

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA MICROBACIA DO RIO GRANJEIRO/CRATO – CEARÁ.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estimar a temperatura de superfície na microbacia do rio Grangeiro/Crato-Ce para o ano de 2011, por meio das imagens do satélite LANDSAT 5TM (banda 6), além do mapeamento do uso e ocupação que possam propiciar as diferenças térmicas na microbacia. Para a geração do mapa termal utilizou-se o algoritmo METRIC desenvolvido por Allen et al (2005). O mapeamento do uso e ocupação foi realizado através do Qgis e dos trabalhos de Lima e Carvalho-Neta (2014). As áreas com temperaturas menos elevadas oscilando entre 21° e 25°C, são aquelas que se localizam no topo e encosta da chapada, alto curso do rio, onde apresentam um maior grau de cobertura vegetal e fontes de água. As áreas com maiores temperaturas foram no baixo curso (28°C a 34°C), onde a urbanização é mais frequente, e em locais onde o solo encontra-se desnudo.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto, temperatura, microbacia, ocupação

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the surface temperature in the watershed of the Grangeiro river in Crato / CE, for the year 2011, through the images of the satellite LANDSAT 5TM (band 6), beyond the mapping of use and occupation that might propitiate the thermal differences in the watershed. The METRIC algorithm developed by Allen et al (2005) was used to generate the thermal map. The mapping of use and occupation was carried out using the Qgis and the studies of Lima and Carvalho-Neta (2014). The areas with lower temperatures, between 21°C and 25 °C, are those that are located at the top and hillside of the plateau, the upper course of the river, and higher degree of vegetation and water springs. The areas with higher temperatures are in the lower current (28°C and 34°C), where the urbanization is more frequent, and the soils bare of vegetation.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es estimar la temperatura de la superficie en la microcuenca del río Grangeiro/ Crato -Ce para el año 2011, a través de las imágenes del LANDSAT 5TM (banda 6) , además del levantamiento del uso y ocupación que podría propiciar a las diferencias térmicas en la microcuenca. Para la producción del mapa térmico fue utilizado el algoritmo METRIC desarrollado por Allen et al (2005) . El mapeo del uso y la ocupación se llevó a cabo por Qgis y el trabajo de Lima y Carvalho - Neta (2014) . Las áreas con temperaturas menos elevadas, que oscilan entre los 21 y 25 ° C , son aquellas que se encuentran en la parte superior y ladera de la meseta , alto curso del río , mayor grado de vegetación y fuentes de agua. Las zonas con temperaturas más altas fueron en el bajo curso (28 ° C a 34 ° C) , donde la urbanización es más común , y en lugares donde el suelo es desnudo.

Palabras clave: el teledetección, la temperatura, las microcuencas , la ocupación

Dra. Juliana Maria Oliveira Silva
juliana.oliveira@urca.br
Universidade Regional do Cariri
Professora Adjunta

INTRODUÇÃO

O advento das geotecnologias proporcionou análises mais detalhadas dos processos naturais que ocorrem na superfície terrestre e dos diferentes padrões de crescimento do uso e ocupação do solo. Os mapeamentos de risco à inundação, deslizamento de terras, zoneamentos ambientais, grau de conservação da vegetação, monitoramento de sistemas atmosféricos e de queimadas, são alguns exemplos das utilidades que as geotecnologias podem proporcionar com o intuito de gerar informações que possam ser utilizadas para o planejamento ambiental e territorial.

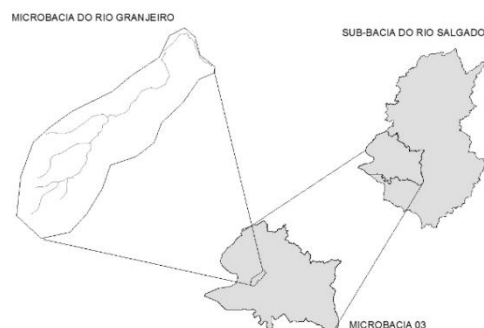
Tem-se como geoprocessamento ou também conhecida como geotecnologias o conjunto de técnicas para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. (ROSA, 2005).

O sensoriamento remoto inserido nessas geotecnologias define-se como um conjunto de procedimentos destinados à obtenção de imagens ou outros tipos de dados por meio da coleta de energia eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre, através de sensores acoplados nos mais variados níveis de aquisição. Esta técnica destaca-se por disponibilizar a visualização de um recorte espacial de diferentes escalas, além de fornecer dados do infravermelho termal (FLORENZANO, 2011).

Um dos primeiros trabalhos a utilizar imagens de satélites aplicado aos estudos do clima foi o de Lombardo (1985), onde a autora em uma das etapas de desenvolvimento de sua tese de doutorado sobre o clima urbano da cidade de São Paulo, realizou um mapeamento da temperatura de superfície a partir da banda 6 do satélite Landsat 5.

O objetivo deste trabalho é estimar a temperatura de superfície da microbacia do rio Granjeiro/Crato-Ce (figura 01) para o ano de 2011, utilizando-se imagens do satélite LANDSAT 5TM, banda 6 (termal), bem como o mapeamento do uso e ocupação que possam propiciar as diferenças térmicas na microbacia. O rio Granjeiro faz parte da sub-bacia do rio Salgado, possui suas nascentes na Chapada do Araripe e durante o seu percurso drena a cidade do Crato e no seu baixo curso deságua no rio Batateiras. A Sub-bacia Hidrográfica do rio Salgado, importante rio da região do Cariri, possui uma delimitação oficial de 05 microbacias, e dentro delas existem outras microbacias, como a do Batateiras, Salamanca, Vargem, Carás e no caso deste trabalho, a microbacia do rio Granjeiro com área de 22,08km².

