ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise Espacial da Temperatura e Albedo de Superfície na Bacia Hidrográfica do rio Una – Ibiúna/São Paulo, a partir de imagens MODIS

Naia Godoy Padovanni- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Autor Correspondente: e-mail: naiaqp@gmail.com, Elfany Reis Lopes- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, José Carlos de Souza- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Maria Cintia Matias de Moraes- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Roberto Wagner Lourenço- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Artigo recebido em 17/08/2017 e aceito em 16/06/2018

RESUMO

O monitoramento climático das condições do tempo, como temperatura e radiação solar, vem ganhando espaço com o avanço dos dados enviados por satélites. Os satélites estão cada vez mais entregando imagens com uma cobertura maior, com maior quantidade de dados em um intervalo de tempo mais curto. O sensor MODIS é um dos instrumentos dos satélites TERRA e Aqua e foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e uma cobertura global de 1 a 2 dias. Nesta temática o objetivo principal deste trabalho foi o mapeamento de Temperatura de Superfície (Ts) e Albedo para a Bacia Hidrográfica do rio Una, no município de Ibiúna – São Paulo, para os anos de 2004, 2008, 2012 e 2015. A partir de técnicas do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, foi possível estimar espacialmente os valores de Ts e albedo e realizar uma análise comparativa sazonalmente entre o mês mais úmidos e o mês de estiagem e comparando com o Uso do Solo e Cobertura Vegetal desta bacia. Sendo assim, os produtos gerados pelo MODIS podem contribuir com o estudo da Temperatura de Superfície e do Albedo através da quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antropomórficos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais necessários para se descrever os processos da superfície terrestre.

Palavras-Chaves: MODIS, albedo, temperatura, sensoriamento remoto, cobertura vegetal.

Spatial Analysis of Temperature Surface and Albedo in the Una River Basin - Ibiúna / São Paulo, from MODIS images

ABSTRACT

Climate monitoring of weather conditions such as temperature and solar radiation, is gaining space with the advancement of data sent by satellites. Increasingly advanced satellites enable, primarily, in addition to a larger coverage, a greater amount of data in a shorter time interval. The MODIS sensor is one of the instruments of the EARTH and satellites Aqua and is designed to satisfy the requirements of three fields of study: atmosphere, Ocean and land, with bands of spectral and spatial resolution selected for these goals and global coverage of 1 to 2 days. On this subject the main objective of this work was the mapping of surface Temperature (Ts) and albedo for the water catchment area of the river basin Una in the municipality Ibiúna – São Paulo, for the years 2004, 2008, 2012 and 2015. From remote sensing and geoprocessing techniques, it was possible to estimate spatially the values of Ts and albedo and perform a comparative analysis seasonally between the month and the month of damp drought and comparing with the use of soil and plant cover of this basin. Thus, the generated MODIS products can contribute to the study of Ts and albedo through the detection and quantification of changes in land cover and natural processes and, thus, in helping anthropomorphic several regional and global models required to describe the processes of the Earth's surface.

Keywords: MODIS, albedo, temperature, remote sensing, vegetation cover.

Introdução

Tendo em vista os impactos ao meio ambiente desde a Revolução Industrial, as mudanças climáticas são as mais profundas, assim tornou-se imprescindíveis os

estudos sistemáticos dessa área. Os processos biogeoquímicos e os processos biogeofísicos que envolvem as trocas de água e energia, estão fortemente relacionados com os ciclos da

vegetação, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental e acaba por afetar diretamente o clima (Souza et al., 2011). Essas trocas podem determinar e influenciar o clima, seu estado e suas variações, e interferem em outras atividades terrestres, de diferentes escalas de tempo, como, por exemplo, a fisiologia e fenologia da vegetação (Oliveira et al., 2011). A radiação solar é a principal fonte de energia para os ecossistemas, atuando diretamente na variação de temperatura da superfície, na intensidade dos fluxos de energia disponível na superfície, no fluxo de calor latente e calor sensível, nas variações de temperatura do ar e do solo e na energia armazenada na biomassa e no ar (Odum, 1972; Machado, 2014). Dentre a grande gama de variáveis interpretáveis, o Albedo e a Temperatura de Superfície (Ts) são consideradas de grande importância no balanço de radiação terrestre (Giongo et al., 2009).

O albedo é a variável climática definida pela razão entre o fluxo de radiação refletido em todas as direções e o fluxo incidente sobre uma dada superfície (Kushari et al., 2011).

A Temperatura de Superfície (Ts) auxilia na compreensão das mudanças climáticas recentes e futuras e também na elaboração de modelos de previsão. A obtenção de dados de Ts pode ser feita remotamente, através de imagens de satélite, ou *in situ*, por meio de geotermômetros, um procedimento que apresenta uma limitação na resolução espacial das análises, pois a heterogeneidade das temperaturas, decorrentes dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, não conseguem ser identificadas (Upmanis et al., 1998; Jin, 2012).

A utilização de imagens de satélite de média resolução, a partir de técnicas do Sensoriamento Remoto (SR), mostra-se eficiente na obtenção de dados em escalas espacialmente pequenas e com grande abrangência na escala temporal.

O SR utiliza as informações provenientes das interações das ondas eletromagnéticas emitidas, ou refletidas, nos objetos observados em cada faixa de comprimento de onda. Em função da estrutura física e química do alvo, as informações dessas interações são registradas em diferentes faixas espectrais. Os sensores imageadores presentes em satélites tem a capacidade de captar o espectro eletromagnético visível e infravermelho da luz, apresentando resolução espectral superior ao das câmeras fotográficas convencionais (Santos, 2016).

