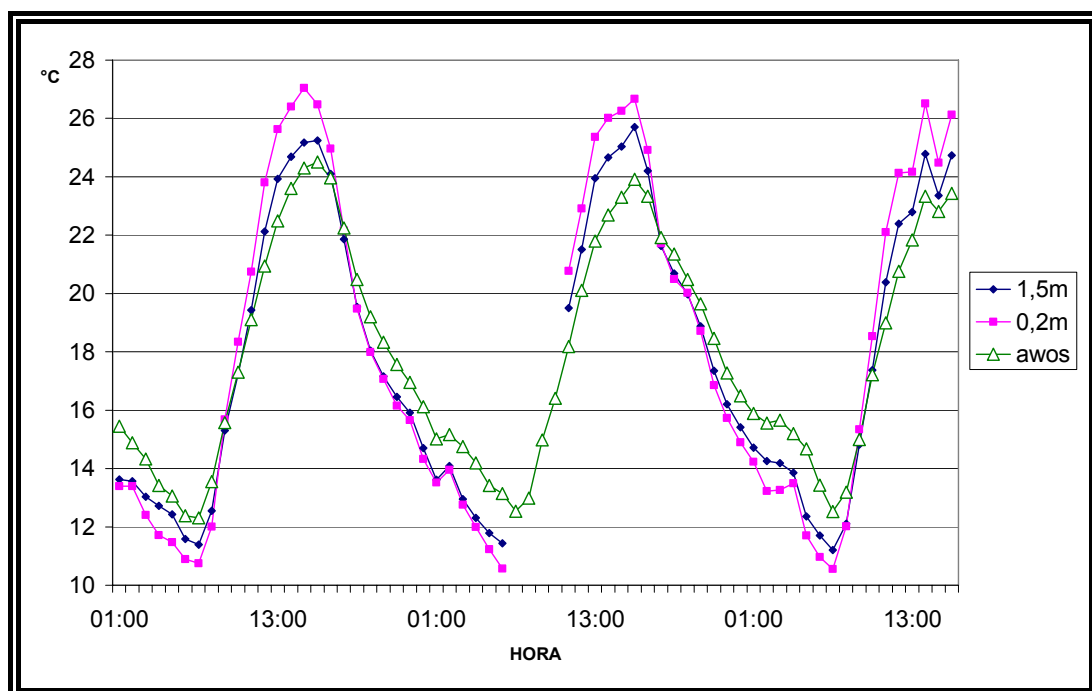


Nota-se para o período noturno, que o comportamento das linhas de temperatura foram bastante semelhantes, porém para o período diurno, foi visível o aumento da temperatura em virtude dos sensores estarem próximos ao pavimento de concreto (tpar ° e pt100\*). As temperaturas amostradas pelos sensores hmc (Vaisala), que ficaram a altura de 200cm tiveram um comportamento bem semelhante ao sensor da estação oficial do aeroporto (AWOS), que também é de fabricação Vaisala. O sensor termopar representado pela linha em triângulo mesmo estando a uma altura próxima à dos sensores hmc teve um comportamento intermediário entre os grupos dos sensores da mesma altura, pois estava inserido no mini-abrigo cor cinza metalizado o que interferiu na medição.

#### 5.12 TEMPERATURA DO AR E DO SOLO COM COBERTURA DE ASFALTO

Nas medições efetuadas no solo com cobertura de asfalto usando-se medidores do tipo HOBO instalados em mini-abrigos da cor cinza metalizado percebe-se o distanciamento entre as temperaturas do ar a 20cm e a 150cm de altura sobre a cobertura de asfalto. Neste caso a comparação com a estação AWOS foi prejudicada em função da interferência da cor cinza metalizado já que o sensor da estação AWOS está armazenado em uma colméia de cor branca.

**Figura 50 -** Temperatura do ar sobre uma superfície de asfalto no período de 08/05/2006 a 10/05/2006

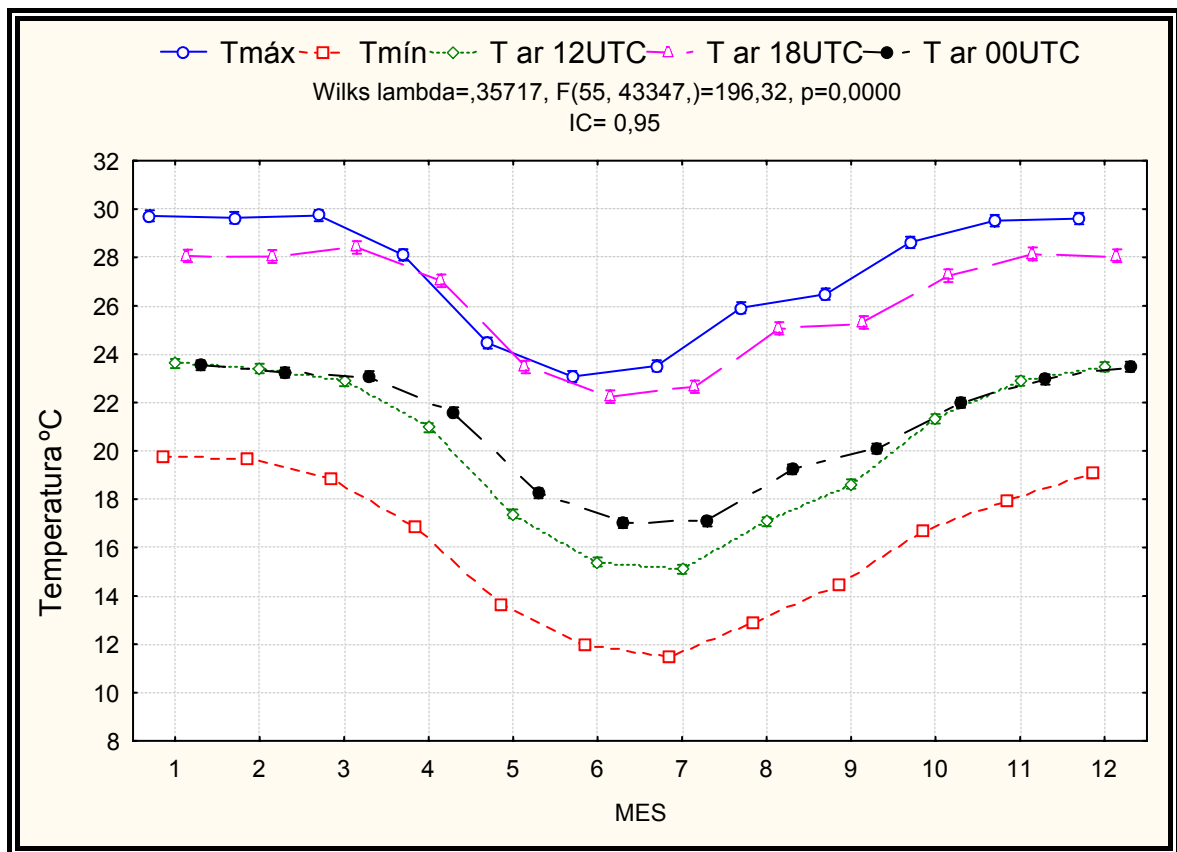


## 5.13 SÉRIE DE TEMPERATURA DO AR E DO SOLO

### 5.13.1 Série de Temperaturas do Ar de 1980 a 2005

Verificando o gráfico da figura 52 é possível fazer as seguintes considerações: a média da temperatura máxima do ar a 150cm é muito próxima da temperatura máxima das 18 UTC, isto porque em geral as temperaturas máximas são atingidas entre 17 UTC e 19 UTC.

