

QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA UTILIZANDO O BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO E O LEVANTAMENTO AGRÍCOLA POR IMAGENS DE SATÉLITE

GUILHERME PEDRO VIERO¹; JOSÉ HILÁRIO DELCONTE FERREIRA² E EUDES JOSÉ ARANTES³

¹Tecnólogo em Gerenciamento Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão – Via Rosalina Maria dos Santos, 1233. CEP 87301-899. Campo Mourão, PR. gpviero@gmail.com

² Departamento Acadêmico de Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão – Via Rosalina Maria dos Santos, 1233. CEP 87301-899. Campo Mourão, PR. jferreira@utfpr.edu.br

³ Departamento Acadêmico de Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão – Via Rosalina Maria dos Santos, 1233. CEP 87301-899. Campo Mourão, PR. udesarantes@utfpr.edu.br

1 RESUMO

A irrigação é necessária desde os primórdios da civilização humana e na atualidade representa a maior parcela dos usos da água. A quantificação dos recursos hídricos destinados à irrigação constitui em um problema, tendo em vista que existem imensas áreas irrigadas que consomem grandes volumes de água. Este trabalho tem objetivo de realizar um modelo de quantificação do consumo hídrico em sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central, utilizando o Distrito Federal como estudo de caso. Dados oriundos de três estações climatológicas foram analisados, e utilizados junto a uma metodologia de planejamento preliminar de projetos de irrigação, a fim de que se obtivesse a demanda de água para irrigação, ou seja, as perdas por evapotranspiração somadas a demanda de água do ciclo vegetativo de uma determinada cultura, sendo essa identificada a partir de imagens de sensoriamento remoto, em conjunto com o calendário agrícola regional. Os resultados encontrados para a evapotranspiração foram comparados de forma similar para os dados das três estações climatológica. No cálculo das demandas hídricas verificou-se a pequena influência da pedologia quanto às quantidades totais, mas observou-se a influência nos turnos de rega.

Palavras-chave: Balanço hídrico, evapotranspiração, sensoriamento remoto, irrigação.

**VIERO, G.P.; FERREIRA, J.H.D.; ARANTES, E.J.
MEASUREMENT OF WATER DEMAND USING SOIL WATER BALANCE AND
AGRICULTURAL SURVEY BY SATELLITE IMAGES**

2 ABSTRACT

Irrigation has been a necessity since the beginning of human civilization, and today it represents the largest proportion of water use. Quantification of water resources for irrigation has been a concern, as many irrigated areas exist which consume great water volume. The objective of this study was to develop a quantification model of water consumption in systems of sprinkler irrigation with a center-pivot type in the Federal District. Data from three

climatological stations were analyzed and applied together with a methodology for initial planning of irrigation projects to evaluate water demand for irrigation, that is, the losses by evapotranspiration added by the water demand of the vegetative cycle of each culture. The latter was identified from images of remote sensing together with the regional agriculture calendar. Results of evapotranspiration were similarly compared with data from the three climatological stations. Concerning water demand, little effect of pedology was observed on total quantity, but the effect was observed on the irrigation frequency.

Keywords: water balance, evapotranspiration, remote sensing, irrigation.

3 INTRODUÇÃO

O homem desde as primeiras colonizações teve água como principal fonte de sobrevivência, tanto para sua dessedentação quanto ao uso para irrigação, tornando a água uma fonte de energia (conversão em alimentos). Porém, quanto à qualidade e quantidade de água requerida, acreditavam-se não ter fim. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (2010), no Brasil 62% dos usos são destinados ao ambiente agrícola (à produção agrícola), 20% para abastecimento humano, 18% uso industrial, sem que haja cobrança por esse bem para fins de irrigação. E ainda, no Brasil houve um aumento das áreas irrigadas de 0,8 milhões ha em 1970 para 2,7 milhões ha em 1990 e 3,1 milhões ha em 2009.

Tendo em vista as diversas leis federais e estaduais, que tratam a água como um bem público, onde todos têm o direito ao uso. Alguns agricultores certamente são privilegiados, onde poucas propriedades têm recursos hídricos disponíveis. Além disso, leis federais e estaduais tratam da cobrança do uso da água, o código federal das águas de 1934 que foi regulamentada pela lei federal 10.881/04.

Nesse contexto surge uma problemática, de como pode ser quantificada a água utilizada em sistemas de irrigação, tendo em vista que existem imensas áreas irrigadas onde são consumidos grandes volumes de água sem que haja controle, torna-se viável um modelo de quantificação baseado em balanço hídrico, que mede a entrada e saída de água do solo, considerando as necessidades hídricas das culturas.

O trabalho foi realizado utilizando dados climatológicos de três estações climatológicas automáticas localizadas nas proximidades e dentro dos limites do Distrito Federal, que está localizado no centro-oeste brasileiro.

