
Revista Brasileira de Climatologia

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

UMA ANÁLISE DOS CONTRASTES TOPOCLIMÁTICOS NO ESPAÇO URBANO E PERIURBANO DE ARACAJU/SE: OS CAMPOS TÉRMICOS E HIGROMÉTRICOS

ANJOS, Max Wendell Batista dos – maxgeoline@hotmail.com
Doutorando em Geografia pelo Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

GANHO, Nuno - nganho@netvisao.pt
Professor Doutor Associado do Departamento de Geografia da Universidade de Coimbra

ARAÚJO, Hélio Mário de - heliomarioaraujo@yahoo.com.br
Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Sergipe

RESUMO. Este trabalho teve como objetivo analisar os contrastes térmicos e higrométricos espaciais, à escala topoclimática, no espaço urbano e periurbano da cidade de Aracaju. Neste estudo encontrou evidências significativas de contrastes topoclimáticos no espaço intraurbano, o que leva a fortes indícios de ocorrência de ilhas de calor nesta cidade. Isto foi possível mediante o confronto de dados oriundos dos pontos de observação, distribuídos em vários pontos da cidade através dos transectos móveis. Durante o segmento temporal da investigação, foi notória a diferença térmica e higrométrica entre a área urbana e periurbana. No campo térmico foi possível notar ilhas de calor de fortes magnitudes, que chegaram a 7,5°C em contraste com a área envolvente, enquanto que campo higrométrico os contrastes foram mais acentuados, com diferenças de 20%. Além disso, a morfologia urbana e os contrastes topoclimáticos estão extremamente relacionados. Neste sentido, a fim de estudar o desenvolvimento do clima urbano de Aracaju, uma nova rede urbana de instrumentos meteorológicos devem ser tomados em consideração, devido à ausência de qualquer histórico de registros de temperatura e umidade relativa em áreas industriais, no centro da cidade ou em parques verdes. Uma rede articulada de estações meteorológicas urbanas seria uma oportunidade para compreensão de vários fenômenos climáticos e de seus efeitos sobre a população.

Palavras chaves: clima urbano, ilha de calor, campo térmico- higrométrico, Aracaju.

THE ANALYZE OF THE TOPOCLIMATIC CONTRASTS IN URBAN AND PERIURBAN SPACE OF THE CITY OF ARACAJU/SE: THE THERMAL AND HYGROMETRIC FIELDS.

ABSTRACT. The present study is aimed to analyze the thermal and hygrometric contrasts, topoclimatic scale in urban and periurban space of the city of Aracaju. The study found significant evidence of topo-climatic contrasts in intra-urban space, leading to substantial evidence of the occurrence of heat islands in the mentioned city. The result was established by comparing of temperature and relative humidity from observation points distributed in various parts of the city was compared using a mobile transect. During the time period of research, the thermal and hygrometric differences within urban area and between the urban and periurban area of city became clear. At the thermal field It was possible to observe heat islands of strong magnitudes reaching 7.5°C in contrast to the surrounding area, while the hygrometric field was more pronounced, with difference of 20%. At the thermal field it was possible to observe heat islands of strong magnitudes reaching 7.5°C in contrast to the surrounding area, while the hygrometric field was more pronounced, with difference of 20%. In addition, urban morphology and topoclimatic contrasts are extremely related. Accordingly, in order to study the development of urban climate of Aracaju, a new urban network of meteorological instruments should be taken into account, quoting the notable absence of no

historical records of temperature and relative humidity in industrial areas, in centre of city or parks green. A linked network of weather stations would be an opportunity for urban understanding of various weather phenomena and their effects on the population.

key words: urban climate, heat island, thermal-hygrometric field, Aracaju.

UN ANÁLISIS DE LOS CONTRASTES TOPOCLIMÁTICOS EN LA ZONA URBANA Y PERIURBANA DE ARACAJU/SE: LOS CAMPOS TÉRMICO E HIGROMÉTRICO.

RESUMEN. Este estudio ha tenido como objetivo analizar los contrastes térmicos e higrométricos espaciales, en una escala topoclimática, en la zona urbana y periurbana de la ciudad de Aracaju. Se han hallado significativas evidencias de contrastes topoclimáticos en la zona intraurbana, lo que lleva a fuertes indicios de la ocurrencia de islas de calor en la ciudad. Ello ha sido posible mediante el confronto de datos oriundos de los puntos de observación distribuidos en varias ubicaciones de la ciudad a través de transectos móviles. Durante el espacio de tiempo de la investigación, fue notoria la diferencia térmica e higrométrica entre el área urbana y periurbana. En el campo térmico fue posible notar islas de calor de fuertes magnitudes, donde alcanzaron los 7,5°C en contraste con el área alrededor, mientras que en el campo higrométrico los contrastes fueron más acentuados, con diferencias del 20%. Además, la morfología urbana y los contrastes topoclimáticos están extremadamente relacionados. Siendo así, con el propósito de estudiar el desarrollo del clima urbano de Aracaju, una nueva red urbana de instrumentos meteorológicos deben ser llevados en consideración debido a la ausencia de cualquier histórico de registros de temperatura y humedad relativa en áreas industriales, en el centro de la ciudad o en parques verdes. Una red articulada de estaciones meteorológicas urbanas sería una oportunidad para comprender muchos fenómenos climáticos y sus efectos sobre la población.

Palabras clave: clima urbano, isla de calor, campo térmico-higrométrico, Aracaju.

RESUMMÉ. Cette étude a pour objectif d'analyser les contrastes thermiques et hygrométriques à l'échelle topoclimatique dans le réseau urbain et péri urbain de la ville de Aracaju. Ce travail apporte des preuves significatives sur les contrastes topoclimatiques dans le réseau intra urbain ceci en raison de l'existence d'îles de chaleur dans cette ville. Ceci fut réalisable grâce à la mesure moyene de différents points d'observation effectuée dans la ville via le transecto mobile. Pendant cette période d'investigation, on a remarqué une différence thermique et hygrométrique entre la zone urbain et peri urbaine de la ville. Dans la zone thermique on a pu rencontrer des îles de chaleur à fortes magnitudes pouvant aller jusqu'a 7,5 C en contraste avec les autres zones étudiées. L'analyse hydrometrique a montré une difference de 20% plus accentuée. De plus le rapport entre la morphologia urbaine et les contrastes topoclimatiques furent très intime. Pour cela, afin de pouvoir étudier le developpement du climat urbain d' Aracaju, l'utilisation d'un nouvel equipement d' intruments metereologiques doit être pris en considération ceci en raison d'une absence complete de donnees historiques concernant de température et l'humidité que ce soit dans la zone industrielle, le centre ville ou dans les parcs arborés. Une ensemble coordonné de stations météorologiques urbaines pourrait être la solution opportune pour comprendre les différents phénomènes climatiques et leurs effets sur la population.

Mots Clé: climat urbain, îlot de chaleur, champ thermique-hygrométrique, Aracaju.

1. INTRODUÇÃO

Um dos obstáculos ao desenvolvimento adequado das cidades brasileiras é a crescente degradação do ambiente urbano e da qualidade de vida. A paisagem natural da cidade é extremamente modificada, para dar lugar à

concentração de casas, instalações industriais, adensamento populacional e pavimentação asfáltica. Essa alteração, por via descontrolada do uso do solo, provoca alterações climáticas significativas, por exemplo, o fenômeno da Ilha de Calor (OKE, 1987), largamente estudado nas mais diversas cidades do mundo sob diferente contexto natural, social e cultural (ARNFIELD, 2003).

O desenvolvimento urbano de Aracaju não foge à regra da maioria das cidades brasileiras, que seguem a lógica de reprodução do capital, produzindo espaços acentuadamente diferenciados, sob o ponto de vista socioeconômico e ambiental. O contexto de degradação ambiental em que se encontra a referida cidade foi a base inicial para o desenvolvimento deste trabalho que tem como objetivo analisar o campo térmico e higrométrico do espaço urbano e periurbano de Aracaju em dois dias representativos de verão.