**Figura 51** - Variação média da temperatura do ar para os horários das 12, 18 e 00 UTC e temperaturas máximas e mínimas para o período de 26 anos (1980 a 2005).



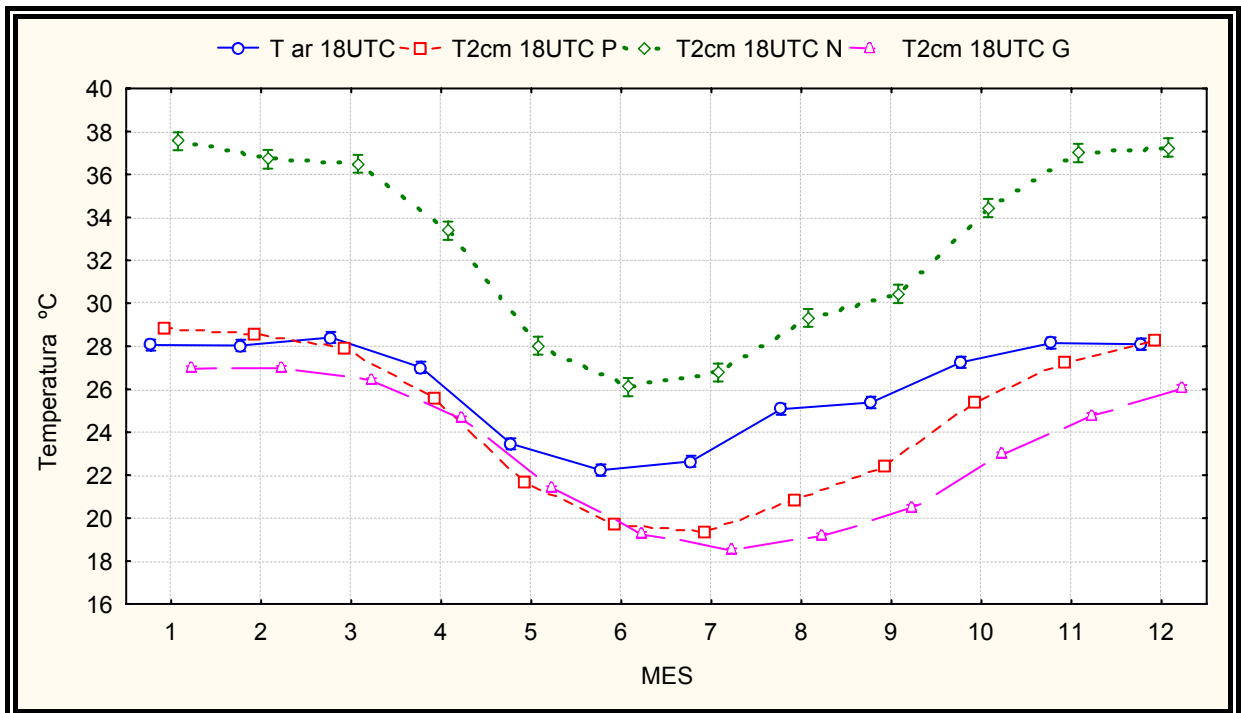
Fonte dos dados: IAPAR

De acordo com Vianello (2000) que analisou os termógrafos de um abrigo meteorológico em Viçosa, MG, a marcha anual de temperatura para a latitude da cidade de Londrina aproxima-se muito daquelas apresentadas por Ayoade (2004) e por Vianello (2000).

### 5.13.2 Relação da Temperatura do Ar e do Solo

O fator mais importante verificado na figura abaixo é a grande diferença existente entre a média de temperatura do solo nu em relação aos demais tipos expostos com diferentes coberturas.

**Figura 52** - Média de 26 anos (1980 a 2005) para variação anual da temperatura do solo a 2cm de profundidade para cobertura morta (palha), grama, solo nu e a temperatura do ar a 150cm às 18 UTC.



Fonte dos dados: IAPAR

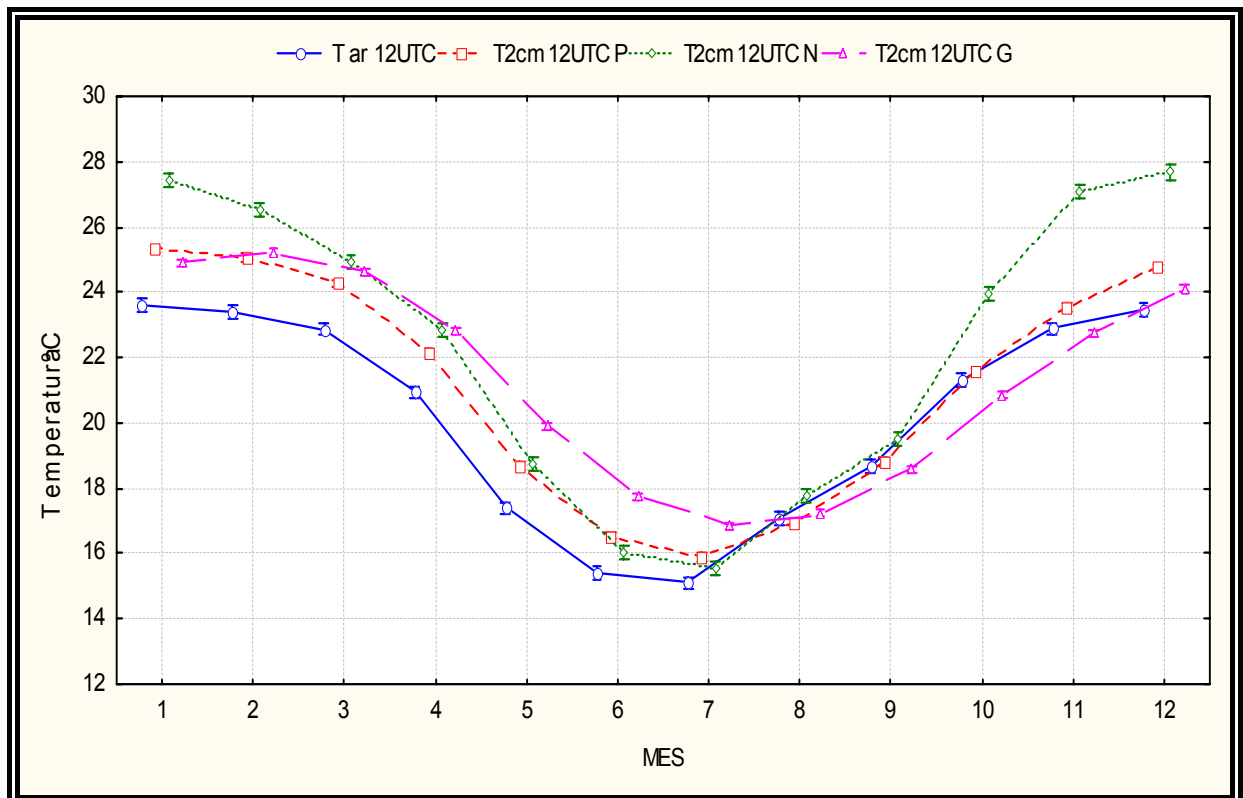
**Tabela 7** - Modelo matemático de regressão do tipo CÚBICA ( $T_{ar18UTC} = B_0 + B_1 \cdot T_{s2x} + B_2 \cdot T_{s2x}^2 + B_3 \cdot T_{s2x}^3$ ), sendo "x" a cobertura de palha, solo nu ou grama

Var. Dep.	Modelo	R	GL	F	signif	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
$T_{s2P}$	CUB	0,953	9	90,49	~0	448,467	0	-0,1615	0,005
$T_{s2N}$	CUB	0,983	9	264,01	~0	401,548	0	-0,1177	0,004
$T_{s2G}$	CUB	0,89	9	36,28	~0	563,410	0	-0,2127	0,0062

O fato acima observado mostra a enorme impacto que o solo descoberto pode proporcionar na temperatura do ar contribuindo para o aquecimento do mesmo, pois existem diferenças médias de até 10 °C.