O mesmo tem como objetivo a elaboração de um modelo de quantificação de recursos hídricos consumidos pela irrigação por aspersão, método pivô-central, através do balanço hídrico climatológico. Utilizando dados de evapotranspiração de referencia ET_0 obtidos pelo método universal padrão FAO 56 – Penman-Monteith (FAO56-PM) de estações climatológicas automáticas e exemplificar um modelo de quantificação da demanda hídrica, baseada em dados pedológicos do Distrito Federal e cultura agrícola implantada sob regime irrigado identificada a partir de uma série histórica de imagens de Sensoriamento Remoto dos sensores TM a bordo do satélite Landsat-5 e sensores CCD a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B.

4 MATERIAL E MÉTODOS

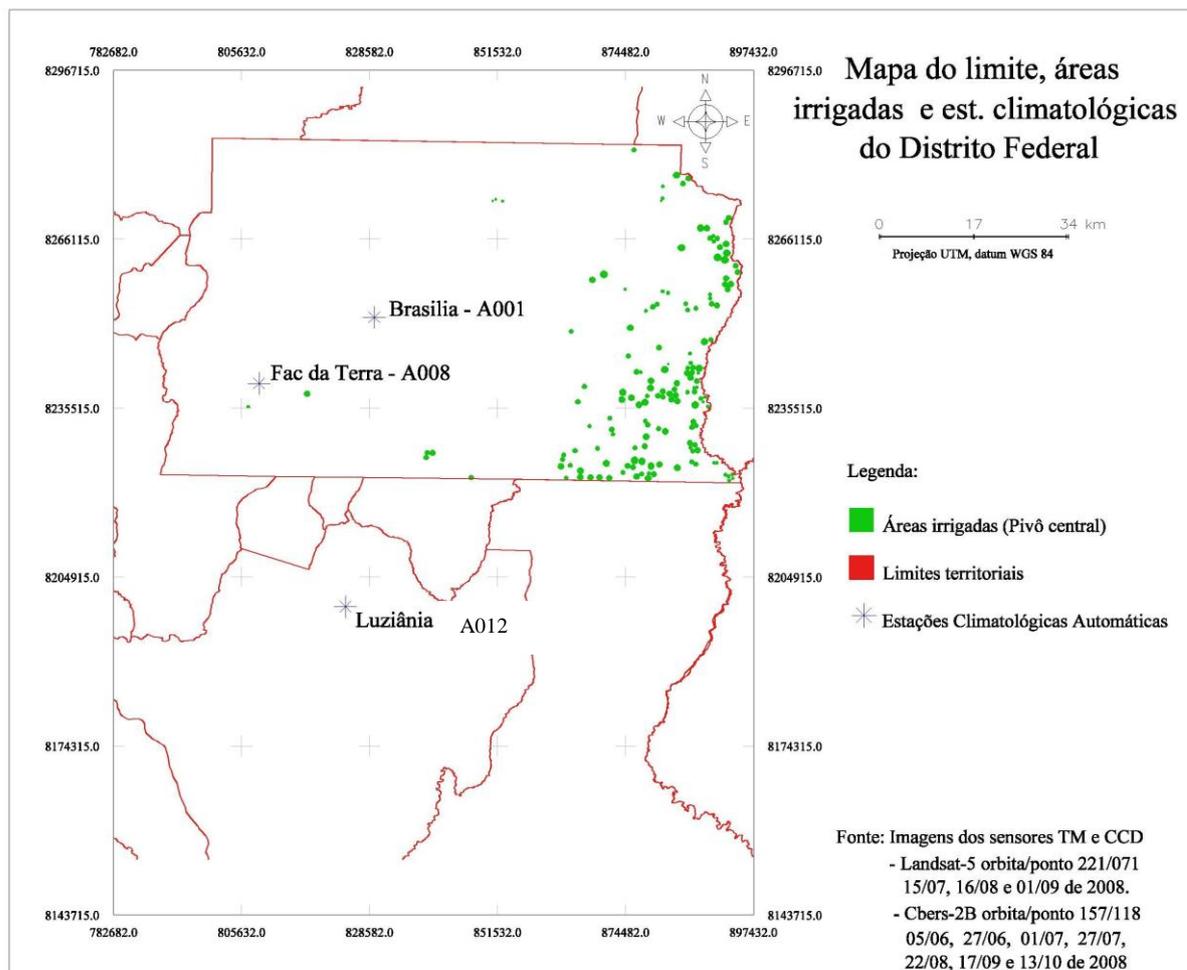
O trabalho foi realizado nas proximidades e dentro dos limites do Distrito Federal (Figura 1). O Distrito Federal está localizado no centro-oeste brasileiro limitado ao norte pelo paralelo 15°30'00", e o extremo sul pelo paralelo 16°03'06", ocupando uma área de 5.782,80 Km², dentro do Estado de Goiás.

