

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE AGRONOMIA

INANA XAVIER SCHUTZE

**DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DA SERINGUEIRA NO NOROESTE DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

ILHA SOLTEIRA
2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE AGRONOMIA

INANA XAVIER SCHUTZE

**DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DA SERINGUEIRA NO NOROESTE DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Graduação
apresentado à Faculdade de
Engenharia do Campus de Ilha
Solteira UNESP, como parte
dos requisitos para obtenção
do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

ILHA SOLTEIRA
2014

DEDICO

Ao meu pai Walter César Schutze e minha mãe Sueli Aparecida Xavier da Silva, os quais me deram suporte em todos os sentidos e momentos, além de servirem como exemplo de perseverança.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Pela energia e força espiritual nessa caminhada.

Ao meu anjo guardião, pela proteção.

Aos meus pais Walter César Schutze e Sueli Aparecida Xavier da Silva por todo o amor, direcionamento, compreensão e carinho durante todos esses anos.

À minha irmã Kora Xavier Schutze, por ser minha confidente e consoladora.

À minha amiga de infância Ana Paula Sanches Correia que me acompanha por tantos anos com amor, respeito e carinho.

À minha amiga Lorena Danin Galati pela companhia e ombro amigo e que acompanhou meu trajeto desde o ingresso na faculdade até aqui.

Às minhas amigas de república, que além de amigas se tornaram minha família, minhas irmãs, em especial Bruna Ambrósio e Michele Pirola dos Santos.

À minha turma, a XXXVIII Turma de Agronomia que fez com que minha vida universitária fosse mais divertida e intensa, em especial minha amiga Maria Carolina Giraldi dos Santos.

Aos meus amigos argentinos que me acolheram, alegraram meus dias e fizeram do meu intercâmbio uma experiência realmente maravilhosa, em especial à minha amiga Paula Bocca.

À Área de Hidráulica e Irrigação e equipe, pelos trabalhos realizados, momentos de lazer e que colaborou muito com a minha formação, principalmente Daniel Noe Coaguila Nuñez, Diego Gonçalves Feitosa e Renato Alberto Momesso Franco e Yane de Freitas da Silva.

Ao meu orientador Fernando Braz Tangerino Hernandez por todo o aprendizado, disciplina, cobranças e conversas que colaboraram para o meu desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional e pela orientação neste trabalho.

À UNESP por todo conhecimento adquirido, aprendizados de carreira e de vida, pelas oportunidades e pela formação de mais uma profissional.

“Os sonhos devem ser ditos para começar a se realizarem. E como todo projeto, precisam de uma estratégia para serem alcançados. O adiamento destes sonhos desaparecerá com o primeiro movimento.”
Paulo Coelho

RESUMO

A energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, na transferência de vapor d'água da superfície para atmosfera, e no metabolismo das plantas e dos animais, é proveniente da radiação solar. Sendo assim, é importante se estudar a participação dos componentes do balanço de radiação à superfície e, sobretudo, aqueles relacionados com as perdas de água da superfície para atmosfera. A evapotranspiração é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e a sua determinação é imprescindível para o adequado manejo da agricultura irrigada e balanço hídrico de bacias hidrográficas. Nesse sentido, os mais recentes avanços verificados no sensoriamento remoto aplicado têm possibilitado estimativas precisas e em escala regional, desse importante componente. O incremento das áreas irrigadas no território brasileiro nos últimos anos é um fato marcante para a economia regional. Este aumento é devido, principalmente, às características climáticas da região (baixa umidade relativa do ar, temperaturas elevadas e alta disponibilidade de energia durante todo ano), que constituem um ambiente favorável para o cultivo irrigado de muitas espécies, como a seringueira. Um problema já constatado nessas áreas é o excessivo consumo de água, uma vez que as reais necessidades hídricas dos principais cultivos ainda não são conhecidas. O trabalho teve como objetivo aplicar o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) na estimativa da evapotranspiração atual em larga escala e do coeficiente de cultura atual combinando imagens de satélite e dados climáticos obtidos em estações agrometeorológicas comparando-o com a estimativa tradicional recomendada pela FAO - Boletim 56. O algoritmo SAFER permitiu a estimativa da demanda hídrica sazonal possibilitando ainda a observação da variabilidade espacial do consumo de água em talhões ou áreas que deveriam ser agronomicamente homogêneas.

Palavras-chave - Evapotranspiração. SAFER. Sensoriamento remoto. Coeficiente de cultura. NDVI.

ABSTRACT

The energy used in the processes of heating and cooling of air and soil, in the transfer of water vapor from the surface to the atmosphere, and in the metabolism of plants and animals, comes from solar radiation. Therefore, it is important to study the partition of the components of the radiation balance at the surface, and especially those related to water loss from the surface to the atmosphere. Evapotranspiration is a major component of the hydrological cycle and its determination is essential to the proper management of irrigated agriculture and water balance of watersheds. In this sense, the most recent progress achieved in applied remote sensing have enabled accurate estimates and on a regional scale, of this important component. The increase of irrigated areas in the Brazilian territory in recent years is a remarkable event for the regional economy. This increase is due mainly to climatic characteristics of the region (low relative humidity, high temperatures and high availability of energy throughout the year), which constitute a favorable environment for irrigated farming of many species, such as rubber. One problem already identified in these areas is excessive water consumption, since the actual water requirements of major crops are not yet known. The study aimed to apply the SAFER (Simple Algorithm For Retrieving Evapotranspiration) algorithm to estimate the actual evapotranspiration on a regional scale and the actual crop coefficient combining satellite images and climate data of the agrometeorological stations ashore comparing it with the traditional estimate recommended by FAO - Bulletin 56. The SAFER algorithm allowed the estimation of seasonal water demand still allowing the visualization of spatial variability of water consumption in fields or areas that should be agronomically homogeneous.

Keywords - Evapotranspiration. SAFER. Remote sensing. Crop coefficient. NDVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo.....	17
Figura 2 - Exemplo de imagem de área com seringueira.....	18
Figura 3 - Fluxograma demonstrativo do método SAFER.....	22
Figura 4 - Dados meteorológicos mensais referentes ao ano de 2011.....	30
Figura 5 - Evapotranspiração atual em 21 de fevereiro de 2011.....	33
Figura 6 - Evapotranspiração atual em 01 de setembro de 2011.....	34
Figura 7 - Coeficiente de cultura atual em 21 de fevereiro de 2011.....	34
Figura 8 - Coeficiente de cultura atual em 01 de setembro de 2011.....	35
Figura 9 - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em 21 de fevereiro de 2011.....	35
Figura 10 - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em 01 de setembro de 2011.....	36
Figura 11 - Volume de água demandado pela cultura para cada data analisada, segundo os dois diferentes métodos estudados.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos polígonos processados	19
Tabela 2 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	24
Tabela 3 - Coeficientes para o cálculo do albedo planetário para cada banda do Landsat TM5.....	25
Tabela 4 - Evapotranspiração da cultura calculada pelo método tradicional (FAO 56). Dados referentes à época de chuvas (21/02/2011).....	30
Tabela 5 - Evapotranspiração da cultura calculada pelo método tradicional (FAO 56). Dados referentes à época de estiagem (01/09/2011).....	30
Tabela 6 - Coeficiente de cultura atual calculado pelo método SAFER. Dados referentes à época de chuvas (21/02/2012).....	31
Tabela 7 - Coeficiente de cultura atual calculado pelo método SAFER. Dados referentes à época de estiagem (01/09/2011).....	32
Tabela 8 - Condições hídricas da região noroeste paulista nas datas analisadas.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	DESENVOLVIMENTO	12
2.1	Importância da Seringueira na Região	12
2.2	Demanda Hídrica da Cultura	14
2.3	Economia de Água.....	15
2.4	Geoprocessamento e sensoriamento remoto	15
2.5	Justificativa do trabalho	Erro! Indicador não definido.
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	NDVI.....	20
3.2	Uso do método tradicional	20
3.3	Uso do SAFER	21
3.4	Processamento	23
3.4.1	Conversão dos valores de DN (números digitais) em radiância	23
3.4.2	Cálculo de reflectância.....	24
3.4.3	Albedo no topo da atmosfera	25
3.4.4	Albedo de superfície	25
3.4.5	Temperatura de superfície	26
3.4.6	Índice de vegetação de diferença normalizada-NDVI.....	26
3.4.7	Evapotranspiração em escala regional utilizando o algoritmo SAFER	27
3.4.8	Cálculo do Balanço de Energia.....	27
3.4.9	Avaliação dos Resultados Obtidos.....	Erro! Indicador não definido.
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÃO.....	38
6	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A principal matéria-prima para a produção da borracha natural é o látex extraído da seringueira. Esta planta pertence ao gênero *Hevea*, com 11 espécies, das quais a [*Hevea brasiliensis* Wild. ex (Adr. Juss) Mull.-Arg] é a mais cultivada e explorada comercialmente por ser a mais produtiva e possuir látex de qualidade superior às das demais. Originária do Brasil, como centro de origem mais especificamente a bacia do Rio Amazonas, a borracha produzida a partir dessa árvore é utilizada nos setores hospitalar/farmacêutico, brinquedos, calçados, construção civil, maquinário agrícola e industrial e de autopeças. A planta foi descoberta em meados do século XVIII, e atualmente, é a principal fonte de borracha natural do mundo (SOARES et al., 2008).

Embora a seringueira seja uma cultura originária de região de clima tropical e úmido, seu cultivo espalhou-se por todo o Brasil, ou seja, para áreas não tradicionais de cultivo, onde sua exploração comercial torna-se viável e com possibilidade de não sofrer efeito severo do ataque do fungo *Microcyclus ulei*, principal doença da seringueira, as regiões que apresentaram melhores condições à cultura foram aquelas que forneciam períodos com temperaturas inferiores a 20°C, e principalmente estiagem definida, provocando senescênci a de suas folhas, quebrando assim, o ciclo do fungo causador do mal-das-folhas, além de favorecer a fisiologia da planta por se tratar de uma planta C3 com o acúmulo de carboidratos (FURLANI JÚNIOR E GONÇALVES, 2012), entretanto, as condições climáticas destas novas regiões, não tradicionais de cultivo da seringueira, apresentam períodos mais definidos e intensos de deficiência hídrica. Sendo assim, observa-se que para uma adequada produtividade os clones em exploração comercial devem apresentar certas características de tolerância à seca, principalmente na fase inicial de crescimento, ou serem submetidos à prática de irrigação, de modo que as plantas possam apresentar desenvolvimento razoável e atingir a fase adulta com pleno vigor.

