Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

MODELAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE POTÊNCIAIS TÉRMICOS EM UBÁ – MG

VIANNA, Yan Carlos Gomes – yan.metal@gmail.com
Universidade Federal de Juiz de Fora / UFJF

PIMENTEL, Franciele de Oliveira – tiele_pimentel@yahoo.com.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / CEFET-MG

FERREIRA, Cássia de Castro Martins – cassia.castro@ufjf.edu.br
Universidade Federal de Juiz de Fora / UFJF

RESUMO: A pesquisa teve como objetivo investigar a formação de campos térmicos na cidade de Ubá - MG. Como ferramenta foi aplicado o Modelo de Potencial Térmico (MPT) que integra diversas variáveis como: massa construída, albedo, emissividade, vegetação, impermeabilização, topografia e fator de visão do céu. Permitindo-se uma melhor visualização dos elementos que contribuem para a formação dos diferentes microclimas urbanos. Além da modelagem foram registradas as temperaturas do ar urbano e rural. Foi comprovado estatisticamente uma diferença entre comportamento dos dados de temperatura urbanos e rurais e intraurbanos entre diferentes topoclimas. Ao analisar os resultados do modelo correlacionado com registros de temperatura do ar noturno foram encontrados altíssima correlação entre os resultados dos dois métodos de investigação do clima urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Ilha de calor; Clima Urbano; Modelo climático.

MODELING AND IDENTIFICATION OF THERMAL POTENTIALS IN UBÁ - MG

ABSTRACT: The research had as objective to investigate the formation of thermal fields in the city of Ubá - MG. As a tool, the Thermal Potential Model (MPT) was applied to integrate several variables such as: built mass, albedo, emissivity, vegetation, waterproofing, topography and sky view factor, allowing a better visualization of the elements that contribute to the different urban microclimates. In addition to modeling, urban and rural air temperatures were recorded. A statistically significant difference between the behavior of urban and rural and intra-urban temperature data among different topoclimates was statistically verified. When analyzing the results of the model correlated with night air temperature records, we found a very high correlation between the results of the two urban climate research methods.

KEYWORDS: Urban climate; Heat Island; climate Modeling.

1.INTRODUÇÃO

O município de Ubá em Minas Gerais, assim como a maior parte dos municípios brasileiros, passou por um crescimento urbano intenso nas últimas décadas. Associado principalmente ao surgimento de um polo moveleiro na década de 1960 como alternativa a decadente cultura do fumo que imperava no município. Em 1970 a sua população era, segundo o censo do IBGE (2016), de 44.503 habitantes e em 2010 atingiu a marca de 101.519 habitantes, ou seja, um crescimento de 128% em quarenta anos.

As alterações na paisagem natural pela urbanização criam condições climáticas diferenciadas nestas áreas entendidas como um clima urbano que tem como uma de suas características uma anomalia térmica positiva da

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

temperatura do ar em relação as zonas rurais circundantes. Conformando as chamadas ilhas de calor.

Segundo Gartland (2010) os principais pontos que fazem com que as superfícies urbanas sejam mais quentes que as rurais são que a maioria destas superfícies, como os pavimentos asfálticos, superfícies de concreto e as coberturas possuem baixo albedo. Ou seja, os materiais possuem tonalidades escuras que refletem pouca radiação e absorvem mais calor. Esses materiais apresentam adicionalmente propriedades físicas como alta condutividade térmica e alta capacidade calorífica que permitem que eles armazenem mais calor e o conservem por mais tempo em seu interior.

Os principais materiais urbanos são igualmente impermeáveis, o que reduz a umidade disponível, minimizando a perda de calor por evaporação desses materiais gerando elevadas temperaturas de superfície.

Além disso o padrão da geometria urbana formam cânions que ampliam a absorção da radiação, pois refletem a radiação entre as superfícies o que faz ela ficar "aprisionada" dentro dos cânions. O calor gerado pelas atividades do homem para aquecimento/resfriamento de casas e locais de trabalho durante o inverno/verão, para o transporte e processos industriais também colaboram para aquecimento do ar das cidades.

A verticalização das edificações formam barreiras ao vento o que diminui a transferência de calor entre as superfícies e o ar, favorecendo o aquecimento urbano. A canalização total de cursos de água favorece a menor capacidade de infiltração da água no solo, o que diminui os processos de evaporação e consequentemente maior temperatura e menor umidade do ar.

A poluição do ar e particulados, além de prejudiciais à saúde, podem contribuir para o aquecimento do ar e superfícies ao absorverem, refletirem e emitirem radiação para as superfícies. Esses processos e estruturas do ambiente urbano por diferirem em muito do ambiente rural ou natural explicam o surgimento das ilhas de calor.

De acordo com Gartland (2010) as consequências das ilhas de calor não estão relacionadas apenas ao desconforto causado pelas temperaturas do ar elevadas. Elas contribuem para maiores custos de energia elétrica devido a necessidade de resfriamento artificial dos ambientes e podem gerar sérios efeitos sobre a saúde e mortalidade em virtude da concentração de poluentes favorecidos pelo fenômeno.

Segundo Amorim et al. (2015, p.2) "Particularmente no ambiente tropical, que naturalmente apresenta situações de estresse térmico, a população sofre com os efeitos das temperaturas elevadas percebidas pelo desconforto térmico agravado pelas ilhas de calor urbanas." Carter et al. (2015) salienta para a intensificação das ilhas de calor urbanas devido as mudanças climáticas globais. E reitera a necessidade de adaptar edifícios e entornos para reduzir a exposição ao estresse térmico.

Esse trabalho busca responder a uma indagação básica feita por Monteiro (1990, p.13) "a partir de que porte e grau hierárquico uma cidade brasileira passa a oferecer condições de geração de um clima urbano?" Uma cidade como Ubá em transição do porte pequeno para o porte médio é capaz de desenvolver um clima tipicamente urbano?

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Para a investigação do clima urbano esse trabalho utiliza-se do Modelo de Potencial de Aquecimento. O modelo permite uma visão do ambiente integrando suas características físicas e socioeconômicas. Facilitando o entendimento de como as variáveis de uso da terra, tipo de pavimento, áreas livres, verticalização, massa construída, fator de visão do céu e topografia contribuem para a formação de diferentes campos térmicos no interior da cidade. Como resultado do modelo gera-se um mapa com áreas de maior/menor potencial de aquecimento do ar.

Além da modelagem buscou-se fazer a validação dos resultados com registros de temperatura do ar noturno, com intuito de identificar o grau de ajustamento do modelo a realidade climática urbana.

2.MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Ubá está localizado no estado de Minas Gerais, na mesorregião da Zona da Mata (Figura 1). Sua área total é de 407.452 km2, possui população de 101.519 habitantes, segundo Censo de 2010 (IBGE, 2017).

Seu sítio está sob domínio dos Mares de Morros como classificado por Ab'Sáber (2005). Essa unidade morfoclimática e climato-botânica tem como característica a mamelonização universal das vertentes, o relevo apresenta a forma de "meia laranjas". Estas cobertas originalmente por mata atlântica desde o fundo dos vales inferiores de 2 a 3m até os interflúvios em nível altimétrico de 1100m a 1200m, apresentam drenagem dendrítica de forma perene mesmo na estação seca, o substrato é de rochas cristalinas e cristalofianas profundamente decompostas, sob clima tropical úmido recobertas por solos do tipo latossolo (AB'SABER, 2005).

Essa configuração natural contudo encontra-se amplamente alterada. Da cobertura florestal da mata atlântica que primariamente recobria toda a região, antes da chegada do café no século XIX e do fumo no século XX, restaram poucos resquícios preservados no município, sobressaindo as manchas de floresta secundária estacional semidecidual. Predomina-se atualmente pastagens em muitos casos degradadas com erosões pontuais dado as grandes declividades que se encontra em algumas áreas no município.

A região de Ubá apresenta normalmente duas estações bem definidas, a primavera/verão quente e chuvosa e o outono/inverno seca e com temperaturas amenas. Na primavera/verão período que apresenta precipitações intensas e concentradas, correspondendo a aproximadamente 80% da precipitação/ano. Estas chuvas são derivadas da atuação de sistemas atmosféricos que proporcionam maior instabilidade atmosférica e proporcionam maiores volumes de precipitação, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e avanços de frentes frias, que quando atuam provocam frequentemente movimentos de massa e enchentes (SANTOS, 2013).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

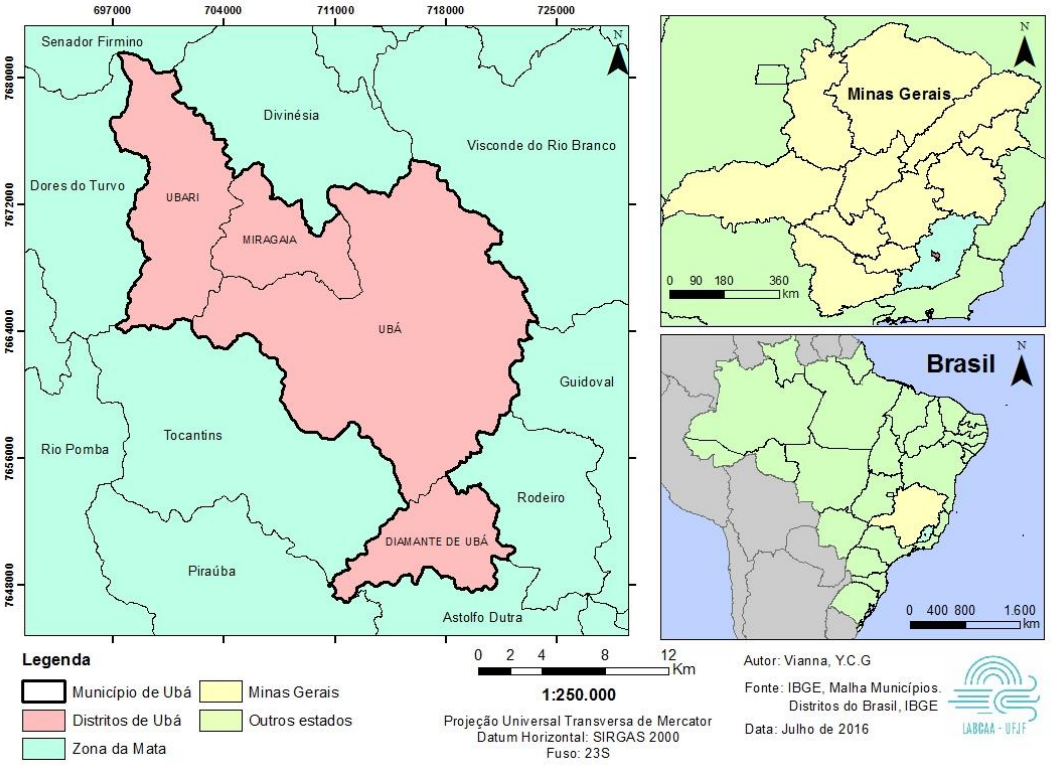

Figura 1 – Localização do município de Ubá. Fonte: Elaboração própria

A economia de Ubá está assentada principalmente na Indústria moveleira. Oliveira (2010) coloca como marco o surgimento da Domani aberta em 1959. A empresa se torna a principal manufatura da região ao longo da década de 1960 chegando a empregar 1200 funcionários. Mas em meados de 1970 a Domani fecha as portas o que ocasionou o surgimento de diversas micro e pequenas empresas fundadas por seus antigos empregados. Esse fato explica espacialmente a dispersão das industrias e seus galpões por todo o município de Ubá.

