



**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE  
HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**  
**SPATIO TEMPORAL DISTRIBUTION OF THE URBAN SURFACE TEMPERATURE OF THE MUNICIPALITY OF  
HUMAITÁ - SOUTHERN OF THE AMAZONAS**

Larissa Leite Pavão<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Santos Querino<sup>2</sup>, Marcelo Sacardi Biudes<sup>3</sup>, Vagner Marques Pavão<sup>4</sup>, Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino<sup>5</sup>, Nadja Gomes Machado<sup>6</sup>, Cristina Aparecida Beneditti<sup>7</sup>, Klenna Livia Gomes Peixoto<sup>8</sup>

**RESUMO**

A substituição de superfícies naturais por asfalto e concreto altera as propriedades radiativas, térmicas, aerodinâmicas e de impermeabilidade da superfície, o que resulta num incremento da temperatura da superfície. Neste contexto, o objetivo desse estudo foi analisar a variação espaço-temporal da temperatura da superfície da área urbana do município de Humaitá – AM por meio de imagens TM Landsat 5. Para isto, produtos da temperatura de brilho da superfície e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) obtidos de imagens do TM (Thematic Mapper) Landsat 5 obtidas em 1988, 1995 e 2008 foram utilizadas para estimar a temperatura da superfície da área urbana do município de Humaitá-AM. A maior precipitação em agosto (período seco) nos anos estudados ocorreu em 2008, seguida por 1995 e por 1988. A temperatura da superfície foi influenciada diretamente pela precipitação, disponibilidade hídrica no perfil do solo, urbanização e demais características físicas da superfície. As maiores temperaturas da superfície ocorreram em áreas com maior adensamento de construções e menor área vegetada. Houve variações sazonais da temperatura superficial da área urbana em 1988 e 1995 em função da distribuição temporal da precipitação na área de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Urbanização; Desmatamento; Mudança do Uso do Solo; Sensoriamento Remoto.

**ABSTRACT**

The replacement of natural surfaces by asphalt and concrete alters the radiative, thermal, aerodynamic and surface impermeability properties, which results in an increase in surface temperature. In this context, the objective of this study was to analyze the spatial-temporal variation of the surface temperature of the urban area of the municipality of Humaitá-AM by means of TM images Landsat 5. For this, the surface brightness temperature products and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) obtained from TM images (Thematic Mapper) Landsat 5 obtained in 1988, 1995 and 2008 were used to estimate the surface temperature of the urban area of the municipality Humaita-AM. The highest rainfall in August (dry period) in the studied years occurred in 2008, followed by 1995 and 1988. Surface temperature was directly influenced by precipitation, water availability in the soil profile, urbanization and other physical characteristics of the surface. The highest surface temperatures occurred in areas with higher construction densities and less vegetated area. There were seasonal variations of the surface temperature of the urban area in 1988 and 1995 as a function of the temporal distribution of precipitation in the study area.

**KEY-WORDS:** Urbanization; Deforestation; Land Use Change; Remote Sensing

Recebido em: 26/06/2016

Aceito em: 14/08/2017

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá/MT, e-mail: lari\_o.l@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Humaitá/AM, e-mail: carlosquerino@ufam.edu.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá/MT, e-mail: marcelo@fisica.ufmt.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá/MT, e-mail: vagnermpavao@gmail.com

<sup>5</sup> Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Humaitá/AM, e-mail: julianekayse@hotmail.com

<sup>6</sup> Instituto Federal de Mato Grosso, IFMT, Cuiabá/MT, e-mail: nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

<sup>7</sup> Sistema de Proteção da Amazônia, Brasília/DF, e-mail: crisengamb@gmail.com

<sup>8</sup> Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Humaitá/AM, e-mail: klenna.star@gmail.com

## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

### 1. INTRODUÇÃO

O atual quadro de urbanização na Amazônia não é diferente das demais regiões do país. Em Humaitá, município localizado na porção Sul do estado do Amazonas, esse desenvolvimento foi acima da média geral do país durante última década. Segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2013) entre 2000 e 2010, a população de Humaitá cresceu a uma taxa média anual de 3,04%, enquanto no Brasil foi de 1,01%, no mesmo período.

Um dos fatores que explica a expansão de Humaitá nas últimas décadas é justamente o município estar em fase de desenvolvimento. Este fato proporciona oportunidades para que tanto os habitantes da própria cidade quanto pessoas residentes em outras regiões possam instalar seus estabelecimentos sem ter que lidar com a forte concorrência, como é o caso de locais mais desenvolvidos (SCHÜTZ et al., 2014).

Contudo, o desenvolvimento de Humaitá, bem como na maioria centros urbanos, não contou com planejamento adequado que aliasse a atenção às novas demandas construtivas com a manutenção das áreas verdes (COPQUE et al., 2011). Estudos tem demonstrado que a falta de planejamento pode contribuir para o aumento da temperatura da superfície no centro urbano em relação ao entorno (AMORIN et al., 2009). Isso ocorre devido aos tipos de material empregados na construção civil, os quais possuem maior capacidade de aquecimento quando comparado à vegetação natural (MOREIRA e NÓBREGA, 2011).

A substituição da cobertura natural por outras áreas altera, em primeira instância, as características termodinâmicas da superfície. Áreas vegetadas tendem a utilizar a energia disponível no ambiente em processos evapotranspirativos, ao passo que áreas de solo exposto e/ou edificadas utilizam a energia disponível prioritariamente para o fluxo de calor sensível, responsável pelo aumento na temperatura do ar e superficial (Ts) (GOMES et al., 2013). Em termos de variabilidade espacial da Ts em área urbana, Jiang et al. (2006) observaram diferenças significativas entre as temperaturas

superficiais obtidas em áreas de solo exposto, vegetadas e corpos d'água. A Ts em solo exposto foi em média 5,4°C maior que em superfície vegetada e 8,8°C maior que em corpos d'água, o que indica que a Ts está fortemente relacionada com a cobertura do solo. Em estudos realizados por Liu et al. (2016) a temperatura superficial urbana variou espacialmente em função da altitude e tipo de cobertura do solo. Neste estudo a Ts diminuiu aproximadamente 7,88% com o aumento da altitude e teve maiores valores na região central da cidade. Em termos de efeito da vegetação urbana na temperatura, Ahmed et al., (2015) verificaram que árvores posicionadas em grupos reduzem a temperatura superficial até 9% quando comparado com árvores posicionadas isoladamente. Os autores concluem que a geometria de construção, orientação da rua e tipo de material empregado na construção desempenham papel fundamental no microclima urbano.