A água, na maior parte do Brasil, é um recurso relativamente farto, mesmo assim sua utilização deve ser otimizada para atender às diversas demandas, até recentemente não existia grande preocupação em racionalizar o seu uso em projetos de irrigação, todavia, o aumento da demanda, aliado à pequena disponibilidade de água em algumas regiões vem acentuando a necessidade de

manejá-la eficientemente. Dentre os diversos métodos de manejo da irrigação, tem-se destacado, pela sua operacionalidade, aqueles que estimam o consumo de água pelas culturas, ou seja, a evapotranspiração ou uso consuntivo (RODRIGUES et al., 1998). A agricultura irrigada corresponde a um dos casos onde o uso eficiente da água tem grande relevância, visto que esta é a maior usuária de água em escala global, alcançando índices superiores a 70% do total disponível em áreas áridas e/ou semiáridas, devido inclusive às precipitações pluviométricas irregulares e mal distribuídas; além do aumento da população e consequentemente aumento da demanda por alimentos, visto que mais de 40% da produção mundial de alimentos é proveniente da agricultura irrigada (BEZERRA et al., 2012). Para que a água seja utilizada da maneira mais eficiente possível, inclusive de forma específica, pode-se utilizar ferramentas como a estimativa da evapotranspiração da cultura através da identificação das diferentes fases fenológicas e associá-las aos coeficientes de cultura que deverá ser multiplicado pela evapotranspiração de referência obtida a partir de estações agrometeorológicas.

Medidas radiométricas, obtidas a partir de sensoriamento remoto, também tem grande importância para a avaliação da evapotranspiração atual em grandes áreas. A principal vantagem do uso do sensoriamento remoto é que a evapotranspiração pode ser calculada sem a necessidade de quantificar os complexos processos hidrológicos. Segundo Bastiaanseen (2000), o SEBAL é um dos algoritmos para determinação dos mapas de evapotranspiração em escala regional, podendo ser extraídos alvos específicos de interesse. Ele é processado por meio de rotinas computacionais que predizem um balanço completo da radiação e da energia ao longo da superfície da Terra. Utiliza imagens coletadas pelo sensor TM Landsat 5 ou qualquer outro sensor que colete comprimentos de onda na região das bandas reflectoras de infravermelho e termal (MENEZES et al., 2007).

Teixeira (2010) propôs um método para estimar a evapotranspiração visando alcançar o desenvolvimento sustentável e assegurar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas, lembrando que os gestores da água precisam de ferramentas para determinar a evapotranspiração atual ou real em grande escala. Imagens orbitais e suas informações, combinadas com dados de estações agrometeorológicas interpolados gerando mapas *pixel a pixel* permitem realizar o balanço de energia em diferentes ecossistemas, irrigados ou naturais, quantificando a evapotranspiração e os coeficientes de cultura atuais. Em Teixeira et al. (2012a)

este método, posteriormente batizado como SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*), foi aplicado neste trabalho.

O estudo do desenvolvimento das plantas relacionado com as condições climáticas de uma região permite a elaboração de modelos de previsão que podem ser úteis na programação de colheita. Esses modelos possibilitam prever o início da safra e a duração dos diferentes períodos fenológicos das plantas, assim como auxilia no manejo de práticas agrícolas, como a irrigação (BARBASSO et al., 2005).

O conhecimento da demanda hídrica da seringueira é fundamental para sua produção racional nas condições climáticas da região noroeste paulista, onde seu cultivo está condicionado ao emprego de irrigação complementar para um desenvolvimento mais rápido da planta e antecipar a sangria desta, em escala regional por meio do sensoriamento remoto. Sistemas de irrigação têm sido cada vez mais utilizados em novos plantios de seringueira visando inicialmente reduzir a morte precoce de mudas, o que impõe um alto custo ao produtor e posteriormente a antecipação da sangria e ganhos de produtividade, especialmente no noroeste paulista e Bolsão Sul Matogrossense. O algoritmo SAFER é aplicado a plantios de seringueiras pela primeira vez neste trabalho.

Este trabalho tem como objetivo determinar a evapotranspiração potencial e atual e o coeficiente de cultura atual da seringueira, através da estimativa da evapotranspiração de referência obtida pela Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira, utilizando o método tradicional, FAO (*Food and Agriculture Organization*) 56 e os obtidos pelo algoritmo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*), a partir de imagens orbitais do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), com o uso do sensoriamento remoto, afim de estabelecer critérios para um melhor aproveitamento da água na irrigação e definir o melhor método para se fazer sua estimativa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Importância da Seringueira na Região

A seringueira é uma árvore de grande porte e ciclo perene pertencente à família Euphorbiaceae, tendo como seu centro de origem a região Amazônica,

dispersa na mata, ocorrendo preferencialmente em solos argilosos e férteis (SANTOS, 2011). A seringueira é uma espécie arbórea, de crescimento rápido, apresentando grande capacidade de reciclagem de carbono (1 hectare de seringueira retira aproximadamente 1,4 toneladas de gás carbônico da atmosfera por ano), convertendo-o em látex e madeira. As plantas podem atingir até 30 m de altura sob condições favoráveis, iniciando aos quatro anos a produção de sementes e, aos sete anos, em média, a produção (econômica) de látex. A espécie pertence ao grupo das dicotiledôneas, com flores alógamas, unissexuadas, pequenas e amarelas (SANTOS, 2011).

Atualmente, o Brasil ocupa o nono lugar na produção mundial, correspondendo a aproximadamente 1,4% do total. Em âmbito nacional, os Estados de São Paulo, Mato Grosso, Bahia e Espírito Santo são os principais produtores, sendo São Paulo responsável pela maior parcela da produção nacional, o que lhe confere a condição de principal produtor de borracha natural do Brasil. Somente esse Estado possui 14 milhões de hectares aptos à heveicultura (SANTOS, 2011).

A importância da seringueira é devida à qualidade da sua borracha que combina leveza, elasticidade, termoplásticidade, resistência à abrasão e à corrosão, impermeabilidade a líquidos e gases, isolamento elétrico, bem como capacidade de adesão ao tecido e ao aço. Embora a borracha natural, em alguns casos, possa ser substituída pela borracha sintética, a impossibilidade de se produzir quimicamente um polímero com as mesmas qualidades do natural, faz com que ela tenha características únicas. A indústria de pneumáticos consome aproximadamente 80% da borracha natural produzida, além de que a madeira pode ser comercialmente explorada; durante a formação do seringal, e mesmo quando as árvores estão em produção, outras atividades agrícolas podem ser intercaladas, como o cultivo de milho, de amendoim, de feijão, de cacau, de café e, também, a implantação de colméias. Dessa maneira pode-se formar verdadeiros sistemas agroflorestais que, além de maximizar o uso da área, minimizam custos de implantação do seringal, cujo período varia de 7 a 10 anos quando se considera o plantio até o início da produção, que ocorre por volta dos 8 anos, e pode chegar a 12 anos, quando se estabiliza a produção no seu maior potencial (FRANCISCO et al., 2009a).

O consumo brasileiro de borracha natural é de 300 mil t/ano e a produção é de, aproximadamente, 100 mil t/ano. Portanto, o descompasso entre consumo e produção tende a se ampliar, pois o percentual de crescimento da produção é menor

que o do consumo. São 26 municípios em São Paulo que totalizam quase 50% da área com seringueira, concentrada principalmente na região noroeste do Estado (FRANCISCO et al., 2009b). No contexto mundial, projeções indicam que o consumo crescerá mais que a produção e alguns especialistas estimam que no ano de 2020 o consumo de borracha natural será de 9,71 milhões de toneladas para uma produção de 7,06 milhões de toneladas. Neste sentido, a renovação de seringais antigos e o incremento de novos, além da manutenção de um preço favorável da borracha natural no mercado internacional, são medidas que devem ser adotadas para suprir o déficit da mesma no Brasil e no mundo.

Os estudos fenológicos, para maioria das culturas, visam, principalmente, a floração e a frutificação, pois os frutos constituem o produto principal na colheita. Em contrapartida, na heveicultura, o produto explorado é essencialmente vegetativo, portanto a fenologia visa, essencialmente, à formação e comportamento do fluxo e distribuição de fotoassimilados (MEDEIROS, 1976).

2.2 Demanda Hídrica da Cultura

Em virtude da grande demanda por borracha natural, além da tentativa de superação de problemas de origem fitossanitária, a heveicultura se expandiu para regiões cujas características ambientais são distintas de seu habitat. Dentre os vários fatores que influenciam a produção de látex da seringueira, o estado hídrico da planta é um dos que se destaca. Resulta da interação de outros fatores, tais como demanda evaporativa da atmosfera, estado hídrico do solo, densidade de plantio, sistema de cultivo e processos fisiológicos. Processos fisiológicos, tais como crescimento celular e fotossíntese, além da produtividade, são fortemente influenciados pelo potencial hídrico e seus componentes (MESQUITA et al. 2006).

A evapotranspiração é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. Depende das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada e do suprimento de água pelo solo. A evapotranspiração depende de determinantes como fatores climáticos - radiação líquida, temperatura, umidade relativa do ar e vento; fatores da planta - coeficiente de reflexão (albedo), estádio de desenvolvimento, altura da planta e profundidade do sistema radicular (PEREIRA et al., 2009).

Os fatores que influenciam a senescência e a brotação das folhas da seringueira são a idade da planta, a estação climática, a origem do material, a sangria, que tem seu pico de produção em maio, e o seu estado sanitário. A disponibilidade de água permanece como principal fator influenciando os padrões fenológicos nos trópicos sazonais, embora temperatura e fotoperíodo (planta C3 de dia curto) sejam frequentemente apontados como reguladores ou indutores do crescimento e reprodução nos trópicos.

2.3 Economia de Água

Os conhecimentos do consumo de água nas diversas etapas de desenvolvimento do vegetal permitem a administração de uma agricultura irrigada mais racional e efetiva, e de acordo com a exigência de cada cultura, para tanto utiliza-se o coeficiente de cultura (K_c). O K_c representa a soma das quatro características principais que diferencia uma cultura de outra: altura da planta, albedo da superfície, resistência aerodinâmica, evaporação do solo (quando exposto), é um indicador da máxima exigência hídrica e depende, portanto, do estádio de desenvolvimento da cultura, das condições climáticas e do conteúdo de água no perfil do solo (função principalmente das chuvas e da irrigação) e do tipo de cultura (RODRIGUES et al., 1998).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é definida como a máxima exigência ou condição ideal de suprimento de água por uma planta e é dada pelo produto do K_c pela evapotranspiração de referência (ET_0), obtida a partir de expressões empíricas baseadas em dados climáticos. Para Mendonça et al. (2003, p. 275), evapotranspiração é a evaporação de água no solo e da transposição das plantas. Para a irrigação, é indispensável o cálculo da evapotranspiração, para se dimensionar o manejo do sistema, pois, se contabiliza o que a planta retorna para a atmosfera, ou seja, a transpiração, sendo parte do ciclo hidrológico.

