



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

**ESTUDO DE VARIAÇÕES TERMO-HIGROMÉTRICAS DE CIDADE
EQUATORIAL DEVIDO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO: O CASO
DE SANTARÉM-PA**

PAULO WILSON DE SOUSA UCHÔA

**SANTARÉM, PARÁ
MARÇO, 2011**

PAULO WILSON DE SOUSA UCHÔA

**ESTUDO DE VARIAÇÕES TERMO-HIGROMÉTRICAS DE CIDADE
EQUATORIAL DEVIDO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO: O CASO
DE SANTARÉM-PA**

ORIENTADOR: Dr. Antônio Carlos Lôla da Costa
CO-ORIENTADOR: Dr. Rodrigo da Silva

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia

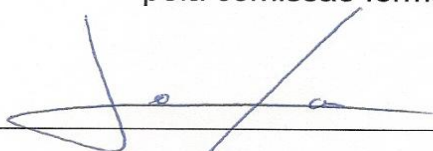
Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera.

**Santarém, Pará
Março, 2011**

PAULO WILSON DE SOUSA UCHÔA

ESTUDO DE VARIAÇÕES TERMO-HIGROMÉTRICAS DE CIDADE EQUATORIAL
DEVIDO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO: O CASO DE SANTARÉM-PA

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará, pela comissão formada pelos professores:



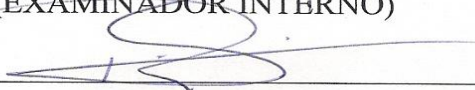
ANTÔNIO CARLOS LÔLA DA COSTA, Dr. em Engenharia Ambiental (UFPA)

(ORIENTADOR-1)



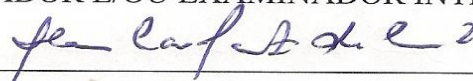
TROY PATRICK BELDINI, Dr. em Solos e Nutrição de plantas (UFOPA)

(EXAMINADOR INTERNO)



RODRIGO DA SILVA, Dr. em Física (UFOPA)

(CO-ORIENTADOR E/OU EXAMINADOR INTERNO)



ALAN CAVALCANTI DA CUNHA, PhD. em Engenharia (UNIFAP)

(EXAMINADOR EXTERNO)

SANTARÉM, 18 DE MARÇO DE 2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Ruy Barata/UFOPA

- U17e Uchôa, Paulo Wilson de Sousa
Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização: o caso de Santarém-PA / Paulo Wilson de Sousa Uchôa. – Santarém, 2011.
77 f.: il; 30 cm.
Inclui bibliografias.
- Orientador Antônio Carlos Lôla da Costa.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Santarém, 2011.
1. Ilha de Calor Urbana. 2. Climatologia. 3. Santarém (PA) - Clima I. Costa, Antônio Carlos Lôla da, orient. II. Título.

CDD: 21 ed. 597.48098115

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antônio Carlos Lôla da Costa pela orientação, amizade e lição de profissionalismo.

Ao professor Rodrigo da Silva pela co-orientação.

A Secretaria de Educação do Estado do Pará, pela possibilidade de formação continuada e ajuda financeira.

Ao laboratório de instrumentação ambiental e ao laboratório de análise e processamento de dados ambientais da LBA pelo fornecimento de materiais e dados meteorológicos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, em especial a professora Rosa Veras Mourão.

Aos professores Marlisson Augusto Feitosa, João Feitosa e Keid Nolan Silva pelo incentivo e ajuda nesta jornada.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, da realização deste trabalho, pelo incentivo e confiança, indispensável para a sua conclusão.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho;
aos meus pais, Weimar e Maria;
à minha querida esposa, Hely;
ao meu filho, Henrique;

UCHÔA, Paulo. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade Equatorial devido ao processo de urbanização: O caso de Santarém-PA.** 2011. 77p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Interação Biosfera-Atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2011.

RESUMO

O clima de uma região proporciona grande influência sobre as atividades humanas, por outro lado, o ser humano pode contribuir para provocar alterações no meio ambiente, que em muitos casos, podem ser irreversíveis e prejudiciais. Uma das mais marcantes alterações meteorológicas provocada pela urbanização é o aumento da temperatura do ar em relação ao seu entorno rural. Este fenômeno é conhecido como 'ilha de calor urbana'. Com objetivo de estudar a influência da estrutura urbana sobre o comportamento termo-higrométrico na cidade de Santarém-Pa, inclusive a existência e a intensidade do fenômeno da ilha de calor, é que se propôs a execução deste trabalho, que foi desenvolvido em época menos chuvosa daquela Região. Os resultados indicaram significativas alterações meteorológicas decorrentes do processo de urbanização nesta cidade. A intensidade da ilha de calor urbana atingiu valores médios diários de 2,9°C, em locais deficientes de arborização e com intensa atividade antrópica, sobretudo no período noturno, em condições de céu claro e ventos fracos. As maiores temperaturas médias diárias foram notadas em pontos localizadas em bairros com predominância de edificações térreas e carentes de vegetação, como por exemplo, nos bairros do Santíssimo e Caranazal, ao passo que as menores temperaturas ocorreram nos pontos localizados em bairros arborizados, como no caso do Parque Municipal e no bairro de Nova República. A vegetação, de uma área aproximada de 250m² do entorno do ponto de coleta foi um dos elementos urbanos que melhor se correlacionou com as variações termo-higrométricas na cidade de Santarém, contribuindo de maneira significativa no sentido de proporcionar a ocorrência de menores temperaturas do ar.

Outra vertente do trabalho foi à aplicação de questionários com os pedestres nos locais de coleta de dados, com objetivo de avaliar a sensação de conforto térmico nesses espaços. Verificou-se que o uso do solo urbano interfere tanto na variação da temperatura e umidade do ar quanto na sensação de conforto térmico, e que a sensação de desconforto demonstra ser mais significativa em pontos localizados em áreas de menor cobertura vegetal.

Palavras – chave: clima urbano, ilhas de calor, conforto térmico.

UCHÔA, Paulo. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade Equatorial devido ao processo de urbanização: O caso de Santarém-PA.** 2011. 77p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Interação Biosfera-Atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2011.

ABSTRACT

The climate of an area presents great influence on the human activities. On the other hand, the man can also contribute to provoke alterations in the environment, that in many cases, they can be irreversible and harmful. One of the more accentuated meteorological modifications provoked by the urbanization process is the increase of the temperature of the air in relation to yours I spill rural adjacent. . This phenomenon is known as urban island of heat. With the objective of studying the influence of the urban structure on the behavior term-hygrometric in the city of Santarem - Para, besides the behavior of the phenomenon of the urban island of heat, is that intended the execution of this research, that it was developed in two times of the year, and whose results indicate the existence of great current meteorological alterations of the urbanization process in that city. The results indicated significant weather changes resulting from the urbanization process in this city. The intensity of the urban island of heat reached values of up to 2,9 °C in faulty neighborhoods of vegetation and with intense urban activity, mainly in the schedule of 18:00 to 6:00 hours, and in conditions of clear sky and weak wind. The largest temperatures were observed in the lacking neighborhoods of vegetation and with prevalence of horizontal constructions, as in the neighborhoods of Santissimo and Caranazal, to the step that the smallest temperatures always happened in the very arborous neighborhoods and with great percentage of vertical constructions, as in the case of the Parque Municipal and neighborhoods of Nova Republica. The vegetation of an area of approximately 250m² surrounding the collection point was one of the

city that best correlated with changes in the term-hygrometric in the city of Santarem. Other work was the application of questionnaires with pedestrians in local data collection, in order to evaluate the sensation of thermal comfort in these spaces. It was found that the urban land use change affects both the temperature and humidity and the sensation of thermal comfort and discomfort that proves to be the most significant points located in areas of lower canopy.

Keywords: urban climate, urban heat islands, thermal comfort.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xv
1. INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1. Revisão da literatura.....	18
1.1.1. Clima Urbano.....	18
1.1.2. Escalas de medição em clima urbano.....	20
1.1.3. Ilhas de Calor.....	21
1.1.4. Conforto térmico.....	25
1.1.5. Áreas verdes e o conforto térmico.....	28
1.2. Justificativa.....	29
1.3 Objetivo.....	31
1.3.1. Objetivo geral.....	31
1.3.2. Objetivos específicos.....	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1. Descrição da área de estudo.....	32
2.2. Principais características climáticas da região.....	33
2.3. Dados utilizados.....	35

2.4. Locais de coleta de dados meteorológicos.....	36
2.5. Instrumentos utilizados.....	37
2.6. Metodologia de coleta de dados.....	38
2.7. Elementos Urbanos.....	39
2.8. Determinação do Índice de Temperatura Efetiva.....	39
3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
3.1. Elementos urbanos.....	41
3.2. Elementos meteorológicos.....	46
3.2.1. Temperatura e Umidade relativa do ar.....	46
3.3. Diferença Termo-higrométrica entre o ambiente urbano e rural.....	51
3.4. Diferença Termo-higrométrica entre cidades de diferentes dimensões.....	57
3.4.1. Temperatura do ar.....	58
3.4.2. Umidade relativa do ar.....	60
3.5. Perfil termométrico das diferentes frações urbanas.....	64
3.6. Avaliação do conforto térmico.....	68
4. CONCLUSÕES.....	72
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização geográfica da área de estudo. Fonte: Jacinto et al. (2005). Modificado pelo autor.....	33
Figura 02 - Distribuição dos locais de coleta de dados meteorológicos. Fonte: Google maps (2010). Modificados pelo autor.....	38
Figura 03 - Estação meteorológica automática da Campbell Scientific, localizada no Ponto 01 - Centro. Fonte: Paulo Uchôa.....	39
Figura 04 – Avenida Rui Barbosa no bairro Centro (Ponto 01), em 02/2011. Fonte: Paulo Uchôa.....	43
Figura 05 – Vista do bairro do Santíssimo (Ponto 05) com detalhe para o novo modelo arquitetônico das edificações locais. Fonte: Paulo Uchôa.....	44
Figura 06 – Vista do bairro Caranazal (Ponto 06) com detalhe da zona comercial local. Fonte: Paulo Uchôa.....	44
Figura 07 – Via principal do bairro de Nova República com grandes áreas vegetadas no seu entorno. Fonte: Paulo Uchôa.....	45
Figura 08 - Vista da entrada do Parque Municipal (Ponto 04) e interior do campus da UFOPA (Ponto 03). Fonte: Paulo Uchôa.....	45
Figura 09 – Interior do campus da UFOPA (Ponto 03).....	46
Figura 10 - Distribuição média da temperatura do ar nos pontos de coleta	47
Figura 11 - Distribuição média horária da umidade relativa do ar nos pontos de coleta.....	50
Figura 12 - Curva de correlação entre a temperatura média diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA.....	51
Figura 13 - Curva de correlação entre a temperatura mínima diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA.....	51
Figura 14 - Curva de correlação entre a temperatura máxima diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA.....	52
Figura 15 - Diferença média horária da temperatura do ar entre a área urbana e rural.....	54
Figura 16 - Diferença média horária da umidade entre a área urbana e rural	55
Figura 17 – Análise de variância das diferenças entre as médias dos pontos	

urbanos e rural.....	56
Figura 18 - Valores médios horários da temperatura do ar durante a época mais chuvosa.....	59
Figura 19 - Valores médios horários da temperatura do ar durante a época menos chuvosa.....	60
Figura 20 - Valores médios horários da umidade relativa do ar durante a época menos chuvosa.....	61
Figura 21 - Valores médios horários da umidade relativa do ar durante a época mais chuvosa.....	61
Figura 22 - Análise comparativa – temperatura média do ar – Santarém x Belterra (época mais e menos chuvosa).....	64
Figura 23 - Análise comparativa – umidade média do ar – Santarém x Belterra (época mais e menos chuvosa).....	64
Figura 24 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 02.....	65
Figura 25 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 03.....	66
Figura 26 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 04.....	66
Figura 27 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 05.....	66
Figura 28 - Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 06.....	67
Figura 29 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 07.....	67
Figura 30 – Gráfico da Análise de Variância entre os pontos urbanos.....	68
Figura 31 - Variação média horária do Índice de Temperatura Efetiva (TE)	70
Figura 32 - Comparação percentual (%) do índice estimado dos pontos Analisados.....	71
Figura 33 - Comparação percentual (%) do índice estimado dos pontos Analisados.....	71
Figura 34 - Comparação percentual (%) entre o índice estimado e subjetivo nos pontos analisados.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Faixa de desconforto térmico segundo modelo de Thon (1959).....	28
Tabela 02 - Localização dos pontos de coleta de dados meteorológicos...	37
Tabela 03 - Localização dos pontos na realização das entrevistas do índice subjetivo de conforto térmico.....	41
Tabela 04 – Distribuição dos principais elementos urbanos.....	42
Tabela 05 - Distribuição de calçamento, edificações e vegetação.....	42
Tabela 06 - Valores médios diários de temperatura, máxima, mínima, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude térmica.....	49
Tabela 07 – Temperaturas médias, mínimas, máximas e diferença média entre os ambientes urbanos e o rural.....	54
Tabela 08 - Análise de Variância (ANOVA) entre as médias dos pontos urbanos e rural.....	57
Tabela 09 – Análise das diferenças entre as médias dos os pontos urbanos e o rural (Teste de Tukey).....	57
Tabela 10 - Análise comparativa sazonal da temperatura média do ar entre as cidades de Santarém e Belterra.....	64
Tabela 11 - Análise comparativa sazonal da umidade relativa média do ar entre as cidades de Santarém e Belterra.....	64
Tabela 12 – Análise de Variância (ANOVA) dos pontos urbanos.....	68
Tabela 13 - Valores médios diários do índice de temperatura efetiva (TE). Estação menos chuvosa (setembro-2009). Santarém-PA.....	69
Tabela 14 – Teste de Tukey entre as médias dos índices subjetivos e estimados	73

1. INTRODUÇÃO GERAL

A partir da Revolução Industrial, as cidades ao redor do mundo mudaram drasticamente seu estilo de desenvolvimento, tornaram-se em pouco tempo grandes centros industriais polarizadores de atividades socioeconômicas. Nesse período, final do século XIX, o crescimento acelerado da população, impulsionado por um forte êxodo rural, resultou entre outros fatores, em mudança na dinâmica urbana, provocando deterioração da qualidade de vida da população.

No Brasil, entre as décadas de 1940 a 1990, o aumento da população das cidades provocou uma inversão nos percentuais entre a população residente no campo, em relação à residente na zona urbana. O fenômeno da urbanização brasileira começou a partir de 1940, estimulado pela modernização da economia e o incremento do setor industrial (Nascimento, 1985).

O novo paradigma de desenvolvimento econômico adotado, caracterizado pela propriedade privada dos meios de produção, mercados livres e trabalho assalariado, proporcionou ao longo das últimas décadas, centralização de atividades industriais, comerciais e financeiras, prioritariamente nas áreas urbanas, atraindo cada vez mais expressivas massas populacionais à procura de trabalho, educação, saúde, entre outros benefícios, contribuindo, desta forma, para a intensificação da degradação do meio físico natural.

Comentando sobre a interação entre sociedade – natureza e as possíveis transformações do ambiente natural pela urbanização, Monteiro (2003) afirma que:

A natureza social não terá as mesmas características da primeira natureza, pois o homem passa a interagir e influenciar nas configurações e dinâmicas de seus elementos. As cidades, que têm como característica marcante a acentuada quantidade de pessoas, e que se dedicam principalmente às atividades industriais, comerciais e de serviços, vêm ser a representação maior das relações existentes entre o social e o natural, originando o ambiente urbano.

Conseqüentemente, as cidades têm o seu clima alterado pela substituição dos espaços naturais por ambientes fisicamente construídos, em função do aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilidade dos solos, alteração da cobertura vegetal, concentração de edificações, que interferem na circulação dos ventos e da contaminação do ar atmosférico pela emissão de gases, resultando na formação de ilhas de calor, poluição do ar, chuvas intensas e inundações, que interagem ao cotidiano urbano, criando grandes dificuldades e desconforto aos moradores (LOMBARDO, 1985).

Portanto, o aumento da temperatura do ar nas cidades, em relação ao seu ambiente rural não edificado, é gerado por alterações das características térmicas das superfícies, ou seja, substituição de áreas verdes por edificações e pavimentação. Esse diferencial térmico entre a cidade e o campo é conhecido como o efeito da “ilha de calor urbana”. Deste modo, a ilha de calor é uma das mais acentuadas modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização (COSTA, 1998).

Nesse sentido, segundo Mendonça (2003):

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seu estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades. As condições climáticas destas áreas, entendidas como clima urbano, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas.

De forma geral, o crescimento das cidades tem colaborado para a ocorrência de transformações climáticas em nível local, notadamente no aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa. Assim como o inchaço das cidades, as atividades humanas, o aumento da frota automobilística, a industrialização, impermeabilização do solo, além da rápida substituição das áreas verdes, são fatores que influenciam no clima urbano (GARTLAND, 2010).

É fundamental, deste modo, que a intervenção humana no ambiente natural, gerador de desequilíbrios ambientais, seja debatido pelas entidades governamentais e pela sociedade civil organizada, sendo essencial a busca de um estilo de desenvolvimento desejável à preservação da vida no planeta.

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1. Clima Urbano

A deterioração do ambiente físico natural vem se agravando, à medida que o processo de urbanização avança. O acelerado crescimento populacional tornou-se um dos maiores problemas da espécie humana. Cada novo núcleo urbano, com o passar do tempo, depara-se com uma série de dificuldades estruturais, tornando as condições de vida da população, em muitos casos bastante precária. Portanto, o estudo da climatologia urbana tem atraído a atenção de vários pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, uma vez que as características de desenvolvimento do sítio urbano podem influenciar diretamente nas condições térmicas, hidrológicas e aerodinâmicas da região.

