

# Illa de Calor Urbana, Metodologia para Mensuração Belo Horizonte, uma Análise Exploratória

Luiz Cláudio de Almeida Magalhães Filho  
Curso de Engenharia de Produção – Betim – PUC Minas  
Betim – MG – 32630-000 – Brasil

João Francisco de Abreu  
Programa de Pós Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial – PUC Minas  
Belo Horizonte – MG – 30535-901 – Brasil

## RESUMO

Ilha de calor urbana, fenômeno já identificado por diversos pesquisadores, surge na área das metrópoles e se caracteriza pela elevação da temperatura na superfície dessas áreas quando comparada com a temperatura reinante nas vizinhanças desses sítios urbanos. Trabalhos, teses, dissertações, etc, sobre esse assunto, foram desenvolvidos e publicados. Belo Horizonte, enquanto metrópole, já foi objeto de estudo desse tema, ao lado de outras grandes cidades brasileiras. Este trabalho desenvolve a parte espacial do estudo.

### Palavras-Chave:

Ilha de calor; Coeficiente “Z”; Mini-estação meteorológica; Difusividade térmica; Integral numérica; Inércia do fluxo constante.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os dados demográficos do Secretariado das Nações Unidas para Assuntos Sociais e Demográficos indicam que no ano 2000 47% da população mundial já habitava um espaço urbano. A degradação ambiental que ocorre de diversas maneiras, especialmente no contexto das grandes metrópoles brasileiras, aponta que fenômenos inter-relacionados tais como ilha de calor, poluição do ar, inundações, desmoronamentos, interferem diretamente na qualidade de vida dos habitantes no sentido de comprometê-la e degradá-la.

Vamos aqui apresentar um modelo para mensuração do fenômeno dito ilha de calor urbana, modelo este que pode ser considerado, (pretende-se) como uma ferramenta adicional para o estudo e análise das condições urbanas visando um melhor manejo do planejamento e, ao mesmo tempo, se constitui em um momento de reflexão sobre tais condições na busca de uma intervenção que possa garantir um futuro mais limpo e harmonioso para as metrópoles. Ilha de calor urbana é sem dúvida causada pela ação do homem e que tem como palco os grandes espaços urbanos. Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais – Brasil, que já foi considerada Cidade Jardim constitui-se em um típico exemplo. A isso está relacionado o presente trabalho.

Diversos autores e pesquisadores atribuem a causa da ilha de calor urbana a diferentes fatores. Cada um deles enfatiza este ou aquele fator, sem que exista um consenso, ou mesmo uma convergência, para um fator único. O fato é que as metrópoles são capazes de gerar um gradiente de temperatura, isto é, as cidades são geralmente mais quentes do que as respectivas áreas em torno. Esse “ganho” de temperatura é conhecido por se constituir na essência da ilha de calor urbana.

As fotografias aéreas e imagens de satélite, especialmente as imagens de infra-vermelho (térmicas) mostram consistentemente durante os instantes fotografados, a maior temperatura reinante, das superfícies urbanas quando comparadas com as outras superfícies do seu em torno.

Mas as fotografias representam o momento, o instante. A rigor, nada nos garante que o que está acontecendo no instante no qual a fotografia foi tirada continuará a acontecer da mesma forma, nos instantes seguintes, sem que haja possibilidade de ocorrer uma reversão.

Há também evidências de que a intensidade desse diferencial de temperatura, isto é, esse gradiente que está presente na superfície urbana, não está uniformemente distribuído pela respectiva superfície. Pelo contrario, tal distribuição se faz de maneira desigual, podendo apresentar variações significativas de um lugar para o outro, caracterizando-se como um fenômeno eminentemente espacial que desafia nossa capacidade de mapeá-lo.

Lançar uma metodologia que seja capaz de **medir e mapear** essa distribuição desigual de diferencial de temperatura ao longo da superfície urbana, na qual cada ponto estará associado a um valor que possa representar a melhor probabilidade de ocorrência deste gradiente, sempre em função do **onde**, independentemente (no máximo possível) do **quando**, é a tarefa sobre a qual nos atiramos.