A escolha da cidade de Aracaju vai além de pretensões pessoais ou emocionais, posto que, ela própria, pela sua condição natural e social, constitui um ambiente favorável ao estudo de clima urbano (ANJOS, 2012). Localizada na região Nordeste do Brasil, Aracaju foi projetada para ser a capital do estado de Sergipe e hoje conta com mais de meio milhão de habitantes (IBGE, 2012), seguindo o padrão das cidades de porte médio brasileiras. A cidade está situada no litoral, conhecida como a região da Zona da Mata, cujas especificidades de ordem natural e outras de ordem social formam um ambiente favorável ao estudo do clima urbano. A posição de Aracaju em latitudes baixas confere um papel muito importante no condicionamento climático da cidade. Compreende uma área de 181,8 km² e delimita-se pelas coordenadas de 10° 51' 45" e 11° 07' 49' de latitude sul e de 37° 02' 02" e 37° 09' 04' de longitude oeste, que a posiciona completamente na zona intertropical. O relevo aracajuano é pouco expressivo, as cotas altimétricas variam na ordem de dois a oito metros acima do nível do mar. Somente na parte oeste e, sobretudo ao norte, as cotas se elevam em morros e colinas numa altitude de aproximadamente 100 m, representando o ponto mais elevado da cidade. O município possui uma densa hidrografia, onde é recortado pelas bacias hidrográficas do Rio Sergipe e do Rio Vaza Barris, além de uma série de riachos, conferindo-lhe um ambiente costeiro em permanente contato com águas fluviais e marinhas (figuras 1 e 2).

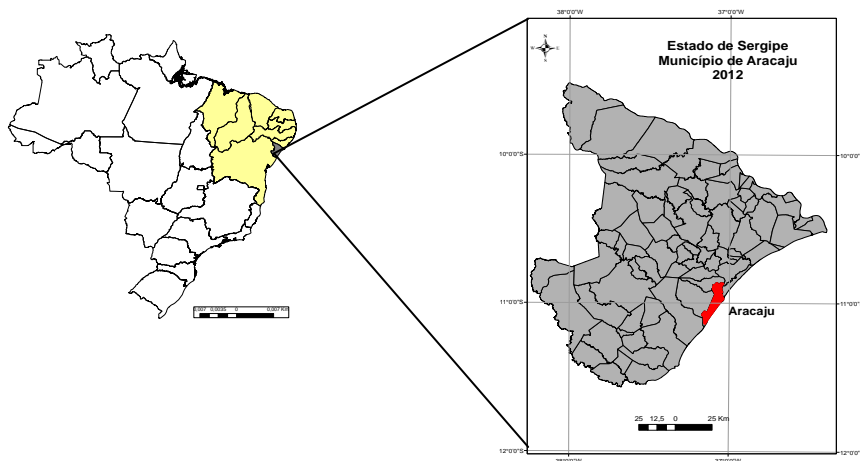


Figura 1: Esboço da localização geográfica de área em estudo.

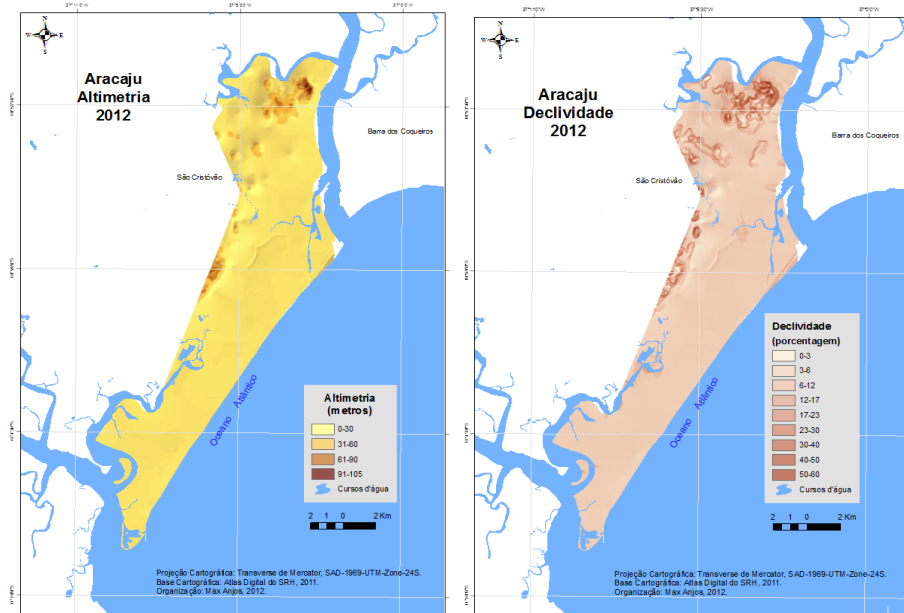


Figura 2: Altimetria (à esquerda) e declividade (à direita) da área em estudo.

Quanto ao clima regional, as temperaturas médias anuais e mensais são elevadas, apresentando variações entre 27°C e 25°C, de acordo com os dados do INMET referentes ao período 1961-2010. Essa desprezível variação anual pode ser explicada pelas médias elevadas em todos os meses que, devido à cidade localizar-se próxima da zona equatorial, concorre para uma baixa amplitude térmica anual, variando de 2 a 3°C. A umidade relativa ronda, em média, os 70%, para qualquer mês e em qualquer dos anos considerados (1961-2010), justificada pela posição da cidade próxima ao litoral e à inexistência de obstáculos à penetração do ar úmido do oceano Atlântico. Como se não bastasse, a cidade é cortada por

vários corpos d'água o que alimenta, de certa forma, esses persistentes índices de umidade relativa.

As condições meteorológicas de Aracaju dependem fundamentalmente dos centros de ação, das correntes atmosféricas perturbadas, das influências conjugadas do oceano Atlântico e, sobretudo, com o estuário do rio Sergipe, além da atuação persistente da circulação de brisas que, associadas à ausência de obstáculos que interponham entre a cidade e o mar, revestem-se de extrema importância na compreensão dinâmica climática de escala local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Transectos Móveis

Os transectos móveis foram realizados em diferentes horários do dia, às 09:00, 15:00 e 21:00 (hora local). Esses horários não foram escolhidos aleatoriamente e se justificam por representarem as variações do tempo atmosférico no decorrer do dia. A observação às 07:00hs, que se refere ao início do aquecimento diurno, não foi possível em função da impossibilidades logísticas. Recorreu-se então às 09:00hs, que é quando inicia o período de maior aquecimento diurno, atingindo seu máximo de intensidade por volta das 15:00hs e finaliza às 21:00hs quando inicia o resfriamento noturno (Figura 3).

2.2 Amostra

Definiram-se, criteriosamente, 39 pontos de observação distribuídos sobre a malha urbana de Aracaju, que na perspectiva de Monteiro (1990, p. 69):

cada ponto expressa- no momento em que foi registrado- o comportamento da atmosfera naquele dado ponto. Este encerra simultaneamente, em si mesmo, as componentes da circulação atmosférica regional, aqueles advindas da resposta local, ao mesmo tempo em que deve refletir algo do contexto meso-climático definido pelas grandes linhas da topografia e sobretudo: está intimamente comprometido com as condições microclimáticas que a edificação urbana propiciou em larga escala.

Além disso, contou-se também com apoio de quatro estações fixas de observação: estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, INFRAERO e as estações instaladas no Centro da Cidade e no Parque da Cidade.

Na escolha dos dias para realização do experimento foram privilegiadas as condições de tempo com pouca nebulosidade e vento calmo que são fomentadoras dos maiores contrastes topoclimáticos (GANHO, 1998). Os

dias escolhidos foram 15 de janeiro e 28 de fevereiro de 2012, ambos representativos da estação de verão.

A utilização de imagens de satélite GOES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE/CPTEC serviu de base para a caracterização dos sistemas atmosféricos atuantes no momento do percurso.

2.3 Percurso, levantamentos e tratamentos dos dados

A definição do percurso teve como preocupação a íntima associação de dois aspectos: o primeiro, em que o percurso (orientação sul-norte) contemplasse o maior número de ambiências atmosféricas possíveis e outro aspecto é que o intervalo de tempo não ultrapassasse duas horas, o suficiente para dirimir o efeito oscilativo temporal das variáveis climáticas.