Observando-se a tabela 3, verifica-se elevada correlação ( $R=0,983$ ) entre as temperaturas do ar e a temperatura do solo nu para as 18:00h. UTC, significando que esta, apesar da defasagem de temperatura tem o comportamento semelhante ao longo do tempo pois tem baixa inércia térmica, seguido do comportamento das temperaturas da palha ( $R=0,953$ ) e da grama ( $R=0,89$ ).

**Figura 53** - Média de 26 anos (1980 a 2005) para variação anual da temperatura do solo a 2 cm de profundidade para cobertura morta (palha), grama, solo nu e a temperatura do ar, a 150cm, às 12 UTC.



Fonte dos dados: IAPAR

**Tabela 8** - Modelo matemático de regressão do tipo cúbica ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 \cdot Ts_{2x} + B_2 \cdot Ts_{2x}^2 + B_3 \cdot Ts_{2x}^3$ ), quadrática ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 \cdot Ts_{2x} + B_2 \cdot Ts_{2x}^2$ ), e exponencial ( $Tar_{12UTC} = B_0 + B_1 \cdot EXP^{Ts_{2x}}$ ), sendo "x" a cobertura de palha, solo nu ou grama

Var. Dep.	Modelo	R	GL	F	signif	Bo	B1	B2	B3
<i>Ts<sub>2P</sub></i>	QUA	0,984	9	277,61	~0	16,8367	-0,7579	,0470	
<i>Ts<sub>2N</sub></i>	EXP	0,983	9	875,15	~0	5,835	0,06550		
<i>Ts<sub>2G</sub></i>	CUB	0,914	9	47,84	~0	16,0529		-0,0141	0,0013

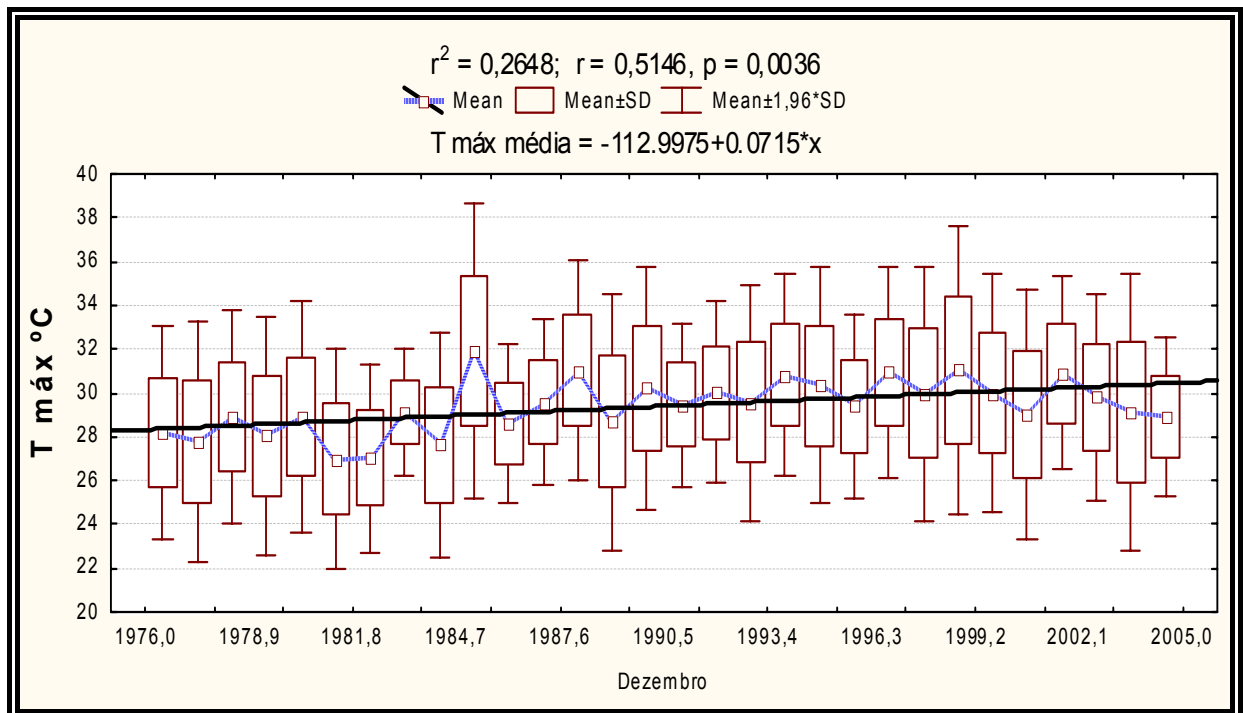
Para o horário das 12 UTC observa-se pelo gráfico diferenças de até 4 °C. indicando também a grande influência do solo nu.

Considerando as correlações dos modelos matemáticos da tabela, conclui-se que, nos horários considerados, os solos que possuem melhor compatibilidade com a temperatura do ar são os de cobertura com palha e solo nu devido a sua menor inércia térmica.

#### 5.14 TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DE 30 ANOS.

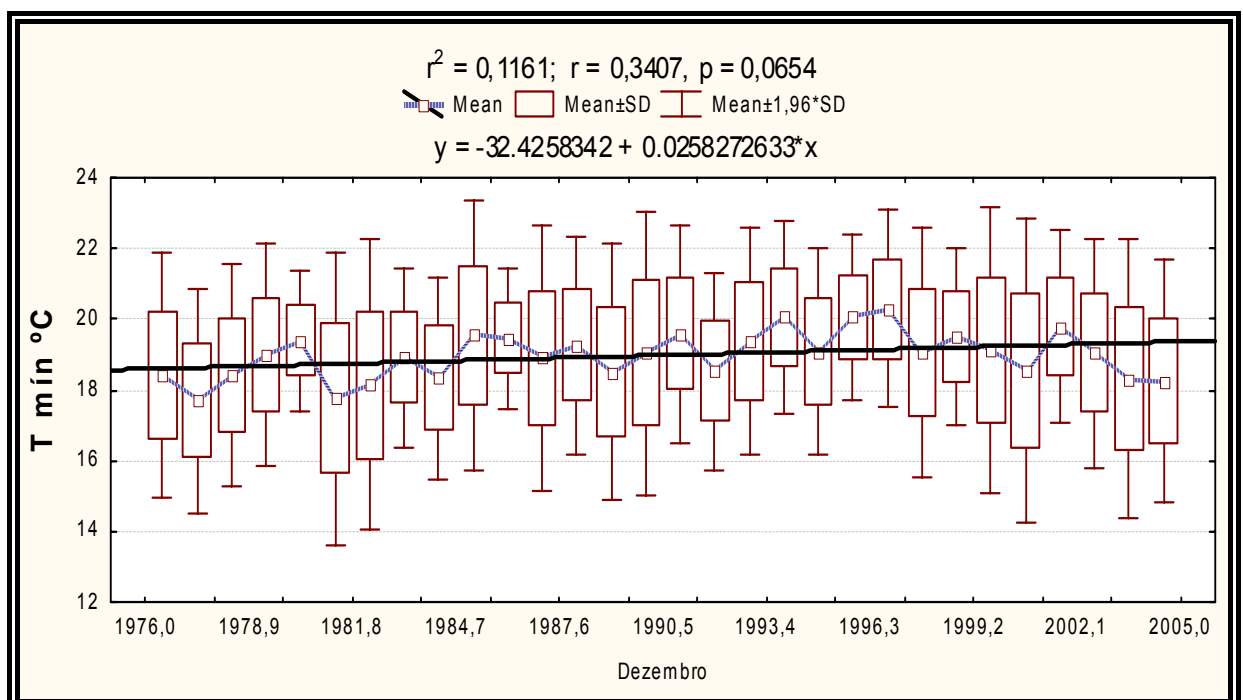
Com base nos dados do gráfico, identifica-se que existe uma tendência de aumento da temperatura máxima para o período de 30 anos, 1976 a 2005, para o mês de dezembro e o coeficiente de correlação foi ( $r=0,5146$ ), confirmando que há pouca dispersão dos pontos para as temperaturas plotadas.