2.4 Geoprocessamento e sensoriamento remoto

A evapotranspiração é um dos principais elementos do ciclo hidrológico e tem grande importância em estudos agrometeorológicos e hidrológicos.

Neste estudo é feita a estimativa da evapotranspiração da atual pelo método do Teixeira (2010) recém batizado de SAFER (TEIXEIRA et al., 2012a, b), e neste modelo, os valores instantâneos da relação da evapotranspiração atual pela evapotranspiração de referência (ET/ETo) resultando no coeficiente de cultura atual foram modelados com valores de campo de T_s (temperatura da superfície) e α (albedo da superfície), juntamente com o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) utilizando imagens do satélite Landsat 5 - TM, obtidas em 2011, sobre áreas no noroeste do Estado de São Paulo.

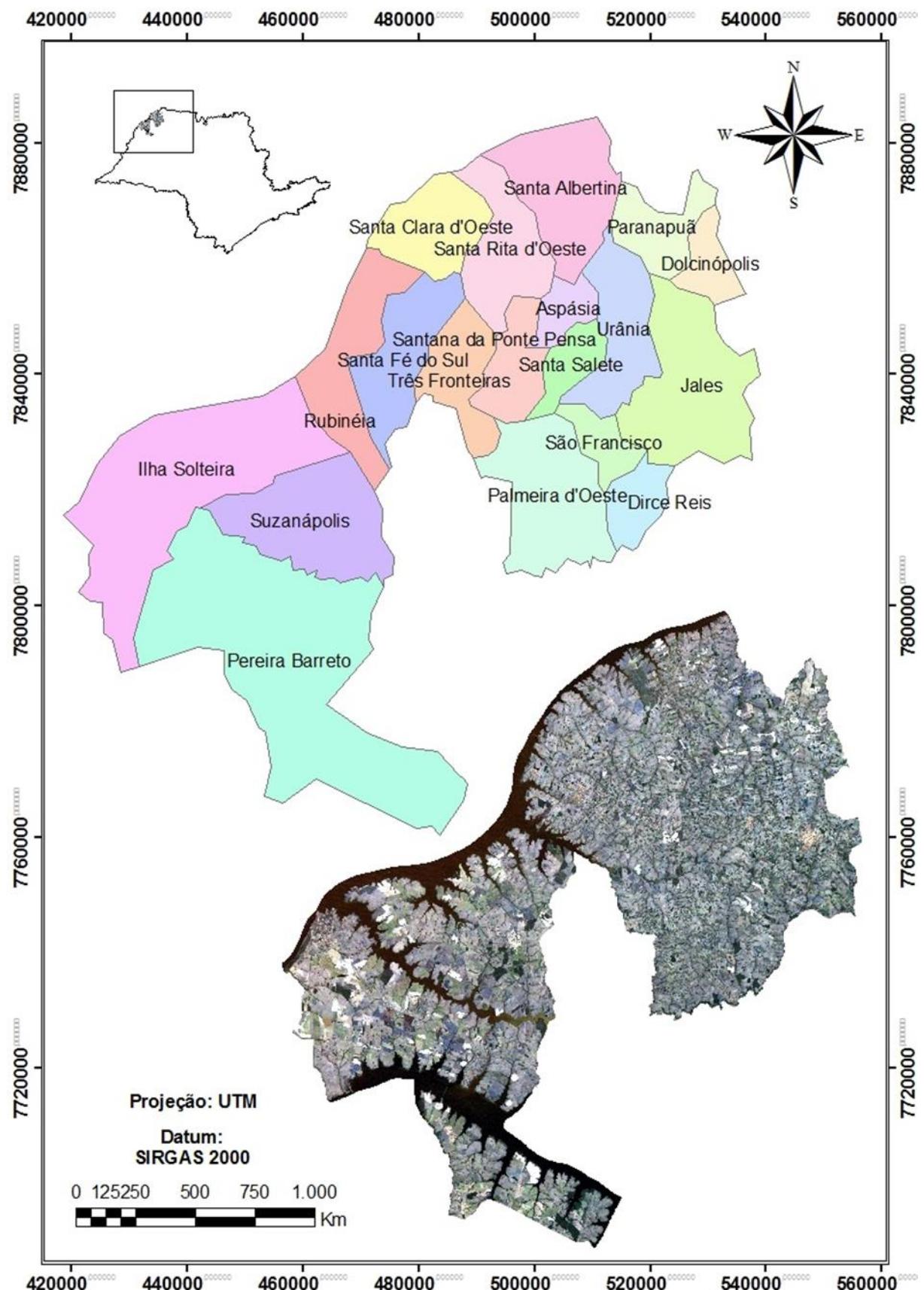
Na aplicação do modelo a radiância espectral é convertida em evapotranspiração atual (ET), utilizando os parâmetros de satélite e as grades de ETo diária. A relação ET/ETo é então comparada com a condição ideal indicada pelo K_c e chamado de método tradicional, relatado no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada para a pesquisa compreende a região Noroeste do Estado de São Paulo, representado na Figura 1 com o mapa da área estudada e a imagem resultante de uma composição RGB das bandas 3, 2 e 1 respectivamente, do Landsat 5 - TM. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, órbita 222 e ponto 74, datadas na estação úmida (21/02/2011) e seca (01/09/2011), obtidas gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo as imagens de 2011 as mais recentes disponíveis deste Satélite.

Nas imagens foram identificados os alvos ou áreas de controle, de seringueira, em seguida digitalizados manualmente via tela do computador, no formato vetorial (polígonos), registrados e posteriormente realizadas visitas ao campo para confirmar idade, se a área é irrigada ou não e coleta de informações do produtor. A classificação climática para a região, segundo Köeppen, é o subtropical úmido, Cwa, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (PEREIRA et al, 2002). As imagens de Landsat têm sido um instrumento de ajuda para a estimativa da demanda hídrica, permitindo que países estimem a demanda sazonal e a relacionem com a oferta hídrica a fim de alcançar práticas de irrigação para a máxima produção (SERBINA E MILLER, 2014).

Figura 1 - Área de estudo.



Fonte: Elaboração da própria autora

Para obter o desenvolvimento sustentável e para assegurar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas, gestores de recursos hídricos precisam de ferramentas para determinar a evapotranspiração real em grande escala. A Rede de Estações Agrometeorológicas do Noroeste Paulista (UNESP, 2014) forneceu os valores das variáveis climáticas que alimentaram o algoritmo e a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) para a estimativa da evapotranspiração de referência, a partir da qual se calcula a evapotranspiração da cultura (ET_c), pelo método tradicional através da equação (1):

$$ET_c = ET_0 \times k_c \quad (1)$$

onde:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm/dia);

k_c = coeficiente de cultura (adimensional) - FAO 56 (ALLEN et al, 1998).

A Figura 2 apresenta um exemplo na região estudada onde estão identificadas áreas com plantas de seringueira em diferentes idades, as quais servem de controle. A identificação das áreas com seringueira foi realizada através de imagens do Landsat 5, com o auxílio do *Google Earth*. As imagens orbitais foram processadas nos softwares Iwris (*Integrated Land Water Information System*) e georeferenciadas no ArcGis 10.0.

Figura 2 - Exemplo imagem com área de seringueira no município de Ilha Solteira.



Fonte: *Google Earth*

Inicialmente os dados de radiação global (RG), temperatura do ar (Ta) e evapotranspiração de referência (ETo) das estações agrometeorológicas distribuídas espacialmente no noroeste paulista foram interpolados pelo método *Moving Average*, formando uma grade de dados no formato *raster* e posteriormente inclusos aos dados de sensoriamento remoto para os cálculos do balanço de energia na superfície terrestre em escala regional.

Tabela 1 - Localização dos polígonos processados.

Polígono	Longitude (X) (UTM)	Latitude (Y)	Altitude (m)	Município
1	462918,68	7740720,37	337	Ilha Solteira
2	519395,66	7780558,16	426	Santa Rita d'Oeste
3	531328,97	7774571,88	415	Aspásia
5	525651,76	7757041,94	421	Santa Salete
6	531285,80	7732045,76	388	Palmeira d'Oeste
7	531927,27	7745364,44	388	Palmeira d'Oeste
8	526622,83	7782696,33	408	Santa Albertina
9	538349,72	7784284,31	436	Paranapuã
10	512563,05	7764326,09	436	Três Fronteiras
11	504167,90	7768705,38	412	Santa Fé do Sul
12	541148,99	7783325,94	436	Paranapuã
13	530413,78	7787991,04	417	Santa Albertina
14	492491,43	7723990,80	426	Pereira Barreto
15	511132,41	7776801,97	422	Santa Clara d'Oeste
16	509301,35	7775684,09	422	Santa Clara d'Oeste
17	501861,60	7777494,03	351	Rubinéia
18	549757,97	7776175,47	456	Dolcinópolis
19	539734,29	7774210,37	459	Urânia
20	545566,83	7755995,81	443	Jales
21	539802,92	7757955,90	443	Jales
22	544519,08	7751593,16	443	Jales
23	540902,44	7745739,10	443	Jales
24	528460,10	7787583,75	387	Santa Albertina
25	485747,60	7740424,34	337	Suzanápolis
26	486387,00	7743115,73	337	Ilha Solteira
27	485976,73	7743315,82	337	Ilha Solteira
28	485269,01	7743151,20	337	Ilha Solteira
29	504939,32	7767133,43	412	Santa Fé do Sul
30	502962,93	7769182,17	412	Santa Fé do Sul
31	502775,13	7768604,46	412	Santa Fé do Sul
32	543200,75	7777666,19	436	Paranapuã
33	538876,07	7784334,90	436	Paranapuã

Fonte: Dados da própria autora

Foram visitadas seis propriedades com cultivo de seringueira, localizadas três em Paranápuã e três em Ilha Solteira, onde foi possível obter dados como idade das plantas, o que permitiu a identificação do K_c recomendados pela FAO 56, com os valores de K_c então realizou-se o cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc).

3.1 NDVI

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice mais usado até hoje, reduz o efeito topográfico, e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e +1, sendo que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho pela soma das mesmas (ALLEN et al., 1998), os quais correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM (CONCEIÇÃO, 2006).

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Valores entre 0 e +1 representam superfícies com alguma vegetação, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero (GALVINÍCIO et al., 2009).

3.2 Uso do método tradicional

Atualmente o método considerado padrão para se estimar a ET₀ é o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Para a sua utilização são necessários dados de temperatura do ar, velocidade do vento a 2 m de altura, umidade relativa do ar e do saldo de radiação. Neste trabalho essas informações foram coletadas pela Rede de Estações Agrometeorológicas do Noroeste Paulista e utilizou-se a expressão 2:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T+273}}{\Delta + \gamma (1+0,34 U_2)} \quad (2)$$

em que:

Δ = declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

Rn = o saldo de radiação diário ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

G = fluxo total diário de calor no solo ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

γ = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa}^0\text{C}^{-1}$);

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura(ms^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão atual de vapor (kPa);

T = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

3.3 Uso do SAFER

Para o modelo, os únicos parâmetros de sensoriamento remoto são o albedo de superfície, a temperatura de superfície e o índice de área foliar. A relação ET/ETo é aplicada às grades de ETo em escalas de tempo instantânea e diária. Índices vegetativos remotamente obtidos, juntamente com os dados agrometeorológicos, foram usados para extrapolar os valores de ET de local para escalas regionais.

