

Quantificação da perda de água por evapotranspiração em diferentes usos da terra da Bacia do Rio Vieira

Quantification of water loss by evapotranspiration in different land uses of the River Vieira Basin

Marcos Esdras Leite

Doutor em Geografia - Professor do Departamento de Geociências – UNIMONTES, Brasil
[marcos Esdras Leite@gmail.com](mailto:marcos.Esdras.Leite@gmail.com)

Maria Ivete Soares de Almeida

Doutora em Geografia – Professora do Departamento de Geociências - UNIMONTES, Brasil
ivetegeo@yahoo.com.br

Lucas Augusto Pereira da Silva

Mestrando em Geografia pelo PPGE0 – Programa de Pós-Graduação em Geografia - UNIMONTES, Brasil
lucaskaio1605@gmail.com

Manoel Reinaldo Leite

Mestre em Geografia - Professor do Departamento de Geociências - UNIMONTES, Brasil
leitemanuelreinaldo@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo quantificar a perda de água por evapotranspiração real diária em diferentes usos da terra na bacia do rio Vieira em Minas Gerais, por meio de técnicas de sensoriamento remoto para o período de 17/06/2016. Diante dos dados obtidos, pode-se analisar os usos da terra que perdem maior quantidade de água por evapotranspiração, sendo as áreas de vegetação nativa (com vegetação rala inserida), as grandes potencialidades para a perda de água por meio de evapotranspiração exceto as áreas de Floresta Tropical Caducifólia, devido as suas características fenológicas de perder parte de sua folhagem durante o inverno (período analisado neste estudo). As áreas de eucalipto (uso antropogênico) também entram na estatística de uso da terra que perde mais água por evapotranspiração. Já as menores perdas são destinadas aos usos da terra de Pastagem, solo exposto, urbano e influência mineradora e pasto degradado.

Palavras-chave: SEBAL, Usos da terra e Evapotranspiração Real Diária.

Abstract

The objective of this work was to quantify the loss of water by daily real evapotranspiration in different Land uses in the Vieira river basin in Minas Gerais, using remote sensing techniques for the period of 06/17/2016. Considering the obtained data, it is possible to analyze the land uses that lose more water by evapotranspiration, being the areas of native vegetation (with sparse vegetation inserted), the great potentialities for the loss of water through evapotranspiration except for the areas of tropical deciduous forest, which due to its phenological characteristics of losing part of its foliage during winter (period analyzed in this study). The areas of eucalyptus (anthropogenic use) also enter into the statistics of land use that loses more water by evapotranspiration. Already the smaller losses are destined to the uses of the Land of, Grassland, soil exposed, urban and mining influence and degraded grass.

Keywords: SEBAL, Land Uses and Daily Real Evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida no planeta, está presente na maioria das dinâmicas naturais que dão condições para a manutenção da vida na terra, além das atividades econômicas que suprem as necessidades das populações.

Portanto, compreender a dinâmica ocorrida entre os recursos hídricos e fenômenos que condicionam sua disponibilidade é algo de extrema importância para a gestão e manejo deste recurso.

Entre estes fenômenos, pode-se citar a evapotranspiração, que, de acordo com de Tubelis e Nascimento (1980), é a perda de água na superfície para a atmosfera em forma de vapor. Este fenômeno ocorre através de dois processos, a evaporação e transpiração.

Consoante Veloso *et al.*, (2017) a evaporação é processo que ocorre por meio da transferência da água da superfície para atmosfera em forma de vapor, removida dos lagos, rios, oceanos, solo úmido e vegetação úmida. Enquanto a transpiração decorre a partir da perda da água pela vegetação, através de orifícios na parte superficial das folhas. A evaporação é um processo físico, já a transpiração é um processo biológico (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

Desta forma a evapotranspiração tende a ser potencializada pelo uso da terra numa determinada superfície e sua eficiência evapotranspirativa está associada à disponibilidade hídrica, radiação solar e os nutrientes necessários para permitir os processos biológicos supracitados.

Outro fator que pode condicionar a evapotranspiração é a temperatura e umidade relativa do ar. A temperatura atua em conjunto com a umidade relativa do ar, ambos condicionando a pressão de vapor, assim sendo condicionantes ao gradiente de vapor, entre superfície e o ar vizinho (VILLELA; MATTOS, 1975).

Giongo (2011) explicita que, a umidade relativa do ar, é fator determinante para as taxas de evapotranspiração, uma vez que, a baixa umidade reflete em uma demanda evaporativa elevada para a atmosfera.

Ainda para o autor supracitado, esta demanda evaporativa da atmosfera refere-se a capacidade de remoção de água da superfície, necessária para a manutenção do ciclo hidrológico e da quantidade de calor latente utilizado para o desenvolvimento de seus processos. Diante disso, pode-se argumentar que, quanto maior a umidade relativa do ar, menor a demanda evaporativa da atmosfera, conseguinte, menor a evapotranspiração.

Outro fator crucial é o vento, este elemento aumenta a intensidade da evapotranspiração, pois o mesmo afasta das superfícies evaporantes as massas de ar úmidas, trazendo as massas com menor teor de vapor d'água (VILLELA; MATTOS, 1975).

Em função destes conjuntos de processos a evapotranspiração torna-se um parâmetro meteorológico difícil de ser mensurado, principalmente considerando uma superfície regional contínua. Já que as estações convencionais apresentam dados pontuais e homogêneos.

A limitação deste modelo de dados promoveu a busca de dados de evapotranspiração apoiados em outras técnicas, como o sensoriamento remoto, que, para Rosa (2011) é a forma de obter informações acerca da superfície terrestre sem que haja contato físico com os corpos situados na mesma.

Em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, são desenvolvidos modelos lógicos que auxiliam na obtenção de dados sobre a perda de água da superfície por evapotranspiração, como o *Surface Energy Balances Algorithm for Land* (SEBAL) proposto por Bastiaanssen (1995).

O SEBAL é um algoritmo de grande aceitação na comunidade científica, uma vez que o mesmo vem propiciando vários resultados satisfatórios quanto à mensuração de dados envolvendo o balanço de radiação e energia Giongo (2011).

Este algoritmo foi testado e validado em diversas regiões do mundo como, por exemplo, E.U.A, China, Egito, Espanha, Argentina, Índia, Brasil entre outros, conforme Tasumi (2003).

Desta forma, este trabalho objetivou quantificar a perda de água por evapotranspiração real diária em diferentes usos da terra na bacia do rio Vieira em no município de Montes Claros, MG, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e do algoritmo SEBAL, para o período de 17/06/2016.

A escolha da bacia hidrográfica do rio Vieira se justifica uma vez que esta área concentra a cidade de Montes Claros que é a maior do Norte de Minas Gerais com cerca de 400.000 habitantes e, cujas oscilações dos usos da terra vem provocando problemas no quadro ambiental, principalmente considerando os recursos hídricos e a demanda por água neste ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A bacia do Rio Vieira está localizada no Norte do estado de Minas Gerais, totalmente inserida dentro dos limites do município de Montes Claros, de acordo com a figura 1, ocupando uma área de 578,31 km², a qual equivale a 16,20% das terras do município (LEITE, 2011), localizadas, especificamente, no polígono formado pelas coordenadas 16° 32' 53'' e 16° 51' 26'' de latitude S e 43° 44' 05'' e 44° 03' 40'' de longitude W.

