



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

FRANCISCO DE ASSIS LEANDRO FILHO

**ESTUDO NUMÉRICO DA ILHA DE CALOR EM FORTALEZA
UTILIZANDO O MODELO RAMS**

**FORTALEZA – CEARÁ
2011**

ESTUDO NUMÉRICO DA ILHA DE CALOR EM FORTALEZA
UTILIZANDO O MODELO RAMS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos.

L437e Leandro Filho, Francisco de Assis
Estudo numérico da ilha de calor em Fortaleza utilizando o modelo RAMS/Francisco de Assis Leandro Filho. — Fortaleza, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos.
Monografia (Graduação em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.
1. Ilha de Calor. 2. RAMS. 3. Fortaleza 4. Modelagem Numérica. I. Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.
CDD: 551.6

FRANCISCO DE ASSIS LEANDRO FILHO

ESTUDO NUMÉRICO DA ILHA DE CALOR EM FORTALEZA
UTILIZANDO O MODELO RAMS

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovada em: ____/____/____

Conceito obtido: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Prof. Ms. José Stênio Rocha
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Prof. Dr. Apiano Ferreira de Moraes Neto
Universidade Regional do Cariri – URCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela graça, força, coragem, e inteligência que ele me concedeu, pois sem ele nada do que foi feito se faria, e por ter me permitido chegar a esse momento especial de minha vida, me livrando de todos os males e abençoando enormemente minha vida.

Aos meus pais, Francisco Filho e Luzinete Leandro, pela formação e força que me deram para ir ao encontro dos meus objetivos, por sempre estarem comigo nos momentos difíceis, e por sempre acreditarem em mim.

A minha noiva Raquel Melo por ser essa pessoa maravilhosa que nos momentos que pensei em desistir, estava ao meu lado me motivando a seguir em frente. Obrigado pela paciência, carinho e dedicação que tiveste no decorrer deste trabalho.

Ao meu irmão André Filho, pelas discussões sobre ciência que tínhamos a cada vez que descobríamos uma coisa nova.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos, pela importante orientação acadêmica, credibilidade e amizade durante o curso de graduação e pelo incentivo, atenção, paciência, confiança, e principalmente pelos ensinamentos que levarei por toda a minha vida.

Aos amigos que me ajudaram neste percurso, incentivando, colaborando e participando. A estes com muito carinho agradeço: Adriano Oliveira, Aurélio Wildson, Dimitry Barbosa, Everton Castro e Otávio Lavor.

Aos excelentes professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, são eles: Apiano Ferreira de Moraes Neto, Kleiton do Carmo Mendes, José Stênio Rocha, Alexandre Araújo Costa, dentre outros.

À Universidade Estadual do Ceará, por intermédio do Departamento de Física, pela oportunidade de realizar este curso.

Eu sempre achei que a grandiosidade da inteligência humana está justamente no fato dela ser suficiente para percebermos o quão pequena ela é para dar conta dos segredos do universo.

(Albert Einstein)

RESUMO

A cidade de Fortaleza passa por um período de crescimento econômico e urbano, conseqüentemente essa urbanização traz diversas alterações ao meio ambiente, contribuindo para o aparecimento de um fenômeno bastante comum nas grandes metrópoles, denominado “Ilha de Calor”. Este trabalho tem por objetivo analisar os impactos dessas alterações climáticas locais na cidade de Fortaleza, Ceará. Dessa forma foram comparados dados de temperatura provenientes de simulações numéricas da atmosfera local pelo modelo RAMS 6.0 (Regional Atmospheric Modeling System), com dados observados obtidos a partir de medidas *in situ* para o ano de 2007 (MOURA, 2008). Análises indicam que o modelo foi capaz de prever com boa qualidade esse fenômeno de aquecimento urbano em comparação com os dados observados.

Palavras-chave: Ilha de Calor. RAMS. Fortaleza.

ABSTRACT

Fortaleza is a city that is crossing a strong period of economic growth and urban development. This urbanization brings many changes to the environment, contributing to the occurrence of a fairly common phenomenon in large cities, called "heat island". This study aims to have a taste on the impacts of climate change that might be taking place in the city of Fortaleza, Ceará. Therefore, temperature data from numerical simulations of the local atmosphere, obtained by the version 6.0 of the model RAMS (Regional Atmospheric Modeling System), were compared with observed data obtained in situ from measurements for the year 2007 (MOURA, 2008). Analysis indicates that the model was able, with good quality, to predict this heating phenomenon when compared with the observed data.

Keywords: Heat Island. RAMS. Fortaleza.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo do bolsão térmico formado sobre áreas urbanas. Fonte: GOUVEIA (2007).....	23
Figura 2 - Secção Transversal de uma Ilha de Calor Urbano. (Fonte: SAYDELLES, 2005).....	25
Figura 3 - Localização da Área de Estudo. (Fonte: MOURA, 2008).....	29
Figura 4 - Comportamento das isolinhas de temperatura às 08:00 h do dia 02 de maio de 2007 e no fundo a média da temperatura de Fortaleza nos dias 01/03/2007, 23:29 até 07/03/2007, 00:29.....	33
Figura 5 - Comportamento das isolinhas da temperatura às 08:00 h do dia 06 de novembro de 2007 e no fundo a média da temperatura de Fortaleza nos dias 06/11/2007, 23:29 até 12/11/2007, 00:29.....	34
Figura 6 - Temperatura do bairro Damas em maio de 2007.....	35
Figura 7 - Temperatura do Parque do Cocó em maio de 2007.....	36
Figura 8 - Temperatura do bairro de Fátima em maio de 2007.....	37
Figura 9 - Temperatura do bairro Aldeota em maio de 2007.....	38
Figura 10 - Temperatura do bairro Barra do Ceará em maio de 2007.....	39
Figura 11 - Temperatura do bairro Henrique Jorge em maio de 2007.....	40
Figura 12 - Temperatura do bairro Mondubim em maio de 2007.....	41
Figura 13 - Temperatura (°C) para o período entre 4 e 5 de maio de 2007 para todos os bairros obtido com dados simulado pelo RAMS.....	42
Figura 14 - Temperatura do bairro Damas em novembro de 2007.....	44
Figura 15 - Temperatura do Parque do Cocó em novembro de 2007.....	45
Figura 16 - Temperatura do bairro de Fátima em novembro de 2007.....	46
Figura 17 - Temperatura do bairro Aldeota em novembro de 2007.....	47
Figura 18 - Temperatura do bairro Barra do Ceará em novembro de 2007.....	48
Figura 19 - Temperatura do bairro Henrique Jorge em novembro de 2007.....	49
Figura 20 - Temperatura do bairro Mondubim em novembro de 2007.....	50
Figura 21 - Temperatura (°C) para o período entre 9 e 10 de novembro de 2007 para todos os bairros obtido com dados simulado pelo RAMS.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do modelo RAMS utilizada durante a simulação.....	31
Tabela 2 - Comparação entre os dados observados por Moura (2008) em Maio de 2007 e os dados simulado pelo RAMS.....	43

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 ILHA DE CALOR.....	14
2.1.1 SÍTIO E ESPAÇO URBANO.....	15
2.1.2 CLIMA URBANO.....	17
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA URBANO.....	18
2.1.4 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR URBANO.....	19
2.1.5 EFEITOS DA VEGETAÇÃO EM ÁREAS URBANAS.....	26
2.2 RAMS.....	26
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 OBJETO DE ESTUDO.....	29
3.2 CONFIGURAÇÃO DO MODELO RAMS.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA	32
4.1.1 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: MAIO DE 2007	32
4.1.2 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: NOVEMBRO DE 2007.....	33
4.2 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA EM PONTOS DISTINTOS...34	34
4.2.1 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: MAIO 2007.....	34
4.2.2 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: NOVEMBRO 2007.....	43
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	52
6 REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Com o início da Revolução Industrial na Europa no século XVIII, surgiu no mundo inteiro o aumento crescente do processo de urbanização e crescimento longitudinal e vertical das cidades.

No entanto, a intensidade do adensamento urbano e populacional atingiu seu ponto máximo somente do século XX, caracterizando-se como o século da urbanização, através do desenvolvimento do capitalismo financeiro, onde as cidades apresentam o fenômeno da formação das metrópoles e megalópoles, responsáveis pela interligação de um conjunto de cidades através da expansão de suas malhas urbanas.

A urbanização ocorrida nos países desenvolvidos deu-se de forma lenta, gradual e planejada, porém, nos países subdesenvolvidos esse processo ocorreu de forma rápida e em geral sem nenhuma orientação.

Já no Brasil, este acelerado desenvolvimento urbano ocorreu não apenas em função do crescimento vegetativo da população, mas principalmente pelo êxodo rural, responsável tanto pela expansão das grandes cidades, quanto pelo surgimento de várias outras cidades de médio e pequeno porte.

Pode-se assim afirmar que no decorrer do processo da evolução humana como sociedade, as cidades tornaram-se os principais centros das atividades humanas. Tornaram-se lugar de intensas relações políticas, econômicas e comerciais, as quais proporcionaram o desenvolvimento de enormes aglomerados humanos, automóveis, indústrias, comércio e serviços urbanos, com formas, funções e estruturas condizentes a estas atividades (GEIGER, 1961; MENDONÇA, 1994; SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, 2000; SAYDELLES, 2005).

Diante dessas considerações mencionadas sobre as alterações impostas ao ambiente natural pelo desenvolvimento das atividades humanas nas cidades, traçam-se os seguintes objetivos que permitiram desenvolver as diretrizes necessárias ao pleno desenvolvimento desta pesquisa:

- a) Observar e analisar, a partir de simulações com o modelo de simulação numérica RAMS, em conjunto com dados observacionais,

características locais da RMF na formação e dissipação de ilha de calor urbana.

- b) Analisar e interpretar o campo térmico da superfície urbana e seu entorno, através de simulações em dias específicos;
- c) Comparar os resultados obtidos com os dados experimentais e analisar se o modelo é capaz de prever com boa qualidade o fenômeno em questão.

Desta forma, na tentativa de se analisar, através de modelagem atmosférica e de dados experimentais, o modelo urbano em estudo (através de suas respostas térmicas frente à atuação dos sistemas atmosféricos regionais), este trabalho foi estruturado em cinco capítulos sequenciais.

O capítulo 1 consiste na apresentação e especificação dos objetivos a serem alcançados através da pesquisa, os quais nortearam o desenvolvimento do mesmo.

No capítulo 2, realizou-se um pequeno levantamento bibliográfico a cerca da temática em questão, onde se buscou tanto na literatura nacional como na internacional as bases e argumentações a respeito dos conceitos sobre os temas envolvidos no estudo, dentre eles: o clima urbano, o campo térmico das cidades, as ilhas de calor e a utilização da modelagem atmosférica para realização dos estudos.

O capítulo 3 constitui-se na elaboração dos procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento da pesquisa.

O capítulo 4 corresponde à análise dos dados obtidos através do modelo numérico e a sua correlação com os dados obtidos através de experimentos de campo realizados por Moura (2008), chegando-se assim às devidas conclusões no capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ILHA DE CALOR

Os efeitos que surgem a partir das transformações do homem no meio ambiente podem afetar diretamente a população local causando-lhes sensação de desconforto de diversas formas. Alterações essas, causadas no espaço natural pelas cidades proporcionam a formação de um clima urbano e de vários microclimas urbanos, derivados, principalmente, de diversas alterações no ambiente das cidades: retirada da cobertura vegetal e substituição por áreas construídas; introdução de novas formas no relevo; concentração de edificações, que em conjunto aumentam a rugosidade urbana; concentração de equipamentos e pessoas que através das atividades diárias liberam calor antropogênico na atmosfera aumentando a temperatura do ar; impermeabilização do solo; canalização do escoamento superficial; lançamento concentrado e acumulado de partículas e gases na atmosfera pela combustão dos veículos e indústrias; e produção de energia artificial (MENDONÇA, 1994; SAYDELLES, 2005).

Estas transformações irão se refletir diretamente no clima urbano, alterando, sobretudo os níveis de umidade do ar e precipitações, o balanço térmico urbano e na formação de ilha(s) de calor. E é neste contexto que entra a cidade de Fortaleza.

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) é caracterizada por apresentar áreas com um elevado percentual cobertas por asfalto e concreto, circundado por áreas rurais e industriais. As áreas do centro urbano são mais adensadas e com tendência a apresentar maiores temperaturas do que as áreas rurais. Na cidade as construções se transformam em barreiras para o vento. Quanto mais asfalto, concreto e menos presença de vegetação, maior deverá ser a temperatura do ar.

Tudo isso determina um aparecimento de um gradiente horizontal de temperatura conhecido como o fenômeno Ilha de Calor Urbana (STULL, 1993). O fenômeno Ilha de Calor pode ser definido como uma anomalia térmica que ocorre principalmente nas cidades com o elevado grau de urbanização. Nestas

idades, a temperatura média costuma ser mais elevada do que nas regiões próximas.

Vários estudos (que foram) realizados afirmam que a cidade atua como um fator modificador importante do clima regional e possibilita a criação do que podemos definir de acordo com Gomes et al. (1993) como o “microclima urbano”. Isto acontece, principalmente, por conta do uso indiscriminado do solo nas cidades, a acelerada verticalização das construções civis e a substituição dos revestimentos de ruas e de áreas nuas por asfalto ou materiais impermeabilizantes. Essas alterações estruturais acarretam a um aumento da temperatura nas cidades, além de modificações na precipitação, umidade relativa, intensidade dos ventos, evaporação, dentre outros. Tem-se ainda o problema da emissão de gases poluentes resultantes do uso de combustíveis fósseis no transporte urbano, indústrias, comércio e serviços do tráfego urbano, que, afetam a atmosfera e, são capazes de provocar alterações em diversos fatores do clima.

2.1.1 SÍTIO E ESPAÇO URBANO

O processo de urbanização é um dos principais modificadores ambientais geridos pelo homem urbano. É no espaço urbano que ocorre o máximo da atuação humana sobre a organização da superfície terrestre (LOMBARDO, 1984). Através desse processo da urbanização, as cidades constituíram-se no principal cenário do desenvolvimento das relações humanas. Em tal ambiente se processam as relações sociais, econômicas e culturais de um determinado contexto histórico social, onde os processos de produção provocam constantes modificações no espaço urbano, e conseqüentemente no clima urbano (SAYDELLES, 2005).

Assim, para melhor compreender o ambiente climático interno das cidades, é indispensável o entendimento das complexas relações existentes entre seus sítios urbanos e as diversas funções desenvolvidas no espaço urbano, expressas através do uso e ocupação do solo urbano, na análise climática local e no planejamento urbano (SAYDELLES, 2005).

Monteiro (1990) afirma que é importante o conhecimento das particularidades do sítio e do espaço urbanos, decorrentes da compreensão da

análise climática intra-urbana, bem como a detalhada representação cartográfica como suporte ao estudo do clima urbano.

Mendonça (1994) afirma que a formação de condições climáticas intra urbanas, derivadas diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto da estruturação e funcionalidade urbanas, os quais geram paralelamente ao clima da cidade, ilhas de calor, ilhas de frio, mesoclimas, topo-climas e microclimas. Tal formação necessita de mais atenção dos estudiosos do clima das cidades.