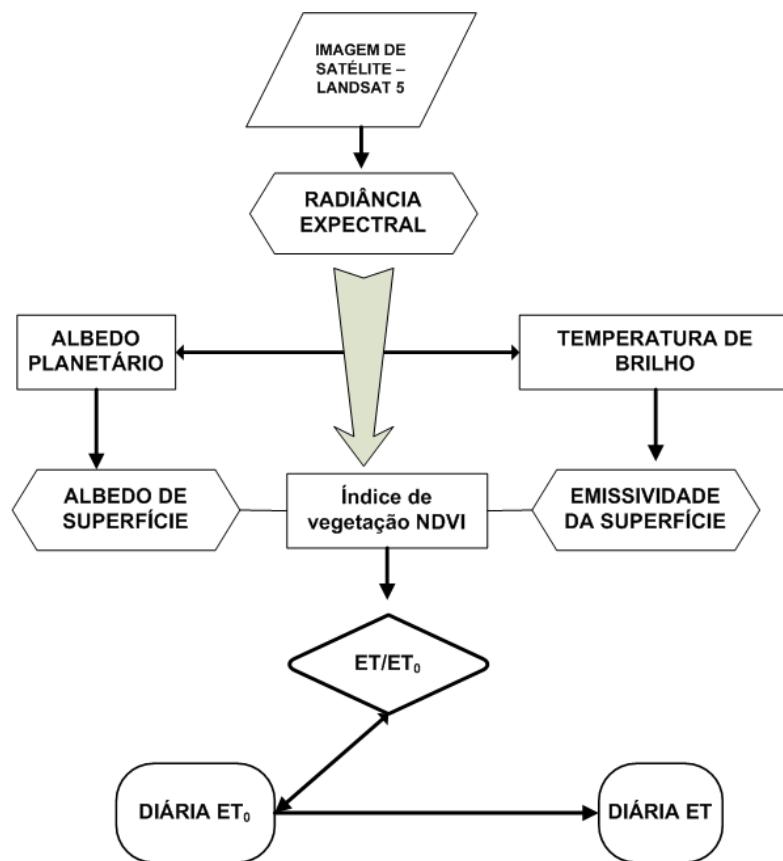
A desvantagem dos métodos de equilíbrio de energia é a necessidade de identificar as condições extremas, a adequabilidade da aplicação da equação de Penman-Monteith (PM), pelo algoritmo de condutância de superfície foi mostrada pelos índices remotamente sensoriados de vegetação (índice de área foliar e NDVI), juntamente com dados do tempo. As grandes vantagens da equação de PM são a aplicabilidade e a sensibilidade baixa para os dados de entrada e parâmetros. Seu uso também é destacado pelo modelo METRIC, que se aplica a evapotranspiração de referência (ETo) em toda razão ET/ETo para extrapolar valores instantâneos de ET para escalas maiores de tempo. Considerando a simplicidade de aplicação, e sem necessidade de classificação de culturas, nem condições extremas, foram desenvolvidos os modelos baseados na equação de PM e validados com dados de campo de estações de fluxo envolvendo culturas irrigadas e vegetação natural (TEIXEIRA, 2010).

A modelagem envolveu o saldo de radiação (Rn) e fluxos de calor no solo (G), as resistências para os fluxos de água, e interpolados dados meteorológicos. Parâmetros de sensoriamento remoto a partir de imagens do satélite Landsat 5, juntamente com experimentos de campo de energia de equilíbrio e uma rede de

estações agrometeorológicas foram utilizados. Os dois modelos de observação simples, quando usados com os satélites e uma rede de estações agrometeorológicas, foram adequados para implementação à escala da bacia para monitoramento da ET. Após a validação, uma primeira aplicação do selecionado foi feita para análises regional e incremental de ET em escalas diárias e anuais, as quais são úteis para a tomada de decisões políticas em condições de mudanças rápidas no uso da terra e da água.

O fluxograma apresentado na Figura 3 esquematiza o modelo para cálculo da evapotranspiração atual para aplicação do método do Teixeira (2010) com uma visão esquemática para converter radiação espectral em evapotranspiração atual utilizando os parâmetros de satélite e as grades de ETo diária quando se aplica o método SAFER.

Figura 3 - Fluxograma demonstrativo do método SAFER.



Fonte: Teixeira (2010).

Após converter a radiação espectral e as correções atmosféricas, as imagens do NDVI, albedo e temperatura são os únicos parâmetros de entrada para estimativa

de valores instantâneos da relação ET/ETo sem a necessidade do balanço de radiação regional. Os valores instantâneos desta relação são multiplicados pelas grades diárias de ETo para estimar a ET regional para 24 horas.

Ambos, valores de resistência superficial e ET/ETo estão relacionados com as condições de umidade do solo e por isso são indicadores de vegetação de sensoriamento remoto, tais como NDVI, albedo e temperatura. Baseado neste princípio, o modelo proposto baseia-se na relação ET/ETo no momento da passagem do satélite na escala regional, a relação entre índice de vegetação com umidade do solo e taxas de ET (TEIXEIRA, 2010).

3.4 Processamento

Para a obtenção da estimativa da evapotranspiração por meio de sensoriamento remoto as imagens foram processadas para o cálculo do balanço de energia. No geoprocessamento das informações foi utilizado o *software* ILWIS que com a função *script* possibilitou os cálculos dos dados no formato matricial (*raster*).

3.4.1 Conversão dos valores de DN (números digitais) em radiância

Inicialmente correções atmosféricas foram realizadas com posterior conversão dos valores digitais, os quais representam o valor do pixel, em radiância espectral (CHANDER; MARKHAM, 2003) para cada banda por meio da equação 3, sendo que a Radiância (L_λ) é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, sendo medida em watts por metro quadrado por esterradiano ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1}$).

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) Q_{cal} + L_{MIN} \quad (3)$$

onde:

L_{MAX} = radiância máxima ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$)

L_{MIN} = radiância mínima ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$)

Q_{cal} = intensidade do pixel (ND), número inteiro variando de 0 a 255.

Tabela 2 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 - 0,60	-2,84	365,0	1829
3 (vermelho)	0,63 - 0,69	-1,17	264,0	1557
4 (IV-próximo)	0,76 - 0,79	-1,51	221,0	1047
5 (IV-médio)	1,55 - 1,75	-0,37	30,2	219,3
6 (IV-termal)	10,4 - 12,5	1,237	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 - 2,35	-0,15	16,5	74,52

Fonte: Modificado de Chandler e Markham (2003).

3.4.2 Cálculo de reflectância

Para cada banda é calculada então a reflectância (p_λ) a partir dos valores de radiância obtidos, sendo a reflectância o processo pelo qual a radiação “resvala” num objeto como o topo de uma nuvem, um corpo d’água, ou um solo exposto.

$$p_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda}{ESUN_\lambda * \cos Z * E_0} \quad (4)$$

sendo:

L_λ = radiância de cada banda

$ESUN_\lambda$ = Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (Tabela 2).

$\cos Z$ = ângulo zenital

E_0 = correção distância terra-sol

Onde E_0 é definidor por:

$$E_0 = 1,000110 + 0,0342221 \cos(da) + 0,001280 \sin(da) + 0,000719 \cos(2 * da) + 0,000077 \sin(2 * da) \quad (5)$$

sendo da = ângulo diário

Onde da é definido pela equação 6:

$$da = (d_n - 1) \frac{2\pi}{365} \quad (6)$$

sendo

d_n = dia Juliano da imagem

3.4.3 Albedo no topo da atmosfera

A obtenção do albedo planetário foi feita pela equação 7:

$$\alpha_{top} = \sum(\omega_\lambda * \rho_\lambda) \quad (7)$$

onde:

ρ_λ = reflectância

ω_λ = coeficiente para cada banda

Sendo ω_λ obtido pela equação 8:

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (8)$$

Tabela 3 - Coeficientes para o cálculo do albedo planetário para cada banda do Landsat TM5.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Landsat TM 5	0,293	0,274	0,233	0,157	0,033	-	0,011

Fonte: INPE, 2014

3.4.4 Albedo de superfície

As informações sobre o albedo de superfície e temperatura de superfície foram obtidos pelas equações 7 e 8 utilizando os coeficientes de Teixeira (2010):

$$\alpha_o = 0,7 * \alpha_{top} + 0,06 \quad (9)$$

onde:

α_{top} = Albedo no topo da atmosfera, obtido na equação 7.

3.4.5 Temperatura de superfície

Os fundamentos do sensoriamento remoto termal estão embasados na Termodinâmica Clássica e na Física Quântica. O problema de se estimar a temperatura de um corpo por meio de sensores remotos é solucionado utilizando as Leis de Kirchhoff e a Lei de Planck. A base fundamental do sensoriamento remoto do infravermelho termal é que toda superfície emite radiação, e sua intensidade depende da temperatura da superfície estudada.

Para elaborar a carta de temperatura da superfície, utilizou-se a imagem do canal do infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5 μm) do sensor TM do satélite Landsat - 5, com resolução espacial de 60 metros.

A temperatura de superfície foi calculada pela equação 10:

$$T_0 = 1,11 * T_{bright} - 31,89 \quad (10)$$

Onde T_{bright} é obtido pela equação 11:

$$T_{bright} = \frac{1260,56}{\ln\left(\frac{607,76}{L_6+1}\right)} \quad (11)$$

sendo:

L_6 = radiância (L_λ) da banda 6

3.4.6 Índice de vegetação de diferença normalizada - NDVI

Em seguida foram calculados os dados de NDVI pela equação 12:

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (12)$$

sendo:

ρ_4 = reflectância da banda 4 - infravermelho próximo

ρ_3 = reflectância da banda 3 - banda no vermelho

3.4.7 Evapotranspiração em escala regional utilizando o algoritmo SAFER

Posteriormente os dados de albedo de superfície (α_0), temperatura de superfície (T_0) e NDVI, foram utilizados para se calcular os valores instantâneos da relação ET/ETo.