Dentre as medidas eletromagnéticas, sobressaem-se a radiação e a reflectância. A

primeira é a medida radiométrica mais apropriada para o SR. É denominada por L_λ e descreve a potência radiante emitida por unidade de ângulo sólido e por unidade de área de superfície, tem unidade expressa em watts por metro quadrado por esterradiano ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$) (Jensen, 2009). Já o conceito de reflectância representa a propriedade de um determinado alvo em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidida e é expressada através dos chamados fatores de reflectância (ρ) (Barbosa, 2006; Ponzoni, 2015; Grondona e Rolim, 2016). Assim, cada alvo na superfície da Terra apresenta um comportamento espectral diferente em relação à radiação eletromagnética, possibilitando a distinção, de maneira geral, deste alvo específico e de outros alvos diferentes. De acordo com as características físicas e químicas dos objetos, a quantidade de energia refletida de cada comprimento de onda interage de formas distintas e com intensidades diferentes, desta forma, as imagens são definidas abrangendo pequenos intervalos, chamados de bandas espectrais. A assinatura espectral ou comportamento espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto (Moraes, 2002).

Os satélites, embora demandem grandes investimentos e muita energia nos seus lançamentos, orbitam em torno da Terra por vários anos com o consumo de energia orbital mínimo, pois a elevada altitude proporciona um ambiente sem resistência do ar e com pequena força gravitacional terrestre, sempre equilibrada pela força centrípeta do movimento orbital do satélite. As imagens da superfície terrestre são coletadas 24 h/dia, durante toda a vida útil dos satélites (Figueiredo, 2005; Jensen, 2009).

As modificações do uso do solo e cobertura vegetal interferem no balanço de energia, na temperatura do ar, na precipitação, na umidade do ar e na circulação regional e global, por isso, os estudos sobre o uso e cobertura da terra devem ser considerados como um fator fundamental na análise do tempo e clima. As tecnologias de estudos espaciais podem contribuir para compreensão das alterações climáticas em escala regional e para a previsão de possíveis impactos ao meio ambiente. As informações geradas podem ser usadas eficientemente como instrumento de análise e previsão junto aos órgãos ambientais competentes, formuladores de políticas e tomadores de decisões para o desenvolvimento de metodologias de preservação ambiental. Pesquisar o comportamento de Ts e do albedo, em uma bacia hidrográfica com diferentes tipos de uso da terra,

para épocas distintas, através da utilização de técnicas do SR sobre os dados do sensor MODIS e de acompanhamento de campo, contribui para análise de diversos aspectos físicos e bióticos, visando o planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um sensor remoto de média resolução espectral que se encontra a bordo dos satélites Terra e Aqua. (Justice et al., 2002). Ambos adquirem dados da superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias. Dentre os sensores da plataforma Terra e Aqua, o sensor MODIS merece destaque devido à sua resolução espacial, espectral e temporal. Este sensor foi projetado para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético. O MODIS pertence ao programa de coleta de dados *Earth Observing System* (EOS), financiado pelo programa *Earth Science Enterprises* (ESE) da NASA, cujo o objetivo principal da ESE é o monitoramento das mudanças ocorridas na atmosfera, nos oceanos e nos continentes (Running et al., 1994). Os dados adquiridos pelo MODIS permitem um monitoramento de longa duração da superfície, sendo um resultado necessário para o entendimento de mudanças em escala global (Justice et al., 2002). O sensor MODIS opera com 36 bandas espectrais, abrangendo as faixas espectrais situadas no intervalo de 0,407 μm à 14,385 μm . Neste dado intervalo, duas bandas apresentam resolução espacial de 250m, cinco bandas apresentam resolução espacial de 500m e 29 bandas apresentam resolução espacial de 1000m. Cada cena MODIS (*tile*) cobre uma área de 1200 km x 1200 km e suas imagens são formatadas segundo a projeção *Integriized Sinusoidal* (ISIN) com dados armazenados no formato HDFEOS (*Hierarchical Data Format – Earth Observing System*). A Tabela 01 mostra as especificações técnicas do MODIS.

O MODIS disponibiliza livre e gratuitamente os produtos denominados MODLAND (Tabela 02) para estudos de ecossistemas terrestre via FTP pelo site da *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC, <<https://lpdaac.usgs.gov>>), em associação da NASA com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

O MOD11 é um produto que fornece dados de temperatura da superfície terrestre (LST – *Land Surface Temperature*) e emissividade diárias da superfície terrestre com resolução espacial de 1 Km (Running et al., 1994; Santos, 2015). É composto por LSTs diurnos e noturnos, qualidade de

avaliação, tempos de observação, ângulos de visada, cobertura de céu claro e emissividades estimadas nas bandas 31 e 32 para tipos de cobertura do solo (Nasa, 2016).

