

**URBANIZAÇÃO E CLIMA URBANO: TEORIA E
APLICAÇÃO NO BAIRRO ATALAIA -
ARACAJU/SERGIPE/NORDESTE DO BRASIL**

**URBANIZATION AND URBAN CLIMATE: THEORY
AND APPLICATION IN THE ATALAIA -
ARACAJU/SERGIPE/NORTHEAST OF BRAZIL**

**URBANIZACIÓN Y CLIMA URBANO: TEORIA Y
APLICACIÓN EN EL BARRIO ATALAIA -
ARACAJU/SERGIPE/NORDESTE DE BRASIL**

DOI 10.33360/RGN.2318-2695.2020.i2.p.261-279

Bruna Fortes Santos

Mestre em Geografia - Universidade Federal de Sergipe - UFS
Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial - GEOPLAN - UFS
E-mail de contato: brunafortessantos@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0945-4936>

Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto

Professora do Curso Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS
Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial - GEOPLAN - UFS
E-mail de contato: josefaeliane@ufs.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1072-1974>

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de urbanização do bairro Atalaia e suas implicações no comportamento do clima urbano de Aracaju-SE. Atalaia se configura como um bairro que vem registrando expressivo adensamento urbano, fato que se reflete no aumento do número de construções e redução da vegetação, dando lugar a superfícies de concreto. A escala temporal considerada, corresponde aos anos de 1984-2008-2015. Os procedimentos adotados para o desenvolvimento da investigação foram aerofotografias e imagens satélites fornecidas pelo INPE e USGS/EROS. Pretendeu-se avaliar a expansão da malha urbana da área em estudo, a retração ou expansão da cobertura vegetal e albedo. De acordo com os dados mapeados, verifica-se um aumento da temperatura, associado ao aumento da malha urbana, à diminuição das áreas verdes e ao crescimento de edificações verticais. Na escala temporal, há aparecimentos de ilhas de calor ao lado de ilhas de frescor. Resultados da análise do albedo mostram correlação entre os valores de temperatura e albedo, deixando evidente que em áreas onde houve aumento de temperatura, os valores de albedo foram menores.

Palavras Chaves: Clima Urbano. Conforto Térmico. Cobertura Vegetal. Verticalização.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the urbanization process of the Atalaia neighborhood and its implications for the behavior of the urban climate in Aracaju-SE. Atalaia is configured as a neighborhood that has been registering significant urban density, a fact that is reflected in the increase in the number of buildings and reduction of vegetation, giving way to concrete surfaces. The time scale considered corresponds to the years 1984-2008-2015. The procedures adopted for the development of the investigation were aerial photographs and satellite images provided by INPE and USGS / EROS. It was intended to evaluate the expansion of the urban fabric of the area under study, the retraction or expansion of vegetation and albedo cover. According to the mapped data, there is an increase in temperature, associated with an increase in the urban network, a decrease in green areas and the growth of vertical buildings. On the temporal scale, there are islands of heat alongside islands of freshness. Results of the albedo analysis show a correlation between the temperature and albedo values, making it evident that in areas where there was an increase in temperature, the albedo values were lower.

Keywords: Urban Climate. Thermal Comfort. Vegetal Cover. Verticalization.



RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar el proceso de urbanización del barrio de Atalaia y sus implicaciones para el comportamiento del clima urbano en Aracaju-SE. Atalaia se configura como un barrio que viene registrando una importante densidad urbana, hecho que se refleja en el aumento del número de edificaciones y reducción de la vegetación, dando paso a superficies de hormigón. La escala de tiempo considerada corresponde a los años 1984-2008-2015. Los procedimientos adoptados para el desarrollo de la investigación fueron fotografías aéreas e imágenes satelitales proporcionadas por INPE y USGS / EROS. Se pretendía evaluar la expansión del tejido urbano del área en estudio, la retracción o expansión de vegetación y cobertura de albedo. Según los datos mapeados, existe un aumento de temperatura, asociado a un aumento de la red urbana, una disminución de las áreas verdes y el crecimiento de edificios verticales. En la escala temporal, hay apariciones de islas de calor junto a islas de frescura. Los resultados del análisis de albedo muestran una correlación entre la temperatura y los valores de albedo, evidenciando que en las áreas donde hubo un aumento de temperatura, los valores de albedo fueron menores.

Palabras clave: Clima Urbano. Confort Térmico. La Cubierto Vegetal. Verticalización.

1. INTRODUÇÃO

Acompanhando o processo de urbanização, a expansão vertical foi colocada como um marco revolucionário na paisagem urbana. E a verticalização surge nas cidades como uma nova concepção de morar, onde ter boa localização, infraestrutura e segurança passam a ser sinônimo de *status* para os segmentos nele inseridos. A preocupação com o clima urbano nas cidades de pequeno e médio porte tem gerado estudos com o objetivo de contribuir para o equacionamento da questão ambiental das cidades. Essas questões são provenientes das alterações do clima, modificadas devido à substituição da paisagem natural por um ambiente construído, palco de intensas trocas de energia, provenientes das atividades humanas (MENDONÇA, 2000).

Assunto de investigação de importância crescente, a urbanização responde por um clima urbano, ordenado na proposta de Monteiro (1976, 2003), que engloba o conforto térmico, como bastante significativo, agrupando referenciais e valores geográficos.

O processo de verticalização em Aracaju não foi diferente das demais cidades brasileiras, estimulada pelo Poder Público com o objetivo de alcançar o progresso e a modernidade. Hoje o bairro Atalaia, eminentemente litorâneo, possui uma ocupação considerável, mas ainda apresenta vazios urbanos. Em alguns desses vazios encontram-se em a construção de edificações verticais, que, a princípio, preocupam por adensar concentração de pessoas por metro quadrado que conseqüentemente trará problemas futuros com relação à mobilidade urbana, principalmente ao tráfego de veículos.

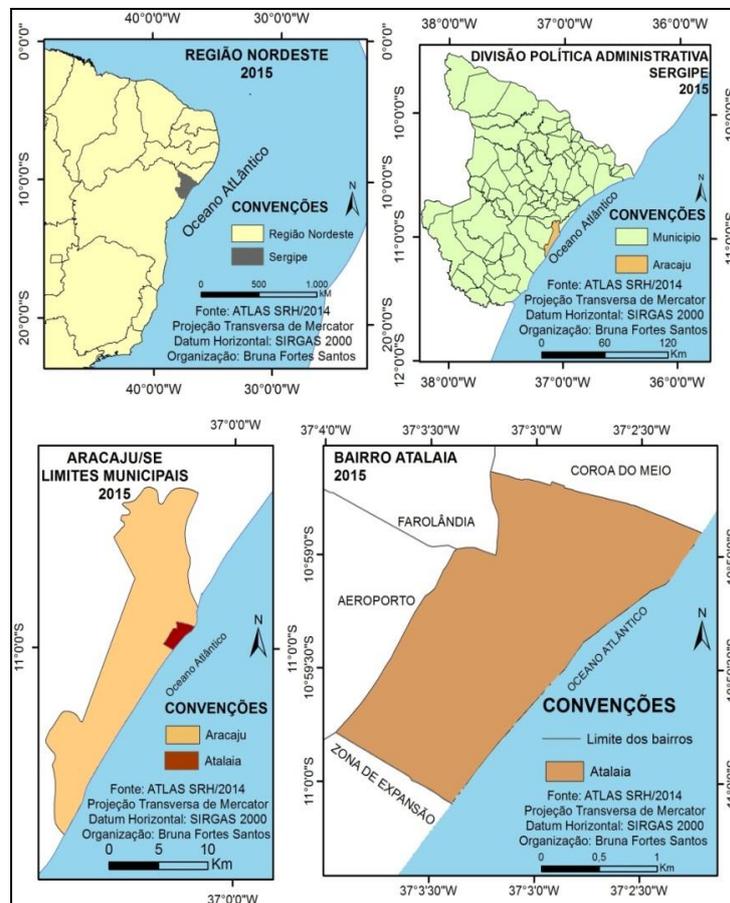
A cidade de Aracaju teve seu Plano Diretor aprovado em 2000, permitindo um aumento no número de pavimentos até o máximo de vinte, o que admitiu a construção de novos prédios nos bairros, como Coroa do Meio, Bairro Jardins, Atalaia e nas proximidades da Avenida Francisco Porto, Hermes Fontes e Beira Mar entre outras novas áreas verticalizadas na cidade.