Onde para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 (HERNANDEZ et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013) e o coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) correspondendo ao valor de -0,008.

$$\frac{ET}{ETo} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (13)$$

Em seguida os valores instantâneos dessa relação são então multiplicados pelos valores diários da ETo, chegando assim à ET:

$$ET = \frac{ET}{ETo} * ETo \quad (14)$$

3.4.8 Cálculo do Balanço de Energia

No do cálculo do balanço de energia, o albedo foi calculado pela fórmula 15:

$$Alb_{24} = 1,0223 * \alpha_0 + 0,0149 \quad (15)$$

Já a radiação global incidente ($Rg \downarrow$) foi obtida nos piranômetros nas estações agrometeorológicas, enquanto a radiação de onda curta refletida pela superfície ($Rr \uparrow$) foi calculada pela equação 16:

$$Rr \uparrow = Rg \downarrow * Alb_{24} \quad (16)$$

onde $Rg \downarrow$ = radiação de onda curta incidente em $MJ m^{-2} dia^{-1}$

A radiação de onda longa incidente ($Rl \downarrow$) foi calculada pela equação de Stefan-Boltsman, utilizando-se os valores de temperatura.

$$Rl \downarrow = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (17)$$

onde:

σ = é a constante da Lei de Stefan-Boltsman ($5,6697 \times 10^{-8} \text{W.m}^{-2.\text{K}^{-4}}$)

ε = o poder de emissividade do corpo

T = é temperatura obtida por meio das estações agrometeorológicas em K

Enquanto $Rl\downarrow$ foi obtido pela lei de Stefan-Boltsman, o valor de $Rl\uparrow$ foi encontrado por meio da diferença entre radiações de ondas curtas, a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e o saldo de radiação.

$$Rl\uparrow = (Rg\downarrow - Rr\uparrow) + (Rl\downarrow - Rn) \quad (18)$$

Já os valores de Rn foram obtidos pela equação 19:

$$Rn = (1 - \alpha_o)Rg\downarrow - a\tau_{sw} \quad (19)$$

Onde $Rg\downarrow$ em W/m^2 ; a é um coeficiente de regressão entre o saldo de radiação de ondas longas e transmissividade atmosférica de ondas curtas (τ_{sw}), sendo obtido através da equação 20:

$$a = bT_a - c \quad (20)$$

Sendo que “b” e “c” são coeficientes de regressão obtidos por Teixeira et al. (2008a) para condições do semiárido brasileiro, sendo respectivamente 6,99 e 39,93. Os valores de T_a correspondem a interpolação dos dados de temperatura média do ar.

Os valores de fluxo de calor latente (λE) foram obtidos através da conversão da ET em unidades de energia, posteriormente os valores de H (fluxo de calor sensível) foram determinados como resíduo do balanço de energia, assumindo-se para isso que os valores do fluxo de calor no solo (G) correspondem a 0 para o período de 24 horas:

$$H = R_n - \lambda E \quad (21)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as seis propriedades visitadas, as três localizadas no município de Ilha Solteira (polígonos 26, 27 e 28) os proprietários afirmaram ter aplicado água nas mudas com uso de tanque apenas no momento após o plantio; em duas localizadas em Paranapuã (polígonos 9 e 33) a irrigação foi realizada nos 4 primeiros meses após o plantio com uso de irrigação por gotejamento num turno diário de seis horas; e na sexta propriedade, também em Paranapuã, a irrigação ocorreu diariamente com o uso de tanque nos dois primeiros anos de implantação da cultura. Nenhuma das propriedades visitadas, porém, fazia uso de irrigação na atualidade.

Na Tabela 4 estão identificados os polígonos correspondentes às áreas visitadas, sua área, idade das plantas ou tempo de implantação, evapotranspiração de referência (ET₀), obtidas pelas estações agrometeorológicas, K_c obtido da FAO 56 e a ET_c calculada segundo o método tradicional (Allen et. al, 1998), representando o período úmido, verão, com maiores valores de ET_c em consequência das altas temperaturas.

Para o cálculo pelo método tradicional não houve interpolação dos valores, levando-se em consideração que os produtores busquem os dados agrometeorológicos nas estações mais próximas à sua propriedade.

Tabela 4 - Evapotranspiração da cultura calculada pelo método tradicional (FAO 56). Dados referentes à época de chuvas (21/02/2011).

Polígono	Cidade	Área (ha)	Tempo de Implantação	ET ₀	ET _c (mm/dia)	K _c
12	Paranapuã	36,3	7 anos	5,7	5,4	0,95
33	Paranapuã	19,6	17 anos	5,7	5,7	1,00
9	Paranapuã	20,7	35 anos	5,7	5,7	1,00
28	Ilha Solteira	27,2	3 anos	5,9	5,6	0,95
27	Ilha Solteira	18,9	2 anos	5,9	5,6	0,95
26	Ilha Solteira	18,0	1 ano	5,9	5,6	0,95

Fonte: Dados da própria autora

No inverno com temperaturas mais amenas, período seco, os valores de ET_c nas mesmas áreas são inferiores, vale observar que os valores de K_c não se alteram no período, os dados estão na Tabela 5, também pelo método tradicional:

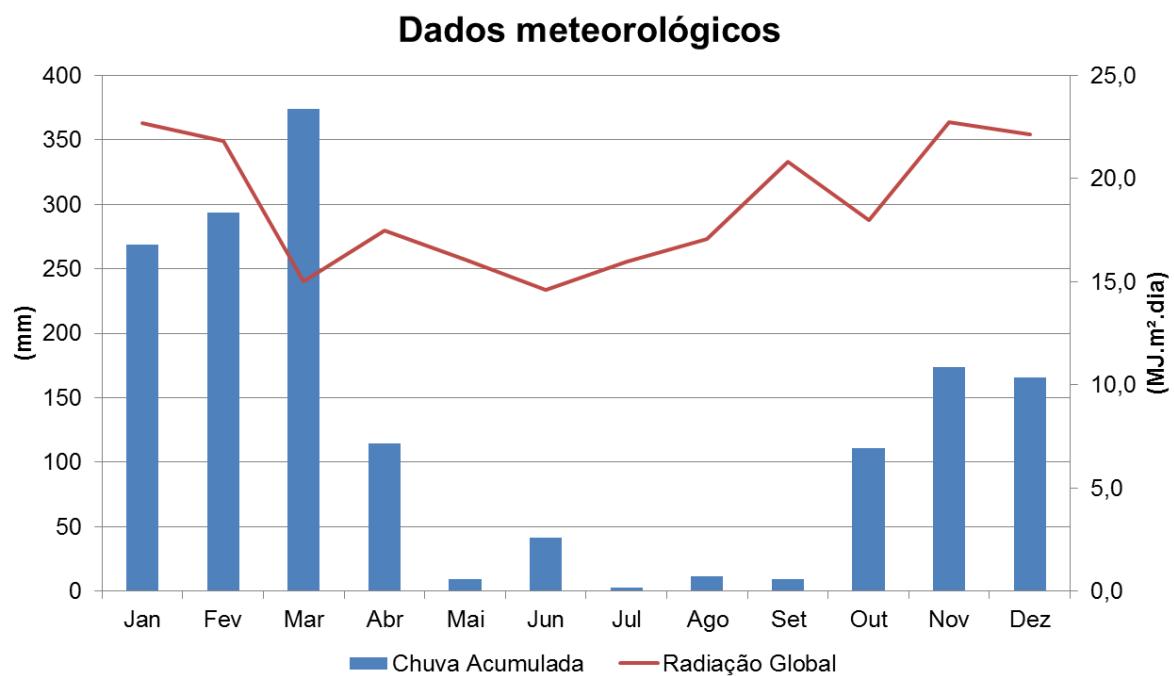
Tabela 5 - Evapotranspiração da cultura calculada pelo método tradicional (FAO 56).
Dados referentes à época de estiagem (01/09/2011).

Polígono	Cidade	Área (ha)	Tempo de Implantação	ETo (mm/dia)	ETc (mm/dia)	Kc
12	Paranápuã	36,3	7 anos	5,0	4,8	0,95
33	Paranápuã	19,6	17 anos	5,0	5,0	1,00
9	Paranápuã	20,7	35 anos	5,0	5,0	1,00
28	Ilha Solteira	27,2	3 anos	5,3	5,0	0,95
27	Ilha Solteira	18,9	2 anos	5,3	5,0	0,95
26	Ilha Solteira	18,0	1 ano	5,3	5,0	0,95

Fonte: Dados da própria autora

A Figura 4 exibe o comportamento da radiação global e a chuva acumulada ao longo dos meses do ano de 2011. Em fevereiro, mês da época úmida abordada no trabalho, observa-se o segundo maior volume de precipitação com 294 mm, obtendo ainda uma das radiações globais mais altas no ano. Em setembro, época seca analisada, a precipitação acumulada de apenas 9 mm foi a segunda menor no ano, com alta radiação global, o maior valor desde fevereiro.

Figura 4 - Dados meteorológicos mensais referentes ao ano de 2011.



Fonte: Dados da própria autora

O comportamento climático apresentado no gráfico ajuda a entender a diferença entre o Kc disponibilizado pela FAO e o resultante da aplicação do algoritmo SAFER

observado nas Tabelas 6 e 7, pois as condições de umidade encontradas em campo no momento da passagem do satélite estão longe de serem as ideais, como ocorre no caso da obtenção dos coeficientes de cultura do Boletim 56, tendo a região do noroeste paulista uma época de seca bem definida.

Tabela 6 - Coeficiente de cultura atual calculado pelo método SAFER. Dados referentes à época de chuvas (21/02/2012).

Polígono	Cidade	Área (ha)	ET _o	ET (mm/dia)	ET/ET _o	NDVI
1	Ilha Solteira	26,8	5,9	2,4	0,4	0,6
2	Santa Rita d'Oeste	174,0	5,7	3,1	0,6	0,7
3	Aspásia	51,6	5,7	3,2	0,6	0,7
5	Santa Salete	21,5	5,6	3,3	0,6	0,7
6	Palmeira d'Oeste	139,9	5,5	2,5	0,5	0,6
7	Palmeira d'Oeste	94,1	5,5	3,5	0,6	0,7
8	Santa Albertina	16,2	5,7	3,2	0,6	0,7
9	Paranapuã	20,7	5,7	3,2	0,6	0,7
10	Três Fronteiras	23,0	5,6	3,1	0,6	0,7
11	Santa Fé do Sul	23,2	5,7	3,0	0,5	0,7
12	Paranapuã	36,3	5,7	3,1	0,5	0,7
13	Santa Albertina	6,3	5,7	3,1	0,5	0,6
14	Pereira Barreto	35,5	5,7	3,3	0,6	0,7
15	Santa Clara d'Oeste	49,5	5,7	3,2	0,6	0,7
16	Santa Clara d'Oeste	23,0	5,7	3,4	0,6	0,7
17	Rubinéia	63,8	5,7	2,5	0,4	0,6
18	Dolcinópolis	27,6	5,7	2,7	0,5	0,6
19	Urânia	23,6	5,7	3,3	0,6	0,7
20	Jales	40,8	5,6	3,4	0,6	0,7
21	Jales	16,2	5,6	3,1	0,5	0,7
22	Jales	79,1	5,6	2,5	0,4	0,6
23	Jales	183,5	5,6	2,7	0,5	0,6
24	Santa Albertina	7,4	5,7	2,8	0,5	0,6
25	Suzanápolis	60,1	5,8	2,0	0,4	0,5
26	Ilha Solteira	18,0	5,8	0,7	0,1	0,3
27	Ilha Solteira	18,9	5,8	2,8	0,5	0,6
28	Ilha Solteira	27,2	5,8	2,6	0,4	0,6
29	Santa Fé do Sul	18,3	5,6	3,6	0,6	0,6
30	Santa Fé do Sul	7,9	5,7	3,0	0,6	0,7
31	Santa Fé do Sul	21,3	5,7	3,7	0,7	0,7
32	Paranapuã	6,6	5,7	2,4	0,4	0,6
33	Paranapuã	19,6	5,7	2,8	0,5	0,6

Fonte: Dados da própria autora

Na Tabela 6 observou-se que os valores de Kc variaram desde 0,1 no polígono 26, localizado em Ilha Solteira, até 0,7 no polígono 31 de Santa Fé do Sul, os valores de Kc obtidos foram inferiores aos retirados do Boletim FAO 56, que determina para a área correspondente ao polígono 26 a um Kc de 0,95.