De acordo com Oke (1978):

O processo de crescimento das cidades confere um caráter típico à baixa troposfera, a ponto de produzir condições atmosféricas locais distintas das encontradas em suas áreas vizinhas. Assim, a cidade gera um “clima diferenciado”, o chamado clima urbano, produto da interferência de atributos como: impermeabilização do solo, material empregado nas construções, geometria, rugosidade das cidades, emissão de aerossóis e produção de calor, que se processa do microclimático ao mesoclimático.

Landsberg (1981) comenta que as alterações no balanço de energia são resultantes das modificações que o processo de urbanização gera na superfície, em relação às qualidades radioativas, térmicas e aerodinâmicas. O diferencial térmico entre o urbano e rural, representa o feito mais expressivo do clima urbano.

Estas alterações, segundo Costa (1998):

São proporcionais ao crescimento das cidades e de suas populações, sendo mais intensa durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana, quando a ‘máquina urbana’ apresenta-se praticamente inerte. Tais modificações também dependem do nível de desenvolvimento cultural e econômico local. Diferenças de temperaturas entre o meio urbano e o meio rural são mais acentuadas durante as estações quentes, quando maiores amplitudes térmicas são verificadas na área rural.

A primeira documentação sobre clima urbano aconteceu em 1818, quando o estudo sobre o clima de Londres realizado por Luke Howard detectou um aumento do calor artificial na cidade, em comparação ao campo (HOWARD, 1833 apud GARTLAND, 2010).

A partir deste estudo pioneiro, houve um crescimento das pesquisas sobre essa temática, principalmente na França e Alemanha em virtude da expansão das redes de observação meteorológica. Após a segunda guerra mundial, muitos trabalhos foram desenvolvidos em países da América do Norte e no Japão, sendo que a principal variável de estudo foi a temperatura. Nesse período de pós-guerra, destacam-se os estudos de Landsberg e Chandler (1956 e 1965). O primeiro representa o marco histórico nos estudos climatológicos, pois é a primeira síntese sobre estudos dos climas urbanos. Já o trabalho de Chandler, faz referência às modificações climáticas da cidade de Londres (MONTEIRO, 2003).

No Brasil, os estudos relacionados ao clima urbano surgiram a partir da década de 60, impulsionados com o surgimento de uma nova concepção ambiental. As cidades de grande porte, sobretudo, foram alvo das investigações; a maioria delas, localizada na região Centro-Sul, tendo se intensificado e distribuído pelo território nacional na década de 90. Variados recursos têm caracterizado a prospecção da atmosfera das cidades brasileiras, que conta atualmente com importante base teórico-metodológica para o estudo do clima urbano, elaborada na perspectiva de contribuir para o planejamento das cidades (MONTEIRO & MENDONÇA, 2003).

Monteiro (1975) considera que:

As modificações provocadas pela urbanização têm seus efeitos mais diretos percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, a qualidade do ar e impactos pluviiais e outras manifestações capazes de desorganizar a vida nas cidades e deteriorar a qualidade de vida. Em seu modelo, o autor desenvolveu um método de análise que pondera o clima urbano como um sistema, denominado Sistema Clima Urbano, formado por subsistemas, que se articulam de acordo com canais de percepção climática: o termodinâmico, o físico-químico e o hidrodinâmico.

A cidade é, portanto, o modelo mais expressivo das mudanças impostas pelas atividades humanas. O homem, ao construir, modifica o meio físico natural, provocando alteração de vários elementos meteorológicos. “O clima das cidades é um sistema que abrange o clima de um dado espaço e sua urbanização, é um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, nas proximidades do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos” (LOMBARDO, 1985).

É importante salientar que o estudo das alterações dos elementos meteorológicos sobre o aspecto das atividades humanas deve ser abordado em níveis de escala. Portanto, a partir dos níveis micro, topo e mesoclimático, o estudo do clima pode desvendar o estado de interferência da ação do homem no clima.

1.1.2. Escalas de medição em Clima Urbano

O reconhecimento das peculiaridades do clima das cidades, principalmente, as medidas de escala espacial e temporal é de difícil compreensão. Muitas generalizações são feitas na tentativa de entender como o clima local se articula com o clima urbano. Andrade (2003) procurou definir de uma forma mais precisa tais conceitos, indicando dimensões típicas para cada uma das categorias: Fenômenos de microescala (dimensão típica de até 2 km de extensão), mesoescala (2 a 2000 km) e macroescala (acima de 2000 km). Considera que os fenômenos urbanos se restringem ao espaço e tempo entre a microescala (para elementos individuais) e a mesoescala, para grandes áreas metropolitanas. Segundo Lombardo (1985), o clima das cidades é um mesoclima que inclui topoclimas e microclimas:

a) Microclima – reflete a influência dos elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (prédios, ruas, praças, pequenos jardins). A dimensão típica pode ir até cerca de uma centena de metros.

b) Topoclimas – clima de uma área com uma combinação característica de elementos, podendo corresponder seja ele um tipo de ocupação do solo diferenciado (bairro, parque urbano), seja a condição topográfica específica (vale colina, etc.). Um topoclima ou clima local engloba um mosaico de microclimas.

A distribuição vertical da atmosfera urbana proposto por Oke (1978) é amplamente utilizada. A camada intraurbana ou camada de cobertura urbana é a camada de ar existente abaixo da camada limite urbana. Estendendo-se desde a superfície até o nível que marca a altura dos prédios e árvores. Engloba, pois, todos os setores entre os edifícios da cidade e que apresentam toda uma gama de microclimas inferidos pelos arredores mais imediatos.

A camada limite urbana é a porção onde as características climáticas estão modificadas pela presença da cidade na superfície. Estende-se, desta forma, desde os telhados dos edifícios até um nível abaixo do qual os fenômenos locais estão pela natureza da superfície urbana.

Enquanto que a camada limite urbana é um fenômeno de escala mesoclimática, a camada de cobertura urbana é governada por processos de microescala, presente nas ruas (“canyons”) entre as edificações.

1.1.3. Ilha de Calor Urbana

Desde o século XIX observa-se que áreas urbanas possuem ilhas de calor, onde a temperatura do ar próxima à superfície é maior do que em áreas rurais vizinhas. O primeiro documento sobre este fenômeno urbano aconteceu em 1818, quando o estudo revolucionário do meteorologista amador Luke Howard, sobre o clima de Londres, detectou diferenças de calor artificial entre a cidade e o campo.

A ilha de calor é gerada em áreas urbanas, devido à maior absorção de calor do sol. Essa assimilação excessiva decorre por duas razões, segundo (Gartland, 2008). A primeira é que a maior parte dos materiais, que compõe a malha urbana é impermeável. E, por esta razão, não há umidade necessária para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentações absorve e armazena mais energia solar. O calor produzido pelas atividades humanas, menores velocidades do vento e a poluição atmosférica também contribuem para formação de ilhas de calor

Deste modo, a ilha de calor não é resultado de um único fator, e sim, das diversas modificações na superfície introduzidas pelas atividades antrópicas. A substituição do meio físico natural por construções e pavimentos, produtos diretos da urbanização, provoca efeitos sobre o balanço de energia, causando redução da evaporação, aumento do armazenamento de calor, redução da convecção e aumento do calor antropogênico.

Segundo Oke (1978) à medida que parte desta energia é liberada para a atmosfera, uma fração dela é bloqueada por construções. Esta energia só encontrará a atmosfera quando não houver mais nenhum obstáculo; provocando assim, um resfriamento mais lento das áreas densamente construídas e mais urbanizadas. Os locais adjacentes à cidade, aqui denominados de entorno rural, possuem um albedo maior do que a cidade, o que promove uma maior eficiência na perda de energia.

Conforme as cidades vão se urbanizando, o fenômeno indicador da formação das ilhas de calor tende a apresentar maior magnitude. Análise de dados históricos de vários elementos meteorológicos demonstra que as intensificações das ilhas de calor coincidem com o crescimento de áreas urbanas. Duckwort & Sandberg (1954), estudaram o comportamento da temperatura do ar em três cidades de diferentes tamanhos na Califórnia (Palo Alto, San Jose e San Francisco), utilizando para isto o método de medidas móveis e sondagens com balão cativo. Em todas as cidades estudadas, a temperatura horizontal do ar apresentou aumento no sentido da periferia para o centro, numa proporção direta com a densidade de sua estrutura.

A configuração e a intensidade da ilha de calor são mais intensas em dias calmos e claros, e é mais fraca em dias nublados e com ventos, uma vez que mais energia solar é absorvida em dias claros, e ventos fracos removem o calor mais lentamente, fazendo com que a ilha de calor se torne mais evidente (COSTA, 1998).

Estudos realizados por Jaurequi (1979) na cidade de Toluca no México demonstram diferencial térmico da ordem de 5°C, sendo inferiores aos valores encontrados pelo mesmo autor para a cidade do México, o que mostra uma relação com o tamanho do sítio urbano. Esta ilha de calor mostra também uma variação estacional, sendo mais acentuada na época seca, diminuindo de intensidade com a

época chuvosa, quando a umidade ambiente é aumentada e os contrastes térmicos entre a cidade e a área rural circundante são reduzidos. A umidade relativa foi mínima no centro da ilha de calor, aumentando gradualmente em direção à periferia. A crescente contaminação atmosférica também facilita a intensificação dos contrastes térmicos entre a cidade e o campo. Após o por do sol, o ambiente rural experimentou um resfriamento mais intenso que em áreas urbanas, onde permaneceu relativamente fraco e constante.

Em termos de estudos urbanos no Brasil, estes são relativamente recentes, merecendo citação os realizados por CAMARGO & TAVARES (1985); LOMBARDO (1985); MAITELLI et al. (1991); HASENACK & BECKE (1991); ASSIS (1991); VIDAL (1992); SOUZA (1996) e COSTA (1998).

Estudos realizados por Camargo & Tavares (1985) sobre a formação da ilha de calor urbana em Rio Claro-SP, constataram a existência de uma tendência das temperaturas mais elevadas ocorrerem no centro da cidade, diminuindo em direção à periferia e a área rural. Este fato foi atribuído ao efeito da urbanização. Quanto à umidade absoluta, esta é freqüentemente equivalente aos valores encontrados nos outros locais, muito embora a umidade relativa do ar seja menor no centro da cidade quando comparado com os outros locais estudados.

Lombardo (1985), estudando o fenômeno da ilha de calor urbana na cidade de São Paulo, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, verificou grandes diferenças horizontais na temperatura do ar entre o centro da cidade e a área rural adjacente, sendo que em condições de céu claro e vento calmo, tais diferenças superaram 10°C. A maior intensidade deste fenômeno ocorreu a partir das 15:00 horas, estendendo-se até as 21:00 horas. No período da madrugada, quando as atividades urbanas são reduzidas e o balanço de radiação alcança a um equilíbrio, o fenômeno da ilha de calor apresentou uma diminuição considerável.

Analisando o comportamento da ilha de calor urbana em duas cidades localizadas na região árida e semi-árida do Nordeste Brasileiro, Yamashita et al. (1988), observaram que estas apresentaram as formas típicas de ilhas de calor encontradas em Regiões Tropicais. Isto é, localizadas no centro urbano, embora fossem bem mais definidas durante as horas do dia. A ilha seca apareceu

usualmente de acordo com a ilha de calor, porém ela não foi sempre bem definida nas duas cidades. Durante o dia não foram encontradas diferenças significativas na umidade relativa do ar entre as áreas urbanas e rural, embora as ilhas de calor fossem bem definidas.

De acordo com Maitelli et al. (1991) a localização de ilhas de calor e distribuição horizontal de umidade relativa do ar em Cuiabá - MT, bem como a relação entre esses elementos meteorológicos e o uso do solo urbano, constataram que a configuração da ilha de calor urbana de Cuiabá identificou-se com o modelo clássico, onde as maiores temperaturas e menores valores de umidade relativa do ar ocorrem no centro comercial da cidade. As áreas centrais são mais quentes e relacionam-se ao uso do solo urbano. A tendência de diminuição de áreas verdes na cidade, assim como, o aumento da verticalização das construções no centro da cidade contribui para o aumento da temperatura do ar.

Hasenack & Becke (1991), estudando distribuição da temperatura do ar no ambiente urbano de Porto Alegre, através do método de medidas móveis, encontraram melhor correlação da intensidade da ilha de calor com a distribuição da vegetação e densidade de edificações. Embora tenham encontrado vários núcleos de temperaturas elevadas na cidade, a ilha de calor mais definida foi observada na área central da cidade, em todas as noites, variando em forma e intensidade, mesmo em condições de tempo semelhante. Em áreas com maior concentração de vegetação arbórea, no interior da área urbana, foi observada a formação de ilhas frias, também conhecida como efeito "Oásis", por apresentarem temperaturas inferiores às das áreas construídas, merecendo destaque a dimensão das áreas verdes e o porte da vegetação.

Trabalhos realizados por Assis (1991) sobre o comportamento da ilha de calor urbana em Belo Horizonte encontraram resultados, considerados como tendências, que também mostraram as variações das temperaturas do ar relacionadas com a tipologia de uso e ocupação do solo.

Vidal (1992) estudou as relações entre a morfologia urbana e a distribuição espacial da temperatura do ar em Natal - RN. Os resultados mostraram que os elementos mais significativos na determinação das características da temperatura do

ar foram: a proximidade com o oceano, a topografia, as características do tecido urbano e a presença de áreas vegetadas. Durante o dia, as temperaturas mais elevadas foram registradas nos espaços abertos, sem sombreamento e/ou arborização, onde os efeitos da radiação solar direta eram mais intensos. O setor mais verticalizado, devido à sua localização e formação de sombras, apresentou temperaturas mais amenas, assim como, as ruas largas com canteiros centrais arborizados e áreas com intensa vegetação. Durante a noite, as maiores temperaturas ocorreram nas áreas onde os ventos eram fracos ou quase inexistentes.

Souza (1996) estudando a influência da geometria urbana sobre a temperatura do ar na cidade de São Carlos - SP verificou apenas fraca influência desse elemento, sugerindo a possibilidade de maior adensamento urbano sem consequências danosas no ponto de vista térmico.

Martins (1996) constatou em Juiz de Fora - MG, que as áreas mais verticalizadas, devido ao maior acúmulo de energia solar durante o dia, proporcionaram menores resfriamentos noturnos, além de antecipar o resfriamento diurno no centro da cidade devido ao efeito do sombreamento.

O comportamento térmico sazonal da cidade de Belém foi observado por Costa (1998). Em suas análises constatou maiores diferenças da temperatura do ar durante o período noturno (que variaram de 1,5 °C na época chuvosa a 4,5 °C na época seca), sobretudo em locais mais urbanizados. Nos horários diurnos e em locais com maior percentual de vegetação, constataram-se as menores diferenças térmicas. O autor destaca que em cidades de clima equatorial, uma pequena diferença na temperatura pode representar um aumento considerável no desconforto térmico do ambiente.

1.1.4. Conforto térmico

O conforto térmico pode ser representado através de índices em que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas. O conforto térmico consiste num conjunto de condições em que os mecanismos de

autorregulação são mínimos, ou ainda, na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas manifesta se sentir bem (GOMES & AMORIM, 2003).

Segundo a Norma ISO 7330 (1994), conforto térmico é a condição em que o corpo humano expressa satisfação com o ambiente térmico. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

Frota & Schiffer (1995), comentam que para avaliar essas condições, a pessoa deve estar vestida adequadamente, sem problemas de saúde e de aclimatação. E também que as condições capazes de proporcionar conforto térmico sejam diferentes para habitantes de clima quente e úmido, de clima quente e seco, e principalmente de clima frio.

Ainda segundo os autores, os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como:

- Índices biofísicos – que se baseia nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os índices de conforto com as trocas de calor que dão origem as esses elementos.
- Índices fisiológicos – que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
- Índices subjetivos – que se baseiam nas condições subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto variam.

Inúmeros pesquisadores procuraram determinar, objetivamente, como as diversas características do elemento de estrutura urbana e as condições meteorológicas do espaço urbano influenciam na sensação de conforto térmico.

No trabalho realizado por Givoni (2000 apud Pezzuto, 2007), comenta que em um parque na cidade de Yokohama, Japão, foi analisada a relação de sensação térmica e a sensação global de conforto. Foram coletados dados subjetivos e

dados referentes à temperatura do ar, umidade e velocidade do ar. A pesquisa utilizou-se de questionários, distribuídos entre ambos os sexos, sob diferentes condições climáticas. A partir dos dados obtidos, foi possível elaborar uma equação de predição da sensação de conforto do indivíduo em área externa.

Alguns índices de conforto térmico mais utilizado para as condições climáticas brasileiras são os apresentados abaixo:

a) Índice de temperatura efetiva (T.E).

A Temperatura Efetiva, de Yaglow e Houghthen de 1923, foi definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, procurando concluir quais são as condições de conforto. É um índice subjetivo, que pode ser definida como sendo a temperatura de um recinto que, contendo ar praticamente em repouso (velocidade compreendidas entre 0,1 e 0,15m/s) e completamente saturado de umidade, proporciona a mesma sensação de frio ou calor que o ambiente em consideração.

