



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

CEZANILDO ARAÚJO JÚNIOR

ILHAS DE CALOR URBANAS

**FORTALEZA – CEARÁ
2011**

CEZANILDO ARAÚJO JÚNIOR

ILHAS DE CALOR URBANAS

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

Orientador: Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Júnior.

FORTALEZA – CEARÁ
2011

A663i Araújo Júnior, Cezanildo
Ilhas de calor urbanas / Cezanildo Araújo
Júnior. – Fortaleza, 2011.
58 p. ; il.
Orientador: Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal
Júnior
Monografia (Graduação em Física) –
Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências
e Tecnologia.
1. Estrutura de formação. 2. Impactos e efeitos.
3. Ilhas de calor. I. Universidade Estadual do Ceará,
Centro de Ciências e Tecnologia.

CDD: 551.54

CEZANILDO ARAÚJO JÚNIOR

ILHAS DE CALOR URBANAS

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

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Júnior (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará – UECE

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

Prof. Dr. Gerson Paiva Almeida
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Dedico este trabalho a Deus que me deu forças para prosseguir.

AGRADECIMENTOS

A Deus meu pai que tem feito de mim um vencedor.

A meu orientador, Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Júnior, que foi meu professor em algumas disciplinas ministradas e tem sido atencioso e paciente na orientação deste trabalho.

A meus nobres professores da banca examinadora por estarem me ajudando neste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal descrever o fenômeno da ilha de calor urbana. Mostra-se desde sua estrutura de formação até quais os fatores físicos que sofrem sua influência direta, bem como as conseqüências para o meio ambiente e para a população que nela está inserida em seu contexto. O assunto tem uma abordagem de compreensão simples e sem cálculos complicados de forma que seja possível sua compreensão mesmo sem muito conhecimento científico. Tem uma forma expositiva, trazendo informações pertinentes ao assunto de forma a complementá-lo. É mostrada inicialmente a definição de albedo e sua importância para o estudo em questão. Posteriormente, o estudo do balanço energético da radiação que vem do Sol para a Terra e a forma como é distribuída, formando um sistema equilibrado que vem sendo alterado pelas ilhas de calor. É mostrado através de dados estatísticos e de análises feitas em nível global as principais ilhas de calor do mundo suas influências físicas no meio, fazendo análises de gráficos das médias anuais de temperaturas nos últimos anos. Esta análise é feita partindo das principais ilhas do mundo, posteriormente são tratadas as da América do Sul, as do Brasil e finalmente a do estado do Ceará, onde é posto em foco Fortaleza. Com uma análise das temperaturas medidas no centro da capital cearense e uma análise do gráfico das médias anuais de variação da temperatura local mostrando que, ela ainda não se caracteriza como uma ilha de calor urbana.

Palavras- chave: Estrutura de formação. Impactos e efeitos. Ilhas de calor.

ABSTRACT

This work has as main objective to describe the phenomenon of urban heat island. It is shown from its training structure to which the physical suffering its direct influence, as well as consequences for the environment and the population that is embedded in its context. The issue has a simple approach to understanding and without complicated calculations in a way that is possible even without much understanding of their scientific knowledge. It has an expository form, providing information relevant to the subject in order to complement it. It initially displays the definition of albedo and its relevance to the study. Subsequently, the energy balance of radiation from the Sun to Earth and how it is distributed, forming a balanced system that has been altered by heat islands. It is shown through statistical data and analysis done at the global level the main islands of the world heat their physical influences in the middle, doing graphic analysis of mean annual temperatures in recent years. This analysis is done starting from the main islands in the world, after the treaty is in South America, Brazil's, and finally the state of Ceara where it is brought into focus Fortaleza. With an analysis of the measured temperatures at the center of Fortaleza and an analysis of the graph of the mean annual temperature variation site showing that she still is not characterized as an urban heat island.

Keywords: Structure formation. Impacts and effects. Heat islands.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Esquema do fluxo de radiação de uma superfície emissora de raio A e a equação para o cálculo da radiância R.....	16
FIGURA 2	Espectro de emissão de radiação do Sol e da Terra.....	17
FIGURA 3	Ciclo de emissão e absorção de radiação.....	18
FIGURA 4	Esquema detalhado do processo de emissão e absorção de energia pela Terra. Os valores são referentes à Dezembro de 1996.....	20
FIGURA 5	Foto da cidade de New York. Um grande centro urbano tem sua estrutura praticamente toda feita de concreto.....	25
FIGURA 6	Grande intensidade de automóveis em circulação provocando mudança na coloração do ar.....	29
FIGURA 7	Poluição emitida por indústrias contribui para processo de inversão térmica.....	30
FIGURA 8	Cobertura de asfalto sendo colocada no solo.....	31
FIGURA 9	Ilustração da elevação da temperatura na ilha de calor.....	32
FIGURA 10	Processo da Inversão Térmica, como acontece com interferência da poluição. E como seria o normal.....	34
FIGURA 11	Variação da altitude em função temperatura com os pontos onde acontece a Inversão Térmica.....	35
FIGURA 12	Variação de temperatura ao longo do dia em função do tempo.....	35
FIGURA 13	Visão de uma lente fotográfica olho de peixe.....	36
FIGURA 14	Altas edificações concentradas em um local aumento de temperatura em sua região, pode ser notado variação crescente em relação a área branca	37
FIGURA 15	Circulação da ilha de calor urbana.....	38
FIGURA 16	Má dissipação de calor devido a aglomerados de prédios impedindo a circulação dos ventos.....	39
FIGURA 17	Prédios impedindo a circulação do vento.....	39
FIGURA 18	Variação da temperatura global da Terra perto da superfície entre 1860 e 2000. em graus Celcius.....	41
FIGURA 19	Variação na superfície da Terra nos últimos 1000 anos em graus Celsius.	42
FIGURA 20	Globo terrestre com pontos críticos o aumento de temperatura está em vermelho em azul estão pontos onde ouve diminuição.....	42
FIGURA 21	Visão global de variações térmicas ao longo do mundo.....	43
FIGURA 22	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de New York de 1900 a 2010.....	44

FIGURA 23	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Tóquio de 1880 a 2010.....	45
FIGURA 24	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Calcutá de 1880 a 2010.....	45
FIGURA 25	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Pudahuel de 1880 a 2010.....	46
FIGURA 26	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Puerto Montt de 1950 a 2009.....	46
FIGURA 27	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Buenos Aires de 1900 a 2010.....	47
FIGURA 28	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Quito de 1890 a 2010.....	48
FIGURA 29	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Caracas de 1900 a 2010.....	48
FIGURA 30	Cidade de Juiz de Fora coberta por uma nuvem escura.....	50
FIGURA 31	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Curitiba de 1880 a 2010.....	51
FIGURA 32	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de São Paulo de 1985 a 2010.....	52
FIGURA 33	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade do Rio de Janeiro de 1880 a 2010.....	52
FIGURA 34	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Porto Alegre de 1960 a 2010.....	53
FIGURA 35	Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Fortaleza de 1950 a 2010.....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Albedos da amostra de superfícies típicas.....	15
TABELA 2	Faixas de comprimento das ondas eletromagnéticas provenientes do Sol e da Terra e percentual da contribuição destas energias.....	15

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	14
2.1	Introdução.....	14
2.2	Albedo.....	14
2.3	Absorção/ retenção de energia via irradiação de calor.....	15
2.4	Radiância.....	16
2.4.1	Lei de Stefan Boltzman.....	16
2.5	Balanco radioativo.....	17
3	ILHA DE CALOR URBANA.....	24
3.1	Introdução.....	24
3.2	Estrutura.....	24
3.3	Formação.....	26
3.4	Influência.....	27
3.5	Mecanismos.....	28
4	IMPACTOS E EFEITOS DAS ILHAS DE CALOR.....	32
4.1	Temperatura local.....	32
4.2	Ventos.....	36
4.3	Microclima.....	38
5	ILHAS DE CALOR NO MUNDO.....	40
5.1	Principais ilhas e estatísticas.....	40
5.2	Ilhas de calor urbanas na América do Sul.....	47
5.3	Ilhas de calor urbanas no Brasil.....	49
5.4	Ilhas de calor urbanas no Ceará.....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A crescente migração para as regiões de grandes cidades trouxe uma industrialização concentrada em poucos pontos da Terra que se tornaram os grandes centros urbanos. Com isso houve a destruição de áreas verdes, paisagens naturais, para dar lugar a edificações de cunho humano em substituição ao ecossistema anteriormente ali encontrado, proporcionou uma modificação no estado físico do local, gerando um novo clima local, aumentando a temperatura, devido à alta taxa de absorção da radiação térmica, diminuindo os ventos.

Como uma consequência direta do crescimento industrial, da urbanização das grandes cidades e da modernidade. Proveniente da necessidade do ser humano de desenvolver um melhor conforto e comodidade para si, é que apareceram as grandes metrópoles e juntos com elas os problemas causados pelas modificações no meio ambiente.

Torna-se necessário o estudo das consequências das modificações feitas no meio a principio na intenção de melhorar a qualidade de vida dos indivíduos daquela comunidade, mas que acabaram trazendo prejuízos para os mesmos indivíduos. Para evitar que não tenhamos efeitos colaterais tão significativos que cheguem a superar em alguns casos os benefícios trazidos por estas mudanças, é que aparece a necessidade de se fazer uma urbanização programada e considerando fatores de relevância significativa na hora de modificar o ambiente.

Este trabalho tem como objetivo estudar a importância das ilhas de calor urbana, como consequência direta da urbanização das cidades.

No capítulo dois serão tratados os conceitos fundamentais e definições que são essenciais para a compreensão do assunto. Já no capítulo seguinte é visto o que realmente é uma ilha de calor urbana, com seus constituintes, os fatores que influenciam em sua estrutura e contribuem para a elevação da temperatura em decorrência de sua formação. Serão mostrados nos capítulos que se seguem quais fatores têm influência significativa sobre a formação de ilhas de calor urbana, como

e em que parte tem influência direta, reunindo estes dados de tal forma que se possam analisar cada um separadamente e em conjunto, ver como se comporta e como progride com o passar do tempo, levando-se em consideração o crescimento das áreas urbanizadas e seus materiais constituintes.

Além disso, pretende-se analisar estes efeitos em nível mundial e a que ponto pode ser significativo para a estrutura do planeta, restringindo posteriormente a área estudada a America do Sul depois ao Brasil e por ultimo um estudo da capital do Ceará, Fortaleza. Este estudo será feitos através das medias anuais das temperaturas em cada local estudado.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 Introdução

O nome ilha de calor urbana se dá pelo fato de uma cidade apresentar em seu centro um fluxo de calor muito alto, enquanto que em suas redondezas a taxa de calor é normal. Ou seja, o poder refletor de calor de suas redondezas é muito maior do que no centro dessa cidade (LOMBARDO, 1985).

Para o estudo das ilhas de calor urbanas selecionou-se algumas informações sobre o comportamento de alguns materiais e sua estrutura física quando expostos a radiação térmica emitida pelo sol. Bem como propriedades destes materiais, bem como o mecanismo de interação.

2.2 Albedo

É a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície. É calculado como sendo a razão entre a quantidade de radiação refletida pela quantidade de radiação recebida (LOMBARDO, 1985).

Na Tabela 1 é mostrado o albedo de materiais mais comuns em centros urbanos.

O Albedo fornece a informação sobre a capacidade de uma superfície de refletir energia solar incidente sobre a superfície terrestre. Varia entre zero e um, superfícies com pouca absorção como vegetação e gramado têm albedo em torno de 0,25, que é abaixo da média da terra 0,313. Já o asfalto fresco tem albedo 0,04, ou seja, sua reflexão do calor irradiado é muito baixa (OKE, 1987).

Tabela 1 – Albedos da amostra de superfícies típicas. Fonte: OKE,1987.

Material	albedo
Albedo Asfalto fresco	0.04
Floresta do Conifer(Verão)	0.08
Asfalto gasto	0.12
Solo desencapado	0.17
Gramma verde	0.25
Areia do deserto	0.40
Concreto	0.22
Neve fresca	0.80 – 0.90

2.3 Absorção / retenção de energia via irradiação de calor

A transmissão de energia por ondas eletromagnéticas de comprimentos de onda na faixa de 0,75 a 400 μm ocorre sem contato físico entre os corpos.

Logo, as ondas eletromagnéticas irradiadas pelo Sol dentro desta faixa vão proporcionar um aumento na temperatura dos corpos por eles atingidos de acordo com o albedo de cada um. O tempo para esta energia absorvida, e armazenada, em forma de calor, ser liberada, depende do calor específico de cada material. A Tabela 2 mostra as faixas de comprimento das ondas eletromagnéticas com um balanço total. A radiação solar consiste de: raios X, raios gama e raios ultravioleta, carregando da ordem de 9% de toda energia, e ainda raios de luz visíveis, 41%. Já os raios infravermelhos, invisíveis, chegam a 50%, na forma de calor (HAMILTON, 1973).

Tabela 2 - Faixas de comprimento das ondas eletromagnéticas provenientes do Sol e da Terra e percentual da contribuição destas energias. Fonte: HAMILTON,1973.

Tipo	Comprimento de onda em (μm)	Energia total (%)
ondas curtas		
raios X e raios γ	1/2000 a 1/ 100	9
raios ultra-violeta	0,2 a 0,4	
e raios visíveis	0,4 a 0,7	41
ondas longas		
raios infra vermelhos	0,7 a 3000	50

2.4 Radiância

Fluxo de radiação é a relação entre a energia contida na radiação e o tempo $\Phi = W / t$. A unidade de fluxo de energia no Sistema Internacional é o watt = W. A radiância R de uma superfície emissora é a razão entre o fluxo emitido Φ pela superfície e a sua área A, $R = \Phi / A$. A unidade de radiância no Sistema Internacional é o W / m^2 (ver figura 1).

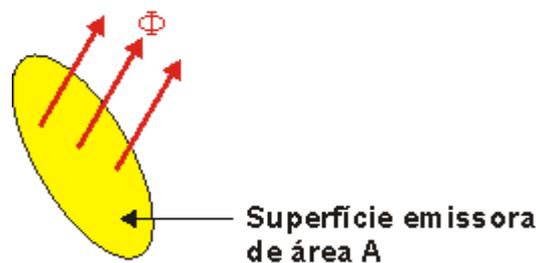


Figura 1- Esquema do fluxo de radiação de uma superfície emissora de raio A e a equação para o cálculo da radiância R. Adaptado de:ALFACONNECTION, 2011.