A escolha da área, bairro Atalaia, na cidade de Aracaju, originou-se pelo processo de verticalização intensificado desde 2007, se tornando um bairro vertical devido à localização de praia, como já ocorrido em outros bairros da referida capital. Foi analisada em uma escala temporal de 1984, 2008 e 2015, verificando a contribuição das alterações na paisagem natural, no conforto térmico.

De acordo com a figura 1, podemos verificar a localização da área estudada. O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de urbanização do bairro Atalaia e suas implicações no comportamento do clima urbano. Para tanto, avaliou-se a expansão da malha urbana da área e analisou-se a retração ou expansão da cobertura vegetal. Considerou-se fundamental uma avaliação da influência do desenho urbano no conforto térmico local.

Figura 1: Localização do bairro Atalaia.



Fonte: Atlas SRH 2014. Organização: Bruna Fortes Santos

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados no desenvolvimento da presente investigação compreendem quatro etapas. A primeira se constituiu no levantamento de dados na forma conceitual-teórica por



meio de pesquisa bibliográfica. Em paralelo foi providenciado o levantamento de acervos aerofotográficos e imagens satélite para a realização do mapeamento de uso do solo da área de estudo, acrescido de download das imagens de satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nos mesmos anos em que se referem os mapas de uso do solo, para a obtenção das imagens termais da área.

Para a obtenção das imagens termais, foi utilizada a banda 06 dos LANDSAT's 5 do INPE. Essa banda apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos dos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. Sua resolução é de 120 m (cada pixel representa 1,4 ha). Para o levantamento dos dados referentes a março e agosto de 2015, foram utilizadas as bandas 10 e 11 do LANDSAT's 8 do USGS/EROS - Serviço Geológico dos EUA/Centro de Observação e Ciência dos Recursos Terrestres do USGS (EROS), com resolução de 100 m.

Nessa etapa, referente ao mês de março e agosto de 2015, foram elaborados mapas termais referentes às duas bandas (10 e 11). Para o LANDSAT 8 do USGS/EROS, o sistema imageador é o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013). As características dos produtos/imagens são consistentes com o padrão de Nível 1 (ortorretificadas) semelhantes aos da série Landsat 1 ao 7. Os dados, disponibilizados de forma gratuita, foram baixados via internet pelo site Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). O arquivo está em formato GeoTIFFs. A resolução radiométrica é de 16 Bits, Datum WGS 1984, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

O tratamento das imagens termais fez uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem para radiância, depois para temperatura Kelvin, fundamentado em duas equações (1 e 2) e nos valores dos quadros 1 e 2, disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano (USGS), e inseridas na calculadora raster do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esse tratamento foi aplicado para as bandas 10 e 11.

$$\text{Equação 1: } L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Quadro 1: Fórmula de Conversão para Radiância para as bandas 10 e 11.

$L\lambda$	Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts/(m ² sr μm)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 e 11 = 3.3420E-04
Q_{cal}	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = banda 10
AL	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000

Organização: Bruna Fortes Santos.



$$\text{Equação 2: } T = \frac{K2}{\ln(K1 + 1) \cdot L\lambda}$$

Quadro 2: Constante de Calibração da imagem Landsat-8.

<i>T</i>	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
<i>K2</i>	Constante de calibração 2 banda 10 = 1321.08 (K) e banda 11 = 1201.14 (K)
<i>K1</i>	Constante de calibração 1 banda 10 = 774.89 (K) e banda 11 = 480.89 (K)
<i>Lλ</i>	Radiância espectral em Watts/(m ² sr μm)

Organização: Bruna Fortes Santos.

Após tal procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto, 273,16, gerando imagens de temperatura da superfície em graus Celsius (°C), e em seguida foi realizada a junção desses resultados das bandas 10 e 11, com o intuito de diminuir a margem de erro. Com a junção, foi gerado um único mapa referente à média termal das duas bandas termiais.

O critério de escolha para as LANDSAT's do INPE e USGS/EROS foi a porcentagem de nuvens. A princípio foram escolhidas imagens com até 40% de nuvens, porém esse critério reduziu muito a oferta das imagens, não coincidindo os anos para a confecção dos mapas termiais com os de uso do solo. Foi pensada então outra maneira de escolha, em que o local do bairro em estudo possuía pouca ou nenhuma nuvem. Portanto, imagens com 90% de nuvens no quadrante em que se localiza o bairro Atalaia não significa dizer que a área do bairro esteja com 90%. Diante do segundo critério de escolha das imagens termiais, as opções de datas ficaram menos limitadas, sendo confeccionados mapas termiais para os anos de 1984, 2008 e 2015 que coincide com as imagens para a realização dos mapas de uso do solo.

Para a escolha dos meses que representasse o período mais quente ou frio dos anos da pesquisa, pretendeu-se trabalhar com os meses mais quentes do ano, tais como: janeiro; fevereiro ou março e os meses mais frios, julho ou agosto, visando analisar os prováveis contrastes térmicos no bairro Atalaia. No entanto, para o ano de 1984, foi utilizado imagens do mês de dezembro para representar o mês mais quente do ano, devido ao INPE não ter confeccionado imagens que representassem o período quente.

A segunda etapa do trabalho constituiu-se no georreferenciamento das aerofotografias, das imagens satélites e das LANDSAT's, através do software Global Mapper 13, Spring 5.2.6., na Projeção Transversa de Mercator, Datum Horizontal: SIRGAS 2000. Em seguida, as LANDSAT's



foram inseridas no programa IDRISE Selva para transformar cada nível de cinza gerado pelo software em temperatura. Esses níveis foram agrupados em classes, para não gerar uma imagem bruta, e em seguida transformados em imagem termal.

Após a transformação, foi realizada a análise da imagem no ARCMAP versão 10. Como a mesma vem do programa IDRISE com temperaturas que variam de -68° a 68° devido ao background da figura, no ARCMAP aumentou-se o número de classe para que pudesse excluir os dados corrompidos pelo plano de fundo da imagem. Em seguida, o shp do bairro Atalaia foi inserido na imagem.