Ubá conforme destaca Oliveira (2010) sofreu um rápido crescimento de sua população urbana principalmente após década de 1950 graças ao desenvolvimento da indústria moveleira. Uma grande parcela do crescimento tem origem com êxodo rural da população da microrregião ociosa após a decadência da cultura do fumo e antes do café na microrregião.

Interligado ao processo de expansão populacional e industrial vem o processo de intenso crescimento da urbanização. A ocupação de Ubá ocorreu inicialmente ao longo dos vales fluviais, principalmente do ribeirão Ubá, evitando subir as encostas pelas dificuldades de construção como colocado por Andrade (1961). Porém a pressão demográfica, principalmente a partir da década de 1970, força a ocupação de áreas de meia encostas e topos de morros

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O modelo proposto por Ferreira (2014) busca através da aglutinação de diversas variáveis caracterizar as alterações no ambiente urbano e sua influência sobre a temperatura do ar urbano. Este modelo permite através da incorporação de características físicas (clima, topografia, hidrografia, relevo etc.), de características bióticas (vegetação) e socioeconômicas (que aparecem como elementos derivados pelo homem na paisagem, como edifícios, formas de uso do solo, vias de circulação, áreas verdes, etc.) ter uma visão geral do ambiente.

A autora propõe através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) a constituição de um modelo digital do ambiente que revela a potencialidade de uma área, dadas suas características, de desenvolver uma anomalia térmica.

O modelo segue a linha de modelos que buscam construir mapas urbanos climáticos como os elaborados por Acero et al. (2013) para o país Basco e a cidade de Bilbão e o mapa climático urbano analítico criado por Ferreira, Assis e Katzschener (2017) para a capital mineira, Belo Horizonte. Contudo a análise proposta nesse trabalho avança em alguns pontos, pois utiliza dados com grande escala de detalhe ao nível da edificação.

Para a aplicação do Modelo de Potencial Térmico (MPT) foi necessário criar um banco de dados geocodificado, onde os diversos dados apareçam com o atributo locacional. Essas variáveis darão origem aos mapas básicos que foram utilizados na construção

de mapas temáticos. Estes após serem reclassificados em uma escala que varia de -3 a 5 de acordo com sua contribuição ao aquecimento do ar, foram sobrepostos e formaram um mapa síntese da área em estudo.

Para isso, foram verificadas as variáveis indicadas e analisadas por diferentes pesquisadores como responsáveis e interferentes na temperatura do ar, neste estudo foram trabalhadas as seguintes: massa construída, fator de visão do céu, albedo, emissividade, cobertura vegetal, cursos d´água, taxa de impermeabilização, sombreamento e altitude.

Os valores de 1 a 5 representam elementos que contribuem com o aquecimento do ar. 1 - Baixíssima potencial de aquecimento do ar; 2 – baixo potencial de aquecimento do ar; 3 – médio potencial de aquecimento do ar; 4 - alto potencial de aquecimento do ar e 5 - altíssimo potencial de aquecimento do ar. Os valores negativos representam elementos mitigadores do aquecimento do ar: -3 Alto poder de mitigação do aquecimento do ar, -2 – médio poder de aquecimento do ar e -1 – Baixo poder de mitigação do aquecimento do ar. Desta forma, a definição dos pesos seguiu o procedimento da avaliação orientada por conhecimentos especializados. O modelo tem um grau de subjetividade dado que pode variar marginalmente sua resposta em função da disposição dos pesos. Contudo segue uma lógica ancorada em observações e discussões de outros autores sobre a resposta térmica das variáveis usadas no modelo. O modelo por buscar recriar a realidade deve ser sempre checado em relação a seu ajuste.

As variáveis foram levantadas em torno dos pontos de coleta de temperatura do ar. Oke e Stewart (2012) definem que a área de influência dos

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

sensores de temperatura do ar é a área de aquecimento superficial da qual deriva a temperatura do ar e que por transporte turbulento é lida pelo sensor. Adotamos para este trabalho um raio de 100m em torno do ponto de coleta.

A maioria das variáveis que deram origem aos mapas básicos foram levantadas a partir de fotointerpretação e vetorização manual das informações tendo como base uma imagem de alta qualidade da área do Google Earth Pro. A área das edificações foi identificada e vetorizada a partir dessa imagem pelo tamanho de suas coberturas. As vias e vegetação também foram extraídas da imagem de satélite.

Acompanhado do processo de fotointerpretação da imagem vertical, utilizamos a ferramenta Google Street View para ter uma visão da área ao nível do solo. A partir da visão ao nível do solo pode-se extrair outras informações como número de pavimentos de cada edificação, além de confirmar o tipo de cobertura, tipo de pavimento das vias e características da vegetação analisadas anteriormente pela imagem de satélite.

Nessa modelagem foram agrupadas sete variáveis: massa construída, albedo, emissividade, vegetação, impermeabilização, topografia e fator de visão do céu.

Para o cálculo da massa construída foi utilizado a ferramenta Calculate Geometry no ArcMap 10.2.2 na qual foi calculada área (m2) e perímetro (m) com base nos polígonos vetorizados. Em seguida foi criado um novo campo na tabela de atributo e utilizada a ferramenta Field Calculator para calcular a massa construída utilizando a fórmula adaptada do trabalho de Tso (1990).

$$\mathrm{Mc} = (P\,.\,h\,.\,EC1\,.\,\gamma a\,) + (A.\,NL\,.\,Ec2.\,yc)$$

Onde:

Mc= Massa construída

γa = densidade da alvenaria= 1650 kg/m³

γc = densidade do concreto = 2400 kg/m³

P = perímetro da edificação (m)

h = altura da edificação (m) (adotou-se 3m como altura padrão de cada pavimento)

Ec1 = Espessura média do concreto nas construções, adotado valor de 0,14 m para as paredes externas

A = área da edificação (m²)

NL = número de lajes +1

Ec2 = Espessura média das lajes de concreto nas construções, adotado 0,10 m como valor de referência

O resultado da variável massa construída foi classificado em 5 classes por quartis. Em seguida os vetores foram transformados em um arquivo raster, foi utilizado pixel de 1 metro, o que gera melhor qualidade no produto final. Em seguida foram reclassificados com a ferramenta Reclassify em relação ao seu potencial de aquecimento com valores variando de 1 a 5 de acordo com Quadro 1. A lógica por trás do peso dado é que quanto maior a edificação maior massa

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

construída e maior capacidade da edificação em armazenar calor e portanto maior potencial do ar próximo a esses edifícios de atingir maiores temperaturas.

Quadro 1 – Valores de Massa construída e grau de influência no aquecimento do ar

Massa Construída (Kg)	Peso
0 - 80837	1
80837 - 122671	2
122671 - 192764	3
192764 - 350206	4
350206 - 2586171	5

Fonte: Elaboração própria

As coberturas das edificações, os pavimentos e a vegetação foram classificadas quanto ao albedo e emissividade dos materiais dessas superfícies.

As coberturas das edificações foram classificadas em relação ao material usado em: laje de concreto, telhas de fibrocimento, telhas metálicas (aço galvanizado) e telhas do tipo colonial, essas foram separadas em dois tipos: limpas e sujas.

Os pavimentos também foram levantados e classificados em: asfalto, bloquetes de cimento, pedra tosca (ou alvenaria poliédrica) e solo exposto. A variável Pavimento engloba principalmente o arruamento e áreas de dimensão significativa como estacionamentos, quadras e lotes vagos.

A confecção do mapa base deu-se pela transformação dos lotes vetorizados com os valores de albedo e emissividade em arquivos raster e que em seguida foram reclassificados com a ferramenta Reclassify em relação ao seu potencial de aquecimento com valores variando de 1 a 5 de acordo com a sua potencial contribuição para o aquecimento do ar, seguindo o que foi apresentado no Quadro 2. Materiais com baixo albedo absorvem mais radiação solar e por isso se aquecem mais e consequentemente aquecem mais o ar em contato. Esses materiais receberam pesos maiores indicando esse maior potencial de contribuição para o aquecimento do ar. O peso dado está diretamente relacionado a sua propriedade física que contribui para o maior aquecimento do ar. A mesma ideia sustenta os pesos dados a variável emissividade.

Quadro 2 – Valores de Albedo e emissividade de diversas superfícies urbanas e naturais

Material	Albedo	Peso Albedo	Emissividade	Peso Emissividade
Coberturas				
Laje (cimento)	0,35	3	0,9	2
Fibrocimento	0,34	3	0,9	2
Telha metálica	0,57	2	0,25	5
Telha colonial nova e limpa	0,68	1	0,9	2
Telha colonial velha e suja	0,53	2	0,9	2
Pavimentos				
Asfalto	0,12	5	0,95	1
Concreto	0,35	3	0,9	2

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Pedra lascada	0,33	3	0,95	1
Solos claros e secos	0,35	3	0,9	2
Vegetação e Água				
Grama	0,26	4	0,95	1
Vegetação arbustiva	0,16	5	0,9	2
Vegetação Arbórea	0,2	5	0,98	1
Água	0,1	5	0,95	1

Fonte: Adaptado com base nos valores de albedo e emissividade de Oke (1987); Ferreira e Prado (2003)

A vegetação por sua fisiologia contribui para o resfriamento do ar sendo como elemento mitigador da temperatura do ar. A vegetação arbórea como coloca Mascaró e Mascaró (2002) contribui com sombreamento durante o dia o que gera um menor armazenamento de calor nos materiais, logo uma menor liberação de calor durante a noite. De modo a captar essas propriedades a vegetação entra no modelo com valores negativos representando esse potencial resfriamento do ar quando comparado a outras superfícies urbanas. Seus pesos tem relação ao seu albedo, evapotranspiração e sombreamento.