Tabela 7 - Coeficiente de cultura atual calculado pelo método SAFER. Dados referentes à época de estiagem (01/09/2011).

Polígono	Cidade	Área (ha)	ET _o (mm/dia)	ET	ET/ET _o	NDVI
1	Ilha Solteira	26,8	5,3	0,3	0,1	0,3
2	Santa Rita d'Oeste	174,0	5,0	2,3	0,5	0,6
3	Apásia	51,6	5,0	3,3	0,7	0,7
5	Santa Salete	21,5	4,9	2,5	0,5	0,7
6	Palmeira d'Oeste	139,9	4,8	2,0	0,4	0,6
7	Palmeira d'Oeste	94,1	4,8	1,4	0,4	0,5
8	Santa Albertina	16,2	5,0	2,3	0,5	0,6
9	Paranapuã	20,7	5,0	2,7	0,5	0,7
10	Três Fronteiras	23,0	5,0	2,9	0,6	0,7
11	Santa Fé do Sul	23,2	5,0	2,4	0,5	0,7
12	Paranapuã	36,3	5,0	2,2	0,4	0,6
13	Santa Albertina	6,3	5,0	2,0	0,4	0,6
14	Pereira Barreto	35,5	5,1	3,0	0,6	0,7
15	Santa Clara d'Oeste	49,5	5,0	3,2	0,6	0,7
16	Santa Clara d'Oeste	23,0	5,0	3,0	0,6	0,7
17	Rubinéia	63,8	5,0	1,7	0,3	0,5
18	Dolcinópolis	27,6	5,0	2,9	0,6	0,7
19	Urânia	23,6	5,0	2,7	0,5	0,7
20	Jales	40,8	4,9	3,2	0,7	0,7
21	Jales	16,2	4,9	0,6	0,1	0,4
22	Jales	79,1	4,9	1,4	0,3	0,5
23	Jales	183,5	4,8	1,6	0,3	0,5
24	Santa Albertina	7,4	5,0	1,3	0,3	0,6
25	Suzanápolis	60,1	5,3	0,3	0,1	0,3
26	Ilha Solteira	18,0	5,3	0,3	0,0	0,2
27	Ilha Solteira	18,9	5,3	0,9	0,2	0,5
28	Ilha Solteira	27,2	5,3	0,6	0,1	0,4
29	Santa Fé do Sul	18,3	5,0	2,1	0,4	0,7
30	Santa Fé do Sul	7,9	5,0	2,4	0,5	0,7
31	Santa Fé do Sul	21,3	5,0	3,0	0,6	0,7
32	Paranapuã	6,6	5,0	0,6	0,1	0,4
33	Paranapuã	19,6	5,0	2,5	0,5	0,6

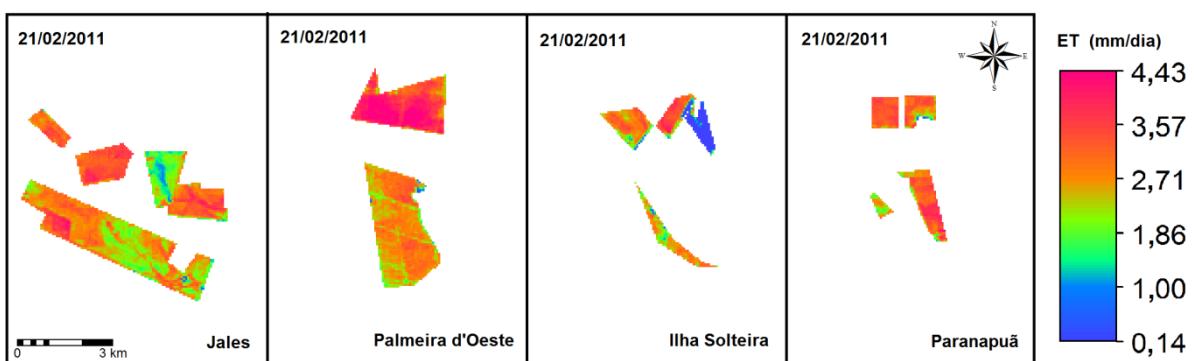
Fonte: Dados da própria autora

Na Tabela 7 obteve-se K_c igual a 0 na mesma área do polígono 26, e cinco áreas com valores de K_c iguais a 0,1, polígonos 1, 21, 25, 28 e 32. Os valores mais altos de K_c foram obtidos nos polígonos 3 e 20, que correspondem a 0,7.

É válido lembrar que os valores de K_c disponíveis no Boletim FAO 56 foram obtidos em condições ideais de umidade para as respectivas culturas, o que não necessariamente ocorre no caso do K_c obtido pelo método SAFER, principalmente no período seco. Outro ponto a ser observado é que as imagens de satélite apresentam informações de radiância não apenas da cultura, mas também de outros fatores como solo e água, que interferem nos resultados, por este motivo foram considerados os valores de NDVI, que representam um índice de vegetação presente na área, desta maneira explica-se por exemplo o valor de K_c igual a 0, uma vez que a área correspondente possui um valor de NDVI igual a 0,2, indicando baixa quantidade de vegetação na área, ou pixels não vegetados, prejudicando assim a obtenção de um valor real de K_c , por esta razão somada a causa da ausência de condições ideais de umidade, denominamos a obtenção do K_c pelo método SAFER de coeficiente de cultura atual.

Nas Figuras 5 e 6 são comparados valores de evapotranspiração de referência entre áreas de distintos municípios na mesma figura e entre épocas quando relacionadas as duas figuras. Na Figura 5, representando a época úmida, observa-se uma maior evapotranspiração em relação à época seca (Figura 6), sendo que em Palmeira d'Oeste apresentou os maiores valores de ET e em Ilha Solteira a menor na área correspondente ao polígono 26, o qual dentre as áreas visitadas possui implantação mais recente do seringal, apresentando assim menor índice de vegetação, observado também nas Figuras 9 e 10.

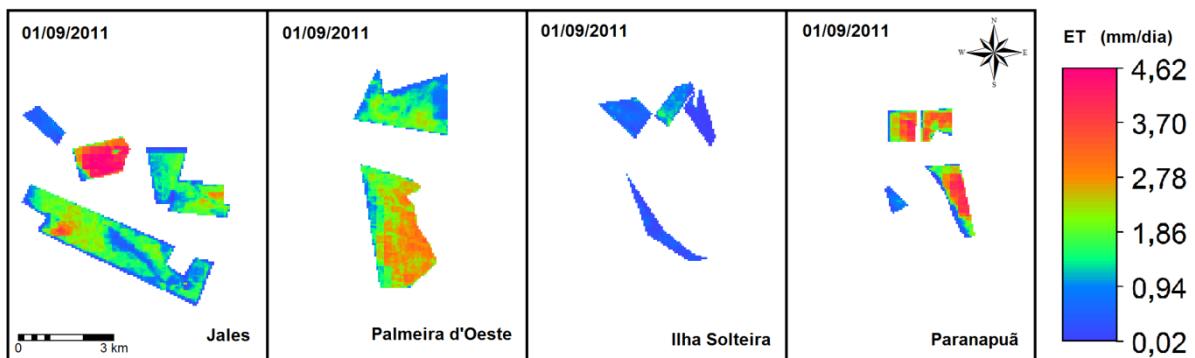
Figura 5 - Evapotranspiração atual em 21 de fevereiro de 2011.



Fonte: Dados da própria autora.

Em setembro menores valores de evapotranspiração são observados, com exceção do polígono 20, localizado em Jales, o mesmo como pode ser verificado nas figuras 9 e 10, que possui alto índice de vegetação, justificando o alto valor de ET.

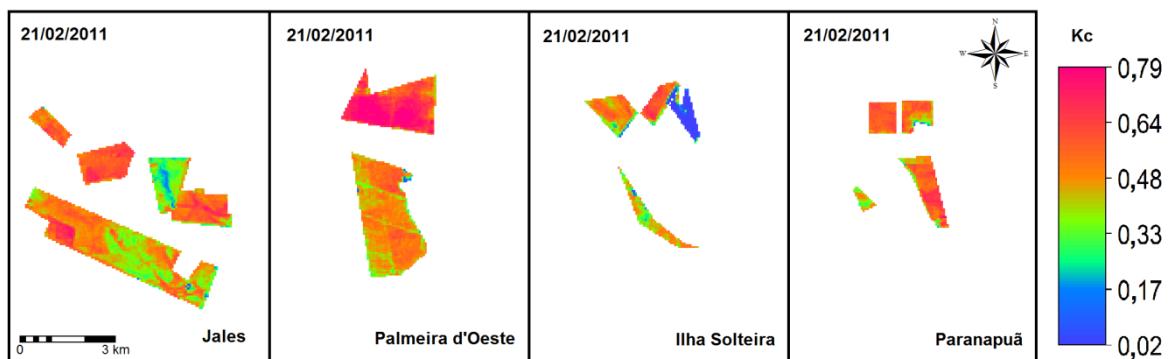
Figura 6 - Evapotranspiração atual em 01 de setembro de 2011.



Fonte: Dados da própria autora

Os coeficientes de cultura de referência representados nas figuras 7 e 8 seguem na mesma linha de observações relacionados ao NDVI, isso porque as áreas com maiores valores de Kc possuem igualmente valores de NDVI mais elevados, ou seja, áreas com seringais mais desenvolvidos possuem maior índice de área foliar, portanto maior NDVI e por sua vez maior coeficiente de cultura

Figura 7 - Coeficiente de cultura atual em 21 de fevereiro de 2011.