Com base no mapa de uso do solo (figura 3) é possível verificar as ambiências atmosféricas refletidas nos aspectos gerais da morfologia urbana de Aracaju, tendo em consideração a densidade de construção, a geometria urbana e os espaços verdes inseridos no tecido urbano, nos quais interagem com a condição climática local.

O automóvel foi equipado com uma estação meteorológica digital tipo *Taylor model-2752*, sob uma altura de 1,8m acima do solo. No decorrer do percurso o automóvel manteve uma velocidade de 40 km, ao chegar a cada ponto de observação parava-se o veículo e registrava dados de temperatura e umidade relativa, bem como a hora em que ocorreu o registro e demais fenômenos atmosféricos que, por ventura, viessem influenciar no trajeto e, conseqüentemente, na dinâmica das variáveis analisadas.

Adotaram-se os valores absolutos de temperatura e umidade relativa, expresso nas diversas ambiências atmosféricas ao longo do transecto, uma vez que, além de salientar os contrastes entre si, registra-se a noção exata no momento da observação. Em alguns casos tornou-se necessário estender os valores dos pontos a um raio (arbitrário) que englobasse as características imediatamente mais próximas, sobretudo aquelas semelhantes ao padrão topográfico, densidade de edificação, proximidade com corpos d'água e vegetação. Neste aspecto, o uso de imagem de satélite e o controle de campo se mostraram úteis e eficientes.

Sendo assim, a análise topoclimática foi alcançada considerando-se os valores absolutos válidos e extensíveis nas mesmas condições existentes, ou seja, nos padrões de homogeneidade de cada área, a fim de comparar e constatar a existência de ilha de calor e ilha de secura em Aracaju.

Uma vez definidos os valores das variáveis e as áreas por eles representados, procedeu-se a representação cartográfica a partir do Sistema de Informação Geográfica (SIG)/Arcgis 9.3, mais especificamente ao método de interpolação, que segundo Amorim (2009) funciona bem sobre terrenos topograficamente homogêneos e para elementos

meteorológicos intensivos como é o caso da temperatura e umidade relativa do ar.

Foram efetuados testes com os seguintes métodos de interpolação: Ponderação do Inverso da Distância (IDW), Spline de Tensão e Krigagem Originário (KRI). Dos três métodos testados, o KRI foi o que se mostrou mais fiel à distribuição espacial da temperatura e umidade relativa em relação aos condicionantes geocológicos e antrópicos. O KRI conforme Marcuzzo (2011) é um método geoestatístico que se baseia na Teoria das Variáveis Regionalizadas, que supõe que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área.

Sendo assim, as razões pelas quais adotou-se o método geoestatístico KRI em detrimentos dos demais estão calcadas em ordem teórica e prática. Os modelos geoestatísticos por si só, guardam características de estimação diferentes dos convencionais, dentre as quais Camargo (1998) refere que: os pesos são determinados a partir de uma análise de correlação espacial baseada no semivariograma; a área de influência na interpolação é indicada pelo alcance e trata redundância ("Clusters"), isto é, atribui pesos adequados para agrupamentos de amostras. Paralelamente, o número de pontos estendidos às áreas com características homogêneas, já discutidas anteriormente, foram suficientes para o referido método gerar informações mais confiáveis e de maior aproximação da realidade.

Deve-se ressaltar que os contrastes térmicos e higrométricos à escala topoclimática definidos a partir dos transectos móveis, foram analisados, com propriedade, embora em sentido lato, como sinônimo da "ilha de calor" urbano de Aracaju para os contrastes térmicos e sinônimo de "ilha de secura" para os de umidade relativa, como sugere Ganho (1998).

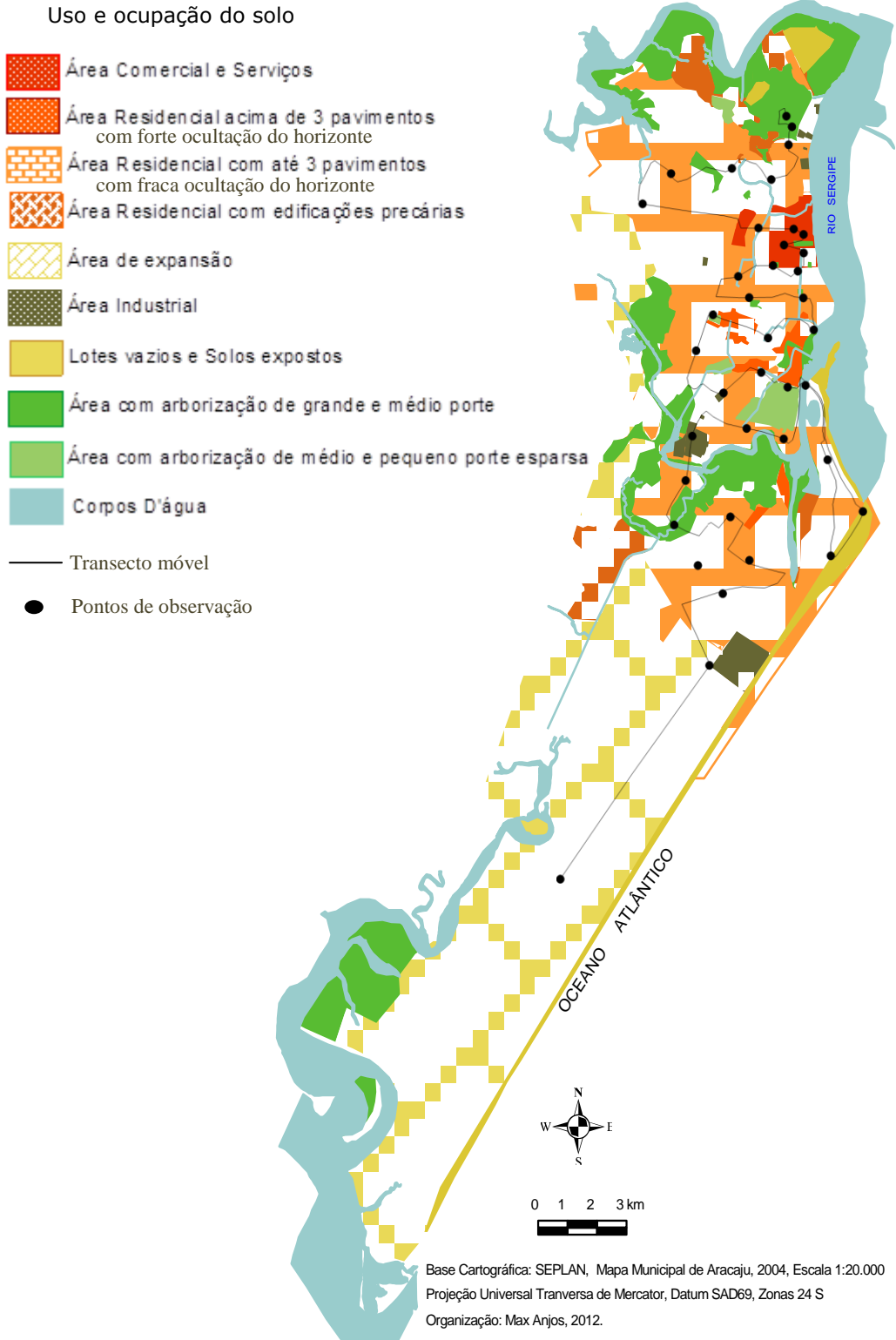


Figura 3: Uso e Ocupação do solo de Aracaju, adaptado de Anjos (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do campo térmico e higrométrico em 15 de janeiro de 2012.

3.1.1 Condições Sinóticas

As condições sinóticas neste dia estavam bem propícias para o surgimento dos contrastes de temperatura e umidade relativa, marcadas por alternância de condições de tempo estáveis na maior parte do dia, com céu pouco nublado, ventos fracos e pouca nebulosidade. Porém, durante parte da tarde, a circulação local de brisas marítimas fez-se mais presente, ocasionando ligeira instabilidade, algo que é intrínseco à atmosfera tropical litorânea. Esta situação foi ideal para mostrar a atuação das brisas marítimas como mecanismo influenciador nos contrastes térmicos e higrométricos espaciais.