Essas duas grandezas serão necessárias para se compreender como se dá o acúmulo de energia nas ilhas de calor.

2.4.1 Lei de Stefan-Boltzmann

Segundo Stefan-Boltzmann a radiância de um corpo é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta.

$$R = e\sigma T^4 \quad (1)$$

Onde σ é uma constante denominada de constante de Stefan-Boltzmann sendo: $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} W / m^2 \cdot K^4$ e o fator “e” chama-se fator de emissão. No caso de

se considerar esta relação para a absorção, o fator de absorção pode ser considerado igual ao de emissão ficando assim uma fórmula para ambos os casos, tanto absorção como emissão.

2.5 Balanço radioativo

Todo o corpo a uma temperatura T emite radiação seguindo a lei de Planck. Logo o Sol emite radiação para a Terra, mas a Terra também emite radiação para o espaço (ver Figura 2).

Leva-se em conta que o Sol emite radiação apenas para uma parte da Terra, parte diurna, já a Terra emite radiação todo o tempo, tanto a noite como o dia, sendo que esta emissão durante o dia é menor que a absorção, e durante a noite há apenas emissão, já que outras fontes de calor externo às da Terra estão muito distantes e não são significativas. Temos à noite apenas emissão desta radiação na forma de calor.

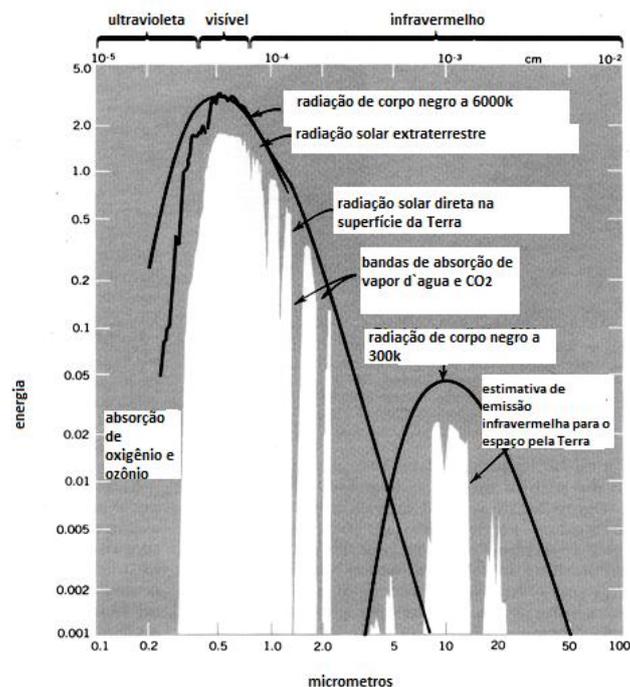


Figura 2- Espectro de emissão de radiação do Sol e da Terra. Fonte: Adaptado de: HAMILTON,1973.

Os raios X emitidos pelo Sol têm seus comprimentos que vão de 0,01 a 10 nm. Os raios X ficam bem à esquerda da escala que começa em 0,1 μ m.

Esta energia em forma de radiação é redistribuída em todo o planeta através de processos de absorção e irradiação conforme a Figura 3 a seguir.

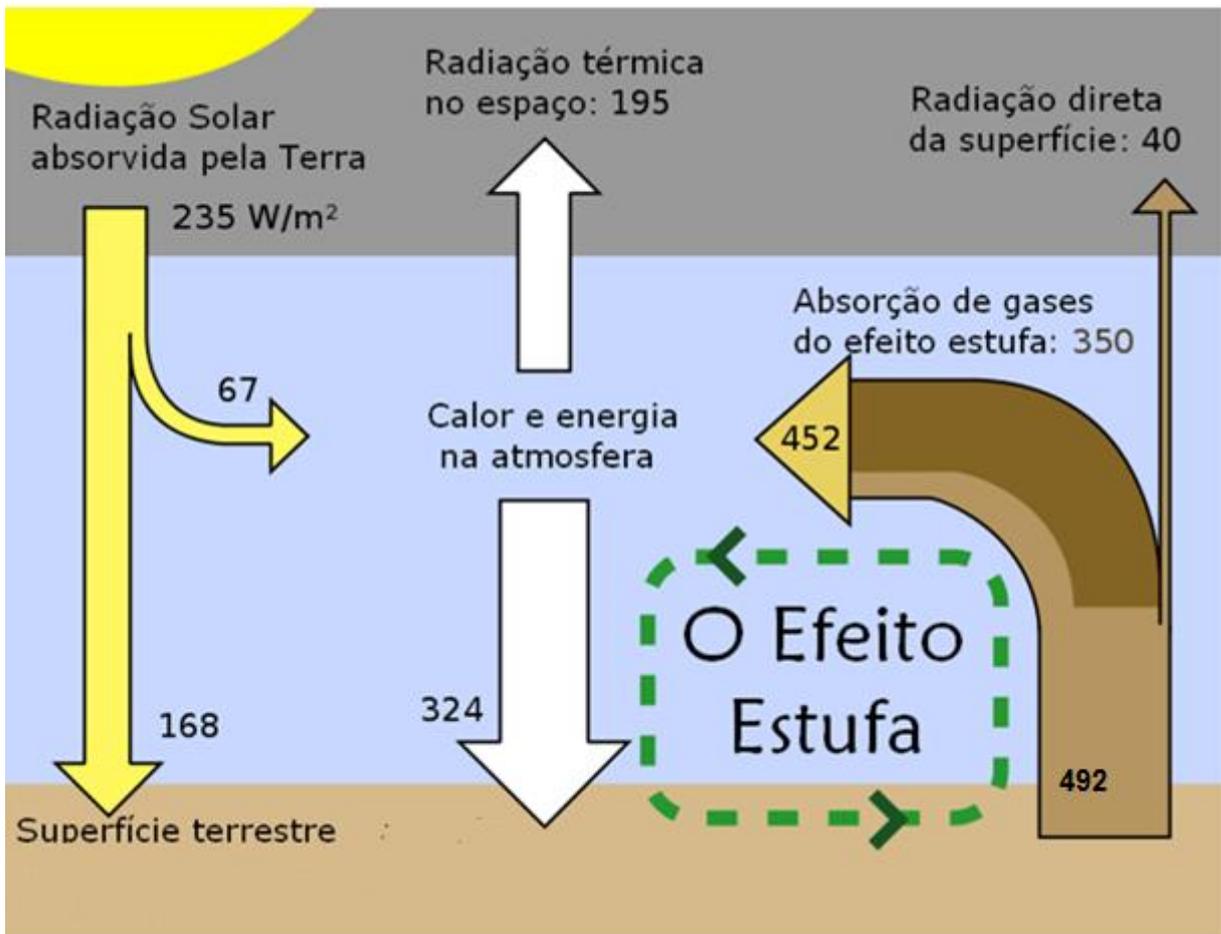


Figura 3-Ciclo de emissão e absorção de radiação. Fonte: WIKIMEDIA, 2011.

A figura 3 é uma representação esquemática simplificada dos fluxos de energia entre o espaço, a atmosfera da Terra, e a superfície da Terra, e mostra como estes fluxos se combinam para manter aquecida a superfície do planeta criando o efeito estufa.

Inicialmente deve ser feita uma consideração: a maior parcela da energia recebida na superfície da Terra é proveniente da reabsorção da energia irradiada pela própria superfície da Terra para a atmosfera, e depois reabsorvida pela

superfície da Terra formando um processo cíclico que recebe o nome de Efeito Estufa.

O Sol emite 342 W/m^2 , mas apenas 235 W/m^2 são absorvidos pela Terra. Já que 107 W/m^2 são perdidos pelo albedo terrestre. Se estes 235 W/m^2 fossem o total recebido na Terra (168 W/m^2 pela superfície e 67 W/m^2 pela atmosfera), conforme Figura 3, então a temperatura de equilíbrio da superfície da Terra seria de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ (LASHOF, 1989). Isso não acontece porque a atmosfera da Terra absorve 452 W/m^2 dos 492 W/m^2 que vem da superfície da Terra. Já que 40 W/m^2 escapam para o espaço. A atmosfera entrega de volta para a superfície da Terra 324 W/m^2 que elevam à temperatura média da superfície em aproximadamente $+14 \text{ }^\circ\text{C}$ (LASHOF, 1989).

Este processo em que a energia fica retida na atmosfera para reaquecer a superfície da Terra é conhecido como o efeito estufa e é uma parte essencial do clima da Terra. Em condições de equilíbrio, a quantidade total de energia que entra no sistema pela radiação solar equilibrar-se-á exatamente com a quantidade de energia radiada ao espaço, permitindo à Terra manter uma temperatura média constante com o tempo.

Ainda usando como referência a Figura 3. A superfície da Terra emite 492 W/m^2 da seguinte forma. 24 W/m^2 por convecção, 78 W/m^2 por evapotranspiração e 390 por irradiação (350 W/m^2 para a atmosfera da Terra e 40 W/m^2 para o espaço). 350 W/m^2 é a quantidade de energia irradiada pela superfície da Terra que fica presa no ciclo do Efeito Estufa.

A Figura 4 é uma forma pormenorizada dos fluxos de energia entre o espaço, a atmosfera da Terra. Mostra de uma forma mais detalhada todo o processo de emissão e absorção de energia (NASA, 2006).

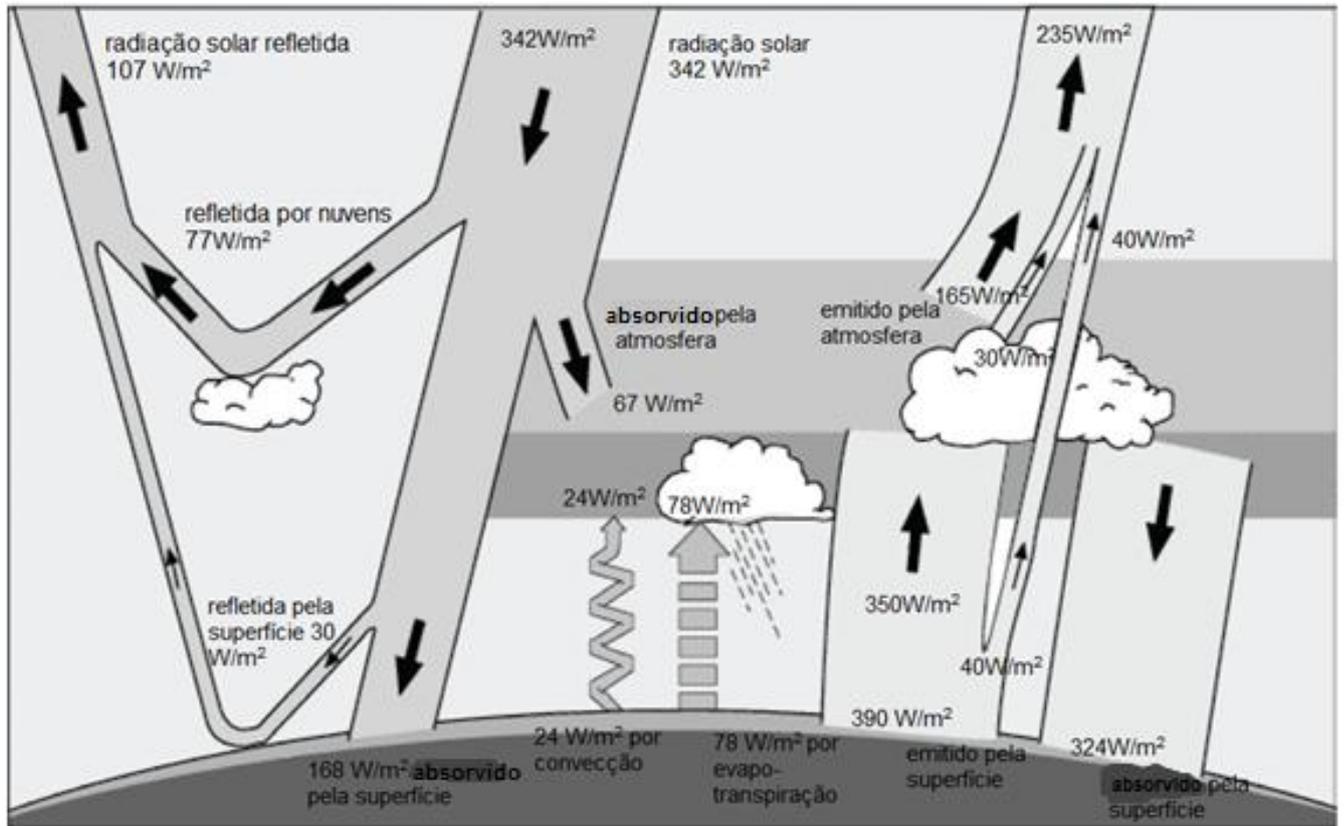


Figura 4- Esquema detalhado do processo de emissão e absorção de energia pela Terra. Os valores são referentes à Dezembro de 1996. Fonte: NASA, 2006.

O Balanço radioativo terrestre refere-se ao fato de que, durante períodos prolongados de tempo, a temperatura na Terra se manteve essencialmente constante. Isto significa um equilíbrio térmico entre a radiação que entra pela parte superior da atmosfera e a que sai. Os intercâmbios de energia expressam-se em Watt por metro quadrado (W/m^2). No entanto, medidas recentes indicam que a Terra está a absorver $0,85 \pm 0,15 \text{ W/m}^2$ mais que o que emite ao espaço (HANSEN, 2005). Este aumento está associado com o aquecimento global.

O objetivo até o momento tem sido mostrar como se distribui a radiação emitida pelo Sol na Terra, e como se configura a temperatura de nosso planeta de uma forma geral e natural, sem a intervenção de ilhas de calor.

A partir de agora irá se mostrar de uma forma mais detalhada a distribuição desta radiação.

O Sol é o responsável por toda a energia significativa que atinge a superfície da Terra. O Sol emite radiação de onda curta que atravessa a atmosfera quase sem problemas.

A Terra recebe energia do Sol, chegando na parte superior da atmosfera 1367 W/m^2 . Esta energia só é recebida pela parte da Terra que está em exposição direta ao Sol, embora toda a superfície terrestre emita esta energia.