As áreas verdes foram identificadas pela imagem de satélite, segundo sua textura foram separadas em vegetação arbórea, arbustiva, viária e rasteira. A distribuição dos pesos está no Quadro 3. A vegetação viária foi colocada em uma classe a parte, pois apesar de fornecerem sombreamento sob sua copa entre as árvores em geral o pavimento é de concreto ou outro pavimento impermeável o que altera a forma como essa área armazena calor em comparação a uma área com vegetação arbórea e superfície permeável entre as árvores. Cursos de água, como rios, córregos ou ribeirões foram identificados por seu espelho d'água ou matas ciliares.

Quadro 3 – Áreas verdes e peso no aquecimento do ar

Áreas Verdes	**Peso**
Grama	-2
Vegetação arbustiva	-2
Vegetação Arbórea	-3
Água	-2
Vegetação Viária	2

Fonte: Elaboração própria

Como alguns elementos não são perfeitamente identificáveis e classificáveis na imagem foi feita uma generalização de área construída ou impermeabilizada dentro do raio de 100m de cada ponto. Todos elementos que não são vegetação, água ou solo expostos foram generalizados para ambiente construído.

Os shapes resultantes foram convertidos para raster e depois reclassificados segundo a possibilidade de contribuir para o aquecimento do ar segundo valores do Quadro 4. Áreas impermeáveis impedem o resfriamento da

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

superfície pelo processo de evaporação. Os pesos dado as áreas impermeáveis buscam então assimilar essa ideia ao modelo.

Quadro 4 – Impermeabilização e grau de influência no aquecimento do ar

Impermeabilização	Peso
Área construída / impermeável	5
Ruas de pedra / semi-impermeável	4
Área permeável	0

Fonte: Elaboração própria

A altitude é sabidamente uma variável que tem forte influência na temperatura do ar dado gradiente adiabático do ar. As formas do relevo também podem facilitar a circulação dos ventos ou formar barreiras contra ele. Os pontos mais altos principalmente no topo de morro formam um topoclima diferenciado em relação ao fundo do vale, o vento nesses pontos com menos barreiras circula com maior intensidade resfriando as superfícies por convecção. Pontos no topo de morro sujeitos a maior influência da ação dos ventos e perda de calor por convecção foram diferenciados e por isso receberam um peso menor para que o modelo pudesse captar essa diferença topoclimática (Quadro 5).

Quadro 5 – Relevo, altitude e grau de influência no aquecimento do ar

Relevo	Peso
332 - 360 m	2
361 - 390	1

Fonte: Elaboração própria

Para o cálculo de fator de visão do céu (FVC) optou-se pela metodologia apresentada por Collischonn & Ferreira (2016). A metodologia apresentada pelos autores calcula o FVC através de um software a partir de uma fotografia tirada com uso de uma lente de olho de peixe. Depois foi utilizado o software Sky View Factor Calculator disponibilizado pelo Göteborg Urban Climate Group da Universidade de Göteborg na Suécia. Utilizou-se nesse trabalho os valores do método Annulus de Johnson e Watson (1984) por apresentar valores mais condizentes com os representados pela imagem

Menores valores de SVF indicam maior obstrução do céu e maior aquecimento do ar, principalmente noturno, enquanto durante o dia pode indicar maior tempo sombreado. Depois de classificados os dados de fator de visão do céu foram reclassificados quanto ao grau de influência sobre o comportamento térmico com valores indicados no Quadro 6.

Quadro 6 – Fator de visão do céu e grau de influência no aquecimento do ar

Fator de visão do céu	Peso
0,43 – 0,59	3
0,6 - 0,76	2
0,77 - 0,99	1

Fonte: Elaboração própria

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Os mapas básicos deram origem a mapas temáticos que foram reclassificados qualitativamente, as variáveis foram classificadas de 1 a 5 segundo sua contribuição para o aquecimento do ar. Sendo o valor 5 atribuído a um elemento com forte potencial de influenciar o aquecimento do ar acima dele e 1 dado a elementos que possuem baixo potencial. Em seguida foram integrados utilizando a ferramenta Raster calculator no ArcMap 10.2 todos arquivos anteriores criados foram somados de modo a dar o efeito de sobreposição desejado.

Para registar as temperaturas do ar urbano foram instalados oito pontos de coleta de dados: sete na área urbana e um nos arredores rurais (7,5 km do centro da cidade, porém pertencente politicamente ao município vizinho de Tocantins). Os pontos foram alocados buscando características representativas da cidade como: uma área com maior concentração de galpões industriais, um ponto na área central, um ponto central próximo ao Ribeirão Ubá, um ponto em um loteamento popular, um ponto no topo de morro, um ponto em um bairro residencial e um ponto urbano em local com resquício de mata ou área verde. Foi considerado que os pontos fossem distribuídos espacialmente ao longo da mancha urbana.

Amorim (2000) diz ser fundamental a observação de múltiplos pontos, pois possibilita o registro dos elementos climáticos em diferentes pontos da cidade que irá contribuir para o entendimento das transformações de energia no interior da cidade.

Foram utilizados termômetros com data logger da marca Hobo, modelo UA-001-64. Os termômetros foram alocados em abrigos de isopor feitos com uso de duas camadas, um copo de isopor furado internamente e uma tampa de um porta garrafa de isopor de 1 litro, além dessas camadas foi colocado uma cobertura "chapéu" feita por um prato de isopor com objetivo de isolar e sombrear parte das superfícies do abrigo.

Em testes feitos e após a análise dos dados optou-se por trabalhar apenas com dados noturnos. Isso ocorreu pela incapacidade dos abrigos adotados e outros abrigos testados, como o utilizado por Quina (2016), em isolar o sensor da radiação direta gerando grandes distorções nos dados de temperatura do ar diurna. Idealmente os sensores deveriam ter sido posicionados em ambientes homogêneos na área urbana: mesmo tipo de pavimento e distância para muros e outras edificações. Todavia isso não foi possível e talvez nem desejável já que o escopo da pesquisa foi também analisar diferentes comportamentos térmicos intraurbanos. O uso dos dados noturnos eliminou o problema decorrente da diferença de sombreamento nos sensores ao longo do dia resultante do próprio local onde o sensor está alocado como também da diferença de nebulosidade entre dois pontos urbanos.

A análise dos dados de temperatura do ar do foram desenvolvidas levando em consideração a situação sinótica ocorrida durante a sua captura. A influência dos sistemas atmosféricos atuantes é o principal fator controlador da intensidade das ilhas de calor. Com essa finalidade foram analisadas as cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha do Brasil.

Com objetivo de comparar as amostras dos dados encontrados de temperatura do ar rural e urbano foi utilizada para análise estatística o modelo ANOVA com analise de um fator. Esse teste segundo Fernandes (1999) pretende

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

revelar se existem diferenças significativas em média entre os conjuntos de dados que receberam diferentes tratamentos.

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + e_{ij}$$

μ é a média geral dos dadosv
β = μ_j – u, ou seja, desvio do tratamento j, diferença entre a média do tratamento e média
e_{ij} são os erros causais
A hipótese nula é que H_0: $\mu_1 = \mu_2 = ... = u_k$ e que H_0: $\beta_1 = \beta_2 = ... \beta_k$

Isso significa que os dados foram testados em relação a hipótese que não há diferenças entre os conjuntos de dados em relação à média.

Nessa aplicação almeja-se saber se as temperaturas do ar captadas pelos diferentes pontos são realmente diferentes entre si, dado os diferentes elementos urbanos que influências a temperatura do ar, ou se não há diferença nas temperaturas sendo todas elas controladas pela circulação atmosférica geral e elementos regionais da paisagem.

O teste de Tukey serve como um teste complementar ao ANOVA para em caso de rejeição da hipótese nula identificar quais pontos são diferentes entre si, pois o ANOVA apenas informa que um dos pontos é diferente, mas não qual dos pontos. O teste analisa os pontos pegando eles de par em par e comparando sua média.

Os testes estatísticos do ANOVA foram feitos na análise de dados do Excel 2013 e no software Past 3 foi realizado o teste de Tukey.

A validação dos dados da modelagem foi feito usando gráfico de dispersão e correlação linear no software Excel 2013.

A temperatura do ar urbano foi registrada de forma pontual enquanto o modelo de potencial de campos térmicos tem uma área de 100m adotada como a área lida pelos sensores de temperatura do ar. Para correlacionar essas duas grandezas foi necessário usar uma métrica para transformar o modelo em apenas um valor. Utilizar apenas o valor do pixel sob qual o sensor está posicionado seria um erro, pois além da superfície horizontal existem as superfícies verticais e outras superfícies próximas que contribuem para aquecimento do ar e que por transporte turbulento interferem na temperatura do ar e portanto é lido pelo sensor.

Como o resultado do modelo é um raster formado por pixels de 1m x 1m, pegou-se o valor de cada pixel, que representa o potencial de aquecimento naquele m2 e multiplicou-se pelo número de ocorrência desse pixel com esse valor dentro do raio de 100m de cada ponto e no fim somou-se todos os valores.

$$PAT = \sum_{i=1}^{n} x_i . w_i$$

onde:
PAT é o potencial de aquecimento total do ar em uma área
x_i é o número de pixels com peso w
w_i é o valor do potencial de aquecimento daquele pixel

Pode-se ainda correlacionar o número de pixels nas classes alto e altíssimo potencial de aquecimento (valores de 16 a 22) dentro de cada ponto com os valores de temperatura do ar noturno.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Segundo Mendonça (2013) a identificação o mais detalhada possível dos diferentes espaços intraurbanos é de grande importância, pois permite inferir os fatores causadores da diferenciação climática no interior da cidade.

Os pontos de coleta de dados e uma fotografia do modelo de equipamento utilizado instalado no ponto 1 estão representados na Figura 2.

O ponto 0 é o ponto localizado na zona rural, ele é o ponto utilizado como referência da temperatura do ar para todos os outros pontos urbanos. Ele representa uma área que não é afetada pela urbanização, refletindo apenas o clima regional. Sua localização é representativa dos arredores rurais da região que mesclam pastagens e resquícios de matas secundárias que se desenvolveram após a cultura do café e fumo na região. Esse ponto tem apenas 0,7% de sua área construída ou impermeável. Está a 370m de atitude. A estação foi colocada em área descoberta contudo próxima a uma grande mangueira, podendo sofrer algum sombreamento durante o dia.