Figura 01 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado por Juliana Maria Oliveira Silva a partir da base cartográfica da Funceme (2006)

O município do Crato localiza-se no sul do Estado do Ceará, na região do Nordeste do Brasil e integra a RMCariri (Região Metropolitana do Cariri). O município ocupa uma área de 1.117,5 Km². Seus distritos são: Crato (sede), Baixio das Palmeiras, Belmonte, Campo Alegre, Dom Quintino, Monte Alverne, Bela Vista, Ponta da Serra, Santa Fé e Santa Rosa (IPECE, 2012).

Os estudos de ordem climática realizados para a microbacia concentraram-se mais na caracterização pluviométrica, balanço hídrico e eventos pluviais extremos. A área ainda carece de pesquisas mais abrangentes no que se refere a temperatura, especialmente, porque observa-se um rápido crescimento em direção a encosta da Chapada do Araripe, onde se localiza o alto curso do rio, o que poderá alterar condições microclimáticas favorecidas pelo relevo e pelas fontes de água que surgem na encosta, dentre elas, a nascente do rio Granjeiro.

Devido à falta de equipamentos para se realizar a mensuração da temperatura, optou-se pelo uso de imagens de satélites, técnica que já foi utilizada por diferentes pesquisadores. Através da realização deste trabalho foi possível identificar os pontos de maiores valores de temperaturas que poderão propiciar significativas alterações microclimáticas, estudar a relação urbanização e temperatura, e assim, propor medidas que possam subsidiar projetos futuros de planejamento urbano e ambiental.

CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA MICROBACIA DO RIO GRANJEIRO - CRATO/CEARÁ

Para se estudar o ambiente quanto às diferenças térmicas é essencial uma caracterização ambiental (geologia-geomorfologia, clima, solos, recursos hídricos e vegetação) da área e estudo, pois os elementos naturais fornecem dados que auxiliam na interpretação dos resultados.

Geologia-Geomorfologia

A microbacia em análise encontra-se inserida na bacia do Araripe, uma bacia sedimentar paleo-mesozóica (abrangendo partes dos estados de Pernambuco, Piauí e Ceará), circundada por terrenos datados do pré-cambriano e de depósitos sedimentares. Assine (2007) discorre que a bacia do Araripe é caracterizada por sequências de deposição e cada uma com suas litoestratigrafias representando cada estágio de evolução geológica: Sequência Paleozóica (Formação Cariri), Supersequência Pré - Rifte (Formações Brejo Santo e Missão Velha), Supersequência Rifte (Formação Abaiara), SuperSequência Pós-Rifte I (Formação Barbalha e Formação Santana) e a SuperSequência Pós-Rifte II (Formação Exu).

A principal forma de relevo é a Chapada do Araripe, uma superfície tabular, com altitudes que podem chegar a 900m e declives acentuados. O topo da chapada encontra-se conservado devido os arenitos da Formação Exu (Figura 02), que possuem porosidade e permeabilidade, favorecendo a infiltração da água, o que não permite a ação erosiva e de entalhe da água no topo da chapada. Ribeiro (2004) compartimentou a chapada em 04 zonas geomorfológicas: topo da chapada (ou zona de chapada), a encosta ou vertente da chapada (subdividida em alta e baixa encosta, de acordo com a declividade) e o pediplano. A autora comenta que o topo da chapada apresenta pouca expressividade territorial na microbacia do Granjeiro, mas tem papel fundamental na captação da água que origina as fontes responsáveis por seus rios e riachos.

Figura 02: Principais subdivisões da Chapada

Fonte: Juliana Maria Oliveira Silva (2013).

Condições Hidroclimáticas

O município do Crato, onde está inserida a microbacia em análise, localiza-se a barlavento da Chapada do Araripe, sendo favorecido pela ocorrência de chuvas orográficas, por isso, os valores pluviométricos são mais elevados se compararmos com outras áreas localizadas à sotavento ou mais distante da chapada. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), as chuvas orográficas ocorrem pela ação física do relevo, que atua como uma barreira à advecção livre do ar, forçando-o a ascender. O ar úmido e quente, ao ascender próximo às encostas, resfria-se adiabaticamente devido à descompressão promovida pela menor densidade do ar nos níveis mais elevados.

De acordo com dados na área de estudo ocorrem chuvas que anualmente apresentam uma média de 1.154,6mm, no posto pluviométrico de Crato, e no posto Lameiro 1.241,7mm (BRITO e SILVA, 2012) conforme o gráfico 01.



Gráfico 01: Média Pluviométrica anual do posto Crato no período de 1974 a 2012 e posto Lameiro no período de 1994 a 2012.

O Posto Lameiro possui maiores índices pluviométricos do que o do Crato, isto pode ser justificado pela altitude em que se encontra o posto, já que o Lameiro corresponde a uma área mais elevada da cidade na encosta da Chapada, já o Posto Crato localiza-se mais abaixo do que o Lameiro, de topografia mais plana.

As chuvas se concentram no primeiro semestre do ano, que corresponde a quadra chuvosa, são os meses de janeiro (pré-estação), fevereiro, março e abril. O mês que apresenta maior índice pluviométrico é o de março, tanto para o posto Crato (252 mm) como também para o posto Lameiro (253mm). Esse fato é explicado pela forte ação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) nesse período do ano.