**Figura 54** - Série de temperaturas máximas dos meses de Dezembro do período 1976 a 2005.

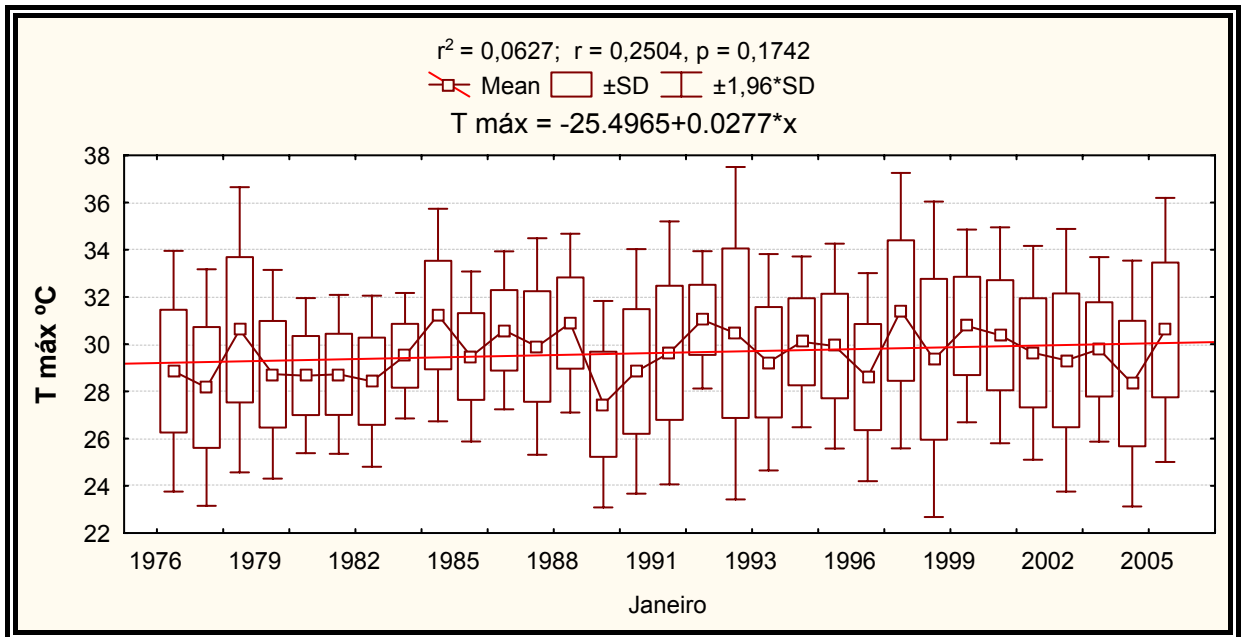


Para as temperaturas mínimas do mês de dezembro, também se identifica tendência ( $p=6,56\%$ ) de elevação para a série referida, como demonstrado na figura 56.

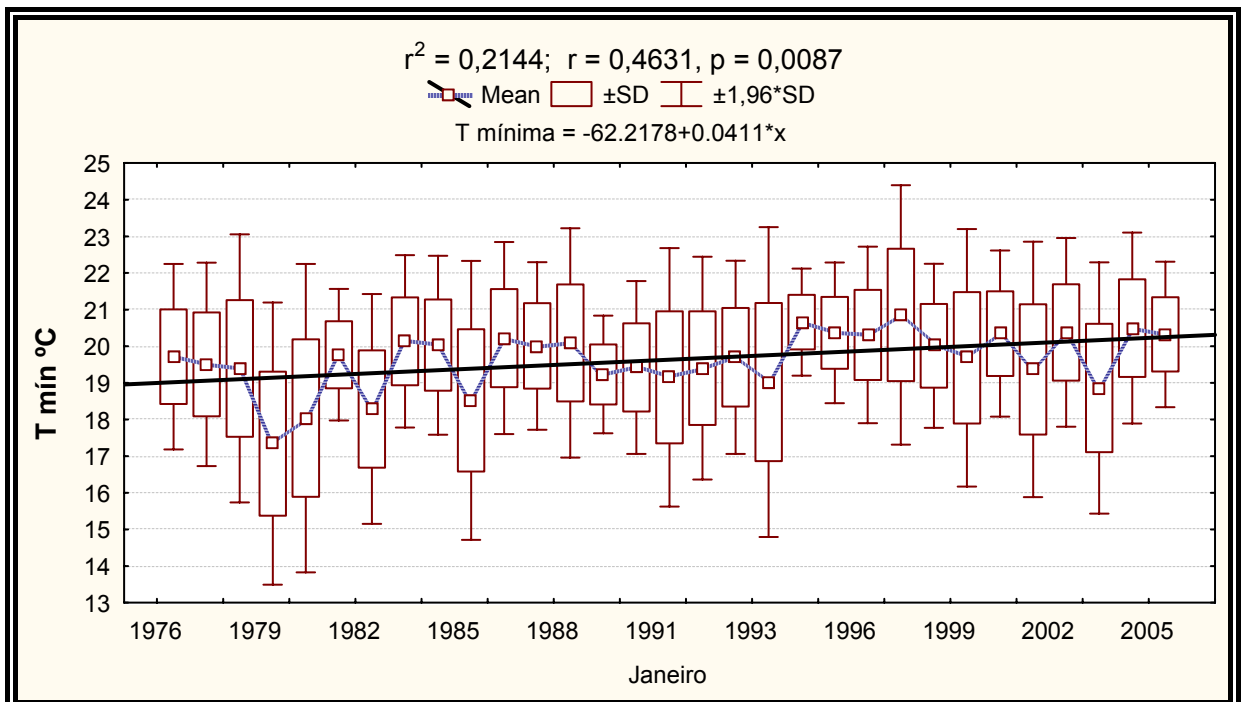
**Figura 55** - Série de temperaturas mínimas dos meses de Dezembro do período 1976 a 2005.