Apresenta topografia suave, com altitudes entre 750 e 1349 metros, é drenado por rios que pertencem às mais importantes bacias fluviais do Brasil: Bacia Platina, Bacia São Franciscana e Bacia Amazônica. O Distrito Federal é considerado relativamente pequeno quando comparado com os demais Estados brasileiros, porém seu território agrícola é composto por vastas áreas irrigadas pelo método de aspersão tipo pivô-central.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima do DF é considerado tropical de savana e temperado chuvoso com inverno seco, existem duas estações bem definidas, uma chuvosa e quente, e outra fria e seca. A temperatura média registrada ao longo do ano é de 20,5 °C, a precipitação pluviométrica média anual de 1.925 mm, já a formação vegetal é predominantemente savana, conhecida como cerrado.

Segundo Barbosa et al. (2009), na área estudada ocorrem de Latossolos Vermelhos nos topos das Chapadas Elevadas do DF, o relevo plano e suave ondulado, constituindo solos altamente intemperizados, evidenciando processo acentuado de latolização. Já nas bordas das Chapadas Elevadas ocorrem principalmente os Latossolos Vermelho-Amarelos, e sempre adjacentes aos Latossolos Vermelhos e apresentam horizontes litoplínticos a concrecionários.

Figura 1. Limites do Distrito Federal, estações climatológicas e áreas irrigadas.



Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

As atividades geotecnológicas foram realizadas com o auxílio do software Spring – INPE, os dados de entrada se concentraram em imagens de dois sensores, o sensor TM - (Thematic Mapper) a bordo do satélite Landsat-5, essas imagens possuem sete bandas, com resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 de 30 metros e para a banda 6 a resolução é de 120 metros; imagens do sensor CCD - (Couple Charged Device) a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B, a câmera CCD possui cinco faixas espectrais e fornece imagens de uma faixa de 113 Km de largura a uma resolução de 20 metros. A resolução temporal desses satélites é de 26 dias.

O software Spring em sua plataforma de processamento exige a criação de um banco de dados, que concentrou todos dados inerentes ao sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, os dados de entrada se concentraram basicamente em imagens de satélite georreferenciadas.

As imagens utilizadas datadas entre o intervalo de 05 de junho a 13 de outubro de 2008 conforme Tabela 1.

O primeiro passo no tratamento das imagens foi união das bandas espectrais, as cenas quando solicitadas ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE foram

disponibilizadas em bandas espectrais separadas, sendo necessário a união desses arquivos, formando um só arquivo de imagem. Na realização do georreferenciamento das imagens foram utilizados projeção e datum referentes ao banco utilizado, no caso projeção UTM e datum WGS-84 a imagem utilizada como base para o georreferenciamento foi adquirida junto à USGS – United State Geology Service.

Tabela 1. Imagens dos satélites com respectivas datas, sensores, e intervalos temporais entre cenas.

Satélite	Orbita/ponto	Data da imagem	Sensor
CBERS_2B	157/118	05/06/2008	CCD
CBERS_2	157/118	27/06/2008	CCD
CBERS_2B	157/118	01/07/2008	CCD
Landsat 5	221/071	15/07/2008	TM
CBERS_2B	157/118	27/07/2008	CCD
Landsat 5	221/071	16/08/2008	TM
CBERS_2B	157/118	22/08/2008	CCD
Landsat 5	221/071	01/09/2008	TM
CBERS_2B	157/118	17/09/2008	CCD
CBERS_2B	157/118	13/10/2008	CCD

Os processos executados posteriormente a inserção desses dados ao banco foram efetuados de forma manual, processos de identificações (temporal e espectral) e também a criação de vetores, quantificando as áreas irrigadas.

As cenas com suas respectivas composições, Landsat-5 (R:5-G:4-B:3), CBERS-2B (R:3-G:4-B:2) CBERS-2 (R:3-G:4-B:2), auxiliaram na identificação e quantificação das áreas irrigadas; com a utilização da edição vetorial, polígonos foram criados circundando áreas que apresentassem características de áreas agrícolas irrigadas tipo pivô central.

O tratamento das imagens, cenas Landsat-5 (R:5-G:4-B:3) em conjunto com CBERS-2B (R:3-G:4-B:2) CBERS-2 (R:3-G:4-B:2), formaram uma série histórica com intervalo temporal máximo de 26 dias entre uma cena e outra, essas imagens quando alocadas em respectiva ordem cronológica, auxiliaram a identificação da evolução do ciclo vegetativo de determinada cultura sob regime de irrigação apresentando os intervalos entre início e término do ciclo vegetativo, outro fato importante nessa determinação foi a utilização de um calendário agrícola local, que de forma genérica e sucinta consegue expor o verdadeiro cenário agrícola da região do Distrito Federal.

A identificação das culturas implantadas se fez necessária uma vez que a determinação dos coeficientes K_c (Tabela 2), responsáveis pela conversão de ET_o em ET_c , são necessários conhecimentos prévios da cultura em questão e o estágio vegetativo em que se encontra, pois esses coeficientes variam conforme o ciclo em que se encontra a planta.