Usaremos Belo Horizonte, a metrópole dos mineiros, como o lugar no qual haveremos de experimentar, pela primeira vez, a metodologia, na crença de que se for válido para essa capital será também válido para as outras cidades de mesmo porte ou mesmo de porte ainda maior. De início, vamos buscar uma definição do que possa ser considerado como uma explicação causal de um dado acontecimento. Para Karl Popper (1975) [1]:

(...) oferecer uma explicação causal de certo acontecimento significa deduzir um enunciado que o descreva, utilizando, como premissas da dedução uma ou mais leis universais, combinadas com certos enunciados singulares, as condições iniciais. ...Temos assim duas diferentes espécies de enunciados, colocando-se ambas como ingredientes necessários de uma explicação causal completa. Trata-se de (1) **enunciados universais**, isto é, hipóteses com caráter de leis naturais; e (2) de **enunciados singulares**, os que se aplicam ao evento específico em pauta, e que chamarei de “Condições iniciais”. Da conjunção de enunciados universais e condições iniciais deduzimos o enunciado singular. A este enunciado denominamos **predição** específica ou singular. (POPPER, p 62-grifos do autor).

Portanto vamos abordar a questão da ilha de calor urbana a partir de certas premissas universais quais sejam: as leis que regem a transferência de calor, ou as leis, ou regras, que ajudam a determinar a temperatura de um lugar num determinado instante. A Termodinâmica diz que o calor se propaga por meio de radiação, convecção e condução, ou mesmo por uma combinação desses três modos. A climatologia propõe que os fatores que definem ou determinam o clima de um dado local são, primordialmente, a latitude deste local, a altitude, o regime dos ventos e a umidade relativa, com a participação da presença ou não das chamadas frentes frias, ou de ar seco, etc...

Como condições iniciais, vamos tomar a temperatura, simultaneamente, a cada dez minutos, de dois lugares diferentes. O primeiro ponto será fixo, ou seja, será o mesmo para todas as medições, funcionando dessa forma como uma base, uma referência; o segundo ponto, o referenciado, será sempre um ponto dentro da malha urbana, não obstante, em apenas um caso, para efeito de comparação, haverá um ponto fora da malha urbana. Combinando os dados coletados com as premissas que assumimos vamos procurar observar os resultados através de diferentes pontos de vista a fim de poder adiantar algumas conclusões e, ao mesmo tempo, rejeitar outras que, eventualmente, serão superadas.

## 2 - MÉTODOS

### 2.1 A Análise Espacial

A análise espacial incluiu um amplo grupo de técnicas e de modelos nos quais se aplica uma estruturação quantitativa a sistemas cujo interesse principal é lidar com variáveis que sofrem mudanças ao longo do espaço. Tradicionalmente esse é o domínio da Geografia, particularmente da corrente Teorético-Quantitativa, embora uma série de outras disciplinas correlatas, também participam no desenvolvimento desse campo de conhecimento e investigação.

Por outro lado, os Sistemas de Informação Geográfica, SIG, surgiram nos últimos vinte anos a partir de contribuições de outras origens: seu desenvolvimento é parte de um movimento mais amplo no sentido de um mundo digital no qual os computadores estão no centro de uma verdadeira revolução e são considerados máquinas de aplicação universal, para qualquer meio ou finalidade.

O desenvolvimento de memórias cada vez mais poderosas e econômicas, através de uma miniaturização, é responsável pelo avanço da capacidade dos computadores de manipular palavras e figuras além do seu papel tradicional como processadores científicos e comerciais. O surgimento de dados digitalizados através de modos avançados de captura e comunicação combinado com computação gráfica, responsável por viabilizar a confecção de mapas digitais, ampliou e ainda vai ampliar muito mais os domínios e as possibilidades dos SIGs.

### 3 - FATORES E PROCESSOS QUE DETERMINAM OS FLUXOS DE ENERGIA NA ATMOSFERA E NA SUPERFÍCIE TERRESTRES

A energia mais aparente e importante que recebemos é aquela que nos vem do sol. O sol constitui uma fonte de radiação cuja energia, para nossa escala, pode ser considerada constante. No limite superior da atmosfera, uma área de  $1\text{m}^2$

recebe do sol 1,368 kW de energia desde que esteja colocada de forma perpendicular aos raios solares.

Considerando-se que a superfície da terra é quatro vezes a do disco correspondente a seu respectivo raio, cada  $\text{m}^2$  recebe, em média, 1368: 4 kW, ou seja, 342  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Isto nos leva a concluir que ao longo de um ano, o planeta Terra recebe do sol a energia equivalente àquela que seria produzida, durante o mesmo período, por 180 milhões de centrais geradoras de 1.000 MW cada uma.