**Figura 56** - Série de temperaturas máximas dos meses de janeiro do período 1976 a 2005.

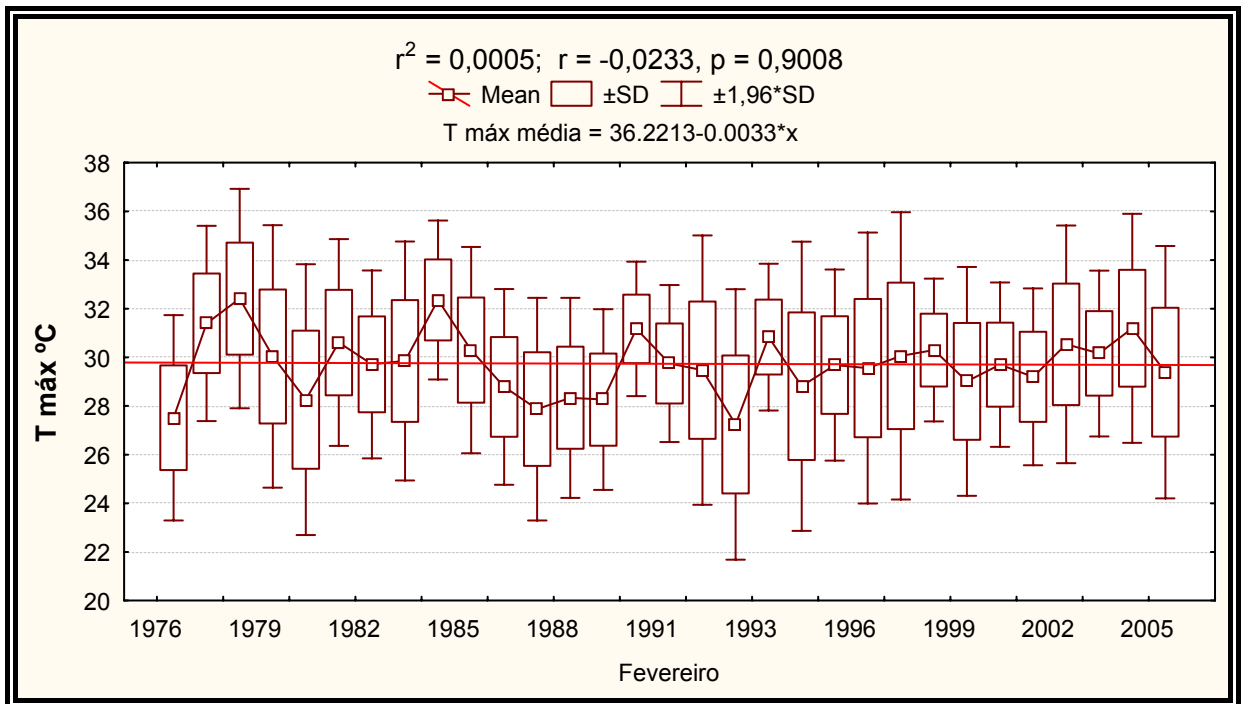


**Figura 57** - Série de temperaturas mínimas dos meses de Janeiro do período 1976 a 2005.

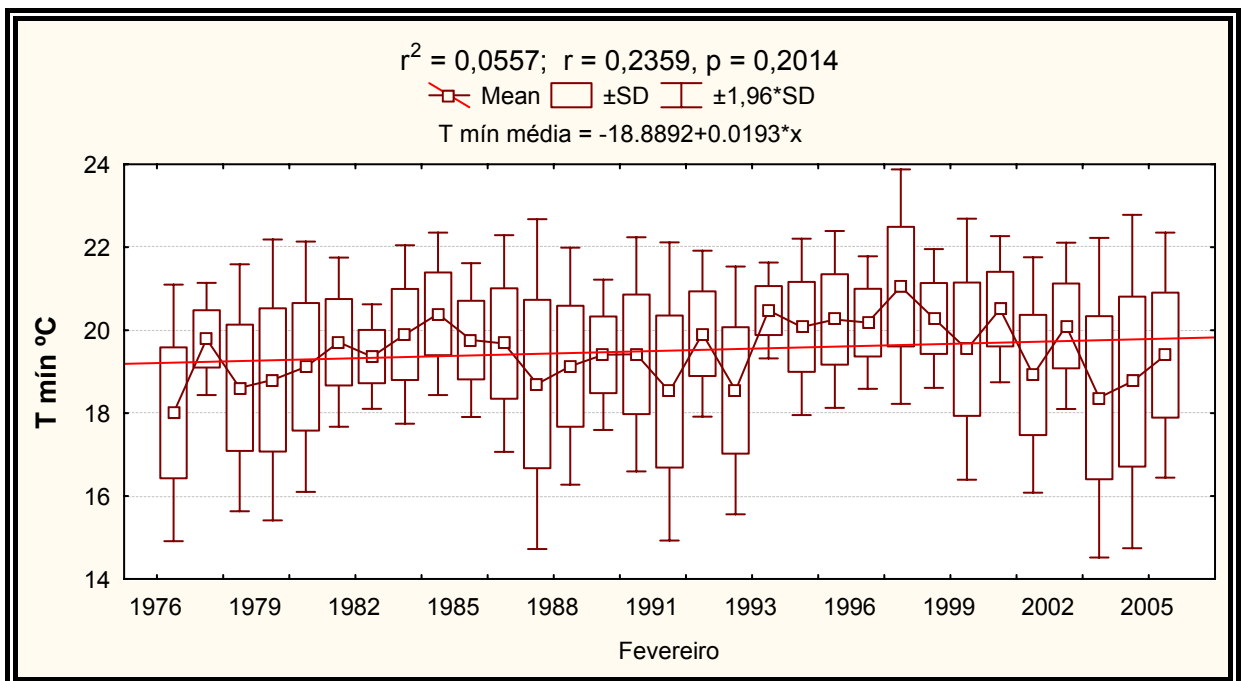


Pela análise das séries de temperatura máximas e mínimas do mês de janeiro pode-se concluir que apenas a tendência das mínimas é significativa.