Atualmente, com o avanço do sensoriamento remoto, a Ts pode ser facilmente calculada a partir de imagens obtidas por sensores a bordo de satélites orbitais, como por exemplo o TM (Thematic Mapper) Landsat 5. As imagens TM Landsat 5 possuem inúmeras vantagens como a visualização completa da paisagem, cobertura de áreas extensas, baixo custo e praticidade (CONCEIÇÃO, 2004). Contudo, as imagens de satélite são influenciadas pela atmosfera (WANG, 1987). Os efeitos da atmosfera na banda termal promovem erros significativos na obtenção direta da Ts devido ao espalhamento da radiação eletromagnética pelos gases constituintes e aerossóis (BARSÍ et al., 2003). Assim, para minimizar esse impasse é necessário a correção dos efeitos da atmosfera sobre a radiação registrada pelo sensor. O princípio da correção atmosférica é o de subtrair a radiação termal atmosférica ascendente e radiação refletida pela atmosférica registrada ao nível do satélite, de forma que a temperatura obtida seja somente aquela advinda da superfície (QIN et al., 2001).

Alguns métodos tem permitido a obtenção da Ts com satisfatória precisão. Os

## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

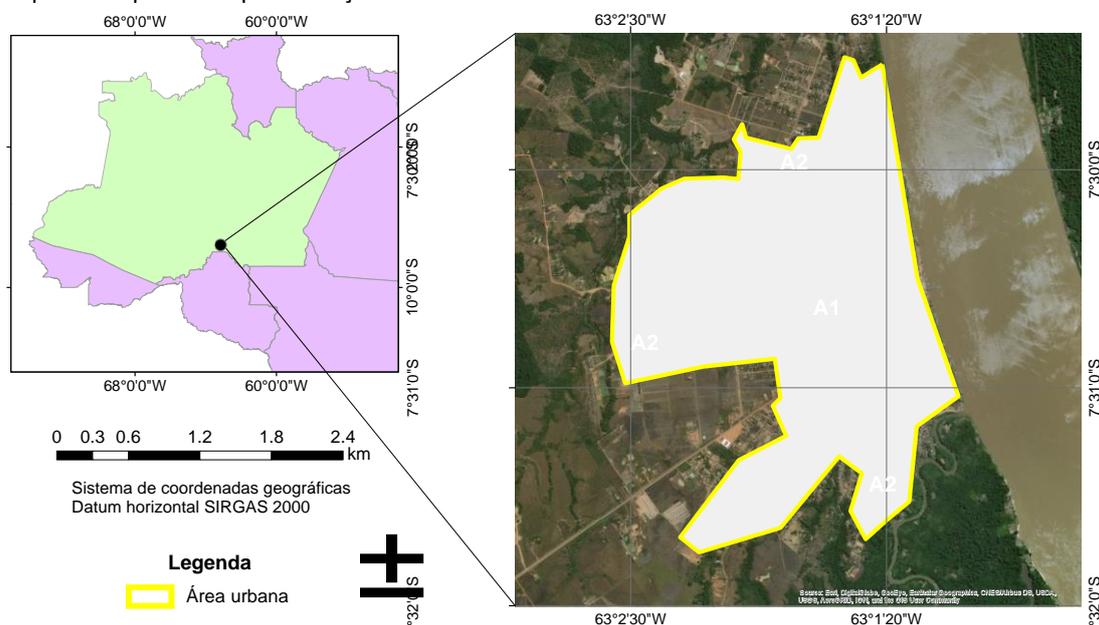
métodos mais conhecidos são os baseados em simulações atmosféricas como LOWTRAN, MODTRAN e 6S. No entanto, estes modelos necessitam do perfil atmosférico in situ no momento da passagem do satélite, que por muitas vezes não é possível obter. Uma alternativa a esses métodos é Mono-Window Algorithm proposto por Qin et. al. (2001). Esse método é assim denominado devido ao fato de corrigir a temperatura apenas para uma banda termal diferentemente do Split Window Algorithm que corrige para duas bandas. O mono-Window Algorithm permite a obtenção da  $T_s$  necessitando apenas dos parâmetros emissividade da superfície, transmitância e média efetiva da temperatura atmosférica (LIU e ZHANG, 2011). Na validação do mono-window algorithm os autores observaram diferenças menores que  $0.4^{\circ}\text{C}$  em relação aos valores obtidos pelo algoritmo LOWTRAN (utilizado como referência). Isto indica que o Mono-Window Algorithm é uma excelente alternativa para a correção da atmosférica uma vez que necessita de dados simples e fornece valores de temperatura precisos após correção.

Como o efeito da substituição da cobertura natural por área urbana sobre a temperatura da superfície no sul da Amazônia, em especial no município de Humaitá, é desconhecida, o objetivo desse estudo foi analisar a variação espaço-temporal da temperatura da superfície da área urbana do município de Humaitá – AM por meio de imagens TM Landsat 5.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Humaitá está localizado na região sul do estado do Amazonas à margem esquerda do Rio Madeira, o qual, por sua vez, é afluente da margem direita do Rio Amazonas (Figura 1). O município está cerca de 200 km ao norte da capital de Rondônia, Porto Velho, e 675 km ao sul de Manaus, capital do Amazonas. A cidade faz divisa com os municípios de Manicoré ao Norte, Tapuá ao Leste, Canutama a Oeste e o Estado de Rondônia ao Sul (MARTINS et al. 2006).



**Figura 1** - Localização geográfica e delimitação da área urbana do município de Humaitá – AM, Brasil. As siglas A1 e A2 correspondem a área central e áreas periféricas da zona urbana, respectivamente.

Humaitá é uma cidade de pequeno porte com pequeno número de prédios e grande quantidade de casas de madeira e de alvenaria,

onde, a maioria das residências são cobertas por telhas de fibrocimento. O centro comercial de Humaitá está localizado na região central da área

## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

urbana com construções majoritariamente de alvenaria, menos espaçadas e alto fluxo de pessoas e de automóveis quando comparado com as demais regiões do entorno da cidade. É importante ressaltar que a região central da área urbana não possui áreas vegetadas como nas regiões periféricas.

O clima da região do município de Humaitá é classificado como Am segundo a classificação de Köppen, ou seja, tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), com temperaturas média do ar variando entre 25 e 27°C e umidade relativa média do ar entre 85 e 90% (CAMPOS et al., 2012).

### 2.2. AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir de duas diferentes fontes. A primeira está relacionada a dados medidos em superfície e correspondem aos dados de temperatura do ar, umidade relativa e

precipitação. A segunda fonte de dados refere-se ao sensor orbital TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite Landsat 5 do qual foi extraído a temperatura de brilho posteriormente convertida em temperatura superficial e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) utilizado no cálculo da emissividade da superfície.

#### 2.2.1. DADOS DE SUPERFÍCIE

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar medidos na estação meteorológica automática instalada no município de Lábrea-AM, distante 190 km de Humaitá-AM, gerenciada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (Tabela 1). Esses dados foram utilizados para corrigir as imagens de temperatura da superfície da área de estudo.

**Tabela 1** - Data de registro dos produtos, temperatura do ar (Ta) e umidade relativa do ar (UR) utilizadas na correção da temperatura superficial.