Pesquisadores brasileiros estão desenvolvendo metodologias que possibilitam a utilização de geotecnologias nos atuais sistemas de levantamentos de safras agrícolas, na estimativa da área plantada (RUDORFF et al., 2005), e também na estimativa da produtividade agrícola (RIZZI, 2004).

A companhia nacional de abastecimento – CONAB vem utilizando, desde 2004, recursos tecnológicos de eficiência comprovada tais como: modelos estatísticos,

Sensoriamento Remoto, posicionamento por satélite (GPS), SIG's e modelos agrometeorológicos (CONAB, 2013).

A mesma realiza seu levantamento agrícola baseado em um modelo objetivo amostral onde a partir de imagens de satélite (CBERS e Landsat), são alocados pontos aleatórios em diversas regiões onde serão realizadas as coletas de dados a campo, a partir desses dados cria-se a amostra estratificada de municípios dentro de critérios de confiabilidade pré estabelecidos.

Para determinação da demanda hídrica, foram adotadas duas classes de textura do solo; uma arenosa e outra argilosa. A textura do solo é responsável pela determinação do coeficiente Ks, utilizado na determinação da demanda hídrica.

Determinação da Evapotranspiração de Referência (ET_o) Utilizando Método FAO56-PM

O cálculo da ET_o foi realizado a partir do método FAO56-PM, a equação 1 e foi aplicada para a determinação da ET_o horária (ET_o h⁻¹), de forma a converter em dados de ET_o diária (ET_o d⁻¹).

Segundo Quaglia (2005) diversos autores encontraram boa correlação entre dados medidos em lisímetros e dados estimados pela equação de Penman - Monteith como, Jensen et al. (1990), Allen et al. (1998), Maggioletto (1996), Camargo e Sentelhas (1997), Sentelhas (1998), Pereira (1998), Ribeiro (1996), z (1999), e Azevedo (1999).

Foram utilizados dados procedentes de três estações climatológicas automáticas, as estações Brasília - A001, Faculdade da Terra – A008 e Luziânia – A012. Essas estações foram adotadas devido à proximidade geográfica da área de estudo (Figura 1).

As fórmulas referentes ao modelo foram executadas no software Microsoft Office Excel, dados climatológicos com temporalidade de 1 hora foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia–INMET, os dados utilizados no modelo foram; a radiação (KJ m⁻²), umidade relativa (%), precipitação (mm), temperatura (°C) e velocidade do vento (m s⁻¹).

Foram elaboradas tabelas e gráficos partir dos dados obtidos entre os dias 20/06/2008 a 30/09/2008. A comparação entre os resultados das ET_o diária e ET_o mensal foi realizada através dos valores acumulados no dia ou acúmulo em cada mês.

Outro parâmetro utilizado nessa comparação foi à correlação, ou seja, à similaridade existente entre dados das diferentes estações, comparando-se ET_o, diárias, mês a mês, e também a correlação da ET_o total acumulada de cada mês.

A ET_o foi calculada pela seguinte equação, dada por FAO56-PM:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_o: evapotranspiração de referência, mm h⁻¹

R_n: saldo de radiação na superfície do pasto, MJ m⁻² h⁻¹

G: fluxo de calor densidade do solo, MJ m⁻² h⁻¹

T_{hr}: temperatura média horária do ar, °C

Δ: inclinação da curva de saturação de pressão de vapor, kPa °C⁻¹

γ: constante psicrométrica, kPa °C⁻¹

e^o: (T_{hr}) saturação pressão de vapor, a temperatura do ar T_{hr}, kPa

e_a : horário médio real pressão de vapor, kPa

u_2 : média horária superior à velocidade do vento, $m\ s^{-1}$

A abordagem FAO56-PM, tal como formulada acima inclui todos os parâmetros que regem no intercâmbio de energia e correspondente ao fluxo de calor latente (ET) representando uniformes extensões de vegetação. A maioria dos parâmetros medidos é ou pode ser facilmente calculada a partir de dados meteorológicos.

Determinação da Evapotranspiração Real – ET_c

A ET_0 da cultura foi calculada a partir da equação 2.

$$ET_{c_i} = ET_{0_i} \times K_{s_i} \times K_{c_i} \quad (2)$$

Em que:

ET_{c_i} : evapotranspiração real no dia i , mm

K_{c_i} : coeficiente de cultura no dia i , adimensional

K_{s_i} : coeficiente de umidade do solo no dia i , adimensional.

Os valores utilizados na determinação do K_c estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de cultura (K_c) para várias fases do feijoeiro em Piracicaba – SP.