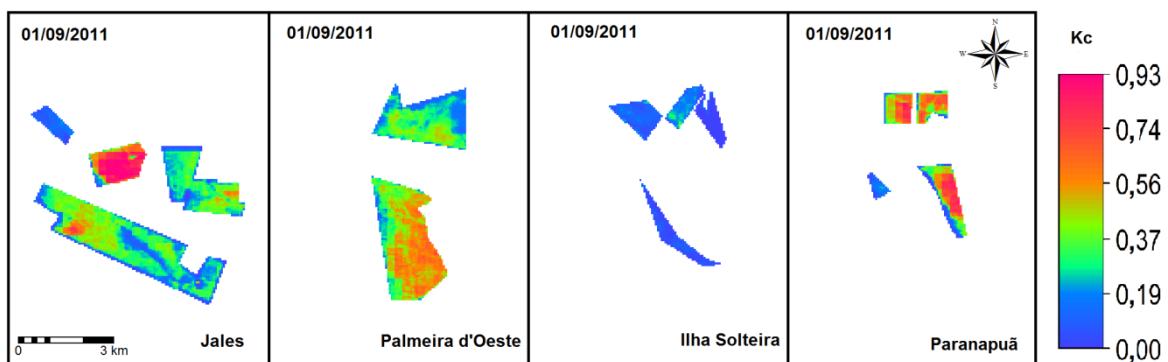


Fonte: Dados da própria autora

Nota-se na Figura 8 a qual representa o segundo semestre do ano, que os valores de Kc são inferiores aos observados na Figura 7, do primeiro semestre do

ano, mesmo a seringueira sendo uma cultura perene, o que sugere que ao longo dos meses a cultura esteja cada vez mais desenvolvida, porém cabe-se dizer que entre os meses de junho e julho ocorre a queda das folhas, entrando as árvores em período de hibernação (SAMBUGARO, 2007), caracterizando assim os menores valores de Kc.

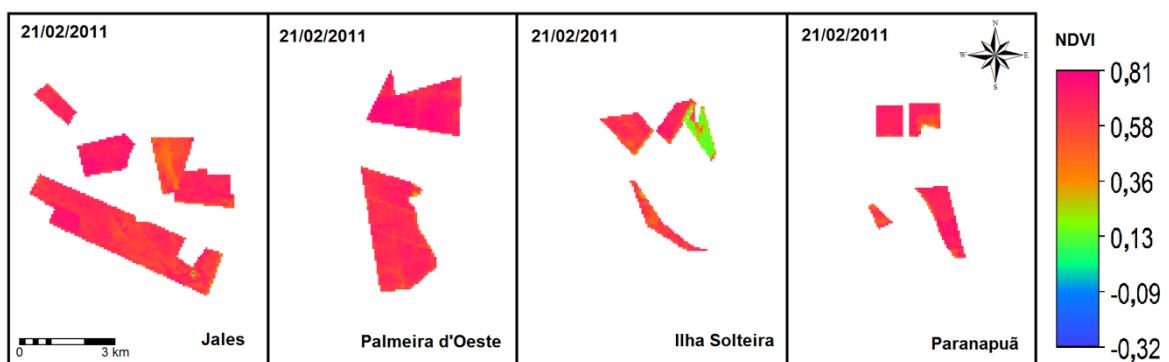
Figura 8 - Coeficiente de cultura atual em 01 de setembro de 2011.



Fonte: Dados da própria autora

O NDVI ajuda a entender os baixos valores de Kc obtidos pelo método SAFER, visto que as áreas analisadas não possuem alta homogeneidade no campo, ou condições ótimas de umidade, ainda que na Figura 9 esteja representada a época úmida não há como afirmar que os níveis de umidade sejam os ideais. No polígono 26, Ilha Solteira, o baixo valor de NDVI é justificado também, como mencionado anteriormente pela pouca idade das árvores em questão.

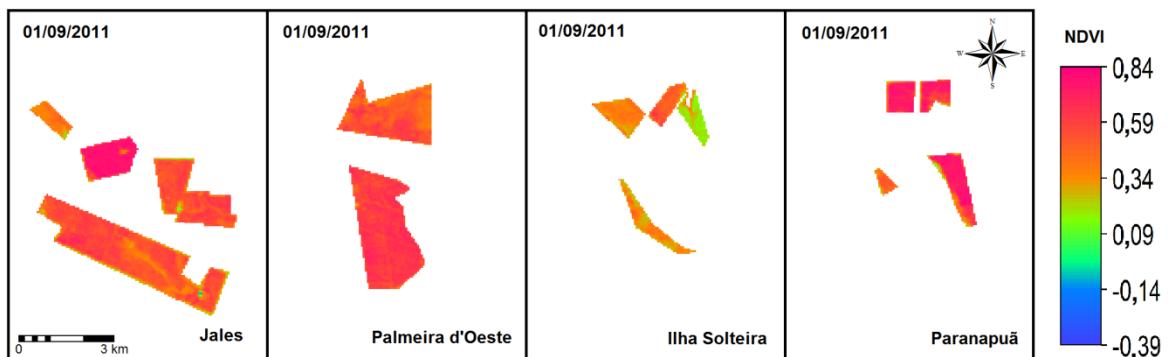
Figura 9 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em 21 de fevereiro de 2011.



Fonte: Dados da própria autora

Na Figura 10, além dos motivos já citados, são exibidas imagens do período de seca, e a ausência de irrigação intensifica o problema relacionado à umidade necessária para a obtenção de um K_c real. Os valores de NDVI relacionados à desfolha também interferem na obtenção de um K_c próximo ao disponibilizado pela FAO.

Figura 10 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em 01 de setembro de 2011.



Fonte: Dados da própria autora

Foi realizado ainda um estudo do número de dias sem precipitações maiores que 10 mm (Tabela 8), valor que representa de fato chuva para a agricultura, para os dois períodos, a fim de identificar a possível presença de umidade nas áreas.

Tabela 8 - Condições hídricas da região noroeste paulista nas datas analisadas.

Data da imagem	Dia Juliano	Chuva Acumulada em 180 dias (mm)	ETo acumulada em 180 dias (mm)	Chuva Acumulada - ETo	Dias sem chuva maior que 10 mm	Última chuva (mm)
21/02/2011	52	924	1048,6	-125	2	41,4
01/09/2011	244	466	667,6	-202	83	50,3

Fonte: Dados da própria autora

Observa-se que em fevereiro, época úmida, houve apenas dois dias sem chuvas, enquanto que em setembro, época seca, este intervalo foi de oitenta e três dias, apesar de a última chuva ocorrida em fevereiro ter um volume um pouco menor do que a última de setembro, a evapotranspiração no segundo mês do ano tem valores muito superiores devido às altas temperaturas. No nono mês do ano a evapotranspiração é inferior, assim como a chuva acumulada que não chega à

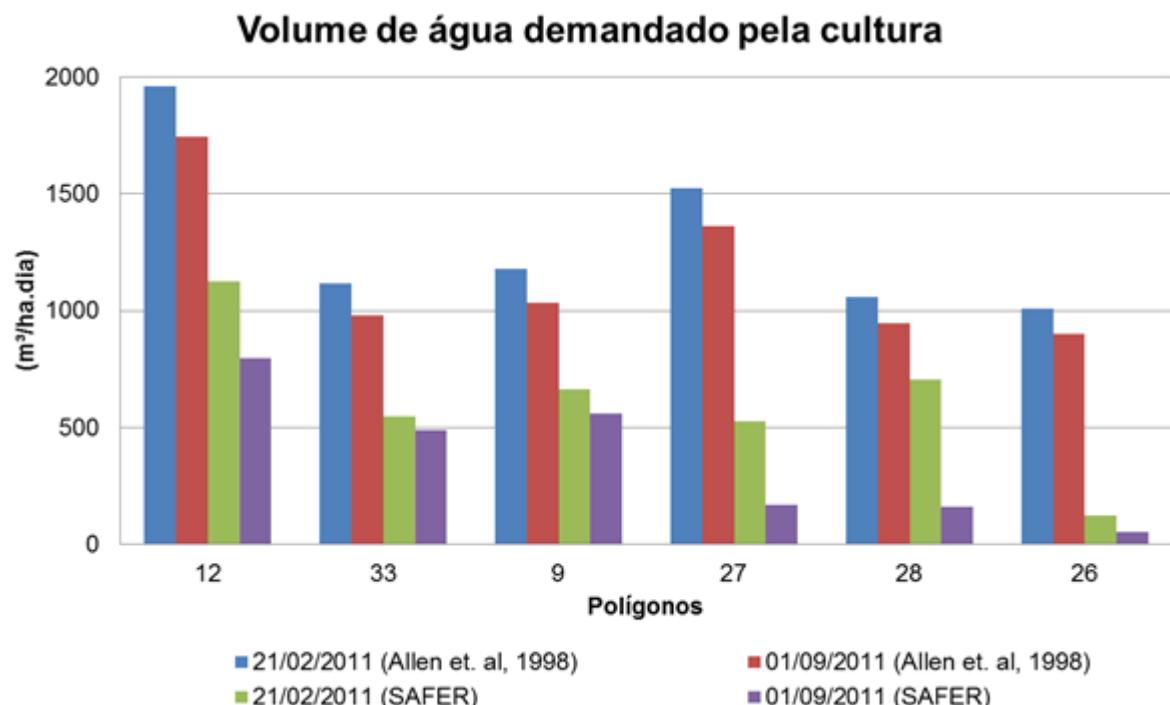
metade do valor da outra data. Apesar da correlatividade existente entre chuva acumulada e ET₀ acumulada nas duas datas, a diferença entre as variáveis foi mais marcante no mês de setembro, confirmando os resultados visualizados nos mapas de ET, K_c e NDVI.

Por fim foi calculado o volume de água que seria utilizado nas duas épocas segundo os K_cs obtidos no Boletim FAO 56 e os calculados pelo método SAFER, através da equação 22:

$$V = 10 * ET \quad (22)$$

Fazendo-se uso da equação 22, obtiveram-se os volumes de água necessários para suprir a demanda da seringueira nos períodos de seca e úmido para o método tradicional (Allen et. al, 1998) e para o método SAFER.

Figura 11 - Volume de água demandado pela cultura para cada data analisada, segundo os dois diferentes métodos estudados.



Fonte: Dados da própria autora

Observando-se o gráfico pode-se constatar que nas duas épocas o volume de água necessário foi maior com o uso do método tradicional, sendo que com o método SAFER a exigência de água mostrou-se inferior pela cultura. Nota-se

também que no período de seca, apesar de haver menores volumes de precipitações, a exigência de água pela cultura é menor, isto porque a evapotranspiração da cultura também é inferior, caracterizando esta menor exigência. Pode ainda levar em conta que ao iniciar o segundo semestre do ano a seringueira entra em estado de hibernação.