Data	Ta (°C)	UR (%)
31/03/1988	25,4	95,0
06/08/1988	23,8	91,4
19/03/1995	22,8	96,4
26/08/1995	22,4	98,2
29/08/2008	26,2	84,8

Os totais mensais de precipitação dos anos de 1988 e 1995 foram adquiridos no site da Agencia Nacional de Água (ANA), enquanto que os dados da normal climatológica (NC) de precipitação mensal (1961 a 1990) foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (INMET, 2009). Para o preenchimento de falhas na série temporal do ano de 2008, foram utilizados dados mensais de precipitação do produto 3B43V6 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), os quais foram baixados no site da GES DISC DAAC (Distributed Active Archive System) que é parte da NASA's Goddard Earth Sciences (GES) Data

and Information Services Center (DISC) (<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?project=TRMM&tree=project>).

A partir dos totais pluviométricos mensais para cada ano estudado, foi plotado um gráfico de barras com os dados de precipitação mensal ao longo dos três anos analisados mais os valores de referências mensais da normal climatológica (NC). Através de comparação entre os meses dos anos em relação a NC e de análise da própria NC, determinou-se quais os períodos seco e chuvoso da região, bem como, se cada um

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**

dos meses apresentou anomalias positivas ou negativas de precipitação naquele referido ano.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_v * F_c + \varepsilon_g * (1 - F_c) * (1 - 1.74 * F_c) + 1.7372 * F_c * (1 - F_c) \quad (6)$$

**2.2.2. DADOS DE SENSORES ORBITAIS**

Os produtos utilizados neste estudo foram obtidos a partir de imagens do sensor TM (Thematic Mapper) Landsat 5, referentes à órbita 226 e ponto 65, obtidas às 13:50 (UTM). Os produtos temperatura de brilho não corrigida para efeito da atmosfera e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) corrigido para efeito da atmosfera foram baixados diretamente da plataforma Architecture Science Center (ESPA) (<http://espa.cr.usgs.gov/>) do Serviço Geológico Americano (United State Geological Survey - USGS). De posse das imagens, as cenas foram recortadas de acordo com o perímetro urbano do município de Humaitá. As informações referentes ao número e data de cada cena estão descritas na tabela 1.

**2.3. CÁLCULO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CORRIGIDA (TSC)**

A temperatura da superfície corrigida (TSC; K) foi obtida pela equação (1) de acordo com o Mono-Window Algorithm proposto por Qin et al. (2001). Os parâmetros da equação (1) foram obtidos pelas equações (2-5).

$$T_{sc} = \{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D]T_i - DT_a\} / C \quad (1)$$

$$a = -67,355351 \quad (2)$$

$$b = 0,458606 \quad (3)$$

$$C = \varepsilon_i * \tau_i \quad (4)$$

$$D = (1 - \tau_i) [1 + (1 - \varepsilon_i) * \tau_i] \quad (5)$$

em que  $T_i$  é a temperatura de brilho (K) baixada diretamente no website (<http://espa.cr.usgs.gov/>),  $\varepsilon_i$  é a emissividade da superfície,  $\tau_i$  é a transmitância atmosférica e  $T_a$  é a média efetiva da temperatura atmosférica da região de estudo.

A emissividade da superfície ( $\varepsilon_i$ ) foi calculada de acordo com a equação (6), proposta por Valor e Caselles, (1996).

em que  $\varepsilon_v$  é a emissividade referente a vegetação (neste estudo  $\varepsilon_v = 0.985$ );  $\varepsilon_g$  é a emissividade do solo (neste estudo  $\varepsilon_g = 0.96$ );  $F_c$  é a fração do solo coberta pela vegetação, calculada pela equação (7).

$$F_c = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (7)$$

em que NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês para Normalized Difference Vegetation Index) baixada diretamente no website (<http://espa.cr.usgs.gov/>);  $NDVI_{max}$  e  $NDVI_{min}$  é o valor máximo e mínimo do NDVI da área de estudo, respectivamente.

A transmissividade atmosférica à banda termal do Landsat 5 foi calculado de acordo com a equação (8) (Qin et al., 2001; Sun et al., 2010).

$$T_6 = 1,031412 - 0,11536 * w_6 \quad (8)$$

em que  $w_6$  representa o conteúdo de vapor de água na atmosfera ( $g \text{ cm}^{-3}$ ), o qual foi calculado pela equação (9) (Yang et al., 1996; Sobrino et al., 2004).

$$w_6 = 0,0981 * \left\{ 10^{0,6108} * \exp \left[ \frac{17,27 * (T_0 - 273,15)}{237,3 + (T_0 - 273,15)} \right] * RH \right\} + 0,1697 \quad (9)$$

em que RH é a umidade relativa do ar na área de estudo,  $T_0$  é a temperatura do ar próximo a superfície (K).

A média efetiva da temperatura atmosférica ( $T_a$ ) foi calculada pela equação (10) (Qin et al., 2001; Sun et al., 2010).

$$T_a = 17,9769 + 0,91915 * T_0 \quad (10)$$

Após a correção da temperatura de brilho para efeito da atmosfera, foram gerados mapas com distribuição espacial da temperatura superficial abrangendo o perímetro urbano da cidade de Humaitá.

## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS LOCAIS

A normal climatológica pluviométrica do município caracterizou-se com dois períodos bem distintos (Figura 2). Observa-se que entre meses de outubro a abril ocorrem 81,6% do total anual precipitação, sendo denominado estação chuvosa. Dentre os meses desse período, o máximo pluviométrico ocorre no mês de março (326 mm). O segundo período corresponde aos meses de junho a agosto, onde os totais pluviométricos mensais não ultrapassam os 60 mm, o que corresponde a estação seca e, apenas, a 6,1%, do total de chuvas anuais. O mês de julho apresenta-se como o menos chuvoso de todo o ano, acumulando aproximadamente 20 mm. Os meses de maio (7,3%) e setembro (5,0%) enquadram-se como período de transição chuvoso – seco e seco – chuvoso, respectivamente.

Ao comparar os anos analisados com a normal climatológica, observou-se que 1988 e 1989 apresentaram anomalias positivas de precipitação, respectivamente, 307,7 e 289,9 mm a mais de chuva. O mesmo não foi observado em 1995, que apresentou déficit pluviométrico tendo chovido, apenas, 1463 mm (66,69%) durante todo o ano, ou seja, uma anomalia negativa de 730 mm. Na comparação interanual, notou-se que a precipitação em 1988 e 2008 foi aproximadamente 41% maior que 1995.