Ainda no mesmo software foram marcados pontos que representam as supostas estações meteorológicas. Todas as imagens têm os mesmos pontos nos mesmos lugares. Esses pontos representam as médias termais da área e em seguida as imagens sofreram interpolação dos dados. Para melhorar a qualidade visual das imagens termais, foi utilizado o método de interpolação Krigagem presente no módulo Spatial Analyst do ArcGis. É um dos mais seguros interpoladores. Após a interpolação, as classes termais das imagens foram reduzidas para seis e aumentado os tons das cores para melhor visualização das imagens. As imagens de satélites e fotografias aéreas dos mapas de uso do solo, após o georreferenciamento, foram marcadas as áreas de crescimento urbano (área impermeabilizada), área permeabilizada, porém sem vegetação, e cobertura vegetal de todos os anos a que a pesquisa se refere.

Na terceira etapa, foi feita a análise de campo para a confecção do mapa de uso do solo referente ao ano de 2015 e registro de fotos. A imagem satélite do ano de 2013, fornecida pela Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLOG), serviu como base para o mapa de uso do solo do ano de 2015.

A quarta etapa compreendeu a finalização dos mapas termais e de uso do solo e a elaboração dos mapas de albedo. Para o albedo foram escolhidos intervalos temporais de 1984 e 2015, sendo que a rotina para a confecção das cartas foi diferente devido ao satélite. Para o ano de 1984, o satélite foi o landsat 5 e o sensor TM (Thematic Mapper), e para o ano de 2015, o satélite foi o landsat 8 e o sensor OLI (Operational Land Imagenr).

No landsat 5, os Sistemas de Informações Geográficas utilizados para o tratamento/correções radiométricas e confecção da base de dados e mapas temáticos foram: TerraView, 4.2.2; SPRING, v. 5.2.7; ArcGIS, v. 10.2. No TerraView, foram realizados os procedimentos de confecção de banco de dados geográficos (Arquivo/Banco de Dados/Criar), importação dos rasters (Arquivo/Importação Simples do Raster), correção das interferências atmosféricas (Plugins/Processamento de Imagem/Funções/Restauração). Essa etapa corresponde ao processo de calibração radiométrica, no qual o Número Digital (ND) de cada pixel da imagem



original é convertido em radiância espectral monocromática ($L_{\lambda,i}$ - $W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), a partir da equação 3 proposta por Markham e Baker (1987):

$$\text{Equação 3: } L_{\lambda,i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \cdot ND$$

onde: a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima, respectivamente ($W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255); e T corresponde às bandas (1, 2, 3, 4, 5 e 7) do TM –Landsat 5.

Os coeficientes de calibração utilizados são os propostos por Chander et al. (2007) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros para correção radiométrica de imagens Landsat 5.

Bandas	Faixa espectral (μm)	Coeficientes de Calibração ($W \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)							
		01/03/1984 a 04/05/2003		05/05/2003 a 01/04/2007		Posterior a 01/04/2007		ESUN _{λ} máximas ($w \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)	$W_{\lambda i}$
-	-	a	B	A	b	a	B		
1	0,45/0,52	-1,52	152,10	-1,52	193	-	169	1957	0,293
2	0,52/0,60	-2,84	296,81	-2,84	365	-	333	1826	0,274
3	0,63/0,69	-1,17	204,30	-1,17	264	-	264	1554	0,233
4	0,76/0,90	-1,51	206,20	-1,51	221	-	221	1036	0,155
5	1,55/1,75	-0,37	27,19	-0,37	30,20	-	30,2	215	0,032
7	2,08/2,35	-0,15	14,38	-0,15	16,50	-	16,50	80,67	0,012

Fonte: Chander et al. (2007). Adaptação: Bruna Fortes Santos.

O próximo passo foi a correção do Datum. As matrizes oriundas do INPE, por padrão, apresentam-se com o datum WGS84, mas as normas brasileiras em vigor exigem que as informações geográficas usem o datum SIRGAS 2000. Para tanto, realizou-se as seguintes operações no referido SIG: importação das imagens (File/Open Datta File(s)), troca de datum (Tools/Configure/Projection) e exportação no formato Geotiff (File/Export/Export Raster - Image Format).

Em seguida, foi feita a retificação do georeferenciamento no SPRING e a correção do albedo no ARCGIS. Essa correção ocorre porque o albedo planetário corresponde ao albedo no topo da atmosfera (α_{toa}), portanto, sem qualquer ajuste a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das refletâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat 5. Essa correção foi feita através da Equação 4 (Allen et al. 2002; Trezza, 2002).

$$\text{Equação 4: } \alpha_{toa} = W_{\lambda 1} * \rho_{\lambda 1} + W_{\lambda 2} * \rho_{\lambda 2} + W_{\lambda 3} * \rho_{\lambda 3} + W_{\lambda 4} * \rho_{\lambda 4} + W_{\lambda 5} * \rho_{\lambda 5} + W_{\lambda 7} * \rho_{\lambda 7}$$



onde: $P_{\lambda l}$ representa a reflectância planetária de cada banda; $W_{\lambda l}$ são os pesos de cada banda na composição do albedo planetário, sendo igual a razão entre o $ESUN_{\lambda}$ e o somatório de todos os $ESUN_{\lambda}$ (Tabela 3).

Por fim, obtém-se o albedo da superfície corrigido dos efeitos atmosféricos, através da equação 5:

$$\text{Equação 5: } \alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{T_{sw}^2}$$

Onde: α_{toa} é o albedo planetário; α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e recomendado o uso do valor de 0,03; T_{sw}^2 é a transmissividade atmosférica que passa as condições de céu claro (Equação 6).

$$\text{Equação 6: } T_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} * Z$$

onde Z é representado pela média da altitude da cidade de Aracaju, já que é pouco variável. Foi utilizada a média de 11,2 metros de altitude, disponível em <https://altitude.cidademapa.com.br/altitude-de-Aracaju/1732/>. Acesso em 30/09/2015 as 16:10 horas.

Na análise do albedo do ano de 2015, o Sistema de Informação Geográfica utilizado para o tratamento/correções radiométricas e confecção da base de dados e mapas temáticos foi o ENVI 5.0, onde foram feitas as correções RGB da imagem. Já no Arcmap 10.2.1 foram adicionados os sph's do bairro e dos pontos que representam as supostas estações meteorológicas para captar dados e, por fim, fazer a interpolação.