O algoritmo LST recompõe os “*pixels*” com emissividades conhecidas da banda 31 (10,780 - 11,280 μm) e da banda 32 (11,770 - 12,270 μm), a partir dos tipos de cobertura do solo, vapor de água, coluna atmosférica e a menor Temperatura da Superfície (T_s) separadas em subfaixas. Isto se deve ao fato de que a emissividade espectral da cobertura de solos é relativamente estável para o intervalo de comprimento de onda entre 10,5 e 12,5 μm (Wan e Dozier, 1996). Essa técnica é denominada *Split-window* e utiliza uma equação linear com dados da temperatura de brilho dos canais do infravermelho termal (Nasa, 2016). O MOD43 contém um conjunto de dados da distribuição da função da reflectância, variável utilizada para encontrar o valor do albedo (Latorre et al., 2007). Os parâmetros de albedo e T_s gerados a partir das imagens de SR do MODIS são comparados e/ou cruzados com a área de influência direta, fornecendo informações importantes sobre dinâmica ambiental e as alterações climáticas recentes.

Já os levantamentos de uso do solo fornecem subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como por exemplo, os provenientes de desmatamentos, da perda da biodiversidade, das mudanças climáticas, além de fornecer informações do território em diferentes escalas espaciais, de tal forma que possam ser comparadas e periodicamente atualizadas. O sensoriamento remoto além de ferramenta, surgiu como uma nova metodologia de pesquisa para o mapeamento de Uso e Ocupação do solo, revelando a concepção teórica para apreensão espacial e temporal do uso do solo seu conjunto para a gestão da apropriação do espaço geográfico global ou local (Ibge, 2013).

A superfície terrestre interage com a radiação eletromagnética (REM) solar, produzindo trocas de energia e modifica a circulação local. As alterações antrópicas na cobertura da superfície terrestre provocam mudanças nas características físico-químicas e biológicas desta, acarretando mudanças climáticas, como o de desertificação. Com o surgimento de regiões áridas e semiáridas, que tiveram sua vegetação removida, a capacidade de retenção de água no solo é reduzida, aumentando o escoamento superficial do solo e o albedo (Henderson-Sellers, 1996; Verstraete et al., 2008). A qualidade dos resultados e a abundância de pesquisas geram uma base sólida para que o

estudo do uso e cobertura da terra seja considerado como um fator fundamental na análise do clima.

Tabela 01. Especificações técnicas do sensor MODIS.

Características do Sensor MODIS	
Sensor	Whiskbroom
Campo de Visada	100°
Cobertura Espacial	2330 km de largura da faixa
Cobertura Diária	Acima de 30° de latitude
Orbita	Polar – 705 km de altitude
Inclinação	98,2°
Resolução Espacial	250m, 500m, 1000m no nadir
Faixa Espectral	0,407 μm – 14,385 μm (36 bandas)
Periodo Médio	98,9 min
Ciclo de Repetição	16 dias
Imageamento Global	A cada 2 dias

Fonte: Adaptada de Justice et al. (2002).

Tabela 02. Produtos MODIS para Ecossistemas Terrestres

Módulos	Produtos
Produtos Relacionados ao Balanço de Energia	
MOD 09	Reflectância de superfície
MOD 11	Temperatura da superfície da Terra e emissividade
MOD 43	BRDF/Albedo
MOD 10 e 29	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar
Produtos Relacionados à Vegetação	
MOD 13	Grades de índice de vegetação (Máx. NDVI e MVI integrado)
MOD 15	Leaf Area Index (LAI) e FPAR
MOD 17	Fotossíntese líquida e produtividade primária
Produtos relacionados à cobertura terrestre	
MOD 12	Cobertura da terra e mudança de cobertura
MOD 14	Anomalias termais, fogo e queimada de biomassa
MOD 44	Conversão de Cobertura Vegetal

Fonte: Adaptada de Soares et.al. (2007).

Material e métodos

Nesta seção serão apresentados e descritos a área de estudo, os dados utilizados, e a metodologia empregada.

Caracterização geral da área de estudo – A Bacia Hidrográfica do rio Una (Figura 01), integra a décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Sorocaba (UGRHI-10), localizada no município de Ibiúna - São Paulo. A área de estudo foi selecionada por estar inserida em um território de alto desenvolvimento econômico, de expansão agrícola de cultivos temporários e por sofrer impactos diretos das atividades antrópicas, que fragmentam a paisagem de forma sistemática. Ocorre em sua cabeceira a APA da Serra do Mar, a APA de Corumbataí, Botucatu e Tejuapá (São

Paulo, 1998; Pedrazzi et al., 2014), e proximidade com a APA da Represa de Itupararanga, resultante da confluência dos Rios Sorocabaçu, Sorocamirim e Rio Una, formadores do Rio Sorocaba, um dos principais afluentes da margem esquerda do Rio Tietê (IPT, 2008; SMA, 2015; Smith et al., 2005).

De acordo com Lopes et al. (2018), a bacia estende-se por 96km², com forma irregular e alongada, não sujeita a enchentes, altitude média de 937 metros e cota máxima de 1175 metros. O relevo é fortemente ondulado, com declividade média de 18 % e solos com tendência a textura arenosa e menos siltosa e matéria orgânica entre 10 a 60%.

A ocupação regional é bastante diversificada e importantes remanescentes de Mata Atlântica em estado fragmentado, atividades

agropecuárias, loteamentos, reflorestamento e produção de carvão vegetal. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a bacia está situada em uma área de clima Cwa (Clima temperado umido, com inverno seco e verão quente, com temperaturas superiores a 22°C) (Salles, 2008).