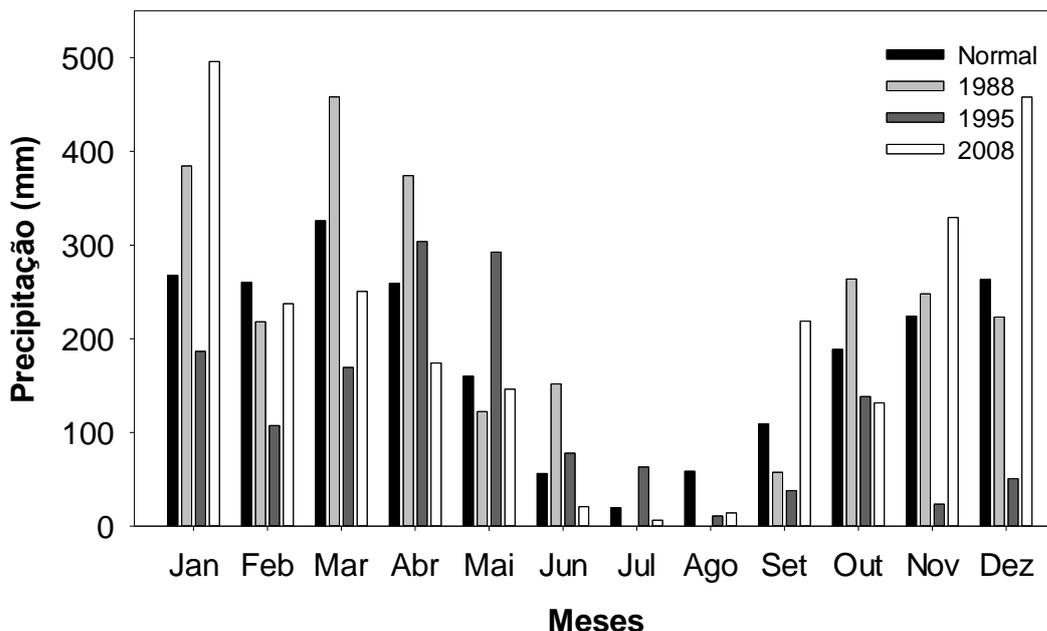
O regime pluviométrico em Humaitá é dominado pelos fenômenos de larga escala, que favorecem ou inibem a formação de precipitação no sul do Amazonas e na maior parte da região central do país (FERREIRA e MELO, 2005). Pavão, et al. (2015) cita a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Alta da Bolívia (AB) e Sistemas Frontais como sendo os principais mecanismos meteorológicos que provocam chuvas em Humaitá. A AB é definida como um anticiclone em altos níveis da atmosfera originado devido ao forte aquecimento da superfície ao passo que a ZCAS é considerada um sistema típico de verão da América do Sul, formada pela nebulosidade intensa orientada no sentido de noroeste (sul da Amazônia) a sudeste,

sendo responsável pela ocorrência de eventos severos (ALVEZ, 2009; ESCOBAR, 2014). Por se tratar de uma região tropical, ou seja, quente e úmida, a formação local de precipitação associada à mecanismos que favorecem a formação de chuvas convectivas como as convecções diurna, as linhas de instabilidades e os aglomerados convectivos de meso e larga escala são bastante comuns e, também, favorecem o grande acumulado de precipitação, principalmente durante o verão (SANTOS NETO et al., 2014).

Contudo, a atuação de fenômenos climáticos como El Niño (EN) e La Niña (LN), favorecem a inibição e a intensificação dos mecanismos meteorológicos que provoca chuvas no Sul do Amazonas (QUERINO, 2016). Os autos índices pluviométricos registrados em 1988 e 2008, possivelmente ocorreram devido a ocorrência do evento de LN. Em 1988 a LN atuou a partir de março e permaneceu durante todo o ano e em 2008, o fenômeno, possivelmente, influenciou na precipitação em todo o primeiro semestre. No entanto, o primeiro quadrimestre de 1995 estava sob influência do fenômeno EN, o que contribuiu para que a precipitação na maior parte do período chuvoso, fosse abaixo da NC (National Weather Service/Climate Prediction Center/NOAA, 2017).

Em escala de tempo interanuais, o fenômeno de EN exerce um papel importantíssimo na variabilidade da atuação da AB e das ZCAS, uma vez que enfraquecem a atuação desses sistemas ao passo que a LN intensifica. Ressalta-se que ambos os eventos interferem na atuação da AB e ZCAS, pois provocam mudanças dos padrões de circulação atmosférica de grande escala (BERLATO e FONTANA, 2003; CARVALHO e JONE, 2009; PEREIRA et al., 2011).

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**



**Figura 2** - Normal climatológica e médias mensais de precipitação registradas no município de Humaitá para os anos de 1988, 1995 e 2008.

**3.2. O MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE**

Em termos sazonais, a temperatura da superfície instantânea (momento de registro da cena) durante o período seco foi em média 20% superior a temperatura registrada no período chuvoso para as datas de 1988 e 1995 (Tabela 2). A cena 06/08/1998 teve a maior amplitude térmica ao longo de toda a área urbana, ao passo que 31/03/1998 apresentou a menor amplitude das cenas de estudo aqui representada pelo

desvio padrão (Tabela 2). Menores amplitudes térmicas superficiais registradas no período chuvoso estão relacionadas ao efeito termohidroregulador da água que impede quedas e aumentos abruptos na temperatura em função do seu elevado calor específico (Andrade et al. 2009). Assim, quanto maior disponibilidade hídrica, menor é a variabilidade da temperatura da superfície e consequentemente, do ar adjacente.

**Tabela 2** - Mínimo, máximo, mínimo e média ( $\pm$  desvio padrão) da temperatura da superfície da área de estudo.

Data	Mínimo	Máximo	Média
31/03/1988	21,1	26,8	23,3 $\pm$ 0,9
06/08/1988	23,6	32,3	28,4 $\pm$ 1,6
19/03/1995	19,8	26,1	22,2 $\pm$ 0,9
26/08/1995	25,2	32,3	28,4 $\pm$ 1,3
29/08/2008	21,0	26,6	23,1 $\pm$ 0,8

Apesar da notável expansão da área urbana do período de 1988 a 2008, a temperatura superficial média para a cena