Fase da Cultura	Duração (dias)	K_c
Semeadura – emergência	11	0.58
V_1 – 3° folha trifoliolada (V_4)	20	0.68
V_4 – pré-floração (R_5)	21	0.94
R_5 – início da floração (R_6)	10	1.26
R_6 – início do enchimento dos grãos (R_8)	11	1.41
R_8 – maturação fisiológica	22	1.22

Fonte: Araujo et al.,(1996)

Os valores de K_s foram calculados por meio da equação 3.

$$K_s = \left(\frac{\ln(LAA_i + 1)}{\ln(CTA + 1)} \right) \quad (3)$$

Em que:

LAA_i : lâmina de água armazenada no solo no dia i , mm

CTA : capacidade total de água no solo, mm

Em que CTA é a capacidade total de água no solo (mm) e pode ser calculada por meio da equação 4:

$$CTA = DTA * Z \quad (4)$$

Em que:

CTA : Capacidade total de água no solo, mm

DTA: Disponibilidade total de água, mm cm⁻¹

Z: profundidade efetiva do sistema radicular, cm

Foram utilizados dados tabelados no cálculo da CTA, A Tabela 3 apresenta valores propostos por Bernardo et al. (2005), onde atribui valores de porosidade do solo (%), densidade (%), C_c (% por peso) e disponibilidade total de água no solo – DTA (mm cm⁻¹), correlacionados com a textura do solo. A determinação da textura foi baseada no mapa pedológico digital proposto por Reatto et al. (2004), anteriormente citado, onde os solos do Distrito Federal foram reclassificados de acordo com o sistema brasileiro de classificação dos solos determinado pela EMBRAPA.

Tabela 3. Valores de porosidade, densidade, capacidade de campo (C_c) e disponibilidade total de água no solo (DTA) para diferentes texturas.

Textura do solo	Porosidade (%)	Densidade (d _s)	C _c (% em peso)	DTA (mm cm ⁻¹)
Arenosa	32-42	1,55-1,80	10-20	0,6-1,0
Franco-arenosa	40-47	1,40-1,60	15-27	0,9-1,5
Franco-arenosa- argilosa	43-49	1,35-1,50	11-17	1,4-2,0
Franco-argilosa	47-51	1,30-1,40	31-42	1,6-2,2

FONTE: (BERNARDO et at., 2005)

Posterior, a identificação da cultura do feijão foi adotada profundidade do sistema radicular efetivo igual a 0,25 m (ZOCOLER et al.,2001).

Balanco de Água no Solo

A disponibilidade de ferramentas matemáticas a serviço da irrigação pode ser interpretada por um balanço hídrico, que constitui em um balanço de massa dado pela contabilidade da água que entra e sai do solo que vai da superfície até certa profundidade (BERNARDO et al., 2005). Segundo Righetto, (1998) os componentes desse balanço hídrico são dados pela entrada de água de chuva ou de irrigação, e as perdas pela ET, infiltração e enxurradas (escoamento superficial).

A relação entre saída e entrada de água no solo foi calculada a partir da equação 5, no início da simulação considerou-se que o solo encontrava-se em C_c.

$$LAA_i = LAA_{i-1} + Pe_i - ETr_i \quad (5)$$

Em que:

LAA_i: lâmina de água armazenada no solo no dia, mm

LAA_{i-1}: lâmina de água armazenada no solo no dia anterior a i, mm

ETr_i: evapotranspiração real da cultura no dia i, mm

Pe_i: precipitação efetiva no dia i, mm.

Precipitação Efetiva

Para o cálculo da precipitação efetiva considerou-se como precipitação chuvas maiores ou igual a 5 mm. O cálculo foi baseado na capacidade de armazenamento de água no solo, foi utilizada a seguinte equação 6.

$$Pe_i = P_i - LAA_i^{-1} \quad (6)$$

Em que:

$Pe_i = P_i$ se $P_i \leq (CTA - LAA_i^{-1})$, ou

$Pe_i = (CTA - LAA_i^{-1})$ se $P_i > (CTA - LAA_i^{-1})$.

P_i : precipitação durante o dia i , mm

Irrigação Real Necessária – IRN

A irrigação real necessária foi calculada utilizando-se a equação 7.

$$IRN = CTA - LAA_i \quad (7)$$

Em que:

IRN: irrigação real necessária, mm

LAA_i : lâmina de água armazenada no solo no dia i , mm

CTA: capacidade total de água no solo, mm

Irrigação Total Necessária – ITN.

Os cálculos referentes a ITN ou demanda de água, foram realizados para a cultura do feijão, sob diferentes tipos de solo, um solo argiloso e outro arenoso. Considerando turno de rega de 6 dias para o solo argiloso sendo antecipado em algumas circunstâncias para 4 ou 5 dias e 2 dias para o solo arenoso, os valores de ET_0 das três estações foram utilizados objetivando a ET_0 média, considerando os 2 tipos de solos.