A temperatura média, segundo dados do Centro Integrado de Informações

Agrometeorológicas (Ciiagro, 2016) e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) entre 1982 a 2011, foi de 19,39°C. A média da pluviosidade mensal na bacia é de 112,18 mm, sendo Janeiro o mês mais chuvoso, com precipitação média de 206,82 mm, e Agosto, mês mais seco, com média de 44,75 mm, segundo dados pluviométricos referentes à normal climática de 1986 – 2015 (Daae, 2016; Ana, 2016).

Figura 01. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, São Paulo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Una tem grande importância na gestão dos recursos hídricos e naturais da região, pois é o principal área captação de água e geração de energia elétrica para a região centro-oeste do Estado de São Paulo (Rosa et al., 2014). Desta forma, a quantificação de parâmetros biofísicos pode ser empregada no diagnóstico e monitoramento ambiental e na identificação de possíveis alterações do uso e ocupação do solo desta bacia (Sma, 2015).

Base cartográfica - a base cartográfica de orientação foi construída a partir das cartas topográficas do instituto de geografia e cartografia (Igc, 1979) em escala 1:10.000 do município de Ibiúna- SP (folhas: 094/096; 095/095; 095/096;

096/095; 096/096; 097/095; 097/096; 097/094 e 098/095). Essas cartas foram vetorizadas no programa *AutoCAD Map* (Autodesk, 2012) com extração das feições gráficas referentes às curvas de nível, malha hídrica, estradas e características físicas do local. Após a vetorização os arquivos foram transferidos para o ambiente *ArcGis 10.3.1* (Esri, 2015) e os dados vetoriais foram convertidas em matriciais. O limite da Bacia Hidrográfica do Rio Una foi extraído a partir das informações dos vetores da rede hídrica, das curvas de nível e pontos cotados. No final desta etapa foi gerado um banco de dados espacial georreferenciado da área de estudo, que serviu como referência para o georreferenciamento das imagens de satélite e definição da metodologia do estudo.

Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal - foi elaborado tendo como referência as imagens ortorretificadas do satélite *RapidEye* em composição colorida RGB (Red, Blue e Green) com resolução espacial de 5 metros, do mês de Novembro de 2013, cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em convênio com a Universidade Estadual Paulista (ICTS-UNESP).

As imagens referentes à área de interesse foram importadas para o *ArcGis 10.3.1* (Esri, 2015) e recortada para o limite da bacia, a partir do arquivo vetorial da base cartográfica de apoio. O mapeamento da bacia foi realizado por interpretação visual da imagem e edição de arquivos de vetores, em escala 1:10.000, empregando-se as coordenadas planas, datum SIRGAS2000 e fuso 23S; suas classes, subclasses e unidades de uso e cobertura vegetal foram identificados conforme a adaptação do Manual Técnico de Uso da Terra e do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (Ibge, 2012; 2013). Em 2016 foi realizada uma sequência de trabalhos de campo na bacia para retificação das classes.

Aquisição e tratamento das imagens MODIS - As imagens do Sensor MODIS/Terra produtos MOD11 e MODIS/Terra & Aqua, produto MOD43 foram adquiridos através do site <<https://lpdaac.usgs.gov/>> no formato HDF e convertidos para o formato GeoTIFF com o auxílio do programa MRT (*MODIS Reprojection Tool*) disponível em <https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool>. As imagens foram georreferenciadas no sistema UTM/SIRGAS2000, zona 23 S e recortadas para a área de interesse.

Elaboração dos Mapas de Temperatura de Superfície (Ts) - Para a elaboração dos mapas de Ts foram utilizadas as imagens MODIS/Terra produto MOD11 – *Land Surface Temperature and Emissivity Daily L3 Global 1 km Grid SIN*. Após o georreferenciamento das imagens no *ArcGis 10.3.1*, fez-se a conversão dos valores digitais da imagem para Kelvin multiplicando cada pixel por um fator de multiplicação de escala igual a 0.02 (Wan, 1999; Sousa, et al., 2012; Pires, 2015), em seguida, convertido em Graus Celsius, subtraindo 273,15, a partir a ferramenta “*Raster Calculator*”.

Elaboração dos Mapas de Albedo - Para gerar os mapas de albedo foi utilizado o produto MOD43 (*Albedo 16-Day L3 Global 1km*) do sensor MODIS/Terra&Aqua, com resolução espacial de 1 km. As imagens foram adquiridas no formato HDF,

convertidas para GeoTIFF no *software* MRT, e e reprojetadas para UTM/SIRGAS 2000, zona 23 S. As imagens foram submetidas ao módulo de processamento “*Raster Calculator*” do *ArcGis 10.3.1*, no qual cada pixel foi multiplicado por 0,001, seu valor de escala, e por último, através da combinação linear da componente direta (Albedo Black-Sky), da componente difusa (Albedo White-Sky) e a fração difusa, foi gerada uma imagem final com os valores de Albedo Blue-Sky (As), ou albedo de superfície, segundo a equação expressa por Schaaf et al. (2002):

$$As(\theta, \lambda) = [1 - S(\theta, \tau(\lambda))] * \alpha_{bs}(\theta, \lambda) + S(\theta, \tau(\lambda)) * \alpha_{ws}(\theta, \lambda)$$

Onde: $\alpha_{bs}(\theta, \lambda)$ = albedo Black-Sky; $\alpha_{ws}(\theta, \lambda)$ = albedo White-Sky; θ = ângulo zenital solar; λ = comprimento de onda; $\tau(\lambda)$ = profundidade óptica; $S(\theta, \tau(\lambda))$ = fração de luz difusa.