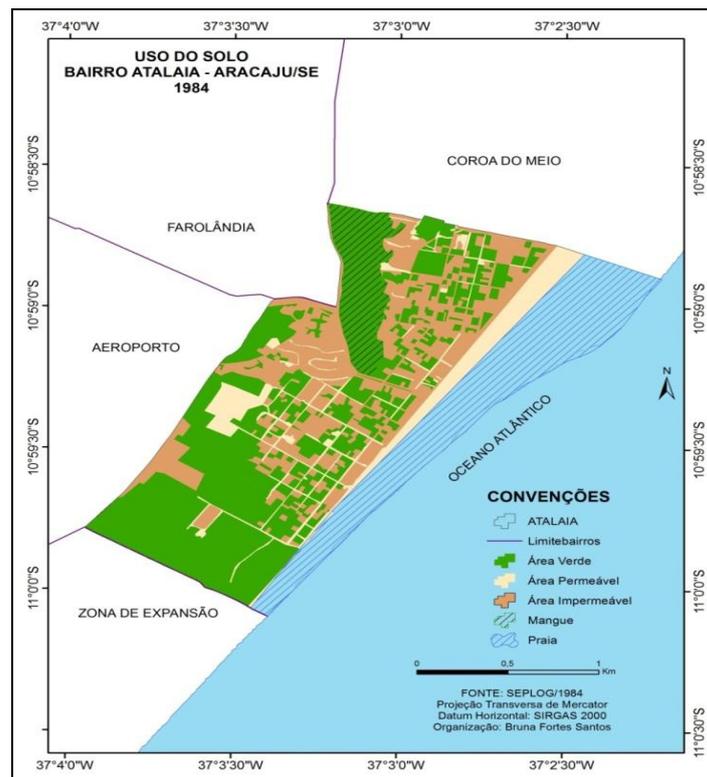
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CAMPO TÉRMICO E ALBEDO NO ANO DE 1984

No mapa de uso do solo referente ao ano de 1984 (Figura 2), percebe-se que a área de praia está dentro do limite do bairro. A linha de costa, segundo Santos (2012), nesse período estava sofrendo um recuo devido ao deslocamento do fluxo vazante do rio Poxim. Mesmo assim, a área de areia da praia, considerada permeável no estudo, é pequena em relação aos anos seguintes estudados.



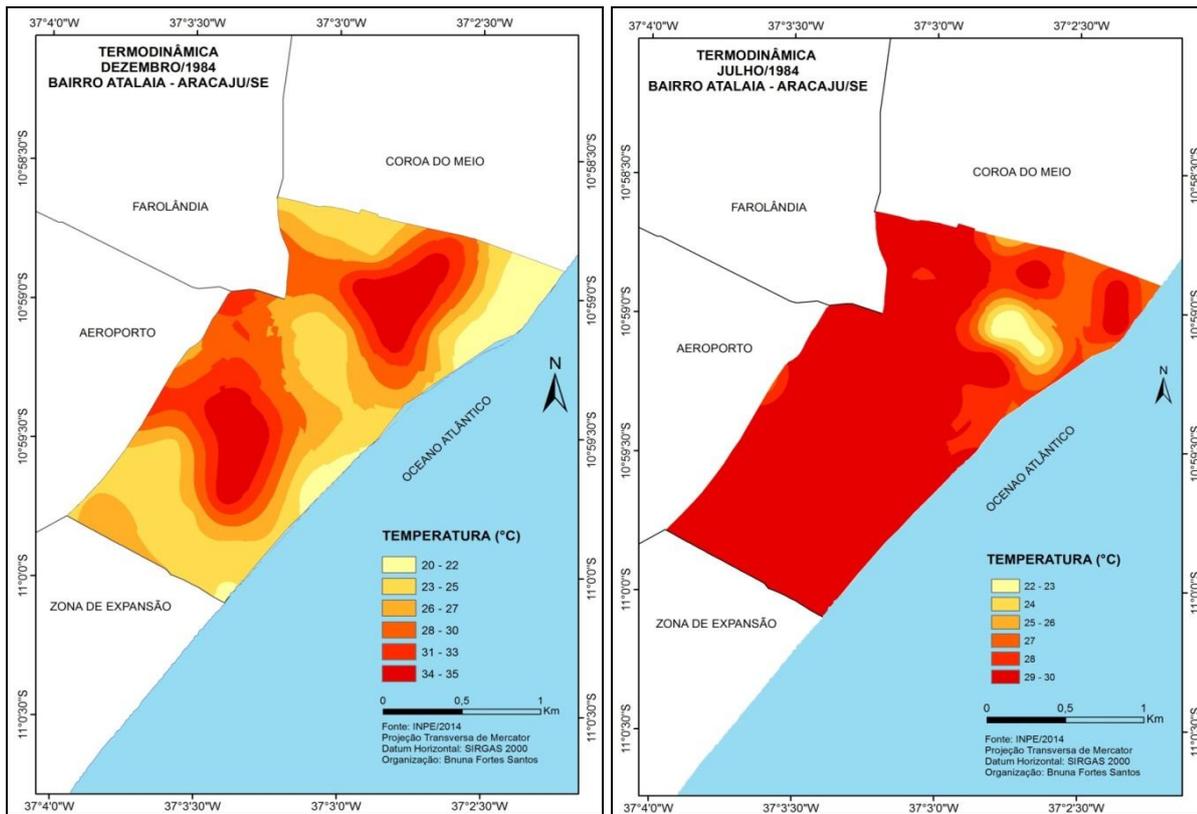
Figura 2: Uso do Solo - Bairro Atalaia – Aracaju/SE - 1984.



Fonte: SEPLOG/1984. Organização: Bruna Fortes Santos.

Segundo a REDMET, a média da temperatura do ar em Aracaju referente ao mês de dezembro no ano de 1984 era de $27,52^{\circ}$ e a umidade relativa do ar neste mês era de 67,4%. Se relacionar essa temperatura com a da imagem termal de 1984 do mesmo mês, nota-se um aumento na temperatura de até 8°C , no bairro Atalaia.

De acordo com as informações obtidas no mapa termodinâmico referente a dezembro de 1984 (Figura 3), há registro de ilhas de calor no bairro, com médias termais de 34 a 35°C , nas áreas impermeáveis, sendo essa temperatura diminuída gradativamente em direção as áreas com vegetação ou água (mar). Segundo Lombardo (1985), a configuração espacial da ilha de calor está associada ao uso do solo e às variáveis meteorológicas, principalmente a direção do vento. Isso se afirma no mapa termodinâmico de dezembro de 1984, pois percebe-se o percurso que o vento faz ao entrar pelo mar. As duas ilhas de calor geradas nesse período são envolvidas pela temperatura de 23 a 24°C , que ao encontrar com as áreas edificadas, aumentam a temperatura, gerando ilhas de calor de até 35°C . A área que possui menor temperatura é a próxima do mar, obtendo uma média termal entre 20 a 22°C . O contraste térmico nesse período é de 15°C .

Figura 3: Mapa Termodinâmico Dezembro/1984. **Figura 4:** Mapa Termodinâmico Julho/1984.

Fonte: INPE 2014. Organização: Bruna Fortes Santos.