**Figura 58** - Série de temperaturas mínimas dos meses de fevereiro do período 1976 a 2005.

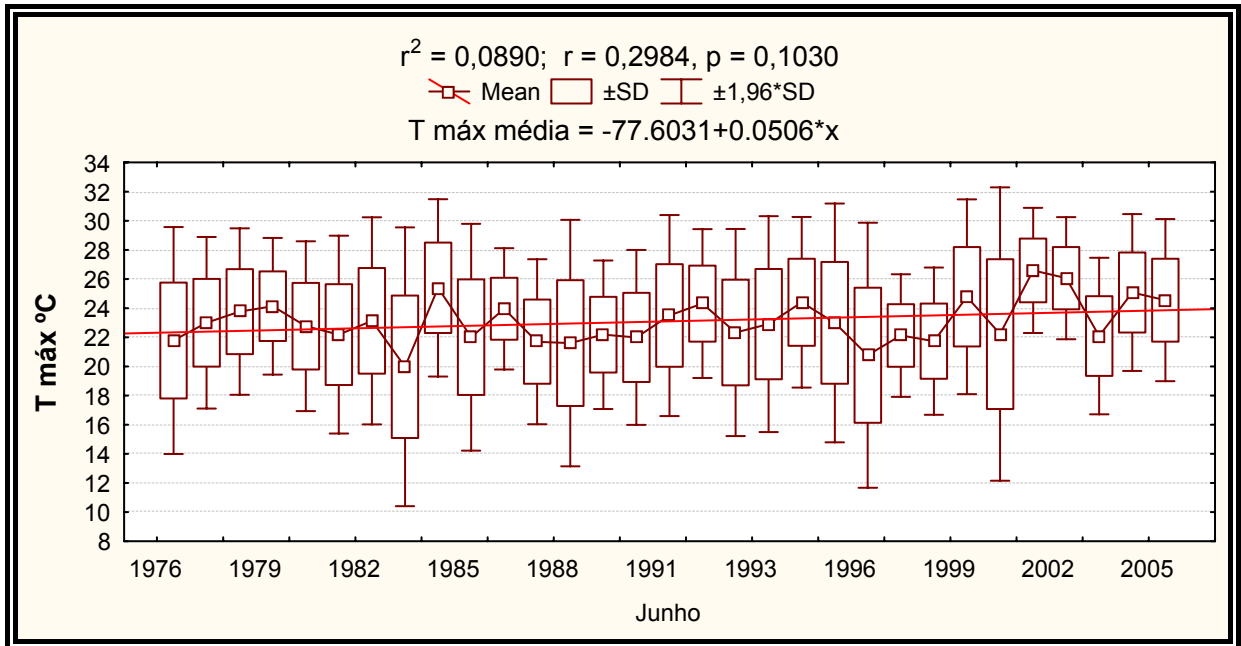


**Figura 59** - Série de temperaturas mínimas dos meses de fevereiro do período 1976 a 2005.

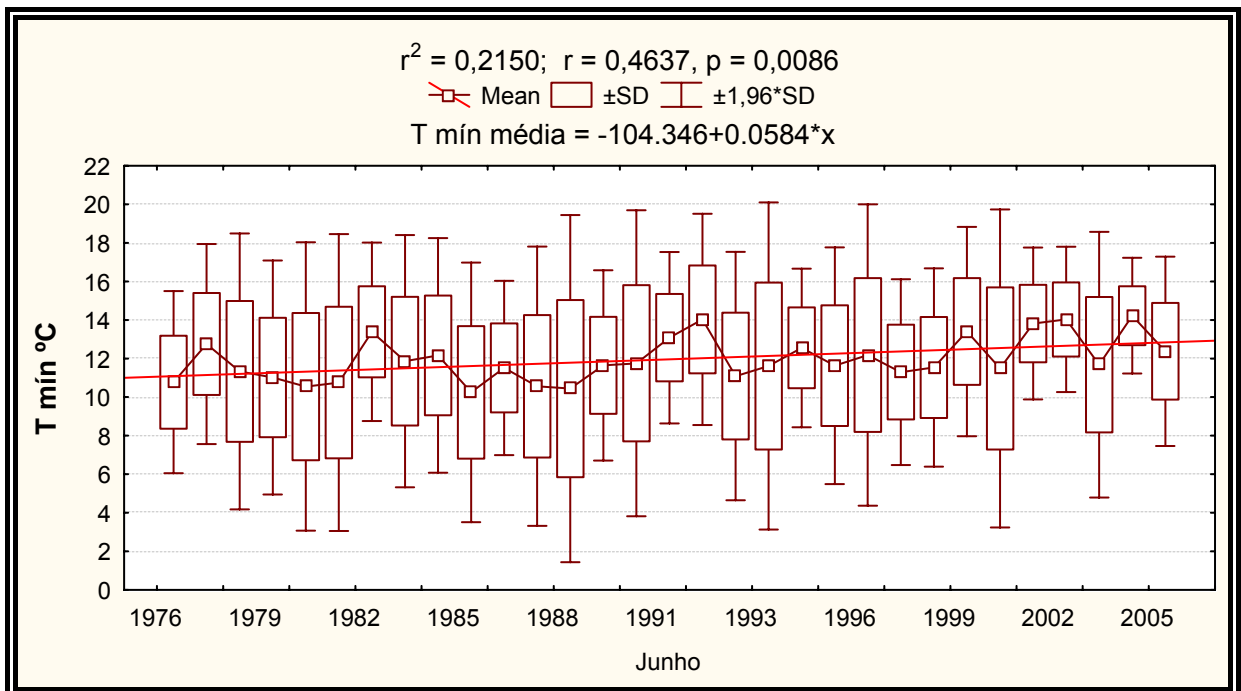


Com base na análise efetuada nas séries de temperatura para o mês de fevereiro pode-se concluir que tanto as temperaturas máximas como as mínimas não possuem tendências significativas.