Calculando a radiância da Terra (ver Figura 1), obtemos.

$1367 \cdot \pi \cdot R^2 / 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 341,75$ neste trabalho será arredondado para 342 como mostrado na Figura 4.

Pode ser visto então que devido a forma esférica da terra apenas $\frac{1}{4}$ desta energia é aproveitada, que equivale a 342 W/m^2 . Ela é distribuída desta forma: 77 W/m^2 é refletida pelas nuvens ou difundida pelo ar para o espaço e 30 W/m^2 é refletida para o espaço pela superfície terrestre. De modo que 107 W/m^2 perdem-se no espaço pelo albedo terrestre. O albedo terrestre é 0,313 de modo que se perdem no espaço $0,313$ multiplicado por 342, que é igual a 107 W/m^2 . ficando então $342 - 107 = 235 \text{ W/m}^2$, que é o ganho energético da Terra.

Em relação à radiação de onda curta (proveniente do Sol).

- Dos 342 W/m^2 de energia que foi absorvida do Sol têm-se: 107 W/m^2 são refletidos (77 W/m^2 refletidos por nuvens e 30 W/m^2 refletidos pela superfície terrestre);
- A atmosfera absorve 67 W/m^2 (o ar absorve 60 W/m^2 e as nuvens absorvem 7 W/m^2) desta forma restam 168 W/m^2 que são absorvidos pela superfície da Terra.

Em relação à radiação de onda longa (emitida pela Terra).

- Pela parte superior da atmosfera é irradiado 235 W/m^2 (165 W/m^2 pela atmosfera 30 W/m^2 por nuvens e 40 W/m^2 pelo solo). Como devido ao albedo já tinha sido refletido 107 W/m^2 da radiação de onda curta, então sai

100% da radiação que entrou no sistema Terra-atmosfera, que então não se aquece;

- A atmosfera absorve, 452 W/m^2 dos 492 W/m^2 que tinham vindo da superfície terrestre (350 W/m^2 irradiados, 78 W/m^2 por evaporação, 24 W/m^2 por convecção), (ver Figura 3), também absorve 67 W/m^2 de onda curta que tinham vindo do Sol totalizando 519 W/m^2 . Como se tem: 324 reabsorvidos pela superfície da Terra, 165 W/m^2 que escapam da atmosfera para o espaço e 30 W/m^2 que escapam das nuvens para o espaço, totalizando também 519 W/m^2 a atmosfera fica equilibrada;
- Na superfície terrestre perde-se em energia de onda longa 492 W/m^2 mas como a superfície terrestre ganha 492 W/m^2 (168 W/m^2 de onda curta e 324 W/m^2 irradiados pela atmosfera) fica também equilibrada.

A Terra, como todo corpo quente, emite radiação, mas devido sua temperatura ser muito menor que a do Sol, emite radiação na faixa infravermelha, com um comprimento de onda bem mais longo que o incidente, e que a de interação com os gases do efeito estufa da atmosfera. Mais de 75% do calor capturado pela atmosfera pode-se atribuir à ação dos gases do efeito estufa. A atmosfera transfere a energia recebida tanto para o espaço (37,5%) como para a superfície da Terra (62,5%); a quantidade transferida depende da estrutura e densidade da atmosfera. Ao receber, da atmosfera mais energia que a proveniente do Sol, a temperatura da superfície terrestre pode atingir em média $14 \text{ }^\circ\text{C}$ (HANSEN, 2005).

Em detalhes:

- A superfície da Terra por estar quente irradia à atmosfera 390 W/m^2 que é equivalente a 114 % se comparado radiação solar incidente;
- Deles 40 W/m^2 vão diretamente para o espaço (equivalente a 11,7% da radiação solar incidente);
- O resto 350 W/m^2 são absorvidos pela atmosfera;

- A Terra irradia para a atmosfera 23% da radiação solar incidente isto é 78 W/m^2 pela evaporação da água.
- A Terra irradia à atmosfera 7% da radiação solar incidente isto é 24 W/m^2 por convecção e turbulência do ar atmosférico. Sabemos que o ar em contacto com a superfície da Terra se aquece sofrendo dilatação perde densidade e sobe do mesmo modo o ar frio mais denso desce onde recebe calor da superfície da Terra completando assim o ciclo. Este fenómeno físico recebe o nome de convecção, havendo uma transferência de calor da Terra à atmosfera, veremos mais a diante que este processo é alterado por nuvens de gases poluentes em um processo chamado Inversão Térmica.

3 ILHA DE CALOR URBANA

3.1 Introdução

A grande semelhança das curvas de nível formadas pela topografia das ilhas marítimas com o campo formado pelo calor distribuído no centro das grandes cidades levou a designar tal nome para ilhas de calor urbanas. Elas têm suas curvas de nível afastando-se do centro como se fossem marcos topográficos que acabam gerando curvas fechadas.

Torna-se cada vez mais perceptível esta diferença quando se está saindo da cidade para o campo. Nota-se ao se deslocar para fora do perímetro urbano uma maior refrescância, gerando uma sensação de bem estar, isto é uma sensação de conforto térmico, pois às vezes o desconforto gerado pela ilha de calor dá a impressão que a temperatura naquele local é maior que a realmente medida.

Existem basicamente dois tipos de ilhas de calor; ilha de calor rural, nos campos decorrente da evapotranspiração e ilhas de calor urbano, que se formam nas grandes cidades. Este trabalho se detém apenas as ilhas de calor urbano. Que é o foco.

3.2 Estrutura

A estrutura de uma ilha de calor urbano é basicamente composta de concreto, devido a grandes aglomerados de edificações. A pavimentação em seu hipocentro é praticamente toda asfáltica, além de ter um péssimo sistema de drenagem, quando comparado com o sistema de drenagem natural do meio ambiente, que ocasiona acúmulo de água dentro das partes subterrâneas destes centros, no caso os esgotos, junto ao fato de ter pouca vegetação, quase nenhuma.

À medida que se afasta do centro tem uma melhora no conforto térmico. Maior quantidade de vegetação pode ser vista logo após a saída destes centros urbanos, associada a prédios mais baixos, casas com telhado, ruas calçamentadas. Em algumas cidades as casas fora dos hipocentros da cidade usam telhas de barro, como Fortaleza, Recife e outras.

Os materiais constituintes destes centros urbanos têm alto poder de absorção de radiação térmica proveniente do Sol concreto e asfalto, proporcionam uma temperatura bem maior que a normal. A água retida nos esgotos demora um pouco para perder calor, contribuindo em conjunto com a pouca circulação de ar, para elevação térmica noturna no local.

A maior parte das estruturas dos grandes centros urbanos consiste em estruturas de concreto, ver figura 8. Ele é à base estrutura de uma ilha de calor. Dá para fazer inclusive cálculos de superfície da ilha de calor urbana em que se desprezam outros materiais na sua constituição e a considerar como sendo um enorme bloco de concreto, tendo uma boa aproximação da realidade, já que o asfalto tem propriedades parecidas, e a área verde nestes pontos centrais das grandes cidades é insignificante. Na prática o que se tem é concreto como sendo a área predominante de contato com a radiação solar incidente nestas regiões.



Figura 5- Foto da cidade de New York. Um grande centro urbano tem sua estrutura praticamente toda feita de concreto. Fonte: NOSSA REVISTA, 2011.

3.3 Formação

As ilhas de calor urbanas são basicamente formações de climas artificiais dentro dos grandes centros urbanos, onde temos uma diferença de temperatura entre uma determinada região urbanizada e sua vizinhança pouco urbanizada. Sendo que a temperatura é sempre muito mais elevada dentro da ilha de calor do que em sua periferia pouco urbanizada, gerando com isso um desconforto térmico para quem está nela.

O fato de se ter pouco vento devido a grandes edificações, haja vista que a circulação de vento pelo corpo humano dissipa parte do calor gerado nas atividades físicas de nosso cotidiano como: caminhar, deslocar-se rapidamente andando de um ponto a outro, gera um aumento na atividade metabólica do corpo, conseqüentemente calor, daí a necessidade de vento. Fica então a sensação de se estar dentro de uma “estufa”.

Quando se caminha no asfalto, há uma troca de calor entre o asfalto e o corpo humano, gerando a sensação que os pés estão pisando em “brasas”. Junta-se tudo isso com o fato de que o ar contém menos oxigênio que o normal, devido a emissão de poluentes, obrigando os pulmões a bombear mais ar para obter a quantidade necessária de oxigênio para o corpo, aumentando também a atividade metabólica por este fator. Isto tudo, gera uma enorme fadiga e desconforto para seres humanos e animais, fato proveniente das ilhas de calor urbano.

As ilhas de calor se formam principalmente devido aos seguintes aspectos:

- Elevada capacidade de absorção de calor de superfícies urbanas como o asfalto, paredes de tijolo ou concreto, telhas de barro.
- Falta de áreas revestidas de vegetação, prejudicando o albedo, o poder refletor de determinada superfície e logo levando a uma maior absorção de calor;
- Impermeabilização dos solos pelo calçamento e desvio da água por bueiros e galerias, o que reduz o processo de evaporação.

- Concentração de edifícios, que interfere na circulação dos ventos;
- Poluição atmosférica que retém a radiação do calor;
- Utilização de energia pelos veículos de combustão interna, e pelas indústrias.

Devido a esses fatores, o ar atmosférico na cidade é mais quente que nas áreas próximas à mesma. Por exemplo, num campo de cultivo que se situa nas redondezas de uma grande cidade, há absorção de 75% de calor, enquanto no centro dessa cidade a absorção chega a significativos 98%!(LOMBARDO, 1985).

3.4 Influência

Ilhas de calor urbana influenciam principalmente na temperatura local mas também modificam o caminho natural dos ventos, tendo influência climática nas regiões de suas proximidades, normalmente devido a grandes edifícios em sua estrutura, que bloqueiam o caminho natural do vento.

Como se tem uma grande retenção de calor durante o dia, a temperatura local sobe significativamente durante o mesmo. Quando chega o período noturno, em que não há incidência de raios do Sol, o calor vai sendo liberado aos poucos. Em suma tem-se a seguinte situação: Durante o dia há uma sensação térmica mais intensa do que deveria ser, em virtude das estruturas urbanas que modificaram o meio ali construído; e durante a noite há uma demora na queda da temperatura devido à retenção de calor por corpos de pouco albedo, que vai sendo liberado aos poucos.

Para uma cidade de noite muito fria acaba sendo vantagem, já que se gerou um mecanismo de equilíbrio térmico, favorecendo a população durante a noite. Não se sabe a que ponto este benefício pode ser significativo se comparado aos transtornos decorrentes da alta sensação térmica durante o dia.

3.5 Mecanismos

Agora será abordado o problema da ilha de calor urbano com os conceitos que foram descritos nas seções anteriores deste trabalho e cálculos que foram feitos anteriormente.

Considerando agora as principais interferências causadas no ciclo de energia local que até então era equilibrado aparecerá interferências mais consideráveis em pelo menos três pontos:

Menor albedo no solo, que ocasiona uma maior irradiação pela superfície terrestre. Considerando a superfície de contato com o Sol de um grande centro urbano como sendo composta praticamente toda de concreto (o que é apenas uma aproximação, já que existem outros constituintes) e que o albedo médio do concreto é aproximadamente 0.22 e o albedo médio da grama aproximadamente 0.25 (Ver Tabela 1). A princípio os dois têm valores bem próximos o pode dar a falsa impressão que comportarão de forma semelhante o que não é verdade, a diferença esta na forma com que este calor é liberado, a grama o aproveitará na fotossíntese liberando esta energia em forma de calor lentamente enquanto que o concreto a libera rapidamente aumentando a temperatura local.

Menor albedo nas nuvens ocasiona uma maior quantidade de energia solar absorvida e uma maior temperatura, devido o fato da maior parcela contribuinte na temperatura da Terra ser proveniente do ciclo do efeito estufa entre a atmosfera e a superfície terrestre. Se as nuvens passam a refletir menos radiação solar vai ter um acúmulo de energia que será repassado para a superfície terrestre.

Menor circulação dos ventos ocasiona uma menor dissipação da energia irradiada pela superfície. Os ventos não circulam corretamente dentro das ilhas de calor urbano devido a prédios os bloqueiam, devido a esse fator, é que o ar quente não sai contribuindo também para o aumento da temperatura.

Estes fatores influenciam na temperatura, pois há uma quantidade de calor a mais no ciclo do efeito estufa. Há relatos do aumento de até 10 °C entre regiões muito urbanizadas e regiões mais nativas a poucos quilômetros uma da

outra (LOUREIRO,1993). Claro que este não é o único fator que influencia no aumento de temperatura na ilha de calor urbano, pois além da radiação solar a enorme quantidade de veículos automotores movidos a combustão que também irradiam calor.

Segundo estudos, a circulação intensa de automóveis pode gerar uma diferença de temperatura de até 4°C a mais do que a das áreas sem tráfego (MUNN, 1966). Ademais, os transportes urbanos constituem um dos mais expressivos fatores de emissão de poluentes que influenciarão na inversão térmica que será abordada mais adiante (ver figura 5).



Figura 6-Grande intensidade de automóveis em circulação provocando mudança na coloração do ar.
Fonte: CONEXÃO DA GEOGRAFIA, 2011.

Grande circulação de automóveis acaba acarretando, naquele local, uma grande liberação de gases que escurecem o ar (ver Figura 5).

Indústrias emitem gases na periferia de grandes centros urbanos contribuindo para o aumento da temperatura nestes locais (ver figura 6). Significativas quantidades de ar poluído, nas camadas mais baixas da atmosfera, são formadas devido a emissão de gases pesados de coloração escura, na maioria das vezes negra, diminuindo significativamente o albedo do ar atmosférico, proporcionando uma maior retenção de calor vindo do Sol.



Figura 7: Poluição emitida por indústrias contribui para processo de inversão térmica.
Fonte: CONEXÃO DA GEOGRAFIA, 2011.

A ilha de calor da cidade é mais facilmente detectável à noite, sobretudo quando o céu está límpido e o ar calmo. À noite, o calor armazenado durante o dia (através dos processos já descritos) vê-se liberado, contribuindo para o contraste térmico entre o centro da cidade e as circunvizinhanças. Podem ocorrer diferenças de até 5° C, ainda dentro da zona urbana (CHANDLER, 1965)

A substituição da vegetação por manta asfáltica e concreto (ver figura 7), faz com que a radiação solar não seja refletida ocasionando um aumento de temperatura, em grande parte durante o dia, (o asfalto pode chegar a 46°C em um dia de verão enquanto que a grama não ultrapassa os 32°C). A construção de prédios cria uma barreira para os ventos não deixando que o calor seja dissipado (LOMBARDO, 1985).