Em 1932, Vernon e Wamer apresentam uma proposta de correção para o índice de Temperatura Efetiva, utilizando a temperatura do termômetro de globo em vez de temperatura do ar, para base dos cálculos, posto que a temperatura de radiação, sendo superior ou inferior a temperatura do ar, proporciona alterações na sensação de conforto. A temperatura efetiva foi determinada experimentalmente com o auxílio de grande número de pessoas e adaptando por Koenigsberger et al, cujas representações gráficas fornecem as temperaturas efetivas correspondentes às diversas condições ambientais, caracterizadas pelas temperaturas t_s , t_u e deslocamento do ar, para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve e se referindo a habitantes de regiões de climas quentes.

b) Índice de temperatura-umidade (ITU)

Inicialmente chamado de índice de desconforto, o qual pretende expressar o grau de desconforto sentido por um ser humano em atividade, sem considerar as condições de radiação e ventilação. Sob tais condições, Thom (1959) sugere que este índice seja dado por: $T.H.I. = 0,4 \times (T + T_w) + 4,8$

Onde:

T é a temperatura do ar (°C)

Tw é a temperatura do bulbo úmido (°C)

UR é a umidade relativa do ar (%)

TABELA 01 - Faixa de desconforto térmico, modelo de Thon (1959).

I.T.U (°C)	Faixa de desconforto térmico
< 24	Conforto térmico
24 a 27	Desconfortável
27 a 29	Muito Desconfortável
> 29	Estresse térmico

1.1.5. Áreas Verdes e o Conforto Térmico

A vegetação é um componente fundamental para uma cidade. Áreas verdes trazem inúmeros benefícios, menos consumo de energia elétrica, redução da poluição atmosférica, menos enchentes, melhores condições de ventilação, além do aspecto ambiental. A vegetação pode reduzir os efeitos do calor de duas maneiras (Gradtrand, 2008). Primeiro, elas produzem sombras. Isso mantém as superfícies com mais umidade, reduz o calor que é transferido para o ar acima. O sombreamento das árvores mantém as pessoas mais confortáveis, reduzem o risco de insolação e protegem-nas dos raios ultravioletas.

Segundo, durante o processo de evapotranspiração, as plantas utilizam energia solar para evaporar a água, evitando que essa energia seja utilizada para aquecer a cidade. A temperatura do ar ao redor e a sotavento das áreas vegetadas é mais amena por causa da evapotranspiração.

Estudos realizados por Stulpnangel et al. (1990), citado por Costa (1998) sobre a influência da vegetação no comportamento da temperatura do ar em Berlim, mostraram que a temperatura média anual do ar apresentou consideráveis

variações, sendo os maiores valores (12°C) encontrados no centro da cidade, enquanto os menores valores (7,5°C) ocorreram em áreas vegetadas na periferia da cidade. Tais diferenças foram atribuídas à tipologia de uso e ocupação do solo.

Bueno (1998) realizou um estudo sobre a atenuação da radiação solar incidente proporcionada por diferentes espécies arbóreas. Os dados de radiação solar foram coletados por meio de solarímetros de tubo, que medem a irradiância média em (KW/h), em situações onde a distribuição da energia radiante não é homogênea. Observou-se que as espécies analisadas apresentaram desempenhos diferentes na atenuação da radiação, onde alguns indivíduos arbóreos proporcionaram até 85% de atenuação.

1.2. JUSTIFICATIVA

Devido ao rápido processo de crescimento das cidades, e conseqüente destruição do ambiente físico natural, os aspectos do meio ambiente foram drasticamente alterados. O grande volume de áreas edificadas contribui para elevação das temperaturas e diminuição da umidade relativa do ar, gerando condições de estresse térmico, comprometendo, desta forma, o bem estar e a saúde da população citadina. Fato que se agrava em bairros periféricos de cidades de grande e médio porte, onde as condições de moradia e infraestrutura são precárias (MONTEIRO & MENDONÇA, 2003).

As cidades de médio porte de países em desenvolvimento, notadamente as da Região Norte do Brasil, só muito recentemente iniciaram estudos referentes aos seus ambientes climáticos. De acordo com Mendonça (1995), esses assentamentos possuem características geográficas bastante diferenciadas daquelas de grande porte, como por exemplo: em tais cidades os espaços de intervenção das atividades de planejamento urbano são bem menos consolidados e apresentam, portanto, consideráveis facilidades para identificação de suas paisagens intraurbanas; estas, previamente identificadas, permitirão uma melhor compreensão da interação sociedade-natureza na construção do clima urbano.

Os impactos negativos do fenômeno da ilha de calor urbana afetam muitas pessoas de várias maneiras. A elevação das temperaturas, ajustado aos rigores de um clima equatorial, não causa apenas desconforto térmico, mas também, sérias consequências sobre a mortalidade e saúde da população. Além disso, o desperdício de verbas públicas, ao aumentar a demanda por energia, a construção e manutenção de infraestrutura para solucionar o problema dos alagamentos e destino dos resíduos, contribuem para uma maior desorganização da funcionalidade urbana e intensificação da degradação do meio ambiente (GARTLAND, 2010).

A importância crescente das áreas urbanas de médio porte, em termos demográficos, socioeconômicos e culturais, faz com que seus problemas ambientais sejam cada vez mais uma prioridade e tema central de investigações em diferentes áreas científicas. O conhecimento dos fatores climáticos, associado às características do sítio urbano, tais como, a geomorfologia, disposição de áreas verdes e corpos d'água, é de fundamental importância para elaboração de planejamentos urbanísticos que visem à melhoria das condições climáticas, ou seja, a identificação e quantificação do fenômeno da ilha de calor, correlacionada aos aspectos da urbanização assim como a avaliação do conforto térmico em espaços públicos abertos, mostram-se de grande importância no sentido de colaborar com a gestão pública, favorecendo, desta forma, a melhoria de vida da população.

A cidade de Santarém-PA, apesar de se localizar em uma região pouco desenvolvida do Brasil, nas últimas décadas, vem apresentando acelerado crescimento urbano, com aumento populacional em torno de 7% nos últimos três anos (IBGE, 2010). De acordo com Pereira (2004), Santarém desponta entre as cinco cidades com maior arrecadação de impostos e é um dos pólos de escoamento de soja no Pará. Do ponto de vista político-administrativo, funciona como centro sub-regional e serve de referência para um conjunto significativo de municípios da mesorregião do Baixo Amazonas. Entretanto, o núcleo urbano atual é caracterizado por um intenso processo de periferização, carente de infra-estrutura e planejamento urbano adequado. Segundo Oliveira (2008) no ano de 2006 apenas 26 bairros de um total de 48 eram oficialmente legalizados, os demais se encontravam em processo de legalização ou eram considerados áreas de invasão. Tendo em vista que tal crescimento urbano é um dos principais fatores que contribuem para as alterações do clima urbano, e considerando-se a pequena quantidade de pesquisas

desenvolvidas sobre este tema, não só na cidade de Santarém, como também em toda a Região Norte, torna-se evidente a importância do desenvolvimento da presente pesquisa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho pretende estudar o comportamento termo-higrométrico na cidade de Santarém-PA, relacionado ao processo de urbanização, com a finalidade de subsidiar o planejamento urbano e, conseqüentemente contribuir para o conforto térmico da cidade.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Verificar a existência e a quantificação da intensidade da ilha de calor urbana para a cidade de Santarém-PA;
- Estudar as condições meteorológicas locais (microclimáticas), determinando as variações e supostas interinfluências;
- Analisar as características da morfologia urbana (atributos da forma urbana) que mais influenciam na geração de calor;
- Comparar sazonalmente as variações termo-higrométricas entre cidades de diferentes dimensões, tomando com exemplo as cidades de Santarém-Pa e Belterra-Pa;
- Correlacionar os dados meteorológicos de oito estações meteorológicas com os elementos da estrutura urbana;
- Avaliar o conforto térmico das áreas de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Santarém, de acordo com a atual divisão política administrativa estadual, localiza-se na mesorregião do Baixo Amazonas e na microrregião de Santarém, na região Oeste do Estado do Pará. Ocupa uma área de 22.887 km². Faz limites, ao Norte com os Municípios de Óbidos, Monte Alegre e Curuá; a Leste, com Prainha e Uruará; ao Sul, com Rurópolis, Aveiro, Placas e Belterra, e a Oeste, com o Município de Juruti. Segundo o IBGE (2010) o município possui uma população total de 294.774 habitantes.

O núcleo urbano atual possui uma população residente de 215.974 habitantes e está dividido em 48 bairros, distribuídos em uma área aproximada de 40 km², entre as coordenadas 02° 26' 18" S e 54° 42' 00" W na porção centro-norte do município, na junção dos rios Amazonas e Tapajós (Figura 01).

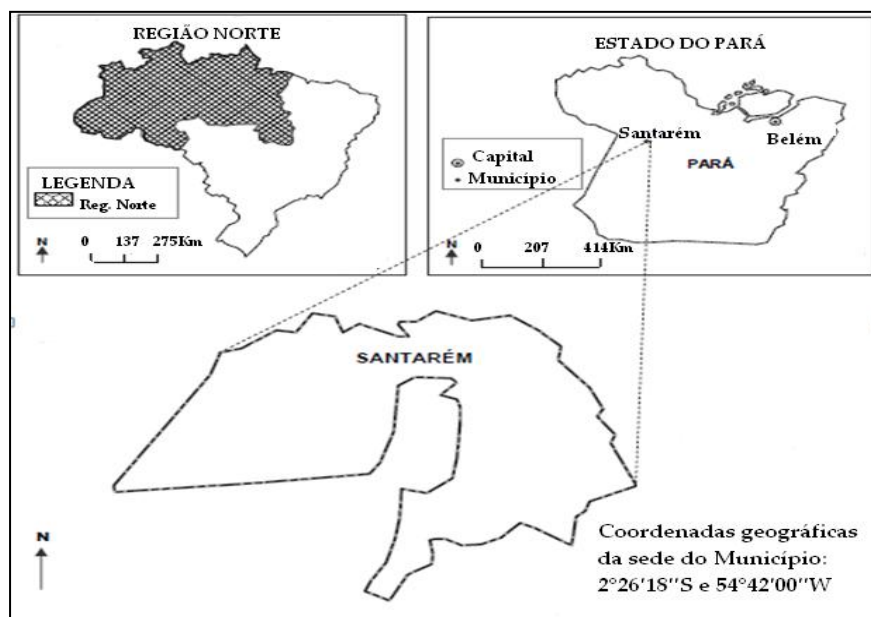


FIGURA 01 - Localização geográfica da área de estudo. Fonte: Jacinto et al. (2005). Modificado pelo autor.

Conforme o RADAMBRASIL (1976), a geomorfologia da região é caracterizada por apresentar quatro unidades morfoestruturais bem distintas: (1) Planalto Rebaixado do Médio Amazonas; (2) Planalto Tapajós-Xingu; (3) Planalto Residual Tapajós-Xingu; (4) Depressão Periférica do Sul do Pará. O relevo do município de Santarém é diversificado, apresenta áreas de várzea, terraços, praias fluviais, tabuleiros, baixas colinas, planaltos tabulares e algumas pequenas serras.

Segundo a classificação climática baseada no método de Köppen, a região do Município de Santarém enquadra-se dentro do grupo (Am), apresentando estação seca moderada, com ocorrência de no mínimo um mês e valor de precipitação média inferior a 60 mm. Quanto aos aspectos climáticos, as suas precipitações anuais variam entre 1900 a 2100 mm, com frequência de dias com ocorrência de chuva ao longo do ano em torno de 126 a 150 dias. A temperatura do ar considerando a média compensada, ou seja, a média entre a temperatura máxima e mínima apresenta valores oscilando entre 25,9 e 26 °C, sendo os valores médios das temperaturas extremas, variando entre 21,6 e 22 °C e 31,1 e 31,2 °C, para temperatura mínima e máxima, respectivamente. A umidade relativa média anual é bastante elevada, com valores em torno de 84,1 a 86%, a insolação total anual em horas é climatologicamente uma das maiores do Estado do Pará, com valores entre 1900 a 2000 horas e nebulosidade média anual oscilando de 5,6 e 0,6 décimos.

Pelo fato da temperatura do ar apresentar pequena variabilidade, a caracterização climática é feita basicamente em função da distribuição de sua precipitação. Sendo assim, costuma-se dividir o ano em duas estações distintas: uma estação chuvosa, sendo o trimestre mais chuvoso ocorrendo entre fevereiro a abril, e uma estação menos chuvosa, com trimestre mais seco entre agosto a outubro (ZEE-PA, 2009).

2.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO

A Região Norte é caracterizada por apresentar valores médios anuais elevados de temperatura e umidade relativa do ar, além de elevado índice pluviométrico anual, embora com grandes variações nos totais mensais. Os principais mecanismos que explicam estas características são a combinação da Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT), das brisas marítimas, da penetração de sistemas frontais oriundos do Sul do continente Sulamericano, da grande fonte de vapor d'água atmosférico, representada pela Bacia Amazônica e das linhas de instabilidade (NIMER, 1979).

Através do setor Oriental da Região Norte sopra, periodicamente, ventos de Nordeste (NE) e de Leste (E), proveniente dos anticiclones subtropicais semipermanentes do Atlântico Sul e do Atlântico Norte. Geralmente associadas às ondulações frontais, formam-se pequenas depressões barométricas, ao longo das quais formações cumuliformes se desenvolvem e se deslocam, podendo resultar em precipitações intensas e localizadas, são as chamadas Linhas de Instabilidade (LI). No interior do continente Sulamericano, estas LI ocorrem no seio da massa equatorial continental. O forte aquecimento diurno apresenta um papel fundamental em sua formação. Essas formações ocorrem principalmente no verão, durante o dia, em consequência da intensa radiação solar incidente sobre a Região Tropical. Inicia-se pelo surgimento de nuvens cúmulo, que após o seu desenvolvimento pode atingir o estágio de cumulonimbus pela parte da tarde, quando a convecção atinge a sua máxima intensidade.

Comumente estes sistemas provocam precipitações fortes e localizadas, associadas a rajadas, granizo, descargas elétricas e trovoadas. O deslocamento destas LI, no Brasil, ocorre no sentido de Oeste para Leste, e desempenham um importante papel no regime de precipitação da Região Norte. Na Amazônia, o mais importante local de origem das LI é o setor Ocidental, onde, depois de formadas, elas se deslocam para o Sudeste (SE), até a Amazônia Central.

Outro sistema de circulação atmosférica de grande importância na região é a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, formada pela confluência dos ventos alísios dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul, e do Atlântico Norte. A ZCIT é caracterizada por um cinturão de Nuvens cumuliformes que oscila latitudinalmente ao longo do ano, porém as suas posições extremas não são simétricas em relação ao Equador terrestre. Esta diferença se dá devido às diferentes distribuições entre os oceanos e os continentes em ambos os hemisférios. Em janeiro a ZCIT localiza-se entre 5°S e 8°N. No mês de julho a sua variação é entre 2°N e 17 °N. Deste modo, a sua posição média em janeiro é de 4°S, ao passo

que em julho é de 13° N RIEHL (1964). A ZCIT é uma das principais responsáveis pelo regime pluviométrico da Região Norte, uma vez que, geralmente a época mais chuvosa da região está associada com a sua passagem ou permanência sobre o local.

Finalmente, durante o inverno do Hemisfério Sul, outro sistema de circulação atmosférico pode causar alterações climáticas na Região Norte são as frentes polares (FP). A fonte destes anticiclones é a Região Polar de superfície gelada, constituída pelo continente Antártico. As frentes polares que penetram no continente sulamericano e, se deslocam em direção às baixas latitudes, apresentam freqüentemente, ventos de Sul (S) e Sudeste (SE). No seu deslocamento de origem até as baixas latitudes, os anticiclones polares sofrem profundas modificações em relação a sua temperatura e conteúdo de umidade. Na sua origem eles são secos, frios e estáveis, porém, em sua trajetória, eles absorvem calor e umidade colhidos na superfície do mar, aumentando à medida que se desloca para a Região Equatorial. De maneira que, o ar polar marítimo se torna instável. Ao penetrar no Norte do Brasil, a superfície frontal apresenta orientação Noroeste (NW) - Sudeste (SE), com ventos do quadrante sul, provocando chuvas frontais acompanhados de queda de temperatura. Tais sistemas atingem esta região no inverno do Hemisfério Sul. (COSTA, 2009).

2.3. DADOS UTILIZADOS

Foram utilizados dados diários de temperatura e umidade relativa do ar, os quais foram obtidos de forma simultânea. A fase experimental de coleta de dados meteorológicos ocorreu no período de 22 a 29 de setembro de 2009, durante a estação menos chuvosa da região, com a utilização de 08 (oito) locais de coleta de dados, onde se realizaram observações horárias consecutivas, durante as 24 horas diárias ao longo de todo o período de estudo.

Além da utilização de dados simultâneos, também foram empregados dados de temperatura e umidade do ar referente à estação meteorológica do Centro de Treinamento e Educação da LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia), localizada no Município de Santarém-Pa e dados

meteorológicos do Projeto de Monitoramento Climático de Cidades de Diferentes Dimensões na Amazônia da Universidade Federal do Pará, localizada no Município de Santarém (CLIMURB), com objetivo de correlacionar as variações termo-higrométricas entre cidades de diferentes dimensões.

2.4. LOCAIS DE COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Para a seleção dos locais de coleta de dados meteorológicos (Tabela 02.), os critérios adotados foram: a representatividade da área de estudo, a facilidade de operação, além da segurança dos equipamentos e dos observadores meteorológicos. Na realização desta pesquisa, a distribuição foi feita de modo que cada bairro apresentasse, no mínimo, um local de observação e que esse fosse o mais representativo possível das características gerais daquele bairro.

Foram escolhidos 08 pontos: 02 centrais, 02 considerados residenciais, 02 contendo área verde significativa, 01 periférico e 01 local representativos das condições rurais.