As condições de tempo estão, em grande parte, atreladas à presença do sistema atmosférico Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VACNs) que reinou durante todo o experimento (Figura 4b, c, d). Segundo dados do INMET a temperatura variou entre 29,8°C e 26°C resultando em uma amplitude térmica diária de 3,8°C; já a umidade relativa oscilou um pouco mais entre 78% a 64%; a pressão atmosférica ficou entre 1020 a 1016 mb sobre a costa aracajuana, e verificaram-se algumas pancadas de chuva. Quanto à direção do vento predominou o rumo E com velocidade de 3,0 m/s e a alta radiação solar de 3.087 kJ/m² fez juz ao padrão típico de verão neste dia de experimento.

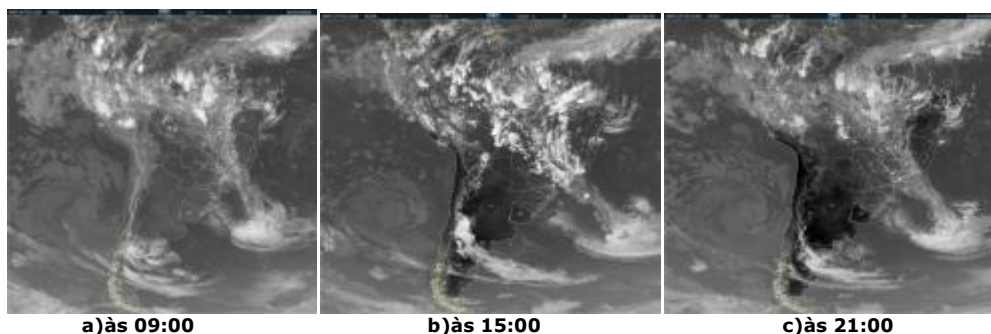


Figura 4a,b,c: Atuação dos VCAN's no momento do experimento em 15/01/2012.

Fonte: CPTEC/INPE e Marinha do Brasil.

3.1.2 Observações Diurnas

A configuração do campo térmico pela manhã insinuou, desde logo, a influência da urbanização (superfícies impermeabilizadas e edificações) no armazenamento da radiação solar, potencializando a temperatura a nível topoclimático.

O mapa da figura 5a revelou significativos contrastes térmicos entre a área urbana e periurbana de Aracaju. As maiores temperaturas encontraram-se

no interior da cidade onde existe alta densidade de edificações, exibindo variações na ordem dos 4°C. Para os bairros que começam a partir de São Conrado, Inácio Barbosa prolongando-se até o Pereira Lobo, Suíça e São José observaram-se valores de 32°C, com ligeiro aumento de temperatura em torno de 33°C quando se aproximou do Centro e bairros circundantes; ao contrário do Capucho que, por ter um padrão baixo de edificação em relação àqueles, registrou temperaturas menores (29°C).

As áreas influenciadas pelos corpos d'água que geralmente são acompanhados de vegetação foram as que acusaram as temperaturas mais baixas, de 24°C e 25°C respectivamente. Tal influência conjugada estendeu-se pelo bairro Jardins, Zona de Expansão, Farolândia, Coroa do Meio, além de Porto Dantas, Japãozinho e Soledade. A maior concentração de vegetação no Parque da cidade, no extremo norte de Aracaju, contribuiu para uma diferença térmica na ordem de 3°C a menos em relação aos bairros circundantes. Esse fato evidencia a relevância do espaço verde na amortização dos contrastes topoclimáticos.

No caso da Zona de Expansão, a ausência de obstáculos naturais (topografia homogênea) e artificiais (pouco ou nenhuma edificação) favoreceu a penetração do ar úmido proveniente do mar, amenizando as temperaturas a um patamar de 28°C. Esse fato não se verificou em outros bairros da cidade que, apesar de estarem na mesma situação topográfica, os obstáculos que se formaram através da construção de edifícios próximos as margens do rio Sergipe podem ter dificultado a penetração livre do ar úmido pelo interior da malha urbana, potencializando assim as temperaturas mais altas.

Desse modo, a maior influência amenizadora dos corpos d'água restringe-se as áreas com contato mais direto do rio Sergipe como, a exemplo, as avenidas Rio Branco e Ivo do Prado, onde facilmente se percebe as sensações de alívio do calor¹.

No que diz respeito ao campo higrométrico, os contrastes continuaram acentuados entre a zona urbana e periurbana de Aracaju. O mapa da figura 5b ilustra um exemplo clássico do fenômeno da ilha de secura no bairro Centro: a intensa urbanização, que impõe certo limite à livre circulação do ar verificada nesta área culminou em baixos índices de umidade relativa (52-55%). Fora dessa área, o índice aumentou para 66-67% nos bairros Cirurgia, Suíça, São José, Treze de Julho e parte norte do Grageru e Jardins, passando para 72-75% nos bairros Porto Dantas, Farolândia, Aeroporto e Zona de Expansão.

Como era de se esperar, os maiores valores de umidade relativa foram observados nas áreas com elevada concentração de vegetação ou próximos a corpos d'água que cortam e permeiam a cidade, neste caso livre de obstáculos artificiais.

¹ Salienta-se que esse aspecto não foi apresentado no mapa devido ao seu nível escalar, notadamente o microclimático, estando sua análise restrita às situações, por exemplo, em que os cidadãos ao caminhar pelas essas áreas sentem e percebem mais facilmente sensações de conforto quando comprado com outras áreas da cidade.

É interessante notar também, o núcleo úmido bem configurado no Parque da Cidade, cujo elevado valor de umidade relativa (79-83%) sobressai entre as áreas circundantes, principalmente quando comprado com a do centro da cidade.

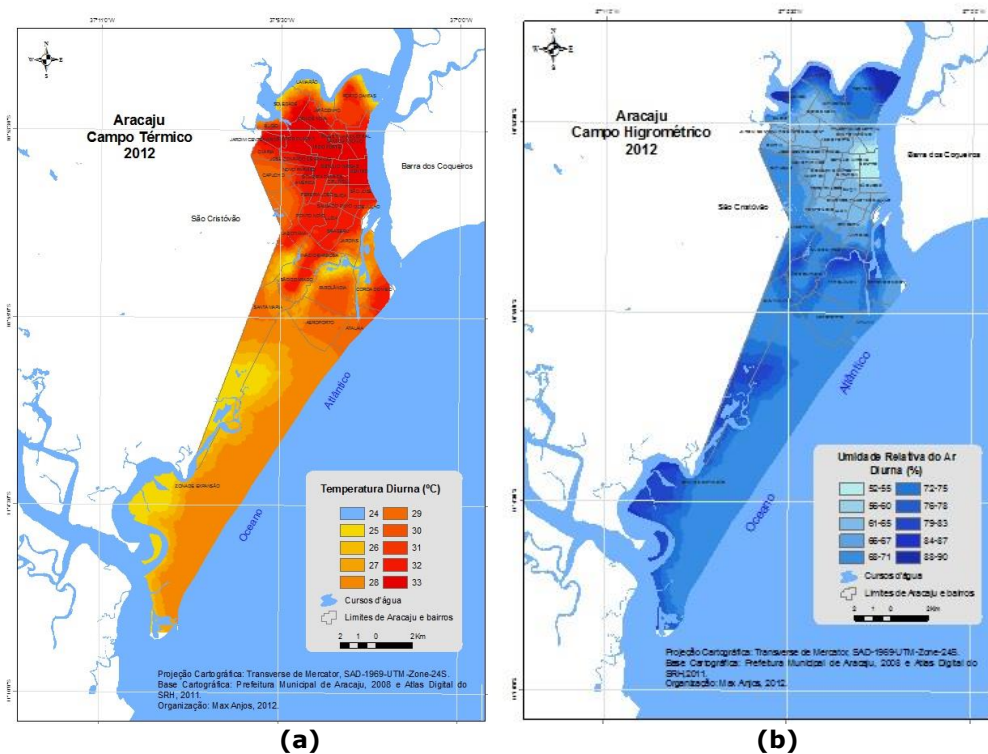


Figura 5: Aracaju - Campo térmico diurno (a) e campo higrométrico diurno (b) no dia 15/01/2012.