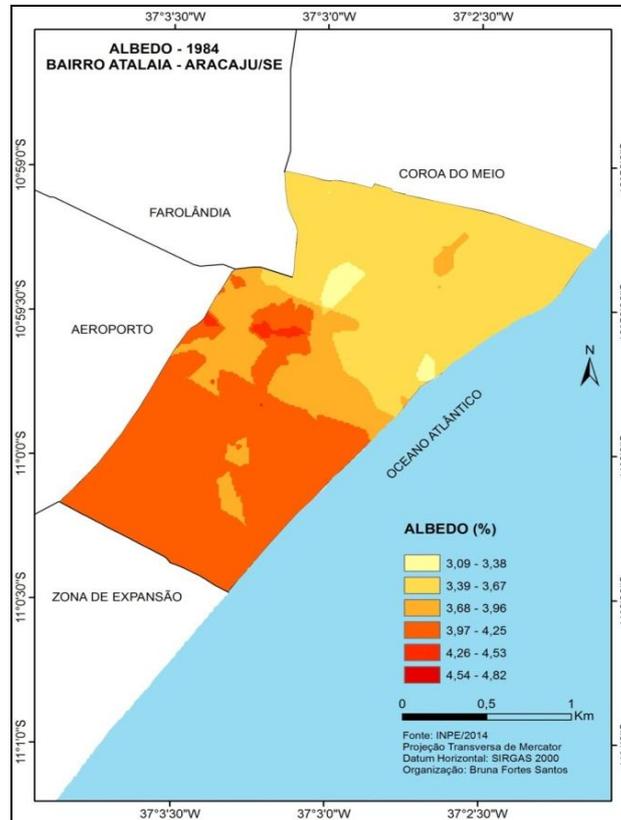
No período correspondente a julho 1984, a temperatura média no município de Aracaju correspondia a $27,26^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar, $56,6\%$. Constatou-se na análise do mapa termal (Figura 4), que se formou uma ilha de frescor na parte nordeste do bairro Atalaia, provavelmente devido à faixa de areia (área permeabilizada) e a água do mar, que nesse período, devido ao recuo da linha de costa, localiza-se dentro do limite do bairro. Essa ilha de frescor gerou temperatura média de 23°C , sendo a temperatura aumentada gradativamente, para até 30°C nas áreas urbanizadas. Porém na parte oeste do bairro, próximo à Zona de Expansão, com mais área verde, como confirma o mapa de uso do solo do referido ano, a temperatura continuou com 30°C . Esse fato ocorreu provavelmente devido à ocorrência de ventos fracos. Segundo o banco de dados climatológicos da REDMET, no mês de julho de 1984, o vento foi considerado calmo, em torno de $2,5\text{ m/s}$. Configura-se, portanto, a ação do vento no bairro Atalaia, como amenizador das temperaturas, especialmente na função de brisas marítimas.

No que concerne ao albedo da figura 5, o menor índice foi de $3,09\%$ e o máximo de $4,82\%$, não configurando uma disparidade na refletância. Dentro da área onde está presente a concentração urbana, a refletância variou entre $3,09\%$ a $4,25\%$, sendo sua absorção em torno de 96% , geralmente



ocorrida por conter influência dos materiais da construção civil instalados nas fachadas das casas. Na parte norte do bairro, onde o albedo registrou 3,09% a 4,25% e gerou ilha de calor de 34°C, conforme mapa termodinâmico é onde está localizada a malha urbana. Os valores estão dentro da normalidade, apesar da presença de manguezal e terrenos vazios, com vegetação.

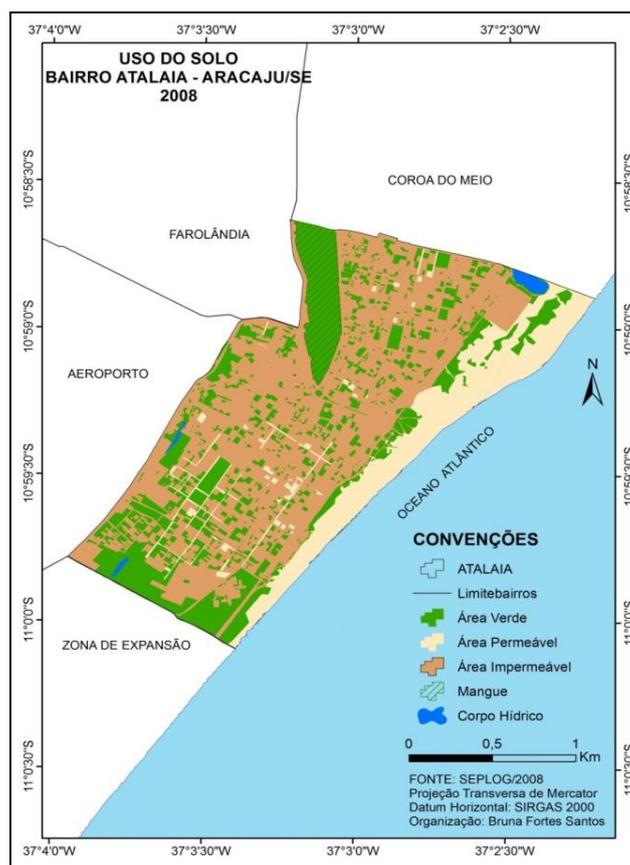
Figura 5: Albedo da Superfície – 1984. Bairro Atalaia – Aracaju/SE.



Fonte: INPE 2014. Organização: Bruna Fortes Santos.

3.2 USO DO SOLO E TERMODINÂMICA NO ANO DE 2008

Ao observar o mapa de uso do solo em 2008 (Figura 6), a área impermeável corresponde a um pouco mais da metade da área do bairro, tendo o restante, 45%, área verde e corpos d'água, solo propício para o controle da temperatura e área permeável, também propício para o controle da umidade.

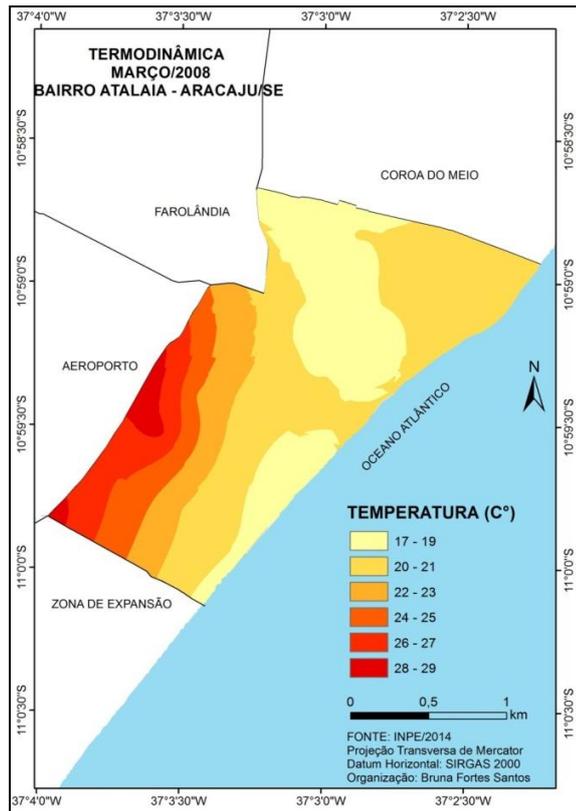
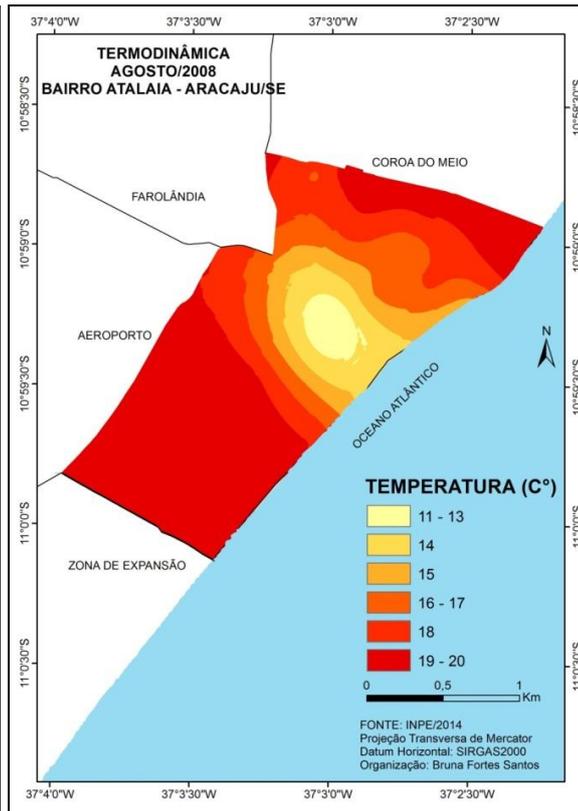
Figura 6: Uso do Solo - Bairro Atalaia - Aracaju/SE - 2008.