TABELA 02 - Localização dos pontos de coleta de dados meteorológicos

Pontos	Localização
01	Centro: Avenida São Sebastião/Travessa dos Mártires (Emissora TV. Encontro).
02	Aldeia: Avenida Tapajós (Delegacia Fluvial da Marinha do Brasil).
03	UFOPA: Avenida Vera Paz (Campus da Universidade do Oeste do Pará, bairro do Salé).
04	Parque Municipal: Avenida Sérgio Henn, bairro Jardim Santarém.
05	Santíssimo: Avenida Prof. José Agostinho/Avenida Ismael Araújo.
06	Caranazal: Avenida Coaracy Nunes/Travessa Antônio Justa
07	Nova República: Avenida Tancredo Neves (Escola Municipal Princesa Izabel).
08	Rural – Fazenda Paraíso (Rodovia BR- 163, Km-23)

Fonte: Secretaria Municipal de Transportes de Santarém, 2009.



FIGURA 03 - Estação meteorológica automática da Campbell Scientific. Localizada no Ponto 01 - Centro. Fonte: Paulo Uchôa.

2.6. METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

Para obtenção dos dados meteorológicos, foi realizada uma campanha intensiva de coleta de dados em campo, com duração de sete dias consecutivos e durante 24 horas diárias, preferencialmente, durante a estação menos chuvosa quando os efeitos amenizantes das precipitações sobre o comportamento dos elementos do clima urbano apresentaram-se mínimos.

Na realização da campanha experimental, foram instalados oito pontos de coleta de dados. Estes estavam deslocados a uma distância axial de 2 km, no sentido centro para a periferia da cidade. O procedimento de escolha de apenas oito pontos decorreu em função da pequena variabilidade dos elementos meteorológicos estudado nesta pesquisa

2.7. ELEMENTOS URBANOS

Quanto aos parâmetros referentes à tipologia de uso e ocupação do solo urbano, bem como a ocorrência de áreas verdes urbanas, estes foram levantados em campo, durante um período de três meses, de setembro a novembro de 2009, considerando-se uma área média de 250 m² em volta do local de observação meteorológica. Estes dados constaram, basicamente, das porcentagens de cada elemento urbano potencialmente capaz de proporcionar alterações no comportamento das condições meteorológicas, tais como, pavimento (asfalto e calçamento), edificações e arborização. Estimativas realizadas por órgãos públicos municipais envolvidos com tais tipos de pesquisas, bem como, consultas bibliográficas em órgãos operacionais especializados, também foram de fundamental importância.

2.8. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA (TE)

De acordo com as características climáticas locais e por questões práticas de medição meteorológica, utilizou-se o método de temperatura efetiva de Thom (1959), método considerado bastante eficiente para regiões de clima quente. Além disso, é de simples aplicação, pois permite a definição de zonas de conforto térmico utilizando dados de temperatura do bulbo seco e bulbo úmido.

O conceito de temperatura efetiva (TE) tem sido amplamente aplicado em estudo como um índice de estresse térmico sobre o corpo humano. Segundo Brandão (1995) *“a fórmula fornecida por Thom (1959), embora limitada quando considerada a complexidade de variáveis envolvidas na questão do conforto humano (condições físicas, socioeconômicas e emocionais) apresentou resultados satisfatórios para a cidade do Rio de Janeiro”*.

Thom (1959) determinou como zona de conforto os valores de (TE) entre 18,9°C e 25,6°C, sendo que o corpo humano apresenta condição de stress ao frio (TE) abaixo de 18,9°C e condição de stress ao calor sob (TE) acima de 25,6°C. O procedimento para o cálculo da temperatura efetiva (TE) é expresso da seguinte

forma: $TE = 0,4 (Td + Tw) + 4,8$. Considera-se (Td) como Temperatura de bulbo seco e (Tw) como Temperatura de bulbo úmido.

Do exposto, os índices de temperatura efetiva foram calculados e comparados com sensações térmicas obtidas por meio de entrevistas, realizadas durante três dias, concomitante às medições meteorológicas. Devido às falhas durante o processo de coleta, foram selecionados apenas 04 pontos representativos das condições urbanas de Santarém (Tabela 03), utilizando-se os seguintes critérios: (1) Foram entrevistadas de 10 a 20 pessoas, dependendo da movimentação local, de ambos os sexos, preferencialmente em atividade, a cada intervalo de 01 (uma) hora; (2) Utilização de perguntas subjetivas sobre conforto térmico; (3) Entre os dias 24 a 26 de setembro de 2009, das 7:00 às 18:00 horas.

TABELA 03- Localização dos pontos da realização das entrevistas do índice subjetivo de conforto térmico.

Numeração	Ponto
01	Centro – Localização: Av. São Sebastião
04	Parque – Localização: Av. Sérgio Henn
05	Santíssimo – Localização: Av. Prof. José Agostinho
07	Nova República – Localização: Av. Tancredo Neves

A preferência térmica dos pedestres foi avaliada em uma questão, com as seguintes alternativas: confortável, desconfortável, muito desconfortável e estresse térmico. A pesquisa de campo foi conduzida em 04 pontos pré-estabelecidos, localizados dentro da área de estudo, em áreas próximas das estações meteorológicas. Devido ao baixo fluxo de pedestres e a interrupção horária da coleta, os dados referentes aos questionários dos Pontos 02, 03 e 06 foram excluídos. Portanto, foram aproveitados para posterior análise somente os questionários preenchidos corretamente de acordo com o horário pré-estabelecido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ELEMENTOS URBANOS

As principais características de uso e ocupação do solo na área urbana da cidade de Santarém, nas proximidades dos locais de coleta de dados meteorológicos, são apresentadas nas tabelas 04 e 05.

TABELA 04 – Distribuição dos principais elementos urbanos nas proximidades dos locais de observação meteorológicas.

Ponto	Altura (%)			Utilização (%)			Material (%)		Cobertura (%)		
	Te	2 Pa	>3 Pa	Re	Co	Mi	Alv.	Mad.	Ba.	Am.	Ou
01	57,6	25,6	16,8	14,2	58,5	27,3	99,2	0,8	13,6	65,6	21,8
02	70,3	25	4,7	49,1	29,4	21,5	95,5	4,5	40,1	58,1	1,8
03	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	50	50	50	50	0,0
04	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	0,0
05	71,2	27,2	1,8	72	12,5	15,5	87,5	12,5	33,5	56,3	10,2
06	68,5	27	4,5	59,5	15,2	25,6	81,9	18,1	35,5	59,4	5,3
07	96,2	3,2	0,6	64,9	13,7	21,4	72,5	27,5	14,9	83	2,1
08	100	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	100	0,0

Te = Casas térreas / 2 Pa = dois pavimentos / >3Pa = Edificações maiores que 3 pavimentos / Re = Residencial / Co = Comercial / Mi = misto / Alv. = Alvenaria / Mad = Madeira / Ba = Barro / Am = Amianto / Ou = Outros (metálica).

TABELA 05 – Distribuição (%) de calçamento, edificações e vegetação nas proximidades dos locais de observação meteorológica.

Pontos	Área edif.	Área pav.	Área veg.	Outros
01	67,3	26,9	5,8	0,0
02	61,9	21,7	11	5,4
03	7,5	1,5	35,4	55,6
04	2,6	1,3	46,1	47,6
05	59,4	25,7	12,7	2,2
06	65,7	15,3	13,5	5,5
07	56,9	13,1	12,5	17,5
08	0,5	0,0	75	24,95

(*) Outros = terreno baldio, campos de futebol e espaços livres sem vegetação.

Conforme apresentado anteriormente, nota-se que os Pontos 01 (bairro Centro) e Ponto 02 (bairro da Aldeia) são os que apresentam maior porcentagem de verticalização, sendo construções do tipo alvenaria com cobertura de telhas de amianto. Quanto ao uso do solo, esse é variável, estando concentrado nos bairros Centrais quase que a totalidade dos estabelecimentos comerciais e bancários. Nesses bairros o trânsito é intenso durante a maior parte do dia (Figura 04), e apresentam asfalto na maioria das vias com bom calçamento em ambos os lados. Os bairros do Centro e Aldeia apresentam baixo percentual de arborização urbana, sendo esta representada, na maioria dos casos, por indivíduos arbóreos isolados. São bairros considerados nobres onde a população, geralmente, possui alto poder aquisitivo.



FIGURA 04 – Avenida Rui Barbosa no bairro Centro (Ponto 01), em 02/2011. Fonte: Paulo Uchôa.

O Ponto 05 (bairro do Santíssimo) e o Ponto 06 (bairro do Caranazal) são considerados de uso residencial. Uma de suas principais características é a predominância, quase que absoluta, de edificações térreas do tipo alvenaria, além de uma grande carência de arborização (Figura 05). São bairros muito populosos, onde os moradores apresentam um médio poder aquisitivo. Uns dos aspectos mais relevantes destas áreas são novas zonas de comércio, formados por construções em alvenaria com telhas de barro e uso comercial misto (Figura 06).



FIGURA 05 – Vista do bairro do Santíssimo (Ponto 05) com detalhe para o novo modelo arquitetônico das edificações locais. Fonte: Paulo Uchôa.



FIGURA 06 – Vista do bairro Caranazal (Ponto 06) com detalhe da zona comercial local. Fonte: Paulo Uchôa.

O bairro de Nova República (Ponto 07), considerado zona periférica de Santarém, distante aproximadamente 06 km do centro comercial, apresenta como característica o predomínio de construções térreas, de alvenaria, cobertas de telhas de amianto e uso residencial. É um bairro considerado populoso, onde a verticalização é quase ausente. Apresenta como particularidade grande “manchas

verdes” em suas proximidades (Figura 07). Em seu entorno existem bairros, onde a população residente apresenta um poder econômico relativamente baixo, como por exemplo, os bairros de Santo André, Vitória Régia e Ipanema, cujo principal problema enfrentado pela população é a falta de moradia, sendo observadas inúmeras áreas de invasão de terra, onde as condições sanitárias são precárias.



FIGURA 07 – Via principal do bairro de Nova República com.
Fonte: Paulo Uchôa.



FIGURA 08 - Vista da entrada do Parque Municipal (Ponto 04).



Figura 09 - Interior do campus da UFOPA (Ponto 03).

De modo geral, podemos observar mínima verticalização das áreas analisadas, a maioria apresenta edificações térreas, do tipo alvenaria e com cobertura de telhas de amianto, ou seja, áreas em que predominam o emprego de materiais como concreto, amianto e asfalto, alterando o albedo (razão entre a radiação refletida e a incidente) da superfície, já que esses tipos de materiais são bons absorvedores de calor e conseqüentemente importantes emissores de radiação de ondas longas, o que explica a elevação das temperaturas (Tabela 06).

A utilização é predominantemente residencial, sendo notada atividade comercial e bancária apenas nos pontos 01 e 02, próximos a orla fluvial de Santarém.

O ponto 08 está localizado em área com vegetação mais densa do que os demais. O fluxo de calor latente absorvido pela vegetação nesse ponto é utilizado nos processos de evapotranspiração fazendo com que o fluxo de calor sensível, utilizado para aquecer o ar sofra diminuição, o que caracteriza uma região de menor temperatura (Tabela 06).

3.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

3.2.1 Temperatura e umidade relativa do ar

Foram realizadas, no período de 23 a 28 de setembro de 2009, observações meteorológicas em 08 pontos, referidos no item 3.4 deste texto, tendo a temperatura média horária do ar apresentado, em todos os locais, comportamento padrão para a Região Equatorial, isto é, sofreu um aumento gradativo dos valores medidos desde as primeiras horas da manhã até atingir um máximo, oscilando entre 13:00 às 15:00 horas. A partir desse momento, teve início um declínio gradativo, culminando com valores mínimos por volta das 06:00 horas da manhã (Figura 10).

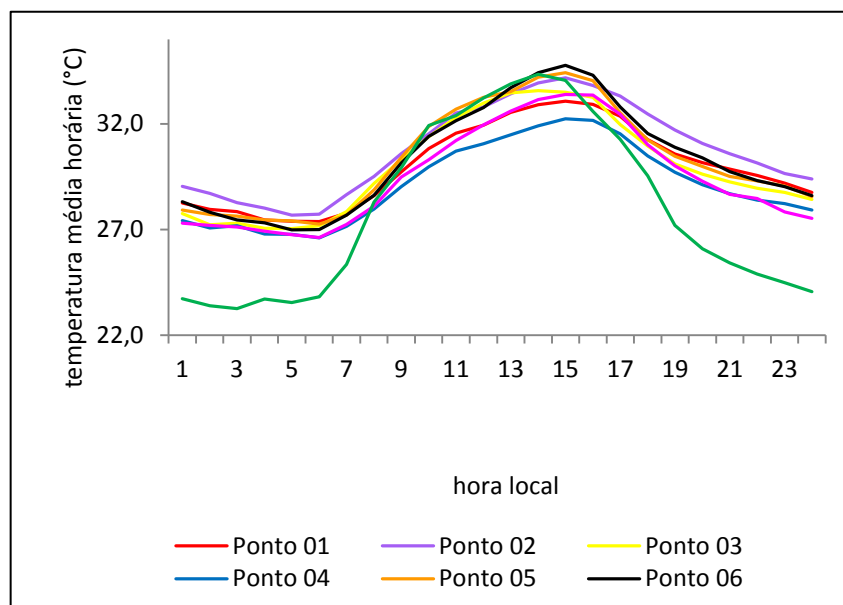


Figura 10 - Distribuição média horária da temperatura do ar nos pontos de coleta.

Em relação às temperaturas médias diárias, estas não apresentaram variações, apesar das significativas diferenças encontradas na tipologia de uso e ocupação do ambiente urbano. Entretanto, como já era esperado, os maiores valores foram observados nos locais com características de cobertura vegetal deficiente e elevada porcentagem de calçamento e edificações, além de intensa

atividade antrópica, enquanto que os mínimos ocorreram em locais próximos de áreas com alta porcentagem de arborização e pequena atividade antrópica.

Ao contrário do que foi observado em relação às temperaturas médias do ar, as temperaturas máximas encontradas nos diversos ambientes urbanos foram consideravelmente distintas, variando desde um máximo de 35,6 °C, verificado no Ponto 05, bairro do Santíssimo, caracterizado por apresentar arborização urbana deficiente e significativa atividade antrópica, até um mínimo de 33,1°C no Ponto 04, no Parque Municipal, onde ocorre substancial porcentagem de arborização, que proporciona temperaturas máximas mais amenas.

Em relação às temperaturas mínimas, essas variaram de um máximo de 27,7 °C, verificada no Ponto 02, bairro da Aldeia, área tipicamente horizontal e com elevada densidade de edificações, até um valor mínimo de 23,3°C, no Ponto 08, localizado na fazenda Paraíso, Km 23 da BR 163, onde a pequena porcentagem de edificações associada à elevada porcentagem de vegetação, contribui para este maior resfriamento.

As amplitudes térmicas sofreram significativas variações, tendo o valor máximo de 9 °C ocorrido no Ponto 05 onde a ausência quase que total de vegetação, associada com a característica de construções predominantemente horizontais, facilitou o aquecimento durante as horas diurnas, ao passo que durante as horas noturnas, esta energia foi facilmente liberada para o espaço acarretando, deste modo, um grande resfriamento. Sensíveis variações também ocorreram na zona rural, com valor máximo de 10,9 °C.

Quanto à amplitude térmica mínima, esta foi de 6,5 °C, verificada no Ponto 02, bairro da Aldeia, onde a expressiva porcentagem de edificações contribui para a absorção de maior parte da quantidade de energia durante o dia, liberando-a lentamente durante as horas noturnas. Deste modo, proporcionando um menor resfriamento.

Os valores diários das temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitudes térmicas dos diferentes ambientes estudados são apresentados na Tabela 06.

TABELA 06 - Valores médios diários de temperatura, máxima, mínima, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude térmica.

Ponto	T (°C) média	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)	T(°C) máxima	T (°C) mínima	Amplitud e térmica (°C)
01	30.0	2.0	6.6	33.8	26.3	7.4
02	30.8	2.1	6.8	34.2	27.7	6.5
03	29.9	2.3	7.6	33.9	26.1	7.8
04	28.9	2.0	6.7	33.1	25.5	7.6
05	30.3	2.5	8.3	35.6	26.6	9.0
06	30,3	2.5	7.8	34.8	27.0	8.8
07	29.5	2.4	8.1	34.0	25.9	8.1
Rural	27.9	4.1	10.9	34.2	23.3	10.9

Em relação à umidade relativa do ar, esta apresentou um padrão esperado para Região Equatorial, atingindo os menores valores entre de 13:00 às 16:00 horas. A partir deste pico sofre um aumento gradativo, atingindo os valores mais elevados por volta das 06:00 horas da manhã (Figura 11).

Devido às características de significativa disponibilidade energética e de umidade atmosférica, os valores médios diários de umidade relativa do ar foram bastante elevados na área urbana e rural de Santarém, oscilando entre um mínimo de 60,1% no Ponto 02 até um máximo de 71,9 % no Ponto 08, local de referência de medições meteorológicas. Apesar desta característica geral, durante esta fase da pesquisa foram observadas significativas amplitudes no comportamento médio horário da umidade relativa do ar, tendo alcançado em alguns locais, o valor absoluto de 35,4%, durante as horas mais quentes do dia.