O perímetro urbano do município de Montes Claros ocupa 15,80% da área da bacia, o qual, conforme destacam os dados do censo de 2010 do IBGE, abriga uma população de 344.479 habitantes, apontando uma densidade demográfica de 3971,1 hab/km², valor 37,18 vezes maior que

a densidade demográfica do município, cuja população total é de 361.915 habitantes, distribuídos numa área de 3.568,94 km² (IBGE, 2011).

No entender de Leite (2006), Montes Claros se destaca como um dos principais entroncamentos rodoviários do país. Sendo três rodovias federais e duas rodovias estaduais passando pelo perímetro urbano. São elas: a BR 135, que liga Montes Claros a Belo Horizonte e ao Estado da Bahia; a BR 365, que liga a Uberlândia; a MG 251, que conecta a BR 116 (Rio - Bahia) a Montes Claros; a MG 308, que liga Montes Claros ao município de Juramento, e a MG 654, que conecta Montes Claros ao Noroeste de Minas.

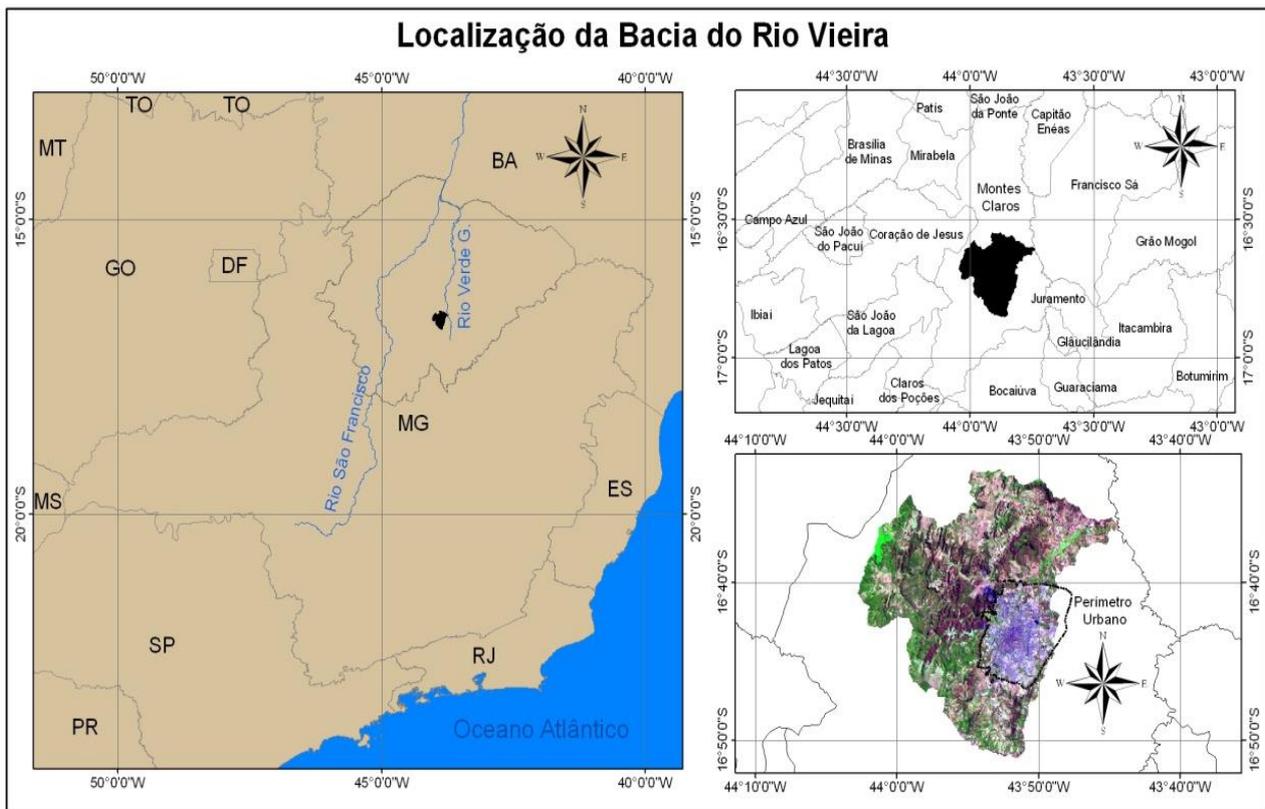


Figura 1 - Localização da bacia do Rio Vieira.

No tocante o clima da Bacia, de acordo com Nimer e Bandão (1989), a bacia se enquadra no perfil tropical quente semiúmido úmido, próximo aos limites do semiúmido seco, com períodos de 4 a 6 meses secos.

Barros (2010) objetivando determinar o índice de aridez da mesorregião Norte de Minas, através da espacialização de dados de dezenove estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ratificou a classificação de Nimer e Brandão ao encontrar índice de aridez para a estação de Montes Claros, localizada dentro das terras drenadas pela bacia do Rio Vieira, maior que 0,65, fato que permitiu à autora classificar a área como subúmido úmido.

Dentre as características deste clima, destaca-se a ocorrência de verão quente e chuvoso, e inverno quente e seco (LEITE,2011). A precipitação média anual gira em torno de 1.082,4 mm. O

período das chuvas se concentra entre os meses de outubro a março, sendo os meses de dezembro e janeiro os mais chuvosos. A temperatura média anual é de 23,5 °C, a temperatura média máxima anual corresponde a 25,05 °C e a temperatura média mínima corresponde a 20,5 °C (BARROS, 2010).

De acordo com dados levantados por Leite (2011) a geologia da região, na qual está inserida a bacia do Rio Vieira, é marcada pelo contato entre a bacia sedimentar Neoproterozóica do São Francisco e entre as rochas siliciclásticas Mesoproterozóicas da Serra do Espinhaço, na borda SE do Cráton do São Francisco. Estas estruturas geológicas marcam a diferenciação Morfoestrutural da área. No que se refere à bacia do Rio Vieira, no entanto, está situada apenas nas áreas da bacia sedimentar do São Francisco, na margem esquerda do Rio Verde Grande.

Do ponto de vista morfoestrutural, a bacia do Rio Vieira se localiza na bacia sedimentar do São Francisco. Essa estrutura apresenta terrenos entre 550 e 1100 m de altitude, na área de estudo. (LEITE,2011).

No tocante a vegetação natural da bacia, estão presentes, áreas de Cerrado, Floresta tropical Caducifólia e Floresta Tropical Sub caducifólia. Com Cerrado Arbustivo e Arbóreo distribuído na extensão territorial da Bacia, com Cerrado arbóreo nos topos das Serras e Arbustivo nas áreas mais aplainadas.

2.2. Procedimentos Técnicos Operacionais

Em um primeiro momento, foi selecionado um produto cartográfico junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), este produto é proveniente do satélite Landsat – 8 (OLI/TIRS) referente a data: 16/07/2016 e a órbita 219 e ponto 71.

Após a escolha do produto, seguiu-se o Processamento Digital da Imagem (PDI), que consistiu inicialmente em compor as bandas necessárias para este estudo, que são, banda 2,3,4,5,6,7 e 10, cujo as características estão expostas na tabela 1, esta composição foi feita através da ferramenta *Layer Stack no software ERDAS 2014*.

Tabela 1 - Características das bandas utilizadas.