Fonte: INPE 2014. Organização: Bruna Fortes Santos.

De acordo com informações termais obtidas pelo mapa termodinâmico do bairro Atalaia em março de 2008 (Figura 7), detectou-se temperaturas médias que variam de 17 a 29°C. Percebe-se a diferença de 2°C em relação à temperatura da capital sergipana. Verificando o mapa de uso do solo, nota-se que a maior concentração das áreas verdes se encontra em pontos específicos do bairro, como na parte da área de manguezal e próximo à Zona de Expansão.

Continuando a análise do mapa termodinâmico, percebe-se que a temperatura da superfície está mais amena próximo a essas áreas, gerando ilhas de frescor de 17°C. Isso ocorre não só pela presença de vegetação, como também de corpos d'água. Na parte mais central do bairro, onde a área impermeável é maior e a existência de barreiras arquitetônicas verticais mudam ou dificultam a passagem do vento, a temperatura é mais alta, variando de 24 a 29°C em distâncias curtas.

Ocorre uma variação de temperatura de 6°C em localidades próximas, provavelmente, porque a vegetação dessas áreas não esteja suprindo a demanda de emissão de calor produzido pelos materiais das edificações, pelo grande número de veículos nos horários de pico, ou ainda pelas barreiras arquitetônicas que impedem a entrada do vento para outros pontos do bairro. O contraste térmico no período de 2008 é de 12°C.

**Figura 7:** Mapa Termodinâmico Março/2008.**Figura 8:** Mapa Termodinâmico Agosto/2008.

Fonte: INPE 2014. Organização: Bruna Fortes Santos.

No mês de agosto do ano em análise, a REDMET captou média termal para o município de 24,52°C e umidade relativa do ar de 78,2%. A maior temperatura média do bairro nesse mesmo período foi de 20°C, verificando uma diferença de 4°C em relação à média da capital.

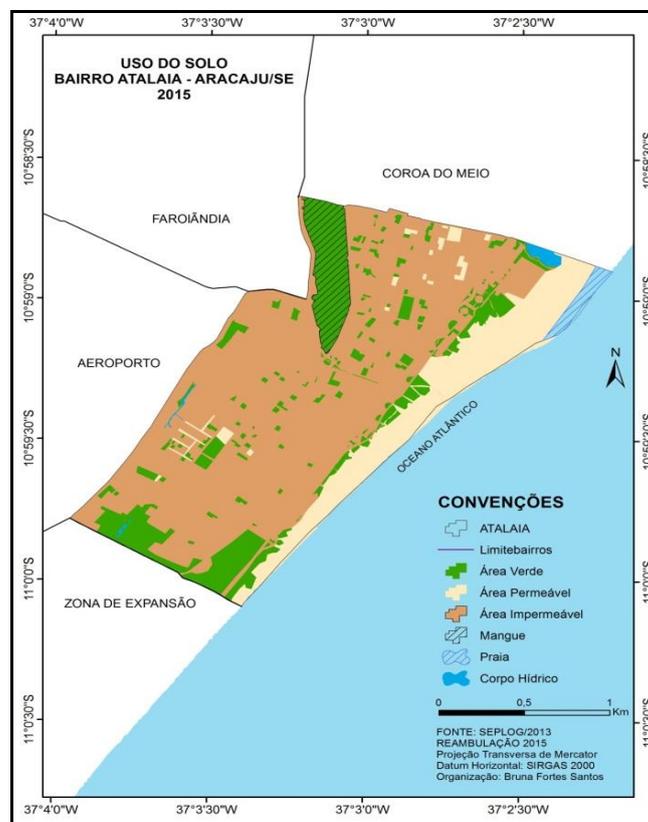
O mapa termal do bairro para agosto de 2008 (Figura 8) demonstra uma ilha de frescor em uma localidade com pouca cobertura vegetal, e muita área impermeável. Tal fato pode ocorrer devido à canalização dos ventos que amenizam a temperatura emitida pelos materiais da construção dos edifícios e o asfalto das ruas, pois o mês de agosto é caracterizado por ser um período ventoso. Na localidade do manguezal a temperatura continua amena, porém 5° C a mais da ilha de frescor. As demais áreas do bairro permanecem na mesma temperatura de 20°C. O contraste térmico nesse período é de 9°C.

3.3 ILHAS DE CALOR NO ANO DE 2015

De acordo com o mapa de uso do solo do bairro para 2015 (Figura 9), a área impermeável corresponde a quase 65%, sendo o restante, um pouco menos que 35%, correspondentes às área

verde e corpos d'água, ambientes propícios para o controle da temperatura, e às áreas permeáveis, propícias para controle da umidade.

Figura 9: Uso do solo - Bairro Atalaia - Aracaju/SE - 2015.