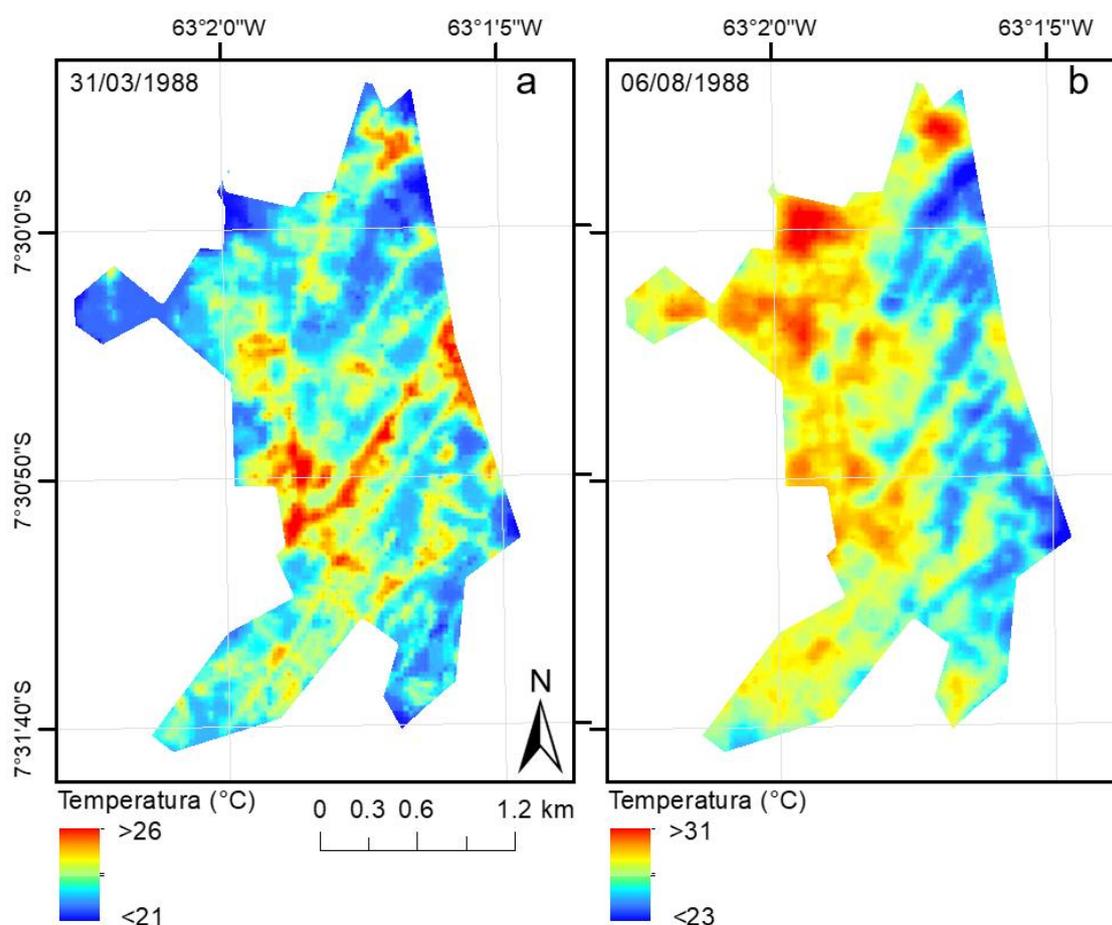
registrada em 29/08/2008 foi aproximadamente 18% inferior as das cenas 06/08/1988 e 26/08/1995 (Tabela 2). A menor temperatura

### DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

média registrada nesta data pode ser explicado pela ocorrência de precipitação em dias próximos ao registro da imagem, tendo em vista o evento de La Niña sob o qual a região estava sujeita. Ademais, o mês de agosto de 2008 possuiu os maiores totais pluviométricos quando comparado com os demais anos de estudo (Figura 2). Outro fator que favorece menores temperaturas no momento de registro da cena é a ocorrência de massa de ar frio entre os dias 29 e 30 nos setores sul e central da região norte do país (CLIMANÁLISE, 2008). Nesse período é comum a entrada de sistemas frontais denominados localmente por Friagens, que resultam em quedas bruscas da temperatura (FISCH et al., 1998).

Na imagem do dia 31/03/1988 (período chuvoso), as menores temperaturas (em azul)

ocorrem nas regiões periféricas e em boa parte das regiões próximas ao rio Madeira, aumentando no sentido periferia-centro (Figura 3a). Ressalta-se que neste período, o sistema viário periférico era predominantemente solo exposto, com poucas ruas pavimentadas e maior existência de vegetação ao longo do espaço urbano. Outro fato relevante é a existência de uma pequena porção de solo exposto presente na região central da margem do rio Madeira. Este local é destinado a embarque e desembarque de veículos e pessoas entre uma e outra margem do rio por meio de embarcações. Assim, maiores temperaturas podem ser verificadas nesta região quando comparado com o restante da margem do rio.



**Figura 3** - Temperatura da superfície da área urbana de Humaitá-AM obtidas em 31/03/1988 (a) e 06/08/1988 (b).

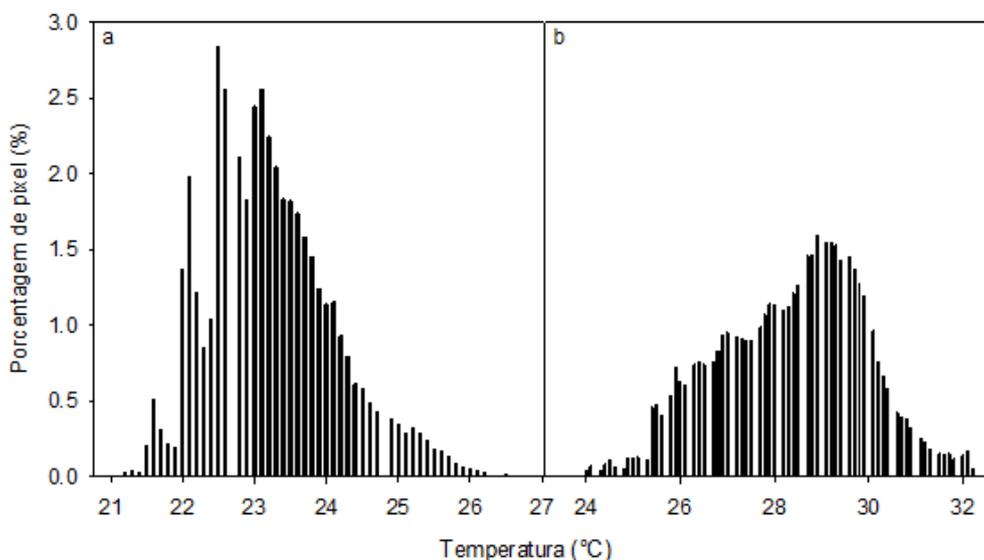
### DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

Como esperado, no período chuvoso os maiores valores da temperatura da superfície (amarelo ao vermelho) foram encontrados na região central da cidade (Figura 3a). Resultados semelhantes foram encontrados por Vasconcelos e Zamparoni (2011) no bairro Morada da Serra em Cuiabá-MT, com maiores temperaturas em locais com alto índice de construções. Jiang et al. (2006) em estudos realizados em Pequim verificaram o mesmo efeito entre as regiões centrais das cidades e áreas periféricas. Os autores obtiveram uma diferença média de 4.5°C entre a área central e periférica. Esse incremento na temperatura ocorre porque o material empregado na construção civil armazena mais calor do que superfícies naturais presentes ao redor da área urbana (BIAS et al., 2003).

Os menores valores de temperatura da superfície na imagem do dia 06/08/1988 (período seco) também ocorreram nas áreas mais próximas ao rio Madeira (extremidade direita da imagem) em conjunto com áreas vegetadas (Figura 3b). Nesta cena, é possível verificar aumento gradativo de aproximadamente 16% (5°C) da temperatura da superfície a medida que se afasta da margem do rio. A menor temperatura da superfície nessa região é devido à maior disponibilidade hídrica no solo, pois,

quanto mais úmido o solo, mais lento é o fluxo de calor, devido ao maior calor específico do solo úmido e maior o intercâmbio de vapor d'água entre vegetação e atmosfera por meio da evapotranspiração (PILLAR, 1995). Neste sentido, a própria vegetação irá responder ao déficit ou disponibilidade hídrica da superfície ao longo da imagem com menor ou maior temperatura superficial.