As condições hídricas provêm das ressurgências das fontes de água na escarpa da chapada, no contato entre as Formações Exu e Arajara. Segundo a COGERH (2009) são 256 fontes que drenam a região do Cariri. Desse total, 76 fontes são encontradas no município do Crato. Para Magalhães (2006), dentre as fontes, a mais importante é a Fonte da Batateira, que dá origem a um dos principais rios, o da Batateiras, que drena o município do Crato. O rio Grangeiro, principal rio da microbacia em estudo, drena a parte urbana da cidade e no seu baixo curso se une ao rio da Batateiras.

Solos e Cobertura Vegetal

As principais classes de solos e coberturas vegetais encontrados na área com base em estudos realizados pela Funceme (2006) e Ribeiro (2004) foram os Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Neossolos Flúvicos. No topo da chapada do Araripe encontram-se os Latossolos, que são predominantemente arenosos. Os Neossolos Litológicos podem ser encontrados nos patamares da Chapada e no pediplano. Os Neossolos Flúvicos abrangem a planície fluvial do rio.

A vegetação da área se diferencia em relação a condições de altitude, pois na área da encosta da chapada encontra-se uma vegetação mais desenvolvida denominada de Mata Úmida, com porte arbóreo e densidade alta, em direção ao pediplano uma vegetação menos densa, com espécies da Caatinga, Mata seca e Mata Ciliar. A Mata Úmida ocupa as áreas do alto curso do rio, ao longo da escarpa da Chapada, a altitude e umidade das fontes de água favoreceram o desenvolvimento deste tipo de vegetação. Uma vegetação do tipo Mata Seca recobre as encostas das serras secas e rebordos de chapadas geralmente entre as cotas de 500 até 600 metros de altitude (MAGALHÃES, 2006). A Mata Ciliar se desenvolve no médio e baixo curso do rio, especialmente na área de planície fluvial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da temperatura

O estudo da temperatura de superfície a partir das técnicas do sensoriamento remoto é possível através do intervalo de 8 a 12 μm do espectro eletromagnético, região que capta a radiação emitida pela superfície terrestre.

O sensoriamento remoto utiliza-se de fontes de energia que podem ser naturais ou artificiais. A radiação eletromagnética é a forma de energia usada no registro das informações que os objetos emitem em direção aos sensores, que são equipamentos instalados a bordo dos satélites, para capturar essa energia. As duas principais fontes de energia eletromagnética aproveitadas pelo sensoriamento remoto são o Sol e a Terra (FLORENZANO, 2011).

A radiação é difundida através das ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo a uma velocidade da luz, sendo medida por meio da frequência e comprimentos de onda. O espectro eletromagnético, conforme Florenzano (2011), representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência, e o espectro abrange desde curtos comprimentos de onda (raios cósmicos e raios gama) até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio e tv.

Para entender os processos que envolvem o uso de imagens termais para a estimativa da temperatura de superfície, é preciso discutir alguns conceitos e um deles é o de Corpo Negro, onde qualquer corpo com temperatura acima de zero absoluto emite energia eletromagnética. Segundo Novo (2010), o corpo negro é um modelo físico que permite modelar a energia emitida por uma fonte a uma taxa máxima por unidade de área e por comprimento de onda, a uma dada temperatura. Um corpo negro, teoricamente, absorve toda a

energia que nele incide, e também emite toda a energia absorvida. A autora ainda afirma que o relacionamento entre a energia que deixa um dado corpo e sua temperatura é expressa pela Lei de Planck, conforme a equação 01:

$$B_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

Equação 01: Fórmula da Lei de Planck

Onde: B_{λ} é a radiância espectral em unidades de $\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$, $C_1 = 3,74 \times 10^8$; $C_2 = 1,439 \times 10^4$ e T é a temperatura física do objeto medida em graus Kelvin.

Para o sensoriamento remoto da temperatura é necessário utilizar a função inversa de Planck, pois o sensor mede a radiância espectral e o que se quer determinar é a temperatura (NOVO, 2010).

Como foi abordado anteriormente, tanto o sol como a terra, são fontes de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto, sendo o sol a fonte mais forte da radiação do que a terra. Meneses e Almeida (2012) explicam que isso deve-se ao fato de que o Sol possui alta temperatura de superfície, próxima a 6000°C e a Terra com temperatura média de apenas 27°C , por isso, uma temperatura interna muito mais baixa que o núcleo solar, transmitindo calor para a superfície por radioatividade. A terra, portanto, emite a radiação eletromagnética na faixa espectral do termal, por meio de ondas longas e o sol por meio de ondas curtas.

A radiação solar constitui, então, a principal fonte de energia eletromagnética que chega à terra. O sol é considerado um exemplo de corpo negro e Barry e Chorley (2013) explicam que a energia solar se origina a partir das reações termonucleares dentro do núcleo quente do sol ($16 \times 10^6 \text{ K}$), e é transmitida para a superfície do sol pela radiação e convecção do hidrogênio.

Quando essa energia chega na atmosfera ainda é influenciada por alguns fatores como a distância entre o sol e a terra, altura do sol e a duração do dia (BARRY e CHORLEY, 2013).

A energia ao atravessar a atmosfera até atingir a terra não chega com a mesma intensidade, pois a atmosfera interfere através dos processos de absorção, reflectância e espalhamento.