A radiação solar, ao longo de sua trajetória na atmosfera, terá uma parte que será imediatamente reenviada para o espaço, sem alteração alguma e outra que, após transformações diversas, finalmente sofrerá destino semelhante, ou será, de alguma forma, absorvida.

Dessa forma podemos sistematizar os fenômenos que intervêm nesse processo como sendo:

i) Absorção: os gases constitutivos da atmosfera, especialmente o nitrogênio, o oxigênio, o dióxido de carbono, o ozônio, e o vapor d'água vão absorver as emissões de raios de diferentes comprimentos de onda, seletivamente.

Assim sendo, 19% da energia incidente é absorvida. Essa energia não se perde, uma vez que se transforma em calor e contribui para elevar a temperatura dos gases que porventura a tiverem absorvido.

Entretanto, a radiação solar de comprimento de onda compreendido entre 0,30 e 0,75  $\mu\text{m}$  (microns) consegue chegar à superfície da Terra de forma quase intacta. Esse é, grosso modo, o comprimento de onda que corresponde à banda da luz visível e tem seu ponto máximo no valor relativo à máxima absorção da clorofila dos vegetais.

ii) Difusão: Os gases que constituem a atmosfera não se limitam a absorver os raios solares, também os difundem. Isto significa que os reenviam em todas as direções, sem mudança de comprimento de onda. Assim, 34% da radiação incidente perde-se do ponto de vista do sistema climático da Terra, pois é reenviado de volta ao espaço.

ii) Reflexão: As nuvens, quando são vistas de cima, possuem uma brancura imaculada, apesar de poderem ser bastante sombrias, quando vistas de baixo. Elas têm uma enorme capacidade de reflexão e sua superfície superior reenvia para o espaço 20% da radiação incidente. Levando em conta todos os aspectos pertinentes ao processo veremos que, efetivamente, apenas 47% da radiação solar incidente vai atingir a superfície terrestre (continentes e oceanos) e contribuir, dessa forma, para seu aquecimento.

Assim, ao final, 70% da radiação é, de uma maneira ou de outra, absorvida pela atmosfera, pelos oceanos e pelos continentes, para se transformar em energia calorífica, o que acarreta, em última análise, uma elevação da temperatura desses meios.

A atmosfera, que por sua vez já havia absorvido uma parte da radiação solar em função do comprimento de onda e de seus gases constitutivos, vai, no contato com a superfície terrestre aquecida, aquecer-se, da mesma forma, por meio da chamada condução térmica, ou seja, através do calor sensível. Entretanto, grande parte dessa energia calorífica será, por sua vez, utilizada no processo de evaporação da água; uma mudança de estado físico que consome, relativamente, muita energia.

Segundo Godoy e Walker (1996) [2] devemos distinguir, em princípio, a forma do espectro da radiação enviada pelo sol - cujo pico está na região do visível, de pequeno comprimento de onda, por causa de sua temperatura média muito mais elevada ( $6.000^0\text{K}$ ) - da forma do espectro da radiação emitida pela terra,

cujo pico está na região do infravermelho, de maior comprimento de onda, por causa de sua temperatura média mais baixa (253<sup>0</sup>K). Isto está de acordo com a lei de Wien, que prevê que o comprimento de onda correspondente ao pico da emissão, em torno da qual se distribuem os outros valores de comprimento de onda, é inversamente proporcional à temperatura.

Pelo lado dos comprimentos de onda curta teremos: a energia solar que atinge o planeta Terra possui um valor médio de 8,36 J/m<sup>2</sup> ano ou 2.0 Langley/minuto, onde 1 Langley = 1 cal/ cm<sup>2</sup>.