A Figura 7 mostra uma cobertura de asfalto sendo colocada, pode ser visto na mesma figura paredes de casas pintadas de branco que refletem muito bem os raios solares. O asfalto por ter cor bem escura absorve estes raios, aumentando a temperatura no ambiente.



Figura 8- Cobertura de asfalto sendo colocada no solo. Fonte: INFOESCOLA, 2011.

4 IMPACTOS E EFEITOS DAS ILHAS DE CALOR

4.1 Temperatura local

No capítulo anterior abordou-se um pouco sobre a influência na temperatura local causada pelas ilhas de calor urbano. Neste capítulo pretende-se tratar o problema relacionando a temperatura do centro, com a de áreas próximas que estão na periferia da ilha.

Pode-se notar que há uma diferença acentuada entre a temperatura da ilha de calor urbana se comparada com regiões em torno de suas proximidades, que é decorrente do acúmulo de energia irradiada pelo sol em uma pequena área que fará o que se chama de bolha térmica, devido ao fato deste calor estar bem concentrado em uma pequena região.

A Figura 9, meramente ilustrativa, mostra um pouco desta idéia.

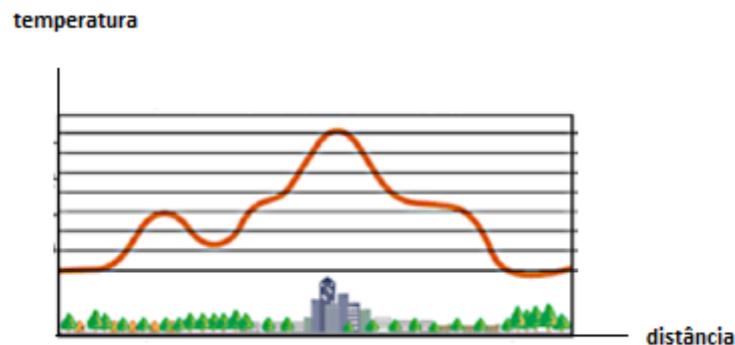


Figura 9- Ilustração da elevação da temperatura na ilha de calor. Adaptado de: MAURÍCIO ALCÂNTARA, 2011.

O fato é que a quantidade de energia térmica acumulada e retida nesta região é extremamente maior que em sua periferia, por fatores já mencionados. Juntamente com os poluentes industriais dispersos na baixa atmosfera e energia irradiada por automóveis poluentes de indústrias, eles tornam-se os principais

influentes, ou seja, geradores diretos das ilhas de calor urbanas os demais são basicamente conseqüência destes primeiros.

De forma simplificada, o ganho energético devido à radiação solar é maior que na periferia da ilha de calor urbano, conseqüentemente o calor irradiado também será maior, não tendo uma boa dissipação deste calor, como é o caso estudado na ilha de calor urbana. Teremos assim um acúmulo térmico no local. A má circulação do vento impede que o calor se espalhe pelas regiões próximas tendo-se concentrando em uma área bem pequena aumentando muito a temperatura neste local.

Outro fator bem significativo é a inversão térmica. O que deveria ser apenas um fenômeno natural que ocorre todo final de madrugada, acaba tendo influencia de fatores citados acima, como: carros e indústrias e não acontecendo normalmente. O normal é que o ar quente esteja em baixo e o ar frio em cima. Com a inversão térmica, esta ordem é trocada. Porém a inversão térmica está deixando de ser um fenômeno apenas natural e está ocorrendo de dia. Por que os gases poluentes não conseguem passar pela camada de ar frio que fica em baixo com a inversão e acabam criando uma nuvem de fumaça que causa aumento da temperatura.

Dentro da camada de inversão térmica, estará bem mais frio que o ambiente, portanto com uma densidade relativa maior que a do ar. Uma parcela desta camada sofrerá uma aceleração retardante e por isso tenderá a voltar para o seu nível de partida (que pode ser considerado seu nível de equilíbrio estático). É um caso de estabilidade estática.

De forma similar, uma parcela que se desloque para baixo, sem trocar calor com o ambiente externo (de forma adiabática), tenderá a se aquecer mais rapidamente que o ambiente (aquecimento adiabático), então sofrerá a ação de uma aceleração retardante que tenderá a colocá-la em seu nível original. Por essa razão parcelas de ar que entrem na camada de inversão térmica tendem a não ultrapassá-la (ver Figura 10).

Sobretudo devido a presença de ilhas de calor nas metrópoles, a inversão térmica de altitude funciona como uma tampa para os poluentes emitidos dentro da Camada Limite Planetária, que é a camada situada a partir da superfície apresentando uma zona de transição de fluxo turbulento perto da superfície para o fluxo sem atrito na atmosfera livre (SUTTON,1953), tem altura típica de 1 km, situa-se na baixa troposfera e assim sofre diretamente a influência da superfície. Somente a formação de uma nuvem de grande desenvolvimento vertical consegue liberar o ar poluído para os níveis superiores da atmosfera livre (média e alta troposfera).

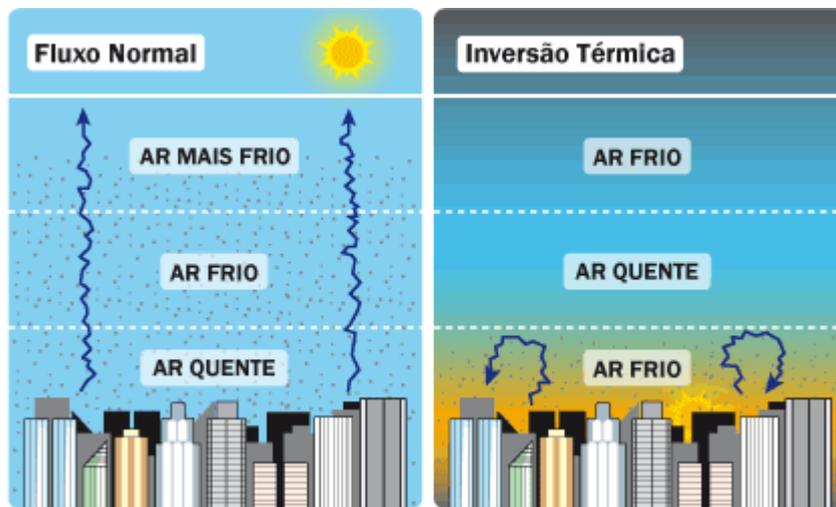


Figura 10- Processo da Inversão Térmica, como acontece com interferência da poluição. E como seria o normal. Fonte: PENSANDO GEOGRAFICAMENTE,2011.

Na inversão térmica, o gradiente da temperatura do ar segue um perfil aproximadamente adiabático tipicamente de $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, até determinada altitude onde há um aumento da temperatura em função da altitude. Essa inversão no gradiente de temperatura inviabiliza a formação da convecção natural entre essas camadas de ar. A partir de uma altitude um pouco maior, a gradiente de temperatura do ar volta a seguir a aproximação adiabática da atmosfera, que se estende até altitudes de 10 km. As inversões térmicas podem ocorrer em várias altitudes da atmosfera, contudo as mais preocupantes são as inversões em baixa altitude (100 a 300 metros) por sua capacidade de dificultar a dispersão dos poluentes gerados nos centros urbanos.

Fonte: WIKIPEDIA, 2011.

Pode-se observar na figura 11 um gráfico relacionando pressão e temperatura na inversão térmica. Nota-se que o ponto de inversão térmica na faixa de 10° C a 15° C, aproximadamente.

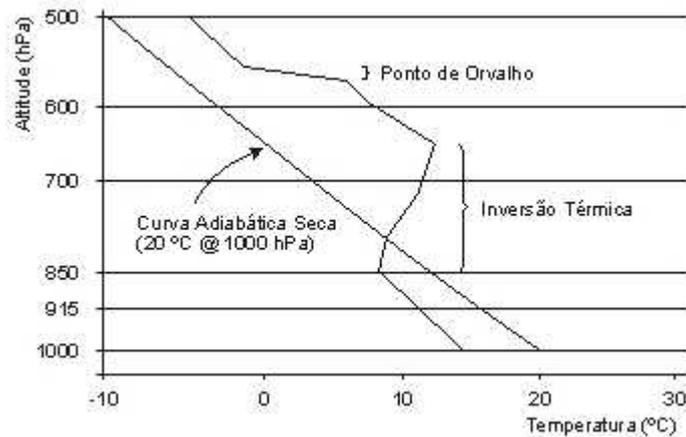


Figura 11- WIKIPEDIA,2011.

A figura 12 mostra dados colhidos da temperatura em diferentes horários dados em um determinado ponto. Pode-se verificar que o horário é um fator significativo na temperatura da ilha de calor, tendo seus máximos térmicos por volta das 16h00min e seus mínimos térmicos por volta das 06h00min. Este dado é apenas complementar e serve apenas para se ter uma idéia da significância na análise da ilha de calor de se levar em conta o horário já que ouve uma diferença media em torno de 10,00 Graus entre o horário de Maximo comparado com o de mínimo (SANTOS, 2009).

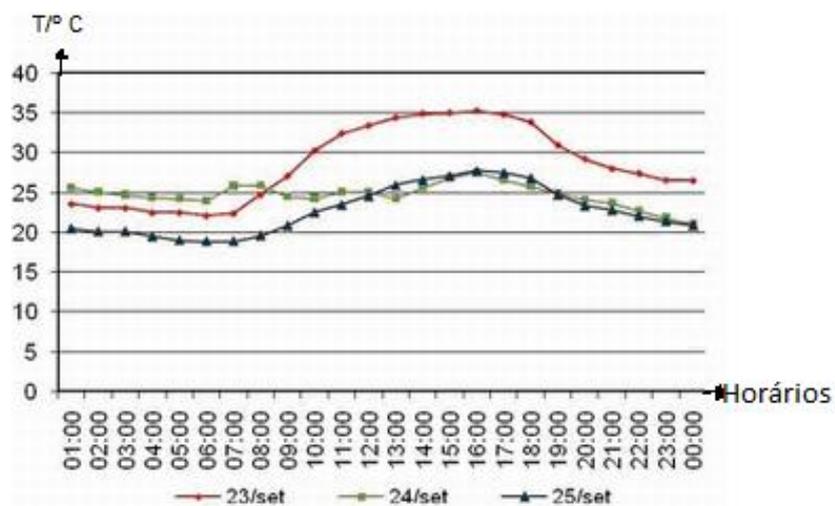


Figura-12 EPA-US/MOD, 2011.

4.2 ventos

Uma forma interessante de se analisar a intensidade da ilha de calor urbano dentro das cidades através da visão que o indivíduo tem do céu. Dependendo principalmente das edificações que foram construídas em seu redor, tem-se uma circulação de ventos prejudicada, o que acontece nos grandes centros, e que é mais intensa no aglomerado de prédios que formam o ponto mais crítico da ilha de calor urbano. Mostrando uma forte relação entre a altura e quantidade dos edifícios edificados com a temperatura muito mais elevada que se configura nestes locais (RIBEIRO, 2008).

A Figura 13 mostra uma forma característica de se obter a idéia usando uma lente olho de peixe de uma máquina fotográfica. Olhando de uma avenida central de um grande centro urbano tem-se a visão do céu semelhante a olhar para cima. A visão é capaz de dar uma idéia do amontoado de prédios que existem ao redor, dificultando a passagem do vento e proporcionando um desconforto térmico causado por este fator, tendo influência direta no clima local.



Figura 13-Visão de uma lente fotográfica olho de peixe. Fonte: RIBEIRO,2008.

Na figura 14 são mostradas curvas de nível características de uma ilha de calor urbano, os valores ao lado dos quadros indicativos estão em °C (RIBEIRO, 2008), quando se dispõe a fazer um estudo das diferenças térmicas causadas por

aglomerados de prédios em grandes centros urbanos, que praticamente descrevem o comportamento de uma ilha de calor urbano em seu centro. Ele mostra que a circulação dos ventos é um fator de altíssima influência no clima dentro da ilha de calor, associado com a absorção térmica de energia irradiada pelo sol e acúmulo térmico em estruturas de alto coeficiente térmico como: asfalto e concreto. Torna-se pratica mais acentuada, em termos de conforto térmico, o fator má circulação dos ventos, devido não haver dissipação térmica suficiente para compensar o acúmulo local de calor.



Figura 14-Altas edificações concentradas em um local aumento de temperatura em sua região, podeseer notado variação crescente em relação a área branca.Adaptada de: RIBEIRO,2008.

Este problema acontece da seguinte maneira. O aquecimento dentro da ilha de calor urbano produz diferentes campos de pressão, provocando uma ventilação própria que pode alterar o movimento de ar regional. Uma circulação de ar típica faz com que a cidade pareça uma ilha quente rodeado por uma periferia mais fria (ver figura 15).

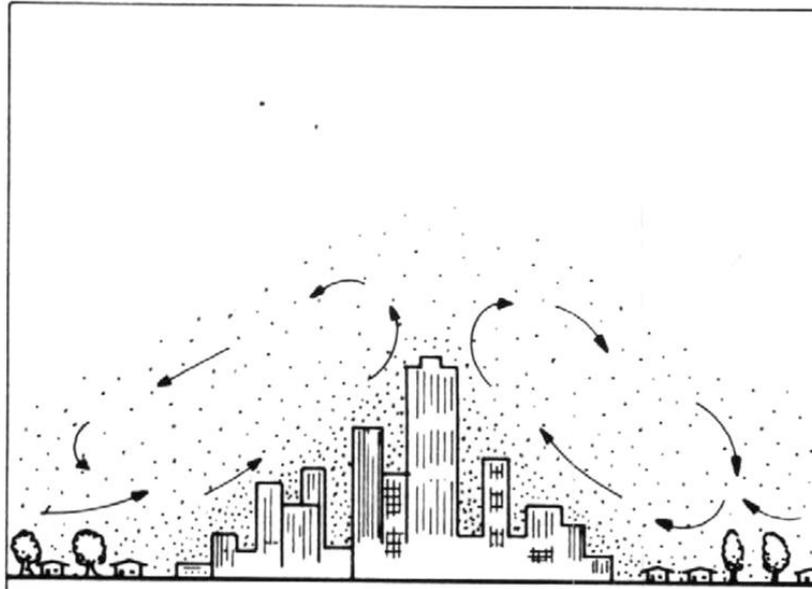


Figura 15-Circulação da ilha de calor urbana. Fonte: DIOGO,1995.