Para obtenção do albedo de superfície (As), a partir da interpolação do α_{bs} e do α_{ws} , deve-se considerar a fração da radiação solar que é difundida pelos constituintes atmosféricos, dependendo, assim, da profundidade óptica dos aerossóis.

O albedo White-Sky é a componente de iluminação difusa isotrópica na ausência da componente de iluminação direta, e o albedo Black-Sky é a componente de iluminação direta na ausência da componente de iluminação difusa (Lewis e Barnsley, 1994; Strahler et al., 1999; Pape; Vohland, 2010; Oliveira, 2015). O valor da fração de luz difusa $S(\theta, \tau(\lambda))$ é obtida da tabela SKYL LUT (do inglês Sky Light Look-UpTable), disponível no produto MOD43 (Schaaf, 2004; Giong et al. 2009; Pape e Vohland, 2010).

Essa tabela contém valores de $S(\theta, \tau(\lambda))$ em função do tipo de aerossóis (continentais ou marítimos), profundidade óptica (0 a 1) e ângulo zenital solar (0° a 89°), corrigidos dos efeitos atmosféricos. O albedo de superfície foi calculado assumindo-se o tipo de aerossol continental e a profundidade óptica do aerossol no intervalo de 0,25-4,0 μ m, obtido no site Giovanni (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center - GES DISC) de domínio da NASA (Acker e Leptoukh, 2007), aplicando a equação para $S(\theta, \tau(\lambda)) = 0,74$; $\tau(\lambda) = 0,2$ para $\theta = 0^\circ$, como estipulado no pacote computacional do produto MCD43.

Resultados e discussão

A Figura 02 apresenta o mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal realizado com as

imagens do satélite *RapidEye* do mês de Novembro de 2013. No alto do Rio Una há o predomínio de Área Florestais e Culturas Temporárias, as quais são definidas como áreas de plantio de hortaliças e leguminosas; já no baixo Una estão as áreas de ocupação antrópica urbana. De acordo com a

Figura 02, pode-se observar um gradiente da diminuição das áreas de exposição antrópica (rural e urbana) da jusante em direção à montante do rio Una.

Figura 02. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da área da Bacia Hidrográfica do rio Una.

A Tabela 03 apresenta os valores, em hectares, de cada tipo de uso e a sua porcentagem em relação à área da bacia. A silvicultura, ou cultura de longo período, ocupa 3,24% do território distribuídas ao longo da bacia. Campo Degradado ocupa 5,65% da área, dentro desse valor estão enquadradas as áreas de campo degradado e solo exposto. A bacia apresenta 37,05% do seu território identificados como Área Florestal, todavia, mais de 38% é de áreas agrícolas (temporária ou de longo período). Esse predomínio da agricultura pode indicar que a área sofre grande interferência humana. As ocupações antrópicas, que alteram a paisagem, interferem nas características ambientais e dos ecossistemas locais, por exemplo, pelo uso intensivo e indiscriminado de agrotóxicos, além

dos desmatamentos e uso intensivo e prolongado de monoculturas (Zanella, 2011; Sales, 2015).

O Sensor MODIS apresenta uma resolução de temporal alta, variando de 1 a 2 dias, todavia, muitas imagens apresentam uma alta cobertura de nuvens, desta forma, a seleção destas considerou a cobertura de nuvens sobre a região e a qualidade das imagens. As imagens finais de Ts para cada mês são produtos da média de 5 a 6 imagens com qualidade dos respectivos meses, com mínima de uma imagem por semana. As imagens são dos meses Janeiro e Agosto para os anos 2004, 2008, 2012 e 2015 e foram escolhidas devido às condições climáticas da área estudada, que apresenta época de maior umidade em Janeiro e período de estiagem em Agosto, a fim de comparar a interferência e influência da água no sistema.

A imagens resultantes apresentavam resolução espacial de 1 km e um total de 112 pixels, para fim de melhor visualização e posterior comparação com os diferentes usos do solo, essas imagens passaram por um processo de reamostragem de pixels a partir da função *Spline*

do Arcgis 10.3, que possibilitou a produção de imagens com resolução de 10 metros. E por último, foi realizado o recorte do limite da bacia usando a função *“Extract by Mask”*.

Tabela 03. Classes de uso do solo da Bacia Hidrográfica do rio Una

Tipos de Uso e Cobertura	Área (ha)	% Total
Água	123,61	1,27
Área Campestre	100,86	1,04
Área Florestal	3589,60	37,05
Área Rural Antrópica	1028,38	10,61
Área Urbana	392,34	4,05
Cultura Temporária	3472,25	35,37
Pastagem	108,29	1,12
Aterro Sanitário	3,36	0,03
Silvicultura	313,45	3,24
Campo Degradado	556,32	5,75
Total	9688,52	100

A temperatura de superfície (T_s) (Figura 03 e 04) teve uma amplitude de 19,08°C e 30,36°C no período analisado. As temperaturas mais elevadas ficaram concentradas no mês de Janeiro,

influenciado pela maior intensidade de radiação no verão para o Hemisfério Sul, em detrimento das temperaturas mais baixas em Agosto.

Figura 03. Temperatura de Superfície na Bacia Hidrográfica do rio Una para Janeiro dos anos de 2004, 2008, 2012 e 2015, respectivamente.

Figura 04. Temperatura de Superfície na Bacia Hidrográfica do rio Una para Agosto dos anos de 2004, 2008, 2012 e 2015, respectivamente.