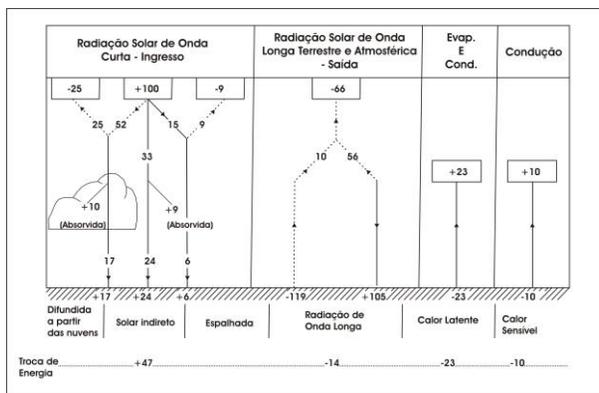
A energia solar que incide na Terra sofre o seguinte destino (fig.1):

- a) para 47% da radiação incidente a atmosfera é praticamente transparente, mas deste total devemos descontar 9% que são devolvidos para o espaço, e outros 9% que são absorvidos pela própria atmosfera. Contudo, 6% são espalhados e atingem a superfície da Terra, sem modificação aparente, ao lado de outros 24% que também chegam ao mesmo destino sem modificações.
- b) os 52% restantes esbarram em nuvens que absorvem 10% e devolvem 25% ao espaço deixando passar apenas 17%, que encontram o solo.

Desta forma, 19% (10 + 9), em média, são absorvidos pela atmosfera; 34% (9+25) são devolvidos ao espaço e 47% (6+24+17) encontram o solo como destino final, para aquecer continentes e oceanos. O equilíbrio entre a energia recebida e a energia perdida se estabelece porque de outro modo, a superfície da Terra e sua atmosfera estariam sofrendo um processo de contínuo aquecimento.

Portanto, registra-se uma perda líquida de energia de 14% devido à circulação dessa mesma energia entre a superfície e a atmosfera; 23% são absorvidos como calor latente pela evaporação da água e 10% são perdidos por condução. Assim, 14% + 23% + 10% = 47% - exatamente o valor que corresponde ao ingresso líquido total.

**Figura 1: Representação gráfica do Balanço energético global**



Fonte: BATES, N.H.; BRIDGES, E.M. (1992) [3]

### 3.1 - O Albedo

Define-se como sendo o albedo (do latim: *albus* = branco) a relação entre a quantidade de energia radiante reenviada por uma superfície de um corpo e quantidade de energia radiante

incidente nessa mesma superfície. O valor representativo considerado, em geral, para o planeta Terra é de 0,30. É a superfície terrestre que, aquecida, vai emitir uma certa radiação que, em função da sua temperatura, situa-se, em termos de comprimento de onda, em torno do intervalo de 1µm-30µm, ou seja, radiação infravermelha.

Esse tipo de radiação terá dificuldade em deixar a atmosfera porque alguns gases atmosféricos, a exemplo do gás carbônico, do metano e do vapor d'água, entre outros, enquanto são bastante transparentes à passagem da radiação solar (luz visível, principalmente), não permitem a passagem da radiação infravermelha. Assim a Terra torna-se a maior fonte de calor para a atmosfera. Isso dá lugar ao efeito estufa.

### 3.2 - O Efeito Estufa

O efeito estufa é, como vimos, causado por gases presentes na atmosfera terrestre. Sabe-se que a temperatura da terra depende do equilíbrio entre a energia que chega do sol e da energia que é irradiada de volta para o espaço pelo planeta. Em conta aproximada, metade da energia que entra na atmosfera é absorvida pelas nuvens, pelas partículas, ou é refletida de volta ao espaço. A metade restante é absorvida pela superfície terrestre (oceanos e continentes) que por seu intermédio é aquecida.

As superfícies irradiam novamente essa energia sob a forma de determinados comprimentos de onda que correspondem à radiação infravermelha emitida pela terra. Ocorre que o gás carbônico, o metano e o vapor d'água, além de outros gases presentes na atmosfera, absorvem certos comprimentos de onda desse tipo de radiação.

Parte do calor absorvido é, então, enviado de volta à superfície terrestre. Tal processo mantém a temperatura da Terra 30° C mais quente do que seria sem a presença desses gases em nossa atmosfera. Portanto, o aumento das concentrações de gás carbônico e de outros gases semelhantes faz com que maior quantidade de calor fique retido dentro da atmosfera do planeta.

## 4 - METODOLOGIA

"Como média a temperatura do ar numa densa área urbana é mais alta que a dos arredores rurais dando lugar ao chamado fenômeno da ilha de calor" (Romero, 2001) [4].