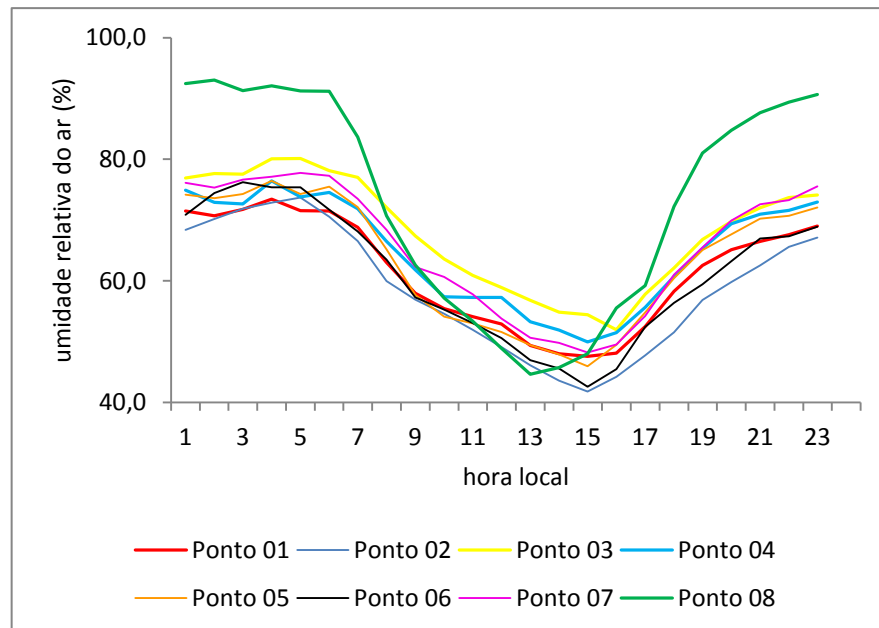


Figura 11 - Distribuição média horária da umidade relativa do ar nos pontos de coleta.

Durante o período entre 1:00 e 6:00 horas da manhã a umidade relativa do ar apresenta-se bastante elevada, com maiores valores em torno de 94%, ocorrendo no ponto localizado na zona rural, onde a falta de edificações, associada a proximidade de áreas verdes proporcionaram um maior resfriamento noturno. Os menores valores foram observados na área comercial da cidade, com valores inferiores a 45%.

Dentre as análises de regressão linear realizadas entre as temperaturas médias, máximas e mínimas e a porcentagem de calçamento, edificações e arborização, foi verificado que o melhor ajuste de regressão ocorreu entre os valores de arborização e os valores de temperaturas médias e mínimas, sendo que as temperaturas máximas não foram bem correlacionadas com nenhum dos elementos urbanos estudados.

Observou-se que, os valores encontrados entre a porcentagem de arborização e as temperaturas médias e mínimas apresentaram um coeficiente de determinação R^2 de 0,85 (Figura 11) e R^2 0,83 (Figura 12), respectivamente. Os valores de regressão linear simples entre a porcentagem de vegetação e as

temperaturas máximas não foram significativos, com um coeficiente de determinação da ordem de 0,11(Figura 13).

Quando analisados os ajustes entre as temperaturas médias, máximas e mínimas e os demais elementos da estrutura urbana, como o percentual de calçamento, edificações e asfalto, verificou-se que, na maioria dos casos, a regressão foi muito fraca, apresentando coeficientes de determinação (R^2) entre 0,22 a 0,55. Apesar dos baixos valores, novamente as temperaturas médias e mínimas foram as que apresentaram as melhores correlações, sendo a do tipo polinomial a que melhor explicou tais variações.

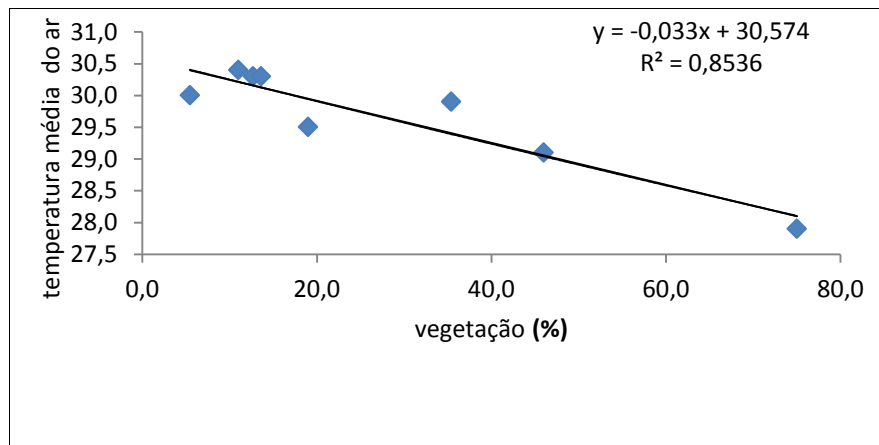


Figura 12 - Curva de correlação entre a temperatura média diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA.

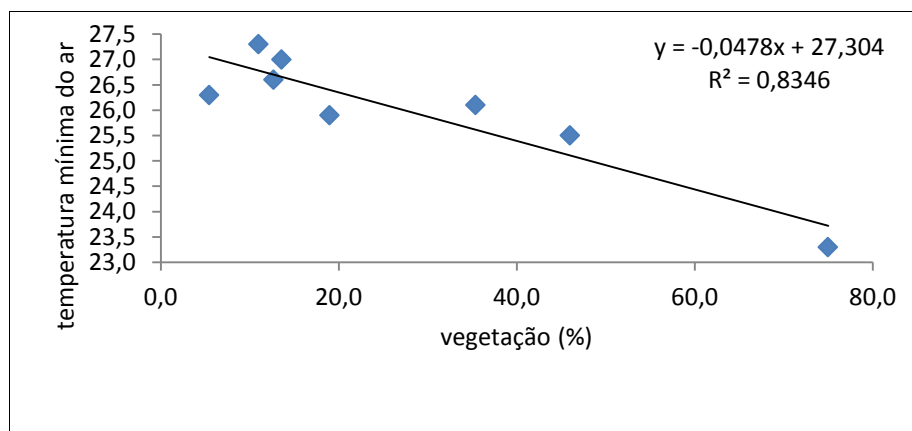


Figura 13 - Curva de correlação entre a temperatura mínima diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA

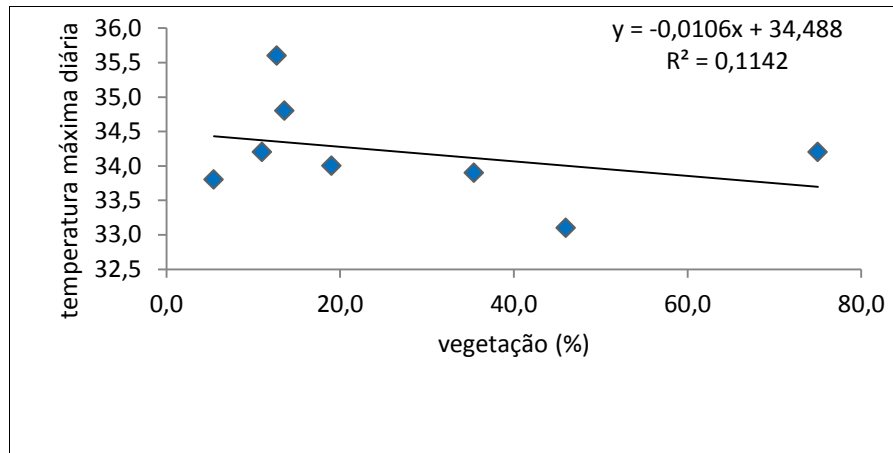


Figura 14 - Curva de correlação entre a temperatura máxima diária e a porcentagem de vegetação na área urbana de Santarém-PA.

Os resultados obtidos comprovam, de acordo com pesquisas anteriores, que as temperaturas do ar sofrem influência dos diversos padrões de uso do solo urbano. Quanto aos elementos da estrutura urbana de Santarém que são capazes de proporcionar variações meteorológicas significativas, a vegetação apresenta um papel fundamental no sentido de proporcionar temperaturas mais amenas.

Nos oitos pontos analisados, observou-se maior influência da vegetação, seguido dos demais parâmetros, no sentido de amenizar as temperaturas do ar, pelo efeito combinado do sombreamento e reflexão solar incidente, diminuindo deste modo o desconforto térmico local.

3.3. DIFERENÇA TERMO-HIGROMÉTRICA ENTRE O AMBIENTE URBANO E O RURAL.

A cidade de Santarém é considerada de médio porte. Mesmo assim, observou-se a geração de um clima urbano com formação de ilha de calor de intensidade variando entre 1°C a 2,9°C. De acordo com que fora adotado por Brandão (1996), para a cidade do Rio de Janeiro, os valores de intensidade da ilha de calor foram agrupados nas seguintes categorias: ilha de calor de fraca intensidade, quando as diferenças oscilam entre 0 e 2°C; ilha de calor moderada, quando as diferenças se situam entre 2 a 4°C; ilha de calor de forte intensidade,

quando as diferenças oscilam entre 4 a 6°C e ilha de calor de intensidade muito forte, quando as diferenças ultrapassam 6°C. Quando comparados, os valores referentes aos pontos urbanos e o rural da cidade de Santarém notou-se que a temperatura média do ambiente rural (27,9°C) esteve abaixo da temperatura média urbana (29,9°C), isso comprova que as áreas construídas se apresentam mais quentes que as áreas do campo, configurando-se em Santarém um aquecimento noturno de média magnitude.

O mês de setembro de 2009 foi favorável à ocorrência de diferenças termohigrométricas significativa entre o campo e a cidade. Houve pouca ocorrência de chuva, assim como condições sinóticas de ventos fracos e, em muitos horários do dia situações de calma e pouca nebulosidade. As maiores diferenças foram observadas no período noturno entre 21:00 às 6:00 horas da manhã. Durante o período diurno, tais diferenças foram menores

Os resultados indicaram a presença bem definida da ilha de calor urbana na cidade de Santarém, principalmente no horário noturno, quando sua intensidade máxima alcançou valores na ordem de 4,7°C, no Ponto 02, localizado no bairro da Aldeia. Também foi constatada a forte influência da vegetação no sentido de proporcionar a ocorrência de temperaturas mais amenas, pelo efeito da reflexão solar. Em locais mais arborizados os valores foram menores que aqueles observados nos demais pontos, com médias na ordem de 1,0°C a 2,0 °C.

Na quantificação das variações termo - higrométricas entre os diferentes ambientes urbanos e o ambiente rural (Figura 14), foi observado que, de um modo geral, as maiores diferenças ocorreram nos locais com pouca ou nenhuma arborização e com elevada porcentagem de edificações e calçamento, como por exemplo, o Ponto 01 com 94,2% e Ponto 02 com 83,6% de área construída.

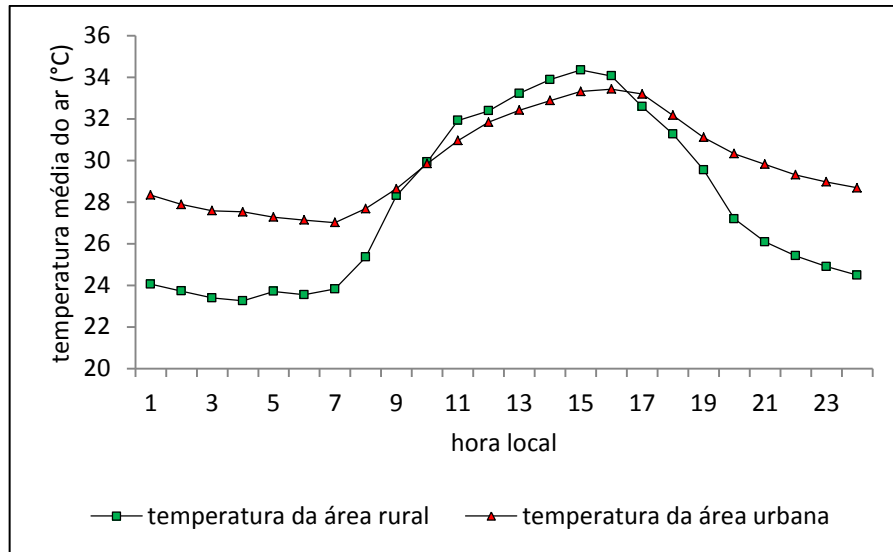


Figura 15 - Diferença média horária da temperatura do ar entre a área urbana e rural.

Tabela 07 – Temperaturas médias, mínimas, máximas do ar e diferença média entre os ambientes urbanos e o rural.

Ponto	T(°C) média	T (°C) máxima	T(°C) mínima	Amplitude térmica (°C)	Δ média de temperatura (°C)
01	30,0	33,8	26,3	7,4	2,1
02	30,8	34,2	27,7	6,5	2,9
03	29,9	33,9	26,1	7,8	2,0
04	28,9	33,1	25,5	7,6	1,0
05	30,3	35,6	26,6	9,0	2,4
06	30,3	34,8	27,0	8,8	2,4
07	29,5	34,0	25,9	8,1	1,6
08	27,9	34,2	23,3	10,9	-

Um dos fatores que pode esclarecer a maior temperatura na Região Central se deve a menor reflexão da superfície urbana, que possui albedo reduzido devido suas construções, impermeabilização de ruas, asfalto e concreto, entre outras transformações do meio físico natural. A redução do albedo ocasiona maior armazenamento de calor no sistema, proveniente tanto da radiação solar como da radiação térmica da atmosfera, e dos materiais instalados, de acordo com Maitelli (1994).

Outro fator importante a ser observado, refere-se à substituição da vegetação nativa por prédios, ruas, entre outros, fazendo com que haja uma diminuição das taxas de evaporação e de evapotranspiração, processos importantes para a manutenção das condições climáticas locais.

Em relação ao comportamento médio horário da umidade relativa do ar, foi observado que, de um modo geral, os maiores valores sempre foram verificados no ambiente rural, sendo que os menores valores ocorreram em locais com pouca ou nenhuma arborização e intensa urbanização. A maior diferença média encontrada foi no Ponto 01, região central de Santarém, com valor de 17,2% mais seco. Diferença esta verificada entre o período das 19:00 às 20:00 horas. As menores diferenças foram registradas no Ponto 03, interior do campus da UFOPA, com valores de 5,7% mais seco em relação ao campo. No período entre 11:00 às 15:00 horas o Ponto 08, localizado na zona rural, apresentou-se em média 5% mais seco que na maioria dos pontos urbanos, caracterizando uma inversão no comportamento dos índices de umidade (Figura16).

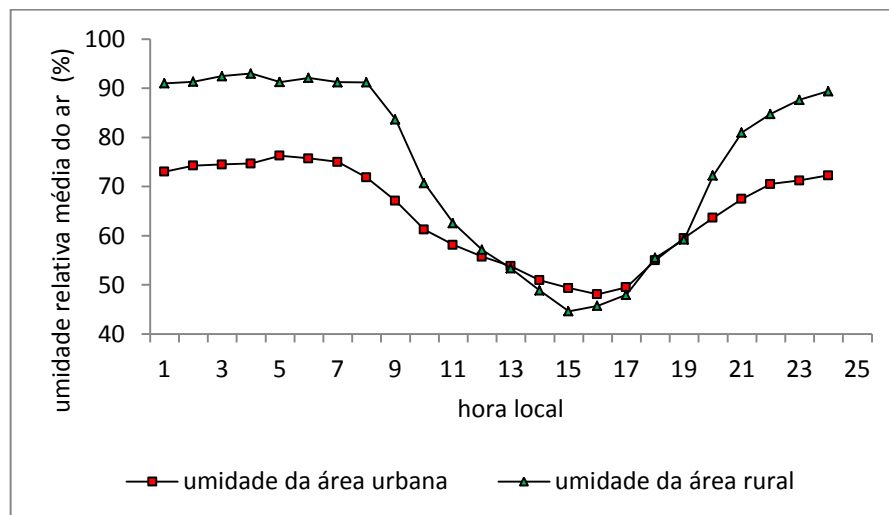


Figura 16 - Diferença média horária da umidade do ar entre a área urbana e rural.

Em relação às análises das diferenças entre as temperaturas médias do ar nos pontos localizados na zona urbana e o ponto rural, foi utilizado o Teste de Análise de Variância (ANOVA) que visa fundamentalmente verificar se existem diferenças significativas entre as médias e, se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. Também foi utilizado o Teste de Tukey (Tabela 10), que é utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento, tendo como base a diferença mínima significativa.

Os dados obtidos com as medições dos pontos fixos foram comparados com os dados registrados pela estação fixa localizada no ambiente rural (Fazenda Paraíso, BR – 163), correspondente ao mesmo período de observação.

De modo geral observam-se menores temperaturas no ambiente rural quando comparadas aos pontos urbanos. A maior diferença significativa (Figura 17) encontrada foi entre o Ponto 08 e o Ponto 02, apresentando uma variação média de 2,9°C. As maiores amplitudes foram registradas na estação 08, o que pode ser explicado pelo rápido resfriamento noturno da área.

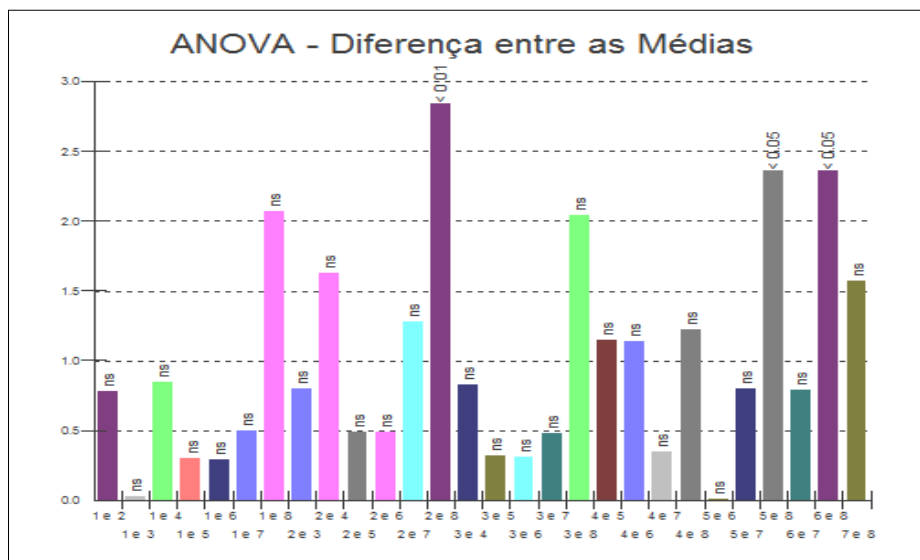


Figura 17 – Análise de variância das diferenças entre as médias dos pontos urbanos e rural.