3.1.3 Observações Vespertinas

Diferentemente do período anterior, durante o período vespertino não se constatou grandes contrastes térmicos entre a zona urbana e periurbana, uma vez que as temperaturas se mantiveram a patamares similares, a exemplo da Zona de Expansão com 30°C, em relação ao Salgado Filho com 32°C e 18 do Forte com 30°C.

Em compensação, dentro zona mais urbanizada foi possível notar três núcleos de calor, isto é, ilhas de calor espacialmente bem definidas (Figura 6a). O bairro Centro, em função da maior ocupação do solo, superfícies impermeabilizadas, grande fluxo de pessoas e veículos (que é mais intenso nesse período) e pouca vegetação, contribuíram para o rápido armazenamento do calor e, por outro lado, por receber mais diretamente a radiação solar (onda curta) devido aos baixos índices de verticalização, elevando a temperatura para uma intensidade de 33,5°C. As outras ilhas de calor, de mesma intensidade, embora de situação urbana um pouco diferente, encontraram-se nos bairros Farolândia, São Conrado, Inácio Barbosa e Jabotiana.

Além desses núcleos de calor, uma ilha de frescura e de umidade se formou sobre o Parque da Cidade com temperatura de 26°C em meio a malha urbana superaquecida, que quando comparada com a do Centro chegou a diferença de 7,5°C, em uma curta distância. Este fato pode ser explicado durante o percurso quando ocorreu uma ligeira convecção devido ao forte aquecimento mais intenso no interior da cidade que, associada à circulação de brisas marítimas, gerou um acumulado significativo de nuvens cúmulos a ponto de ocasionar algumas pancadas de chuva, o suficiente para elevar a umidade relativa (85%) e diminuir a temperatura (Figura 7).

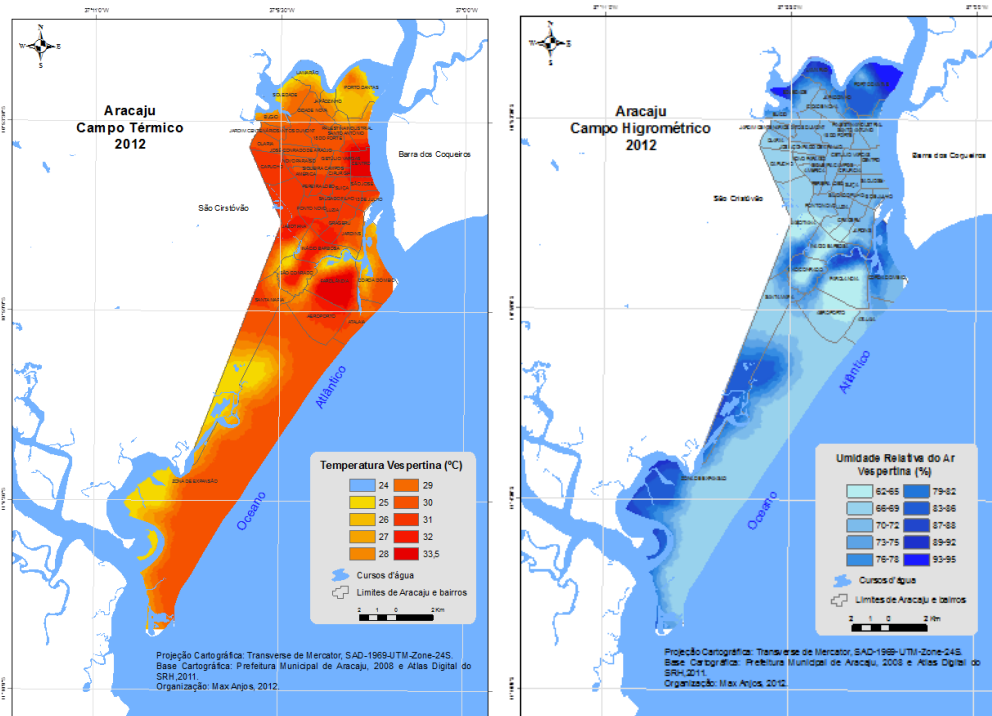


Figura 6: Campo térmico vespertino (a) e campo higrométrico vespertino (b) no dia 15/01/2012.



Figura 7: Condições atmosféricas durante o transecto móvel no dia 15/01/2012 às 16:45 (hora local), onde mostra sobre o Parque da Cidade o acumulado de nuvens tipo cumulos em função da convecção criada.

As outras ilhas de frescura podem ser observadas junto aos corpos d'água ladeados de vegetação na Zona de Expansão, entre os bairros Coroa do Meio, Jardins, Farolândia e Inácio Barbosa e os bairros Soledada, Lamarão, Japãozinho e Porto Dantas no extremo norte da cidade.

No tocante às ilhas de secura evidenciadas pelos contrastes higrométricos, tais se mostraram influenciadas pela dinâmica costeira. Nota-se na figura 7 que a zona norte está totalmente encoberta por nuvens, enquanto a zona sul com céu pouco nublado. Esta instabilidade pode estar atrelada à atuação da brisa marítima, que ao mudar a direção predominante do vento E para o quadrante NNE-N, transferiu, por advecção, o ar úmido do mar para os bairros com maior densidade de ocupação. Por outro lado, o acumulado de nuvens oriundo desta instabilidade impediu que a radiação de onda curta chegasse mais facilmente à superfície, influenciando no comportamento da temperatura a ponto de não sofrer significativas variações.

O limite de tal instabilidade pode ser observado no aparecimento das ilhas de secura que coincidem com núcleos mais quentes, anteriormente descritos, da Farolândia, São Conrado, Inácio Barbosa e Jabotiana, todos com valores de umidade relativa abaixo dos 65% (figura 6b). Já no caso do bairro Centro onde se verificou um núcleo de calor, por conta dessa instabilidade a ilha de secura (subsidiária da ilha de calor) desapareceu, mantendo-se em valores na ordem de 76-78%, os mesmos que para os bairros São José, Treze de Julho e Siqueira Campos.

Em compensação, as ilhas de umidade se sobressaíram, naturalmente entre as áreas onde a influência de corpos d'água e vegetação é maior, nomeadamente o Parque da Cidade, que se destaca novamente no

contexto do campo higrométrico, com valores altíssimos de umidade relativa (89-92%).

3.1.4 Observações Noturnas

O campo térmico neste período não sofreu acentuados contrastes na zona urbana ou periurbana de Aracaju. As temperaturas não ultrapassaram os 28°C e os menores valores ficaram restritos às áreas que são influenciadas pelos corpos d'água e vegetação. Neste caso, destaca-se mais uma vez o Parque da Cidade com temperaturas por volta dos 25°C, uma diferença significativa de 3°C em relação aos bairros circundantes, constituindo assim uma ilha de frescor (Figura 8a).

Diferentemente do campo térmico, o campo higrométrico não se mostrou tão homogêneo. O primeiro contraste evidente ficou entre ilha de secura formada no bairro Centro e a ilha de frescor no Parque da Cidade. Com o gradual desaparecimento da instabilidade criada no período vespertino e também pelas edificações estarem a emitir radiação de onda longa (infravermelho) para a camada de ar suprajacente, a ilha de secura resurge no Centro com valores na ordem dos 70-72% (Figura 8b). Por outro lado, também surgem algumas manchas de secura isoladas sobre a malha urbana: nos bairros Cidade Nova e Capucho, ambos com 75-77% e na Zona de Expansão com os valores semelhantes aos do Centro (70-72%), o que pode ser explicado pela ação da brisa terrestre que carrega a umidade daquela zona periurbana para o mar.