Se assim é, vamos propor um método que possa, ao longo de todo um período, realmente, comparar as temperaturas de dois pontos. Um deles, que seria tomado como referência, situado nos arredores rurais, e o outro situado dentro do perímetro urbano. À maneira do psicrômetro, estaremos aqui comparando temperaturas lidas simultaneamente, por exemplo, a cada 10 minutos, cada uma delas tomada por um aparelho, sob a condição de que tais aparelhos sejam rigorosamente equivalentes.

Poderemos, na verdade, propor que, enquanto apenas um aparelho sirva como referência, justamente aquele situado nos arredores rurais, tantos outros aparelhos quanto sejam os pontos de observação poderão trabalhar dentro da malha urbana, desde que sincronizados entre si, formando um conjunto que pulsa de forma diacrônica, ao mesmo tempo em que o conjunto, como um todo, pulse guiado pelo padrão rural.

Se pudermos ainda ter um arranjo tal que esses aparelhos permaneçam trabalhando ao longo de um período, por exemplo, ao longo do dia, da semana e do mês, ao final de cada período

poderemos fazer as comparações e tirar as conclusões correspondentes.

Sabemos, agora, que a relação entre a temperatura colhida em um ponto (dentro da malha urbana) e o ponto de referência (pt. Zero, nos arredores rurais) pode representar, na realidade, a relação entre gradientes, ou seja, se a equação da difusão é, um quociente das duas temperaturas corresponderá verdadeiramente à relação entre a situação da difusividade térmica de um lugar com o outro, desde que os valores sejam tomados, diacronicamente, conforme o previsto.

Se cada par de dados de temperatura –  $T_0$ , temperatura no ponto de referência e  $T_i$  apresentada no ponto referenciado -, é captado dessa maneira, ao longo de um período de 24h, por exemplo, ao fim desse período, poderemos, analisando os dados colhidos, propor algumas conclusões.

$$\text{seja : } \frac{T_i - T_0}{T_0} = \frac{T_i}{T_0} - 1 \quad (1)$$

A série de dados representará a situação predominante durante todo o período (24 h isso é, um dia, ou 30 dias, por exemplo). Para esta série haverá um valor que possa representar a situação encontrada, especificamente, ao longo do tempo que lhe é correspondente. Uma área que represente a média desses quocientes, ao longo do período considerado, poderá resumir eficazmente, aquilo que se passou, a este respeito, durante o período.

Sendo assim, o que poderemos encontrar?

Em primeiro lugar, devemos considerar a altitude de cada um dos pontos onde estaremos coletando os dados.

Estamos trabalhando sob a hipótese de que é essencialmente ao longo do eixo da altitude ( $z$ ) que poderemos esperar uma variação de temperatura, principalmente, sabendo-se que estamos realmente bem próximos da superfície da terra.

Ao longo dos outros dois eixos, qualquer variação nas vizinhanças, (advecção), se houver, não será significativa e poderá ser desprezada. Vamos supor, de início, para simplificar, que os dois aparelhos coletores estejam situados em uma mesma cota altimétrica, ou seja, na mesma altitude. Assim, como esperar que a razão entre as duas medidas ( $T_i/T_0$ ) seja  $\neq 1$ , isso é “diferente da unidade,” ou ainda, se houver algum desvio ou fuga do valor unitário, em um determinado momento, **como esse desvio poderia se sustentar ao longo de todo o período?**

Qual poderia ser o fenômeno que se apresenta sustentável ao longo do tempo e ainda tenha a força ou a energia que garanta a sustentação dessa diferença, sem nenhuma forma de “compensação”? Então, se diferença houver, em que sentido ela se apresenta? Poderemos ver aí uma lei de formação?

Vamos imaginar então que os nossos dois pontos de coleta de dados simultâneos situam-se, razoavelmente afastados (10 km, por exemplo), ambos, entretanto, nos arredores rurais. Se a altitude dos dois pontos for a mesma, o gráfico que tem no eixo vertical os valores do quociente entre as duas temperaturas medidas (cada par obtido exatamente no mesmo instante), e no eixo horizontal o instante, no tempo, no qual os dados foram registrados, irá exibir uma oscilação em torno do valor unitário, ora se posicionando acima, ora abaixo da linha unitária. Contudo, não haverá uma predominância de uma ou de outra tendência, ao longo de cada ciclo de 24 horas.

Isso corresponde a uma flutuação que, aleatória, não deixa de representar um estado que vamos classificar como sendo estável.