4.3 Microclima

O fato de se ter um clima bem diferente dentro da ilha de calor do das regiões próximas nos leva a defini-lo agora com um novo nome: microclima.

Microclima Urbano é uma área relativamente pequena cujas condições atmosféricas diferem da zona exterior. O fato é decorrente da urbanização, que alterou uma pequena região transformando o clima da mesma. Ficando a região deslocada das características de sua vizinhança.

A Figura 16 mostra a forma de circulação dos ventos, que tem forte influência no clima, e como tem seu curso modificado ao passarem em uma ilha de calor urbana. Trata-se de uma mudança em seu comportamento, contribuindo para a formação do microclima.

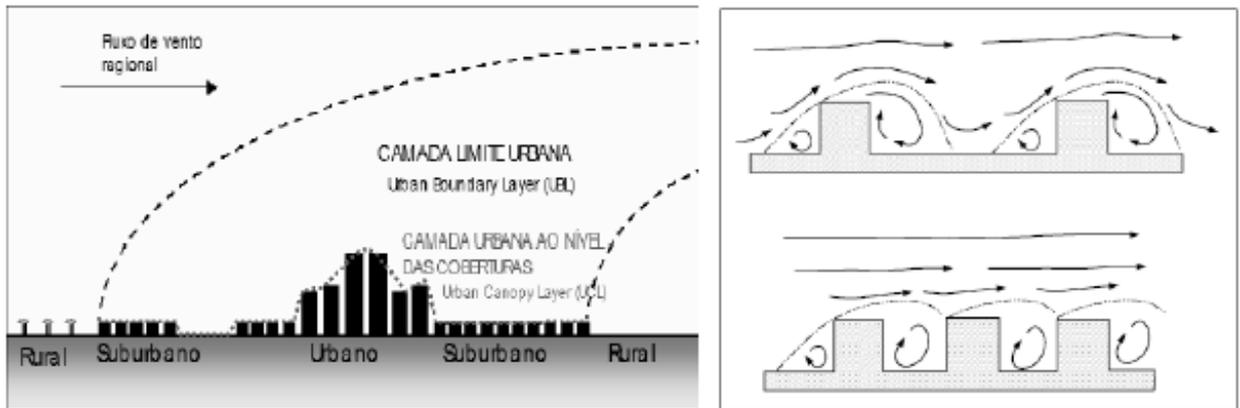


Figura 16- Má dissipação de calor devido a aglomerados de prédios impedindo a circulação dos ventos. Fonte: UFSCAR, 2011.

Uma consequência na formação do microclima é que gera vários prejuízos, por exemplo, em São Paulo são as violentas tempestades de verão, causando inundações e mortes. Isso ocorre porque a radiação do solo durante todo o dia quente cria sobre a cidade uma "ilha de calor". Como São Paulo está próximo do oceano, no final da tarde a brisa marítima entra em contato com o ar quente acumulado durante o dia, provocando as tempestades (LOMBARDO, 1985).

A verdade é que grandes edificações praticamente isolam o local dos outros ao seu redor, impossibilitando uma melhor interação climática ocasionando os tais microclimas urbanos decorrentes deste isolamento local (ver figura 17).



Figura 17-Prédios impedindo a circulação do vento. Fonte: BRASILESCOLA, 2011.

5 ILHAS DE CALOR NO MUNDO

5.1 Principais ilhas e estatística

Com o crescimento dos grandes centros populacionais, migrações do interior para a capital industrializada e aumento acentuado da população, gerou-se condições propícias para a formação de comunidades com índices demográficos altíssimos em quase todos os países industrializados do mundo. Estes centros geraram outros centros dentro deles mais densos ainda, que são os formadores das ilhas de calor urbanas do mundo.

A necessidade de conseguir instalar o maior número possível de pontos comerciais, lojas, indústrias, coisas do gênero em um espaço muito pequeno levou a formação de estruturas de habitação vertical em larga escala. O que se vê são enormes arranhásseis amontoados bem próximos uns dos outros.

Há então uma mudança completa na estrutura deste local, diferenciando suas condições atuais das encontradas ali anteriormente. Esta alteração feita pelo homem criou o produto de nosso estudo: a ilha de calor urbana. Este não é fato isolado de uma região ou clima, é sim uma característica mundial que vem aos poucos mudando a estrutura de muitos lugares no mundo, obrigando os indivíduos a mudarem seus hábitos de vida devido a condições climáticas e ambientais diferentes, causadas pelas modificações no meio.

Uma revista de grande circulação publicou que:

O efeito estufa como fenômeno global pode estar sendo tratado de forma um tanto exagerada. De fato a Temperatura da Terra aumentou 0,7° C nos últimos 100 anos. Essa mudança, no entanto, não é homogênea. As grandes cidades apresentam hoje temperaturas mais elevadas, e tendem a se aquecer ainda mais. Outras regiões, porém registram baixas em seus termômetros. E o caso da Ilha de Ouessant, no noroeste da França. Por não sofrer os efeitos da urbanização a temperatura diminuiu 0,4° C nos últimos dez anos, enquanto em Paris houve um aumento de 1,5° C. Isto significa

que o efeito estufa pode estar ocorrendo apenas nos centros urbanos
 Fonte: GISELA, 1992.

A ilha de calor urbano tem forte influencia local, mas podem em longo prazo, se continuarem crescendo nesta projeção global atual, modificar o clima do planeta como um todo.

Não se pode considerar as ilhas de calor urbana como os únicos motivos para o aumento na temperatura mundial, pois existem outras visões do problema, como a possibilidade de que o Sol estaria emitindo mais radiação para o nosso planeta (MAITELLI, 2010). Este assunto não será discutido aqui, pois foge do alcance deste trabalho.

Seguem abaixo as figuras: 18, 19 e 20 que mostram o aumento da temperatura na superfície do nosso planeta considerando que os aumentos significativos e bem acentuados apareceram justamente com o aumento dos grandes centros urbanos; a expansão acelerada da industrialização e formação maciça das ilhas de calor urbano nos grandes centros mundiais, gera a idéia de que há uma correlação entre os dois fatos.

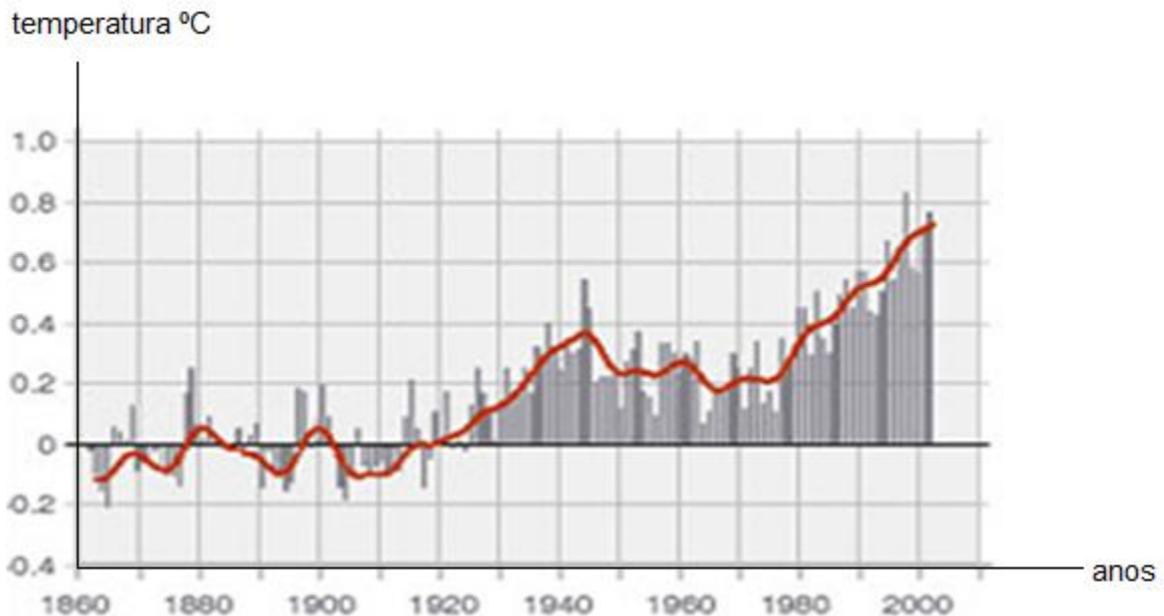


Figura 18- Variação da temperatura global da Terra perto da superfície entre 1860 e 2000. em graus Celcius. Adaptada de: IPCC, 2011.



Figura 19-Variação na superfície da Terra nos últimos 1000 anos em graus Celsius.

Fonte: IPCC, 2011.

Na figura 20 observou-se um mapa mundial com as variações de temperatura no período entre 4 e 11 de Julho de 2010, comparadas com os dados de temperatura do período 2000 a 2008. Tais anomalias se baseiam na temperatura da superfície da Terra pelo sensor a bordo do satélite Terra, da NASA.

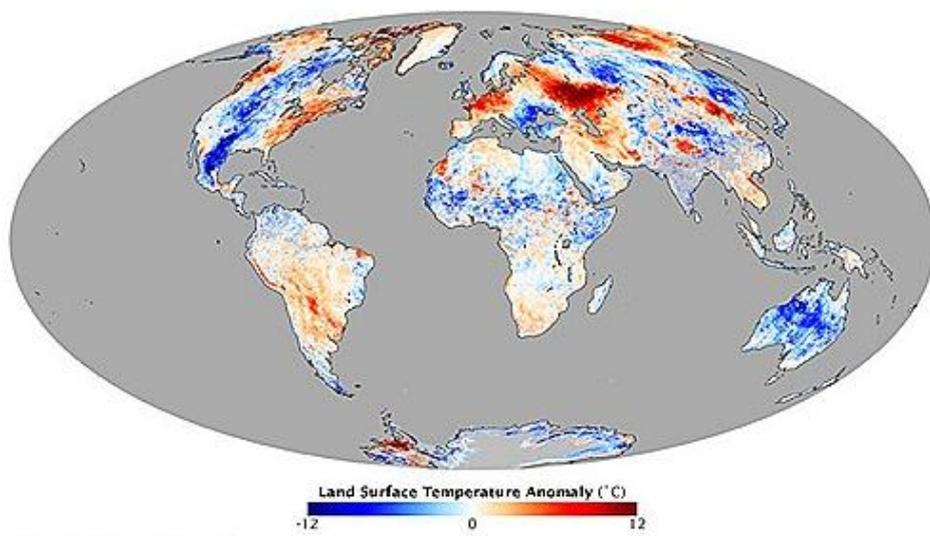


Figura 20-NASA,2011.

Na Figura 20, em seus pontos mais críticos de variação de temperatura, apresenta-se evidências de variações bruscas nas temperaturas de grandes centros urbanos no mundo como: Estados Unidos e parte mais industrializada da Europa.

Abaixo na Figura 21 mostram-se variações térmicas acentuadas, agora no período de maio de 2008. Observem-se variações na superfície dos Estados Unidos praticamente por todo seu território.

Na Europa, há altíssimas variações, enquanto que na África praticamente é constante em termos de variação térmica.

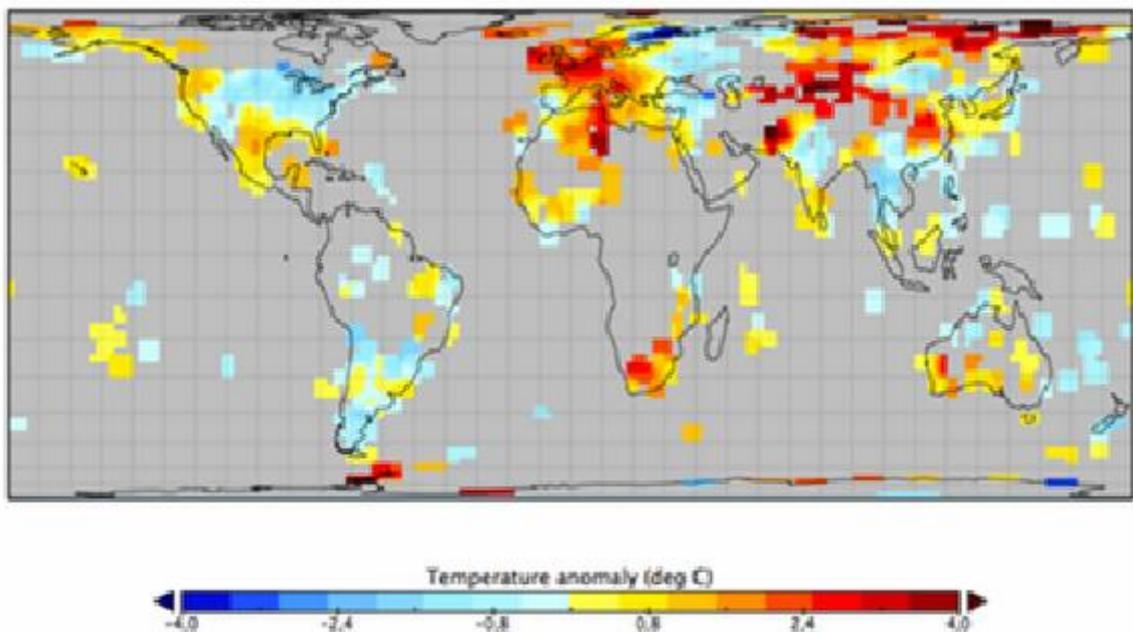


Figura 21- NASA,2011.

São exemplos de cidades onde se formaram grandes ilhas de calor no mundo, New York, Tóquio e Calcutá, com variações nas médias de suas temperaturas bem parecidas (ver Figuras: 22,23 e 24), embora estejam em pontos bem distantes na superfície terrestre.

Para que não fique a impressão que esta média de aquecimento é a mesma em toda superfície do planeta, são mostrados os gráficos das cidades de, Pudahuel e Puerto Mount (ver Figuras: 25 e 26), que tiveram uma queda em suas

médias em certas épocas em que as de New York, Tóquio e Calcutá estavam com médias crescentes e parecidas.