Absorção é o processo pelo qual a energia radiante é absorvida ou convertida em outras formas de energia, podendo ocorrer na atmosfera ou superfície (JENSEN, 2011). Para Meneses e Almeida (2012) a absorção é o efeito mais prejudicial ao sensoriamento remoto, pois em vários intervalos de comprimentos de onda a atmosfera mostra-se parcial ou totalmente opaca às passagens da radiação solar e da radiação emitida pela Terra, em razão da absorção pelos gases nela presentes.

A reflectância ocorre quando um feixe de luz que chega à superfície de um objeto não transparente é redirecionada (LIU, 2015).

O espalhamento é um processo físico que resulta da obstrução das ondas eletromagnéticas, por partículas existentes em suas trajetórias ao atravessarem a atmosfera terrestre (MOREIRA, 2012). Este espalhamento pode ser de três tipos, conforme o tamanho das partículas que estão presentes na atmosfera, a saber: Rayleigh, Mie e não seletivo. Jensen (2009) aborda os três tipos de espalhamento: o espalhamento de Rayleigh ocorre quando o diâmetro da matéria (moléculas de ar, como o oxigênio e nitrogênio) é muitas vezes menor

que o comprimento de onda da radiação eletromagnética. O espalhamento de Mie abrange as partículas com tamanho igual ao comprimento de onda da radiação. O espalhamento não seletivo ocorre nas porções mais baixas da atmosfera com partículas 10 vezes maiores do que o comprimento de onda da radiação incidente.

A presença de nuvens na atmosfera interfere na incidência da luz, pois acabam por refletir a radiação, por isso, ao se utilizar das imagens de satélites, é necessário observar a quantidade de nuvens na cena, pois isso poderá alterar os dados provenientes das imagens. Para Barry e Chorley (2013) a proporção da radiação incidente que é refletida chama-se albedo, ou coeficiente de reflexão e os tipos de nuvens existentes afetam o albedo.

As janelas atmosféricas são porções da atmosfera em que a radiação não é totalmente absorvida, e, através desses espaços os satélites são colocados a fim de se capturar as informações que são utilizadas no sensoriamento remoto. Liu (2015) aborda que as faixas de comprimentos de onda, incluindo ultravioleta e visível (0,30 a 0,75 μm), infravermelha próxima (0,77 a 0,91 μm), infravermelho termal (8 a 9,2 μm e 10,2 μm a 12,4 μm) e microondas (7,5mm e > 20mm), são chamadas de janelas atmosféricas. E dentre essas janelas atmosféricas existe a que é possível detectar a radiação emitida pela terra, tornando possível estimar a temperatura da superfície.

A radiação solar depois que atravessa a atmosfera, ao chegar à terra dependendo das características físico-química e biológica dos diferentes objetos terrestres, também interage através dos fenômenos da absorção, reflexão e transmissão dos objetos.

A passagem da radiação eletromagnética através de um meio, sem alterar a frequência das radiações que a compõem, é denominada transmissão, podendo ser entre objetos ou intraobjeto (MOREIRA, 2012).

A fração da radiação eletromagnética refletida pelos alvos da superfície terrestre é muito importante para o sensoriamento remoto, pois um grande número de aplicações de imagens e dados de satélites ou de outras formas de coleta se dá através da radiação refletida pelos alvos (MOREIRA, 2012).

A partir desses processos que ocorrem na atmosfera referentes ao espalhamento das partículas, reflectância, absorção pelos constituintes presentes na atmosfera e também da interação da radiação solar com a terra, Torres e Machado (2011) explicam com base em Tubelis e Nascimento (1984) o balanço de radiação que ocorre entre o sol-atmosfera-terra, os autores estabelecem que:

Em média, de 100% da energia do sol que chega à atmosfera, cerca de 40% incide sobre as nuvens, desse total, 1% é absorvido e 25% são refletidos e se perdem no espaço, chegando apenas 14% à superfície. Dos demais 60% que incidem sobre áreas sem cobertura de nuvens, 7% são refletidos/difundidos por aerossóis e 16% são absorvidos por gases atmosféricos, chegando 37% à superfície. Dos 51% que chegam à superfície, subtraem-se 5%, que são refletidos pela própria superfície. Assim, aproximadamente 46% da energia que incide sobre a atmosfera é absorvida pela superfície terrestre (TORRES e MACHADO, 2011:31 apud Tubelis e Nascimento, 1984)

A temperatura de superfície, portanto, é o resultado do balanço de radiação que chega e sai da terra, influenciada por fatores como a emissividade, o albedo e outras características do ambiente discutidas anteriormente. O ar atmosférico é aquecido a partir da radiação que deixa a terra, ou seja, a terra absorve a energia e irradia esta energia, aquecendo o ar. Diante dos conceitos discutidos é imprescindível salientar que quando se está utilizando as imagens termais, estima-se a temperatura de superfície e não a temperatura do ar. A temperatura do ar é medida próxima à superfície dentro de estações meteorológicas com equipamentos instalados a uma altura de 1,5m, ou medida através de estações móveis, quando

se quer realizar um transecto ou estudos que demandam a coleta de temperatura. A temperatura de superfície é medida a partir da energia emitida pelos objetos terrestre e captada pelos sensores.

A terra não se comporta como um corpo negro perfeito, por isso ao tratar as imagens termais, é preciso conhecer a emissividade dos objetos terrestres, com o objetivo de aplicar estes índices durante o processamento das imagens. Segundo Lorenzetti (2015), a emissividade mede a eficiência de emissão termal de um material ou uma substância em relação à eficiência (máxima) de um corpo negro.

A emissividade de um objeto é função de uma série de fatores, tais como cor, composição química, rugosidade da superfície, umidade e tantos outros (MENESES e ALMEIDA, 2012).