**Figura 60** - Série de temperaturas máximas dos meses de Junho do período 1976 a 2005.

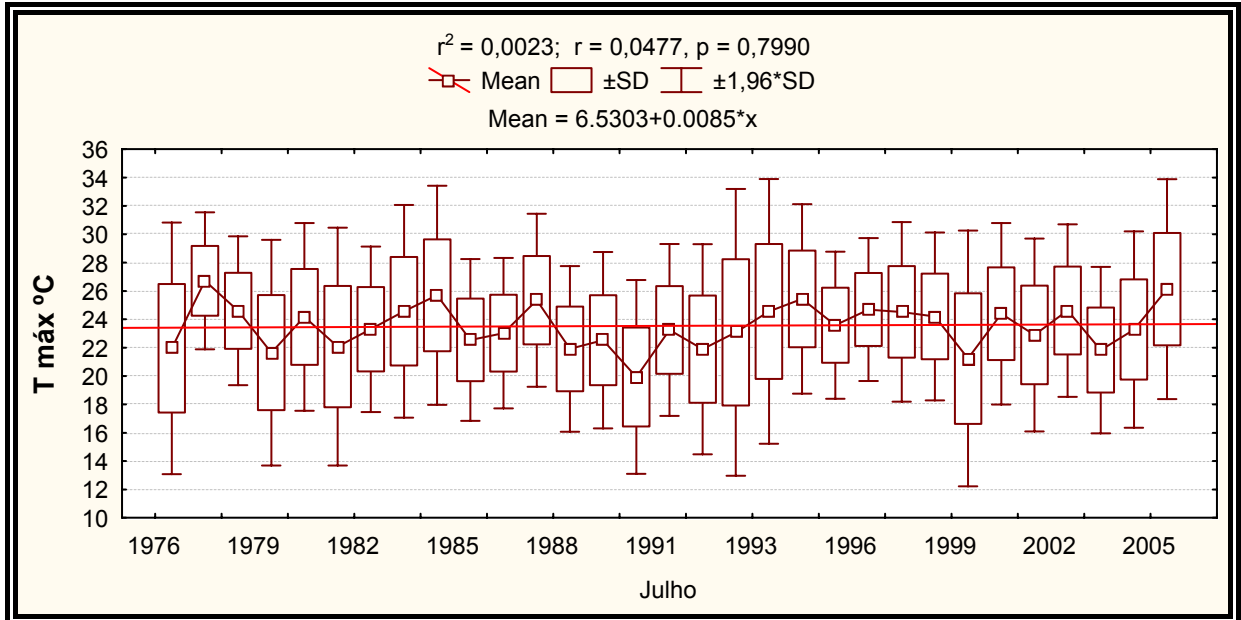


**Figura 61** - Série de temperaturas mínimas dos meses de junho do período 1976 a 2005.

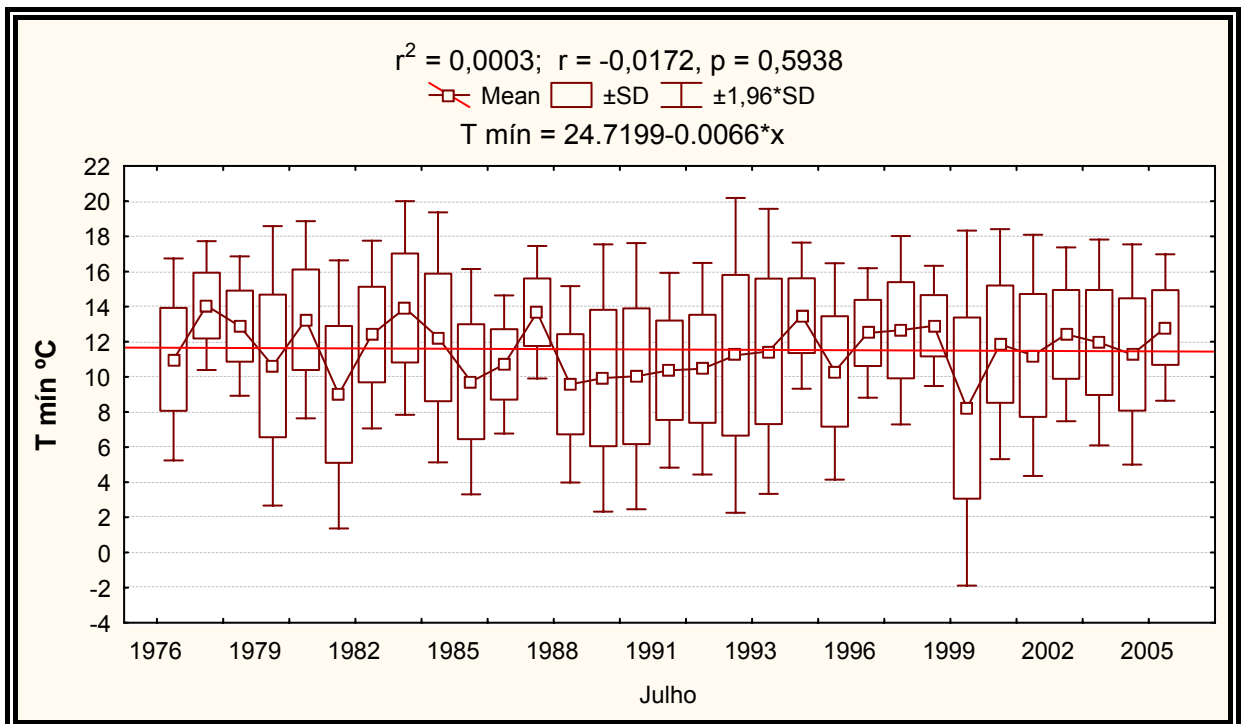


Nas séries de temperaturas máximas e mínimas do mês de junho, apenas a série de temperatura mínimas apresentou tendência significativa, as máximas apesar de apresentar um certa tendência, está não é significativa.

**Figura 62** - Série de temperaturas máximas dos meses de julho do período 1976 a 2005.

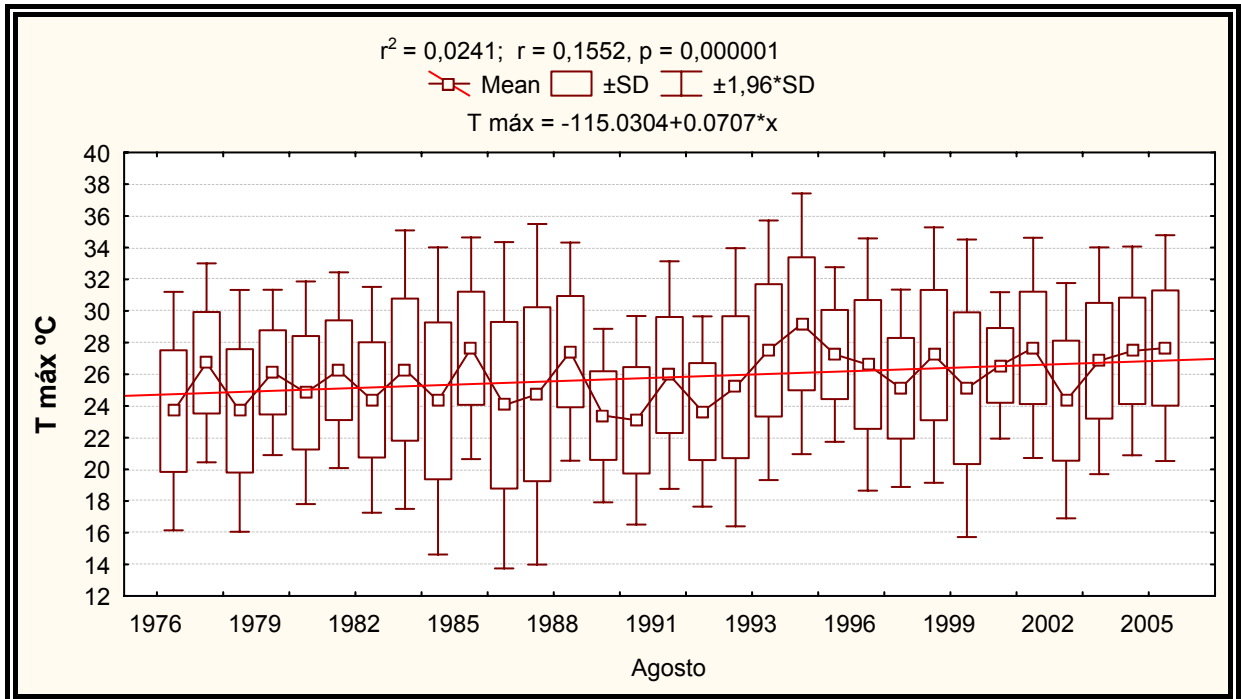


**Figura 63** - Série de temperaturas mínimas dos meses de julho do período 1976 a 2005.

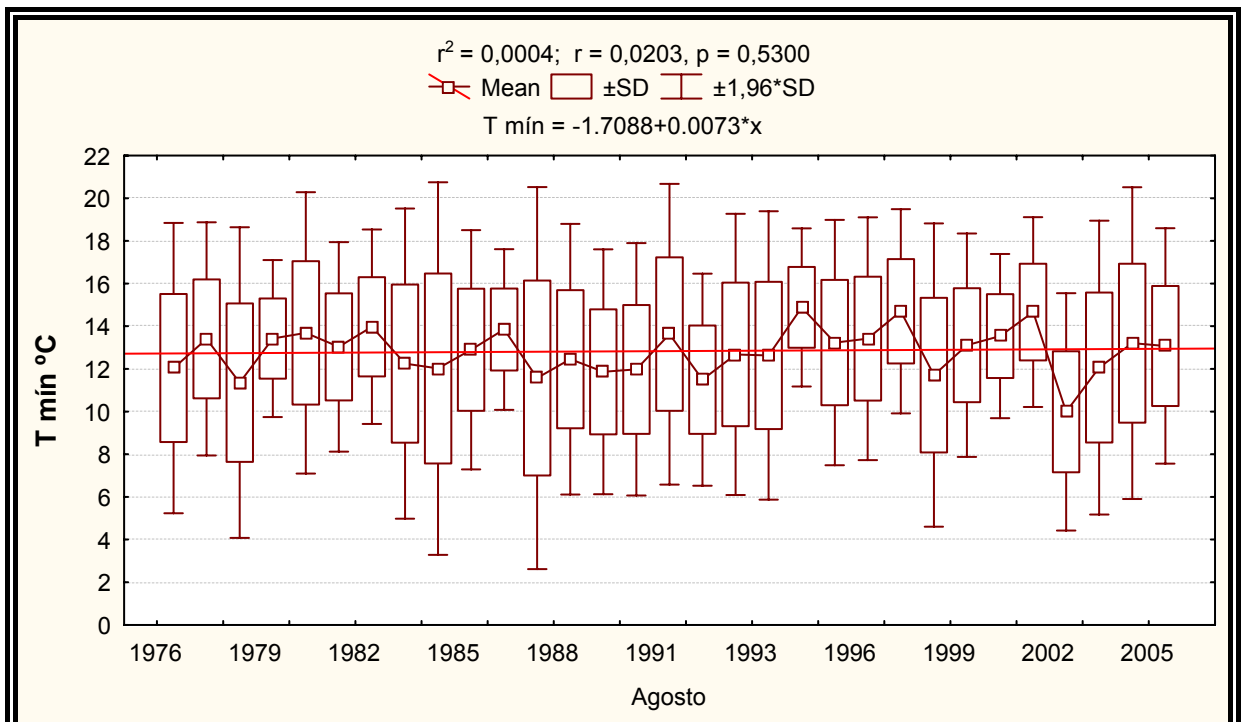


As séries de máximas e mínimas do mês de julho (figuras 63 e 64) não apresentaram nenhuma tendência significativa.