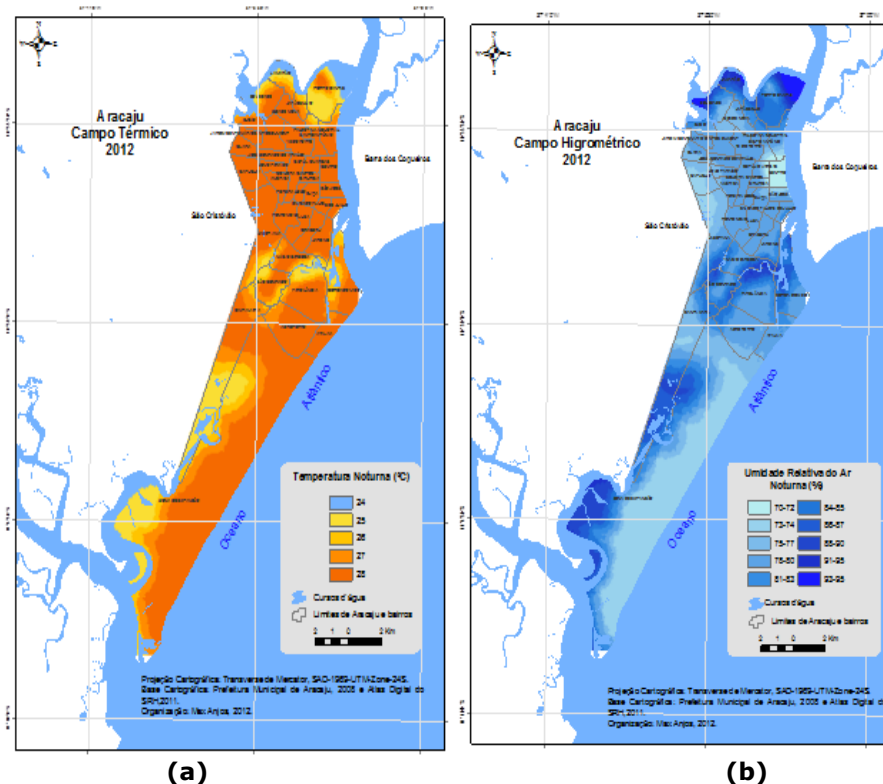


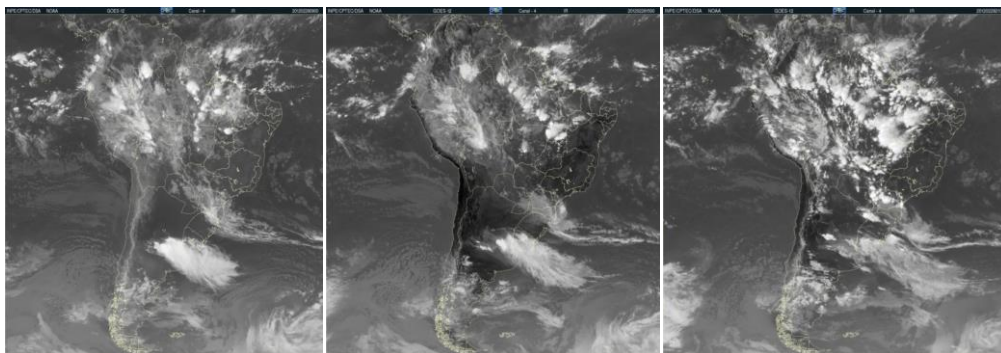
Figura 8: Campo térmico noturno (a) e campo Higrométrico noturno (b) no dia 15/01/2012.

3.2 Campo térmico e higrométrico em 28 de fevereiro de 2012

3.2.1 Condições Sinóticas

A situação sinótica neste dia ficou marcada por condições de tempo de fraca nebulosidade e elevadas temperaturas, geradas pelo influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), criando condições ideais para análise dos contrastes térmico e higrométricos espaciais (Figura 9a,b,c).

Essa estabilidade, que perdurou todo o dia, traduziu-se, segundo dados do INMET, em temperatura no mesmo patamar do experimento anterior, com máxima de 29°C e mínima de 26°C, uma amplitude térmica diária de 3°C, e a umidade relativa entre 70% a 59%. A pressão atmosférica ficou em média 1012 mb e a ausência de chuva completaram a situação sinótica neste dia de experimento.



a) às 09:00

b) às 15:00

c) às 21:00

Figura 9a,b,c: Atuação do ASAS no momento do experimento em 28/02/2012.

Fonte: CPTEC/INPE e Marinha do Brasil.

3.2.2 Observações Diurnas

Nesta manhã, o campo térmico revelou novamente o padrão que vem se configurando: a zona periurbana com temperaturas mais baixas em relação à zona urbana e, neste caso, a diferença chega a 5°C (Figura 10a). Esta diferença coloca em evidência, mais uma vez, a influência da urbanização na estocagem do calor e, conseqüentemente, na produção de um excedente térmico.

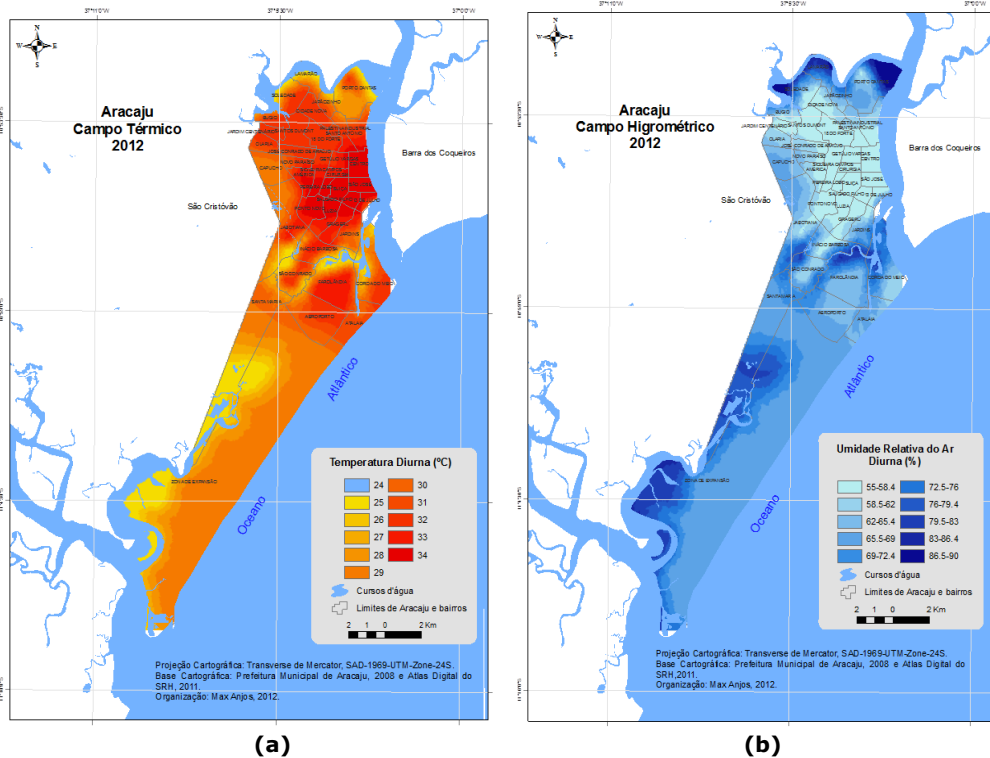


Figura 10: Campo térmico diurno (a) e campo higrométrico diurno (b) no dia 28/02/2012.

Assim, além das áreas com influência de corpos d'água e vegetação, outras apresentaram temperaturas mais baixas, a exemplo da Zona de Expansão que se observou 29°C, um pouco menor do que o Aeroporto e bairros Santa Maria, Atalaia e Coroa do Meio, todos com 30°C. Os contrastes térmicos aumentavam à medida que se chegava aos bairros com maior densidade de ocupação, como o Ponto Novo, Salgado Filho, Pereira Lobo, Suíça, São José e o Centro, os quais acusaram 34°C.

Outro importante padrão que vem a configurar-se foi a persistência da ilha de frescura no Parque da Cidade. A temperatura observada desta vez foi 29°C, 3°C a menos do que os bairros circundantes e 5°C a menos de diferença em relação ao bairro Centro. Esses padrões descritos persistem para o campo higrométrico, contudo mais intensos. É evidente o contraste entre a zona periurbana e os bairros de urbanização mais densa, confirmados pelos valores 55-58% a 72-76% de umidade relativa respectivamente (Figura 10b).