As fontes de radiação termal podem se distinguir em três tipos no tocante a emissividade, segundo Novo (2010): a) as que se comportam como corpos negros, e cuja emissividade é igual a 1; b) as que se comportam como corpos cinzas e cuja emissividade é uma constante menor que 1; as fontes seletivas, cuja emissividade varia espectralmente.

Para a estimativa de temperatura de superfície a partir de dados do sensoriamento remoto existem alguns modelos adotados para se realizar o mapeamento, dentre alguns modelos, pode-se destacar o de Maralet et al (1985), o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) desenvolvido por Bastiaanssen (1998) e o METRIC (Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration) desenvolvido por Allen et al (2005). Segundo Ideião et al (2008), o modelo METRIC, detalhado em Allen et al, (2005) e Tasumi et al, (2005), representa uma variação do modelo SEBAL, os algoritmos utilizados no modelo METRIC são muito similares àqueles usados no SEBAL. A estimativa da temperatura é executada calculando os seguintes valores: Radiância – Reflectância - NDVI, SAVI, IAF – Emissividade - Temperatura K e em C. Neste trabalho enfocou-se os procedimentos adotados para a estimativa da temperatura com as fórmulas descrita adiante, os índices de NDVI, SAVI E IAF foram calculados, mas não estão detalhados no trabalho, pois os mesmos foram calculados a fim de se determinar a emissividade.

Procedimentos técnicos

Para se alcançar os resultados a pesquisa foi dividida por etapas: a) seleção das imagens termais; b) tratamento das imagens; c) levantamento dos valores de temperatura; d) mapeamento do uso e ocupação da terra; e) Levantamentos de campo.

Seleção das Imagens Termais (banda 6 do satélite Landsat 5TM)

As imagens selecionadas para o estudo foram adquiridas digitalmente através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em sua homepage (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As imagens que recobrem a área de estudo (município de Crato/Ceará) foram as de órbita 217, ponto16 referente ao ano de 2011 (29 de agosto). A projeção adotada foi a UTM/ datum SIRGAS/2000.

Levantamento dos valores de temperatura superficial terrestre

Para a geração do mapa termal com as classes de temperaturas na superfície urbana foram empregados os seguintes processamentos digitais de acordo com o algoritmo Metric, utilizado por Azevedo e Souza (2013) e Ideião et al (2008):

1) conversão dos tons de cinza (dn's) em valores de temperatura de superfície utilizando a ferramenta "raster calculator" do software arcgis. Para isso, utilizou-se os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (nc) para radiância, depois para temperatura Kelvin e finalmente para graus celsius (°c) conforme metodologia discutida por Chander et al. (2009) expressa nas equações 2 e 3, inseridas na calculadora raster do arcgis.

$L \lambda = ((l_{\max} \lambda - \lambda_{\min}) / (QCAL_{\max} - QCAL_{\min})) * (QCAL - QCAL_{\min}) + \lambda_{\min}$ **(Equação 2)**, onde:

$L \lambda$ Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts

QCAL Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN)

$L_{\min} \lambda$ Radiância espectral, que é dimensionado para $QCAL_{\min}$ em Watts = 1.238

$L_{\max} \lambda$ Radiância espectral, que é dimensionado para $QCAL_{\max}$ = 15.303.

$QCAL_{\min}$ O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{\min} \lambda$), em DN = 1

$QCAL_{\max}$ Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{\max} \lambda$) no DN = 255.

Fonte: Chander et al. (2009).

2) Após a transformação dos valores em radiância, aplica-se a Equação 3, com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin que é obtida pela aplicação da equação de Plank modificada, a qual leva em consideração os valores da radiância espectral da banda termal e da emissividade superficial:

$$T = K^2 / \ln(\epsilon_{NB} * K^1 / L \lambda + 1) \quad \textbf{(Equação 3)}$$

onde:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K^2 = Constante de calibração específica para o satélite Landsat5 = 1.260,56

K^1 = Constante de calibração específica para o satélite Landsat5 = 607,76

$L \lambda$ = Radiância espectral em Watts

ϵ_{NB} = Emissividade superficial a partir dos dados de NDVI, SAVI e IAF.

Fonte: Chander et al. (2009).

3) Em seguida os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15K), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C). 4) Fatiamento da imagem gerada com valores variando em 2°C.

3.2.3 Mapeamento do Uso e Ocupação na área

O mapa de uso e ocupação foi utilizado a partir da vetorização realizada por Lima e Carvalho-Neta (2014), no software QGIS 2.6, através do plugin "OpenLayers plugin", foi possível carregar o Google Earth como uma camada do QGIS. Por conseguinte, criou-se uma camada de "shapefile" para iniciar o processo de vetorização da área de estudo. As classes de uso e ocupação adotadas neste

trabalho foram: Água, vegetação densa (Mata Úmida), Vegetação menos densa Subcaducifólia, Caatinga, Urbanização e Agropecuária e/ou solo exposto.