Tabela 08 - Análise de Variância (ANOVA) entre as médias dos pontos urbanos e rural.

ANOVA I – CRITÉRIO: ESTAÇÕES URBANAS (01 A 07)+08			
Fontes de Variação	GL	SQ	QM
Tratamentos	7	131,58	18,79
Erros	184	12.0e+02	6,53
F =	2,875	-	-
(p) =	0,0074	-	-
Média (coluna 2)	30	-	-
Média (coluna 3)	30,779	-	-
Média (coluna 4)	29,979	-	-
Média (coluna 5)	29,154	-	-
Média (coluna 6)	30,295	-	-
Média (coluna 7)	30,291	-	-
Média (coluna 8)	29,5	-	-
Média (coluna 9)	27,933	-	-

Tabela 09 – Análise das diferenças entre as médias entre os pontos urbanos e o rural (Teste de Tukey).

Tukey	Diferença	Q	p
Médias 1 e 8	2,066	3,959	n.s
Médias 2 e 8	2,845	5,452	< 0.05
Médias 3 e 8	2,045	3,919	n.s
Médias 4 e 8	1,220	2,339	n.s
Médias 5 e 8	2,362	4,526	< 0.05
Médias 6 e 8	2,358	4,518	< 0.05
Médias 7 e 8	1,566	1,566	n.s

A figura 17 evidencia diferenças significativas entre as temperaturas dos ambientes urbanos e o rural. Através desses dados pode-se deduzir que a temperatura do ar está relacionada ao processo de crescimento urbano da cidade. Nos pontos localizados em áreas urbanizadas, Pontos 02, 05 e 06 (Tabela 09) têm-se a diminuição da evaporação, maior rugosidade e influência térmica dos diferentes

materiais de construção, que contribuem para um aumento de calor durante o dia e um menor resfriamento noturno.

A partir das análises observam-se diferenças significativas de temperatura do ar entre as médias dos pontos urbanos e o ambiente rural, a nível de significância de 5%. Individualmente foi observado que o Ponto 08 (ambiente rural) apresenta diferenças significativas quando comparado aos Pontos 02 (Aldeia), 05 (Santíssimo) e 06 (Caranazal). Em relação aos demais pontos, não houve significância. Quando se executa a Análise de Variância (ANOVA) sem a estação rural (Ponto 08), os resultados não são significativos entre os pontos 01 até 07, evidenciando não existir diferenças térmicas significativas nos ambientes intra-urbanos da cidade de Santarém.

3.4. DIFERENÇAS TERMO-HIGROMÉTRICAS ENTRE CIDADES DE DIFERENTES DIMENSÕES

O clima é influenciado cada vez mais pelas atividades humanas, principalmente em escala local, onde estas modificações podem variar conforme o desenvolvimento econômico e os padrões de uso e ocupação do espaço urbano, definindo características climáticas em macro, meso e micro escalas.

Inúmeras pesquisas sobre climatologia urbana, que se fundamentam na existência de micro climas decorrente de formas de uso do solo, evidenciam que cidades com maior adensamento populacional e urbano possuem valores de parâmetros atmosféricos diferentes em relação às cidades de menor dimensão. Neste sentido, este item propõe a cogitar sobre a relação entre a dinâmica dos parâmetros meteorológicos e as características dos diferentes aspectos do espaço geográfico das cidades analisadas, através da associação de dados referentes aos parâmetros atmosféricos: temperatura e umidade relativa do ar, para dois municípios do Estado do Pará, Santarém e Belterra, com condições de infraestrutura urbana e adensamento populacional diferenciados.

3.4.1. Temperatura do ar

Considerando-se o trimestre mais chuvoso da região, que se estende do mês de março a maio, a cidade de Santarém apresentou um valor médio diário de temperatura do ar de 28,3°C, enquanto que em Belterra esse valor foi de 25,1°C (Figura 18). Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação para Santarém foram, respectivamente, de 1,6°C e 5,6%. Em Belterra estes valores foram respectivamente de 1,9°C e 7,5%. Embora a estrutura urbana destas duas cidades seja bastante diferenciada, a amplitude térmica foi próxima, sendo em Santarém de 4,8°C e em Belterra de 5,1°C.

Analisando-se o trimestre menos chuvoso da região, que se estende do mês de agosto a outubro, a cidade de Santarém apresentou um valor de temperatura do ar de 29,3°C, enquanto que em Belterra esse valor foi de 27,2°C (Figura 19). Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação para Santarém foram, respectivamente, de 1,8°C e 6,1%. Em Belterra estes valores foram respectivamente de 3,2°C e 11,7%. Em termos de amplitude térmica, esta foi de 5,6°C em Santarém e de 8,4°C em Belterra.

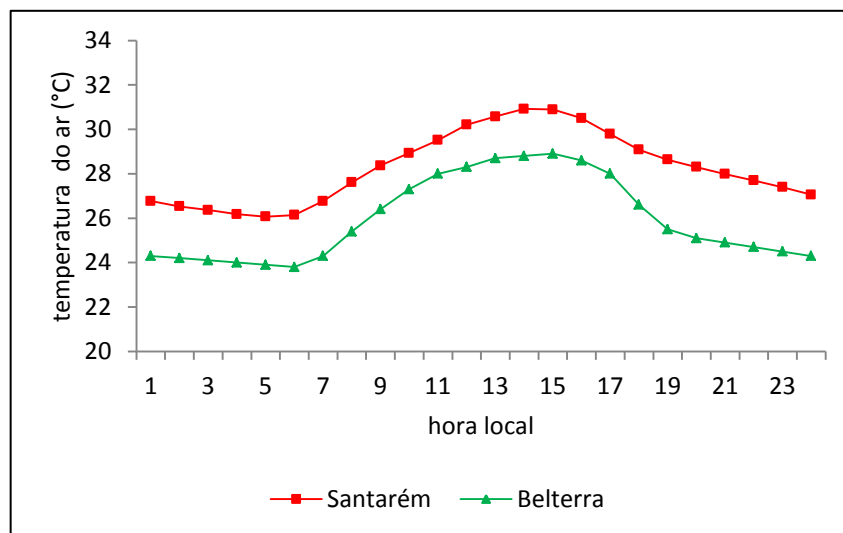


Figura 18 - Valores médios horários da temperatura do ar durante a época mais chuvosa.

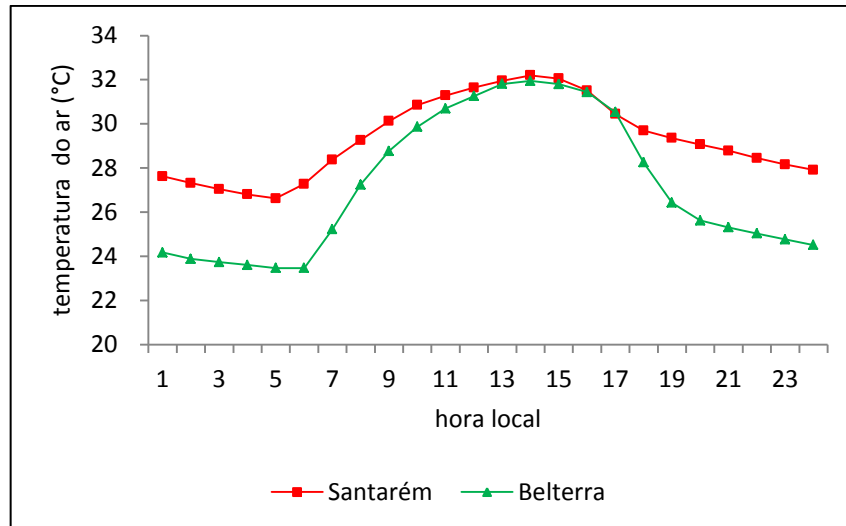


Figura 19 - Valores médios horários da temperatura do ar durante a época menos chuvosa.

De acordo com os resultados da variabilidade média horária da temperatura do ar durante a época chuvosa e menos chuvosa nas cidades de Santarém e Belterra, observou-se que em ambas as cidades a temperatura média horária do ar apresentou comportamento relativamente semelhante, com mínimos por volta das 6:00 horas da manhã e máximos oscilando em torno de 13:00 às 15:00 horas. Entretanto, a cidade de Santarém apresentou durante estas duas épocas, na maioria dos horários, valores superiores aos observados em Belterra, sendo que as maiores diferenças foram notadas no horário noturno, provavelmente, associados com as diferenças estruturais e populacionais destas cidades.

Embora a composição urbana destas duas cidades, considerando-se o adensamento populacional e tamanho do núcleo urbano, seja bastante diferenciada, durante a época mais chuvosa, a amplitude térmica foi muito próxima, sendo em Santarém de 4,8°C e em Belterra de 5,1°C. Durante a época menos chuvosa os valores de amplitude térmica foram maiores em ambas as cidades, esta foi de 5,6°C em Santarém e de 8,4°C em Belterra. A grande variação térmica sazonal deve-se, basicamente, ao grande aumento da nebulosidade e das precipitações pluviais durante a época chuvosa, tornando os contrastes térmicos entre os diferentes ambientes urbanos estudados, praticamente desprezíveis.

3.4.2. Umidade relativa do ar

A variabilidade média horária da umidade relativa do ar, durante a época chuvosa nas cidades de Santarém e Belterra apresentou variação inversa da temperatura do ar, em ambas as cidades estes valores foram máximos durante as horas noturnas, sendo que provavelmente, em função do menor tamanho, a cidade de Belterra sempre apresentou maiores valores de umidade relativa do ar (Figura 20).

A cidade de Santarém apresentou um valor de umidade relativa do ar de 74,1%, enquanto que em Belterra esse valor foi de 90,1%. Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação para Santarém foram, respectivamente, de 7,1% e 9,5%. Em Belterra estes valores foram respectivamente de 7,0% e 7,7%. Embora a estrutura urbana destas duas cidades seja individualizada, a amplitude diária da umidade relativa do ar foi muito próxima entre elas, sendo em Santarém de 21% e em Belterra de 18,2%. Este comportamento deve-se, possivelmente, às condições de precipitações predominantes durante esta época do ano nesta Região.

Em termos médios diários, a cidade de Santarém apresentou durante a época menos chuvosa um valor de umidade relativa do ar de 68,6%, enquanto que em Belterra esse valor foi de 81,2% (Figura 21). Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação para Santarém foram, respectivamente, de 8,8% e 12,8%. Em Belterra estes valores foram respectivamente de 14,3% e 17,6%. Durante esta época, em função da pequena precipitação, a influência da estrutura urbana destas duas cidades é marcante sobre a amplitude deste elemento meteorológico. Em Santarém este valor foi de 26,2% e em Belterra de 37,7%. Embora não sejam grandes as diferenças entre ambas as cidades, sazonalmente são bastante consideráveis, principalmente em Belterra.

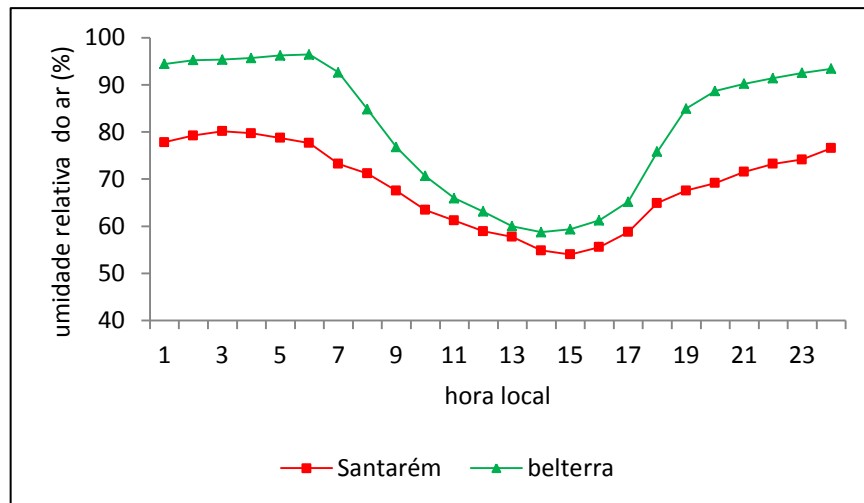


Figura 20 - Valores médios horários da umidade relativa do ar durante a época menos chuvosa.

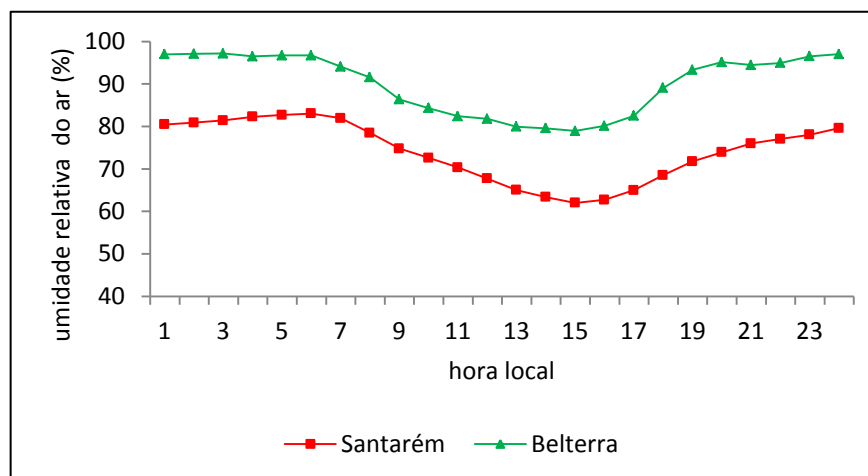


Figura 21 - Valores médios horários da umidade relativa do ar durante a época mais chuvosa.

O comportamento da umidade relativa do ar, conforme a figura 20 e figura 21 mostram que a cidade de Belterra estava sazonalmente mais úmida que a cidade de Santarém. Este fato pode ser explicado mediante a ocorrência de menores temperaturas, fazendo com que o ar se torne mais comprimido, aumentando a umidade relativa do ar.

A estação meteorológica de Santarém está localizada em uma área densamente urbanizada em que predominam a utilização de materiais como: asfalto, concreto, entre outros, alterando a razão entre a radiação refletida e a incidente

(albedo) da superfície, proporcionando maior absorção de calor e, por conseguinte elevação das temperaturas e diminuição da umidade relativa do ar.

Observadas as características da configuração urbana dos pontos localizados na cidade de Santarém e Belterra e os valores obtidos nas medições em campo, partiu para a análise estatística desses valores. Os dados obtidos em campo das variáveis ambientais, temperatura e umidade relativa do ar foram avaliadas através de uma análise de variância (ANOVA), que indicou que a temperatura e a umidade relativa sofrem influência sazonal das variáveis estudadas.

Para a análise inicial em que foi testada a variação sazonal da temperatura e umidade relativa do ar nas cidades de Santarém e Belterra, comparando-se as épocas menos e mais chuvosas, usou-se um nível de significância de 0,01. Os resultados indicaram que, para todos os pontos onde foram realizadas as medições, as características analisadas têm influência significativa no valor resultante das variáveis (Figuras 22 e 23).

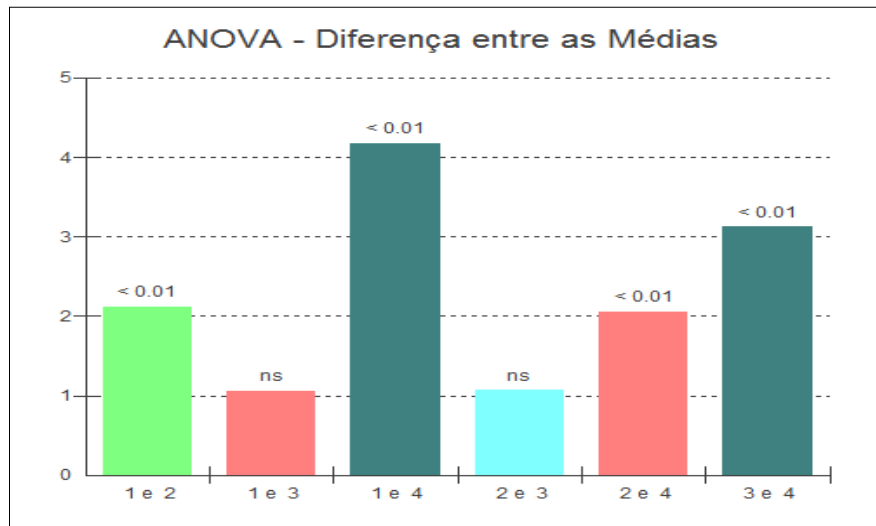


Figura 22 - Análise comparativa – temperatura média do ar – Santarém x Belterra (época mais e menos chuvosa).