O ponto 1 foi alocado no bairro Antonina Coelho, local também conhecido como COHAB. A uma altitude de 360m em uma vertente orientada a nordeste quase plana com declividade entre 0° e 6°. O uso e ocupação da região é predominante residencial, contudo como é comum na cidade à presença de alguns galpões da indústria moveleira ou comerciais. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 84,1%.

O ponto 2 foi instalado em uma área exclusivamente residencial, localizado nas bordas da região central. A área apresenta alguns terrenos vagos cobertos por vegetação rasteira e em alguns deles com alguma vegetação arbórea. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 65,5%. Esse ponto está a 343 m em uma vertente orientada ao sul quase plana.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

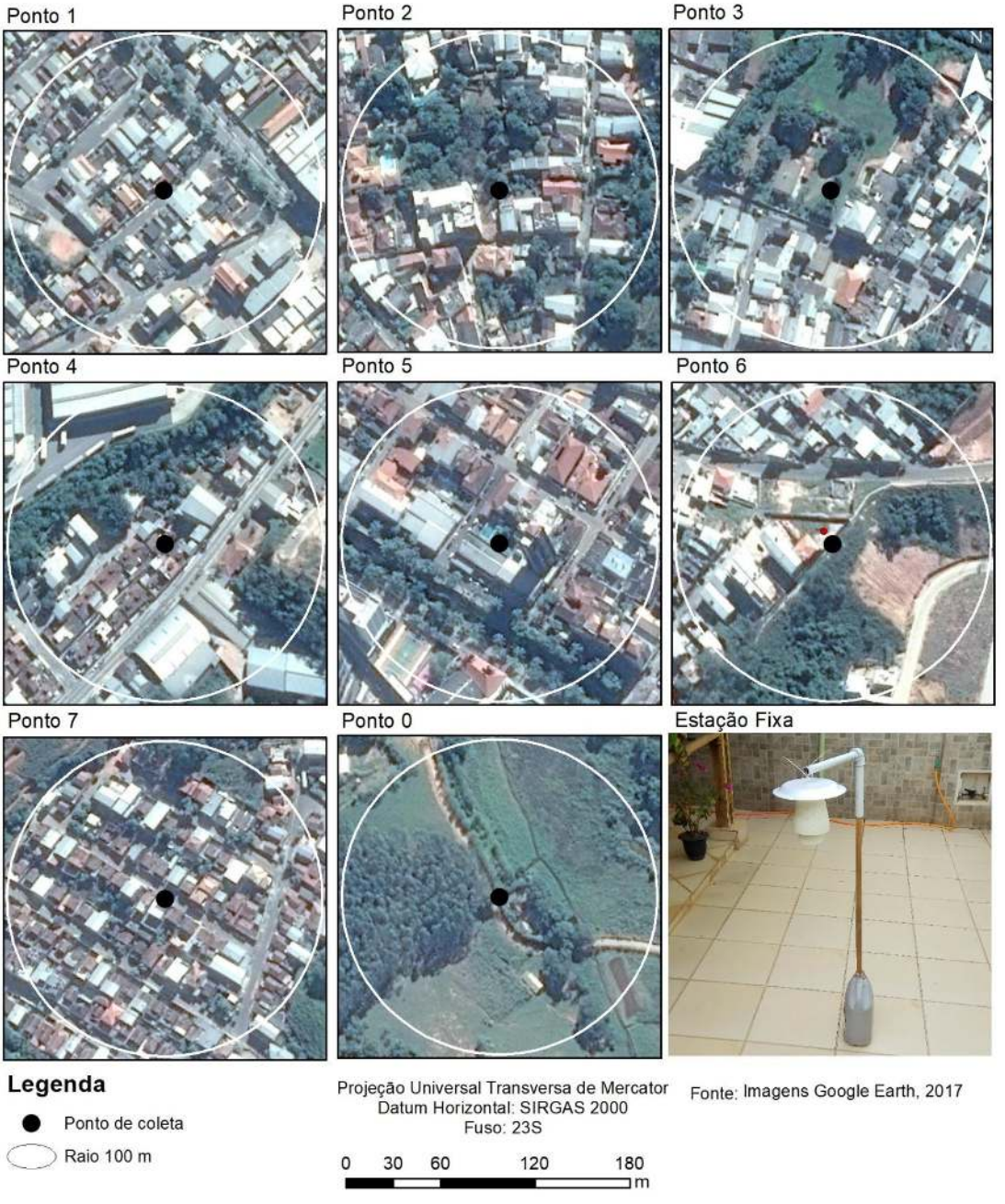

Figura 2: Pontos de coleta. Fonte: Elaboração própria

O ponto 3 foi localizado no bairro Industrial que possui um uso mais misto entre residências e galpões industriais como o próprio nome sugere. A estação foi alocada em uma casa de alto padrão com uma taxa de ocupação do terreno baixíssima possuindo uma grande área livre gramada e parte ocupada com vegetação arbórea. O terreno é contornado por um córrego que tem sua mata ciliar preservada. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 60,4%. A estação ficou sobre o gramado. Relevo é quase plano com vertente voltada ao norte com altitude de 332m.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O Ponto 4 compreende o bairro oficialmente chamado de Habitat I, mas o local é mais conhecido como Vila da Itatiaia. O nome faz alusão a fábrica Itatiaia que é a maior produtora de móveis da cidade que fica próximo ao ponto, originalmente as moradias eram de funcionários da empresa. No raio de influência da estação estão presentes as moradias de funcionários, alguns galpões de outras fábricas e uma parte da área ocupada pela fábrica da Itatiaia. Nos limites da fábrica passa um córrego que possui uma vegetação ciliar em suas margens, o que faz com que a fábrica fique desconectada das moradias vizinhas por essa barreira de vegetação. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 67,7%.

O ponto 5 abrange a área central da cidade próximo ao Ribeirão Ubá, principal curso d'água do município. Nessa área predominam uso residencial e comercial. As casas são de alto padrão com lotes maiores. É a área da cidade com maior verticalização possui alguns edifícios acima de 4 pavimentos. Seu percentual de área construída é 94,6%. As avenida Beira Rio e Dr. Jacintos Souza Lima que margeiam o curso d'água possuem alguma vegetação viária o que gera sombreamento sobre parte das avenidas. A altitude 342m.

O ponto 6 foi instalado numa área de ocupação mais recente da cidade no bairro Vale do Ipê. Parte da área apresenta lotes vagos e solo exposto pertencentes a um condomínio que foi construído irregularmente e posteriormente foi embargado pela prefeitura. Área é exclusivamente residencial não havendo galpões industriais. Os lotes são pequenos com grande número de residências. Seu percentual de área construída é 49,9% Esse ponto é o que tem a maior altitude 390m em uma área gramada no topo do morro. Essa localização tem objetivo de avaliar a influência do vento no resfriamento do ar urbano.

O ponto 7 foi colocado no bairro do Xangrilá, este bairro surgiu como um loteamento popular. Inicialmente todas as casas eram idênticas com o passar do tempo estas sofreram algumas alterações e expansões. Contudo na maioria ainda predominam as telhas cerâmicas escuras. Os lotes pequenos tem uma grande taxa de ocupação que foi ampliada com o passar do tempo pelos anexos feitos pelos moradores. Ao redor do loteamento que tem uso exclusivamente residencial ocorre alguma vegetação arbórea e lotes vagos com vegetação rasteira. Algumas casas tem árvores nos fundos do terreno, mas as ruas não dispõem de vegetação viária. O bairro não conta com nenhuma área de lazer. Seu percentual de área construída é 92,4%. O ponto está a 388m de altitude, contudo diferentemente do ponto 6 está localizado na meia encosta que está voltado ao sul com baixa declividade entre 6° e 15.

Na Figura 3 tem-se o valor do fator de visão de cada ponto de coleta de dados. O fator de visão do céu é uma forma de representar a geometria urbana. Os pontos foram agrupados em 3 grupos: alto, médio e baixo. Os pontos 0,3, 5 e 6 possuem alto fator de visão do céu. O ponto 2 apresenta um fator de visão do céu médio. Os horizontes dos pontos 1, 4 e 7 são mais obstruídos por construções.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

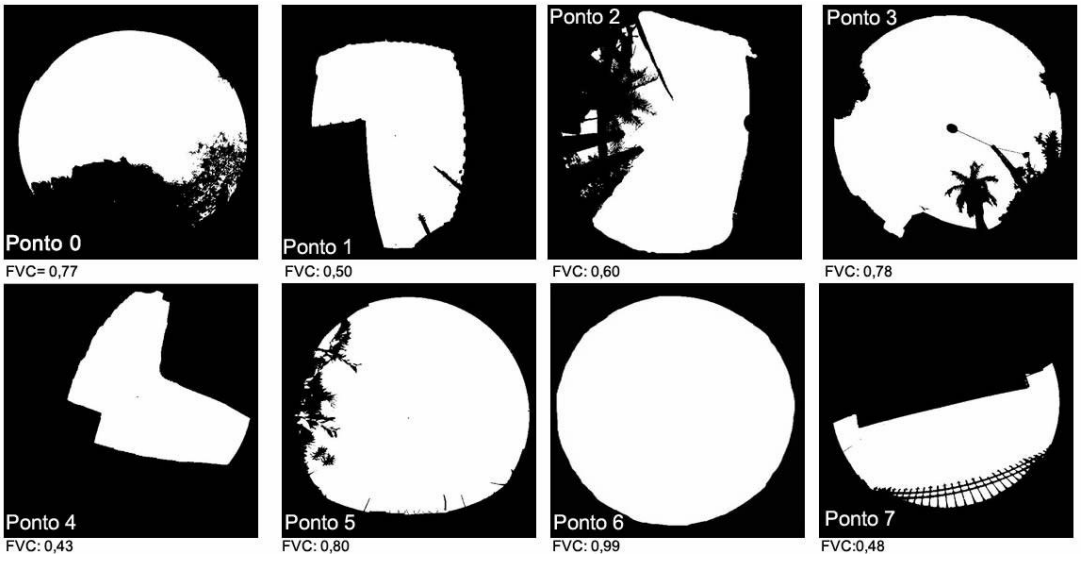

Figura 3 – Fator de visão do céu dos pontos de coleta. Fonte: Elaboração própria

Os pontos com alta obstrução tendem a reter o calor em seu interior com superfícies e ar mais aquecidos em comparação com pontos mais abertos com maior fator de visão do céu. Porém em casos de alta obstrução esses pontos recebem radiação direta um menor número de horas por dia devido ao sombreamento, dependendo do grau de obstrução se tornam pontos mais frios durante o dia. São dois efeitos concorrentes entre si, conforme mostrado no trabalho de Vianna et. al (2017). Durante a noite o efeito sombreamento é eliminado, pontos com horizontes mais obstruídos, como os pontos 1,4 e 7 tem menor perda de energia, pois a radiação de ondas longas emitida nesses pontos acaba por encontrar com uma outra superfície no interior do cânion e ser armazenada como calor tornando-se pontos com maior temperatura do ar noturno.

MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO

Seguindo com a modelagem os mapas básicos foram transformados em mapas temáticos representando variáveis importantes ao aquecimento do ar urbano, reclassificados e somados dando origem ao mapa síntese. A figura 4 apresenta o resultado do modelo de potencial térmico para os pontos de coleta. Os intervalos de 1-8 representam uma área com baixíssimo potencial de aquecimento, de 9-11 baixo, de 12-15 médio, de 16-18 alto e 19-22 altíssimo potencial de aquecimento.

As áreas de cobertura asfáltica ficam destacadas como alto potencial de aquecimento, representando bem suas características de baixo albedo e impermeabilização.

Superfícies vegetadas como esperado são modeladas como áreas de baixo potencial de aquecimento. Durante a fotossíntese e a respiração as plantas absorvem radiação, liberam vapor e resfriam o ar. Conforme Mascaró (1996) o sombreamento é uma das funções mais importantes da arborização diminuindo as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações consequentemente reduzindo o aquecimento do ar.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As classes de maior potencial de aquecimento são encontradas onde existem grandes edificações com maior número de pavimentos e assim sendo altos valores de massa construída. Sobretudo nas edificações com cobertura de telhas metálicas como os galpões industriais.

Como pode ser observado no ponto 4, Figura 2 e 4. Esse ponto possui uma concentração de galpões industriais na área. Por exemplo, o galpão com telhado convexo ao sul do ponto 4, foi modelado como tendo peso 22 para aquecimento do ar. Esse valor é um somatório dos pesos individuais dos mapas temáticos gerados ao serem sobrepostos, foi dado o valor 3 pelo ponto 4 se localizar em uma área de baixo fator de visão do céu. Mais 2 por estar no fundo do vale em uma região com pouca circulação de ventos. Por ser uma superfície impermeável recebeu peso 5. Sendo uma superfície metálica reflexiva recebeu nota 2 para o seu albedo e 5 para emissividade. Devido as dimensões e altura recebeu peso 5 para massa construída. Não apresentando uma superfície vegetada ganhou 0 na variável vegetação. Somado esses valores chegou-se ao seu grau de influência no aquecimento do ar de 22 nessa área de abrangência do ponto 4.

Ao ordenar os pontos segundo o Potencial de Aquecimento Total - PAT (somatório do valor de potencial de aquecimento multiplicado pelo número de pixels com aquele valor de potencial de aquecimento do ar), obtém-se a seguinte sequência do ponto de maior potencial de aquecimento para o de menor potencial: P1, P4, P5, P7, P3, P2, P6 e P0.

Os pontos com menores potenciais de aquecimento: P0, P6, P2 e P3 (Figura 4) tem como característica comum estarem em áreas com grande índice de permeabilidade do solo, respectivamente 99,3%, 50,1%, 34,5% e 39,6%. Ao correlacionar os valores de permeabilidade do solo com a média de temperatura do ar noturno obtivemos uma correlação de -0,951. Isto é, quanto menor a permeabilidade do solo maior a temperatura do ar noturno.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

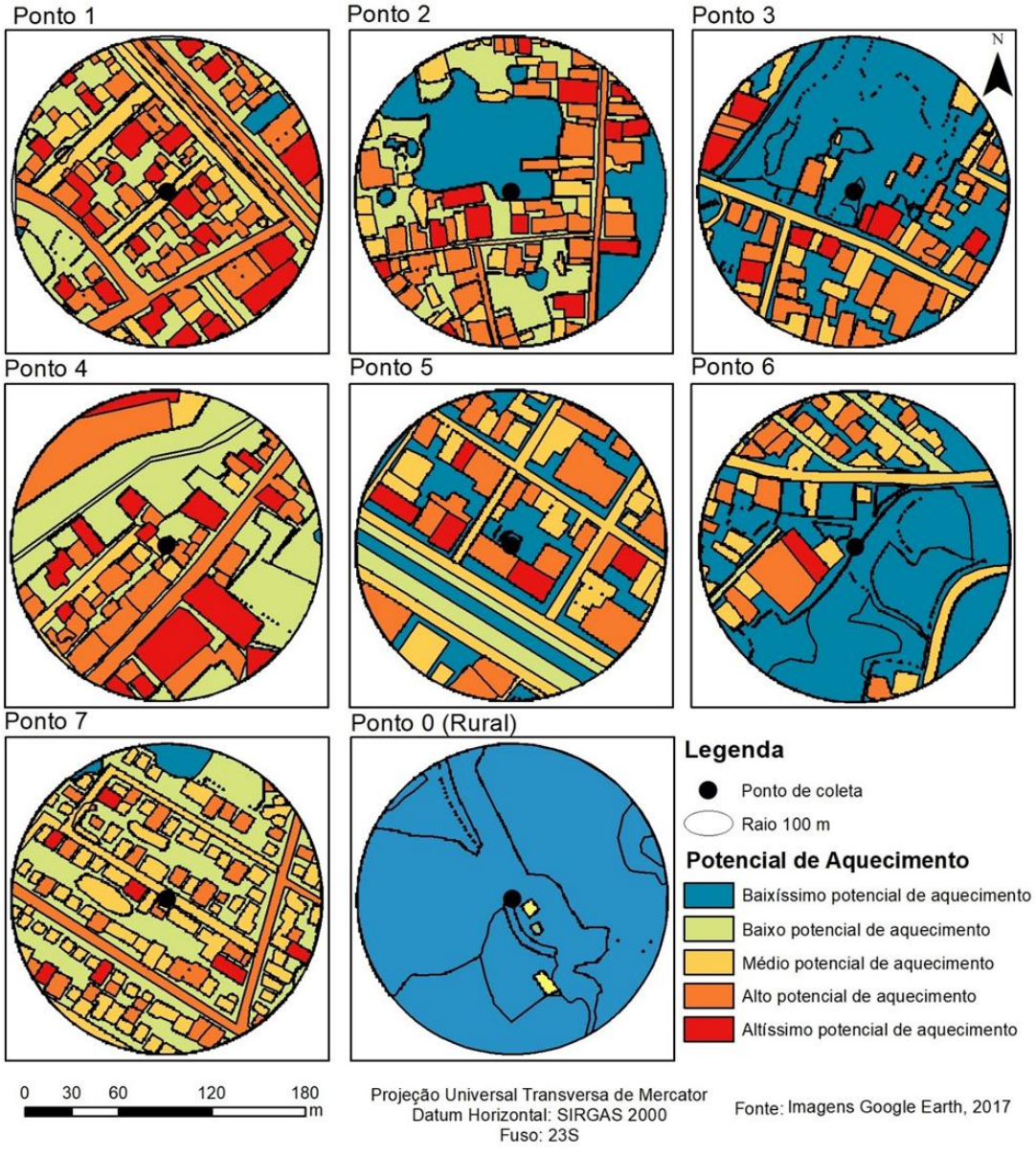

Figura 4 – Modelo de Potencial Térmico. Fonte: Elaboração própria

Os pontos 1 e 7 tem como características grande parcelamento do solo urbano e um adensamento de residências. No ponto 7 predominam casas 1 pavimento com pequenos quintais nos fundos, sendo 6,9% da área coberta por asfalto. No ponto 1, as casas não possuem quintais nos fundos. Um maior número de vias cortam essa área, sendo estas mais largas que as vias no ponto 2 e 3 por exemplo, com pavimentação total de asfalto em 12,5% da área. No ponto 7 por ser um loteamento originalmente planejado predominam coberturas cerâmicas (atualmente escurecidas pelo tempo) enquanto no ponto 1 um predominam coberturas metálicas, que comparativamente contribuem para um maior aquecimento do ar urbano. Por essas características de alto adensamento,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

predomínio do uso de cobertura metálica e grande área com pavimentação asfáltica, o ponto 1 é o ponto com maior potencial de aquecimento do ar.

O ponto 4 se caracteriza pela presença de muitos galpões industriais de grande dimensão com uso de coberturas metálicas. Ao norte do ponto encontra-se a maior fábrica da cidade com 85.000 m² de área construída (ITATIAIA, 2018). O ponto 4 também possui uma vasta cobertura de asfalto 13,8% da área. O uso de coberturas metálicas e pavimentação asfáltica são importantes componentes para aquecimento do ar.

O ponto 5 se localiza em uma área central da cidade com um menor parcelamento do solo, i.e., menor número de lotes. Dos pontos analisados é o com maior verticalização, o que cria focos de alto potencial de aquecimento do ar. Predomina o uso de cobertura de cerâmica em 67% da área, característica de um padrão construtivo mais elevado visto que esse tipo de cobertura tem um maior custo. Do total da área apenas 8% é coberto por asfalto, nesse ponto predomina o uso dos bloquetes de concreto para calçamento das vias, esse tipo de pavimento tem médio potencial de aquecimento do ar.

Apesar do ponto 5 ser um ponto central seu potencial de aquecimento do ar é menor do que o ponto 1, que se localiza na periferia da cidade. Isso evidencia que o padrão de urbanização e o padrão térmico dele derivado em Ubá, e em outras cidades pequenas e médias, pode se distanciar do modelo básico de ilha de calor proposto por Oke (1987) onde as maiores temperaturas são encontradas nos centros urbanos e as menores nos subúrbios. A cidade de Ubá não possui um centro desenvolvido e amplamente verticalizado como o modelo americano e canadense de cidade, entretanto sua periferia é muito adensada e pouco arborizada em comparação com o descrito pelo autor na classificação zonas climáticas urbanas.

TEMPERATURA DO AR NOTURNO

Para um melhor entendimento dos valores de temperatura do ar nos diferentes microclimas urbanos precisa-se entender o comportamento atmosférico geral durante o período de coleta dos dados. Mudanças nas condições regionais atmosféricas, por serem de hierarquia superior, são altamente influentes para o comportamento do sistema clima urbano. Há um predomínio no período da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com atuação em 13 dias, depois a Massa Tropical Atlântica (mTa) com atuação em 10 dias, 13 dias foram influenciados pelas linhas de instabilidade, 3 dias de chegadas de frentes e 4 dias de atuação do sistema Polar.