Bandas	Características	Comprimento de onda (micrometros)	Resolução Espacial (metros)
2	Azul	0.450 - 0.51	30
3	Visível Verde	0.53 - 0.59	30
4	Visível Vermelho	0.64 - 0.67	30
5	Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88	30
6	Infravermelho Médio/SWIR	1.57 - 1.65	30
7	Infravermelho Médio/SWIR	2.11 - 2.19	30
10	Infravermelho Termal (TIRS)1	10.60 - 11.19	100

Fonte: Serviço Geológico dos EUA.

Em segundo momento, fez-se necessário a utilização de dados de altimetria do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponíveis no site TOPODATA, a fim de delimitar a bacia hidrográfica do Rio Vieira em ambiente computacional.

Foi utilizada a folha SE-23-X-A para extração automática da bacia. Esta extração automática consistiu nas seguintes etapas apresentadas na figura 2:

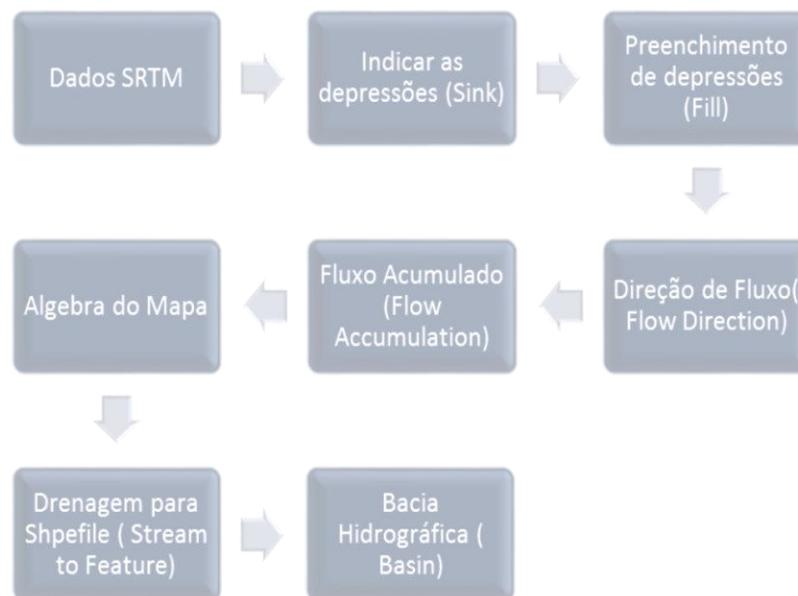


Figura 2: Fluxograma com procedimentos para extração de bacias.

Utilizou-se a extensão *Spatial Analyst*, e ferramenta *Hydrology* do *software Arcmap 10.3.1* para dar seguimento a esta análise de extração de Bacias. Logo após este procedimento, seguiu-se as etapas listadas na figura 2.

- **SINK:** Cria um *raster* identificando todas as depressões, áreas de drenagem interna e vazios ou erros do SRTM ou outro *raster* de superfície.
- **FILL:** Preenche pequenas imperfeições nos dados e remove todos os *sinks* do *Raster* de superfície.
- **FLOW DIRECTION:** Para definir as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia.
- **FLOW ACCUMULATION:** para definir o grau de confluência do escoamento associado ao comprimento de rampa, ou seja, a área de captação.
- **ALGEBRA DO MAPA:** Esta expressão matemática é criada com base em preposições que podem surgir ao decorrer do trabalho. A função *CON*, determina um teste lógico e retorna um resultado. No que tange a uma rede de drenagem, cria-se uma condição para criar o limiar, filtrando apenas os pixels significativos. Seguindo as etapas: *Spatial Analyst- Map Algebra- Raster Calculator*, abrirá no *ArcMap 10.3.1* o espaço para inserir a expressão

lógica (matemática): *Con (''FLOW_ACCUMULATION.tif'' > 500,1)*, após isto, a rede de drenagem será visualizada na plataforma do ArcMap.

- *STREAM TO FEATURE*: Esta etapa consiste na vetorização da drenagem.
- *BASIN*: Esta etapa consiste na extração da bacia hidrográfica.

Da posse do limite da bacia do Rio Vieira, foi realizada a segunda extração, sendo feita utilizando o limite da bacia obtido através da imagem SRTM para obter a bacia no produto cartográfico OLI/TIRS.

Feita esta extração, foram realizadas análises por foto – leitura para identificação dos usos da terra na bacia, em seguida coletou-se amostras na imagem para realizar a classificação supervisionada, que segundo Novo (2008), permite ao analista está em constante interação com o sistema de análise digital, dispondo de informações sobre a cena. Este mapeamento foi realizado no software Arcmap 10.3.1.

O classificador utilizado foi o MaxVer, que é a classificação por máxima verossimilhança, que considera a ponderação das distâncias entre a média dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (LILLESAND *et al.*, 2007).

Nessa classificação cada pixel é destinado à classe que tem mais alta probabilidade de ser similar, ou seja, a máxima verossimilhança. É um classificador mais eficiente porque são utilizadas classes de treinamento para estimar a forma de distribuição dos pixels contidos em cada classe. (MENESES; SANO, 2012, p. 205).

A justificativa deste mapeamento é direcionada à proposta desta pesquisa, de estimar a evapotranspiração real diária por diferentes usos da terra, desta forma as seguintes classes de usos da terra foram selecionadas: Água, Cerrado e Formações afins, Pastagem, Vegetação rala/Pastagem degradada, Floresta Tropical Caducifólia, Floresta Tropical SubCaducifólia, Influência Urbana, Influência Mineradora, Eucalipto e Solo Exposto.

Em seguida, foi realizado o mapeamento da evapotranspiração real diária que teve como suporte técnico o software *Erdas IMAGINE* 2014, destacando a ferramenta *Model Maker* que é um modelador matemático que permite a entrada em blocos das imagens de satélite no algoritmo SEBAL e a operação dos cálculos propostos no algoritmo, além de variáveis condicionais. Os parâmetros das imagens disponibilizadas nos cabeçalhos das mesmas, como tempo central (GMT), orientação da imagem, azimute do Sol e ângulo de elevação do Sol, e dados de calibração fornecidos pelo serviço geológico dos E.U.A, são utilizados como dados de calibração do algoritmo SEBAL.

A seguir será explicitado por meio de expressões matemáticas o processo de obtenção da evapotranspiração real diária no modelo SEBAL:

Saldo de radiação

O saldo de radiação à superfície (R_n) é computado utilizando as cartas de albedo da superfície, de emissividade da superfície, de temperatura de cada pixel, e estimativas da radiação de onda incidente e onda longa da atmosfera, através da seguinte equação (01):

$$R_n = R_{s\downarrow} + \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (01)$$

onde $R_{s\downarrow}$ é a radiação de ondas curtas incidente em cada pixel (admitida ser constante para toda a área de estudo), α é o albedo corrigido para cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel (também admitida ser constante para toda a área de estudo), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_o é a emissividade de cada pixel da área estudada.

Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo é obtido no SEBAL segundo equação (02) desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G/R_n = T_s/\alpha \cdot (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2)(1 - 0,98 \text{NDVI}^4) \quad (02)$$

onde T_s é a temperatura da superfície, α o albedo da superfície e NDVI o índice de vegetação da diferença normalizada.