Geiger (1961) relata em seu trabalho que se pode dizer que o clima da cidade depende em grande parte da situação topográfica da mesma. Segundo ele, quando as cidades se expandem e ainda mais quando novas cidades são criadas, deve-se de antemão atentar, mais do que tem acontecido até hoje, as leis da climatologia urbana atualmente conhecidas.

Assim, o estudo e o conhecimento do sítio em que o espaço urbano estão assentados são pré-requisitos para toda e qualquer ação para efeito de planejamento urbano e análise climática das cidades, uma vez que o sítio urbano assume importante papel nas diversas funções que o espaço urbano apresenta (SAYDELLES, 2005).

Sítio urbano refere-se à área ocupada pela cidade, cujas características de particular importância pode ser destacadas: o relevo, a inclinação, a configuração das áreas (caracterizadas, ou não, por águas) e das regiões costeiras; sua vulnerabilidade a terremotos, deslizamentos de terra, inundações e outras condições catastróficas; sua capacidade de sustentação e sobrecarga, em relação ao leito de rocha firme, à drenagem e as condições microclimáticas (MAYER, 1975 apud SAYDELLES, 2005).

Para Monteiro (1990), a compreensão das características do sítio urbano torna-se muito importante, pois o mesmo acaba por influenciar tanto os aspectos biológicos, como principalmente a atmosfera.

George (1983) define o sítio urbano como o quadro topográfico no qual se enraizou a cidade, pelo menos em suas origens. Sendo assim, pode-se afirmar que o sítio urbano é o local preciso da implantação inicial da cidade, tornando-se rapidamente herança do passado urbano.

Assim, as diversas funcionalidades urbanas, expressas através do uso do solo urbano, refletem as condições socioeconômicas e culturais de uma determinada sociedade, que aliadas à estrutura do sítio urbano, atuam

decisivamente no processo gerador e modificador das condições climáticas intra urbanas, proporcionando a formação de um clima urbano e de vários microclimas (SAYDELLES, 2005).

2.1.2 CLIMA URBANO

Através da grande expansão urbana que as cidades passaram e passam, do adensamento populacional e urbano, da queima de combustíveis fósseis, dentre outras atividades humanas que surgem a partir do processo de urbanização evidenciado no mundo inteiro, os seres humanos alteraram o ambiente natural e o clima das cidades, tornando-as, na maioria dos casos, ambientes muitas vezes insuportáveis à plena vivência social.

De acordo com Spirn (1995), à medida que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que se produzem no ar, no solo, na água e na vida, em seu interior e à sua volta, agravam os problemas ambientais que afetam o bem-estar de cada urbanista.

Oke (1978) afirma que em comparação com a paisagem circunvizinha a cidade usualmente provoca um enrugamento, aquecimento, e talvez ressecamento das condições de superfície.

De acordo com Geiger (1961) e Chorley e Barry (1972), o contraste térmico entre cidades e seu entorno rural se deve em decorrência da maior produção direta de calor por combustão.

Segundo Saydelles (2005) os primeiros estudos sobre o clima urbano foram realizados em Londres, em 1661, onde se constatou que a poluição produzida pela queima de carvão provocava alterações na temperatura do ar da cidade.

De modo geral, segundo Monteiro (1976) os estudos relacionados ao clima urbano, até recentemente, foram colocados sob a perspectiva centrada na investigação dos aspectos meteorológicos, constituindo-se fundamentalmente em avaliar o índice de degradação do ambiente atmosférico gerado pela ação do homem no espaço urbano.

A partir de vários estudos realizados acerca do assunto, o clima urbano pode ser definido, segundo Monteiro (1990), como um sistema complexo, aberto e adaptativo que, ao receber energia do ambiente maior no

qual se insere, a transforma substancialmente, a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente.

Sakamoto (2001) afirma que as variações da temperatura junto à superfície urbana estão relacionadas com as variações na disponibilidade de céu aberto, as quais podem determinar variações térmicas significativas, influenciando principalmente na intensidade da “ilha de calor”.

Surgiram no Brasil alguns estudos com esta perspectiva após a década de sessenta, quando a degradação da qualidade ambiental das cidades já se fazia sentir em função da diminuição da qualidade de vida de seus habitantes (SAYDELLES, 2005).

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA URBANO

Os processos derivados da urbanização alteram as propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, que, por consequência, modificam também o balanço de radiação na superfície das áreas urbanas.

Vários são os fatores que influenciam nas diferenças térmico higrométricas entre o urbano e as áreas rurais circunvizinhas, propiciando a formação de um clima “tipicamente” urbano (SAYDELLES, 2005).

O aumento da temperatura do ar e formação do clima urbano se deve, em grande parte, ao desenvolvimento das atividades humanas, como: retirada da cobertura vegetal; aumento do fluxo de pessoas que liberam à atmosfera calor antropogênico; adensamento das edificações e pavimentação do solo, que aumentam o escoamento superficial diminuindo a infiltração; alteração e introdução de novas formas de relevo; concentração de veículos e indústrias que aumentam a produção artificial de calor e o lançamento concentrado e acumulado de partículas e gases na atmosfera, que criam profundas alterações na atmosfera local (MONTEIRO, 1976; OKE, 1982; LOMBARDO, 1985; MENDONÇA, 1994).

Ayoade (1991) afirma que como consequência destas alterações no meio natural a radiação de ondas longas e as de ondas curtas reduzem sobre as áreas urbanas. As temperaturas elevam-se, mesmo quando diminui a duração da insolação. A umidade é reduzida, mas há certo aumento na precipitação e também na quantidade de nebulosidade. Os nevoeiros e neblinas são mais espessos, ocorrendo com mais frequência e persistência,

prejudicando a visibilidade. A turbulência cresce. Os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos são acelerados à medida que se movimentam nas áreas urbanas.

Entre outros efeitos meteorológicos gerados pelas alterações do espaço natural, há também segundo Saydelles (2005) os problemas da poluição do ar e do desconforto térmico e ambiental decorrente. O adensamento das edificações oferece resistência à livre circulação dos ventos, não permitindo que os mesmos dispersem as sujeiras e os poluentes, bem como o calor.

Chandler (1976), apud (Lombardo, 1996) afirma que com a substituição das superfícies e formas naturais pelas “artificiais”, o ser humano vem modificando as propriedades físicas e químicas, e os processos aerodinâmicos, térmicos, hidrológicos e de intercâmbio de massa que ocorre na camada limite atmosférica. Em consequência, as propriedades meteorológicas do ar dentro e imediatamente acima das áreas urbanas ficam profundamente modificadas criando um distinto tipo climático, o clima urbano.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR URBANO

Considerada por muitos autores como “anomalia térmica”, o fenômeno das ilhas de calor urbano constitui-se numa das mais notáveis expressões climáticas, resultante das alterações impostas ao ambiente urbano (SAYDELLES, 2005).

Vários estudos vêm sendo realizados acerca de ilhas de calor. Lombardo (1984) utilizou imagens de satélite e observações de campo para verificar altas concentrações de poluentes associadas ao efeito da ilha de calor em vários pontos da região metropolitana de São Paulo. Verificou que os maiores gradientes de temperatura entre a área urbana de São Paulo e as áreas rurais atingiram valores superiores a 10° C no período entre as 15 e 21 h no inverno daquele ano. Fujibe e Asai (1980) encontraram padrões de convergência na cidade de Tóquio através de uma média de condições de gradiente de pressão. Yoshikado e Tsuchida (1996) analisaram a presença de uma massa de ar frio sobre a porção central de Kanto no Japão baseado em médias diárias, resultando em altos níveis de poluição sobre grande parte da

planície. Xavier et al. (1994) afirmam que pode haver alguma relação entre a evolução na precipitação na cidade de São Paulo e uma ilha de calor.

Moraes et al. (2005) afirma que os estudos observacionais têm grande importância na determinação de parâmetros de superfície e atmosféricos que são relevantes na formação e manutenção dos gradientes térmicos horizontais.

De acordo com Oke (1987) vários fatores contribuem para o desenvolvimento de uma ilha de calor urbana. Um deles é a concentração relativamente alta de fontes de calor nas cidades. As propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas também facilitam a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais, contribuindo para um aumento no contraste de temperatura entre essas regiões. A perda de calor durante a noite, por radiação infravermelha para a atmosfera e para o espaço, é parcialmente compensada nas cidades pela liberação de calor das fontes antropogênicas, tais como veículos, indústrias e construções em geral. Além disso, segundo Freitas e Silva Dias (2005) os altos edifícios entre ruas relativamente estreitas aprisionam energia solar através de múltiplas reflexões dos raios solares.

Uma ilha de calor urbana se desenvolve de acordo com Freitas e Silva Dias (2005), na maior parte das vezes, quando ventos de escala sinótica são fracos, pois, fortes ventos misturariam o ar da cidade e das áreas rurais e diminuiriam o contraste de temperatura. Nessas condições, em algumas grandes áreas metropolitanas o aquecimento relativo da cidade, comparado com seus arredores, pode promover uma circulação convectiva do ar: ar relativamente quente sobe sobre o centro da cidade e é trocado por ar mais frio e mais denso, convergente das zonas rurais. A coluna de ar ascendente acumula aerossóis sobre a cidade formando uma nuvem de poeira (poluentes), que podem tornar-se muitas vezes mais concentrados sobre uma área urbana que sobre as áreas rurais.

O sistema de drenagem pluvial urbano (bueiros) pode rapidamente remover a maior parte da água das chuvas, de modo que apenas uma pequena parcela da radiação absorvida é utilizada para evaporação (calor latente) e a maior parte dessa radiação é utilizada para aquecer a superfície terrestre e o ar diretamente (calor sensível). Por outro lado, afirmam Freitas e Silva Dias (2005), as superfícies úmidas das áreas rurais (lagos, riachos, solo e

vegetação) aumentam a fração de radiação absorvida que por sua vez é utilizada para evaporação. E assim a razão de Bowen (razão entre calor sensível e calor latente) é, portanto, maior na cidade que no campo.

Oke (1976, 1978, 1987), Mendonça (1994), Pitton (1997), Moreno (1999), Malveira (2003), Ayoade (1991) e Givoni (1998) resumiram de uma maneira bem simples as causas que contribuem para a formação das ilhas de calor:

- a) Maior armazenamento de calor durante o dia na cidade, graças às propriedades térmicas e caloríficas dos materiais de construção civil, e sua devolução para a atmosfera durante a noite;
- b) Diminuição do fluxo do calor latente devido ao aumento proporcional de superfícies impermeáveis e redução proporcional da vegetação e das águas superficiais (lagoas, lagos e rios);
- c) Redução da perda de calor sensível devido à queda no fluxo dos ventos em função da fricção com as estruturas prediais urbanas, reduzindo as trocas de ar da cidade com o ar mais frio da zona rural circundante e afetando os processos evaporativos capazes de contribuir para os resfriamentos climáticos;
- d) Adição do calor antropogênico na área urbana através da utilização de aquecedores e refrigeradores, transporte e atividades industriais, comerciais e prestação de serviços;
- e) Elevação do afluxo de radiação em decorrência da absorção de ondas longas e reemissão pela atmosfera urbana poluída;
- f) Maior absorção da radiação de ondas curtas devido ao efeito da geometria urbana;
- g) Secura das superfícies urbanas, o que implica em pouca energia usada na evaporação, sendo a maior parte desta energia utilizada para aquecer o ar;
- h) Redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação, devido à remoção da vegetação e à impermeabilização da superfície da cidade;
- i) Aspecto ambiental da camada de poluição sobre as cidades. Há redução na radiação terrestre infravermelha para o espaço à noite, de modo que a energia fica conservada dentro da atmosfera urbana, abaixo da camada de poluição;

j) Fonte de calor sazonal: calor oriundo das estruturas urbanas (edifícios, casas...), no inverno, e calor lançado na atmosfera urbana pelos ar-condicionados no verão.

Assim, a formação do fenômeno das ilhas de calor urbano está relacionado com as atividades desempenhadas pelos seres humanos e com a intensidade dos materiais e novos equipamentos empregados na expansão das malhas urbanas (concreto, asfaltos, telhados,...), os quais absorvem e conservam o calor proveniente da radiação solar, não utilizando-o para executar nenhum outro processo e certamente alimentam positivamente o aumento da temperatura do ar sobre as cidades.

No entanto, segundo Saydelles (2005), os corpos d'água e as superfícies com cobertura vegetal, ao absorverem esta mesma radiação solar, utilizam sua maior parte nos processos de fotossíntese e evapotranspiração, o que, obviamente resulta uma maior perda de calor absorvido durante o dia.

O aumento da temperatura do ar nas cidades, em relação ao seu entorno rural adjacente é conhecido na literatura como o efeito da ilha de calor urbana (LOWRY, 1967). A ilha de calor urbana é o reflexo de mudanças microclimáticas em consequência de alterações da superfície urbana feita pelo homem do meio urbano.

Em posse de tudo isso, podemos definir o que é uma ilha de calor urbana: é um fenômeno que acontece em cidades com alto grau de urbanização, caracterizada, de acordo com Stull (1993), pelo surgimento de gradientes horizontais de temperatura. E assim a temperatura do ar em áreas densamente urbanizadas é maior que a temperatura das áreas rurais adjacentes (SANTAMOURIS, 2001).

Em muitas cidades e subúrbios, as temperaturas do ar são de 4°C, 6°C ou até mesmo 11°C mais quentes que a cobertura vegetal natural circundante (FREITAS, E, 2010). Temperaturas elevadas podem afetar as comunidades através do aumento da demanda de energia elétrica, níveis de poluição atmosférica e doenças relacionadas ao calor (FREITAS, K, 2010).

Spirn (1995) afirma que a área central da cidade, com seus edifícios altos e próximos uns dos outros, em ruas estreitas com pátios confinados, forma tipicamente o centro da ilha de calor. Neste contexto a capacidade térmica dos edifícios e da pavimentação é maior, e provocando menor

circulação do ar. Contudo parques ajardinados e vales de rios, por outro lado, são pontos relativamente mais frios dentro da ilha de calor.

Cidades que possuem climas frios podem realmente ser beneficiadas pelo efeito de aquecimento de Inverno de ilhas de calor. As temperaturas mais elevadas podem reduzir necessidades energéticas de aquecimento e podem ajudar a derreter o gelo e neve nas estradas. Mas no verão, no entanto, a mesma cidade pode enfrentar efeitos negativos das ilhas de calor (SPIRN, 1995).

O processo de urbanização produz alterações no balanço de energia das cidades, gerando bolsões térmicos sobre as áreas urbanizadas (Figura 1) e conseqüentemente a ilha de calor urbana (LOMBARDO, 1984). Tal fenômeno recebe o nome de ilha de calor devido ao seu aspecto visual, no qual se observa um núcleo mais quente (área urbana) rodeado por regiões mais frias (áreas rurais), de modo que as isoterma (linhas de mesma intensidade de temperatura) representam uma ilha com contornos fechados ao redor deste núcleo. Trata-se de um exemplo bastante conhecido da modificação das condições atmosféricas pela ação humana (GOUVEIA, 2007).