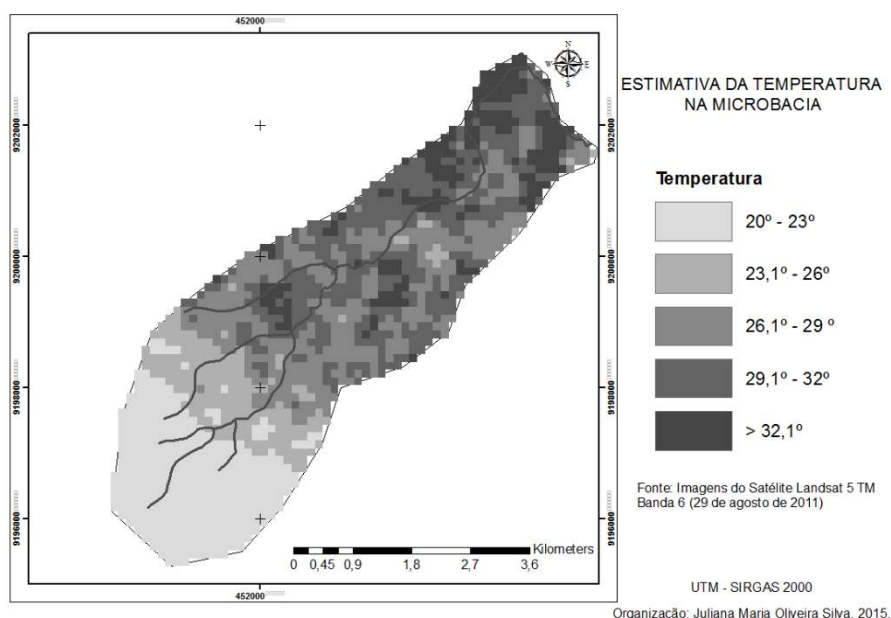
Levantamento de Campo

Ao longo da pesquisa realizou-se diferentes levantamentos de campo. O primeiro campo caracterizou-se pelo reconhecimento geral da área. Outros levantamentos em pontos específicos de acordo com os valores de temperatura, procurando perceber o nível de urbanização e a temperatura, bem como a influência do relevo para a formação de microclimas. Em todos os trabalhos de campo utilizou-se equipamentos, como GPS do tipo Garmim para a marcação de pontos importantes, imagens de satélites para a identificação de forma que não estavam nítidas na imagem e que através do campo puderam ser visualizadas e caracterizadas.

A partir da identificação dos pontos de maiores desvios de temperatura, os resultados foram discutidos procurando relacionar as temperaturas com os dados de uso e ocupação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa 01 ilustra a distribuição das temperaturas na microbacia do rio Granjeiro. De acordo com a interpretação das imagens, as cores com tons cinza claro caracterizam-se por possuírem índices mais baixos de temperatura e as cores cinza escuro são valores mais elevados. As temperaturas oscilam entre 20°C a valores superiores a 32°C.



Mapa 01: Estimativa de Temperatura na microbacia do rio Granjeiro

As áreas com temperaturas mais elevadas são aquelas que se distanciaram dos pontos mais altos da microbacia, alguns setores no médio curso da área e baixo do curso do rio. Estes locais citados apresentaram um grau de urbanização maior, menor arborização, solos desnudos devido a agropecuária, loteamentos, ou a vegetação encontrava-se mais espaçada,

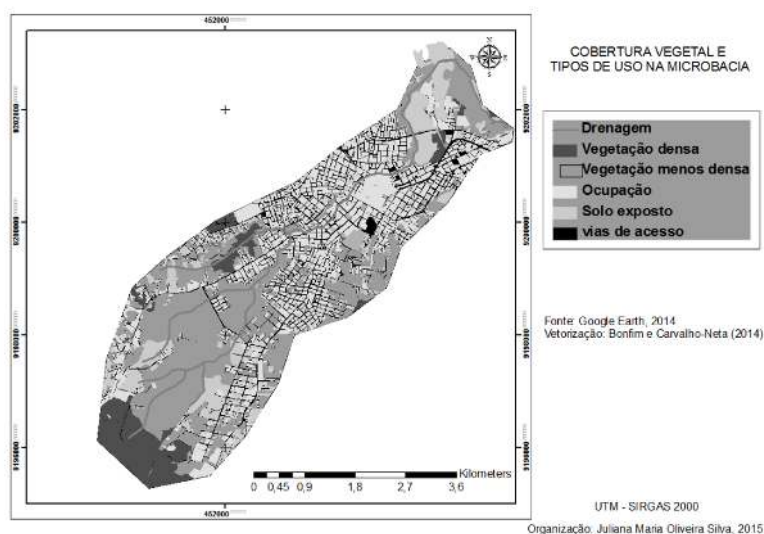
cobertura de gramíneas reduzida devido a época do ano (agosto) quando se já passou o período chuvoso, então o solo exposto propicia um maior aquecimento deste. A temperatura apresentou valores entre 26°C até valores que ultrapassaram 30°C, especialmente no baixo curso do rio, onde a urbanização é mais frequente.

As áreas com temperaturas menos elevadas são aquelas onde existe um grau de cobertura vegetal maior, água, relevo elevado como é o caso da encosta da Chapada, onde se tem a presença da mata úmida devido as fontes de água que afloram neste setor, favorecendo uma maior umidade.

No topo da Chapada quase inexistente ocupação, a não ser estradas que dão acesso a outros municípios como Nova Olinda e Santana do Cariri, no Ceará e Exu em Pernambuco e algumas comunidades rurais. E ainda, se encontra a FLONA – Floresta Nacional do Araripe, uma unidade de conservação, com a presença de vegetação arbórea, e pertencente ao distrito de Belmonte (Crato), considerada uma área rural. Nestes locais as temperaturas oscilaram em torno de 20° a 22°C. Destaca-se ainda, os bairros Granjeiro e Lameiro (alto e médio curso do rio), que se localizam mais em direção a encosta, altitude mais elevada e com maiores graus de cobertura vegetal, com temperaturas que variaram bastante dependendo do local do bairro, ambos apresentaram temperaturas em torno de 24°C a 28°C. Lombardo (1995) afirma “É no centro das áreas urbanas, em lugares pobres em vegetação, que as temperaturas alcançam valores máximos. Por outro lado, os valores mínimos são registrados em áreas verdes e reservatórios d’água”. O ponto de menor temperatura 21.2.º foi identificado no distrito de Belmonte (topo da Chapada) e as maiores temperaturas foram no baixo curso do rio abrangendo uma parte do bairro do Centro, Palmeiral com temperaturas que em alguns pontos ultrapassaram os 32°C.