Fluxo de calor sensível

O fluxo de calor sensível resulta na troca de calor verificada entre a superfície e o ar adjacente, através dos processos de convecção ou condução, devido à diferença de temperatura. O mesmo pode ser computado utilizando-se a equação (03) do transporte de calor:

$$H = \rho \cdot c_p \cdot dT/r_{ah} \quad (03)$$

onde ρ é a densidade do ar ($1,15 \text{kgm}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar ($1004 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$), dT (K) é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) entre as duas alturas z_1 e z_2 , e, e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm^{-1}).

Fluxo de Calor Latente e ET Instantâneo

O fluxo de calor latente (transferência de vapor para a atmosfera devido aos processos de transpiração vegetal e evaporação da água do solo) foi computado através da simples diferença entre as cartas de saldo de radiação, fluxo de calor no solo e fluxo de calor sensível obtidos pela equação (04):

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (04)$$

Onde λET é o valor do fluxo de calor latente instantâneo, ou seja, seu valor no momento da passagem do satélite.

O valor instantâneo de ET, convertido em média da hora centrada no instante de passagem do satélite, foi obtido segundo a equação (05) abaixo:

$$ET_{\text{inst}} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (\text{mmh}^{-1}) \quad (05)$$

Onde ET_{inst} é o valor de ET instantâneo, 3600 é o tempo de conversão de segundos para horas, λ é o calor latente de vaporização da água ($2,45 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$).

De posse das cartas do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e do fluxo de calor latente, obteve-se a fração evaporativa através da seguinte equação (06):

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \quad (06)$$

A fração evaporativa possui uma característica importante, que é sua regularidade em dia de céu claro. Nesse sentido, admite-se que seu valor instantâneo representa adequadamente o seu valor médio diurno, o que possibilita estimar a evapotranspiração diária, segundo a equação 07:

$$ET_{24h} = \Lambda \cdot R_n_{24h} \quad (07)$$

E desta forma que é obtida a ET diária.

Da posse dos dados de evapotranspiração, foram selecionadas amostras de usos da terra para analisar estatisticamente a perda de água na bacia por classe de uso da terra. Após a seleção das amostras, estas foram tratadas em ambiente estatístico, através do *Excel* 2013, gerando gráfico para demonstrar com clareza o fenômeno analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento e configuração do uso da terra no período de análise se torna fundamental para compreender a perda de água por evapotranspiração na bacia hidrográfica do rio Vieira. Foi possível observar diante deste mapeamento que há grande variabilidade dos usos da terra na bacia, isto referindo-se principalmente às questões antropogênicas, uma vez que, na distribuição espacial do território da bacia destaca-se a classe de pastagem, devido seu elevado percentual de área (km²) na bacia.

Na tabela 2 e figura 03, estão expostos os dados em percentual da distribuição espacial dos usos da terra na bacia do rio Vieira para o período analisado em 2016:

Tabela 2 - Percentual da área (Km²) da bacia do Vieira por uso da terra.

Usos da terra	%
Floresta Tropical Caducifólia	31,19
Cerrado e Formações Afins	12,32
Floresta Tropical Sub Caducifólia	1,09
Pastagem	39,25
Influência Urbana	11,59
Eucalipto	0,69
Influência Mineradora	0,14
Solo Exposto	0,12
Água	0,02
Vegetação Rasteira/Pasto Degradado	3,59

Fonte: Landsat 8, 2016.

Org.: LAPS, 2017.

Como dado anteriormente o destaque para as áreas de Pastagem, observa-se que, neste período analisado em 2016, ocupava 39,25% da distribuição espacial da bacia, fato este podendo ser associado a discussão de Leite (2011), que no seu entender, Montes Claros se desenvolveu sobre a “vocação agropecuária”. E sua história está ligada ao surgimento de fazendas que possuíam como atividade econ mica a cria o de gado bovino para o abastecimento da região mineradora.

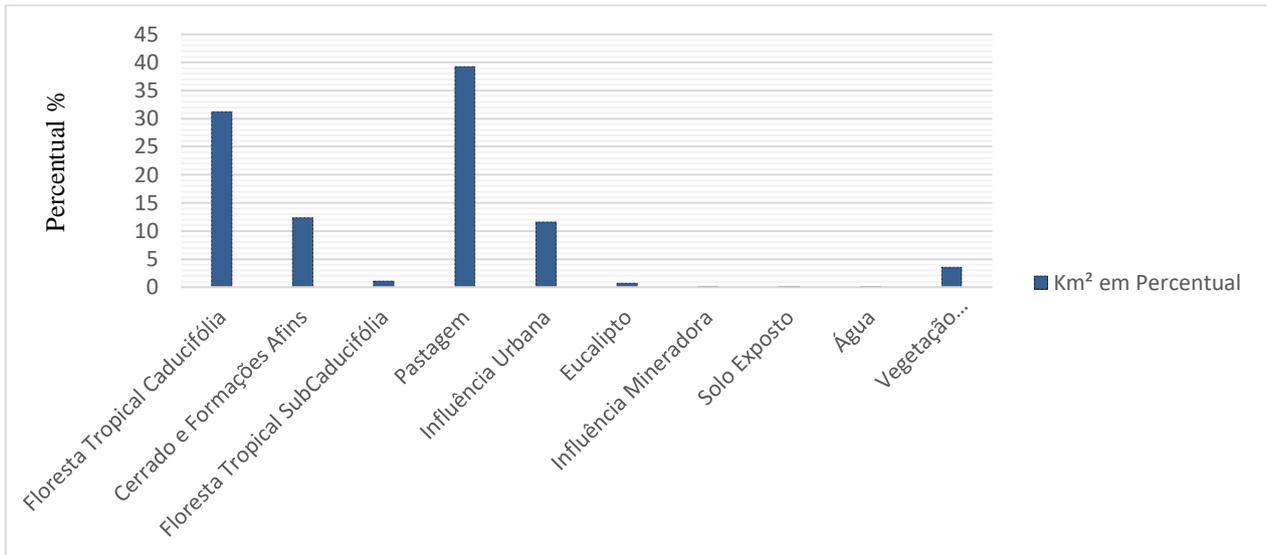


Figura 3- Representação da distribuição dos usos da terra

Fonte: Landsat 8, 2016.

Org.: LAPS, 2017.

Observa-se que, as áreas de pastagem estão distribuídas em todos os paralelos da bacia do rio Vieira, sendo neste período de análise em 2016 a classe com maior percentual na bacia, conforme pode ser observado na figura 4:

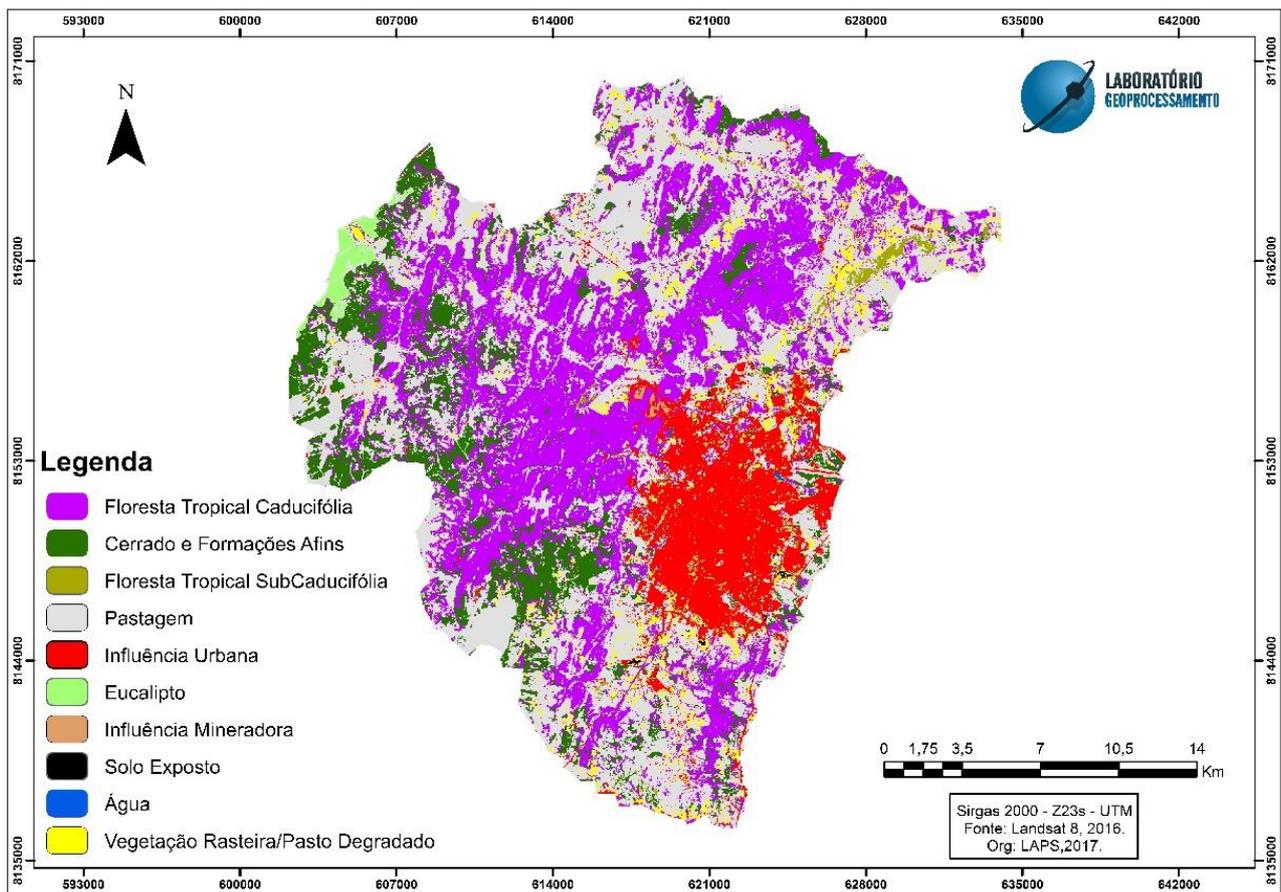


Figura 4: Mapa de uso da terra da Bacia do Rio Vieira.

Leite e Pereira (2008) avaliando os dados censitários do IBGE entre as décadas de 1960 e 2000, argumentam que a população urbana de Montes Claros saltou de 155.483 em 1980, para 289.183 habitantes em 2000, provocando um aumento de mais de 85% da população em 20 anos. Argumentando assim que, com o crescimento populacional, a busca por suprimentos básicos se torna cada vez mais volumosa, de tal forma, o avanço populacional acresce na demanda por habitação, já que, neste período de análise (ano de 2016), a área mapeada como influência Urbana, ocupava 11,59% do território da Bacia.

As áreas mapeadas como Influência Mineradora, ocupavam neste período análise, cerca de 0,14% do território da Bacia, estas áreas representam as unidades cujas atividades estavam ligadas a extração de pedra, brita, muito utilizado na indústria civil.

As áreas supracitadas como solo exposto, estão representando neste período em 0,12% do território da bacia. Estas áreas estão em proximidades com as áreas de Pastagem, assim podendo argumentar que fazem parte das ações antropogênicas de pasto. Diante do exposto, pode-se argumentar que, a classe denominada de vegetação rasteira/Pasto Degradado tende a estar relacionada de maneira intrínseca com a realidade supracitada.

O pasto degradado refere-se às áreas de pastagens que encontra em transição entre vegetação de pastagem e solo exposto. Neste mapeamento estas áreas representavam 3,59% do território mapeado. As áreas mapeadas como Água, representavam 0,02% do território neste período de análise.

As áreas ocupadas por Silvicultura/Eucalipto, ocupavam aproximadamente 0,69% do território analisado em 2016. A concentração destas áreas se dá ao Noroeste da Bacia do rio Vieira uma vez que região encontra as chapadas mais aplainadas da bacia.

No tocante às classes mapeadas como Floresta Tropical Caducifólia e Sub Caducifólia, diante do mapeamento realizado para o período de análise, estas classes compreenderam a 32,28% do território mapeado. Fato este que, possivelmente, esse aumento em área, das florestas, deve-se ao Decreto Federal 750, que incluiu essas formações no bioma Mata Atlântica em 1993.

Outro fato que pode corroborar este percentual de mata seca, é que, em 1987, foi criado o Parque Municipal da Sapucaia, que vinha sendo foco de preocupação de ambientalistas, principalmente contra as práticas de queimadas que destruía a vegetação seca durante o período de inverno (BRITO et al., 2013).

Brito et al., 2013, argumenta que a criação do parque se deu pela mobilização da sociedade em prol das Florestas Tropicais Caducifólias e Sub caducifólia da presente bacia na qual a cobrança por fiscalização e as crescentes denúncias surtiram efeito em favor da conservação destas formações, inclusive com a ideia de criação de uma unidade de conservação que visasse proteger e conservar o complexo de grutas e abrigos da Lapa Grande, dentro da bacia, onde há predominância geoecológica de Florestas e é uma importante área de recarga hídrica.

Este fato reflete significativamente nas áreas de Cerrado, pois se tornam um intermédio para com as áreas de pastagem, que como já foi discutido apresentam maiores percentuais da bacia neste período de análise, fato que é relativamente correlacionado ao baixo percentual de vegetação de Cerrado, que neste estudo representa 12,32% do território mapeado, sendo subdividido em cerrado arbustivo e Arbóreo, como mencionado na caracterização da área de estudo.

Diante dos dados expostos, vale ressaltar a importância da caracterização do uso da terra de um dado ambiente, pois, entender a dinâmica ocupacional do território tende a estabelecer metas de planos ambientais e territoriais, outro fato que torna este mapeamento relevante, é entender o comportamento de variáveis climatológicas, uma vez que, o uso da terra tende a ser influenciador nestas variáveis, principalmente do ponto de vista da dinâmica de perda de água da superfície para a atmosfera, processo decorrente da evapotranspiração, fato este que conduziu a objetivação desta pesquisa, que é estimar a perda de água por evapotranspiração em diferentes usos da terra na bacia do Rio Vieira. Na figura 5 está o mapa de evapotranspiração real diária da bacia do Rio Vieira no período de 16/07/2016:

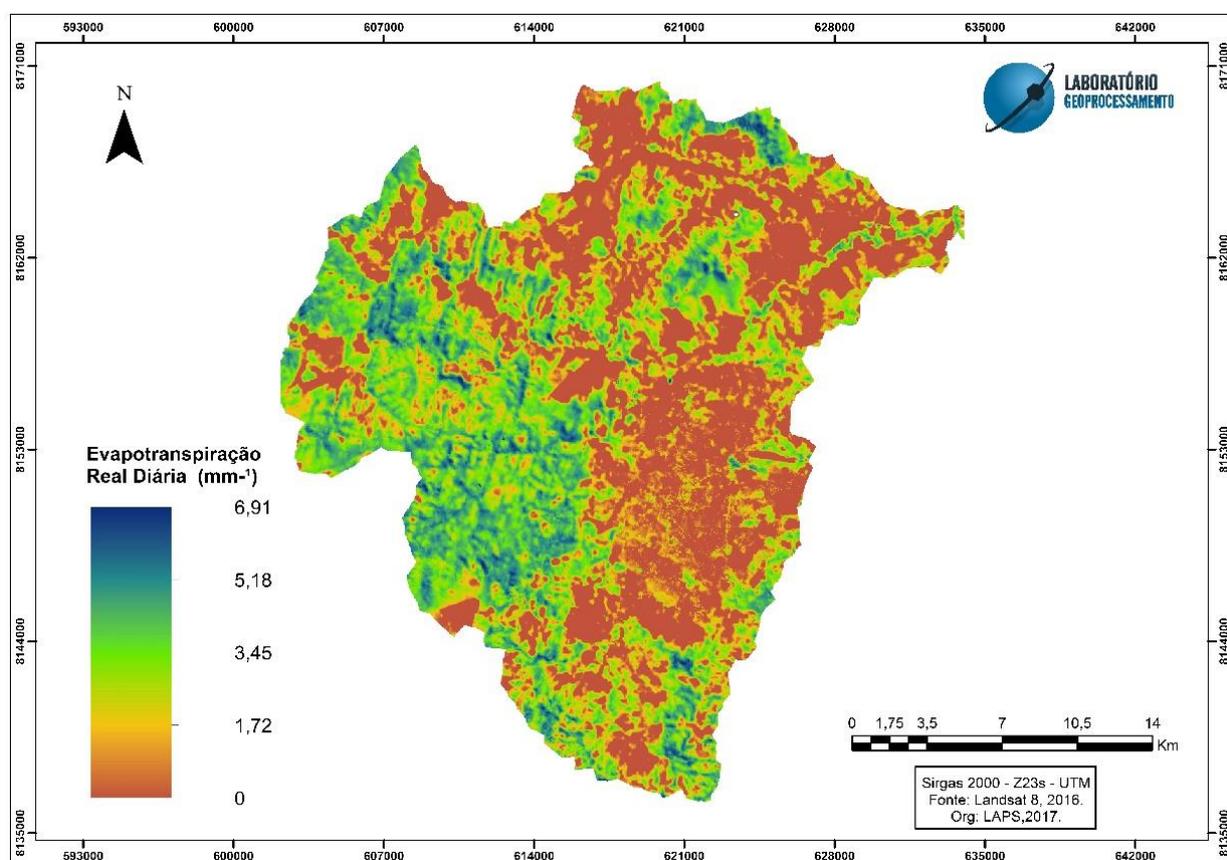


Figura 5: Mapa de evapotranspiração real Diária da Bacia do Rio Vieira (16/07/2016).

A evapotranspiração real Diária da Bacia variou entre 0 mm⁻¹ e 6,91 mm⁻¹, sendo notório a grande espacialização dos valores entre 0 mm⁻¹ e 3,45 mm⁻¹ no território mapeado.

Para argumentar acerca destes valores com especificação e caracterização da evapotranspiração real diária por uso da terra, adotou-se a escolha de extrair pontos amostrais dos diferentes usos da terra para mensurar a perda de água.

Buscou-se conformidade no que tange às amostras selecionadas, foram coletados de 30 a 292 pixels nas amostras tendo concordância com as extensões de cada área, e, foram amostrados 5 pontos da bacia para cada uso. Entretanto, para as áreas de Vegetação rala/Pasto degradado, Solo Exposto, optou-se em vetorizar esses usos no ArcMap e extrair na imagem de evapotranspiração, uma vez que, não foi possível analisar por amostras, e a fim de não ter inconsistência esta foi a melhor maneira de analisar.

Foram selecionados pontos amostrais na extensão territorial da bacia, denominando os pontos como: P1, P2, P3, P4 e P5, sendo amostrados desta forma 5 pontos para cada uso da terra, como demonstrado na tabela 3 e figura 6, exceto para áreas de solo exposto, vegetação rala/pasto degradado, como mencionado acima foi feita a análise estatística separada.

Tabela 3 - Evapotranspiração real diária (mm^{-1}) por usos da terra na bacia do rio Vieira.

Usos da terra	P1	P2	P3	P4	P5
Pastagem	0,61	1,63	0,27	0,18	0,11
Eucalipto	3,07	4,44	3,73	3,8	4
FTSC	2,17	1,46	1,92	3,26	3,95
Cerrado	2,26	3,13	3,76	5,53	4,32
Urbano	0,37	0,02	0,28	0,19	0,24
Mineração	2,39	0,29	1,5	1,47	3,27
FTC	0,13	0,27	1	1,56	1,45

Fonte: Análise por modelo SEBAL.

Org.: LAPS, 2017.

No tocante às amostras de pastagem, a média do P1, foi estimada em $0,61 \text{ mm}^{-1}$, com valores mínimo e máximo estimado em $0,38 \text{ mm}^{-1}$ e $3,46 \text{ mm}^{-1}$, respectivamente, já o P2, obteve média de $1,63 \text{ mm}^{-1}$ com valores mínimo e máximo de, $0,65$ e $3,55 \text{ mm}^{-1}$. Comportamento semelhante das áreas amostradas no P3, que obtiveram média de $0,27$ e valores mínimo e máximo estimados em $0,21 \text{ mm}^{-1}$ e $2,06 \text{ mm}^{-1}$ no período de análise em 2016. O P4 apresentou média de $0,18 \text{ mm}^{-1}$, mínimo de $0,31 \text{ mm}^{-1}$ e máximo de $2,06 \text{ mm}^{-1}$ de evapotranspiração real diária para este período de análise. Para o P5, sua média foi estimada em $0,11 \text{ mm}^{-1}$ de evapotranspiração real diária, com mínimo de $0,01 \text{ mm}^{-1}$ e máximo de $1,17 \text{ mm}^{-1}$.

Giongo (2011) encontrou valores estimados entre 2 e 3 mm^{-1} para áreas de pastagem. Este autor ainda menciona que, Santos *et al.*, (2010) encontraram valores de evapotranspiração real diária de $3,96 \text{ mm}^{-1}$ para áreas de pastagem.

Pode-se argumentar que, estes valores de evapotranspiração para as áreas de pastagem, estão relacionados à fenologia deste uso da terra, onde sua arquitetura foliar não detém de eficiência evaporativa, principalmente se tratando do período de inverno, onde a biomassa nessas áreas torna-se escassa. Atentou-se em chamar atenção para a estação seca (inverno), porque outros autores como Menezes *et al.*, (2006) encontraram valores de 8,21 e 8,07 mm.⁻¹ para áreas de pastagem com boa cobertura vegetal no período de verão.

Tangente às áreas de eucalipto, no P1, o valor médio foi estimado em 3,07 mm.⁻¹, com mínimo e máximo mensurado em, 0,86 e 4,48 mm.⁻¹ respectivamente. Já o P2, o valor médio evapotranspirado foi de 4,44 mm.⁻¹, com valores mínimo e máximo estimados em, 2,32 mm.⁻¹ e 5,62 mm.⁻¹.