5 CONCLUSÃO

O uso do sensoriamento remoto permite avaliar a necessidade de água em culturas como a seringueira, que geralmente não são cultivadas em condições ideais de umidade do solo, como a encontrada em condições de irrigação, possibilitando a percepção de condições mais reais de cultivo. O algoritmo SAFER permitiu a estimativa da demanda hídrica sazonal possibilitando ainda a observação da variabilidade espacial do consumo de água em talhões ou áreas que deveriam ser agronomicamente homogêneas.

6 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BARBASSO, D. V.; JÚNIOR, M. J. P.; PIO, R. M. Caracterização fenológica de variedades do tipo murcott em três porta-enxertos, Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 27, n. 3, p. 399-403, Dezembro 2005.
- BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. de Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais, Revista ciência agronômica, v.43, n. 1, p.64-71, jan-mar, 2012.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Piscataway, v.41, n.11, p.2674-2677, nov. 2003.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Modelos de estimativa do saldo de radiação na região noroeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. Anais... Juazeiro: ABID, 2006. 1 CD-ROM.
- FRANCISCO, V. L. F. dos S.; BUENO, C. R. F.; FILHO, E. P. C.; VICENTE, M. C. M.; BAPTISTELLA, C. da S. L. Análise comparativa da heveicultura no Estado de São Paulo, 2009a.

FRANCISCO, V. L. F. dos S.; CASER, D. V.; BUENO, C. R. F.; FREDO, C. E. LUPA 2007/2008 e a cultura da seringueira no Estado de São Paulo. Projeto LUPA 2007/2008: Censo Agropecuário do Estado de São Paulo. São Paulo: CATI/IEA/SAA, 2009. Análises e indicadores do agronegócio, São Paulo, v.4, n.10, outubro 2009b.

FURLANI JUNIOR, E.; GONCALVES, P. S. . Cultura da Seringueira. 1. ed. Ilha Solteira: Unesp/Ilha Solteira, 2012. v. 1. 150p.

GALVÍNCIO, J.D.; DANTAS, L.G.; FERNADES, J.G. et al. Análise da temperatura do ar e da superfície no sítio boa felicidade em São José do Sabugi-Pb no semi-árido do Brasil. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 2, 2009.

HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C; NEALE, C. M. U.; TAGHVAEIAN, S. Determining actual evapotranspiration on the large scale using agrometeorological and remote sensing data in the Northwest of the São Paulo State, Brazil. In: International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 7º, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 13 maio. 2014.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Ed. Plantarum, v. 1, 3ª ed., 2000, 352p.

MARTIN, N. B.; ARRUDA, S. T. A produção brasileira de borracha natural: situação atual e perspectivas. Informações Econômicas, São Paulo, v. 23, n. 9, p. 9-55, 1993.

MEDEIROS, A. G. Novos conceitos técnicos sobre controle químico do mal das folhas da seringueira. Itabuna: CEPLAC-CEPEC, 1976. 20/p. (Boletim Técnico, 35).

MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) na região Norte Fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MESQUITA A. C.; OLIVEIRA, L. E. M. de; CAIRO, P. A. R.; VIANA, A. A. M. Sazonalidade da produção e características do látex de clones de seringueira em Lavras, MG, Bragantia, Campinas, v. 65, n. 4, p.633-639, 2006.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia agrícola, 2009, 192p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicação prática. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

RODRIGUES, L. N.; SEDIYAMA, G. C.; SOCCOL, O. J.; MANTOVANI, E. C. Modelo de Ritchie para determinações da transpiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e

da evaporação direta da água do solo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, p.179-185, 1998.

SAMBUGARO, R. Estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea spp.*) e interação com *Microcyclus ulei* (mal das folhas), 2007, 104f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP, Botucatu, fevereiro 2007.

SANTOS, R. S. A seringueira e a importância da borracha natural no Brasil e no mundo. Revista Eletrônica de Ciência, São Carlos, n.9, junho 2011.

SERBINA, L.; MILLER, H.M. Landsat uses and benefits - Case studies by application area: U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1108, 61p.

SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; ALVES, R. R.; SANTOS, F. L. Análise econométrica da demanda brasileira de importação de borracha natural, de 1964 a 2005. Revista Árvore, Viçosa, v.32, n.6, p.1133-1142, 2008.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation, Remote Sensing, 2, 1287-1319; doi:10.3390/rs0251287, 2010.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of fast land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: SPIE Remote Sensing, 2012, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology, XIV, v. 85310G, p.1-10, 2012a.

TEIXEIRA, A. H. C.; SHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPEZ, H. L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in Petrolina municipality, Brasil. In: SPIE Remote Sensing, 2012, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIV. Vol. 85310P, p.1-9, 2012b.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. Modelagem espaço-temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite. 2013. 32p. (Documentos, 99)

UNESP - Universidade Estadual Paulista. Acesso à base diária. Ilha Solteira: UNESP / Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e Solos - DEFERS - Área de Hidráulica e Irrigação, 2014. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em 19 de abril de 2014.

WATSON, L.; DALLWITZ, M. J. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. 1992. Disponível em: <<http://delta-intkey.com>> Acesso em: 26 jul. 2012.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Formulário para entrevista com produtor de seringueira (parte 1).



Formulário de Área com Seringueira

Nome da propriedade: _____

Nome do produtor: _____

Localização geográfica: _____ S _____ O

Município: _____ SP Tempo de posse: _____

Quem administra a propriedade:
 Proprietário Funcionários Outros _____

Data de Implantação: _____ Variedade: _____

Já está em fase de produção: Sim, qual a produtividade média _____ Não

Faz adubação baseada em análises de solo: Sim Não Não faz adubação

Área total: _____ População de Plantas: _____

Utilização de irrigação: Sim Não

Se sim, que período estádio: _____

Fertirrigação: Sim Não

Qual a origem da água utilizada na irrigação: Rio Córrego Poço

UNESP
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO
ILHA SOLTEIRA - SP

Apêndice 2 – Formulário para entrevista com produtor de seringueira (parte 2).

Tipo de sistema de irrigação: _____

Fabricante: _____

Marca do aspersor/micro/gotejador: _____

Pressão de operação: _____ Diâmetro dos bocais: _____

Altura: _____ Vazão: _____ Tempo de coleta: _____

Acionamento do motor: () Elétrico () Diesel () Outro: _____

Marca, modelo e potência do motor: _____

Marca, modelo e potência da bomba: _____

Possui projeto: () Sim, quem projetou: _____ () Não

Se não houve projeto, houve alguma orientação quanto a compra dos materiais:

() Sim, quem orientou: _____ () Não

Utiliza manejo da irrigação: () Tensiômetro () Evapotranspiração () Nenhum

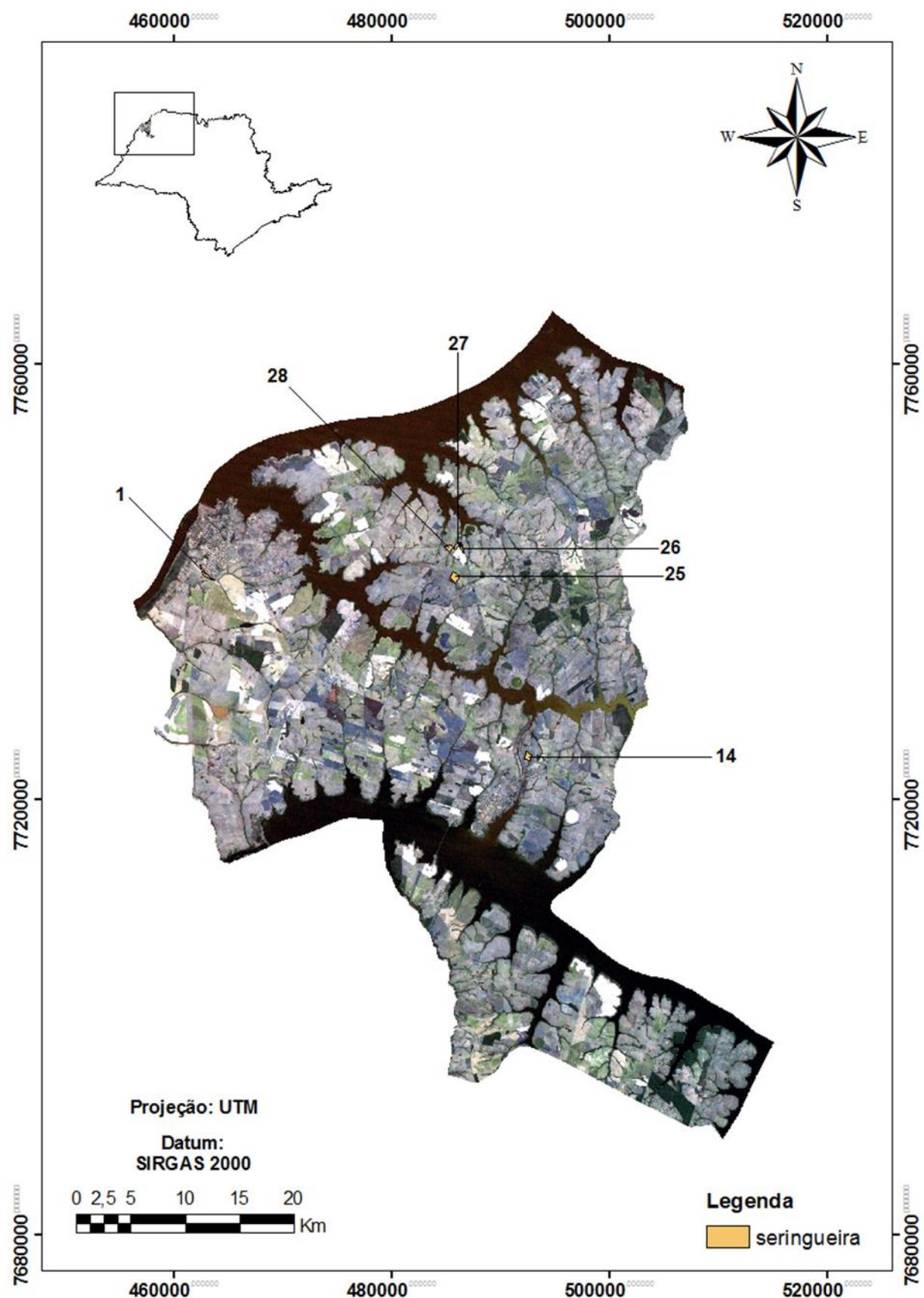
Se não, que critérios utiliza para realizar a irrigação: _____

Utiliza tempo fixo de irrigação, quanto: _____

Qual o intervalo de irrigação: _____

Comentários adicionais do proprietário: _____

CINESP
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO
ILHA SOLTEIRA - SP

Apêndice 3 – Mapa com localização dos polígonos - áreas de controle (parte 1).

Apêndice 4 – Mapa com localização dos polígonos - áreas de controle (parte 2).