No alto e uma parte do médio curso da microbacia abrangendo os bairros Lameiro e Granjeiro, observa-se um crescimento quanto ao uso e ocupação nos últimos anos, são áreas mais valorizadas da cidade por apresentarem amenidades climáticas quanto à temperatura, presença de vegetação e possibilitarem uma vista mais “verde”.

As áreas mais quentes se localizam onde a urbanização é maior e cobertura vegetal pequena, por isso a elaboração de um mapa de uso e ocupação é importante para a interpretação dos dados de temperatura. O mapa 02 espacializa as principais formas de ocupação na área de estudo. As categorias mapeadas correspondem a:



Mapa 02: Cobertura vegetal e Tipos de uso na microbacia

Vegetação densa: Representa um tipo de vegetação que predominantemente ocupa a encosta da Chapada (Mata Úmida), figura 02. A ocorrência dessa vegetação é propiciada pela ressurgência das fontes que brotam da escarpa favorecendo a umidade. Segundo a FUNCEME (2006) esta unidade vegetacional possui uma fisionomia onde predomina o estrato arbóreo com alturas superiores a 15 metros, formando uma cobertura vegetal bastante densa, a exemplo do que se verifica na área da Floresta Nacional do Araripe. A Floresta Nacional do Araripe (figura 03) foi criada pelo Decreto nº 9.226, de 02/05/1946, corresponde a uma área de, aproximadamente, 38.626,32 hectares, abrangendo parte dos municípios de Santana do Cariri, Crato e Barbalha (MAGALHÃES, 2006). No topo da Chapada do Araripe o uso do solo é bem menor, devido esta unidade de conservação federal. A vegetação densa aparece em outros setores da microbacia, onde a vegetação encontra-se bem conservada, com porte arbóreo e densidade alta.



Figura 02: Mata Úmida na encosta da Chapada
Fonte: Denise da Silva Brito (2013)



Figura 03: Aspectos da vegetação dentro da FLONA
Fonte: Juliana Maria Oliveira Silva (2011)

Vegetação menos densa: Devido às dificuldades em mapear uma divisão clara entre a mata úmida e outros tipos de vegetação encontradas na área de estudo, incluiu-se nessa área formações vegetais com estrato arbustivo, densidade média ou baixa e com cobertura de gramíneas. Na área de estudo encontra-se espécies tanto da caatinga, mata seca e mata ciliar (esta vegetação é bem desenvolvida no baixo curso, figura 04). Este tipo de vegetação encontra-se mais abaixo da encosta em direção ao pediplano.



Figura 04: Aspectos da Mata Ciliar no baixo curso do rio Granjeiro
Fonte: Denise da Silva Brito.

As áreas desmatadas destinadas a agropecuária, loteamentos e/ou outras atividades foram consideradas como uma mesma classe temática: **solo exposto**. Esta classe se distribui de uma forma abrangente, perto dos núcleos urbanos, corpos d'água, na encosta e nos pedimentos dissecados.

As **ocupações** referem-se a todos os tipos sejam eles: residencial, comercial, serviços, industrial e áreas de lazer. O que se observa no alto e médio curso do rio, em direção a encosta, é a expansão urbana entre os bairros Granjeiro (figuras 5 e 6) e Lameiro (figura 7), bairros onde pode-se encontrar casas luxuosas, hotéis e uma parte da população com poder aquisitivo mais elevado. Segundo Magalhães (2006), a ocupação dessa área se deu, efetivamente, a partir da instalação do Clube Recreativo Granjeiro construído nos patamares da Chapada do Araripe, que valorizou os terrenos vizinhos transformados posteriormente em loteamentos, vivendas, chácaras etc.



Figura 05: Hotel Encosta da Serra no bairro Granjeiro (alto/médio curso da microbacia)

Fonte: Juliana Maria Oliveira Silva (2014)

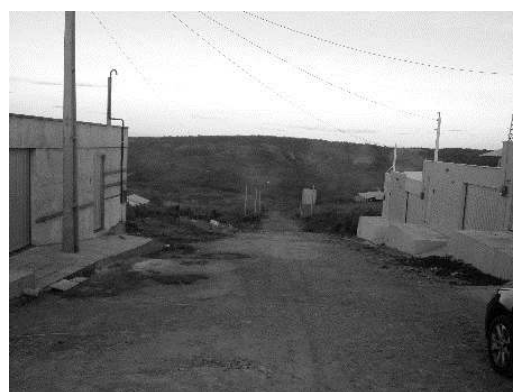


Figura 06: Construção de novas casas no Granjeiro (alto/médio curso da microbacia)

Conforme Menezes (1985), a construção dos balneários e clubes recreativos na baixa encosta da Chapada do Araripe, preferencialmente nos terrenos dotados de fontes, foi o principal fator de expansão urbana do Crato. A partir daí a baixa encosta da Chapada do Araripe, se tornou valorizada, com a penetração da urbanização no campo, sendo loteada para a implantação de granjas, chácaras, casas de veraneio ou moradias de pessoas pertencentes à elite da cidade do Crato. Na margem esquerda do rio Granjeiro (bairro França Alencar) está localizada a indústria de calçados Grendene que se instalou na região em 1997.