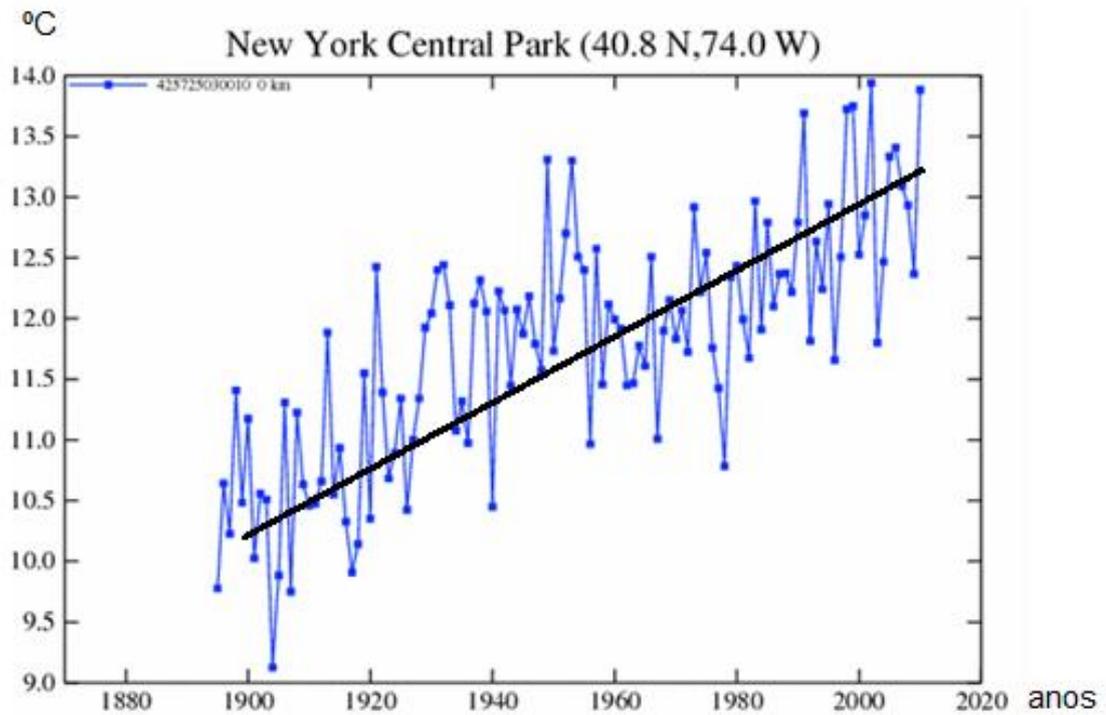


Figura 22-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de New York de 1900 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

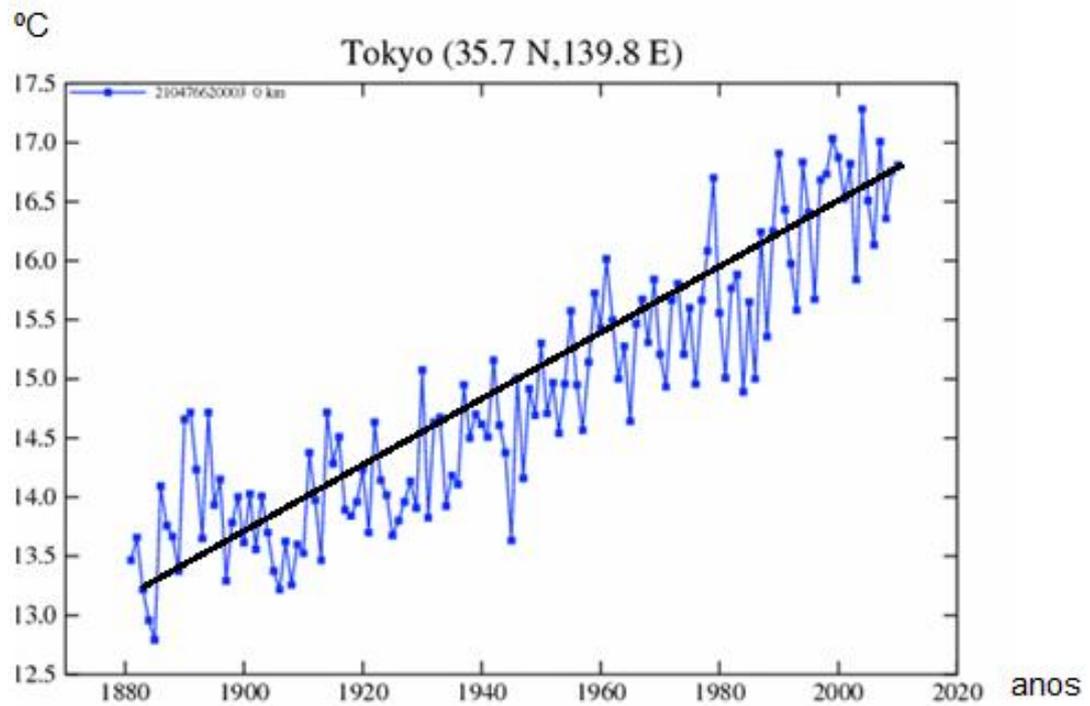


Figura 23- Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Tóquio de 1880 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

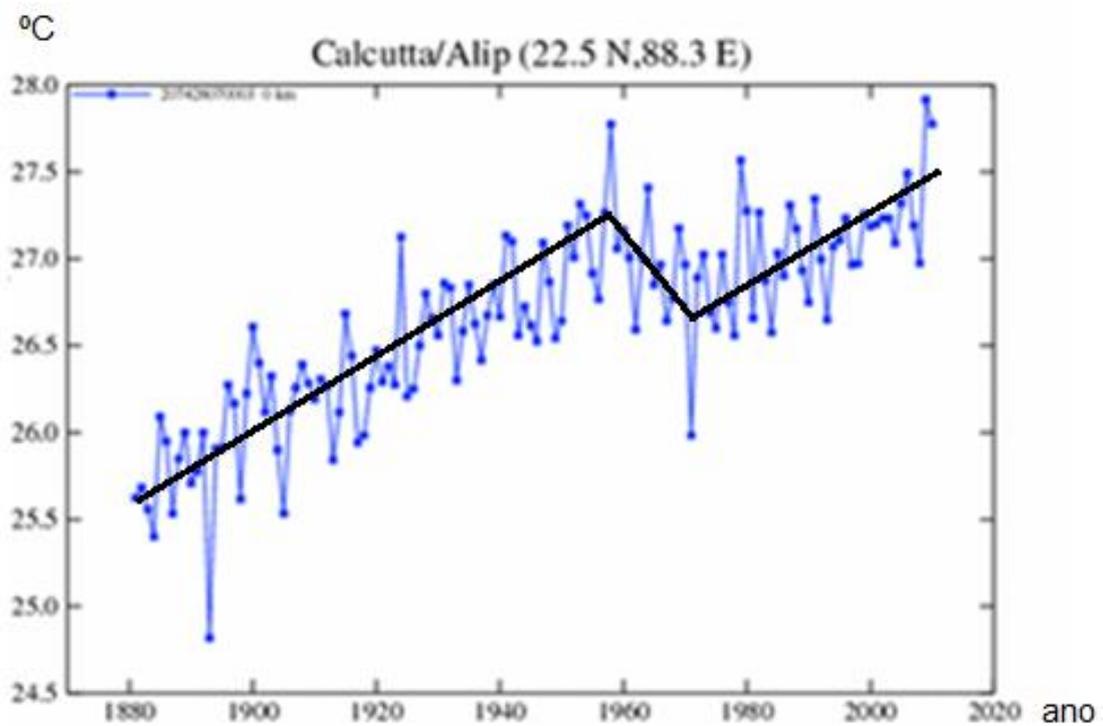


Figura 24-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Calcutá de 1880 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

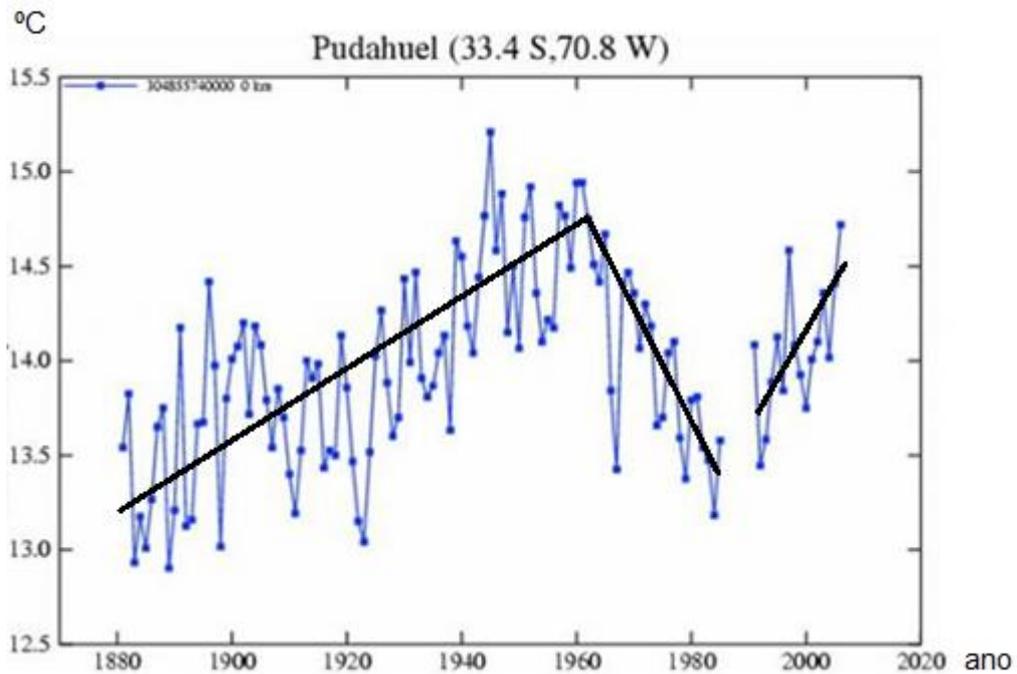


Figura 25- Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Pudahuel de 1880 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

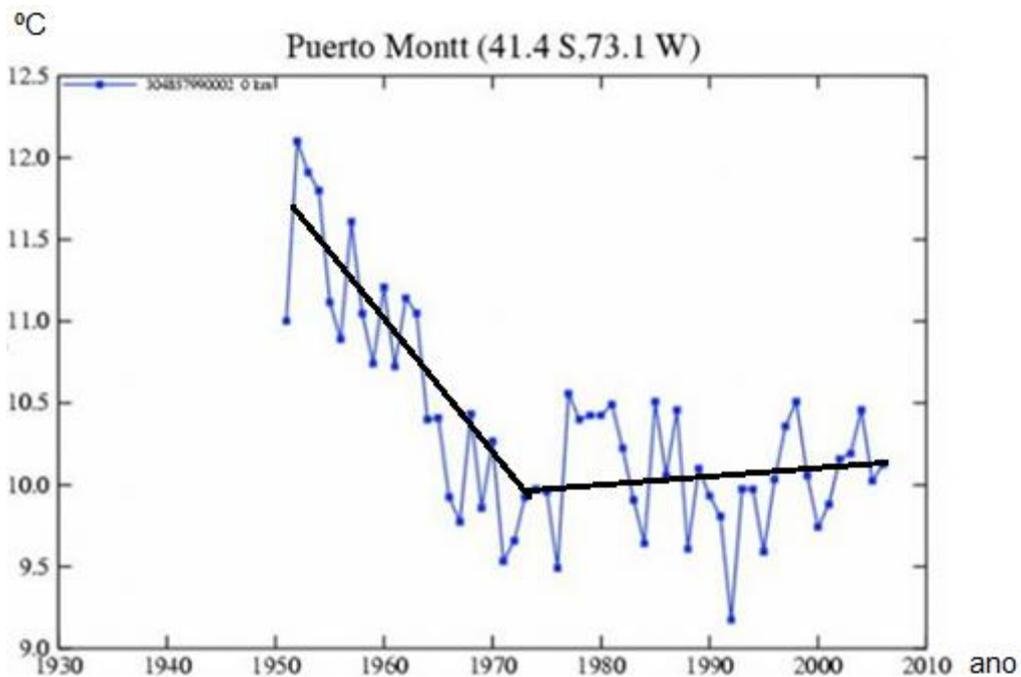


Figura 26-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Puerto Montt de 1950 a 2009. Adaptada de: NASA, 2011.

Pode ser visto que o aquecimento da superfície da Terra não é uniforme, com uma elevação das médias de temperatura justamente nos locais onde existem ilhas de calor urbanas.

5.2 Ilhas de calor urbanas na América do Sul

A América do Sul apresenta um comportamento semelhante a o que foi visto a nível global, com aumento nas médias anuais de temperatura nas grandes capitais, enquanto que nas cidades menos desenvolvidas não apareceram elevações significativas nestas médias. A superfície do continente citado então não aquece em todos os pontos da mesma forma, tendo maiores temperaturas nos grandes centros urbanos. Como exemplo das maiores médias Buenos Aires (ver Figura 27) e Quito, já Caracas (ver Figura 29) tem suas médias totalmente diferentes das duas anteriores.