As imagens da Figura 03 e 04 além de evidenciar redução dos valores de temperatura de Janeiro (verão) para Agosto (inverno), também evidenciam a relação entre a Ts com o uso e cobertura do solo. Em destaque para as áreas agrícolas temporárias e as áreas urbanizadas da bacia, que apresentaram valores significativamente maiores que as áreas de florestas e de silvicultura instaladas na área.

Observa-se também a influência da altitude do relevo na Ts, de maneira que quanto maior a altitude, menor a temperatura (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Na montante da bacia os valores de Ts eram os mais baixos, coincidindo com as maiores área de cobertura vegetal e com altitudes variando entre 950 m e 1170m, no enquanto, na jusante, com altitude entre 850m e 950 m, foram encontrados os maiores valores de temperatura. As

áreas com coloração amarelada são as mais quentes e as área mais frias estão em roxo.

A Ts de Janeiro de 2004 variou entre 24,97°C e 26,62°C, com frequência acumulada em 25,68°C. Em Agosto essa variação foi de 19,08°C a 22,66°C, mas com média 21,49°C. Analisando esses valores é perceptível uma amplitude térmica maior em agosto, fenômeno causado pela radiação solar, que aumenta a cada dia com a chegada do término do inverno em Setembro e pela baixa umidade do ar.

No ano de 2008 a variação da Ts em Janeiro foi de 21,97 a 26,62°C, já em Agosto esse gradiente foi entre 21,34 a 24,52°C. As Ts médias foram, respectivamente, 24,68°C e 23,18°C. Diferentemente do ano de 2004, a imagem de Agosto de 2008 não apresentou uma amplitude térmica tão representativa, o que pode ser explicado pelo volume de chuva nesse mês que

teve média de 77,4mm, sendo que a média para mês na bacia é de 44,57mm.

A Ts média em Agosto de 2012 foi igual a 22,20°C, com máxima de 24,23 e mínima de 19,60°C. Essa amplitude térmica pode ser explicada pela baixa umidade do ar. Conforme dados do DAAE e ANA, Agosto de 2012 choveu apenas 6mm. Em contrapartida, em Janeiro a média foi de 24,99°C, apesar de ter variado entre 22,23 a 28,64°C, assim a Ts teve uma distribuição mais suave.

A água apresenta uma capacidade térmica elevada (1cal/°C) quando comparada com outras substâncias, como solo e vegetação, o que permite adquirir ou perder calor com menos facilidade, assim, quando há água no sistema, as flutuações da Ts são suavizadas e, portanto, é reduzida a amplitude térmica; a precipitação atua como regulador térmico nesse caso (Varejão-Silva, 2006).

A análise da Ts deve levar em consideração a hora da passagem do satélite Terra sobre a área de estudo, ou seja, as Ts aqui apresentadas são referentes aos dados capturados pelo sensor as 10h30m da manhã. Em 2015 é observado um padrão diferente dos analisados. Em Janeiro a média foi de 28,36, com variação entre 25,90 a 30,37°C e em Agosto a média encontrada foi 23,55°C.

Considerando que o horário entre 12h e 15h concentram as temperaturas máximas diárias e os dados analisados do sensor MODIS são do período da manhã, 2015 apresentou temperaturas mais elevadas que a média para os meses de análise. Segundo dados do CIIAGRO, a temperatura média para Janeiro é 22,17°C e para Agosto é 17°C. É possível inferir que o ano de 2015 apresentou um comportamento climático anômalo. Além das temperaturas mais elevadas a precipitação média mensal também foi superior à média dos últimos 30 anos, o que corrobora com essa inferência. Essa anormalidade é pode ser explicada pela ocorrência do fenômeno El Nino de forte intensidade.

O mapeamento do albedo para a área de estudo foi realizado para os mesmo meses que a Ts. Da mesma forma que as imagens de Ts, as de albedo apresentam resolução espacial de 1 km e um total de 112 pixels, a partir da função “Spline” do Arcgis 10.3, os pixels foram reamostrados para uma resolução de 10 metros. E por fim, foi recortada a área da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Os valores de albedo encontrados para o período analisado oscilaram entre 0,121 e 0,196, como visualizados nas imagens da Figura 05. As

imagens de albedo evidenciam o aumento da variação e dos valores de albedo nos meses de Janeiro, mês úmido, e a redução do albedo no período de estiagem, mês de Agosto. Os valores mais baixos estão representados por tons mais escuros de nível de cinza, e são condizentes com a presença de vegetação e/ou umidade (Lopes, 2005).

A diferença entre os meses analisados evidenciou a estreita relação da sazonalidade climática com a variação da cobertura vegetal e uso do solo. As áreas construídas e de solo exposto apresentaram maiores valores de albedo da superfície (áreas claras), enquanto que as áreas de vegetação arbórea apresentaram menores valores de albedo (áreas escuras).

Os valores albedo são expressos em escala de zero até 1, mas a maior parte das áreas terrestres se encontra na faixa de albedo entre 0,1 a 0,4 (Tabela 04).

Tabela 04. Valores de Albedo.

Classe de uso	Albedo
Solo	0,05 – 0,40
Vegetação	0,005 – 0,20
Água	≈ 0,10

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2007).

O albedo típico para superfície com solo exposto varia entre 0,05 e 0,40 e para cobertura vegetal o albedo oscila entre 0,005 a 0,20 (Lopes, 2007). Posto isto, não é possível classificar o tipo de uso e cobertura do solo em função do valor de albedo, mas a análise espacial da variação do albedo é fundamental para entender as mudanças da cobertura superficial, sendo fundamental para os estudos de processo de desertificação (Lopes, 2005).