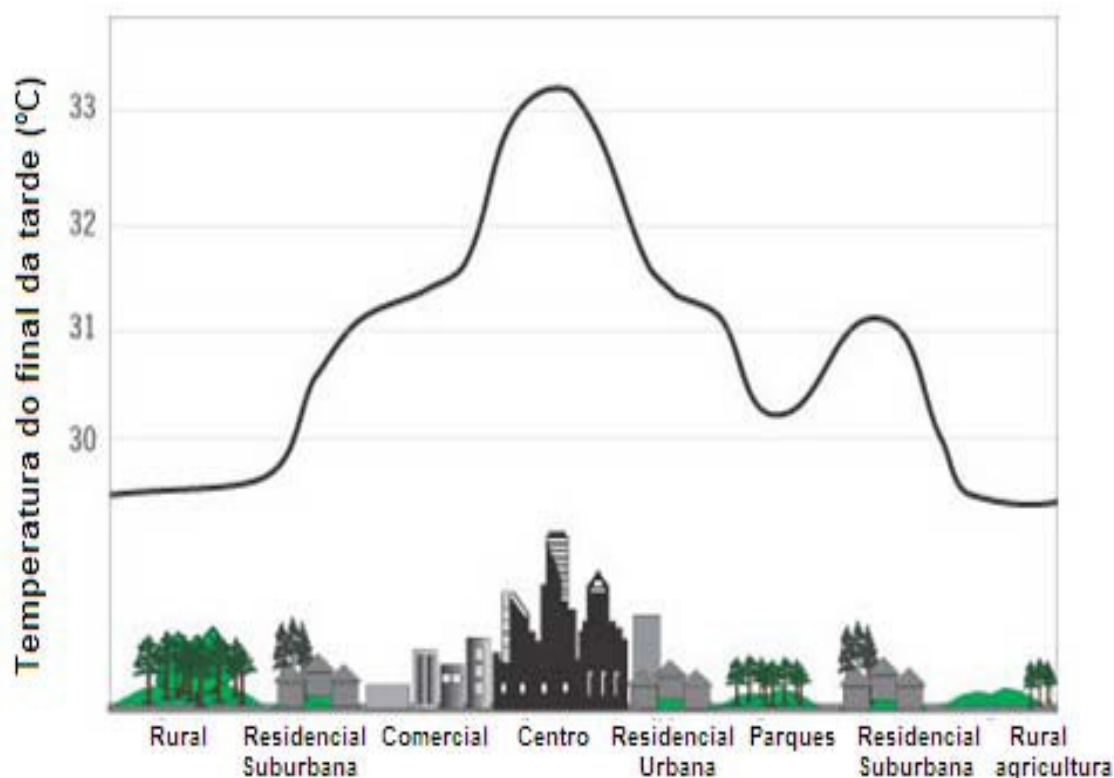


Figura 1 - Esquema ilustrativo do bolsão térmico formado sobre áreas urbanas.

Fonte: Gouveia (2007).

A figura 1 demonstra como as temperaturas urbanas são tipicamente mais baixas comparadas com a fronteira urbano rural. Ela mostra também que parques, áreas abertas e corpos de água podem criar áreas mais frias.

Temperaturas elevadas podem afetar as comunidades de várias maneiras, por exemplo, através do aumento da demanda de energia elétrica necessária para o resfriamento, níveis de poluição atmosférica e doenças relacionadas ao calor. Além disso, o contraste de temperatura forma uma circulação convectiva que contribui para a concentração de poluentes sobre as grandes cidades (OKE, 1987).

Muitos estudos realizados sobre o fenômeno ilha de calor revelam que a diferença de temperatura do ar entre o centro da cidade e as áreas periféricas apresenta-se maiores durante a noite (FREITAS, 2003).

Neste sentido, Spirn (1995) afirma que durante a noite, o campo perde calor rapidamente para o céu sem nuvens. A cidade esfria mais lentamente: ela absorveu maior calor, e a irradiação desse calor para a atmosfera é inibido pelas paredes paralelas dos edifícios. Pela manhã, a diferença de temperatura entre a cidade e o campo é relativamente baixa e pode mesmo ser eliminada, mas, na metade da tarde, a cidade fica mais quente novamente.

À medida que se move do centro da cidade em direção à zona rural a temperatura do ar decai, tem-se a formação de ilhas de frescor urbana, também denominadas, relacionadas às influências da vegetação e da menor densidade populacional e das edificações conforme representado na Figura 2.

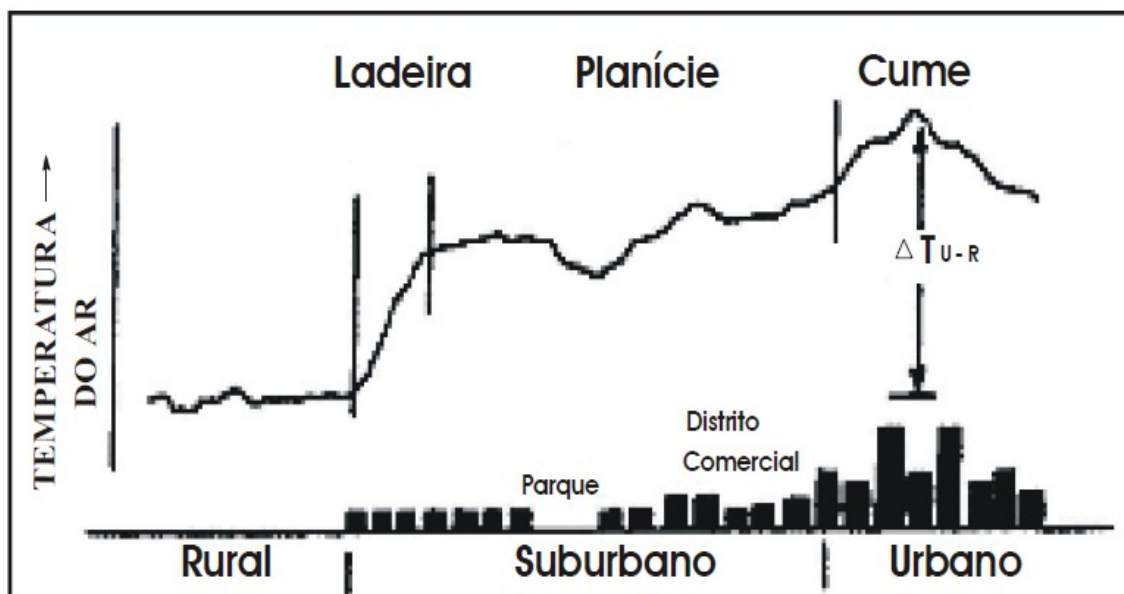


Figura 2 - Secção Transversal de uma Ilha de Calor Urbano.

(Fonte: SAYDELLES, 2005)

Para Oke (1982), a ilha de calor urbano é mais pronunciada na fronteira cidade-campo, a sotavento, acompanhando o contorno da área urbanizada. No interior da cidade há menor gradiente horizontal de temperatura, variando conforme as características e heterogeneidade do ambiente construído.

De acordo com Givoni (1998), a diferença de temperatura entre a área urbana e sua periferia é afetada por dois aspectos principais. O primeiro está relacionado com os fatores meteorológicos, como a cobertura de nuvens, umidade e velocidade do vento. O segundo aspecto a ser considerado condiz com a influência das várias características da estrutura urbana, como o tamanho da cidade e a densidade de áreas construídas. Ainda pode ser acrescentada a importante participação da localização geográfica, da topografia do sítio urbano e da sua morfologia regional, que alteram as condições meteorológicas.

No intuito de melhor detalhar o conhecimento e análise sobre a formação e dinâmica das ilhas de calor, surgiram nos últimos anos inúmeros modelos matemáticos na tentativa de mensurar o fenômeno, com base nas características do clima das cidades (FREITAS, 2003).

Do ponto de vista dos modelos numéricos, simulações com o modelo RAMS (FREITAS; SILVA DIAS, 2000, 2003), dentre outros modelos,

tem sido bastante utilizadas para o desenvolvimento de estudos sobre a formação de ilha de calor.

2.1.5 EFEITOS DA VEGETAÇÃO EM ÁREAS URBANAS

A vegetação desempenha um papel importante nos escoamentos turbulentos de superfície. Através da vegetação, água é retirada do solo e transportada para a atmosfera na forma de fluxo de calor latente. Com uma maior quantidade de umidade nas porções mais baixas da atmosfera (solo, partes da vegetação como troncos e folhas), grande parte da energia solar é utilizada na evaporação da água diminuindo a energia disponível para o aquecimento da atmosfera pelo fluxo de calor sensível (GOUVEIA, 2007).

A partição de energia absorvida na superfície, entre os fluxos de calor latente e sensível (chamada de razão de Bowen), depende fortemente da disponibilidade de água na superfície para evaporação e transpiração das plantas (AVISSAR, 1992). Sob condições de solo seco esta energia é usada para aquecer a atmosfera e a superfície. Em áreas urbanas, completamente secas devido à impermeabilização do solo, esta partição de energia resulta em altos fluxos de calor sensível e altas temperaturas na superfície. Em áreas mais úmidas onde há vegetação não saturada do ponto de vista hídrico, os fluxos de calor sensível são mais baixos e as temperaturas mais amenas, enquanto os fluxos de calor latente são mais expressivos, uma vez que a energia é utilizada nos processos de evaporação e transpiração das plantas (AVISSAR, 1996).

A vegetação produz alterações na interação com a radiação solar, alterando o albedo (fração da energia solar refletida da Terra para o espaço, é a medida da refletividade da superfície da Terra) da superfície. Outro efeito proporcionado pela vegetação é o sombreamento (que impede a chegada da radiação ao solo), este, porém, é de mais difícil avaliação. Atualmente, existe grande preocupação em determinar o possível benefício que a introdução de áreas verdes em grandes centros urbanos possa trazer na mitigação dos efeitos indesejáveis observados nesses centros (GOUVEIA, 2007).

2.2 RAMS

O Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) é um modelo computacional de simulação numérica altamente versátil desenvolvido e atualizado por vários grupos ao longo dos anos, incluindo os cientistas no EUA principalmente para ser utilizado como uma ferramenta de pesquisa. (PIELKE et al., 1992). Desde então este vem sendo atualizado de modo que hoje o modelo se presta tanto à atividade de pesquisa como ao serviço de previsão de tempo em mais de uma centena de instituições em torno do mundo.

O RAMS é baseado em um conjunto de equações que representam dados físicos de conservação da massa, em equações da dinâmica e termodinâmica da atmosfera, na conservação da água, em parametrizações de turbulência, radiação solar e terrestre, e ainda, em interações de nuvens, precipitação, dentre outros. As equações utilizadas no modelo RAMS compreendem: conservação da energia, conservação da massa (Equação da continuidade), a conservação do momento (Equação de Navier-Stokes), a conservação da água e a equação de estado do gás ideal (WALKO; TREMBACK, 2001). Estas equações podem ser encontradas em Walko e Tremback (2001).

Ele é mais frequentemente usado para simular fenômenos atmosféricos de meso escala (escalas horizontais de 2 km a 2000 km) para aplicações que vão desde a estimativa das características físicas do tempo e qualidade do ar ao apoio à pesquisa básica (COTTON et al., 2003).

O RAMS oferece uma ampla gama de opções que lhe permitem ser adaptado para uma variedade ainda maior de aplicações. Seu código contém uma variedade de estruturas e funções que vão desde códigos não hidrostáticos, a resolução que vão de menos de um metro a cem quilômetros. Isto permite seu usuário facilmente selecionar opções apropriadas para diferentes escalas espaciais, problemas ou diversas aplicações meteorológicas (COTTON et al., 2003).

Segundo Freitas (2003) o RAMS é um modelo numérico de múltipla finalidade, designado para simular circulações atmosféricas que vão desde a micro até a grande escala.

As grades de maior resolução são utilizadas para modelar detalhes de sistemas atmosféricos de menor escala, como escoamentos sobre terrenos

complexos e circulações termicamente induzidas pela superfície. As grades mais grossas, por sua vez, são usadas para modelar o ambiente destes sistemas menores, fornecendo condições de fronteira para as malhas mais finas, bem como para simular sistemas atmosféricos de grande escala, que interagem com os sistemas de meso escala resolvidos nas grades mais finas (TREMBACK; WALKO, 1997).

O modelo possui um grande número de parametrizações físicas para a radiação, convecção, microfísica de nuvens e turbulência, além de um avançado esquema de interação Solo-Superfície-Atmosfera, através do módulo Land Ecosystem-Atmosphere Feedback model (LEAF) (WALKO et al., 2000), o qual trata os efeitos de diferentes tipos de uso do solo, inclusive áreas urbanizadas, através do módulo Town Energy Budget (TEB) (MASSON, 2000).

3 METODOLOGIA

3.1 OBJETO DE ESTUDO

Este trabalho monográfico visa replicar fisicamente e ampliar, através da modelagem numérica, as conclusões apresentadas por Moura (2008). Sendo assim, a região de estudo foi à cidade de Fortaleza, compreendendo os seguintes bairros: Damas, Parque do Cocó, Bairro de Fátima, Aldeota, Barra do Ceará, Henrique Jorge e Mondubim.

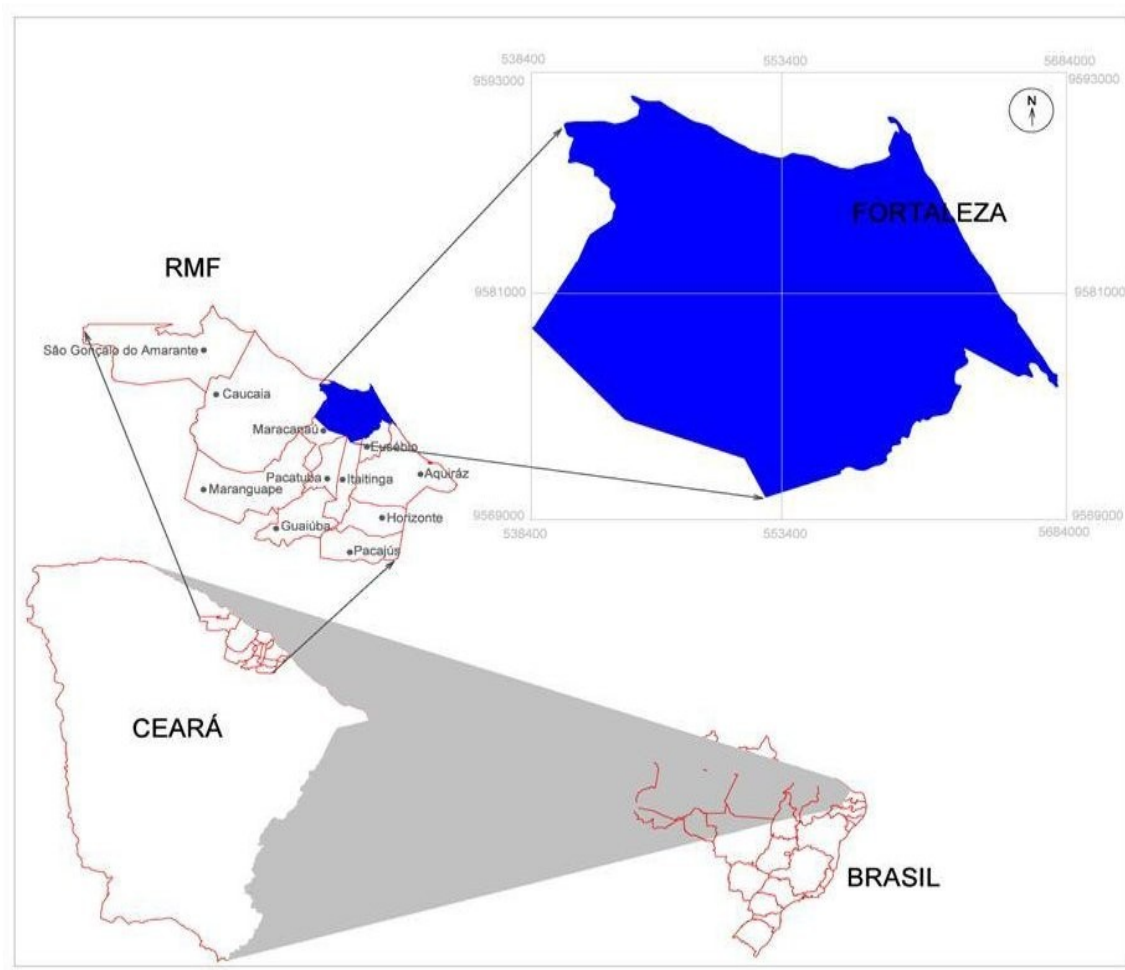


Figura 3 - Localização da Área de Estudo.