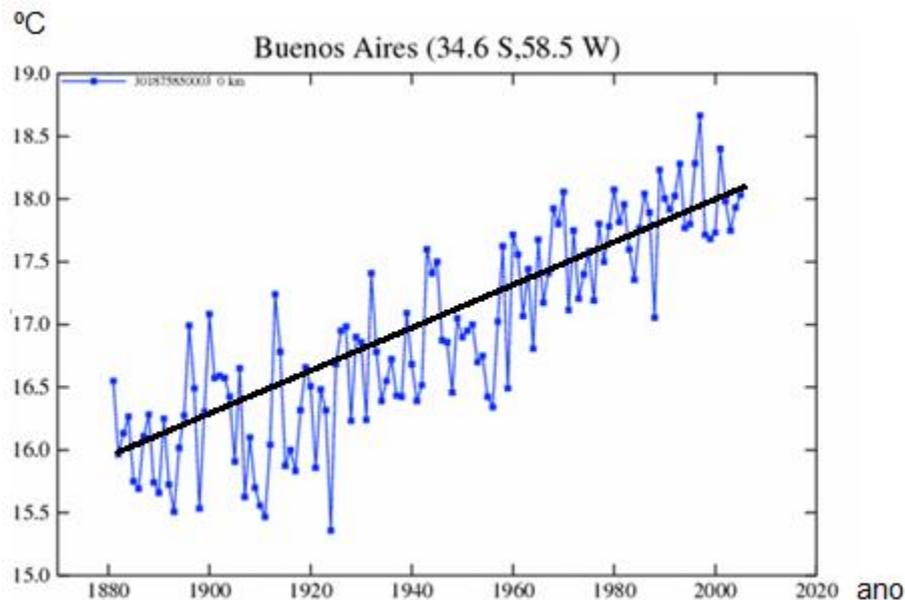


Figura 27- Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Buenos Aires de 1900 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

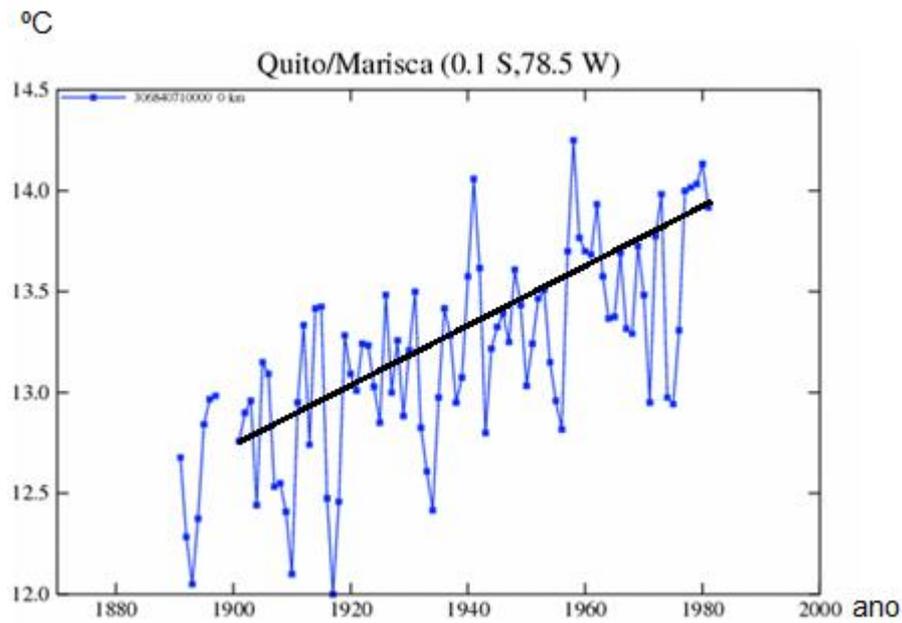


Figura 28-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Quito de 1890 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

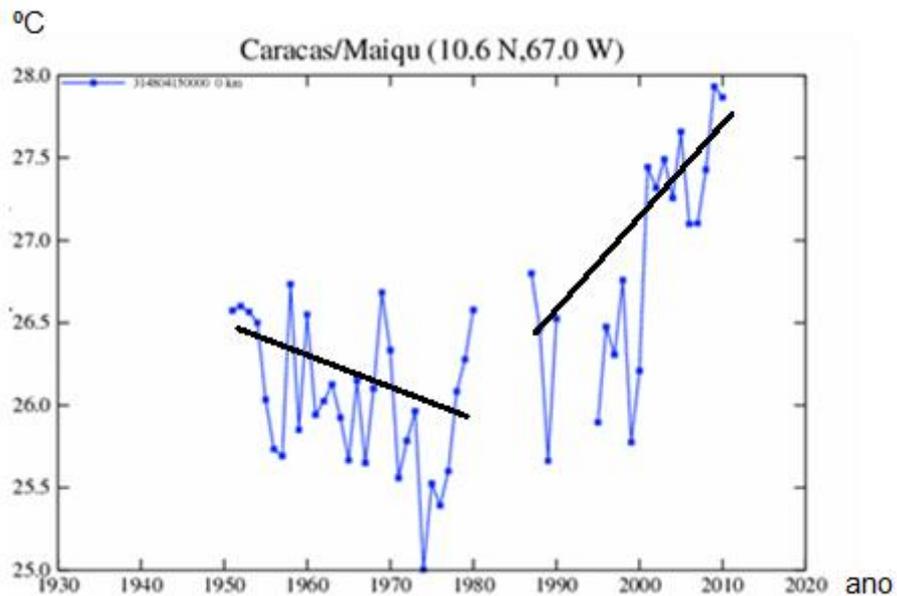


Figura 29- Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Caracas de 1900 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

Notam-se nas figuras da America do Sul dados que não se assemelham bem com os das figuras citadas a nível mundial. Isto deve-se ao fato das ilhas de calor urbana que estão nesta região ser menores, em geral, que as vistas nas grandes cidades mundo.

Pode ser visto que os gráficos de Caracas e a Quito não se assemelham com o de Buenos Aires que é mais parecido com o de Nova York e Tóquio. Isso deve-se ao fato das duas primeiras cidades citadas terem seus centros urbanos menos desenvolvidos que a terceira. O aumento na temperatura então não é devido há uma influência global, e sim ligado a estrutura das construções destes centros, mais densos populacionalmente, com prédios mais altos e áreas mais urbanizadas, além de outros fatores típicos, já citados, de um grande centro urbano, tornando o local propício a formação da ilha de calor urbana.

5.3 Ilhas de calor urbanas no Brasil

No caso do estudo da ilha de calor urbana, em nível nacional, observa-se o exemplo da cidade de Juiz de Fora (ver Figura 30), que possui um centro muito denso e verticalizado com prédios colados próximos uns dos outros e sem áreas verdes, isso faz com que esse fenômeno das ilhas de calor seja mais intenso. Esse calor todo que se acumula gera uma onda de baixa pressão, atraindo nuvens carregadas para a região central da cidade. Dependendo do lugar que se estiver na cidade dá pra ver nuvens de coloração escura como se estivesse caindo uma grande tempestade. Fora dessa região mais central o céu permanece limpo, como visto na Figura 28. Sua causa foi descrita na seção 4.1 quando foi tratado o fenômeno da inversão térmica.



Figura 30-Cidade de Juiz de Fora coberta por uma nuvem escura. Fonte: ADRIANO, 2011.

Atentando para os gráficos desta seção (ver figuras: 31,32,33,34) é possível notar que **o aquecimento nas regiões do Brasil não teve início no mesmo momento**. São Paulo apresenta aquecimento por volta de 1950 (ver Figura 32), nesta época ainda não era significativa a quantidade de automóveis em circulação segundo estatísticas (HACKBART, 2009). Já o Rio de Janeiro teve o início de sua elevação de temperatura por volta de 1940 que permaneceu tendo uma elevação constante a partir daí (ver Figura 33). Mas se for comparado com o gráfico de Curitiba (Figura 31) que está em uma região próxima de São Paulo e Rio de Janeiro, pode ser visto que estas cidades não obedecem uma regularidade pois só teve início sua elevação de temperatura por volta de 1960 (ver Figura 31).

Fica então evidente que este fato não pode ser causado pelo mesmo motivo, no caso o aquecimento da Terra de forma geral, e sim devido ao processo de urbanização destas cidades. A expansão urbana se deu de forma e em momentos diferentes nestas três grandes cidades. São Paulo teve iniciada

sua estrutura de grande centro urbano justamente no mesmo período da elevação da temperatura.No Rio de Janeiro aconteceu a mesma coisa e ainda com outro problema,a topografia da cidade, que acabou impedindo o crescimento horizontal, devido a encontrar-se entre a Serra Geral e o mar, o que obriga a um crescimento vertical propiciando as condições para a formação da ilha de calor urbana.

Se as causas das mudanças nas médias anuais de temperatura fossem decorrentes somente do aquecimento global, elas teriam que ter acontecido na mesma época, o que não ocorreu. Uma forte evidência pode ser vista analisando o gráfico das médias anuais de temperatura da cidade de Porto Alegre (ver Figura 34). A Cidade de Poerto Alegre manteve sua temperatura praticamente constante, o que reforça a teoria de que a influência do aquecimento global não foi significativamente forte para ocasionar mudanças bruscas nas temperaturas das cidades. O caso é que Porto Alegre tem uma dosagem entre a área verde e as contruções urbanas, ouve então uma atenuação dos efeitos causados pela urbanização naquele local. (HACKBART, 2009).

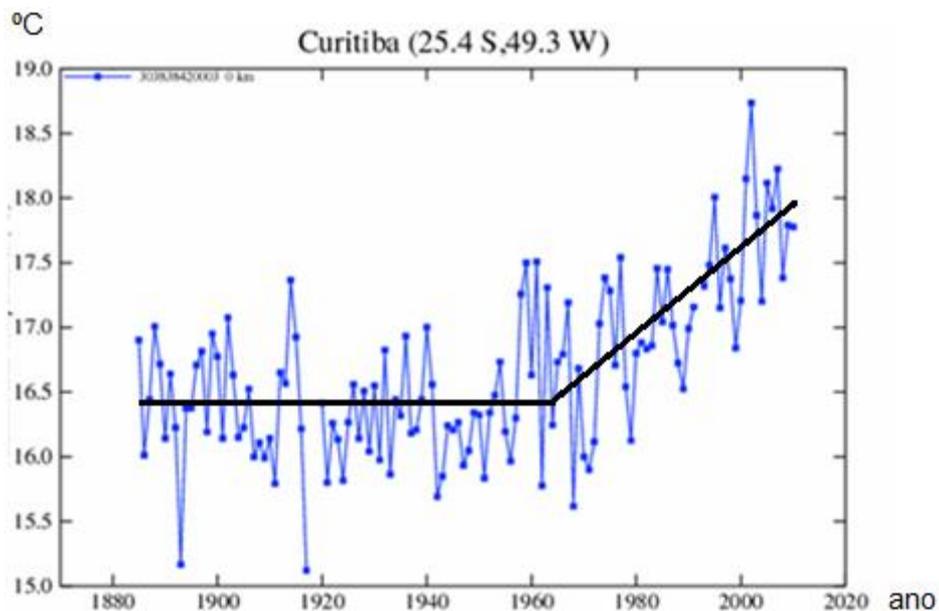


Figura 31-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Curitiba de 1880 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

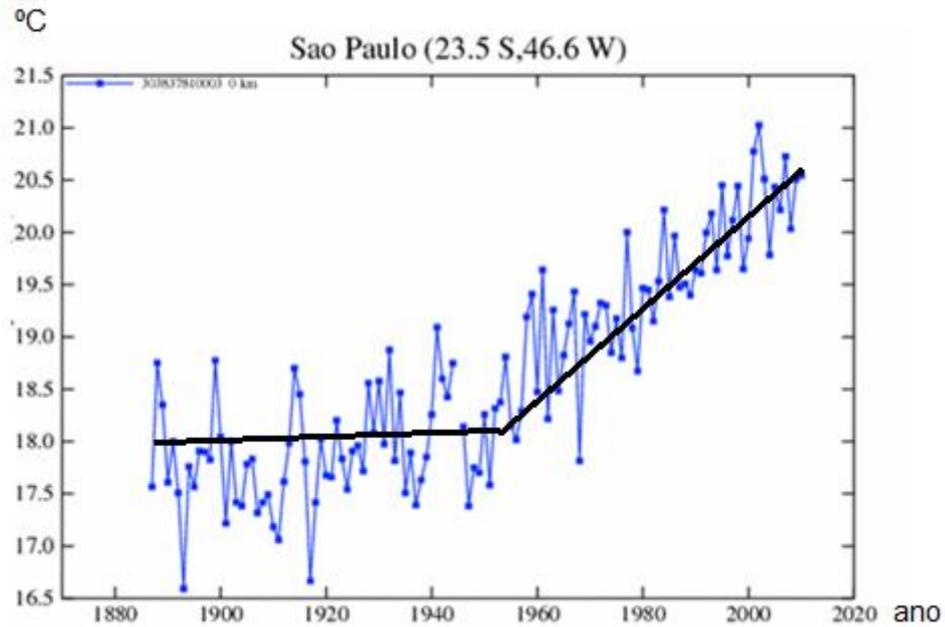


Figura 32-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de São Paulo de 1885 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

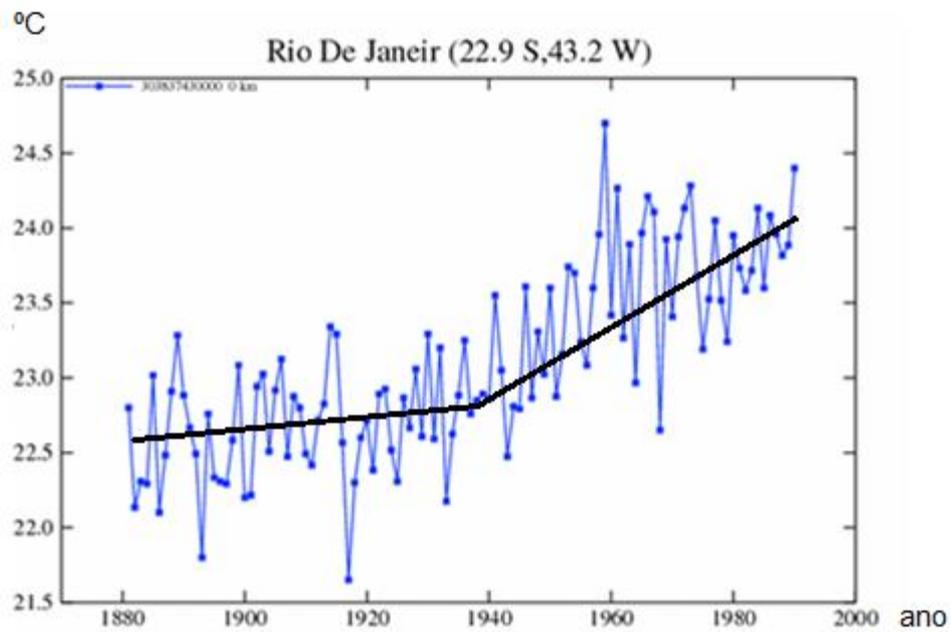


Figura 33- Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade do Rio de Janeiro de 1880 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