O sistema formado pelos valores do quociente obtido a partir dos dados dos dois aparelhos, assim dispostos, tende a

permanecer constante nesse estado estável, pois segundo Ludwig (1968) [5] há algo que podemos entender como “*Peso, ou Inércia, do Fluxo Constante*” que atrai os valores desse quociente para a unidade. Ludwig (1968) afirma, ainda, que:

(...) Para derivar as condições e as características dos estados estáveis podemos usar uma equação geral do transporte. Sejam  $Q_i$  a medida do  $i$ -ésimo elemento do sistema, por exemplo a concentração ou a energia em um sistema de equações simultâneas.

Sua variação pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = T_i + P_i \quad (2)$$

$T_i$  representa a velocidade do transporte do elemento  $Q_i$ , num elemento de volume em certo ponto do espaço, enquanto  $P_i$  é a velocidade da produção.

Se  $P_i$  desaparece temos a equação da difusão simples, na qual  $T_i$  tem a forma:

$T_i = D_i \cdot \nabla^2 Q_i$ , na qual o símbolo laplaceano representa as derivadas parciais em  $x$ ,  $y$ , e  $z$  e os  $D_i$  são os coeficientes de difusão. (Ludwig von Bertalanffy, 1968: P. 69).

Dessa maneira, quando posicionamos o segundo aparelho no interior da malha urbana começamos a verificar que o gráfico formado com a razão das mesmas variáveis pelos períodos (ciclos) sucessivos apresenta, sistematicamente, uma nítida tendência a formar valores positivos para a área (valores do referido quociente, em sucessão contínua, maiores do que a unidade), e ainda, tal discrepância tende a se acentuar por volta das 21h.

Nessa condição podemos julgar que estamos diante de um resultado que, com efeito, refere-se à ilha de calor urbana.

Tal coleta de dados poderá ser realizada, simultaneamente, ao longo de dias, semanas, ou meses, em pontos no interior da malha urbana, os quais possuirão, cada um a seu turno, a propriedade de representar a própria área em torno. Para isso, deveremos possuir tantos aparelhos coletores de dados quantos forem os pontos que simultaneamente estaremos a analisar, além de mais um na sobra para o ponto zero, ou melhor, para ser a referência. Dessa forma teremos um conjunto de “ $n-1$ ” pontos sendo levantados, ao longo de uma semana, ou de um mês, ou mesmo de um ano, onde “ $n$ ” é o número de aparelhos.

## 5 - A INTEGRAL NUMÉRICA

A cada período de dados coletados (24h) corresponderá um vetor formado pelos sucessivos valores das razões encontradas ( $T_i/T_0 = \rho$ ); cada valor de razão corresponderá ao valor no tempo, em minutos, no qual os dados foram coletados. O intervalo de tempo foi definido em 10 (dez) minutos.

Uma integral numérica, por se tratar de uma função discretizada, deverá ser calculada para o período completo (24h, ou seja, 1440’). O valor encontrado para esta integral deverá ser subtraído do valor de uma integral calculada pelo mesmo processo, porém tomando-se a unidade como valor constante para as ordenadas ( $\rho$ ). O valor encontrado deverá ser dividido por 1440, conforme a fórmula:

$$\left( \frac{\int f(t)dt - 1440}{1440} \right) \times 100 = x\% \quad (3)$$

onde  $f(t)$  corresponde a  $\rho(t)$ .

Cada valor obtido corresponderá a uma posição geográfica definida dentro do perímetro urbano para o referido período. Quando houver um período de observação maior do que 24h, por exemplo, 3 dias, ou mesmo 10 dias, tomaremos a média dos valores encontrados para cada período como valor representativo para aquele local. Se esse valor for, a média de um mês, poderá corresponder à expectativa do que poderemos encontrar, em termos de ilha de calor, para aquele lugar, ao longo desse período.

A integral numérica utilizada corresponde à 2ª regra de Simpson (quantidade de intervalos correspondendo a 144, múltiplo de 3), cujo erro de truncamento se estima como da ordem de  $h^4$  para todo  $h / 0 < h < 1$ , conforme Barroso, L. et alii (1983) [6]. Poderemos formular, assim, um mapa temático, no qual estará espacializada a expectativa da ocorrência de ilha de calor para uma determinada malha urbana.