(Fonte: MOURA, 2008)

Moura (2008) trabalhou com a cidade como um todo por meio de pontos experimentais, fez sua análise em dois experimentos de 24h00, o primeiro realizado no período da quadra chuvosa na região, nos dias 04 e 05/05/2007 e o segundo no período da quadra seca, nos dias 09 e 10/11/2007, e os averiguou separadamente em quatro etapas: manhã (07h00 às 12h00 horas), tarde (13h00 às 18h00 horas), noite (19h00 às 0h00 hora) e madrugada (01h00 às 06h00 horas), para uma melhor compreensão do ritmo diário dos atributos climáticos obtidos. Estes períodos foram aqui replicados, numericamente com o RAMS, para efeito de comparação.

Moura (2008) em seus experimentos, para uma melhor obtenção de dados mais precisos trabalhou na uniformidade dos materiais e em uma padronização e simultaneidade dos registros. Segundo Moura (2008) oito variáveis foram obtidas com leituras horárias em um perfil de 24 horas. As variáveis são: temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, nebulosidade, tipologia de nuvens, fluxo de veículos e fluxo de pessoas.

3.2 CONFIGURAÇÃO DO MODELO RAMS

Durante a simulação foi utilizado o processo de aninhamento de grades com um total de quatro grades sendo que a primeira com resolução de 32 km com 60 pontos nos eixos x e y, a segunda com resolução de 8 km com 90 pontos nos eixos x e y, a terceira com 2 km de resolução com 130 pontos nos eixos x e y, por ultimo a quarta grade com resolução mais alta (500 m), tendo 202 pontos nos eixos x e y. Na vertical (altura) foi utilizada uma grade variável iniciando em 60 m aumentando gradativamente por um fator de 1,133 até atingir 600 m, totalizando 49 níveis, com ambas as grades centradas em 3°47'40,39''S e 38°33'27,18''O.

Resumindo as resoluções utilizadas foram as seguintes: 1ª grade 32km; 2ª grade 8km; 3ª grade 2km; 4ª grade 500m.

Algumas características específicas desta modelagem são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do modelo RAMS utilizada durante a simulação

Resolução	500 m
Passo de tempo	30 s
Número de pontos na fronteira lateral (nudging)	5
Escala de tempo do nudging na fronteira lateral	1200 s
Escala de tempo do nudging no centro do domínio	86400 s
Escala de tempo do nudging no topo do domínio	43200 s
Tipo de radiação de onda longa e onda curta	Chen

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA

4.1.1 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: MAIO DE 2007

No mês Maio geralmente as chuvas são mais intensas, a umidade relativa do ar se mantém em uma taxa elevada. Na figura 4 onde tem-se a temperatura média da Região Metropolitana de Fortaleza para o período de maio de 2007 citado por Moura (2008), é possível observar, que próximo da área litorânea a temperatura varia de 26,26 C a 26,54 C, sendo essa região densamente habitada e pavimentada.

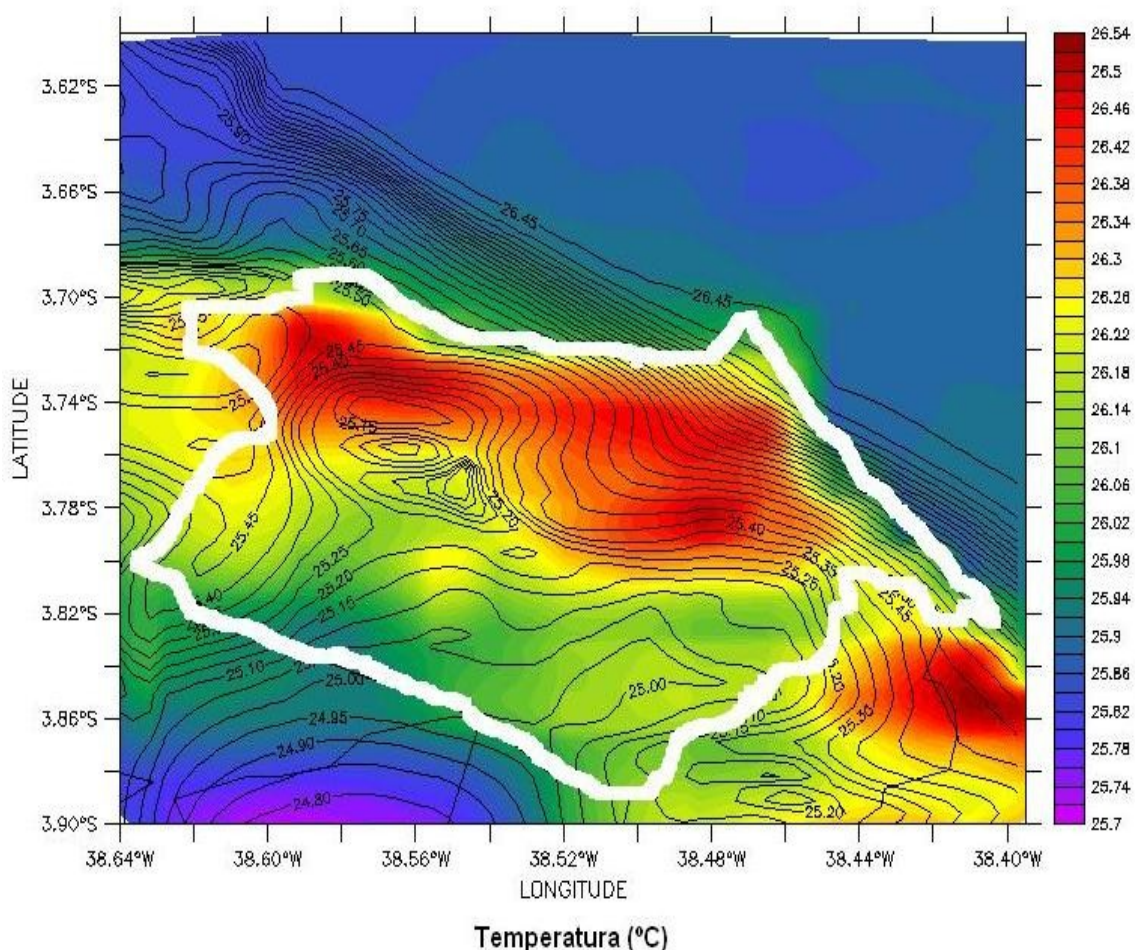


Figura 4 - Comportamento das isolinhas de temperatura às 08:00 h do dia 02 de maio de 2007 e no fundo a média da temperatura de Fortaleza nos dias 01/03/2007, 23:29 até 07/03/2007, 00:29.

4.1.2 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: NOVEMBRO DE 2007

No mês de Novembro geralmente as chuvas são menos intensas, a umidade relativa do ar geralmente é baixa nessa época do ano, no entanto os ventos são mais intensos. Na figura 5 onde tem-se a temperatura média da Região Metropolitana de Fortaleza para o período de novembro de 2007 citado por Moura (2008), se observa que na região metropolitana de Fortaleza a média não ultrapassou os 26,3 C.

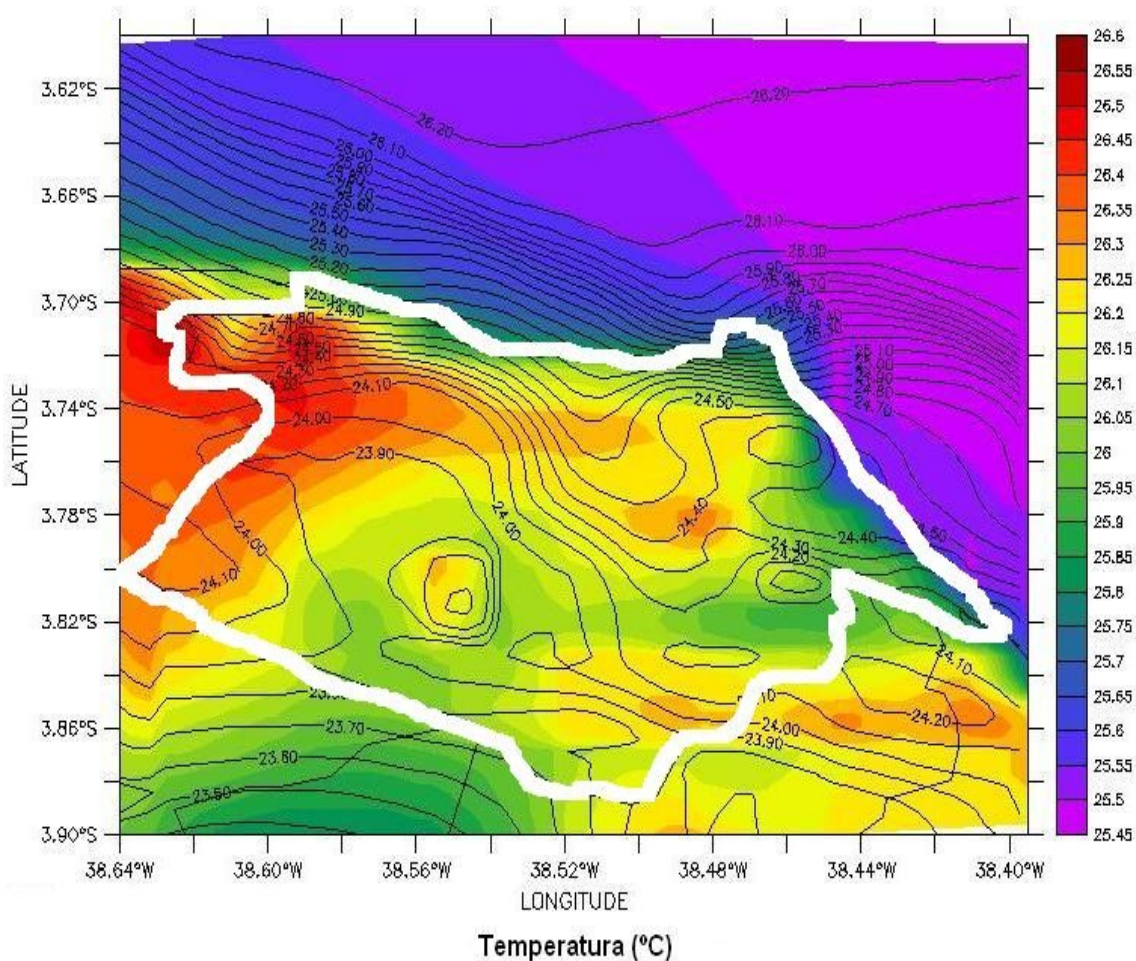


Figura 5 - Comportamento das isolinhas da temperatura às 08:00 h do dia 06 de novembro de 2007 e no fundo a média da temperatura de Fortaleza nos dias 06/11/2007, 23:29 até 12/11/2007, 00:29.

4.2 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA EM PONTOS DISTINTOS

4.2.1 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: MAIO 2007

O bairro Damas, em Fortaleza, tem como eixo principal a Avenida João Pessoa. Esta é uma avenida movimentada, asfaltada e rodeada de prédios.

Moura (2008) afirmou que Damas obteve temperatura máxima de 32,5°C no período de 7 às 12 horas e a presença de ilhas de Calor 3,5°C as 11h e 3,2°C as 12h, voltando a ter a presença de ilhas de 1°C as 1h e 3h.

Na figura 6 temos picos bastante altos. Novamente no período de 7 às 12 horas confirmamos a presença de ilhas de calor e na madrugada

sentimos diferenças, não tanto como na manhã. Assim como em Moura (2008), observou-se variações nos mesmos períodos.

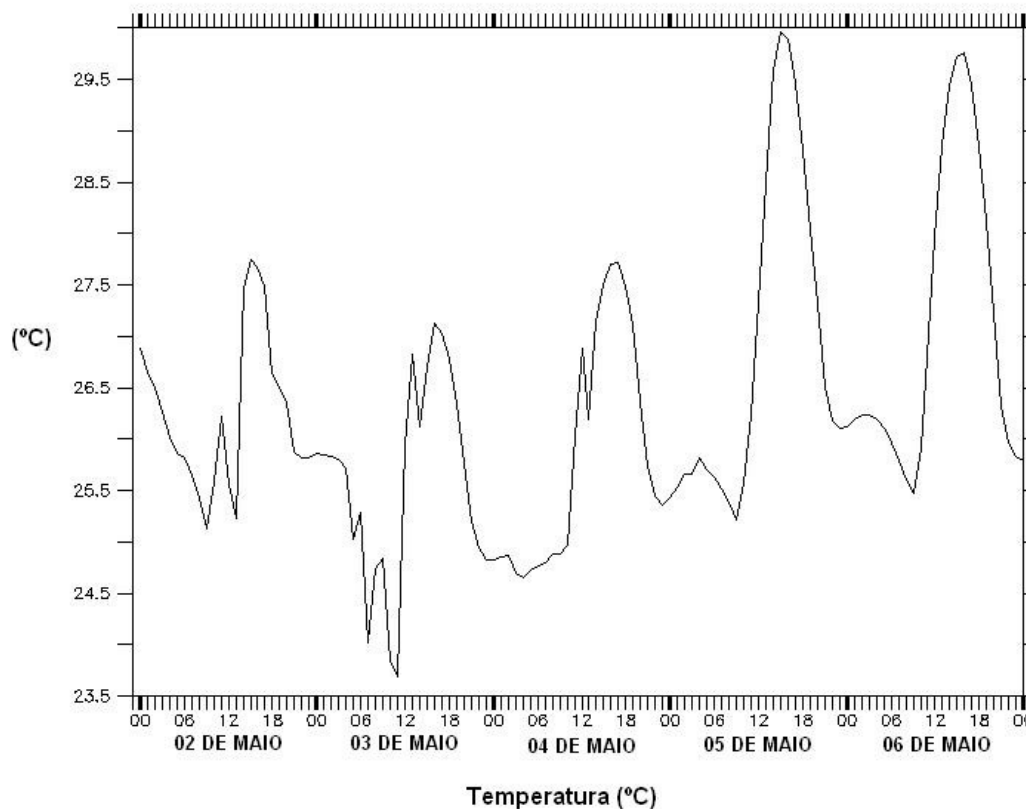


Figura 6 - Temperatura do bairro Damas em maio de 2007

No parque do Cocó, está localizado em região de grande desenvolvimento urbano, foi apresentado segundo Moura (2008) uma ilha de frescor de $-0,6^{\circ}\text{C}$ no período de 7 às 12 horas e a presença de uma ilha de calor de 4°C e outra de frescor de $-1,2^{\circ}\text{C}$ no período da tarde (13 às 18 horas). Durante a noite (19 às 0 horas) obteve ilhas de calor de magnitude de 3°C as 22h e $5,5^{\circ}\text{C}$ as 23h. voltando a ter a presença de ilhas de 1°C as 1h e 3h. E por último, na madrugada ilha de calor de 1°C as 1h e 3h.