Em geral, a temperatura da superfície da área urbana de Humaitá em 31/03/1988 foi predominantemente entre 22 e 24°C (Figura 4a), enquanto que em 06/08/1988 a maior frequência foi registrada entre 29 e 31°C (Figura 4b). As temperaturas da superfície mais elevadas em 06/08/1988 quando comparada às obtidas em 31/03/1988 são explicadas pelos distintos períodos pluviométricos. A imagem de março foi registrada no período chuvoso, consequentemente tem maior umidade na superfície, que além de ter maior calor específico que uma superfície seca, ainda perde calor por evaporação (COSTA e RODRIGUES, 2015).

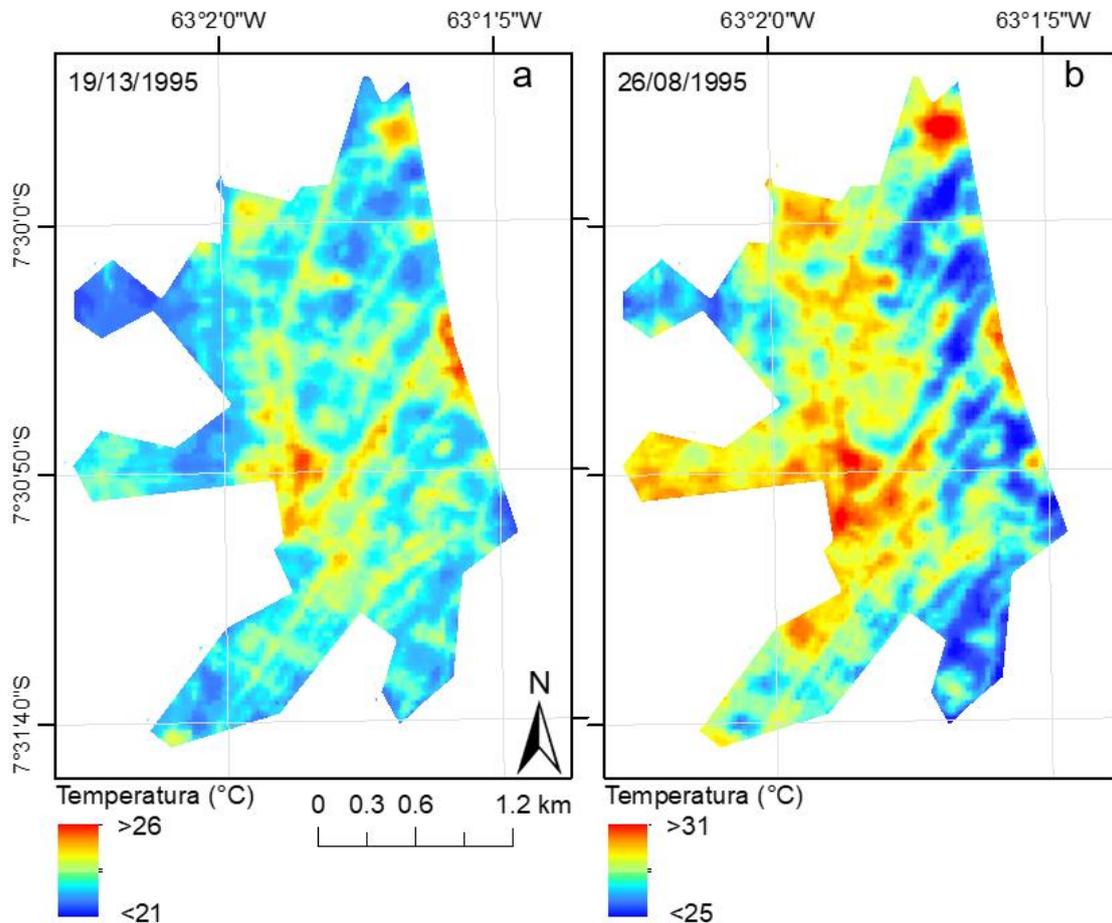


**Figura 4** - Histograma de frequência das cartas de temperatura superficial da área urbana de Humaitá-AM referente as cenas 31/03/1988 (a) e 06/08/1988 (b).

### DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS

A temperatura da superfície da área urbana de Humaitá em 1995 foi semelhante às imagens de 1988. Na Figura (5a), nota-se que os menores valores da temperatura da superfície de 19/03/1995 (período chuvoso) ocorreram nas regiões periféricas, enquanto que em 26/08/1995

(período seco) (Figura 5b), ocorreu próximo às margens do rio Madeira, excetuando-se a região de embarque e desembarque de veículos localizados na margem, o qual teve temperatura mais elevada.



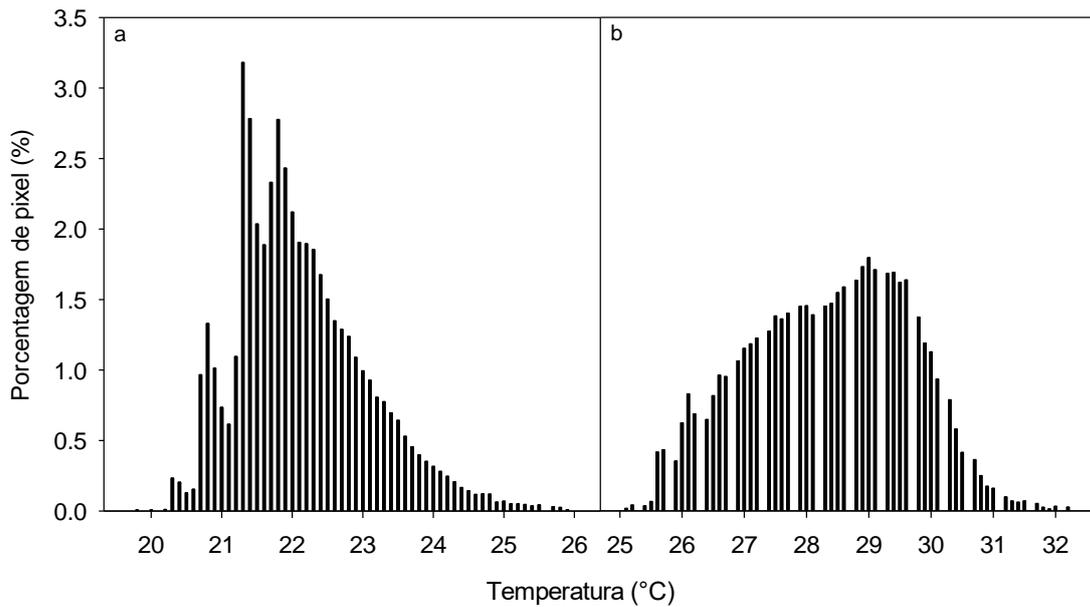
**Figura 5** - Temperatura da superfície da área urbana de Humaitá-AM obtidas em 19/03/1995 (a) e 26/08/1995 (b).