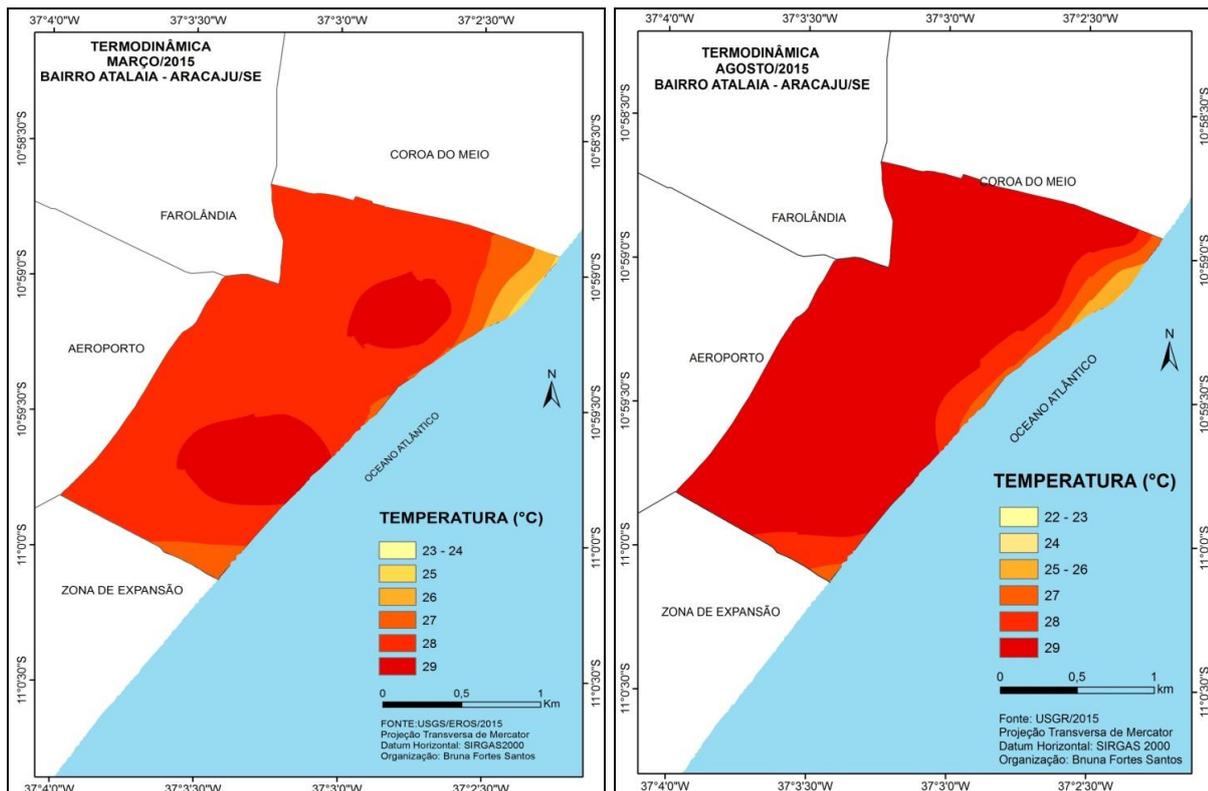


Fonte: SEPLOG 2013 (reambulação 2015). Organização: Bruna Fortes Santos.

No ano de 2015 a linha de costa progrediu, porém uma parte do mar está dentro do limite do terreno, contribuindo com 1,04% de área destinada à corpos hídricos, localizados na parte leste do mapa de uso do solo. Os outros 0,6%, são as lagoas de drenagens localizadas ao sul do bairro e parte de um dos lagos da Orla de Atalaia. A média da temperatura foi de 30,5°C e a de umidade relativa do ar de 62%. Analisando o mapa termodinâmico no mês de março (Figura 10), nota-se que a maior temperatura média foi de 29°C, temperaturas geradas por duas ilhas de calor. A maior mancha gerada pela ilha de calor está localizada justamente em uma área do bairro em que a verticalização está crescendo, e a outra mancha está situada em uma área em que o nível é mais baixo do que o nível da Orla Marítima. Para Lombardo (1985), a própria conformação do relevo acentua o fenômeno ilha de calor. A mesma está associada à urbanização e aos seus efeitos, decorrentes do balanço de energia gerado pela dinâmica da cidade.



Figura 10: Mapa Termodinâmico março de 2015. **Figura 11:** Mapa Termodinâmico agosto 2015.



Fonte: USGS/EROS/2015. Organização: Bruna Fortes Santos.

A temperatura começa a ficar mais amena na parte leste do bairro, com média de 25°C, devido à presença de corpo hídrico, nesse caso o mar, que está dentro do limite geográfico do bairro. Em outros locais que possui áreas impermeabilizadas, a temperatura média gerada pela imagem termal foi de 28°C para o mês de março. Percebem-se áreas verdes identificadas no mapa de uso do solo do referido ano, que não suprem a alta densidade de construções e impermeabilização do solo, gerada pela urbanização.

Dessa maneira, os dados encontrados comprovaram a existência de uma alta correlação entre os tipos de uso do solo e a variação da temperatura do ar. Assim, as altas temperaturas foram verificadas em áreas de crescimento vertical intenso e com pouca quantidade de áreas verdes, confirmando as teorias do clima urbano.

No mês de agosto do referido ano, no município de Aracaju, a média termal era de 28,25°C. A média da umidade relativa do ar para esse mês foi de 78%, fornecida pelo INPE. Verificando o mapa termodinâmico para o mês de agosto (Figura 11), a maior temperatura, que é de 29°C, permanece constante em quase todo o bairro devido à grande concentração de área impermeável. As áreas verdes estão sendo substituídas pelas áreas de concreto e asfalto, sendo a vegetação insuficiente para compensar o crescimento da malha urbana do bairro. As temperaturas do mapa



foram diminuindo em direção ao mar, registrando 23°C como a menor, porém não aparece no mapa devido ao limite do bairro. A menor temperatura registrada no mapa é de 25°C, localizada na parte norte, onde a linha de costa recuou nos últimos anos.

Analisando o mapa termal de leste a oeste, percebe-se um aumento gradativo da temperatura. Onde ocorre a existência de corpo-hídrico (mar e lagoas), áreas verdes (orla marítima) e a presença do vento direto, a temperatura é mais amena. Conforme se adentra no bairro em direção oeste, a temperatura vai aumentando porque não há presença de corpo-hídrico e a vegetação é rarefeita, o percentual de área urbanizada é muito grande e as edificações verticais limitam a entrada do vento para as outras áreas do bairro.

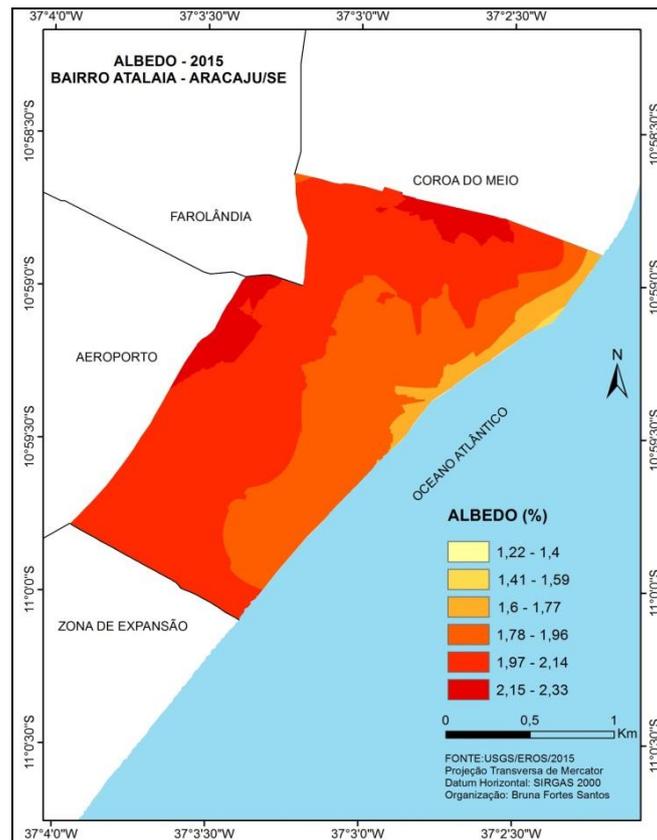
Analisando o mapa de albedo da superfície para o ano de 2015 (Figura 12), os mapas termais e os de uso do solo, nota-se que a parte leste do bairro, onde está localizada a área de praia, registra menor temperatura, entre 23 e 25°C, e albedo entre 1,41 a 1,77%. Essa baixa refletância ocorre por ser um espaço onde a vegetação é densa e escura. Saindo da parte leste do bairro e indo na direção oeste, nota-se que os valores de albedo vão aumentando, entre 1,78 a 2,33%, e no mapa termal de março há ocorrência de duas ilhas de calor, com temperatura de 29°C. No mês de agosto, toda a área registrou também 29°C. Isso se deve à concentração da malha urbana, presença de edificações verticais e à diversidade de materiais construtivos, com suas cores e espessuras. O valor da refletância nessa área corresponde à cor dos materiais da fachada das edificações, que *in loco*, constatou-se aspecto claro onde a refletância é maior. No entanto, a emissividade de um material depende da temperatura, da natureza e do grau de condutibilidade do corpo.