O modelo encontrou valores elevados de temperatura no período da manhã, não relatado no trabalho de Moura (2008) encontrando, exceto por pequenas diferenças nos valores absolutos, variações nos períodos da tarde e da madrugada. Em contrapartida, Moura (2008) verificou uma pequena ilha de calor à noite. No geral, a temperatura diminui no período da manhã. De acordo com a figura 7 temos pequenas ilha de calor no período da tarde e

aparentemente uma leve ilha de frescor. Durante a noite a temperatura varia muito e na madrugada, voltamos a ter diferenças de temperatura consideráveis.

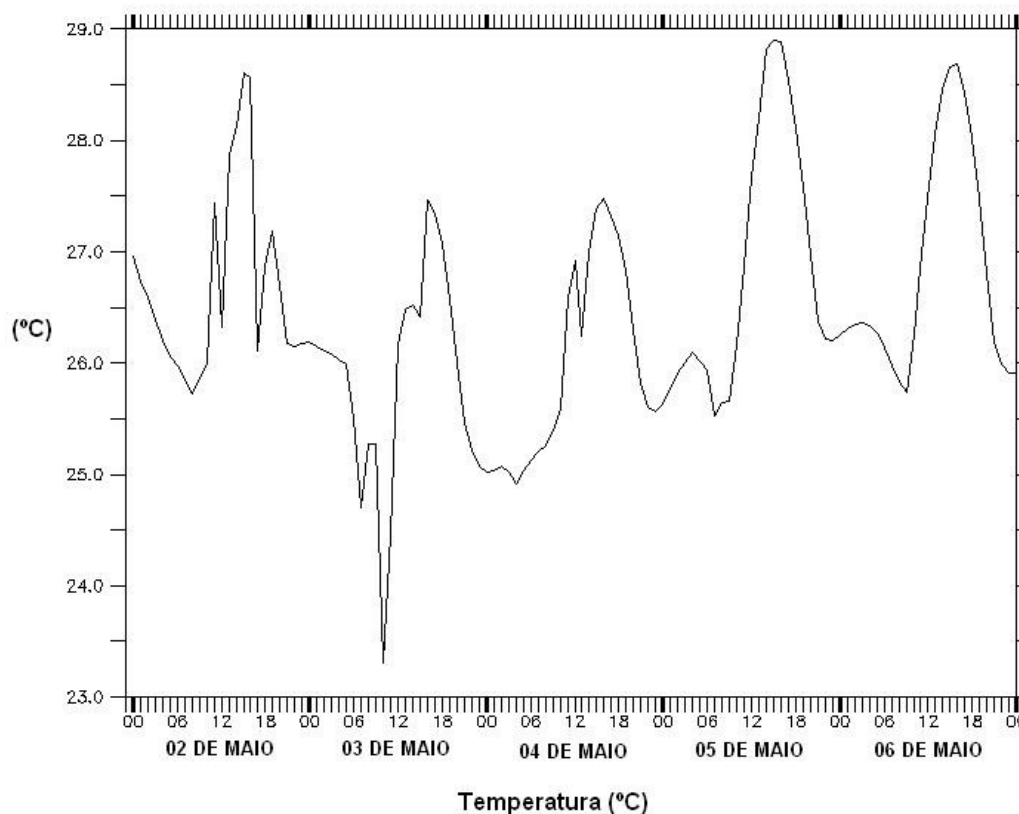


Figura 7 - Temperatura do Parque do Cocó em maio de 2007

Em Fátima, bairro urbanizado com boa densidade de edificações, de acordo com Moura (2008) apresentou uma ilha de frescor de $-0,6^{\circ}\text{C}$ no período de 7 às 12 horas, a presença de uma ilha de Calor de 2°C as 21h e outras duas no período da madrugada, 1°C as 1h e 3h e $1,2^{\circ}\text{C}$ as 4h.

O modelo encontrou a ilha de calor citada por Moura (2008) só que com uma diferença quanto ao horário defasado em três horas, além de outra ilha de calor no período da madrugada com menor intensidade. Segundo a figura 8 Fátima apresenta queda de temperatura (ilha de frescor) e uma pequena ilha de calor no horário mencionado por Moura. Na madrugada temos muitas diferenças em temperaturas que são bastante relevantes.

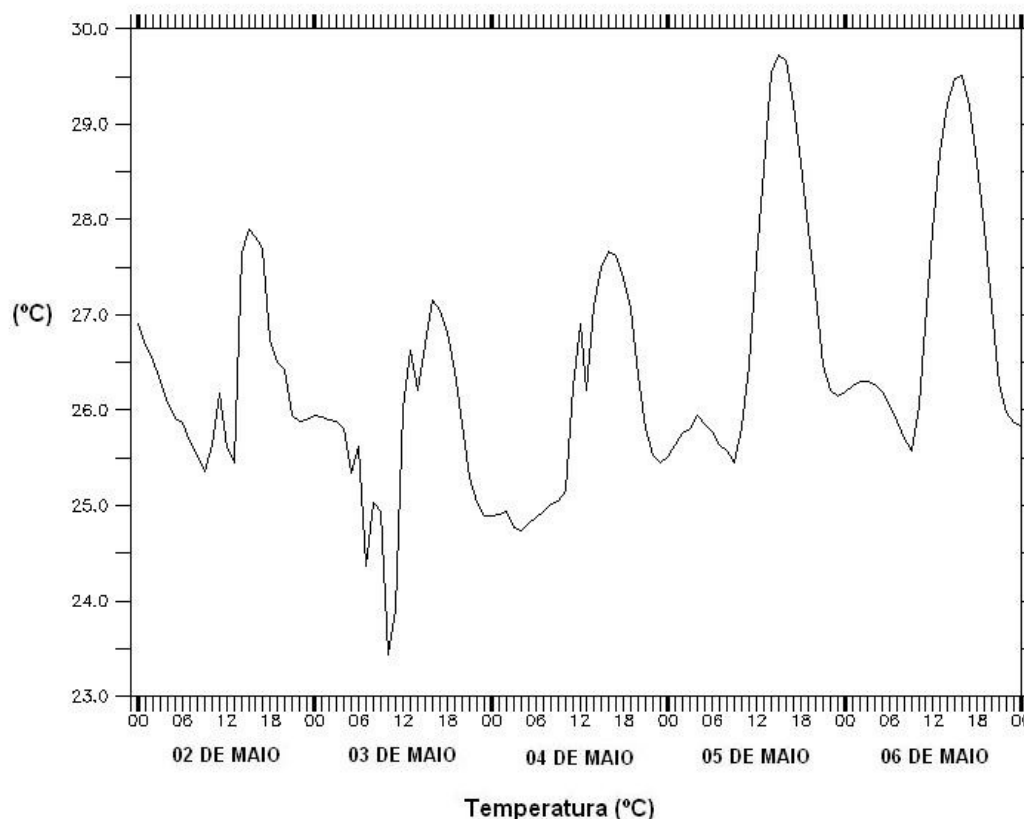


Figura 8 - Temperatura do bairro de Fátima em maio de 2007

Já no bairro Aldeota, este que é localizado na zona norte da cidade, Moura (2008) afirmou que esta apresentou uma ilha de frescor de $-0,9^{\circ}\text{C}$ no período de 7 às 12 horas uma ilha de Calor de $1,2^{\circ}\text{C}$ no período da tarde (13 às 18 horas), outra de $5,5^{\circ}\text{C}$ as 23h e três na madrugada, $1,1^{\circ}\text{C}$ as 0h, 1°C 1h e 3h e 2°C as 2h.

Conforme a figura 9, a temperatura no período de 7 às 12 horas vem uma queda de temperatura acompanhada com uma elevação no período da tarde. Entre 18 e 0h temos outra elevação e na madrugada alguns picos e decréscimos. O RAMS encontrou uma ilha de calor não relatada por Moura (2008) no período da manhã, e não encontrou a ilha de calor noturna e a da madrugada, mas, simulou a mesma ilha de calor que Moura (2008) observou à tarde.

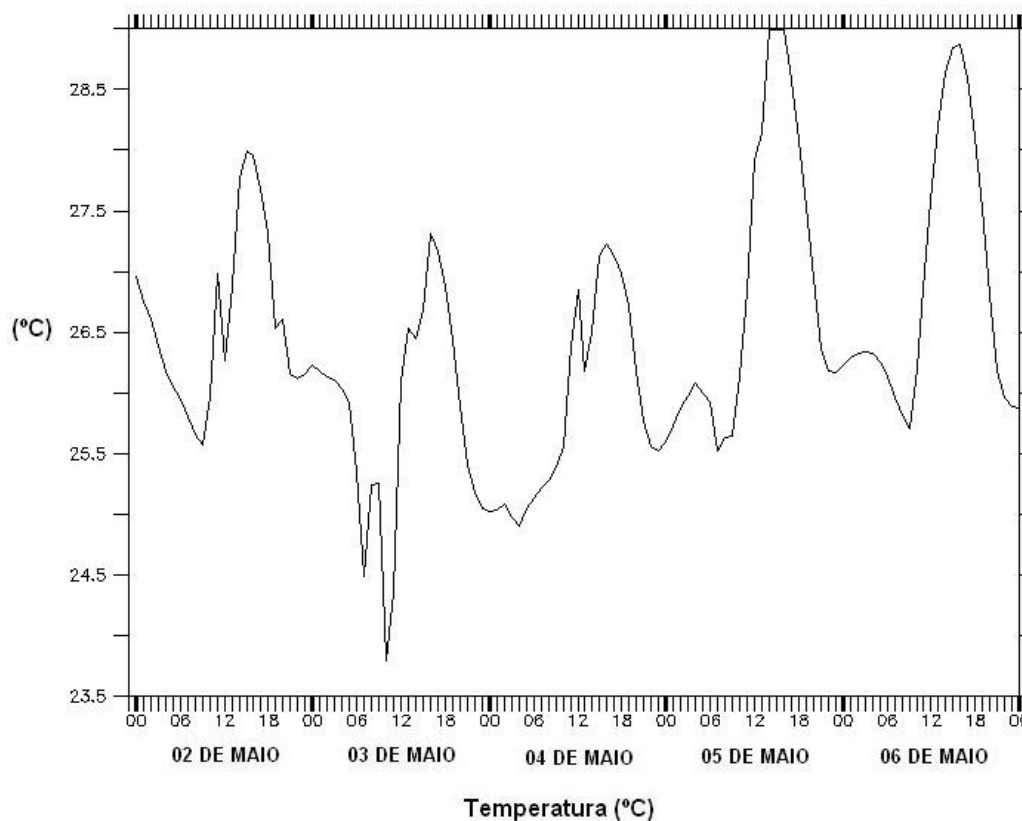


Figura 9 - Temperatura do bairro Aldeota em maio de 2007

Moura (2008) afirmou que o bairro da Barra do Ceará apresentou duas ilhas de calor, sendo uma de $4,7^{\circ}\text{C}$ as 7h e outra de $2,5^{\circ}\text{C}$ as 10h. Às 16 horas apresentou outra ilha de calor de $2,5^{\circ}\text{C}$ e as 21h uma de 2°C .

Na figura 10, pode-se ver que houve certa diferença nos resultados, o modelo simulou duas ilhas de calor diferentes das três citadas por Moura (2008).

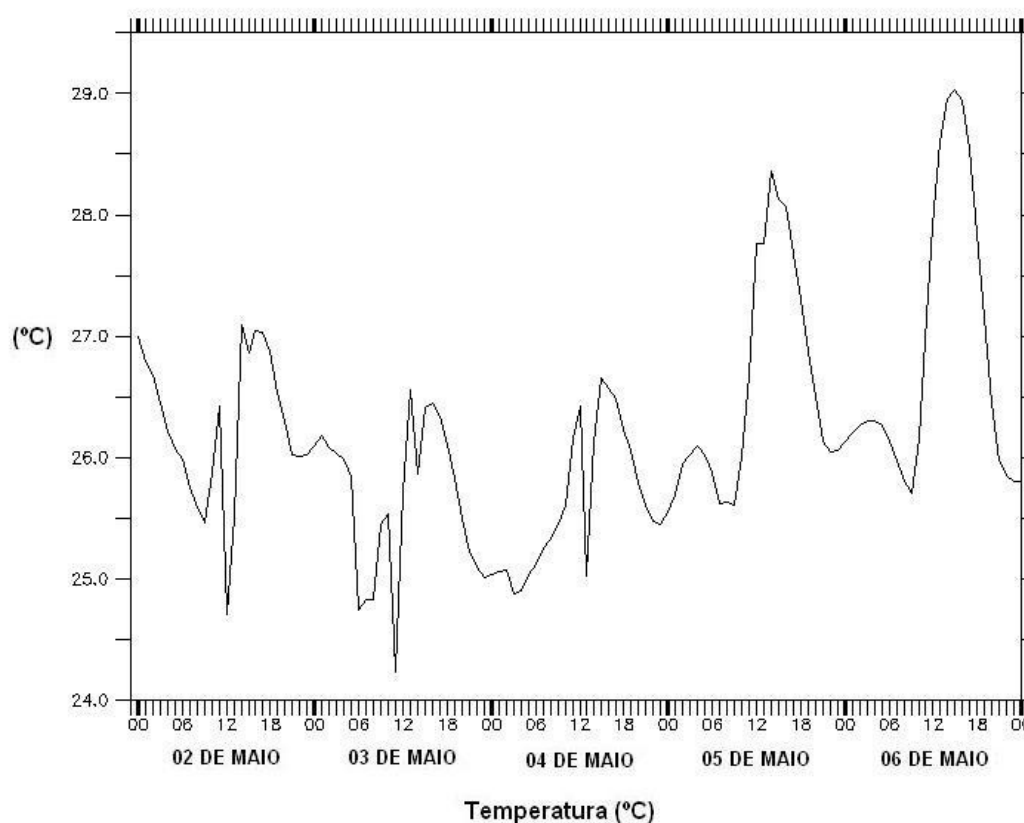


Figura 10 - Temperatura do bairro Barra do Ceará em maio de 2007

O bairro de Henrique Jorge conforme Moura (2008), apresentou ilhas de calor as 13h, 3,5°C e as 17h, 2°C. No período da noite apresentou as 20h uma ilha de 3,7°C. E na madrugada 1°C às 1h.