No tocante a variação encontrada no P3, o valor médio foi estimado em 3,73 mm.⁻¹, com mínimo e máximo estimados em, 2,36 mm.⁻¹ e 4,33 mm.⁻¹. O P4, obteve valor médio de 3,8 mm.⁻¹ para este período de análise, tendo valor mínimo estimado em 2,06 mm.⁻¹ e máximo de 5 mm.⁻¹.

Já para o P5, obteve-se valores computados em 2 mm.⁻¹ e 5,23 mm.⁻¹ (mínimo e máximo) para este período de análise, tendo valor médio estimado em 4 mm.⁻¹. Estes valores de evapotranspiração real diária, se englobam e corroboram com os valores encontrados por Giongo (2011), onde o autor encontrou valores na ordem de 5, mm.⁻¹ (que mais aproxima nesta pesquisa), 6 mm.⁻¹ e 7 mm.⁻¹, também utilizando técnicas de sensores remotos e algoritmo SEBAL.

Dye (1987), citado por Giongo (2011), encontrou valores variando entre 2,4 mm.⁻¹ e 8,6 mm.⁻¹ para espécie de *Eucalyptus grandis* com 22 metros de altura. Estes valores de evapotranspiração, para áreas de eucalipto, podem estar associados à fenologia desta espécie que, detém de um sistema radicular eficiente para a drenagem de água, tornando assim uma vegetação com boa disponibilidade hídrica, consequentemente levando a este grau de evapotranspiração.

No tocante a representação da evapotranspiração real diária para as áreas de FTSC (Floresta Tropical SubCaducifólia), observa-se no P1, a média de evapotranspiração de 2,17 mm.⁻¹, com valores mínimo e máximo, mensurados em, 1,59 e 2,70 mm.⁻¹.

Para o P2, as amostras estimaram valor médio de 1,46 mm.⁻¹, com mínimo de 1,09 mm.⁻¹ e máximo de 3,38 mm.⁻¹ para o período proposto em 2016. No que tange às amostras do P3, a evapotranspiração real diária teve sua média mensurada em 1,92 mm.⁻¹, tendo variação mínima e máxima de, 1,09 e 3,37 mm.⁻¹.

Para P4, as amostras estimaram valor médio de 3,26 mm.⁻¹, com mínimo de 1,02 mm.⁻¹ e máximo estimado em 4,98 mm.⁻¹, valores estes próximos das áreas amostradas no P5, com média de 3,95 mm.⁻¹ e mínimo e máximo estimado em, 3,02 mm.⁻¹ e 4,29 mm.⁻¹. Estes valores corroboram com valores encontrados por Veloso *et al.*, (2017), que estimou valores de 4,35 a 4,75 mm.⁻¹, em estudo no Projeto Jaíba no Norte de Minas Gerais.

Tangente às amostras do P1 para áreas de Cerrado, os valores mínimo e máximo foram estimados em, 0,03 e 4,53 mm.⁻¹, com média estimada em 2,26 mm.⁻¹. No tocante ao P2, os valores mínimo e máximo, foram estimados em, 2,08 e 4,08 mm.⁻¹, tendo média mensurada em 3,13 mm.⁻¹, já a média dos Pontos 3,4 e 5, foram estimadas em 3,76, 5,53 e 4,32 mm.⁻¹, para o período de análise, os valores mínimos e máximos para P3, P4 e P5, correspondem a: 1,48 e 5,04 mm.⁻¹, 4,72 mm.⁻¹ e 6,31 mm.⁻¹, 2,84 e 5,79 mm.⁻¹ (respectivamente).

Estes valores corroboram com estudos como o de Bezerra et al. (2008) obtiveram ET diária da ordem de 7,0 mm.⁻¹ em áreas de vegetação na reserva florestal do Araripe, CE utilizando o algoritmo SEBAL em produtos orbitais, aproximando com os valores encontrados para essa pesquisa. Bezzerra *et al.*, (2006) encontraram valores próximos a 6 mm.⁻¹ para áreas de vegetação nativa densa, como cita Giongo (2010), ainda em consonância com este autor, Santos *et al.*, (2010) encontraram valores entre 3,97 e 5,80 mm.⁻¹.

Analisando a tabela 2, observa-se que as áreas amostradas como urbano e/ou influência urbana, apresentam média de evapotranspiração de 0,02 a 0,37 mm.⁻¹, resultados estes sendo associados as composições físicas que se configuram as áreas urbanas, com asfaltos, edificações e a grande concentração de concreto, estas tendem a influenciar na capacidade evaporativa, sendo que, a falta de permeabilidade no solo dificulta o processo de evapotranspiração, uma vez que, esta configuração urbana afeta o balanço de radiação e consequentemente o de energia, pois, nessas áreas, o albedo tende a ser elevado, devido a incidência constante de radiação solar nessas superfícies, afetando (negativamente) o saldo de radiação nas mesmas, deixando assim frações escassas de energia, que é utilizado para a formação da evapotranspiração por meio de fluxo de calor latente, processo semelhante visto nas áreas de mineração, onde a evapotranspiração real diária variou de 0,29 a 3,27 mm.⁻¹, onde justifica este valor médio de 3,27 mm.⁻¹ pela presença de vegetação nativa próxima às áreas de mineração.

Chama-se atenção aos pontos amostrais coletados para áreas de FTC (Floresta Tropical Caducifolia), sobretudo pelo fato de ser uma vegetação natural e comportar com valores de evapotranspiração real diária relativamente baixos (0,13 mm.⁻¹, 0,27 mm.⁻¹, 1 mm.⁻¹, 1,56 mm.⁻¹ e 1,45 mm.⁻¹ respectivamente para os pontos P1 a P5). Entretanto, existe explicação para essas médias, explicação que se encontra embasada teoricamente em aspectos biológicos da vegetação (FTC) para o período de inverno, que segundo Almeida et al., (2017) neste período esta espécie perde seu sistema de folhagem, portanto, argumenta-se que no caso específico dos dados aqui obtidos, esta perda de folhas interferiram significativamente na evapotranspiração, uma vez que este parâmetro tende a ser influenciado pela arquitetura da planta, e, caso esta planta esteja sem total dinâmica de seu sistema de folhagem torna-se ineficiente para a evapotranspiração.