Os índices de albedo registrados pela imagem de satélite foram menores que os da literatura analisada, quando para áreas urbanas 0,10-0,27 e áreas verdes 0,16-0,26. Segundo Moreno (1993) apud Romero (2001), a reflexão de um volume edificado, uma porção de solo e o ar existente entre os edifícios dependem basicamente do albedo das superfícies individuais e da sua proporção geométrica. Os albedos dos materiais típicos das construções urbanas costumam ser menores que o das construções rurais, mesmo sendo igual o efeito geometria urbana (blocos separados por ruas), que faz com que o albedo decresça em comparação às superfícies horizontais, pois a radiação fica limitada.

Por fim, vale lembrar que a elevação do albedo se relaciona com a cor da superfície e a umidade do solo interfere na radiação recebida, conseqüentemente na temperatura. Albedo é definido como a razão entre o total de energia luminosa incidente e refletida por ondas curtas. “Essa energia refletida não é absorvida e, portanto, não se transforma em calor. É tanto menor quanto mais escura for a cor da superfície.” (PINTO E AGUIAR NETTO, 2008, p. 52). E as superfícies secas refletem mais radiação do que as superfícies úmidas.



Figura 12: Albedo de superfície - Bairro Atalaia - Aracaju/SE - 2015.



Fonte: USGS/EROS/2015.

Organização: Bruna Fortes Santos.

4. CONCLUSÃO

As médias termais e dados de umidade relativa do ar do município de Aracaju analisados no ano de 1984, indicam não haver alteração significativa. Porém, na análise dos dados resultados das imagens de satélites referente ao bairro Atalaia, percebeu-se a ocorrência de ilha de calor em dezembro/1984, e ilhas de frescor em julho/1984. Lembrando que ilhas de frescor é um efeito que ocorre em determinadas áreas, em que a temperatura se encontra abaixo da média, sendo assim mais fresca.

No ano de 2008, tanto no mês de março como agosto, identificou-se a ocorrência de ilhas de frescor. O contraste térmico entre os meses foi de 9°C. Analisando os dados termais independentes, não ocorre desconforto térmico no mês de agosto, porém não podemos analisar temperatura sem relacionar com a umidade, pois quanto maior a umidade relativa do ar, maior será a temperatura. Portanto, para o mês de agosto, a temperatura foi de 22,5°C.

Em relação aos dados obtidos para 2015, em março constataram-se duas ilhas de calor de 29°C cada, geradas principalmente pela concentração da malha urbana, diminuição da cobertura



vegetal e aumento de edificações verticais. A outra ilha de calor gerada ainda no mesmo período é atribuída pela topografia do bairro, pois essa mancha está localizada em uma área com o nível mais baixo que o da Orla Marítima. E para contribuir com o aumento dessa temperatura há a existência de prédios de quatro a seis pavimentos, funcionando como barreiras arquitetônicas para o vento.

Observando os mapas termais de 1984 e 2015, nota-se que o fenômeno ilha de calor foi diminuindo, constando uma diferença de 10°C em 1984 e de 5°C em 2015. Isso ocorreu proveniente ao uso do solo. A urbanização se tornou mais homogênea ao longo dos anos, a verticalização intensa se comporta como barreiras para a entrada de ventilação no bairro, deixando de apresentar diferenças internas de temperatura. Segundo Diniz (2004), os afastamentos permitidos pelo Plano Diretor do município de Aracaju são mínimos, não crescendo em proporção geometricamente em relação à altura do edifício, permitindo uma grande e inadequada aproximação entre as estruturas verticais e o índice de permeabilidade, que é igual a zero nas áreas centrais e em outras é de apenas 5%.

No que se refere a albedo, no ano de 1984, constatou que na área de concentração urbana ocorreu maior absorção de energia, 96,76%, provavelmente gerada pelos materiais construtivos instalados nas fachadas das edificações e pelo asfalto das ruas. Já nas áreas com maior vegetação houve maior refletância devido às plantas realizarem fotossíntese, porém a absorção foi menor em relação às outras áreas, mas considerada alta, 95%.

Pode-se observar que houve uma tendência de aumento da temperatura com a diminuição do albedo da superfície, com exceção do solo exposto, que teve maior albedo em relação aos outros tipos de uso e ocupação do solo, mas sua temperatura foi inferior à da área construída. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que as áreas construídas armazenem maior quantidade de energia e toda energia disponível ser transformada em calor sensível. No solo exposto, por dificilmente estar totalmente seco, a energia disponível é convertida em calor latente e sensível.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation** – Advanced training and users anual, version 1.0, 2002. 97p.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ritmo climático e planejamento urbano. In: AMORIM, M. C. de C. Trindade; SANT'ANNA NETO, João Lima; MONTEIRO, Ana (Orgs.). **Climatologia Urbana e Regional: Questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013. 274p.



_____. **Características do clima urbano de Presidente Prudente (SP)**. In: SANT'ANNA NETO, João Lima (Org.). **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente: [s.n.], 2002. p. 165-196.

BRANDÃO, Ana Maria de P. M. **A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro: configuração em situações sinóticas contrastantes**. In: NETO, João Lima Sant'Anna; ZAVATTINI, João Afonso (Orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem, 2000.

CHANDER, G. et al. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n. 3, p. 490-494, 2007.

CHAVES, Rubens. **Aracaju: Para onde você vai?** Aracaju: Edição do Autor, 2004.

DINIZ, Dora Neuza Leal. **Aracaju: Evolução e Verticalização**. Monografia apresentada ao Curso de Pós-graduação Lato Sensu Arquitetura e Cidade. São Paulo: Faculdade de Belas Artes, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Disponível em: <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 05 de março. 2014.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilhas de Calor nas metrópoles. O exemplo de São Paulo**. Hucitec, São Paulo, 1985

MENDONÇA, Francisco. **O clima urbano de cidades de pequeno e médio porte: aspectos teóricos-metodológicos e estudo de caso**. In NETO, João L. Sant'Anna; ZAVATINI, João Afonso. (Orgs.). **Variabilidades e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem, p. 167-192. 2000.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. 1976. 181f. **Tese (Livre Docência)** – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de F. Mendonça, Francisco (Orgs.). **Clima Urbano**. São Paulo: CONTEXTO, 2003, P. 9-68.

PINTO, Josefa Eliane de Siqueira; NETTO, Antenor de Oliveira Aguiar. **Clima, geografia e agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. São Cristóvão: Editora UFS; Aracaju: Fundação Oviêdo Texeira, 2008.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2001.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Escalas geográficas do clima. Mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade, SANT'ANNA NETO, João Lima, MONTEIRO, Ana (Orgs.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013, 274 p.

SANTOS, Geisedriely Castro dos. **Dinâmica da Paisagem Costeira da Coroa do Meio e Atalaia – Aracaju/SE**. Dissertação de Mestrado - UFS. São Cristóvão/SE – 2012.

SIRGAS 2000. Sistema de referência geocêntrico para as Américas. Disponível em: www.ibge.com.br.