Conforme a figura 11, o modelo conseguiu reproduzir duas das três citadas por Moura (2008) com uma diferença de 0,5°C temperatura.

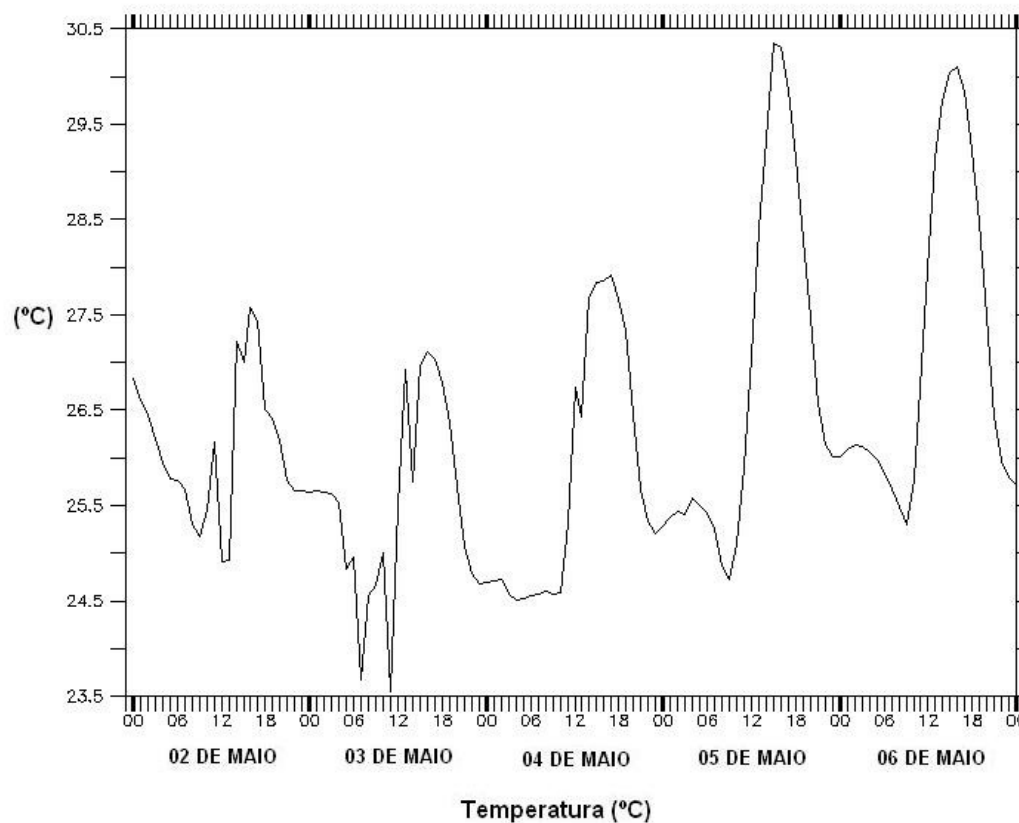


Figura 11 - Temperatura do bairro Henrique Jorge em maio de 2007

O bairro do Mondubim apresentou apenas uma ilha de calor de 5,5°C no período da noite às 23h. (MOURA, 2008)

Conforme mostrado na Figura 12, a simulação estimou duas ilhas de calor que não foram encontradas por Moura (2008), e não localizou aquela citada pelo mesmo.

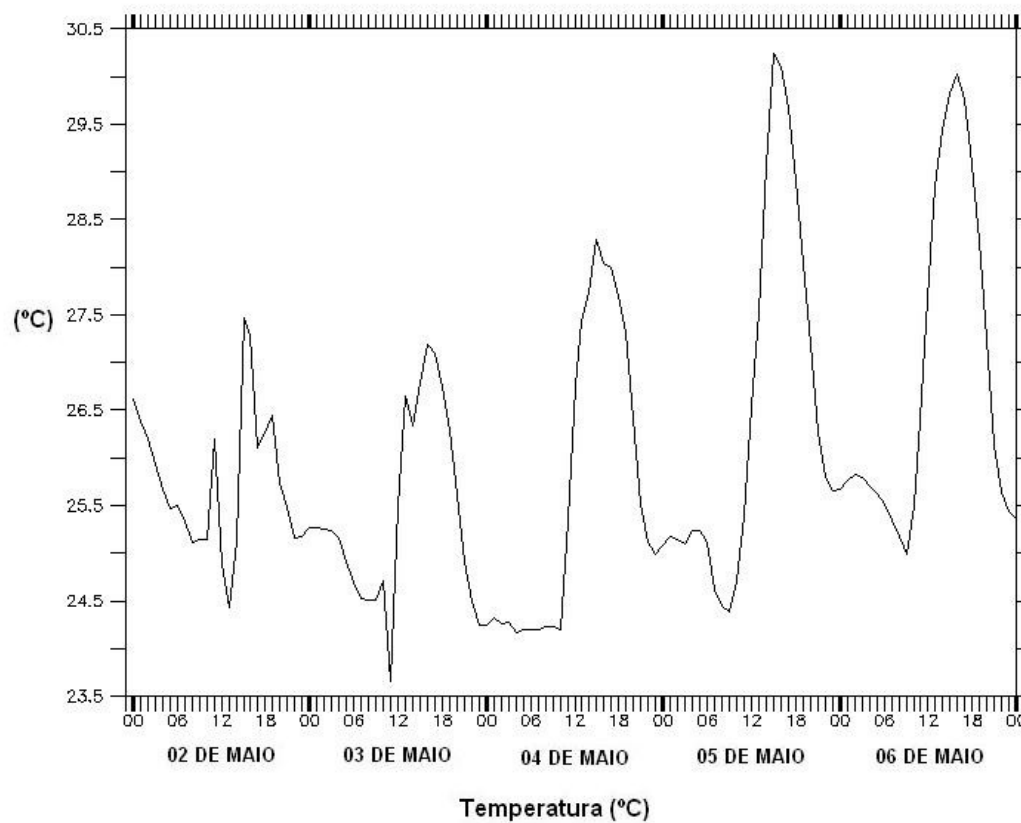


Figura 12 - Temperatura do bairro Mondubim em maio de 2007

A figura 13 apresenta os resultados para o período entre 4 e 5 de maio de 2007 de todos os bairros obtido com dados simulados pelo RAMS. A tabela 2 mostra uma comparação entre os dados observados por Moura (2008) em maio de 2007 e os dados simulados pelo RAMS.

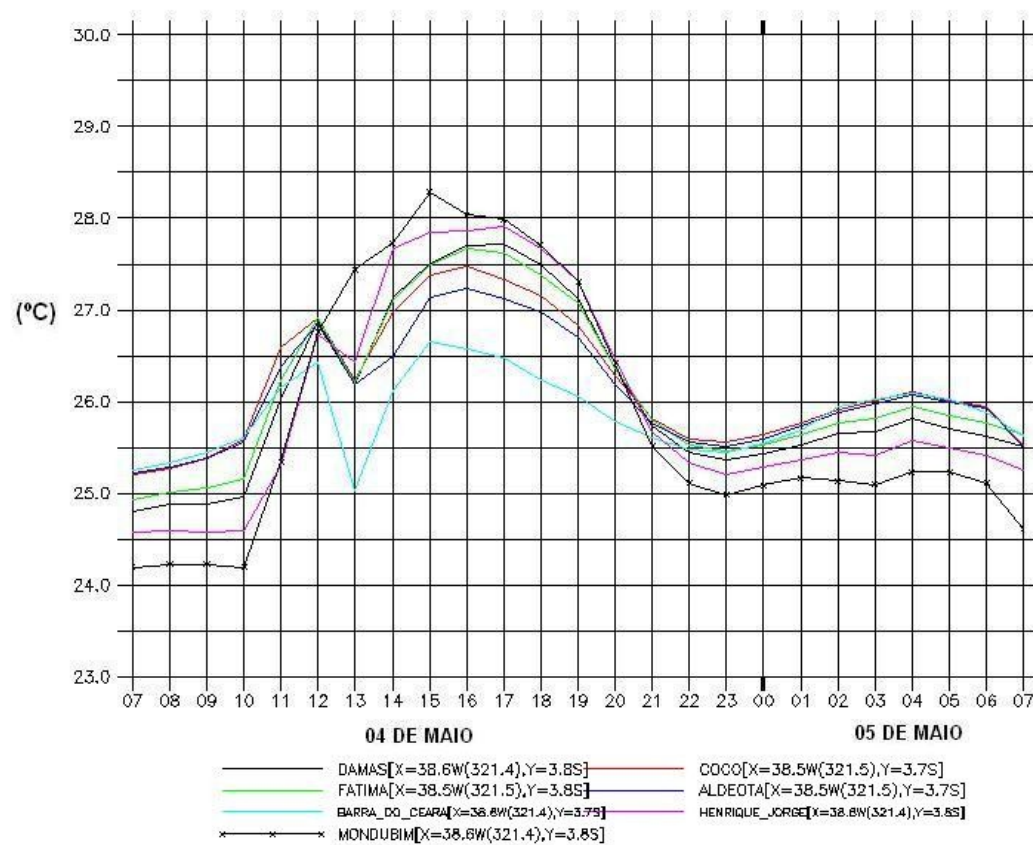


Figura 13 - Temperatura (°C) para o período entre 4 e 5 de maio de 2007 para todos os bairros obtido com dados simulado pelo RAMS

Tabela 2 - Comparação entre os dados observados por Moura (2008) em Maio de 2007 e os dados simulado pelo RAMS

Período observado: Maio de 2007		
Bairro	Observado	Simulado
Damas	3°C – 11h00 às 12h00 1°C – 01h00 às 03h00	3°C – 10h00 às 13h 0,5°C – 00h00 às 04h00
Cocó	2°C – 13h00 às 18h00 4°C – 22h00 às -23h00 1°C – 01h00 às -03h00	1°C – 10h00 às 12h00 2°C – 12h00 às 16h00 0,5°C – 00h00 às 06h00
Fátima	2°C – 21h00 1°C – 01h00 e 03h00	2°C – 12h00 às 18h00 0,5°C – 00h00 às 06h00
Aldeota	1,2°C – 13h00 às 18h00 5,5°C – 23h00 1,5 – 00h00 às 02h00	1,2°C - 13h00 às 18h00 1,5°C - 08h00 às 10h00
Barra do Ceará	4°C – 07h00 2,5°C – 10h00 às 16h00 2°C – 21h00	1,5°C - 06h00 às 10h00 1,7°C - 12h00 às 18h00
Henrique Jorge	2,5°C – 13h00 às -17h00 1°C - 01h00 3,7°C – 20h	2°C - 12h00 às 18h00 1°C - 00h00 às 03h00
Mondubim	5,5°C - 23h00	4°C - 10h00 às 13h00 1°C - 00h00 às 02h00.

4.2.2 PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: NOVEMBRO 2007

Analisando os dados tanto observados como simulados para o mês de novembro, foram verificadas temperaturas semelhantes ao mês de maio, contudo não apresentando ilhas de calor, exceto para o bairro Damas (Figura 14). Pode-se relacionar estes resultados encontrados em virtude de ser um período de quadra seca, e o calor ser absorvido pelo asfalto e por grandes construções localizadas no bairro.

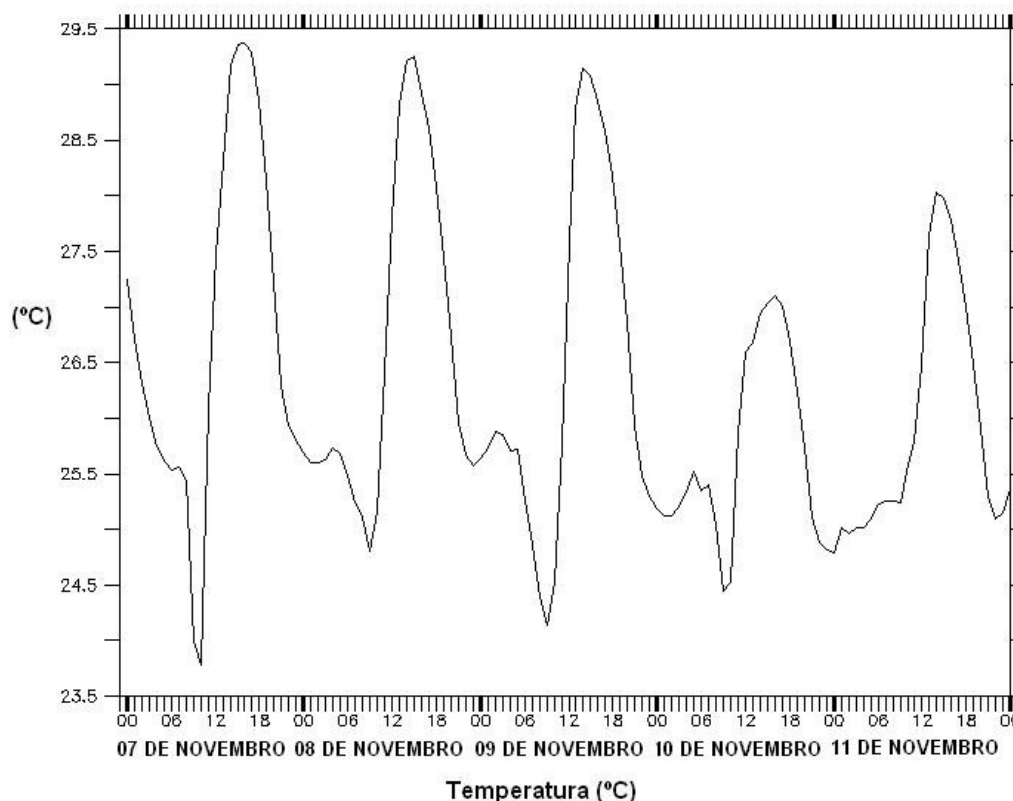


Figura 14 - Temperatura do bairro Damas em novembro de 2007

Moura (2008) mostrou que Damas apresentou temperaturas de 34,5°C às 11h e 34°C para 10 e 12 horas e apresentou ilhas de Calor de 5°C às 10 e 11 horas, e 4,8°C, às 12h. A noite apresentou temperatura elevada, 27,9°C às 20h e ilhas de calor de 2,4°C às 20h e 2,8°C às 21h. E na madrugada ilha de 1°C, ocorrido entre 1 e 3 horas e temperatura de 26°C.