Ressalta-se que as adjacências do município ainda hoje são cobertas por vegetações naturais. Contudo em 1995 eram mais preservadas do que os dias atuais. Logo, a medida que se afasta da área central, há uma maior proximidade com áreas vegetadas. Portanto, a atenuação da temperatura nessa região também é explicada pela presença de vegetação que exerce um papel fundamental na temperatura. Essa influência se dá através da evapotranspiração, que consome energia da

radiação solar e aumenta o calor latente ao invés do calor sensível (ALVES e BIUDES, 2011, BIUDES et al., 2015).

A maior frequência da temperatura da superfície em 19/03/1995 foi entre 21 e 23^{\circ}\text{C} (Figura 6a), enquanto que em 26/08/1995 a maior frequência foi entre 28 e 30^{\circ}\text{C} (Figura 6b), evidenciando a variação sazonal da temperatura da superfície em função dos períodos pluviométricos.

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE  
HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**

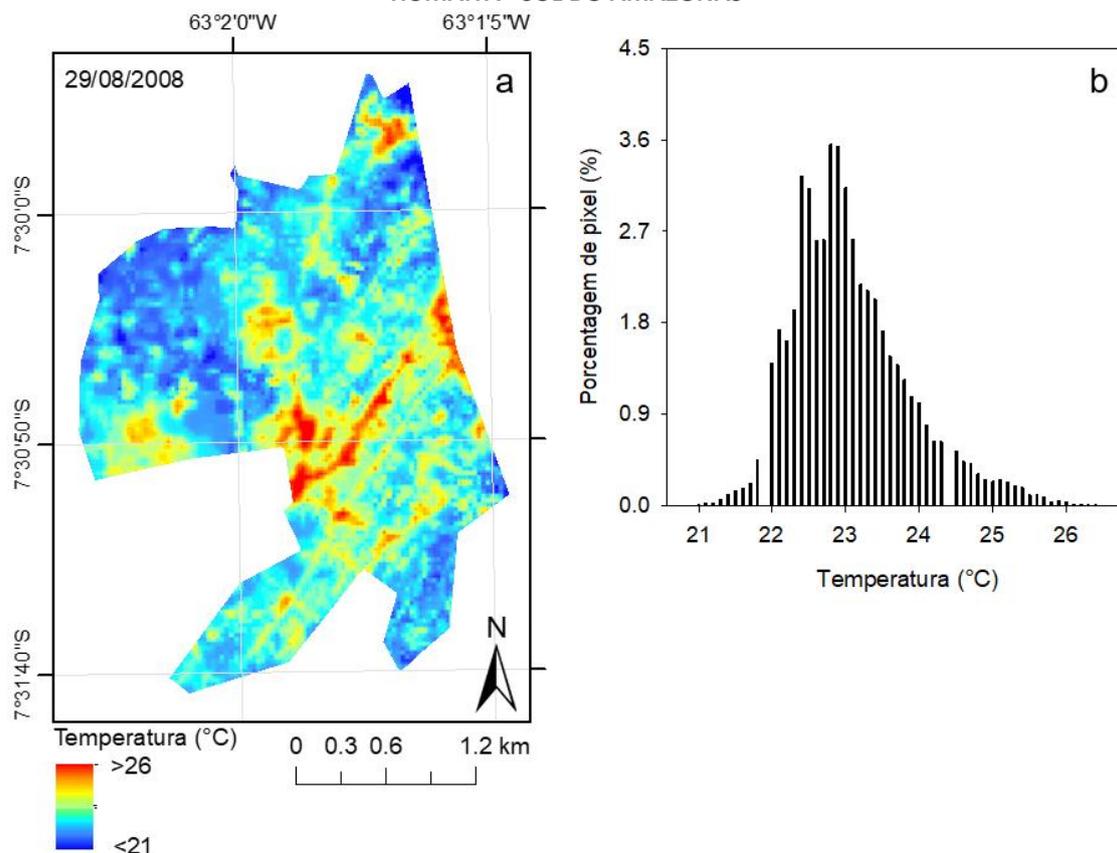


**Figura 6** - Histograma de frequência das cartas de temperatura superficial da área urbana de Humaitá-AM referente as cenas 19/13/1995 (a) e 26/08/1995 (b).

Todas as imagens referentes ao período seco mostraram um mesmo padrão espacial de temperatura, com temperaturas menores às margens do Rio Madeira, aumentando gradativamente no sentido oeste da cidade. Em 29/08/2008 também houve maiores valores da

temperatura da superfície na região oeste da cidade, onde há maior adensamento de construções, casas de concreto e pouca vegetação em relação à região leste (Figura 7a). A maior frequência da temperatura da superfície nesse dia ocorreu entre 22 e 24°C (Figura 7b).

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**



**Figura 7** - Histograma de frequência das cartas de temperatura superficial da área urbana de Humaitá-AM referente a cena 29/08/2008 (período seco).

#### 4. CONCLUSÕES

A precipitação na área de estudo ao longo do período de estudo foi influenciada pelo fenômeno La Niña e apresentou padrão semelhante ao da normal climatológica. A maior precipitação em agosto (período seco) ocorreu em 2008, seguida por 1995 e 1988, o que pode ter influenciado para se obter menores valores da temperatura da superfície em 2008 quando comparadas às demais imagens obtidas no período seco.

A sazonalidade da precipitação influenciou diretamente a amplitude da temperatura da superfície da área de estudo. As menores amplitudes da temperatura da superfície foram obtidas no período chuvoso e as maiores durante a cena do período seco. A temperatura da superfície também foi influenciada pela ocupação da área urbana de Humaitá-AM, disponibilidade hídrica no solo, urbanização e demais características físicas da

superfície. Portanto, as maiores temperaturas ocorreram em locais com maior adensamento de construções e menor área vegetada.

Esta pesquisa fornece a caracterização da distribuição da temperatura superficial ao longo do perímetro urbano de Humaitá, a qual era desconhecida. Neste sentido, este trabalho pode servir de subsídio para orientação de futuras políticas de ordenamento urbano, tendo como principal proposta a necessidade de conciliação de áreas verdes com áreas construídas. Contudo, para que a influência da vegetação sobre a temperatura seja melhor explicada é indicado para futuros estudos a incorporação de índices de vegetação e índices de disponibilidade hídrica da superfície que permitam análise direta da relação entre água, vegetação e temperatura da superfície.

A ferramenta do sensoriamento remoto utilizada nesse estudo foi útil para identificar os padrões espaço-temporais da temperatura da

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE  
HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**

superfície da área urbana de Humaitá-AM. Contudo, ressalta-se que é necessário a correção dos efeitos da atmosfera na banda termal.