No caso da Bacia Hidrográfica do Rio Una, foi observada uma variação do albedo médio no período de estudo. Os maiores valores encontrados foram em Janeiro de 2008, que apresentou média de 0,17 e os valores menores em Agosto de 2004, com média igual a 0,13. Esse padrão dos maiores percentuais para Janeiro, vistos em todos os anos, é resultante do período chuvoso, observado na séria histórica e da presença de vegetação saudável. Parar Dagbagnon et al. (2015) essa relação é verdadeira, já que há uma relação direta entre a disponibilidade hídrica e climatológica com a abundância da cobertura vegetal.

Figura 05. Albedo na Bacia Hidrográfica do rio Una para os anos de 2004, 2008, 2012 e 2015, respectivamente.

Conclusão

As mudanças ocasionadas pelo uso e ocupação se refletem nas alterações climáticas. Ao modificar a superfície há mudança no albedo e, conseqüentemente, na reflectância, o que altera o balanço de radiação e, assim, a temperatura de superfície. O mapeamento de temperatura de superfície e o Albedo aumentam do centro para o norte, na área delimitada pela mancha urbana.

Esse comportamento era esperado, dado que as superfícies urbanas absorvem mais radiação, principalmente pela presença de asfalto e telhado. A região central da bacia é caracterizada pela concentração de atividades agrícola temporárias e

silvicultura, práticas que degradam o solo e durante um período do ano deixam o solo exposto, absorvendo mais radiação eletromagnética que as com cobertura arbórea ou corpos hídricos. Já a região da montante apresenta sua área coberta por matas e com uma menor área de interferência antrópica, disto se dá os valores menores de Temperatura de superfície e albedo encontrados.

Embora exista o efeito da reflectância sobre a temperatura, denominado retroalimentação albedo-temperatura, ele é mais intenso nas regiões mais frias e brancas da Terra ou nos trópicos. Assim sendo, na área de análise não é possível relacionar o aumento da temperatura ao aumento

do albedo. A diferença da Temperatura de superfície e do albedo entre as classes de usos de solos está ligada à estrutura e/ou falta da vegetação e à disponibilidade hídrica da superfície, sendo que quanto maior a interferência antrópica maiores os valores de Temperatura de superfície e do albedo.

Os resultados indicaram, portanto, uma redução Ts entre Janeiro e Agosto, enquanto a redução do albedo para o mesmo período podem estar associados com a sazonalidade climática da área de estudo. Confirmou-se também a relação da variação da Temperatura de superfície e do albedo com os diferentes tipos de cobertura do solo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo financiamento da pesquisa e Bolsa de Mestrado da primeira autora e ao Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP).

Referencias

- Acker, J.G., Leptoukh, G., 2007. Online analysis enhances use of NASA Earth Science Data. Eos, Transactions, American Geophysical Union 88, 14 – 17.
- ANA. Agência Nacional de Águas., 2016. Hidroweb. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso: 17 jan. 2016.
- Barbosa, K.M.N., 2006. Monitoramento espacial de biomassa carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central. 2006. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curitiba, Universidade Federal do Paraná.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo., 2008. Plano de Bacias do Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Sorocaba e Médio Tiete - CBH-SMT. São Paulo.
- Christen, A., Vogt, R., 2004. Energy and radiation balance of a central European city. International Journal of Climatology 24, 1395-1421.
- CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas., 2016. Clima São Paulo. Disponível: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/climasp.html>. Acesso: 15 jan. 2016.
- DAEE. Departamento de Aguas e Energia Eletrica. Banco de dados hidrológicos. Disponível: <http://www.hidrologia.dae.gov.br/>. Acesso: 17 jan. 2016.
- Dagbegnon, C., Djeboua, S., SinghaI, V.P., 2015. Retrieving vegetation growth patterns from soil moisture, precipitation and temperature using maximum Entropy. Ecological Modelling 309–310, 10–21.
- Figueiredo, D.. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Manuais Conab, 2005
- Giongo, P.R., Padovani, C.R., Vettorazzi, C.A., 2009. Variabilidade espacial e temporal do albedo obtido a partir de imagens MODIS na região do Pantanal, in: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, pp. 4715-4722.
- Grondona, A., Rolim, S. B. A., 2016. Separação de temperatura e emissividade a partir de imagens do infravermelho termal: análise de suas aplicações/restrições. Boletim de Ciências Geodésicas 22, 16 -34.
- Henderson-Sellers A. 1996. Soil moisture simulation: achievements of the RICE and PILPS intercomparison workshop and future directions. Global and Planetary Change 13, p. 99-115.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro.
- Jensen, J.R. 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Parêntese, São José dos Campos.
- Jin, M.S., 2012. Developing an index to measure urban heat island effect using satellite land skin temperature and land cover observations. Journal of Climate 25, 6193-6201.
- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P., Morisette, J.T., 2002. An overview ofmodisland data processing and product status. Remote Sensing of Environment 83, 3–15.
- Kushari, B.; Kanitpong, K., 2011. Surface albedo of bangkok roads Proceedings of the eastern Asia Society for Transportation Studies 8, 1-6.
- Latorre, M.L., Shimabuko, Y.E., Anderson, L.O., 2007. Produtos para ecossistemas terrestres – MODLAND, in: Rudorff, B.F.T., Shimabuko, Y.E.; Ceballos, J.C. (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. Editora Parêntese, São José dos Campos, pp. 23-36.