O bairro Cocó apresentou as menores temperaturas juntamente com Fátima. Aldeota também apresentou baixas temperaturas. Já na Barra do Ceará, foram obtidas as maiores temperaturas tanto pela manhã, quanto pela tarde (Figuras 15, 16, 17 e 18), concordando com valores observados por Moura (2008).

Moura (2008) afirma que durante a noite temos baixas temperaturas que não ultrapassem os 25,5°C, o que pode ser observado na figura 15.

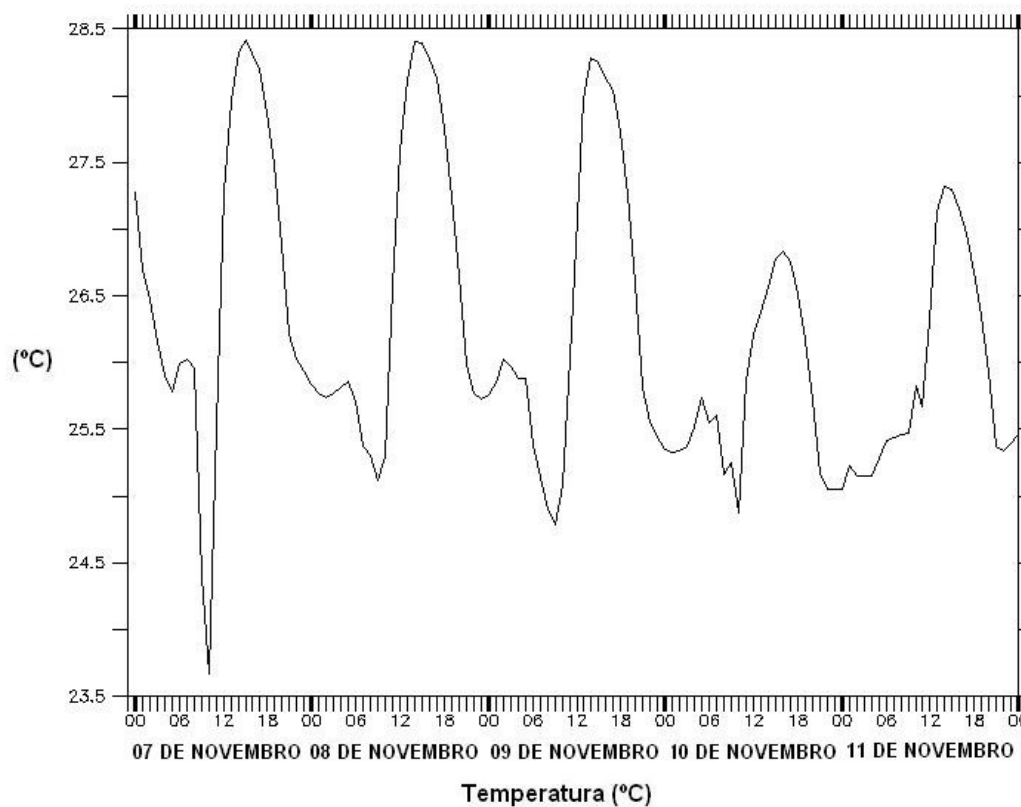


Figura 15 - Temperatura do Parque do Cocó em novembro de 2007

Segundo Moura (2008) o bairro fortalezense de Fátima a temperatura chegou aos 33°C às 14 e 15 horas e 30°C às 16 horas. O modelo não encontrou essa temperatura exata, mas encontrou elevações de temperaturas nos horários especificados.

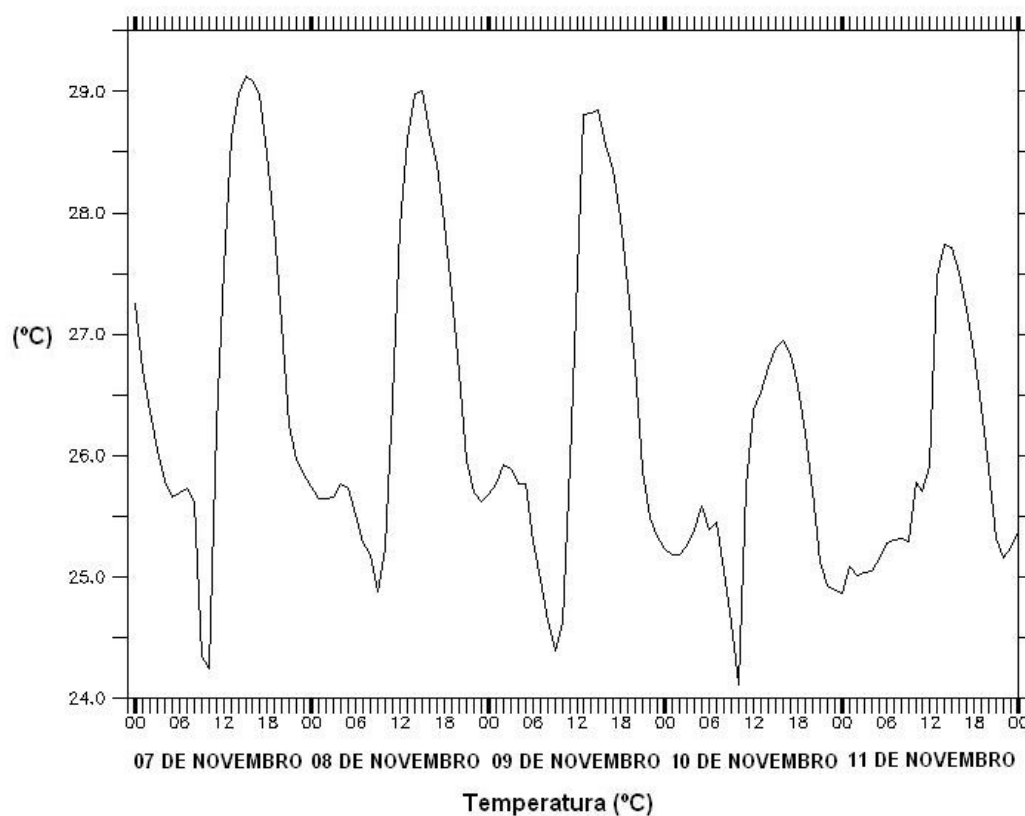


Figura 16 - Temperatura do bairro de Fátima em novembro de 2007

O bairro fortalezense Aldeota, afirma Moura (2008), apresentou no período da madrugada temperatura de 26,5°C e uma ilha de calor de 2,5°C às 6h.

Pode-se observar na figura 17 que a temperatura no período da madrugada, comporta-se como uma pequena ilha de calor mais no horário especificado.

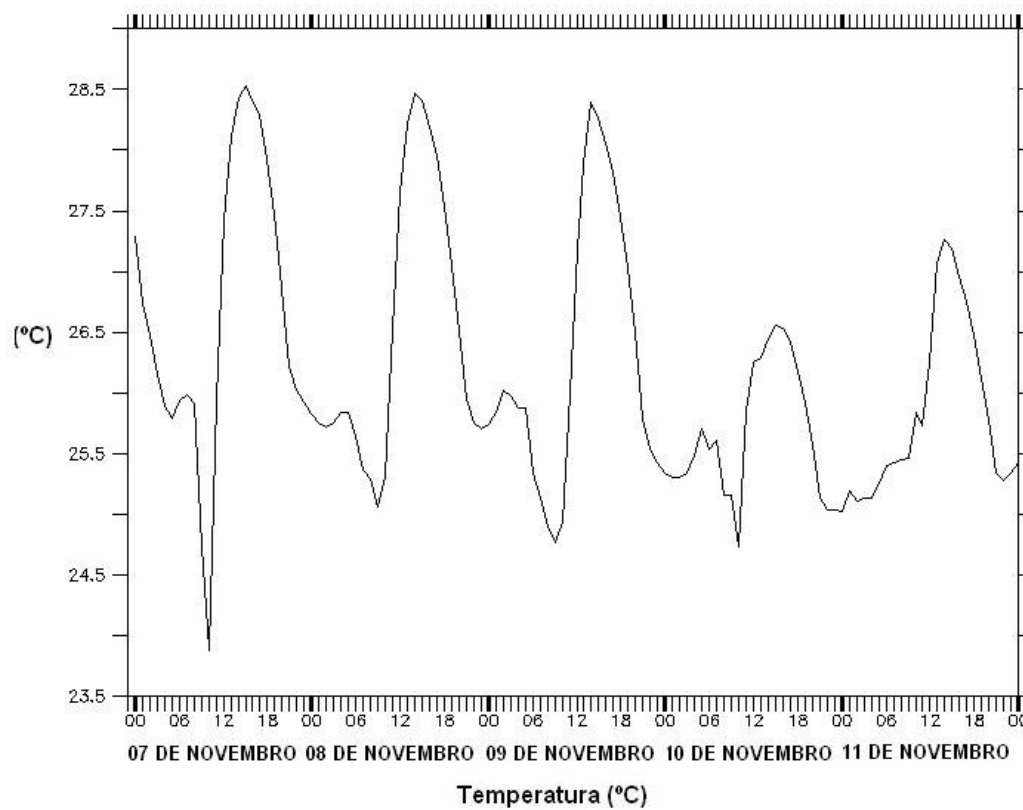


Figura 17 - Temperatura do bairro Aldeota em novembro de 2007

Moura (2008) afirma que o bairro fortalezense Barra do Ceará obteve as maiores temperaturas no período da manhã, o que de fato foi observado na figura 18.

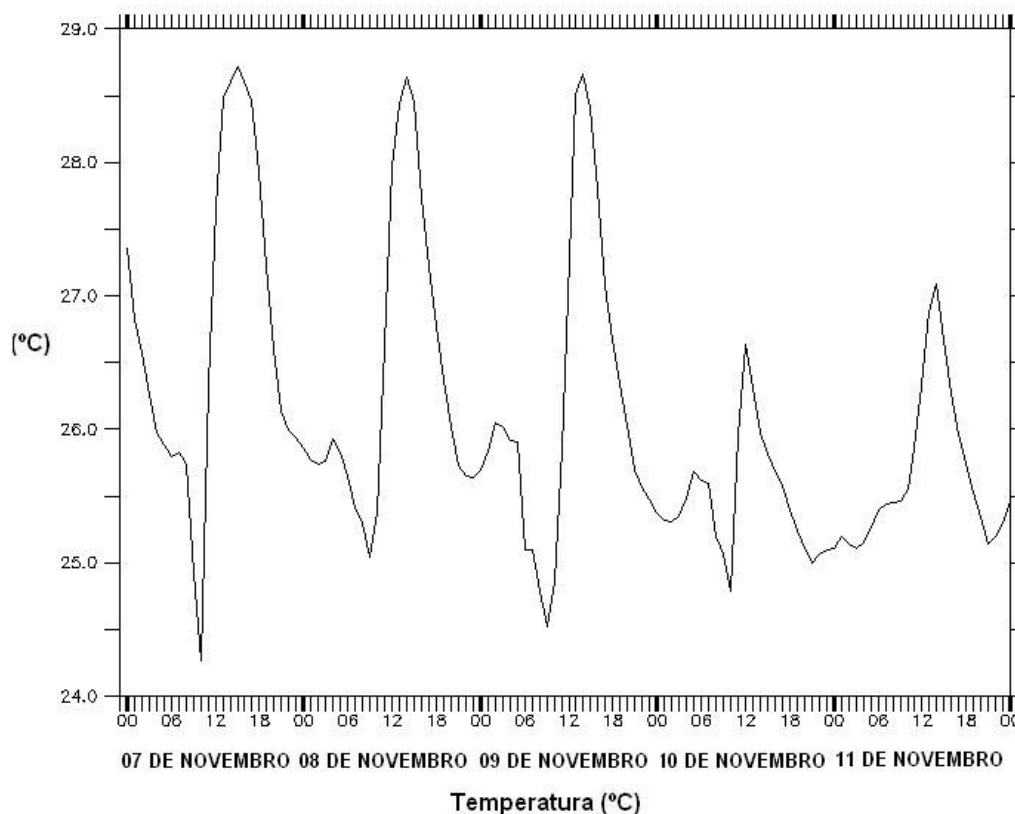


Figura 18 - Temperatura do bairro Barra do Ceará em novembro de 2007

De acordo com Moura (2008), o bairro fortalezense Henrique Jorge e o Mondubim (figuras 19 e 20) foram os dois bairros onde foram verificados se verificou as maiores temperaturas. Esses dados coincidem, pois esta variação de temperatura era esperada por ser um bairro populoso e totalmente preenchida por casas e além do mais ser período de quadra seca.

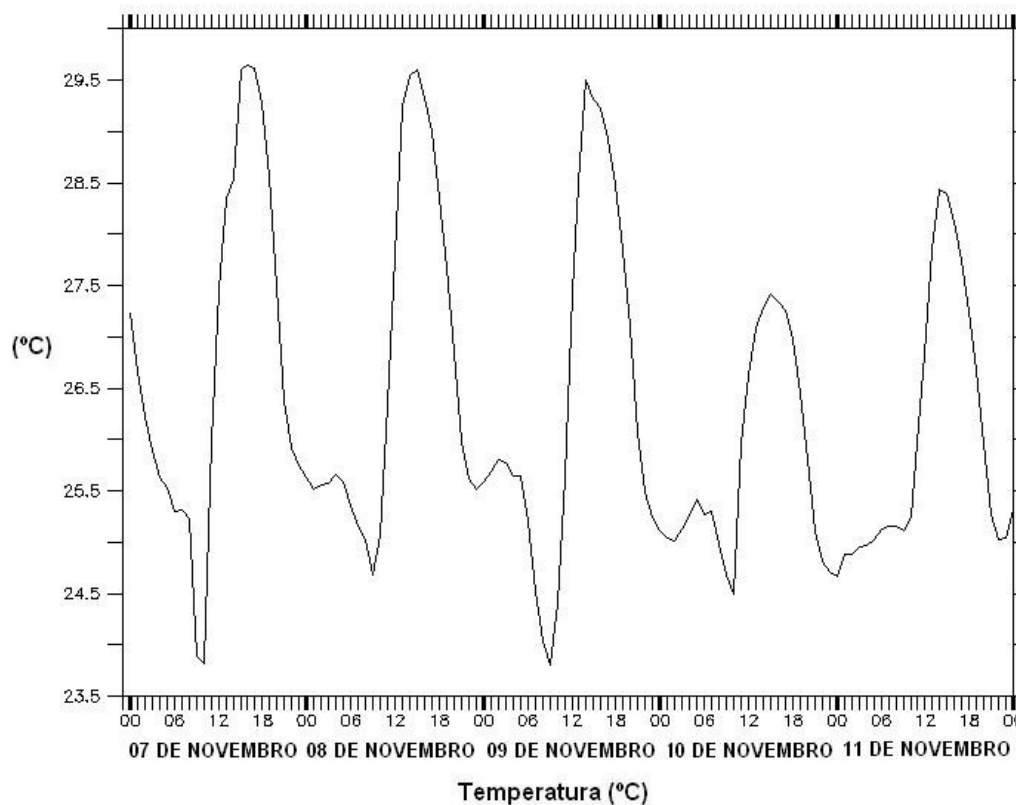


Figura 19 - Temperatura do bairro Henrique Jorge em novembro de 2007

O bairro fortalezense Mondubim, segundo Moura (2008), apresentou temperatura de 33°C às 14 e 15 horas. Mas, analisando a figura 20, vemos novamente que o modelo obedeceu o horário mas não encontrou a referida temperatura.