## 6 - RESULTADOS ENCONTRADOS E CONCLUSÕES

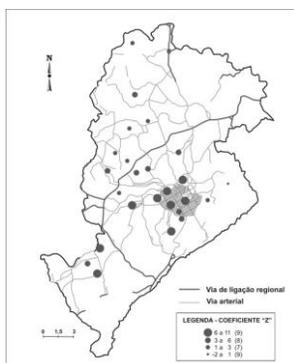
Entre a segurança possível, já que não dispomos de uma equipe de guardas, e uma distribuição de pontos que poderíamos considerar como sendo ideal, em termos efetivos de divisão de espaço, no primeiro momento, procuramos encontrar uma solução de compromisso que, sobretudo, preservasse a segurança do aparelho, mas que pudesse realizar, da melhor maneira possível, sua função de representar sua região em torno.

As variáveis mais importantes para esta análise exploratória são: temperatura e umidade relativa do ar. Ambas, em cada ponto, correspondem a verdadeiras agregações e podem ser consideradas como o resultado de inúmeros fatores. As alterações no meio ambiente urbano produzidas pela ação do homem, irão influir nessas duas grandezas conforme apontado pela quase totalidade dos autores, como visto anteriormente.

Ao todo foram aproximadamente 30.000 dados coletados, correspondendo a valores que determinam a localização, temperatura, umidade relativa, horário, dia mês e ano da coleta. Em alguns pontos HOBO ficou estacionado por períodos superiores ao período mínimo-(24 h), em outros, por razões de segurança, apenas durante o mínimo necessário. De qualquer maneira os dados estão explicitados na tabela e, de forma bruta, em meio digital, disponíveis para consulta.

A seguir temos a figura 2 que representa a localização dos pontos na superfície urbana onde coletamos nossos dados para a determinação dos valores do coeficiente “Z” da Ilha de Calor.

**Figura 2: Mapa Localização de Pontos de Coleta - 2005**



Fonte: MAGALHÃES FILHO (2006: pág.89) [7]

Em sequência, as **Figuras de conclusão** – onde exibimos os dois mapas de resultado: Fig. 3 e Fig. 4 correspondendo à representação gráfica desses valores de “Z”.

Qual seria então a causa para este fenômeno?

Simplesmente, é a alteração da qualidade do ar, da composição química do ar, dentro da malha urbana das metrópoles e conseqüentemente a alteração do parâmetro da difusividade do ar, sustentada ao longo do tempo pela contínua atividade humana nas metrópoles, o vai-e-vem do dia a dia, da rotina de trabalho e lazer dos habitantes. Com essa hipótese em mente encontraremos validade no que já foi dito relativamente à formação do fenômeno ilha de calor.

Os nossos mapas-síntese, figuras 3 e 4, nos mostram que, em Belo Horizonte a ilha de calor se intensifica exatamente na área que corresponde ao centro urbano e evolui de forma robusta na região pericentral que vai na direção do município de Contagem, invadindo essa área, exatamente ao longo do eixo da Avenida Amazonas. É precisamente essa a região que possui a maior densidade de habitantes por quilômetro quadrado, a maior densidade de veículos em circulação e a menor área verde por área total, corroborando as hipóteses anteriormente levantadas pelos pesquisadores que consultamos. Caminhando pela região pericentral, mas no sentido oposto à Avenida Amazonas, observa-se o valor do coeficiente “Z” se elevar, sem, entretanto, atingir a intensidade observada quando se vai na direção oeste, rumo a Contagem, indicando a existência de algumas atividades urbanas intensificadas. Trata-se do eixo da Av. Cristiano Machado; porém essa mancha logo se dilui e perde o seu vigor, desaparecendo à medida que se caminha para a fronteira do município, no seu limite leste e norte (Sabará).

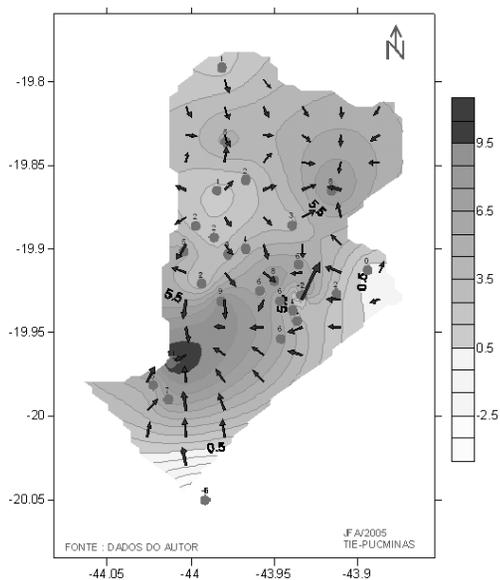
Cumpra notar uma grande depressão no mapa que corresponde à fraca intensidade da ilha de calor; são as áreas verdes contínuas que correspondem às matas do Engenho Nogueira, do campus da UFMG, do Museu de História Natural e respectivo Horto Florestal, além de outras áreas verdes menores que formam um braço único, contínuo, e que se reflete nessa referida depressão, visível no mapa, comprovando a inexistência, ou um valor pouco significativo, para caracterizar o fenômeno ilha de calor urbana nessa região.