- Lewis, P., Barnsley, M.J., 1994. Influence of the sky radiance distribution on various formulations of the earth surface albedo, in: Proc. Conf. Phys. Meas. Sign. Remote Sens. Val d'Isere, Paris, pp. 707 – 715.
- Lopes, H.L., 2005. Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco à desertificação Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- Lopes, P.M.O., Valriano, D.M., 2007. Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas, in: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, pp. 2805-2812.
- Lopes, E.R.N., Souza, J.C., Sousa, J.A.P., Albuquerque Filho, J.L., Lourenço, R.W., 2018. Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do rio Una – Ibiúna, Brasil 33, 105-127.
- Machado, C.C., Silva, B.B., Albuquerque, M.B., Galvncio, J.D., 2014. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. Revista Brasileira de Meteorologia 29, 55-67.
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I.M., 2007. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. Oficina de texto, São Paulo.
- Moraes, E.C., 2002. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos.
- Odum, P., 1972. Ecologia. México, Nueva Editorial Interamericana.
- Oliveira, L.M.T., França, G.B., 2011. Variações do Parâmetro Biofísico Fapar ao Longo do Ano e sua Utilização na Indicação da Atividade Fotossintética. Revista Brasileira de Cartografia 63, 85-92.
- Pape, M., Vohland, M.A., 2010. Comparison of total shortwave surface albedo retrievals from MODIS and TM data, in: ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, p.447-45.
- Pires, E., 2015. Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias. Revista Interface, 10, 133-144.
- Ponzoni, F.J., 2015. Shimabukuro, Y.E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. Editora Parentese, São José dos Campos.
- Predazzi, F.J.M., Conceição, F.T.; Sardinha, D.S., Moschini-Carlos, V., Pompeo, M., 2014. Avaliação da qualidade da água no reservatório de Ituparanga, bacia do Alto Sorocaba (SP). Geociências 33, 26-38.
- Rosa, F.S., Tonello, K.C., Valente, R.O.A., Lourenço, R.W., 2014. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science 9, 526-539.
- Running, S.W. et al., 1994. Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms planned for EOS/MODIS. International Journal of Remote Sensing 15, 3587-3620.
- Sales, J.C.A., 2015. Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Sorocaba, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista.
- Salles, M.H.D., Conceição, F.T., Angelucci, V.A., Sia, R., Pedrazzi, F.J.M., Carra, T.A., Monteiro, G.F., Sardinha, D.S., Navarro, G. R.B., 2008. Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Ito Sorocaba (SP). Revista de estudos ambientais 10, 6-20.
- Santos, A.R. Noções Teóricas e Práticas de Sensoriamento Remoto. Disponível: http://www.mundogeomatica.com.br/Fotogrametria/Livro_Fotogrametria/Capitulo_4.NoçõesTeóricasPráticasdeSensoriamentoRemoto.pdf. Acesso: 12 jun. 2016.
- São Paulo. 1998. Lei nº 10.100, de 1º de dezembro. SMA-SP. Secretaria do Meio Ambiente do Estado De São Paulo. Sistema ambiental paulista: Área de Proteção Ambiental Ituparanga. Disponível: <http://www.ambiente.sp.gov.br/apa-ituparanga/sobre-a-apa/>. Acesso: 10 abr. 2015.
- Schaaf, C.B.F. et al., 2002. First Operational BRDF, Albedo and Nadir Reflectance Products from MODIS. Remote Sensing of Environment 83, 135-148.
- Varejão-Silva, M.A. 2006. Meteorologia e Climatologia. 2Ed. Recife. Disponível em: http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso: 20 set. 2016.

- Smith, W.S. 2005. A bacia do rio Sorocaba: caracterização e principais impactos. *Revista Científica do IMAPES* 3, 51-57.
- Soares, J.V., Batista, G.T., Shimabuko, Y.E., 2007. Histórico e descrição, in: Rudorff, B.F.T., Shimabuko, Y.E., Ceballos, J.C. (Org.). Editora Parêntese, São José dos Campos, pp. 1-10.
- Sousa, S.B., Ferreira, L.G., 2012. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011). *Confins* 15, 1-21.
- Souza, D.C., Oyama, M.D., 2011. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid Área of Northeast Brazil. *Theoretic a land Applied Climatology* 103, 345-357.
- Strahler, A.H. et al., 1999. MODIS BRDF/ Albedo Product: Algorithm theoretical basis document. Version 5.0, p. 9-10.
- Upmanis, H., Eliasson, I., Lindqvist, S., 1998. The influence of green Área on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology* 18, 681-700.
- Varejão-Silva, M.A. 2006. *Meteorologia e Climatologia*. Versão Digital, Recife.
- Verstraete, M.M., Brink, A.B., Scholes, R.J., Beniston, M., Smith, M.S., 2008. Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go?. *Global and Planetary Change* 64, 105-110.
- Wan, Z., Dozier, J.A., 1996. Generalized split – window algorithm for retrieving land surface temperature from space. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing* 34, 892-904.
- Zanella, L., 2011. Análise da interferência antrópica na fragmentação da Mata Atlântica e modelos de simulação de paisagem na microrregião da serra da mantiqueira do estado de Minas Gerais. *Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada)*. Lavras, Universidade Federal de Lavras.