3.2.3 Observações Vespertinas

No período de maior aquecimento ressurgiram as três ilhas de calor que se formaram no experimento anterior em 15 de fevereiro, mas desta vez com mais intensidade: o Centro acusou a maior intensidade de todas as campanhas de observação com 35°C, enquanto os bairros São Conrado, Inácio Barbosa e a Farolândia se destacam com temperatura de 34°C (Figura 11a).

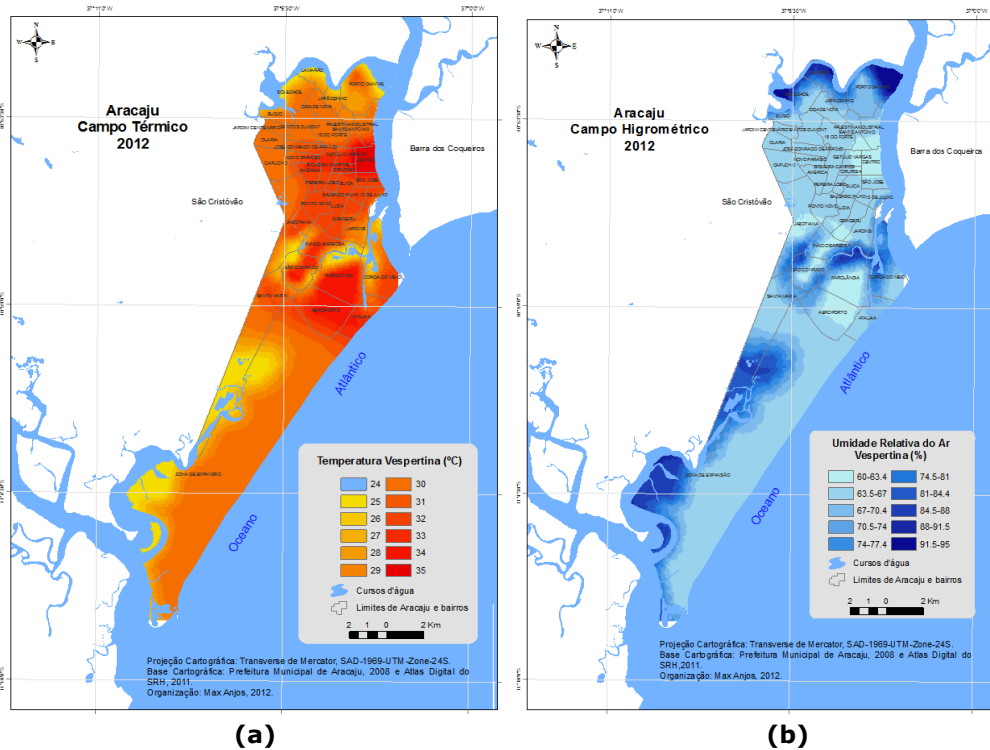


Figura 11: Campo térmico vespertino (a) e campo higrométrico vespertino (b) no dia 28/02/2012.

Constatou-se também uma mancha quente de 32°C sobre nos bairros Suíça, Siqueira Campos, Getúlio Vargas, América e Ponto Novo que entrou em contrastes térmicos com os bairros ao norte, iniciando-se pelo 18 do Forte, Cidade Nova e mais ainda no extremo norte, onde os bairros Soledade, Lamarão e Porto Dantas receberam influência dos corpos d'água e vegetação. Daí a importância do Parque da Cidade em amenizar as altas temperaturas intra-urbanas, ao registrar 28°C que, diga-se de passagem, corresponde 7°C a menos em relação ao Centro. Assim, a Zona de Expansão continuou mais fresca, as temperaturas não conseguiram ultrapassarem os 29°C.

Em termos higrométricos, os contrastes se tornaram mais significativos, as áreas que constituíram os núcleos quentes, naturalmente, acusaram baixa umidade relativa entre 60-63%, constituindo-se em ilhas de secura espacialmente bem definidas. Ademais, os contrastes apareceram na medida em que o tipo de ocupação solo se alterava, vejam-se os elevados valores de umidade relativa nas áreas próximas aos corpos d'água e vegetação (Figura 11b). Tal como o contraste térmico, também o contraste higrométrico entre o Parque da Cidade e o Centro permanece significativo, isto é, acima de 10%.

3.2.4 Observações Noturnas

Ficou demonstrado no campo térmico noturno o desaparecimento das ilhas de calor que se formaram no período da tarde numa ampla mancha quente

entre 29°C e 24°C que se estabeleceu no interior da cidade (Figura 12a). Uma pequena mancha quente de intensidade 29°C surgiu isolada entre os bairros Aeroporto e Atalaia.

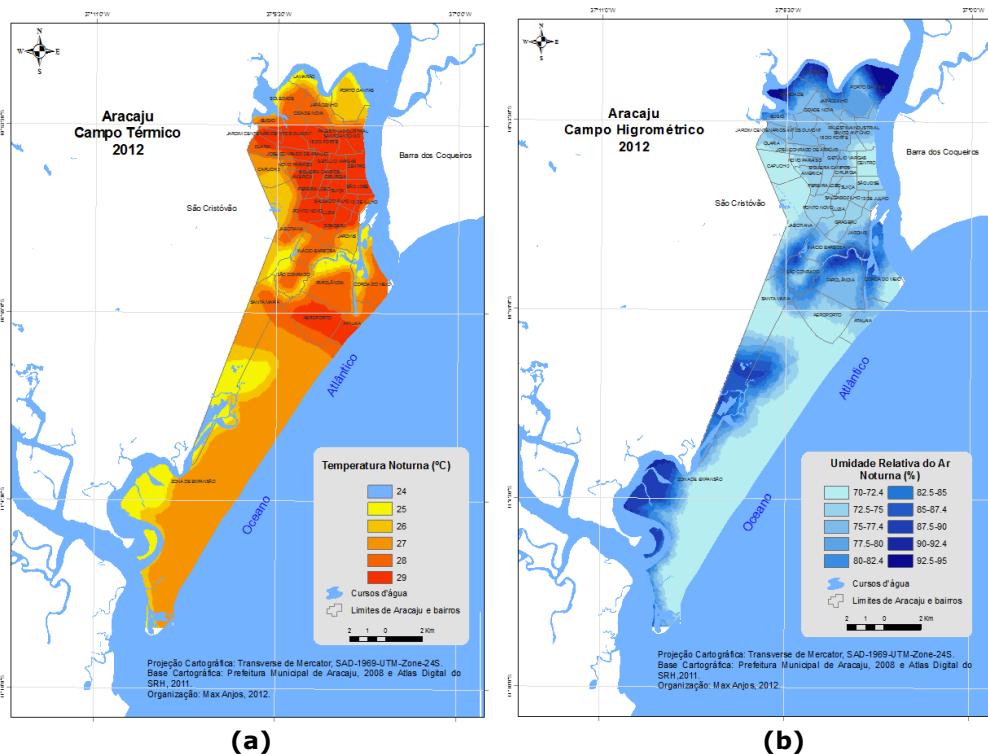


Figura 12: Campo térmico noturno (a) e campo higrométrico noturno (b) no dia 28/02/2012.

O bairro Jardins, caracterizado pelos altos índices de verticalização teria uma tendência de estocar o calor do dia, mas foi fortemente influenciado pela ação dos corpos d’água que diminuíram a temperatura para 26°C, entrando em contrastes em relação com as áreas circundantes.

A Zona de Expansão se apresentou 1°C a 2°C mais fresca que as áreas com maior densidade de ocupação urbana, enquanto que o Parque da Cidade se apresentou até 3°C mais fresco dentro da malha urbana.

No que diz respeito ao campo higrométrico, os papéis se invertem. A Zona de Expansão passa a se comportar com valores mais baixos de umidade relativa, entre 70-72%, a mesma intensidade que a ilha de secura localizada no Centro. Alguns bairros a oeste, noroeste e a norte do Centro, apresentaram umidade superior a 80%, incluindo o Parque da Cidade (Figura 12b). E por fim, as áreas com maior influência dos corpos d’água e vegetação permaneceram dentro do esperado onde os valores ultrapassaram 82%.