O Tabela 1 mostra a diferença máxima entre temperatura do ar dos pontos urbanos em relação ao ponto rural e o horário habitual (calculado através moda) de ocorrência no período noturno. A média mostrada no tabela é a média das máximas diárias.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Diferença máxima diária da temperatura do ar noturno Urbano – Rural (em °C)

Sistema atuante		P1-P0		P2- P0		P3- P0		P4- P0		P5- P0		P6- P0		P7- P0	
	Data	Hora	Máx.	Hora	Máx.	Hora	Máx.	Hora	Máx.	Hora	Máx.	Hora	Máx.	Hora	Máx.
mTa	17/01	22	5,6	22	4,8	22	4,4	22	4,5	22	5,4	0	3,5	21	**6,1**
mTa	18/01	23	7,6	0	6,2	22	6,1	2	8,1	1	6,6	1	6,9	0	**8,4**
mTa	19/01	20	7,4	20	6,4	20	6,9	20	6,1	20	7,2	20	6,7	20	**8,1**
mTa	20/01	20	6,2	23	5,7	22	5,6	20	5,5	22	5,9	23	4,4	21	**6,8**
LI	21/01	21	5,6	21	4,1	21	3,7	19	5,0	21	4,6	0	2,7	21	**5,7**
LI	22/01	20	4,6	19	3,0	20	2,6	19	**4,7**	20	2,9	20	1,6	20	3,9
mTa	23/01	20	**4,8**	21	3,5	20	3,6	20	4,3	21	4,1	20	3,2	21	4,4
mTa	24/01	21	5,7	22	3,9	21	3,3	20	5,6	21	5,1	20	3,7	21	**6,2**
mTa	25/01	20	5,5	20	4,4	21	3,9	19	5,2	20	5,0	19	3,2	20	**5,8**
LI	26/01	5	**3,7**	6	2,7	5	2,1	4	3,1	6	2,7	5	1,4	6	3,0
LI	27/01	5	3,5	5	2,5	19	2,4	19	**3,8**	6	2,1	5	1,1	19	2,5
LI	28/01	20	**5,4**	23	5,0	0	3,5	20	5,0	21	4,7	21	2,9	21	5,3
LI	29/01	21	3,1	19	1,3	19	0,6	20	2,8	2	0,6	19	**3,4**	21	1,7
ZCAS	30/01	3	**2,1**	3	1,0	20	0,5	3	1,5	3	1,5	3	0,4	3	0,7
ZCAS	31/01	5	**1,8**	4	1,0	4	1	4	1,2	4	1,5	4	0,3	22	0,9
ZCAS	01/02	21	**3,2**	21	2,4	19	2,8	21	2,8	22	3,1	21	1,6	22	2,7
ZCAS	02/02	20	**3,8**	20	3,0	20	3,4	20	3,4	20	3,6	20	2,3	20	3,5
ZCAS	03/02	20	**3,5**	19	2,3	20	2,5	20	3,6	20	3,0	20	1,9	20	3,1
ZCAS	04/02	2	**1,5**	2	0,8	19	0,7	19	1,4	2	1,3	2	0,2	19	0,7
ZCAS	05/02	6	0,7	6	0,3	19	0,3	19	0,6	3	**0,8**	23	-0,1	1	0,1
ZCAS	06/02	19	1,6	20	0,8	20	1,3	19	1,1	19	**1,8**	19	0,8	19	1,4
ZCAS	07/02	20	**3,9**	20	2,7	20	3,4	20	2,9	20	3,3	19	1,8	20	3,4
LI	08/02	20	3,4	21	2,6	23	2,8	20	2,4	21	**3,6**	20	2,0	21	3,0
LI	09/02	20	**4,3**	1	2,9	1	3	20	3,7	21	3,8	20	3,4	20	3,8
LI	10/02	20	**4,1**	21	2,7	19	3,8	19	3,0	20	3,9	19	2,5	20	3,8
mTa	11/02	20	5,3	23	4,7	20	4,4	20	4,4	23	5,3	20	3,2	21	**5,4**
mTa	12/02	19	6,3	20	5,1	22	3,8	20	4,7	20	5,8	19	3,6	20	**6,5**
mTa	13/02	22	4,7	22	3,8	22	4	22	4,2	21	4,3	22	2,8	20	**4,8**
F	14/02	21	5,6	21	4,4	19	4,2	21	**6,0**	21	5,1	20	3,8	21	5,5
mPa	15/02	21	**4,5**	22	3,6	21	4,2	20	3,7	22	4,2	21	2,8	21	**4,5**
mPa	16/02	20	5,6	21	5,4	21	4,6	19	4,8	21	5,8	21	4,1	21	**6,1**
LI	17/02	20	**5,5**	22	4,2	22	4,4	23	5,1	20	4,8	22	3,3	21	5,0
F	18/02	19	**4,8**	20	3,3	19	4,3	20	4,0	20	4,0	19	2,4	19	4,0
mPa	19/02	21	**1,7**	21	1,0	20	1,3	3	1,0	20	1,6	22	0,3	20	1,2
mPa	20/02	19	**3,0**	20	1,4	19	2,2	4	2,0	20	2,4	4	1,9	19	2,3
F	21/02	20	**2,5**	19	1,5	19	1,8	20	1,5	20	2,3	2	1,5	19	1,9
ZCAS	22/02	23	**3,1**	2	1,9	23	112,2	21	1,9	2	2,6	23	1,2	23	2,1
ZCAS	23/02	20	**2,9**	19	1,7	19	2,3	20	2,5	20	2,6	21	1,0	19	2,3
ZCAS	24/02	3	**2,3**	0	1,3	19	1,6	2	1,2	22	2,1	23	0,7	0	1,3
ZCAS	25/02	20	**3,5**	23	2,6	23	3,1	23	2,2	20	3,4	20	1,6	20	2,8
LI	26/02	20	**2,3**	20	1,4	20	1,2	20	1,7	20	1,6	1	0,3	20	1,0
LI	27/02	20	**2,6**	19	0,9	19	1,2	19	1,5	19	1,7	19	0,4	19	1,2
Média			4,0		3,0		3,0		3,4		3,5		2,3		3,6
Moda/Máx.		20	7,6	20	6,4	19	6,9	20	8,1	20	7,2	20	6,9	21	8,4
Moda/Máx. mTa		20	7,6	22	6,4	22	6,9	20	8,1	20	7,2	20	6,9	21	8,4
Média mTa			5,3		4,3		4,0		4,7		4,8		3,6		5,5
Moda/Máx. ZCAS		20	3,9	20	3,0	20	3,4	20	3,6	20	3,6	20	2,3	20	3,5

Média ZCAS	2,6	1,7	1,9	2,0	2,4	1,0	1,9
Média mPa	3,7	2,9	3,1	2,9	3,5	2,3	3,5

Fonte: Elaboração própria

As maiores diferenças registradas de temperatura do ar entre os dois ambientes foram sob atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), isso ocorreu para todos os pontos. A maior diferença registrada nesse trabalho foi de 8,4^{0}C na noite do dia 18 de janeiro à meia-noite no ponto 7, que tem como característica ser uma área de um loteamento popular com grande adensamento. Essas maiores diferenças como a do dia 18 de janeiro apesar de ser episódica, se manifesta em meio a tendências gerais de maior aquecimento do ar urbano.

Contudo analisando os dados do período todo de coleta e utilizando a moda como estatística, vemos que as maiores intensidades diárias foram registradas entre as 20h-21h para os pontos P1, P2, P4, P5 e P6, ou seja, em até uma hora e meia depois do pôr do sol (19h30 sendo o valor médio do pôr do sol adotado para o período). O ponto P3 registrou a sua máxima diferença de temperatura do ar urbano em relação ao ar rural um maior número de vezes próximo ao horário do pôr do sol. Durante o período da análise do total de 42 noites o ponto 1 que se caracteriza por ser um bairro residencial com grande adensamento e impermeabilização registrou as maiores temperaturas em 24 noites, ou seja em 57% das noites, ocorrendo principalmente em noites sob atuação da ZCAS.

O ponto 7 que é um loteamento popular com altíssima impermeabilização registrou em 12 noites, ou seja, em 29% do período. O ponto 7 foi o mais quente principalmente sob atuação da mTa. As características desse sistema de alta pressão são a estabilidade do tempo com pouca nebulosidade e poucos ventos o que favorece a formação das ilhas de calor. Em média ocorreu um aquecimento noturno do ar urbano entre 4^{0}C e 6^{0}C graus mais aquecidos que a zona rural. O ponto 7 registrou em média um aquecimento de 6,2°C. A atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul por suas próprias características de alta nebulosidade e precipitações minimizou o gradiente térmico urbano-rural. Em dias que ocorreram precipitações a diferença máxima entre os dois ambientes foram bem modestas conforme Tabela 1.

Na Figura 5 detalha-se a variação do comportamento noturno para todos os pontos durante a noite do dia 20 de janeiro que é uma noite representativa do comportamento térmico sob a ação da mTa. Durante toda a noite observa-se uma ampla diferença de temperatura do ar entre os pontos urbanos e rural. Essa diferença no início da noite é entre 6°C graus no ponto 7, o ponto mais quente, e de aproximadamente 4°C no ponto mais frio, ponto 6. O pico ocorre as 21h40 de 6,8°C no ponto 7. A diferença mínima entre o ambiente urbano e rural ocorre as 5h20min da manhã entre o ponto 6 e ponto 0 (rural) e ela não é menor que 1,9°C.

A explicação para as menores temperaturas do ar do ponto 6 pode ser encontrada em Jardim e Ferreira (2005) ao dizer que ao nível da escala dos bairros e das feições de maior vulto como os topos de morro as diferenças no comportamento térmico é distinguido pela situação topográfica, onde o vento exerce um papel fundamental, muito mais influente que a própria altitude e até mesmo que as características de uso da terra nos diversos bairros para alguns casos. Este fato, explica o comportamento térmico do ponto 6 que em diversos

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

momentos sob diferentes tipos de tempo ele se apresenta como o ponto urbano mais frio.