Do ponto de vista analítico, é notório o comportamento da evapotranspiração em relação com os usos da terra, após as análises dos pontos amostrais, montou-se um gráfico para demonstrar o comportamento dos usos da terra por através das médias dos pontos amostrais, conforme figura 6:

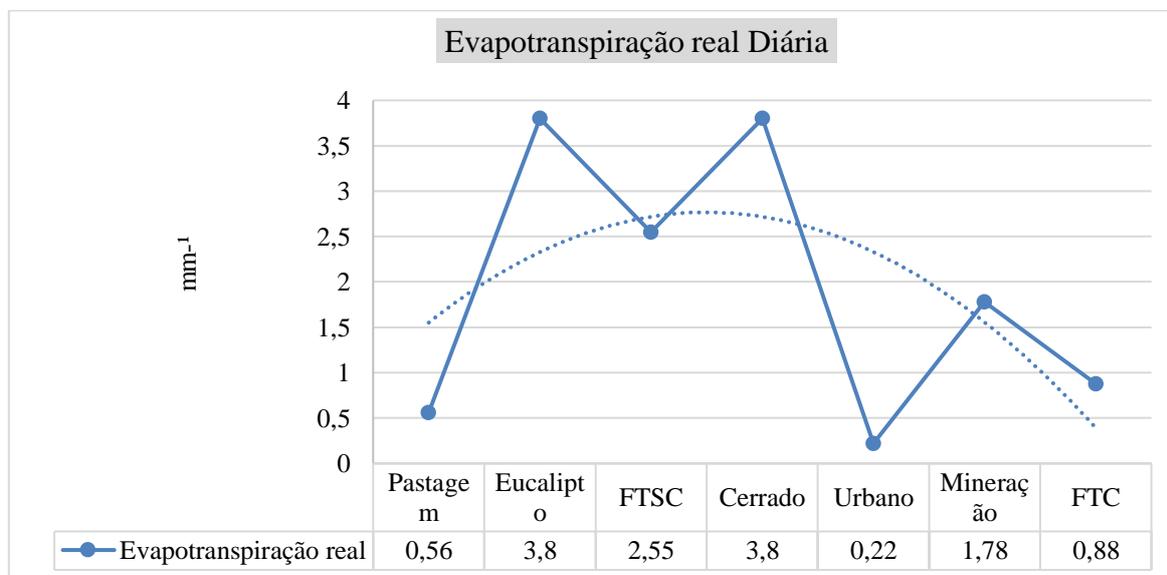


Figura 6 - Linha de tendência da evapotranspiração real diária por uso da terra.

Fonte: Análise por modelo SEBAL.

Org.: LAPS,2017.

No tocante às áreas não amostradas por pontos amostrais, devido a dificuldade de amostragem das mesmas, obteve-se resultados significativos, a primeira análise a se fazer, refere-se às áreas de vegetação rala e pastos degradados, onde estas áreas estimaram valores na ordem de 0,50 mm.-1 e 5,8 mm.-1. Já as áreas de solo exposto estimaram valores de 0,47 mm.-1 a 3,75 mm.-1 para este período de análise.

Tangente às áreas de água, estimou-se valores aproximados em 5,62 mm.-1, isto devido à grande disponibilidade hídrica, conseqüentemente a utilização constante de calor latente para transformar a água em vapor d'água levando a umidificação do ar nessas áreas.

3.1. Validação dos Dados

Para validar os dados fez-se a análise das estações meteorológicas que estão no interior da cena, entretanto, somente a estação de Itamarandiba-MG, registrou os dados de evapotranspiração para o período de análise, na estação o valor foi mensurado em 12 mm.-1, a imagem registrou 7,08 mm.-1 no pixel da estação. Ao analisar a evapotranspiração da estação convencional e imagem de satélite, notou-se diferença de 4,92 mm.-1, mas, considera-se este resultado satisfatório, uma vez que, o local onde é estimado o registro de evapotranspiração da estação possui 1 m² e, necessita converter este valor para os 30 m² que refere ao pixel.

A fim de validar com melhor acurácia, fez a análise dos dados termais, onde, na estação, a temperatura do ar, foi registrada em 18,3°C, e a temperatura de superfície na imagem, foi de 20,9°C.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados obtidos, pode-se analisar os usos da terra que perdem maior quantidade de água por evapotranspiração, sendo as áreas de vegetação nativa (com vegetação rala inserida), as grandes potencialidades para a perda de água por meio de evapotranspiração exceto as áreas de Floresta Tropical Caducifólia, que devido as suas características fenológicas de perder parte de sua folhagem durante o inverno (período analisado neste estudo). As áreas de eucalipto (uso antropogênico) também entram na estatística de uso da terra que perde mais água por evapotranspiração. Já as menores perdas são destinadas aos usos da terra de Pastagem, solo exposto, urbano e influência mineradora e pasto degradado.

Ao observar os comportamentos das áreas vegetação natural, é importante ressaltar o valor ecológico que a vegetação caducifólia possui para o ambiente em análise, pois, dado esta pequena perda de água por esta classe de uso da terra, é possível pensar e argumentar que, estas áreas de floresta tropical caducifólia são grandes recargas hídricas para a bacia do Rio Vieira.

Diante do ponto de vista técnico, o uso de imagens orbitais e algoritmo SEBAL, mostraram grande correlação com a literatura analisada e boa acurácia ao analisar com os dados de referência. Esta estimativa de evapotranspiração mostrou-se eficiente no que diz respeito às variações das perdas de água em diferentes usos da terra. Por fim, as técnicas de sensoriamento remoto em conjunto com o algoritmo SEBAL, mostraram-se importantes ferramentas para analisar as variáveis climatológicas na superfície e podendo ser inseridas como suporte técnico para os planos ambientais e territoriais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. I. S.; BORGES, M. G.; RODRIGUES, H. L. A. Análise comparativa de fitofisionomias em áreas de Bacias Hidrográficas do Rio São Lamberto e Rio Vacaria, Minas Gerais-MG com uso de sensoriamento remoto. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína, v. 06, n. 09, 2017.

BARROS, K. O. **Índice de Aridez como Indicador da Susceptibilidade à Desertificação na Mesorregião Norte de Minas**. 2010. 89 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Geografia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BRITO, J. L.; LEITE, M. R.; FERREIRA, E. J.; LEITE, M. E. Evolução Geográfica do uso/cobertura da terra na bacia do Rio Vieira no Norte de Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 26, p. 169-194, 2013.

DANTAS, M. J. F.; ARRAES, F. D. D.; SANTOS, J. B.; ZIMBACK, C. R. L. Sensoriamento remoto na determinação da evapotranspiração da bacia do Riacho Jardim/CE. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 383-394, 2015.

GIONGO, P. R. **Mapeamento do Balanço de energia e evapotranspiração diária por meio de técnicas de sensoriamento remoto**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LEITE, M. E. Década de 70: A imigração e o caos urbano e Montes Claros. **Iniciação a história**, Montes Claros. v. 2, n. 1, p. 130-141, 2003.

LEITE, M. E. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do espaço urbano: o caso de Montes Claros**. 2006. 177 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

LEITE, M. R. **Sensoriamento remoto aplicado à Análise temporal da relação uso da terra/Temperatura e Albedo de superfície na Bacia hidrográfica do Rio Vieira no Norte Minas Gerais**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. E.; CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 6. th. John Wiley & Sons, 2007. 736p.

MENEZES, S. J. M. C. **Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MORENO, C. S. **Observações sobre a evolução socioeconômica do Norte de Minas no período 1990-2000**. Monografia (Trabalho de Graduação em Geografia), Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2003.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. (Orgs.). Brasília: Unb, 2012. cap. 4, p. 57-76.

NIMER, E. BRANDÃO, A. M.P. M, 1989. **Balanço Hídrico e Clima da região do Cerrado**. Rio de Janeiro, IBGE, 1989.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 2003. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.

TUBELIS, A. E.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 244p.

VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. E.; SILVA, B. B. Determinação da evapotranspiração real diária em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais, Brasil), mediante imagens Landsat 5 – TM. **Revista Cerrados**. Montes Claros, v. 15, n. 1, p. 53-76, 2017.

Trabalho enviado em 16/03/2019

Trabalho aceito em 17/05/2019