A ocupação mais expressiva na microbacia é no seu médio e baixo curso, especialmente ao longo do canal do rio (figura 07), na avenida José Alves de Figueiredo. Nessa área encontra-se também o centro da cidade, onde em períodos pluviais intensos, já se registrou o transbordamento do canal do rio. No baixo curso do rio perto do seu encontro com o rio Batateiras, identifica-se algumas atividades agrícolas e pecuárias que segundo Ribeiro (2004), a cobertura vegetal original da microbacia, e em especial de seu baixo curso, encontra-se majoritariamente substituída por culturas permanentes e temporárias, em especial cana-de-açúcar, capim e consórcios de feijão-milho.



Figura 07– Canal do rio Granjeiro e as áreas construídas em entorno
(Av. José Alves de Figueiredo, no bairro do Pimenta).
Fonte: Maria Tayane Bonfim Lima, 2014.

CONCLUSÕES

A partir da interpretação dos mapas constatou-se que as áreas mais quentes se localizam onde a urbanização é maior, cobertura vegetal reduzida e solo exposto, até mesmo em um mesmo bairro dentro da microbacia pode-se constatar variações de temperaturas de acordo com os tipos de uso e cobertura vegetal. Segundo Pereira et al (2012), isso indica que a cobertura do solo apresenta padrões de comportamento diferenciados de absorção de energia, produção de calor e reflectância.

Dentre os elementos naturais, a altitude constituiu juntamente com a vegetação, um dos fatores que propiciaram à ocorrência de temperaturas mais amenas. O sensoriamento remoto tem contribuído para os estudos ambientais através da ampla utilização de diversos satélites com finalidades diferenciadas, no caso deste trabalho, o satélite Landsat 5 proporcionou um estudo a respeito da temperatura de superfície.

A microbacia em análise apresenta diversas problemáticas relacionadas ao uso e ocupação do solo, o que vem ocasionando impactos ambientais que se distribuem ao longo da área, o desmatamento de importantes coberturas vegetais além de contribuir para a erosão dos solos, poderá alterar as condições microclimáticas favorecidas pela vegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSINE, M. L. **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências da PETROBRAS (Impresso), v. 15, p. 371-389, 2007.
- ALLEN, R. G.; ALLEN, M.; MORSE, A.; TREZZA, R. **A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning**. Irrigation and Drainage Systmes, v. 19, p. 251-268, 2005.
- AZEVEDO, G.F; SOUZA,N.M. **Uso de imagens Landsat TM5 para análise da temperatura de superfície do Distrito Federal**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu - PR. Anais do 16º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, 13 - 18 de abril de 2013. V. 1. p. 1869-1876.

- BARRY,R;CHORLEY,R.J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Porto Alegre: Bookmam, 2013. 9ªedição.
- BRITO, D.S ; SILVA, J. M. O. **Estudo dos impactos pluviométricos e os eventos extremos no município do Crato-Ceará**. Revista Geonorte, v. Único, p. 964-976, 2012.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and eo-1 ali sensors**. Remote Sensing of Environment. 2009, p. 893-903.
- COGERH. **Caderno Regional da Sub-bacia do Salgado**. Fortaleza: Inesp, 2009.
- FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 3ª ed. Ampliada e atualizada.
- FUNCEME. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará: Parte II – Mesorregião do Sul Cearense**. Fortaleza: Funceme, 2006.
- IDEIÃO, S. M. A; CUNHA, J. E; RUFINO, I. A. A. **Determinação da temperatura e superfície no estado da paraíba a partir de imagens Landsat 5- TM**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife. Simgeo-2008, 2008.
- JENSEN, JOHN R. **Remote Sensing of the environment an earth resource perspective**. 2 ed. Upper saddle river (nj): Prentice Hall, 2007.
- LIMA, M. T. B. ; CARVALHO-NETA, M. L. **As geotecnologias na representação cartográfica dos padrões de uso e ocupação do solo na área da microbacia do Rio Granjeiro, Crato/CE**. In: VI Congresso Ibero-americano de Estudos Territoriais e Ambientais-CIETA, 2014. Anais do VI Congresso Ibero-americano de Estudos Territoriais e Ambientais-CIETA. São Paulo, 2014.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2015.
- LOMBARDO, M.A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MAGALHÃES, A. O. **Análise ambiental do alto curso da microbacia do rio Batateira no município de Crato/Ce: subsídios ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. Universidade Federal do Ceará. 2006. (Dissertação de Mestrado).
- MENDONCA, F. A. ; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.
- MENEZES, E. O. **O uso do solo na área dos Patamares da Chapada do Araripe no município do Crato**. Crato: Faculdade de Filosofia do Crato. 1985. Monografia.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4ª edição. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa. 2012.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 4ª edição revista.
- PEREIRA, C. C. ; MARIANO, Z. F. ; WACHHOLZ, F. ; CABRAL, J. B. P. **Análise da Temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia Barra dos Coqueiros (Goiás)**. Revista Geonorte, v. 1, p. 1243-1255, 2012.
- ROSA, ROBERTO. **Geotecnologias na Geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, Uberlândia, 2005.
- STEINKE, ERCÍLIA TORRES. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. Tese (doutorado em ecologia)- Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.
- TORRES, F. T; P; MACHADO, P. J.O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning,2011.