A atribuição de valores à eficiência da irrigação é descrito por Gomes, (1999) e Bernardo et al., (2005) os valores referentes a eficiência de aplicação podem variar entre 60% em regiões áridas com aplicação durante o dia, e podem alcançar 90% em aplicações realizadas durante período noturno. Esses valores sofrem variações inerentes à ação dos ventos, radiação e percolação. Para tanto, adotou-se eficiência de 80%, conforme recomendado para níveis de projeto.

$$ITN = IRN - Ea/100 \quad (8)$$

Em que:

ITN: irrigação total necessária, mm

IRN: irrigação real necessária, mm

Ea : eficiência de aplicação da irrigação, % (adotado 80%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

Identificação das áreas irrigadas

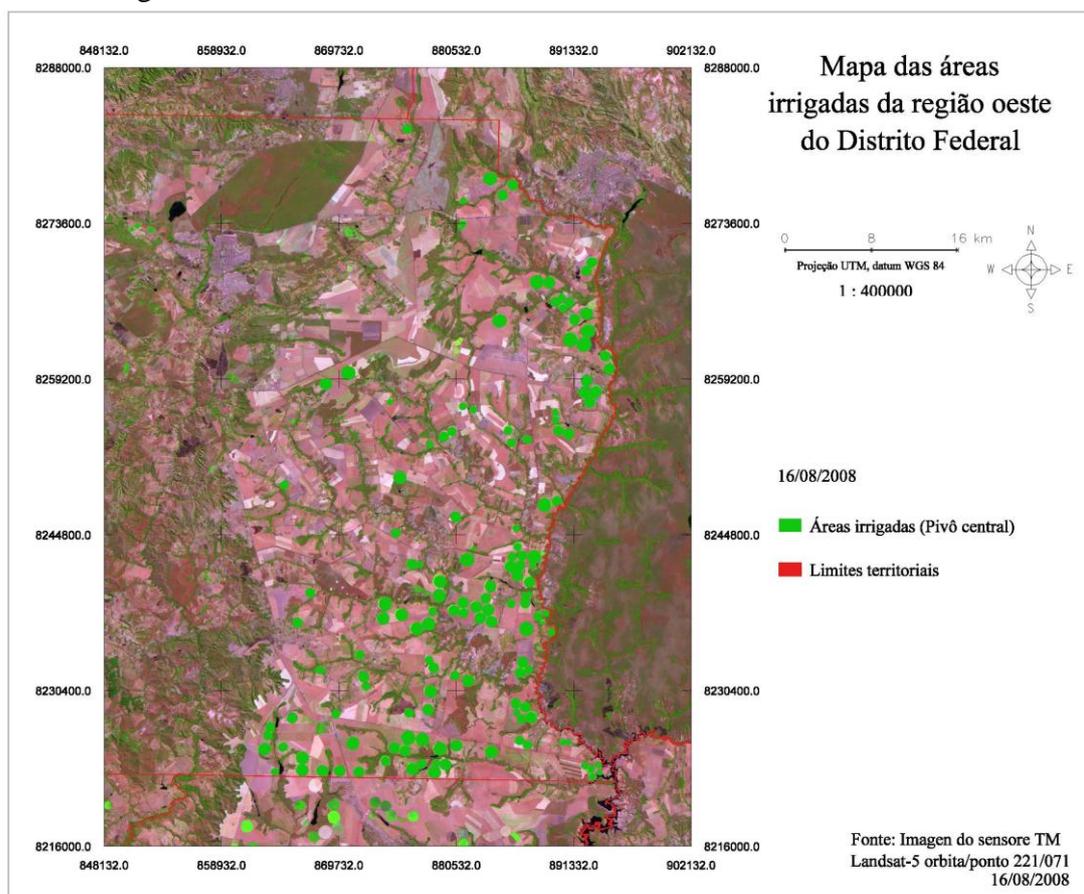
As imagens citadas na Tabela 1 auxiliaram na identificação e quantificação das áreas irrigadas; a Figura 2 demonstra os polígonos que foram criados circundando áreas que apresentassem características de áreas irrigadas por aspersão tipo pivô-central.

A identificação dessas áreas foi desenvolvida a partir de cenas escolhidas aleatoriamente e a premissa era identificar áreas de formato circular que apresentassem desenvolvimento vegetativo com características agrícolas.

A distinção das áreas irrigadas durante os meses os quais foram obtidas as imagens são marcantes, tratando-se de uma época de estiagem em todo centro-oeste brasileiro. Essas áreas apresentam intenso desenvolvimento vegetativo, além de forma física impar, caracterizadas por elementos esféricos, geralmente à margem de rios, barragens e pequenas represas.

Fez-se necessário a utilização de varias cenas devido à existência de períodos onde algumas áreas irrigadas encontravam-se em período pós-colheita ou entre safra. Sendo facilmente confundidas com áreas não irrigadas, no entanto cenas dos meses subsequentes demonstravam a existência dessas áreas. Meneses et al. (2001) e Medeiros et al. (1996) utilizaram ferramentas de sensoriamento remoto para quantificar as áreas de cultivos de cana de açúcar, milho e soja, mas os resultados apresentados não condisseram com os cadastrados nos órgão gestores da agricultura.