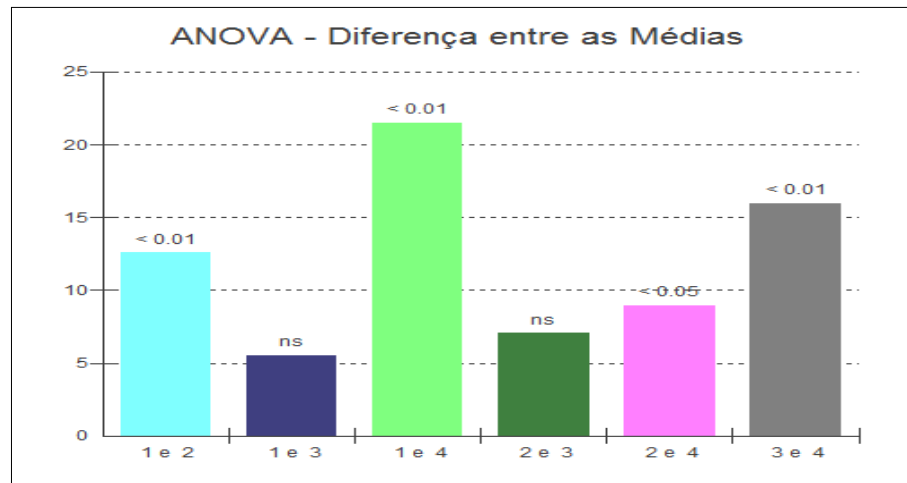


Figura 23 - Análise comparativa – umidade média do ar – Santarém x Belterra (época mais e menos chuvosa).

Tabela 10 - Análise comparativa sazonal da temperatura média do ar entre as cidades de Santarém e Belterra

ANÁLISE COMPARATIVA DA TEMPERATURA DO AR – SANTARÉM X BELTERRA (ÉPOCA MAIS E MENOS CHUVOSA).	
1 = T ar menos chuvoso – Santarém	1-2 significativo
2 = T ar menos chuvoso - Belterra	3-4 significativo
3 = T ar mais chuvoso - Santarém	1-3 não significativo
4 = T ar mais chuvoso - Belterra	2-4 significativo

Tabela 11 - Análise comparativa sazonal da umidade relativa média do ar entre as cidades de Santarém e Belterra

ANÁLISE COMPARATIVA DA UMIDADE RELATIVA DO AR – SANTARÉM X BELTERRA (ÉPOCA MAIS E MENOS CHUVOSA).	
1 = UR ar menos chuvoso Santarém	1-2 significativo
2 = UR ar menos chuvoso - Belterra	3-4 significativo
3 = UR ar mais chuvoso - Santarém	1-3 não significativo
4 = UR ar mais chuvoso - Belterra	2-4 significativo

Os resultados obtidos evidenciam, de acordo com pesquisas anteriores, que as temperaturas do ar são elevadas de acordo com o aumento da área edificada e

pavimentada e, por outro lado são amenizadas por efeito da vegetação. A umidade relativa do ar, por sua vez, sofre acréscimo com o aumento da vegetação, e é diminuída com o aumento dos demais parâmetros.

É importante ressaltar que, os resultados obtidos evidenciam os pesos relativos de apenas dois parâmetros observados de duas cidades de diferentes dimensões, para um determinado período de medição. Certamente a nebulosidade, os ventos, entre outros parâmetros climáticos são extremamente importantes nas alterações meteorológicas locais. Apesar dessa limitação, a presente análise identifica que o ambiente climático urbano pode ser significativamente modificado, e mostra a importância das características da morfologia urbana na formação de microclimas.

3.5. PERFIL TERMOMÉTRICO ENTRE AS DIFERENTES FRAÇÕES DO AMBIENTE URBANO.

As figuras de 24 a 29 mostram a comparação entre os dados médios horários da temperatura do ar entre sete pontos urbanos. Foi analisado comparativamente o ponto mais urbanizado, representado pelo Ponto 01 (localizado no centro comercial de Santarém) e os demais pontos urbanos.

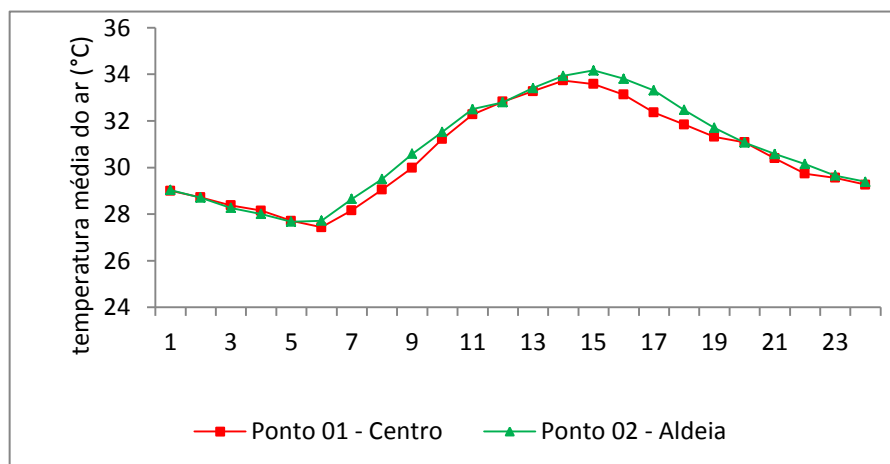


Figura 24 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 02 (Aldeia).

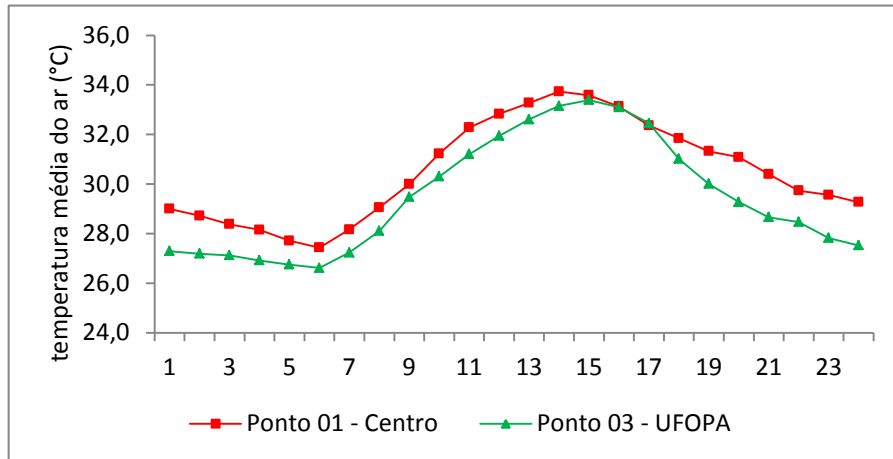


Figura 25 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 03 (UFOPA).

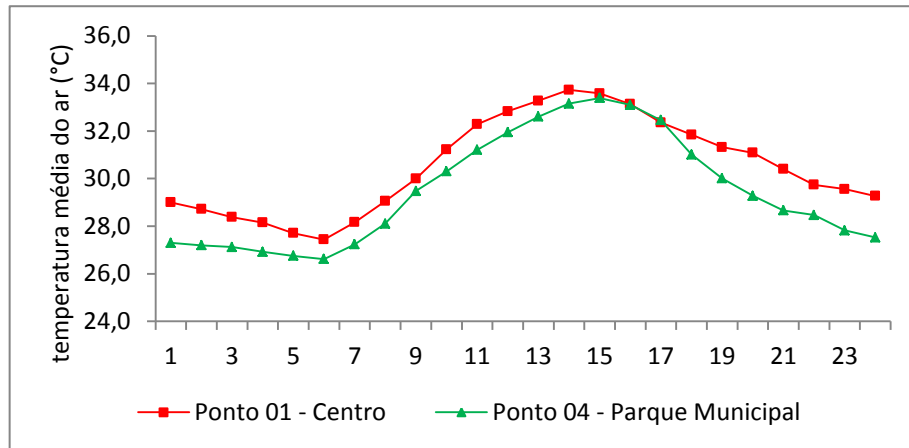


Figura 26 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 04 (Parque Municipal).

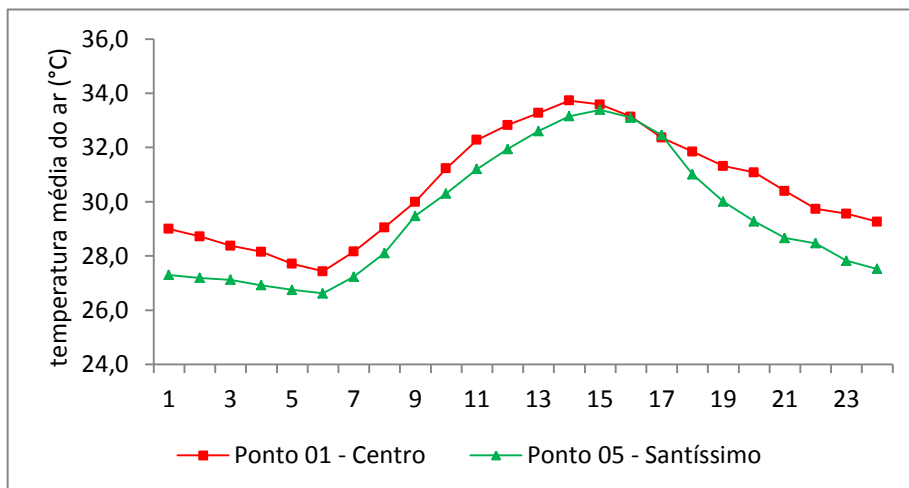


Figura 27 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 05 (Santíssimo).

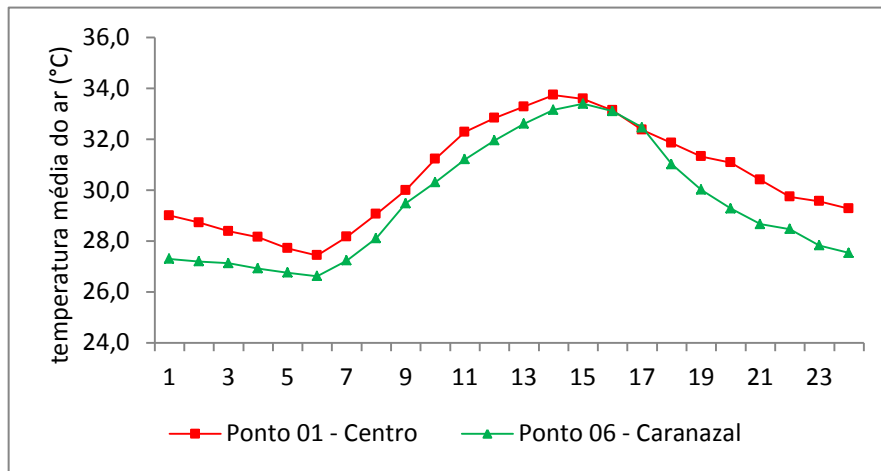


Figura 28 - Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 06 (Caranazal).

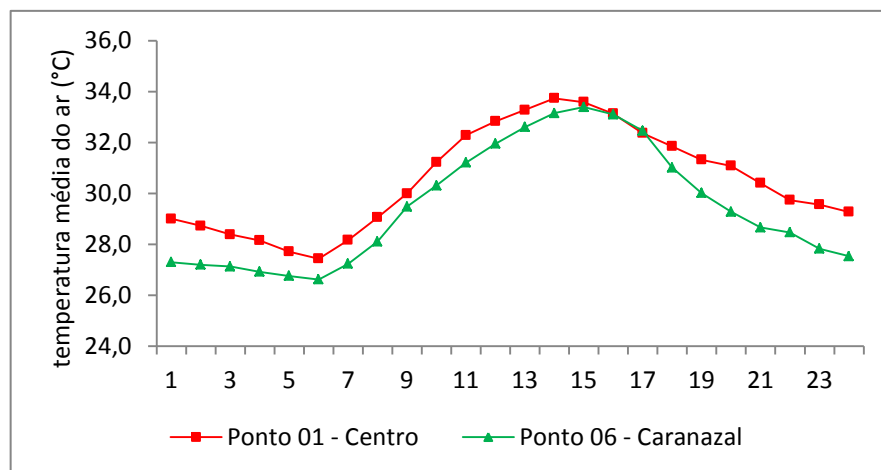


Figura 29 – Temperatura média horária entre o Ponto 01 (Área Central) e o Ponto 07 (Nova República).

Quanto à questão espacial da distribuição da temperatura do ar dentro da malha urbana da cidade de Santarém, verificou-se que as variações ocorreram de forma mínima, de acordo com as diversas características da configuração urbana, porém não foram observadas diferenças significativas entre os valores de temperatura do ar (Tabela 12). A diferença média máxima identificada foi de 1,1°C, quando comparado ao Ponto 04, localizado no interior do Parque Municipal de Santarém, caracterizado por possuir significativa área verde (46% de uma área de 250 m²). As menores diferenças médias diárias foram verificadas em relação ao Ponto 02, com características similares ao Ponto 01, ambos marcados por

apresentarem cobertura vegetal deficiente e elevada porcentagem de edificações e pavimentação (94,2% e 89% respectivamente de uma área de 250 m²).

Observadas as características comparativas da configuração urbana entre o Ponto 01, considerado o mais urbanizado e os demais pontos urbanos, partiu-se para a análise estatística dos valores.

Tabela 12 – Análise de Variância (ANOVA) dos pontos urbanos

ANÁLISE DE VARIÂNCIA SEM A ESTAÇÃO RURAL (PONTO 08)			
Fontes de variação	GL	SQ	QM
Tratamentos	6	41,89	6,98
Erros	161	818,84	5,08
F=	1,378	Não significativo	-
P=	0,227	Não significativo	-

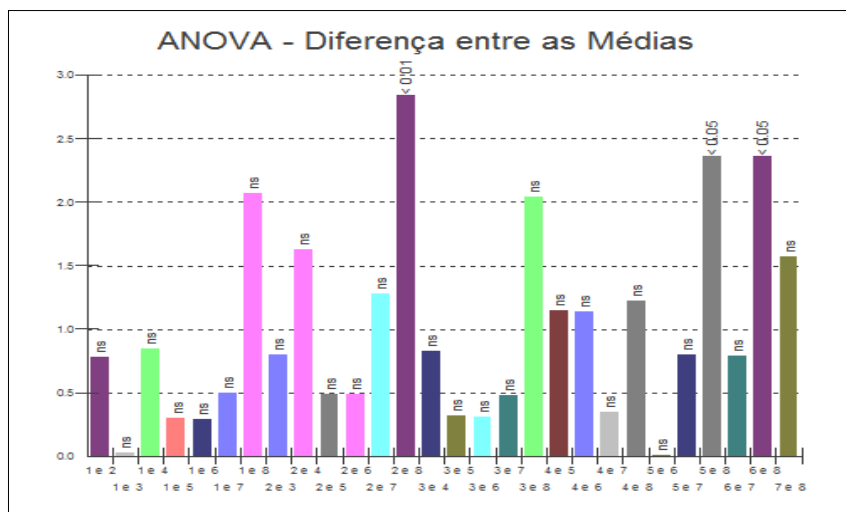


Figura 30 – Gráfico da Análise de Variância entre os pontos urbanos.

Os dados obtidos em campo das variáveis meteorológicas foram avaliados através de uma análise de variância, que indicou que a temperatura e umidade relativa do ar não apresentam diferenças significativas entre os pontos analisados, ou seja, quando se executa a análise de variância (Figura 30) sem a estação rural (Ponto 08), os resultados não são significativos entre os Pontos 01 e os demais pontos urbanos.

3.6. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Os resultados apresentados na Tabela 13 mostram os valores médios horários do índice de temperatura efetiva, referente a quatro pontos representativos da configuração urbana de Santarém, obtidos pelo modelo de Thon (1959).

Tabela 13 - Valores médios diários do índice de temperatura efetiva (TE).
Estação menos chuvosa (setembro-2009). Santarém-PA.

Ponto	TE (°C) Média	Desvio Padrão	TE (°C) Máximo	TE (°C) Mínimo	TE (°C) Amplitude
Centro	26,4	0,9	27,7	25,2	2,5
Parque	26,1	0,9	27,5	24,8	2,7
Santíssimo	26,8	1,1	28,5	25,2	3,3
N. República	26,7	1,1	28,1	25,3	2,8

As faixas de desconforto térmico, previamente estabelecido por esse modelo, foram comparadas as sensações térmicas obtidas por meio de entrevistas, realizadas com pessoas de diferentes idades, pesos, cor de pele, sexo e vestimenta, com estratificação etária única de 18 a 45 anos, concomitante a fase experimental de coleta de dados meteorológicos.

A variação média horária do índice (Figura 31), calculado pelo modelo de Thom (1959) mostra que, durante as primeiras horas da manhã, entre o intervalo de 7:00 às 8:00 horas da manhã, quando as temperaturas ainda estavam se elevando, todos os pontos proporcionaram condições de conforto térmico.

Após as 9:00 horas da manhã, quando os termômetros registraram aumento gradativo da temperatura, todos os pontos apresentaram temperaturas efetivas acima de 25,6°C, sendo o Ponto 05 o mais desconfortável.

No período vespertino entre os horários de 14:00 horas às 16:00 horas, todos os pontos encontravam-se fora da zona de conforto, ultrapassando 27,0°C, com máximos valores de desconforto ao redor das 16:00 horas.