**5. AGRADECIMENTOS**

A pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA/IF/UFMT), Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 303625/2015-5; Edital Universal 01/2016, processo nº 407463/2016-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT – PRONEM 2014, processo nº 561397/2014).

**6. REFERÊNCIAS**

AHMED, A. Q.; OSSEN, D. R.; JAMEI, E.; MANAF, N. A.; SAID, I.; AHMAD, M. H. Urban surface temperature behaviour and heat island effect in a tropical planned city. *Theoretical Applied Climatology*, v.119, p.493–514, 2015.

ALVES, LINCOLN MUNIZ. Clima da região centro-oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. D. A., et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, Cap. 15, p. 463, 2009.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Os microclimas da universidade federal de Mato Grosso/Cuiabá. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, v.23, p.600-620, 2011.

ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, R. G. SANCHES, L.; ALVES, É. C. R. F.; NOGUEIRA, J. S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição Amazônia-cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, p.346-355, 2009.

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Humaitá – AM. 2013. Disponível em: [http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/humaita\\_am](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/humaita_am).

BARSI, J. A.; BARKER, J. L.; SCHOTT, J. R. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a single thermal band earth-sensing instrument, *IGARSS 2003. IEEE International Geoscience and*

*Remote Sensing Symposium. Proceedings*, v.5, p.3014-3016, 2003.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul, aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados LANDSAT e IKONOS. In: ANAIS XI Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto - SBSR, Belo Horizonte, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1741 – 1748.

BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; DE ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. DE A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.202, p.112 - 124, 2015.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; JUNIOR, V. S. S.; FILHO, R. R. M.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica*, v.42, n.3, p.387-398, 2012.

CARVALHO, L. M. V. D.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. D. A., et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, Cap. 6, p. 463, 2009.

CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. INPE/CPTEC, v.23, n.8, SP, Brasil, ISSN 0103-0019, Publicação Mensal. Agosto de 2008.

CONCEIÇÃO, L. A. B. S. Diagnóstico ambiental através do uso de técnicas de sensoriamento remoto como apoio para o planejamento de unidades administrativas: o caso de Osório, RS. 2004. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 72p.

COPQUE, A. C. DA S. M.; SOUZA, F. A.; SANTOS, D. V. C.; PAIXÃO, R. C. Expansão urbana e redução de áreas verdes na localidade do Cabula VI Região do miolo da cidade do Salvador, Bahia. In:

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE  
HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**

- ANAIAS XV Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto – SBSR. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.0706.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. *Revista do Departamento de Geografia*, v.30, p.149-165, 2015.
- ESCOBAR, G. C. J. Padrões de circulação em superfície e em 500 hpa na América do Sul e eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, n. 1, p. 105 - 124, 2014.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, n.1, p.15-28. 2005.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v.28, n.2, p.101-126, 1998.
- GOMES, L. C. F.; SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, H. A. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.1, p.15-28, 2013.
- HUTYRA, L.R., MUNGER, J.W., SALESKA, S.R., GOTTLIEB, E., DAUBE, B.C., DUNN, A.L., AMARAL, D.F., DE CAMARGO, P.B., WOFYSY, S.C., Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, v.112, p.G03008, 2007.
- IBGE, Censo Demográfico 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=am&tema=censodemog2010\\_domic](http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=am&tema=censodemog2010_domic).
- INMET, Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília, DF: INMET, 2009. 465 p.
- JIANG, Z.; CHEN, Y.; LI, J. On Urban Heat Island of Beijing Based on Landsat TM Data. *Geo-spatial Information Science*, v.9, n.4, p.293–297, 2006.
- LIU, G. ; ZHANG, Q.; LI, G.; DORONZO, D. M. Response of land cover types to land surface temperature derived from Landsat-5 TM in Nanjing Metropolitan Region, China. *Environmental Earth Sciences*, v.75, p.1386, 2016.
- LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, v.3, n.7, p.1535-1552, 2011.
- MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.2, p.221-227, 2006.
- MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S. Identificação do fenômeno ilhas de calor na área urbana do Recife-PE, através do canal infravermelho termal do satélite Landsat-5. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto - SBSR, 15. (SBSR). 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 768-775.
- National Weather Service/Climate Prediction Center/NOAA. Cold & Warm Episodes by Season. 2017. Disponível em <[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>.
- PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; PAVÃO, L. O.; QUERINO, J. K. A. DA SILVA; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Temperatura e Albedo da Superfície por Imagens Tm Landsat 5 em diferentes usos do Solo no Sudoeste da Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 16, p. 169 - 183, Jan/Jun, 2015.
- PEREIRA, N.; RIBEIRO, A. L.; D'INCAO, F. Influência dos fenômenos ENOS na ocorrência de frentes frias no litoral sul do Brasil. *Ciência e Natura*, 1, p. 91 - 99, 2011.
- PILLAR, V.D. Clima e vegetação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Departamento de Botânica. 1995. Disponível em: [http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/6\\_Clima\\_95Nov07.pdf](http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/6_Clima_95Nov07.pdf)
- QUERINO, C.A.S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica horária no estado de Mato Grosso. 2016 Tese (Doutorado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso, 2016. 72f.
- QIN, Z.; KARNIELI, A.; BERLINER, P. A mono-window algorithm for retrieving land surface

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE URBANA DO MUNICÍPIO DE  
HUMAITÁ - SUL DO AMAZONAS**

temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt borderregion. *International Journal of Remote Sensing*, v.22, n.18, p.3719-3746, 2001.

SANTOS NETO, L. A.; MANIESI, V.; SILVA, M. J. G.; QUERINO, C. A. S.; LUCAS, E. W. M.; BRAGA, A. P.; ATAÍDE, K. R. P. Distribuição horária da precipitação em Porto Velho-RO no período de 1998 – 2013. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.14, p.213-228, 2014.

SCHÜTZ, G. E.; MELLO, M. G. S.; CARVALHO, M. A. R.; CÂMARA, V. M. Sobre determinação socioecológica da saúde da ruralidade em Humaitá, AM, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.19, n.10, p.4051-4060, 2014.

SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, v.90, p.434–440, 2004.

SUN, Q.; TAN, J.; XU, Y. An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: A case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environmental Earth Sciences*, v.59, n.5, p.1047–1055, 2010.

VALOR, E.; CASELLES Vicente. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sensing of Environment*, v.57, p.167-184, 1996.

VASCONCELOS, L. C. S.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Os efeitos da urbanização no microclima no bairro Morada da Serra, Cuiabá – MT. *RAEGA*, v.23, p.573-599, 2011.

WANG, A. P. Correction of atmospheric effects on remote sensing (new mathematical models and approximation solutions). *Mathematical Modelling*, v.9, n.2, p.117-124, 1987.

YANG, J.; QIU, J. The empirical expressions of the relation between precipitable water and ground water vapor pressure for some areas in China. *Scientia Atmospherica Sinica*, v.20, p.620-626, 1996