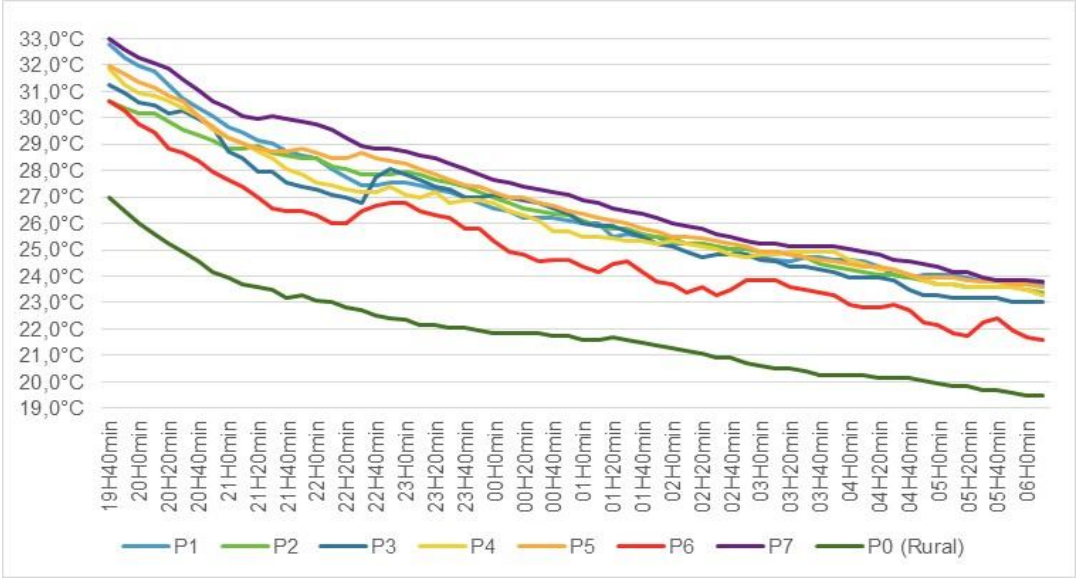

Figura 5 – Variação da temperatura do ar – 20 de janeiro de 2018. Fonte: Elaboração própria

A tabela 2 expõe a média das temperaturas do ar urbano em comparação com ar rural as 20h, meia hora após o pôr do sol, ordenadas do ponto mais quente para o ponto mais frio. Esse horário foi escolhido para análise pois a maioria dos pontos de coleta tem seu pico em relação ao ponto rural nesse horário. Seja sob atuação da massa tropical atlântica que favorece a formação de ilhas de calor ou tendo em vista o período todo, o ponto 1 as 20h se mostrou o ponto de maior aquecimento.

Tabela 2 – Pontos mais quentes as 20h

Média das temperaturas do ar urbano-rural as 20h		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	3,5	P1
2°	3,1	P7
3°	3,0	P4
4°	2,8	P5
5°	2,4	P3
6°	2,2	P2
7°	1,6	P6

Média das temperaturas do ar do ar urbano-rural as 20h sob mTa		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	4,7	P1
2°	4,7	P7
3°	4,1	P4
4°	3,8	P5

5°	3,3	P3
6°	2,9	P2
7°	2,8	P6

Fonte: Elaboração própria.

Com valores médios bem próximos o ponto 7, que compreende um loteamento popular, se mostrou como o segundo ponto mais aquecido da área urbana nesse horário. Em terceiro o ponto 4 que está próximo a grande fábrica da Itatiaia. Em quarto o ponto 5 que representa o centro da cidade, de grande urbanização, contudo próximo a um curso de água, o que pode explicar sua menor temperatura do ar em relação ao ponto 1,7 e 4. Os pontos 2 e 3 são os pontos urbanos que possuem maior vegetação e menor impermeabilização sendo os pontos com menor temperatura do ar.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey para temperatura do ar as 20h para todos os dias de coleta de dados. Os resultados levam a rejeição da hipótese nula de que não existe diferença estatística significativa entre os mesmos. Os resultados mostram que existe uma diferença estatística dos valores da temperatura do ar do ponto rural em comparação com os pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P7. O ponto 6, que é o ponto localizado no topo de morro, não registrou temperaturas do ar as 20h significativamente diferente do ponto rural, ou seja, seu comportamento térmico é igual ao ponto rural. Contudo esse ponto foi significativamente diferente do ponto 1. Os testes estatísticos mostraram para todos horários noturnos que existe uma diferença no comportamento da temperatura do ar no ambiente rural em relação ao ambiente urbano. Assim como uma diferenciação intraurbana entre alguns dos pontos urbanos. O ponto 6 evidencia a existência de topoclimas diferenciado entre o fundo do vale e o topo do morro. Sendo estatisticamente comprovado que seu comportamento diverge do ponto 1 durante qualquer horário noturno.

Tabela 3 – Teste Anova: Fator Único e Teste de Turkey

Grupo	*Contagem*	*Soma*	*Média*	*Variância*
P1	42	1180,796	28,11419	8,464876
P2	42	1125,845	26,80583	6,395471
P3	42	1136,214	27,05271	6,831973
P4	42	1157,383	27,55674	8,612807
P5	42	1148,925	27,35536	6,914368
P6	42	1102,387	26,24731	6,83996
P7	42	1161,644	27,65819	10,196
P0 (Rural)	42	1033,319	24,60283	3,193476

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*valor-P*	*F crítico*
Entre grupos	353,5674	7,0000	50,5096	7,0337	0,0000	2,0375
Dentro dos grupos	2355,4062	328,0000	7,1811			
Total	2708,9736	335,0000				

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P0
P1		0,338	0,621	0,980	0,901	0,034	0,994	0,000
P2	3,151		1,000	0,909	0,982	0,980	0,831	0,004
P3	2,544	0,607		0,991	1,000	0,863	0,970	0,001
P4	1,352	1,799	1,192		1,000	0,338	1,000	0,000

P5	1,828	1,324	0,716	0,476		0,557	1,000	0,000
P6	4,503	1,352	1,959	3,151	2,676		0,240	0,092
P7	1,094	2,057	1,450	0,258	0,733	3,409		0,000
P0 (Rural)	8,503	5,351	5,959	7,150	6,675	3,999	7,408	

Fonte: Elaboração própria.

Fica constatado a existência de um gradiente térmico urbano-rural e a formação de campos térmicos diferenciados no interior do ambiente urbano. A Tabela 4 mostra as noites analisadas classificadas em relação a intensidade das ilhas de calor segundo proposta de Garcia e Álvarez (2008).

Tabela 4 – Episódios de Ilhas de calor noturnas em Ubá

Variação (°C)	Magnitude	N° de noites	%
0°C - 2°C	Fraca	5	12%
2°C - 4°C	Moderada	17	40%
4°C - 6°C	Forte	12	29%
> 6°C	Muito Forte	8	19%
Total		42	100%

Fonte: Elaboração própria

Foi verificado no período analisado a presença de ilha de calor noturna muito forte com intensidade superior a 6°C em pelo menos 8 noites das 42 noites monitoradas, ou seja, em 19% das noites. Sob domínio da mTa, houve a presença de ilha de calor muito forte em 50% das noites analisadas. Desta forma uma ilhas de calor classificadas como forte ou muito forte ocorreram em quase metade (49%) das noites observadas.

Oliveira (2016) em seu estudo sobre participação dos sistemas atmosféricos no ritmo das chuvas na bacia do Rio Preto constatou que na região em um ano habitual, como o ano 2006, você tem a atuação da mTa em 47% dos dias no ano. Em 2007 que foi um ano seco em 53% dos dias. Em 2008, classificado como um ano chuvoso o sistema atuou em 61% dos dias. Extrapolando os dados observados para o ano todo podemos dizer que as condições para formação do fenômeno são bastante habituais.

VALIDAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO

De posse dos dados empíricos de temperatura do ar é possível verificar o ajustamento do modelo de potencial térmico com os dados de temperatura do ar noturno reais registrados em campo.

Na Tabela 5 e Figura 6 estão os valores da correlação entre o modelo e a temperatura do ar registrada. Foram correlacionadas a temperatura média do ar noturno e o somatório do total de pixels multiplicado pelo potencial de aquecimento.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 5 - Correlação da Temperatura média do ar noturno e soma do potencial de aquecimento

	Temperatura média do ar noturno	*Soma do potencial de aquecimento*
P0	22,1	167243
P1	25,0	455762
P2	24,1	327290
P3	23,9	342263
P4	24,4	412117
P5	24,6	405100
P6	23,2	294266
P7	24,5	385205
		R = 0,977

Fonte: Elaboração própria.

O resultado apresentado na Tabela 5 e na Figura 6 mostra uma altíssima correlação entre as variáveis, uma sólida associação entre elas com valor de coeficiente de correlação (R) de 0,977. O modelo destaca um grande ajustamento aos dados empíricos tendo um coeficiente de ajustamento R2 de 0,95, que significa que 95% dos valores de temperatura do ar são explicados pelo modelo de potencial de temperatura.

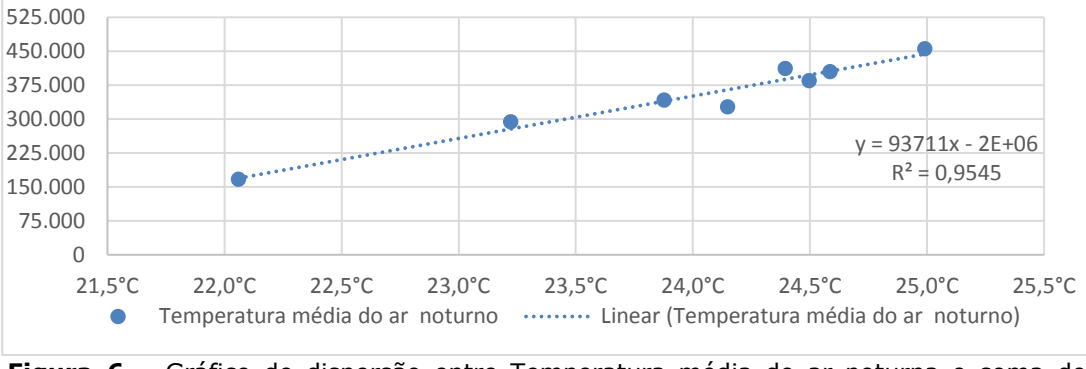

Figura 6 – Gráfico de dispersão entre Temperatura média do ar noturna e soma do potencial de aquecimento. Fonte: Elaboração própria.

O valor da correlação entre o modelo (PAT) e a temperatura média do ar registrada sob atuação de uma massa tropical atlântica é uma altíssima correlação com R = 0,94 e R2 = 0,88. A correlação das médias das máximas com o potencial de aquecimento teve um coeficiente de correlação de 0,98 e um coeficiente de determinação de 0,97.