Figura 2. Imagem Landsat 5, com limites do Distrito Federal e identificação dos alvos irrigados



Identificação das culturas agrícolas

Na identificação das áreas irrigadas no Distrito Federal foram utilizadas imagens Landsat-5, CBERS-2B e CBERS-2 trabalhando sempre em conjunto com imagens dos três satélites.

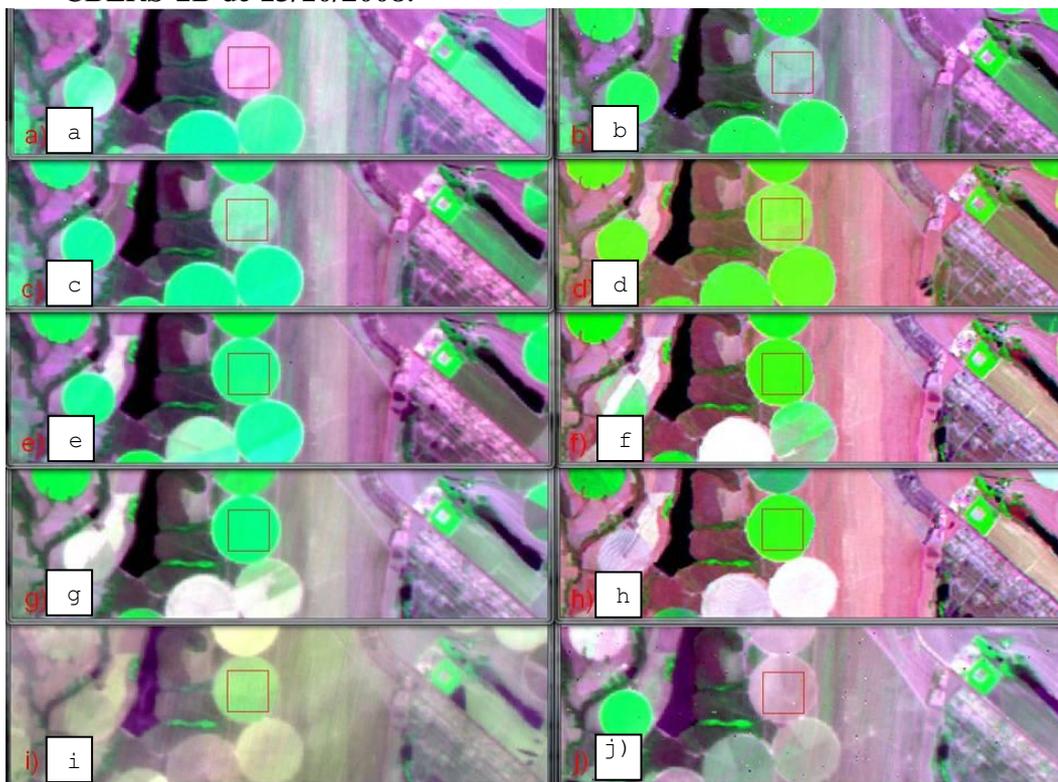
A série histórica confeccionada de aproximadamente cinco meses, incluindo imagem dos três satélites, orientou o levantamento da safra agrícola, essas cenas possibilitaram a identificação e diferenciação do espaço temporal dos ciclos vegetativos das culturas agrícolas existentes no distrito, observando desde a germinação à maturação.

Segundo Sano et al.(2005), as principais culturas produzidas sob pivô-central no Distrito Federal são o feijão, o trigo, a cevada e o milho. A Figura 3 mostra a evolução do ciclo vegetativo, de uma cultura sob regime de irrigação apresentando intervalo de cerca de 95 dias do início ao término do ciclo vegetativo possivelmente representando a cultura do feijão.

As imagens utilizadas demonstraram forte potencial na identificação do desenvolvimento temporal das culturas agrícolas. A Figura 3 demonstra uma série histórica de 4 meses, sendo visivelmente perceptivo os diferentes ciclos em que se encontra a cultura do feijão, em um primeiro momento na cena b pode-se observar as plântulas começando seu ciclo vegetativo. Supondo que tenham emergido/germinado no dia 20/06/2008 posterior a 11 / 25 dias nas cenas c / d nota-se um rápido avanço, o intenso e uniforme desenvolvimento da biomassa, em um terceiro momento, passados 37 / 57 / 63 / 73 dias cenas e / f / g / h as

características visuais são as mesmas, forte desenvolvimento vegetativo, e por fim a cena i, 89 dias após o início da germinação, nota-se claramente o amadurecimento uniforme de toda extensão vegetada e subsequente a cena j 95 dias após o plantio a área já apresenta características de solo com palhada pós-colheita.