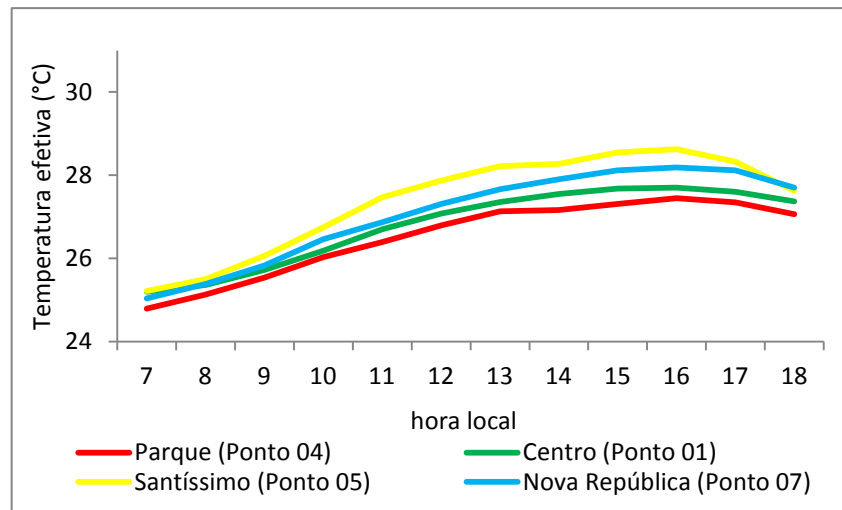


Figura 31 - Variação média horária do Índice de Temperatura Efetiva (TE).

O Ponto 04, localizado no interior do Parque Municipal foi caracterizado como o mais ameno entre todos, com valores de temperatura efetiva abaixo dos 27°C até aproximadamente o horário de 12:00 horas, valor não verificado nos demais pontos. Em relação à média diária do índice de temperatura efetiva, os pontos apresentaram valores entre 26,1°C e 26,7 °C, com máximo de 28,5°C e mínimo de 24,8°C (Tabela 13).

Comparando o índice subjetivo com o índice de temperatura efetiva (Figura 34), nota-se boa correlação, pois cerca aproximadamente 83% dos entrevistados acharam sensação térmica de muito desconforto, contra 81,5 % verificado através do índice estimado.

Em relação à sensação de conforto térmico, 16,5% dos entrevistados opinaram pelo quesito confortável, contra 18,5% do índice estimado (Figura 34). Para todos os casos, os maiores valores de (TE) obtidos, referem-se às áreas com menor cobertura vegetal, sendo os menores valores registrados no Parque Municipal, local com relevante área verde, contendo indivíduos arbóreos de grande porte, arbustos e áreas de gramado por toda extensão.

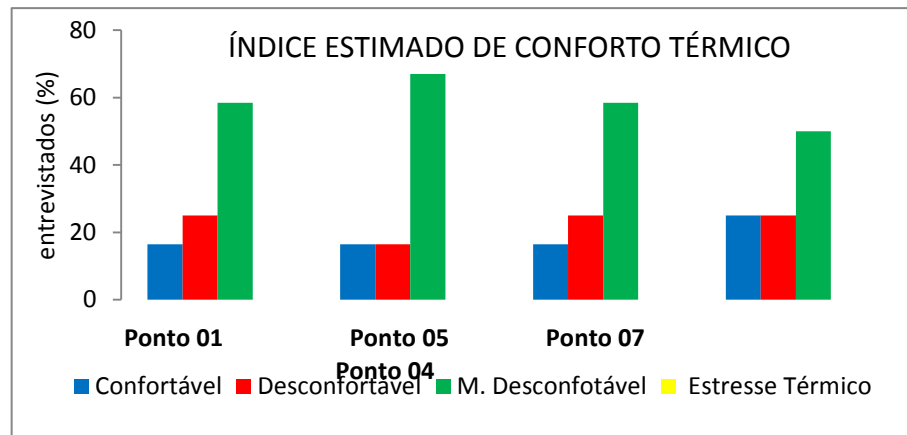


Figura 32 - Comparação percentual (%) do índice estimado dos pontos analisados.

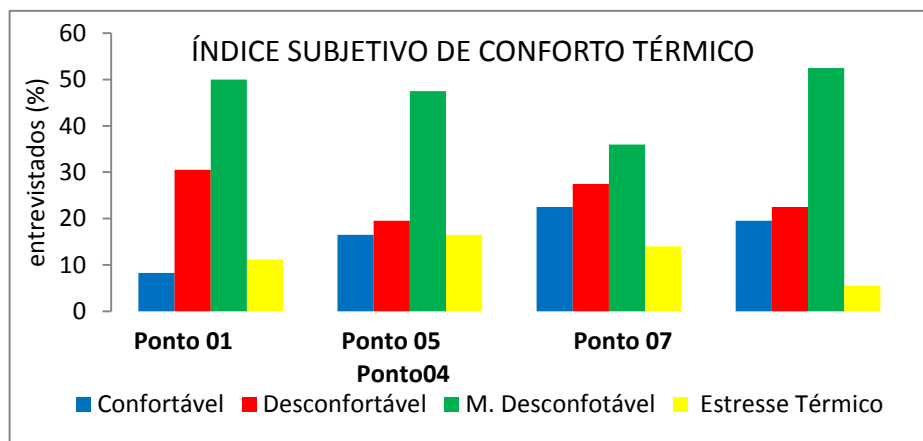


Figura 33 - Comparação percentual (%) do índice estimado dos pontos analisados.

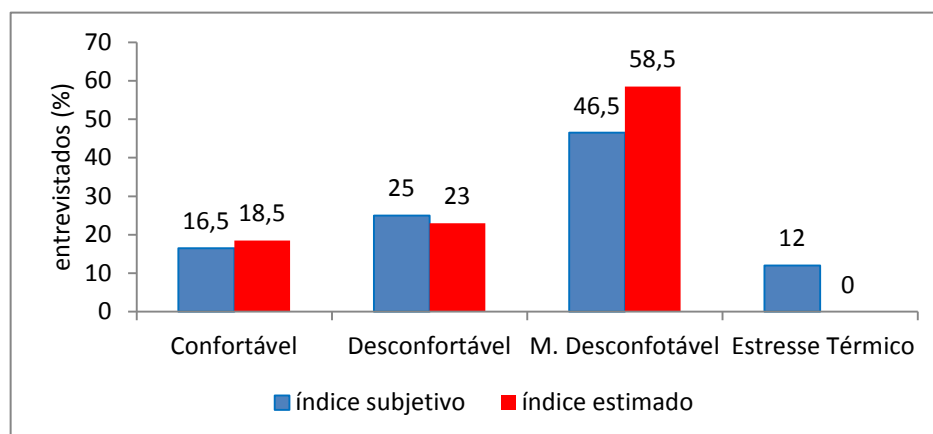


Figura 34 - Comparação percentual (%) entre o índice estimado e subjetivo nos pontos analisados.

Analisando a Figura 32, podemos observar que a sensação de desconforto é a resposta da grande maioria dos entrevistados. Esta sensação climática estende-se por um longo período, entre as 10:00 horas da manhã até aproximadamente 18:00 horas, com raras alterações, como no caso do Parque Municipal. A sensação de conforto térmico é mais freqüente apenas nas primeiras horas do dia, entre o intervalo das 7:00 às 9:00 horas da manhã, essa sensação está, na maioria dos casos, em concordância com os valores obtidos através do índice estimado para este horário do dia (Figura 31).

Os resultados obtidos demonstram significativa influência da estrutura urbana no comportamento de alguns elementos meteorológicos, principalmente na temperatura e umidade relativa do ar e, de forma qualitativa, boa 'relação de coerência' entre as estimativas sensações de conforto térmico realizadas por entrevistas e pelo modelo de Thon (1959).

Nesta análise verificou-se a influência da temperatura média do ar (índice estimado de temperatura efetiva) e as sensações térmicas dos pedestres nos pontos selecionados. Foi utilizado o teste de comparação das médias – Teste de Tukey, que é utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento, tem como base a DMS (diferença mínima significativa), a nível de significância de 5% (0,05), onde;

- H0 (hipótese nula) – a variável temperatura média do ar não influencia na resposta de sensação térmica.
- H1 (hipótese alternativa) – a variável temperatura média do ar influencia na resposta de sensação térmica.

Assim, serão consideradas significativas ao nível de significância de 5% aquelas diferenças entre as médias cujo valor absoluto é maior que o valor calculado. Quanto menor for o valor de p-valor haverá mais evidência a favor da hipótese alternativa.

De acordo com a análise conjunta do índice estimado e subjetivo, houve apenas diferenças nas modalidades das respostas entre as estações ou localidades, isto é, houve mudança nos padrões de respostas, mas para cada estação, as respostas não deferiam significativamente, evidenciando concordância entre as

variáveis do índice estimado e a preferência térmica por grau de satisfação dos pedestres.

Tabela 14 – Teste de Tukey entre as médias dos índices subjetivos e estimados

ANÁLISE CONJUNTA – ÍNDICE SUBJETIVO E ESTIMADO			
Teste de Tukey	Q	P	Tipos de respostas
Pontos 01 e 04	10,611	< 0.01	Muito significativo
Pontos 01 e 05	3,1913	ns	Não significativo
Pontos 01 e 07	4,2671	< 0.05	Significativo
Pontos 04 e 05	7,4197	< 0.01	Muito significativo
Pontos 04 e 07	7,4584	< 0.01	Muito significativo
Pontos 05 e 07	14,8742	< 0.01	Muito significativo

Nota-se que os Pontos 01 e 05 são estatisticamente iguais (p -valor > 0.05). Vale ressaltar que os dois pontos estão localizados em áreas com edificações predominantemente de 1 a 2 pavimentos e com pouca vegetação. Os demais pontos são estatisticamente diferentes (p -valor < 0.05). É interessante notar que os pontos localizados em regiões com uso do solo semelhantes apresentam valores estatisticamente iguais. Se analisarmos as proporções das respostas (Figura 34) nota-se que os pontos 01 e 05 são os mais desconfortáveis, ou seja, aproximadamente 91% e 83 % respectivamente dos pedestres responderam que se sentem desconfortáveis.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante a fase experimental desenvolvida nesta pesquisa demonstraram a significativa influência da estrutura urbana no comportamento de alguns elementos meteorológicos, principalmente na temperatura e umidade relativa do ar. Nesse aspecto a hipótese de que existe uma relação direta entre os padrões de uso do solo urbano e a temperatura do ar foi confirmada.

Em relação à quantificação da intensidade da “ilha de calor urbana” na cidade de Santarém, foram observadas significativas variações, tendo a sua máxima intensidade de (4,7°C). Em termos médios horários, a ilha de calor urbana sofreu expressivas variações em função das características do ambiente urbano, com maiores valores observados durante o período noturno, em locais densamente urbanizados; ao passo que os menores valores foram verificados em locais com significativas porcentagens de arborização.

Também se constatou que a temperatura do ar nos pontos urbanos foram sempre superiores as temperaturas da estação localizada na zona rural (Estação Fazenda Paraíso), comprovando a influência da urbanização na alteração da temperatura do ar. Desta forma observa-se que as alterações meteorológicas provocadas pela urbanização são significativas, ou seja, o clima das cidades sofre influência do uso e ocupação do solo.

Dessa forma, pode-se ressaltar que a cidade de Santarém-PA cresceu sem considerar, por parte das autoridades competentes, o seu contexto climático e a influência deste na qualidade de vida da população.

No que se refere ao comportamento da umidade relativa do ar, foi observado expressivas variações, com amplitudes de 35,4%, em áreas desprovidas de arborização e com intensa atividade antrópica. Os maiores valores sempre ocorreram às proximidades de grandes áreas vegetadas, sendo os menores valores foram verificados em áreas intensamente urbanizadas e desprovidas de arborização.

Quanto aos elementos da estrutura urbana que são potencialmente capazes de gerar variações meteorológicas significativas, a vegetação do entorno dos pontos

de coleta apresentou um papel fundamental no sentido de amenizar as temperaturas do ar, diminuindo o desconforto térmico local.

No que se refere à variação térmico-sazonal entre as cidades de Santarém e Belterra, os dados possibilitaram avançar no sentido de perceber mudanças micro-meteorológicas em decorrência da estrutura urbana e do adensamento populacional. Os resultados indicaram grandes variações termo-higrométricas sazonais, sendo que em termos horários, estas variações foram mais marcantes durante a época seca da região. A estrutura urbana parece influenciar no comportamento térmico das duas cidades, sendo que os maiores valores de temperatura foram observados na cidade de Santarém.

Com relação à umidade relativa do ar, a cidade de Belterra, de menor dimensão, apresentou valores maiores, tanto na época seca como na chuvosa, com médias diárias da ordem de 12% a 16% mais úmida que a cidade de Santarém.

Quanto à avaliação do conforto térmico, os dados demonstram que as situações de desconforto térmico foram mais freqüentes, assim sendo, o índice de temperatura efetiva atingiu o quesito desconfortável em todos os pontos, principalmente nos horários de maior insolação, entre 13:00 às 15:00 horas, apresentando boa relação de coerência com o índice subjetivo realizado através de entrevistas. A hipótese de que a temperatura do ar explica a sensação térmica dos pedestres da área de estudo também foi confirmada. Assim com base na combinação da variável sensação térmica e a temperatura efetiva calculada através do índice estimado foi possível com 95% de confiança confirmar que as situações de desconforto foram mais frequentes.

Portanto os objetivos propostos foram alcançados, destacando-se a importância desse tipo de estudo para o planejamento ambiental e urbano da cidade de Santarém visando à melhoria da qualidade de vida e o bem-estar dos cidadãos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JUNIOR, N. L. Proposta metodológica para controle natural da temperatura em meio urbano: O caso de Cuiabá-MT. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso – 2005

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE Standard 55-1992. Atlanta, 1992.

ASSIS, E. S. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; Porto Alegre, 1991. Anais, Porto Alegre, 1991, p. 53-57.

AZEVEDO, T. A & TARIFA, J. R. O Ritmo semanal das atividades humanas e o clima da região metropolitana de São Paulo. Revista de pós-graduação em Geografia, nº 09. São Paulo: HUMANITAS e FFLCH-USP, 2003.

AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Tradução.: Maria Juracy Zani dos Santos. 5. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BRANDÃO, A. M. P. M. O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1996, 362 p

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM BRASIL, Folha SA-21. Santarém. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. 1976. 522p., ilust tab., 7 mapas (Levantamento de Recursos Naturais).

COSTA, A. C. L. Estudo de variações termo-higrométricas em cidade equatorial devido ao processo de urbanização: O caso de Belém-PA. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998.

CAMARGO, J. C. G.; TAVARES, A. C. A influência da cidade de rio claro na temperatura e na umidade do ar. Geografia, 10 (20), out/1985, p. 149-168.

DUARTE, D. H. S. Padrão de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental. Tese de Doutorado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2000.

FROTA, A.B, SCHIFFER, S.R. Manual de Conforto Térmico; São Paulo: Nobel 1998.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução.: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GUERRA, A. J. T, CUNHA, S. B. Impactos ambientais urbanos no Brasil. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 416p.

HASENACK, H.; BECKER, V. L. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1. , Porto Alegre, 1991. Anais, Porto Alegre, 1991, p. 139- 145.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Cidades@. Disponível em < [http:// www.ibge.gov.br/cidadesat/default. php](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php) > Acesso em julho de 2009.

JAUREGUÍ, O. E. Aspects of heat island development in Guadalajara, Mexico. Atmospheric Environment, v.26B, n.3, 1992, p. 391-396.

LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. Tradução.: Prof. Dr. Tarik Rezende de Azevedo. Revista do Departamento de Geografia, nº 18, p. 95-111, 2006.

LOMBARDO, M. A. A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo. Ed. Huciteck. 1985, 224p.

MAITELLI, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental. O exemplo de Cuiabá-MT. Tese de Doutorado (Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas), Universidade de São Paulo, 1994.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano. In: Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente, 3. Londrina-PR, comunicações, Londrina - PR, 1991, p.561-571.

MARTINS, L. A temperatura do ar em Juiz de Fora - MG: Influência do sítio e da estrutura urbana. Rio Claro - SP, 1996. UNESP (dissertação de mestrado).

MENDONÇA, F. de 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. São Paulo: Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. Orientador: CONTI, José Bueno.

MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA F. A. Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo, 1975. Tese (Livre docência em Geografia). Instituto de Geografia da USP, São Paulo. Séries de Teses e Monografias, 1976.

NASCIEMNTO, C. C. Clima e morfologia urbana em Belém. Belém: UFPA. NUMA, 1995. 157p

OLIVEIRA, J. M. G. C. Expansão urbana e periferização de Santarém-PA, Brasil: questões para o planejamento urbano. Actas del X Colóquio Internacional de Geocrítica. Barcelona: Univesitat de Barcelona, www.ub.es/geocrit/menu.htm, 2008.

OKE, T. R. Boundary Layer Climates. 2 ed. Londres: Ethuen & C0, 1978. 372 p.

PEREIRA, J. C. M. Importância e Significado das cidades médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém-PA. Dissertação de mestrado. Belém: NAEA/UFPA, 2004.

PENUZZO, C. C. Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de Caso Campinas. Campinas, São Paulo, 2004. Tese de Doutorado – FEC – Universidade Estadual de Campinas.

ROMERO, M. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. São Paulo: P.W. 1988.

SOUZA, L. C. L. Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre. São Carlos - SP, 1996. EESC - USP (tese de doutorado).

STULPNAGEL, A. V. jhd; HORBERT, M.; SUKOPP, H. The importance of vegetation for the urban climate. Urban ecology, 1990. p. 175-193.

THOM, E.C. & BOSEN, J.F. The discomfort index. *Weatherwise*. 1959; Nº 12, p. 57 - 60.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa-MG, 1991.

VIDAL, R. D. B. Influência da morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade de Natal (RN). In: Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE. , 1, João Pessoa-Pb, 1992, p.33-37, Anais.

VITTE, C. C. S, KEINERT, T. M. M. Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana: discussões teórico-metodológicas – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 312p

YAMASHITA, S.; IMAMURA, I. R.; MONTEIRO, C. A. F. Observation of heat island in Patos and Campina Grande, northeast Brazil. Latin American Studies, n.10, 1988, p.145-156.