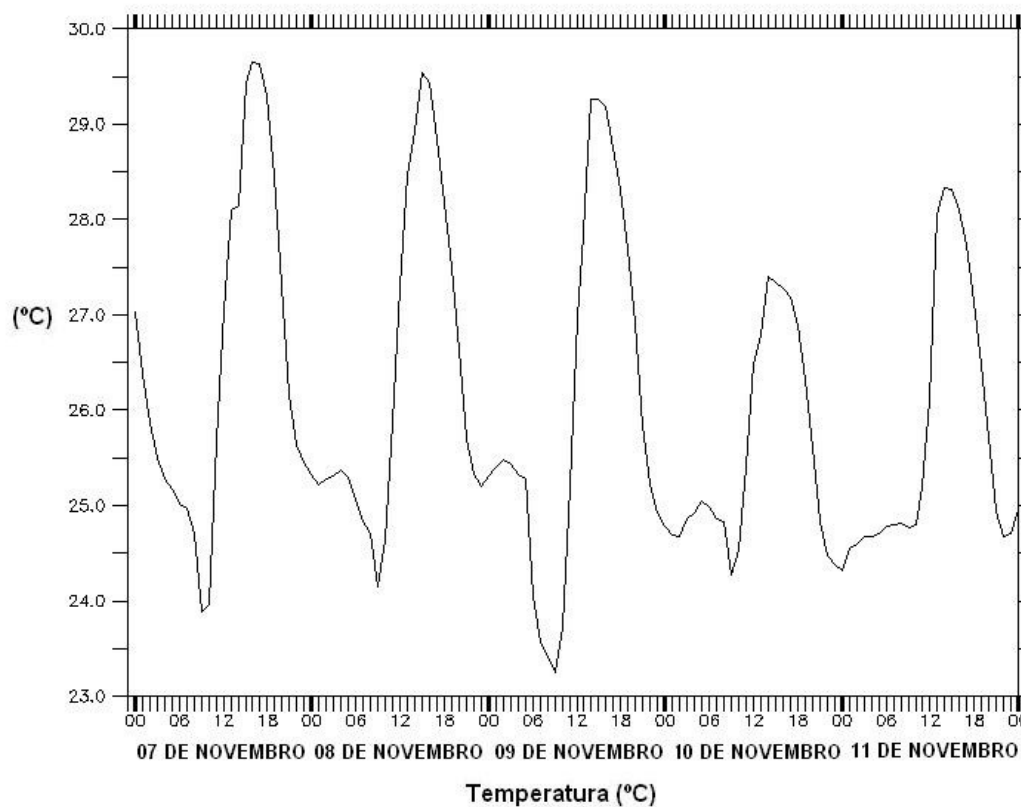


Figura 20 - Temperatura do bairro Mondubim em novembro de 2007

De um modo geral, Moura (2008) não apresentou dados precisos para Novembro, sendo poucas as citações sobre elevações de temperaturas. Mas podemos unir todos os dados para obter uma leitura completa dos pontos observados.

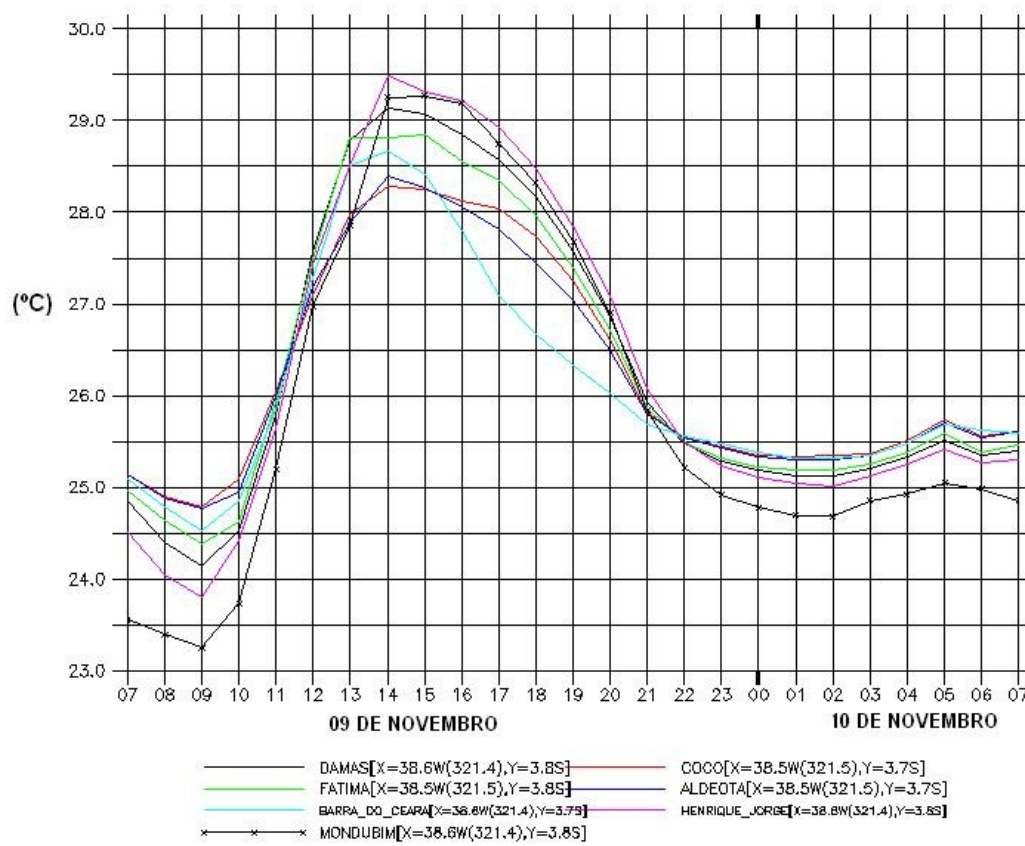


Figura 21 - Temperatura (°C) para o período entre 9 e 10 de novembro de 2007 para todos os bairros obtido com dados simulado pelo RAMS

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Com o auxílio do modelo de simulação numérica foi analisado sete pontos da cidade de Fortaleza, sendo que diversas características deveriam ser analisadas, como demografia, pavimentação, localidade, época (seca ou chuvosa), etc., onde deveria mostrar que era possível criar a partir desse ponto um estudo sobre a presença de ilhas de calor em Fortaleza. Com os resultados encontrados foi possível ver que o modelo foi capaz de representar as ilhas de calor que ocorrem na cidade de Fortaleza, visto que conseguiu simular e mostrar em que pontos a temperatura com maiores valores e que combinado com ventos mais fracos e alta umidade trazem desconforto.

Comparando os dados observacionais com os dados simulados vemos que não é necessário um trabalho de campo para provar a existência ou não de uma ilha de calor.

Este trabalho pode ser utilizado como base para diversos estudos tanto de análise climática ou planejamento urbano, pois o RAMS indicou os pontos onde as temperaturas são mais elevadas, o que modifica a qualidade de vida dos habitantes.

Salienta-se que o modelo seguiu a climatologia dos períodos analisados, mostrando que no período chuvoso as variações de temperaturas são menores que no período seco.

Como sugestões para trabalhos futuros é importante implementar o TEB (Town Energy Budget), para uma representação apropriada ao tratamento de áreas urbanas como o utilizado por Freitas e Silva (2005) e fazer modificações no código do modelo, modificando elementos da cidade para verificar as alterações ocorridas em pontos específicos.

6 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, T. R. O fluxo do calor gerado pelas atividades humanas. In: TARIFA, J. R; ARMONI, G. (org.). **Os climas na cidade de São Paulo** - teoria e prática: GE USP Coleção Novos Caminhos 4. São Paulo: USP/FFLCH, 2001. 199p.

AVISSAR, R. Conceptual aspects of a statistical-dynamical approach to represent landscape subgrid-scale heterogeneities in atmospheric models. **J. Geo. Res.**, v. 97(D3), p. 2729-2742, 1992.

AVISSAR, R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. **Atmos. Environ.**, v. 30, n. 3, p. 437-448, 1996.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 3ª ed. Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil S.A., 1991. 332p.

CHORLEY, R. J.; BARRY. R. G. **Atmosfera, tiempo y clima**. Barcelona-Spain: Omega, S.A, 1972. 395p.

COTTON, W. R.; WALKO, R. L.; LISTON, G. E.; et al. RAMS 2001: Current status and future directions. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 29, p. 5-29. Doi: 10.1007/s00703-001-0584-9, 2003.

FREITAS, E. F.; SILVA DIAS, P. L. 2000. O Efeito da Ilha de Calor Sobre os Fluxos de Calor Através da Utilização do Modelo RAMS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 3566-3574.

FREITAS, E. F.; SILVA DIAS, P. L. 2003. A Importância das Fontes Antropogênicas de Calor na Modelagem Numérica dos Efeitos de Ilha de Calor Urbana. In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 3, Santa Maria, 2003. **Revista Ciência & Natura**. Santa Maria, UFSM, p.227-231.

FREITAS, E. F.; SILVA DIAS, P. L. 2004. ALGUNS EFEITOS DE ÁREAS URBANAS NA GERAÇÃO DE UMA ILHA DE CALOR; **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, 355-366, 2005

FREITAS, E. **Ilha de calor.** Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/ilha-de-calor.html>. Acessado em 26/05/2010. 10h00min

FREITAS, K. **O aquecimento urbano.** Disponível em: <http://www.ecoterrabrasil/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=1557>

FUJIBE, F.; ASAI, T. Some features of a surface wind system associated with the Tokyo heat island. **J. Meteor. Soc.**, Japan, v. 58, p. 149-152, 1980.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia:** o clima da camada de ar junto ao solo. 4. ed. Lisboa: Gulbenkian, 1961. 556 p.

GEORGE, P. **Geografia urbana.** São Paulo: Difel, 1983. 236 p.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design.** New York – USA: Vannostrand Reinhold, 1998. 463p.

GOMES, A. L; GOMES, J. L; GARCIA, F. F; JIMENDEZ, A. M. (1993), **El Clima Urbano Teledetección de la Isla de Calor en Madrid.** MOPT, Madrid

GOUVÊA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo.** São Paulo, 2007, 91p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor da metrópole paulistana.** São Paulo, 1984, 210p. Tese de Doutorado do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metr6poles**: o exemplo de S6o Paulo. S6o Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LOMBARDO, M. A. O Clima e a Cidade, **Boletim Climatol6gico**, Ano 1, n.2, p.31-34, 1996.

LOWRY, W.P. The climate of cities. **Scientific American**, v.217, n.2, 1967, p.15-23.

MALVEIRA, E. C. H. **Estudo de Mudanças Climáticas num ambiente urbano**: Evolução da Ilha de Calor na Região Metropolitana de Fortaleza. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Mestrado Acadêmico em Geografia/UECE, 2003. 191p

MASSON, V. A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. **Boundary-Layer Meteorol.** v. 94, p. 357-397, 2000.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodol6gica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. (Tese de Doutorado). S6o Paulo: FFLCH/USP- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1994, 300p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 1976.184f. Tese (Livre Docência em Geografia) - Instituto de Geografia da USP, S6o Paulo, Série Teses e Monografias n.25.1976.

MONTEIRO, C. A. F., Por um Suporte Teórico e Prático para Estimular Estudos Geográficos de Clima Urbano no Brasil. **Geosul**, Ano V, n. 9, p. 7-19, 1º Semestre. 1990.

MORAES, N. O.; MARTON, E.; PIMENTEL, L. C. G. P. Simulações Numéricas da Formação de Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 2005. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**

MORENO, G. M. C. **Climatología urbana**. Textos Docents, 160 Text-guia. Barcelona: Edicions da Universitat de Borcelona, 1999. 71p.

MOURA, M. O. **O Clima Urbano de Fortaleza sob o nível do Campo Térmico**. 2008. Dissertação de Mestrado em Geografia/UFC. Fortaleza, 2008

OKE, T.R. Inadvertent Modification of the City Atmosphere and the Prospects for Planned Urban Climates. proc.symp.meteorol. Related to urban and regional land-use planning, 1976, Asheville. Proceedings. Geneva: **World meteorol.**, 1976.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Ethuen & CO, 1978.372p

OKE, T. R. The Energetic Basis of the Urban Heat Island. Quat. J.R. **Met. Soc.** v.108, n.455, p. 1-24, 1982.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates** -2nd ed. London: Routledge, 1987.435p.

PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.; WALKO, R. L.; et al. Meteorology and Atmospheric Physics 9. **Transport**, v. 91, p. 69-91, 1992.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadoras de alterações térmicas**. (Tese de Doutorado). São Paulo: FFLCH/USP- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1997. 272p.

SAKAMOTO, L. **Os Microclimas e a “Configuração do Céu” na Área Central**. In: TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. de. (Orgs.). Os climas da Cidade de São Paulo: Teoria e Prática. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. FFLCH/USP. GEOUSP – (Coleção Novos Caminhos), v.4, p. 165-187, 2001.

SANTAMOURIS, M. Energy and Climate in the Urban Built Environment. **James and James Science Publishers Ltd.**, London, 2001, 402p.

SANT'ANNA NETO, J.L; ZAVATINI, J. A. (Orgs.). **Variabilidade e Mudanças Climáticas**: Implicações Ambientais e Socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. 259p.

SAYDELLES, A. P.; **Estudo Do Campo Térmico E Das Ilhas De Calor Urbano Em Santa Maria-Rs** Dissertação de Mestrado UFSM Santa Maria, RS, Brasil 2005. 237p.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito**: A natureza do Desenho da Cidade. São Paulo: Editora da USP, 1995. 345p.

STULL, R. B. 1993. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 666p.

TREMBACK, C. J.; WALKO, R. L. The Regional Atmospheric Modeling System (RAMS): development for parallel processing computer architectures. In: **Third RAMS Users' Workshop**. Echuca, Victoria, Australia, 1997.

WALKO, R. L.; BAND, L. E.; BARON, J.; KITTEL, T. G. F.; LAMMERS, R.; LEE, T. J.; OJIMA, D.; PIELKE, R. A.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C. J.; VIDALE, P. L. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **J. Appl. Meteorol.**, v. 39, n. 6, p. 931-944, 2000.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J. **RAMS: Regional Atmospheric Modeling System** – Technical Description. Boulder (CO), 2001. 50 p. Disponível em: <http://www.atmet.com/html/docs/rams/rams_techman.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2010.

XAVIER, T. M. B. S., XAVIER, A. F. S. e SILVA DIAS M. A. F. Evolução da Precipitação Diária num Ambiente Urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. **Rev. Bras. Meteor.**, 9(1), 44-53. 1994.

YOSHIKADO, H.; TSUCHIDA, M. High levels of winter air pollution under the influence of the urban heat island along the shore of Tokyo Bay. **J. Appl. Meteor.**, 35, 1804-1814, 1996.