A correlação da temperatura média do ar noturno com o número de pixels com valores de potência de aquecimento entre 16-22 o que corresponde as classes 4 de alto potencial de aquecimento e 5 de altíssimo potencial de aquecimento apresentou R= 0,89 e R2=0,79

Foi relacionado também o valor do potencial de aquecimento do pixel do ponto de coleta e a temperatura do ar média noturna sendo encontrado um R de 0,66 e um R2 = 0,437. Confrontando o valor do potencial de aquecimento do pixel com a temperatura do ar noturno máxima registrada em cada ponto tem-

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

se um R=0,775 e um R2 = 0,600. Validando a ideia que o aquecimento do ar em um ponto não é apenas reflexo da superfície a qual está instalado o sensor, mas também do uso e ocupação em uma área ao redor deste.

CONCLUSÕES

Buscou-se com base em Monteiro (1990, p. 14) "compreender as relações dos fatos termodinâmicos básicos do ar dentro da cidade com os fatos específicos da própria condição urbana". Para isso o modelo de potencial térmico foi uma ferramenta de grande ajuda. Pois permite integrar diversas variáveis que contribuem para o aquecimento do ar urbano modelando elementos naturais que compõe o sítio urbano e elementos construídos pelo homem.

Destaca-se que o modelo tem altíssimo ajustamento com a temperatura do ar noturno registrada. Tem-se uma correlação positiva entre o número de pontos no modelo com alto e altíssimo potencial de aquecimento do ar e a ocorrência de maiores temperaturas do ar urbano. O mesmo se dá para o agregado do valor de todos os pixels na área, o somatório geral do potencial de aquecimento do ar e a temperatura urbana.

O modelo se caracterizou por ser uma ferramenta poderosa que pode ser replicado em diferentes localidades. Ademais, o modelo é altamente flexível permitindo incorporar sempre novas variáveis. A modelagem das superfícies urbanas evidenciou que áreas com grande índice de impermeabilização, poucas áreas verdes, elevado parcelamento, grande coeficiente de ocupação, altíssimo aproveitamento do lote, alto percentual de coberturas metálicas ou de fibrocimento e elevada área com cobertura asfáltica geraram áreas com alto e altíssimo potencial de aquecimento do ar. Trabalhos futuros devem buscar incorporar variáveis como a velocidade do vento ao modelo.

Os resultados da modelagem foram amplamente validados pelas observações empíricas feitas.

Os dados noturnos de temperatura do ar registrados com as estações fixas durante janeiro e fevereiro de 2018 mostraram que uma ilha de calor noturna classificada como forte ou muito forte ocorreu em 49% das noites observadas. As diferenças urbano-rural e intra-urbanas foram validades estatisticamente utilizando a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. O que não deixa dúvidas que há estatisticamente uma diferença no comportamento dos pontos urbanos e rurais. Esses dados permitem afirmar que a cidade de Ubá possui um clima urbano próprio que a diferencia do seu entorno rural caracterizado por um excedente térmico observado na área urbana.

Sendo a maior diferença registrada entre a temperatura do ar no ambiente urbano e rural foi de 8,4°C. Ademais essa diferença não é esporádica. Os pontos urbanos exibiram habitualmente diferenças positivas significantes construindo um gradiente térmico em relação a zona rural. Sendo as diferenças mais intensas sob atuação da massa tropical atlântica e mínimas sobre atuação da ZCAS. Este fenômeno não é apenas microclimático, ou topoclimático, mas atinge a escala Mesoclimática se manifestando em toda a cidade. Logo, a presença de um gradiente térmico positivo em toda a cidade de forma habitual encontrada nesse trabalho é o que entende-se por caracterização fiel do fenômeno de ilha de calor.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Os resultados tanto do modelo como dos dados do ar registrados apontaram para o ponto 1, um bairro residencial com grande adensamento, como o ponto mais quente analisado. O que quebra um pouco a ideia de um contraste térmico intraurbano centro-periferia, dado a forma adensada dos bairros afastados pode-se ter um núcleo de aquecimento se estendendo do centro até bairros mais periféricos ou a formação de focos de calor em áreas periféricas. Os pontos com menor potencial de aquecimento foram áreas com grande índice de permeabilidade do solo e presença de vegetação, pontos P0, P2, P3 e P6.

Como Ugeda Júnior (2011) coloca deve-se reconhecer que a existência de um clima urbano não é necessariamente negativa ou degradante da qualidade ambiental urbana, mas quando intencionalmente orientada através do planejamento e gestão urbana pode na verdade tornar a urbanização um fator de melhora das condições ambientais. A construções de lagos artificiais em zonas de baixa umidade ou maior vegetação urbana em cidades localizadas em climas desérticos ou semidesérticos são exemplos de modificações que minimizam impactos negativos do clima regional nas cidades.

Destaca-se a importância de políticas de gestão e planejamento urbanas afim de estabelecer critérios de uso e ocupação de modo minimizar a criação de microclimas desconfortáveis.

Neste trabalho ficou claro a importância da taxa de permeabilidade. Segundo o plano diretor a taxa de ocupação dos lotes é de 80% para residenciais, já a lei complementar municipal n°176, de 12 de fevereiro de 2015 indica que 10% devem permeáveis. Contudo é uma lei recente quase a totalidade cidade não segue essa norma. Caberia a prefeitura incentivar a adequação das áreas já consolidadas a esse padrão de permeabilidade. Uma possibilidade seria incentivo via IPTU.

Além disso a prefeitura poderia agir na intensificação da vegetação viária nas áreas públicas. Preferencialmente implantar nas áreas onde não é possível criação de áreas verdes, como na região central. Dado as características industriais da cidade e a capacidade de edifícios industriais aquecer o ar, deve-se regulamentar que os mesmos sejam cercados por vegetação arbórea, pois conforme Mascaro (1996) a vegetação tem grande efetividade em resfriar superfícies verticais, além de ser uma barreira natural ao som produzido nesses locais.

Dar preferência para pavimentação de concreto frente ao asfalto nas vias arteriais, por seu melhor comportamento térmico e durabilidade. Nas vias locais e coletoras manter os bloquetes de concreto, comuns na cidade, nos locais existentes e em novas áreas de expansão dado seu melhor comportamento térmico em relação ao pavimento asfáltico. Essas seriam algumas medidas importantes para criar espaços mais confortáveis termicamente em Ubá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO, J. A., ARRIZABALAGA, J., KUPSKI, S., KATZSCHNER, L. Deriving na Urban Climate Map in coastal areas with complex terrain in the Basque Country (Spain). Urban Climate. v.4, p 35-60, 2013.

AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Presidente Prudente/SP. 2000. 374 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M.C.C.T.; SANT' ANNA NETO, J.L.; DUBREUIL, V. Modelagem espacial da Ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) – Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 16, p. 29-45, jan./jul. 2015.

ANDRADE, M.C. de. Aspectos geográficos da região de Ubá. Anais da associação dos geógrafos brasileiros. São Paulo: AGB, Avulso n. 1, 1961.

AB'SÁBER, A. Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas. 3.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005.

Carter, J.G.; CAVAN, G.; CONNELLY, A.; GUY, S.; HANDLEY, J.; KAZMIERCZAK, A. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. Progress in Planning, v. 95, p.1-66, jan. 2015.

FERREIRA, D. G., ASSIS, E. S. de, KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9 (Supl.1), p; 255-270, 2017.

FERREIRA, C.C.M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 14, p. 50-75, jan./jul. 2014.

FERREIRA, F.L; PRADO, R.T.A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

COLLISCHONN, E.; FERREIRA, C.V.O. Cômputo do fator de visão do céu em 10 diferentes ambientes interurbanos da cidade de Pelotas-RS In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRAFICA, 12., 2016, Goiânia. Anais eletrônicos... Goiânia: UFGO, 2016. Disponível em:

<http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(43).pdf>.Acesso em: 20 dez. 2016.

GARCÍA, F.F., Álvarez, D.R. Olas de calor e influencia urbana en Madrid

y su área metropolitana. Revista Estudios Geográficos (online). v.69, n.265, p.495-518, 2008.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de textos, 2010.

IBGE. Censo demográfico 1950/2010. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>. Acesso em: 12 nov. 2017.

ITATIAIA. Nossa História. Disponível em:

<https://www.cozinhasitatiaia.com.br/sobre-a-empresa/nossa-historia/>. Acesso em: 15 jun. 2018.

JARDIM, C. H.; FERREIRA, M. A correlação dos fatos geográficos em climatologia a partir da noção de "sítio" e situação. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005. Anais eletrônicos... São Paulo: USP, 2005. Disponível em:

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Climatologia/06.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

MASCARÓ, L. R. Ambiência Urbana. Porto Alegre: Sagra: D.C. Luzzatto, 1996.

MONTEIRO, C.A.F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. Geosul, Florianópolis, n.9. 1990. p. 7-19

MENDONÇA, F. LONDRINHA. Clima e planejamento urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudode campo termo-higrométrico. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (orgs.) et al. O Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2013.

OLIVEIRA, D.E. Participação dos sistemas atmosféricos na gênese e ritmo das chuvas na bacia do Rio Preto, MG/RJ – anos de 2006, 2007 e 2008. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2016.

OKE, T.R. Boundary layer climates. 2 ed. Londres, Methuen & Co. Ltd, 1987.

OKE, T.R; STEWART, I.D. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, Boston, v.93, n.12, p. 1879-1900, 2012.

QUINA, R.R. Análise da influência de condicionantes geoambientais e urbanos sobre o comportamento térmico do município de Viçosa-MG, durante o período de Verão de 2014/15 e Inverno de 2015. 2016. 105 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013

SANTOS, V.J. Episódios Pluviais Intensos: Um estudo de caso sobre o município de Ubá/MG. 2013. 116 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

TSO, C.P. et al. An improvemente to Energy Balance Model for Urban Thermal Envioronment Analysis. Energy and Buildings, n.14, p.143-152, 1990.

UBÁ. Lei Complementar Nº 99, de 17 de Janeiro de 2008. Institui o Plano Diretor

do Município De Ubá/Mg. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/planodiretor-uba-mg> Acesso em: 20 mai. 2018.

UGEDA JÚNIOR, J. C. Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP. 2011. 383f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista campus Presidente Prudente-SP, Presidente Prudente, 2011.

VIANNA, Y.C.G. et al. Comparativo entre a geometria urbana e sua reposta térmica em duas vias na cidade de Juiz de Fora – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 12., 2017, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre: URGS, 2017. Disponível em: <http://www.enanpege.ggf.br/2017/anais/arquivos/GT%2039/2114.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2018.