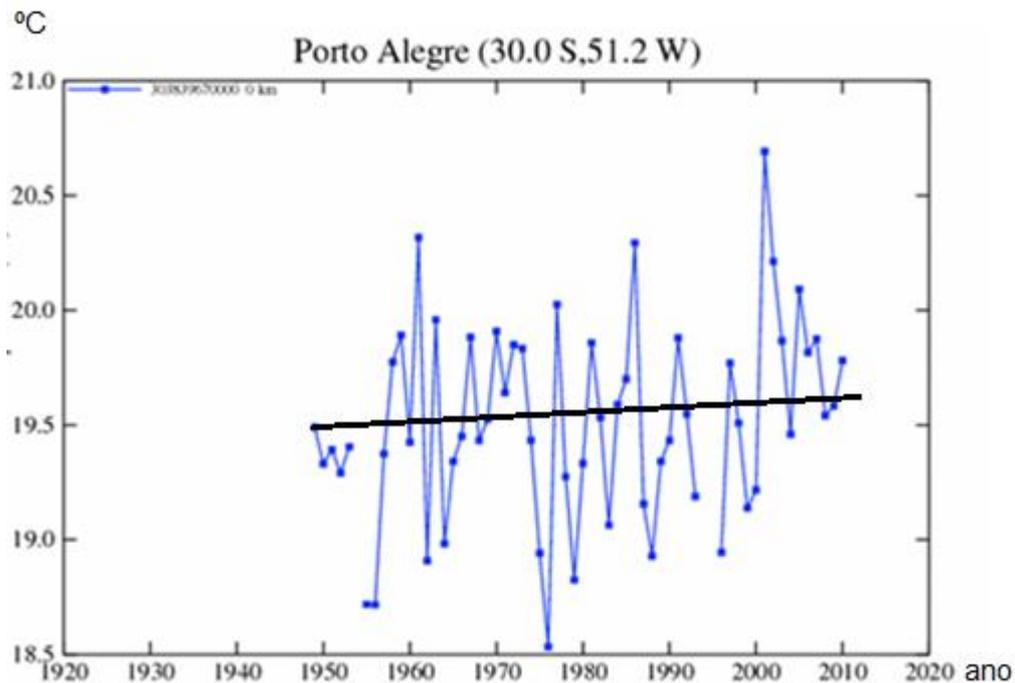


Figura 34-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Porto Alegre de 1960 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

5.4 Ilhas de calor urbanas no Ceará

Na literatura encontra-se um estudo realizado pelo arquiteto Amando Candeira Costa Filho, mestrando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), que se trata de uma pesquisa sobre a arquitetura climática em Fortaleza. Ela é intitulada “Adequação Bioclimática dos Espaços Urbanos Abertos do Centro de Fortaleza”. Nela Amando Candeira mapeou 14 pontos no Centro da cidade, de diferentes características morfológicas, para monitorar as temperaturas. A medição, por meio de um aparelho datalogger, e foi feita três vezes ao dia, desde agosto do ano 2008. A variação de temperatura, num mesmo horário, em pontos diferentes do Centro, chegou a até dois graus Celsius a mais que a média dos outros pontos. Quanto mais asfalto, concreto, solo exposto, e menos presença de vegetação, maior é a temperatura (COSTA FILHO 2009).

As temperaturas mais altas foram registradas, especialmente, na Praça José de Alencar. "Um indicativo seria pela padronização das edificações (com a

mesma altura, formando paredes) que rondam a praça, a pouca cobertura vegetal e o alto índice de pavimentação do solo", explica o arquiteto. Já as temperaturas mais baixas foram registradas na Praça dos Leões. "Pela maior cobertura vegetal, topografia acidentada (nível mais alto) e também pela localização dos prédios vizinhos", conta o arquiteto. Entre as medições feitas pelo mesmo, a temperatura mais baixa registrada é de cerca de 26 graus Celsius, entre sete e oito horas da manhã, e a mais alta em torno de 33 graus Celsius, entre 13 e 14 horas da tarde (COSTA FILHO, 2009).

A ilha de calor formada na região de fortaleza teve um crescimento modesto ao longo das últimas décadas.

Na Figura 35 é mostrado médias anuais das temperaturas de Fortaleza desde 1950 até 2010, o que deixa claro que Fortaleza não é uma ilha de calor urbana tão bem caracterizada como Nova York, Tóquio e São Paulo apresentando uma variação térmica bem mais amena.

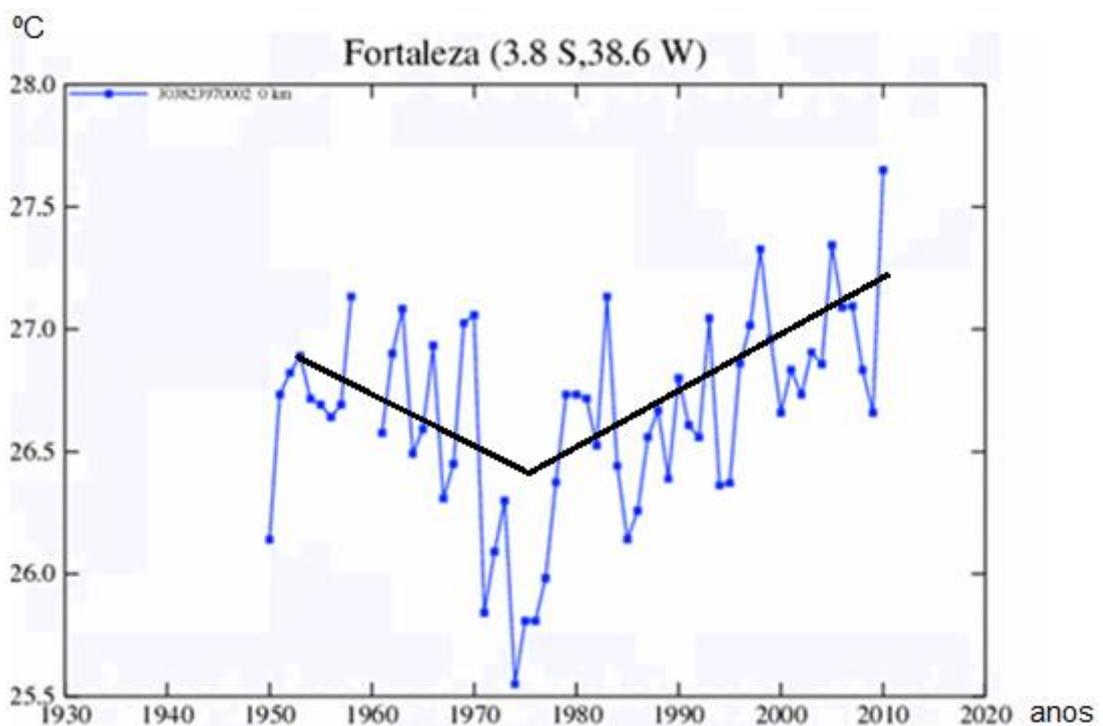


Figura 35-Médias anuais de temperatura, em graus Celsius, na cidade de Fortaleza de 1950 a 2010. Adaptada de: NASA, 2011.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo estudar a importância das ilhas de calor urbana, como consequência direta da urbanização das cidades.

Abordou a problemática de uma forma estrutural e científica, com uma linguagem simples e sem requerer conhecimento matemático apurado em sua compreensão. No entanto foi mostrada uma série de fatores que tem influência direta na formação da ilha de calor e algumas consequências diretas e decorrentes. Cabe, no entanto à sociedade desenvolver projetos para resolver o problema aqui exposto. Para melhorar a qualidade de vida das pessoas, não adianta só criar facilidades e mecanismos mais ágeis de interação pois é preciso pensar também nas condições de subsistência da vida conseqüentemente subsistência do meio físico.

Tem que ser levado em consideração na hora de projetar uma cidade, se ela dará condições aceitáveis para as pessoas que vão habitar ali, mesmo que seja um centro comercial e as pessoas não morem no local, mas passam uma boa parte do dia e de suas vidas nele.

Considerar que a circulação de ar é uma das mais importantes análises a serem feitas na hora de se projetar uma cidade. Prédios não podem estar muito pertos um do outro. Não devem ser enfileirados, afim de não formar barreiras para o vento, também não é bom que sejam exageradamente altos, pois atrapalham as correntes de ar e as desviam modificando a circulação de ar, deve-se ainda levar em conta a proximidade entre eles, não colocá-los agrupados, já que estas condições geram uma base aerodinâmica para as ilhas de calor urbanas.

Tem que ser levado em conta por projetistas urbanos o fator do albedo, pois como foi visto, é de fundamental importância por estar diretamente ligado a absorção térmica e posterior irradiação térmica daquele lugar. Uma maior absorção, por consequência, gerará uma maior irradiação. Que acaba interferindo no ciclo do efeito estufa naquele local, pois acarreta uma maior quantidade de energia presa a este ciclo, fazendo com que esta energia térmica a mais seja irradiada e absorvida varias vezes, mantendo uma elevação térmica naquele local, em consequência deste fator.

Uma boa solução seria usar estruturas com uma melhor reflexão das ondas eletromagnéticas irradiadas pelo Sol, com um albedo mais elevado que o encontrado nos prédios. Uma boa solução, por exemplo, é o recapeamento das superfícies por películas ou camadas lisas e de cor clara, pois são favoráveis a esta situação.

Outro fator citado que não pode ser desconsiderado é o efeito das ilhas de calor em nível global. O crescente aumento destes focos, pontos de temperatura acima do normal do local, tende a proporcionar um efeito generalizado na temperatura da Terra, há uma constante necessidade de focar estudos e trabalhos a fim de obter melhor acomodamento das estruturas dos centros urbanos a fim de não prejudicar a temperatura e o clima mundial!

Por fim, falando de Fortaleza, que ainda não é uma ilha de calor urbana bem acentuada. A problemática gerada pelo crescimento urbano tem que ser tratada ainda cedo para que não venha a ser um transtorno praticamente irremediável no futuro, já que a urbanização é um acontecimento sem volta, então as medidas devem ser tomadas com antecedência. Projetos urbanos na cidade de Fortaleza têm que ser implantados agora para uma melhor qualidade de vida no futuro.

REFERENCIAS

- ADRIANO M G. **Cidade de Juiz de Fora**. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=645937&page=9>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- ALFA CONECTIOM. **Radiância**. Disponível em: <http://alfaconnection.net/pg_avsf /cal0603.htm>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- BRASILESCOLA. **Circulação dos ventos**. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/geografia/microclima-urbano.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- CÁLCULO de radiância Disponível em: <http://alfaconnection.net/pg_avsf /cal0603.htm>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- CONEXÃO DA GEOGRAFIA. **Poluentes**. Disponível em: <http://conexaogeografia.hdfree.com.br/impactos_ambientais.htm>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- COSTA FILHO, Amando Candeira. Adequação Bioclimática dos Espaços Urbanos Abertos do Centro de Fortaleza. **O Povo**, Fortaleza, p. 14-15. 16 abr. 2009.
- CHANDLER, T J. **London`s urban climate**. 3. ed. London: The Geographical Journal, 1965.
- DIOGO, M S. **Fatores climaticos locais**. São Paulo: Edlc, 1995.
- EFEITO estufa Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Efeito_estufa.PNG>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- EPA-US/MOD. **Variações climáticas provocadas pela urbanização**. Disponível em: <http://bielleite.files.wordpress.com/2010/04/uhi_profile_i18n.png>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- GISELA, heymann. Redomas de calor. **Superinteressante**, São Paulo, n. 055, p.36-36, 10 abr. 1992.
- HACKBART, A e. **As ilhas de calor urbano do brasil**. Disponível em: <<http://sandcarioca.wordpress.com/2010/09/09/as-ilhas-de-calor-urbano-nas-cidades-do-brasil/>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- HAMILTON, A N. **Environmental Geoscience**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1973.
- HANSEN, J e. Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. **Science**, Washington, n. , p.226-245, 02 abr. 2005.
- INFOESCOLA. **Meio ambiente**. Disponível em: <<http://static.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/07/asfalto.jpg>>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- IPCC Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_figures_and_tables.shtml>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- LASHOF,A D. Processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change. **Climatic Change**, New York, n. , p.213-243, 13 ago. 1989.
- LOMBARDO, A M. Ilha de calor nas metropoles. **Hucitec**, São Paulo, n. , p.45-56, 17 jun. 1985.
- LOUREIRO, Tatiana. Ilhas de calor em São Paulo: Pontos quentes da cidade. **Superinteressante**, São Paulo, n. 067, p.31-33, 25 jun. 1993.

MAITELLI, G T. Balanço de energia. **Ichs**, Cuiabá, n. , p.4-16, 08 abr. 2010.

MAURICIO ALCANTARA. **Horários mais quentes**. Disponível em: <http://bielleite.files.wordpress.com/2010/04/uhi_profile_i18n.png>. Acesso em: 10 fev. 2011.

MUNN, R e. **Descriptive Micrometeorology**. New York: Academic Press, 1966.

NASA **Surface Temperature Analysis**. Disponível em: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/>. Acesso em: 02 fev. 2011.

NASA. **The Earth Observer. November - Necedber 2006**. Disponível em: <http://eosps0.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/earth_observer.php>. Acesso em: 10 nov. 2006.

NOSSAREVISTA. **New York**. Disponível em: <Fonte: <http://www.nosrevista.com.br/page/189/>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

OKE, T R; A CLUEUG, H. **Urban heat storage derived as energy balance residuals**. New York: Boundary- Layer Meteorology, 1987.

PENSANDO GEOGRAFICAMENTE. **Inversão térmica**. Disponível em: <<http://geothiagof.blogspot.com/2010/08/inversao-termica.html>>. Acesso em: 02 jan. 2011.

RIBEIRO, A C. Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. **Connepi**, Fortaleza, n. , p.4-18, 17 set. 2008.

SANTOS, M D. Conforto do Ambiente. **Universidade Positivo**, Curitiba, n. , p.6-22, 25 maio 2009.

SUTTON, O G. **Micrometeorology. A study of physical processes in the lowest layers of the earth's atmosphere**. London: Mcgraw-hill, 1953.

UFSCAR. **Correntes de ar**. Disponível em: <Fonte:http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3827>. Acesso em: 10 fev. 2011.

WIKIPÉDIA. **Inversão térmica**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/inversao_termica>. Acesso em: 10 fev. 2011.

WIKIPÉDIA. **O efeito estufa**. Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Efeito_estufa.PNG>. Acesso em: 10 fev. 2011.