4. NOTAS CONCLUSIVAS

Na demonstração espacial e temporal dos contrastes térmicos e higrométricos em dois dias representativos de verão, foi possível perceber diferenças não só entre o espaço urbano e periurbano, mas dentro da própria malha densamente urbanizada de Aracaju.

A relação entre a morfologia urbana e os contrastes topoclimáticos é íntima, como pode se verificar pelos resultados dos dois experimentos analisados. O primeiro experimento ocorreu em 15 de janeiro de 2012 sob atuação do sistema atmosférico Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis. No período diurno começou a detectar a influência da urbanização nos contrastes topoclimáticos, as diferenças térmicas chegaram a 4°C entre o urbano e periurbano e, mais ainda, para as diferenças higrométricas a ponto de formar, nas mediações do centro da cidade, uma ilha de secura espacialmente bem definida. Esta, por sua vez, entrou em contraste significativo de 30% com a ilha de umidade que se formou no Parque da Cidade.

No período vespertino foi possível notar o campo térmico com três ilhas de calor de igual magnitude (33.5°C) nos bairros São Conrado e Inácio Barbosa, na Farolândia e a outra no Centro. Este, novamente, com fortes contrastes com a ilha de frescor no Parque da Cidade (26°C), uma diferença surpreendente de 7.5°C, por ação conjugada da brisa marítima e a chuva de convecção vespertina, que resultou no aumento da umidade relativa e, conseqüentemente, na diminuição da temperatura, revelando a função importante que o Parque da Cidade desempenha nos contrastes topoclimáticos, no sentido de amenizar as altas temperaturas do interior da malha urbana.

Tal fato foi legitimado quando se formou nas medições do Parque da Cidade uma ilha de umidade acima dos 85%, valor esse bem superior aos 75% verificado no Centro, aos 66% na Zona de Expansão e aos 62% nos bairros Farolândia, São Conrado, Inácio Barbosa e Jabotiana, os quais ficaram sob domínio da ilha de secura.

No período noturno, o Centro confinou a única ilha de secura bem definida espacialmente. A intensidade (70%) deste fenômeno não foge da realidade aracajuana, onde os altos índices de umidade relativa persistem durante a noite. Já as temperaturas não sofreram acentuados contrastes entre na zona urbana e periurbana, no entanto, a comparar os bairros de intensa urbanização, por exemplo o Centro, com o Parque da Cidade verificou-se uma diferença de 3°C.

O segundo experimento ocorreu em 28 de fevereiro de 2012 sob ação do sistema atmosférico Alta Subtropical do Atlântico Sul. Logo pela manhã o campo térmico já tornou visível algumas áreas de intensa urbanização 5°C mais quente não só em relação à zona periurbana, mas também no interior do espaço densamente urbanizado. Paralelamente, o comportamento da umidade relativa evidenciava enorme contraste urbano-periurbano, no qual os bairros de intensa urbanização estiveram sobre uma grande mancha

seca de aproximadamente 55%, altura em que a Zona de Expansão e o Parque da Cidade registravam 75%.

O campo térmico vespertino ficou caracterizado pelo ressurgimento de três ilhas de calor com temperaturas que chegaram a 35°C, por exemplo, a do Centro que, quando comparada aps 28°C do Parque da Cidade, resultou numa diferença de 7°C. Na mesma comparação, os contrastes higrométricos chegaram a 10%. No período noturno os contrastes térmicos atenuaram-se, com o desaparecimento das ilhas de calor do período diurno. No entanto, os contrastes higrométricos foram mais expressivos, com a formação de uma ilha de secura sobre o Centro com intensidade semelhante à Zona de Expansão (umidade relativa de 72%).

Os condicionantes geoecológicos refletidos no uso e ocupação solo de Aracaju, além de tornar a cidade atrativa para temática abordada, desempenhou papel relevante nos resultados alcançados. Ao adentrar a cidade, percebeu-se como o pouco acidentado relevo teve uma importância pouco significativa como fator influenciador nos contrastes topoclimáticos, mas ao mesmo tempo constitui um espaço livre à penetração de vários sistemas atmosféricos de circulação regional e local, nomeadamente às brisas, que têm um peso importante no comportamento das variáveis atmosféricas. A posição latitudinal (intertropical) e litorânea é a sustentação inicial para um grande volume de energia no sistema climático urbano de Aracaju e para fortes índices de umidade relativa. A estes fatores, agrega-se a existência de vários cursos de água que cortam a cidade e a vegetação luxuriante, que desempenham papel amortizador dos contrastes térmicos e higrométricos, comprovado, nas áreas por eles ladeadas, por temperaturas menores e valores expressivos de umidade relativa, ao longo de todas as observações através dos transectos móveis.

A temática central do estudo chama a atenção para a necessidade de um conjunto aperfeiçoado de estações meteorológicas sobre e para o clima urbano de Aracaju. O banco de dados da estação padrão do Instituto Nacional de Meteorologia tem sido útil, quer por levar ao cidadão informações sobre o tempo meteorológico, quer como base de diversos estudos climatológicos de cunho regional, entre outros serviços importantes. A estação da INFRAERO restringe-se mais a observação e análise das condições meteorológicas do espaço aéreo e que, no presente estudo, também serviu de apoio pela característica periurbana de que é inerente. Mas o que estas estações meteorológicas têm em comum é a limitação em registrar as variadas condições meteorológicas a nível local e microclimático impostas pela densidade populacional e a crescente urbanização. Isso tem levado a incertezas na área da interpretação mudanças climáticas de escala local, em que os registros padecem de uma estrutura articulada de estações urbanas.

Nesse sentido, a fim de estudar o desenvolvimento do clima urbano de Aracaju, uma nova rede urbana de instrumentos meteorológicos devem ser tomados em consideração, a citar pela notável ausência de qualquer histórico de registros de temperatura e umidade relativa em áreas industriais, no centro da cidade ou em parques verdes. De fato, a maioria

dos registros climáticos urbanos é recolhida a distâncias longínquas da ocorrência de ilha de calor ou ilha de secura urbana. Uma rede articulada de estações meteorológicas urbanas seria uma oportunidade para compreensão de vários fenômenos climáticos e de seus efeitos sobre a população.

Os dados climáticos apresentados aqui, através de vários pontos de medição instalados estrategicamente no espaço urbano, podem apresentar algum viés ao desenvolvimento de futuros trabalhos, nomeadamente sobre poluição atmosférica associada ao tráfego de automóvel, mecanismos de circulação de brisas marítimas e terrestres, influência topoclimática e microclimática dos espaços verdes, o conforto bioclimático, percepção climática dos cidadãos, entre outros. Esses estudos podem compor um conjunto de considerações climáticas, holísticas e estratégicas no processo de planejamento da cidade, culminando com a elaboração de Mapas Climáticos Urbanos, que várias cidades do mundo vêm formulando suas orientações climáticas para o ordenamento urbano, de modo que promova a melhoria da qualidade ambiental da cidade (REN *et. al.*, 2010).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, R. C. F. *Espacialização de variáveis meteorológicas combinando informações de imagens de satélites com técnicas de interpolação para o Estado de Minas Gerais*. 2009. 103 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- ANJOS, M. W. B. *Ambiente Urbano: constrastes térmicos e higrométricos espaciais em Aracaju-Sergipe (Brasil)*. 2012. 135 f. **Dissertação (Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território)**-Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.
- ARNFIELD A. J.. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, v. 23, p, 1-26, 2003.
- CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: Câmara, G. & Medeiros, J.S. eds. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 9 setembro 2012.
- GANHO, N. *O Clima Urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. 1998. 551 f. **Tese (Doutoramento em Geografia Física)**-Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.
- MARCUZZO, F. F. N; ANDRADE, L. R; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*,v. 04, p,793-804, 2011.
- MONTEIRO, C.A F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *Geosul*, Florianópolis, v.5, n.9, p, 61-79, 1990.
- OKE, T.R. (1987) - **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 1987, 435 p.
- REN, C., NG, E., KATZSCHNER, L.. **Urban climatic map studies: a review**. *International Journal of Climatology*. v31,n.15, p, 2213-2233, 2010.