Paralelamente, se observarmos os valores encontrados para cada ciclo de 24h conforme demonstram os gráficos, durante os fins de semana, feriados, principalmente quando o feriado se emenda ao fim de semana, notaremos uma tendência decrescente para os valores “Z”, representativos da ilha de calor, demonstrando com isso que não seria errado supor que a ilha de calor se intensifica com a atividade econômica do dia-a-dia da metrópole e diminui durante os dias de descanso.

Não nos foi possível fazer a coleta de dados em todos os pontos nos quais tivemos oportunidade de trabalhar, isto em função de nossas limitações logísticas além de outras. Contudo podemos afirmar que onde isso ocorreu, invariavelmente, os valores que encontrávamos para os sábados, domingos e feriados mostravam tendência ao decréscimo.

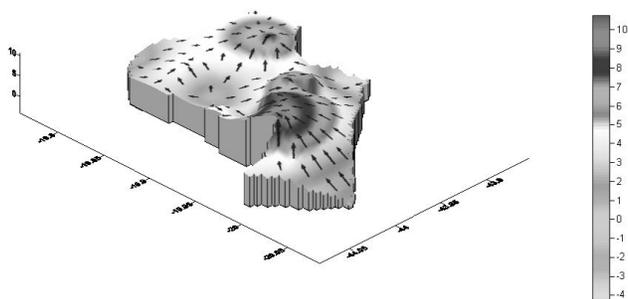
Idealmente gostaríamos de dispor de tantos aparelhos do tipo HOBO quanto os locais escolhidos para a coleta de dados, mais um. No entanto isso demandaria recursos além da nossa capacidade de mobilização no momento. Mas com esses aparelhos, digamos 30 + 1, poderíamos fechar o cerco a determinadas questões que ainda levantamos, a exemplo da intensidade da flutuação dia de semana/fim de semana, e outras questões.

Figura 3: Mapa Belo Horizonte - Ilhas de Calor (Fator Z)



Fonte: MAGALHÃES FILHO (2006: Pág. 90)

Figura 4: Mapa Belo Horizonte – Ilhas de Calor (Fator Z) – 3D



Fonte: MAGALHÃES FILHO (2006: Pág. 91)

## 7 - AGRADECIMENTOS

Os autores do presente artigo agradecem à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, pelo apoio na apresentação desse trabalho.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

[6] BARROSO, Leônidas, et al. *Cálculo Numérico*. Ed. Harper& Row do Brasil, São Paulo, Brasil, 1983.

[3] BATJES, N. H. and Bridges, E. M. *A review of soil factors and processes that control fluxes of heat, moisture and greenhouse gases*. Technical Paper 23, International Soil Reference and Information Centre: Wageningen, Holanda.

[2] GOODY, M. R.; WALKER, J.C.G. *Atmosferas Planetárias*. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1996.

[7] MAGALHÃES FILHO, Luiz Cláudio de Almeida. *Ilha de Calor Urbana, Metodologia para Mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial – PUC-MG. Belo Horizonte, 2006. 145 f.

[7] MAGALHÃES FILHO, Luiz Cláudio de Almeida; ABREU, João Francisco. Ilhas de calor, metodologia para mensuração: o caso de Belo Horizonte. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 10, p. 3-27, 2010.

[1] POPPER, Karl. *A Lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: Editora Cultrix, 1975.

[4] ROMERO, Maria Adriana Bustos. *Arquitetura Bioclimática do Espaço Urbano*. Brasília: Editora UNB, 2001.

[5] VON BERTALANFFY, Ludwig von. *Teoria Geral dos Sistemas*. Petrópolis: Editora Vozes, 1968.