**Figura 64** - Série de temperaturas máximas dos meses de agosto do período 1976 a 2005



**Figura 65** - Série de temperaturas mínimas dos meses de agosto do período 1976 a 2005.



A análise da série de temperaturas máximas do mês de agosto (fig. 65) mostra uma alta tendência de elevação das temperaturas para o período, enquanto que a série das mínimas para o mesmo mês (fig. 66) não apresentou nenhuma tendência.

## CONCLUSÃO

Através das análises dos dados apresentados, foi possível confirmar a grande influência que os tipos de cobertura do solo e as condições de entorno da região monitorada têm no efeito de variação da temperatura do ar, tanto no aumento como na diminuição do seu valor, quando se trata de microclima ou topoclíma.

O principal efeito interveniente na transmissão de calor solo-ar, é o relacionado ao albedo da superfície do material, onde aquelas superfícies com coloração mais escuras, durante o período diurno, apresentam maior absorção da radiação solar e assim elevando suas temperaturas de superfície sendo esta, a que mais influencia na transferência de calor para as camadas de ar próximas à superfície do solo ou das edificações. O efeito anterior associado à propriedade de capacidade térmica do material, complementa esse balanço de energia, pois os materiais que possuem menor inércia térmica tendem a aquecer ou esfriar mais rapidamente e em virtude dessa propriedade o aquecimento do ar nas camadas próximas ao solo sofrem bastante alterações. Sendo assim, não é suficiente apenas a superfície ser escura e absorver grande quantidade de energia e transformá-la na forma de calor, é preciso que esta também tenha baixa inércia térmica e assim, no conjunto, seus efeitos serão mais sentidos. O resultado do aquecimento acelerado da superfície do solo provoca fortes correntes verticais de convecção e também as de advecção, pois a parcela de ar se aquece e se eleva, sendo imediatamente substituída por outra de características mais frias.

Nos experimentos realizados com as diferentes coberturas de solo, apesar de as temperaturas analisadas terem sido as de 2cm de profundidade e não as da superfície, foi possível fazer boas correlações entre os diferentes comportamentos das marchas diárias destas temperaturas e obter as informações apresentadas neste trabalho. Foi possível verificar, com base na análise estatística da série temporal das temperaturas máximas do ar e solo, a variação de até 10 °C entre as temperaturas do solo nu, em relação ao demais com outros tipos de cobertura para as 18 UTC, e a temperatura do ar, o que possibilita identificar a provável relação do aumento da temperatura do ar nas últimas décadas de grande devastação das áreas com arborização. Pode-se verificar que para os meses analisados, dezembro, janeiro, junho e agosto indicaram tendência de elevação de temperaturas máximas e/ou mínimas e os meses de fevereiro e julho não.

## REFERÊNCIAS

- ARIAS NETO, J. M. **O Eldorado**: representações da Política em Londrina 1930-1975. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina, 1998. v. 1. 308 p.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332p.
- BARBOSA, M. J. et al. **Arquivos climáticos de interesse para a edificação nas regiões de Londrina e Cascavel (PR)**. Londrina: Eduel, 1999. 62p.
- CARLO, J. C. **Diferenças na simulação do consumo de energia elétrica em edificações decorrentes do uso de arquivos climáticos de sítios e anos distintos**. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- DE BIASI, M. A carta clinográfica - os métodos de representação e sua confecção. **Revista do departamento de geografia**. São Paulo, n.4, p.45-60, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- \_\_\_\_\_. **Mapa de reconhecimento dos solos do estado do paraná**, Convênio n° 12/1976 – Governo do Estado do Paraná/IAPAR/ EMBRAPA/SUDESUL, 1981.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.
- GEIGER, R. **Manual de microclimatologia** - o clima da camada de ar junto ao solo, 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 639 p.
- GIVONI, B., Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, 1992, v.18, n.1, pp. 11-23.
- HASSID, S., et. Al. The effect of the Athens heat island on air conditiomng load. In: **Energies & Buildings**. n. 32, p. 131-141, 2000.
- IBGE. Censo Demográfico 1991 :População e Domicílios: Resultado do Universo. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/estatistica/população/censodem/default\\_censo1991](http://www.ibge.gov.br/estatistica/população/censodem/default_censo1991). Acesso em: 15 jul. 2006.
- IBGE. Censo Demográfico 2000 : **População e Domicílios**: Resultado do Universo. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/estatistica/população/censo2000/default>. Acesso em: 15 jul. 2006.
- LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**: procedimentos para avaliação de habitação de interesse social. Florianópolis: UFSC, 1998. Relatório parcial do projeto Normalização em Conforto Ambiental.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., OLIVEIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192p.

LOMBARDO, M. **Ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUNAZZI, J. J. **Fundamentos básicos sobre erros**: apostila com aplicações a eletricidade. Campinas, 2000. 30p.

MANUAL DE CÓDIGOS METEOROLÓGICOS (01 JUL 2001) – MCA 105-10, Manual do Comando da Aeronáutica, Brasil.

MASCARÓ, L.E.A.R. **Clima, arquitetura e energia**. In: SEMINÁRIO DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA, 1., 1983, São Paulo. Anais. São Paulo: CESP, 1983, v. 1, p. 11-32.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno**: Proposições metodológicas para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia FFLCH/USP: São Paulo, 1994.

MENDES, N. et al. **Building thermal performance analysis by using matlab/simulink**. In: Building Simulation 2001, 2001, Rio de Janeiro: Seventh International IBPSA Conference, 2001. v. 1. p. 473-480

MENEGAT, R., et al. **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades, estratégias a partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 422p.

MONTEIRO C.A.F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, n. 5, p. 61-79, 1990.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria do clima urbano**. São Paulo: IGEOG-USP, 1976. 181p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Surface meteorology and Solar Energy**: methodology. Disponível em : <[http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/documents/SSE\\_Methodology.pdf](http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/documents/SSE_Methodology.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2005.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Disponível em: [http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_htmls/chapter11/chapter11.html#temperature](http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html#temperature)>. Acesso em: 07 mar. 2006.

SONNEMAKER, J. B. **Meteorologia** São Paulo: ASA, 2001, 208p.

TARIFA JR.; ARMANI G. **Os climas urbanos**. In: TARIFA JR, AZEVEDO T. R., (Org.) Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: FFLCH/USP, 2001. p. 47-70.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2: Recife, 2006. 515p.

YOSHINO, M. M. **Climate in a small area.** Tokyo: University of Tokyo Press, 1975. 549p.