Figura 3. Serie histórico temporal de área irrigada, cenas Landsat-5 (R:5-G:4-B:3) e CBERS-2/CBERS-2B (R:3-G:4-B:2). (a) imagem CBERS-2B de **05/06/2008** , (b)) imagem CBERS-2 de **27/06/2008**, (c) imagem CBERS-2B de **01/07/2008**, (d) imagem Landsat-5 de **15/07/2008**,(e) imagem CBERS-2B de **27/07/2008**, (f) imagem Landsat-5 de **16/08/2008**, (g) imagem CBERS-2B de **22/08/2008**, (h) imagem Landsat-5 de **01/09/2008**, (i) imagem CBERS-2B de **17/09/2008**, (j) imagem CBERS-2B de **13/10/2008**.



O espaço temporal que diferencia o início e fim do ciclo vegetativo, no exemplo citado, é próximo de 95 dias. Quando observamos o calendário agrícola da região a única cultura que se encontra em época de semeadura é o feijão. Coincidindo então o ciclo vegetal da cultura com o calendário agrícola, esse espaço temporal entre plantio e colheita, torna possível essa identificação, haja vista que a diferença entre os ciclos vegetativos das culturas encontradas nesse calendário são bem diferenciadas.

Devido ao espaço temporal existente no banco, tornou-se evidente a presença unilateral de uma cultura específica; a cultura do feijão. A escolha da cultura possui aspecto considerado normal, e ocorre por meio de estudos regionais, somados ao conhecimento empírico dos produtores rurais de uma mesma região, estabelecendo critérios que determinam o melhor custo benefício no cultivo de determinada safra agrícola.

Correlação entre Dados de Evapotranspiração de Referência - ET_o

A evapotranspiração de referência foi o parâmetro adotado na comparação entre as três diferentes estações meteorológicas, em um primeiro momento foram comparados as ET_0 acumulada dos meses de julho, agosto, setembro e outubro, dos dados referentes às três estações, Brasília – A001, Faculdade da terra – A008 e Luziânia – A012. Segundo Bastos (1996) e Almeida et al., (1999) o método é reconhecido internacionalmente como um dos mais precisos para estimar a ET_0 .

A Tabela 4, apresenta dados referentes à ET_0 dos meses de julho e agosto de 2008, os valores acumulados demonstram uma forte correlação entre os dados das três estações, a estação Brasília – A001 apresenta valores de ET_0 inferiores quando comparados com as estações Luziânia e Faculdade da terra apresentando cerca de 10% inferior aos dados de ET_0 no acumulado mensal. A estação Brasília – A001 durante o mês de agosto apresentou um valor acumulado de 149.98 mm $mês^{-1}$, subestimando em aproximadamente 10% a ET_0 das estações F. da Terra que é de 167.06 mm $mês^{-1}$ e de Luziânia, de 163.11 mm $mês^{-1}$. No mês subsequente, setembro, os valores de ET_0 responderam quase da mesma forma, subestimando em 10% os dados das estações comparadas.

Tabela 4. Valores de ET_0 diários e acumulado dos meses de julho e agosto de 2008

Data	Luziânia	Brasília	F. da Terra	Data	Luziânia	Brasília	F. da Terra
01/07/2008	5,33	5,15	5,48	01/08/2008	5,99	5,16	6,348
02/07/2008	4,52	4,36	4,77	02/08/2008	6,27	5,47	6,834
03/07/2008	4,45	3,90	4,63	03/08/2008	5,97	5,28	6,577
04/07/2008	4,40	3,73	3,82	04/08/2008	4,22	4,59	4,521
05/07/2008	4,95	4,48	5,47	05/08/2008	5,75	5,36	6,285
06/07/2008	4,71	4,99	5,59	06/08/2008	5,69	5,64	6,210
07/07/2008	4,99	4,90	5,40	07/08/2008	6,18	5,78	5,958
08/07/2008	5,12	4,95	5,51	08/08/2008	6,82	6,14	6,356
09/07/2008	4,92	4,64	4,82	09/08/2008	6,38	6,27	7,230
10/07/2008	4,68	4,50	5,01	10/08/2008	6,41	5,95	6,785
11/07/2008	4,58	4,45	4,76	11/08/2008	6,93	6,60	7,464
12/07/2008	4,46	3,96	4,42	12/08/2008	6,73	6,26	6,480
13/07/2008	5,07	4,67	5,15	13/08/2008	6,69	6,14	7,131
14/07/2008	5,04	4,78	4,82	14/08/2008	6,86	6,09	7,095
15/07/2008	5,06	4,76	4,51	15/08/2008	6,77	6,27	6,681
16/07/2008	4,99	4,74	4,56	16/08/2008	6,97	6,26	6,830
17/07/2008	4,96	4,70	4,80	17/08/2008	6,06	5,22	5,756
18/07/2008	4,99	4,35	5,31	18/08/2008	6,70	6,12	6,384
19/07/2008	5,13	4,38	4,57	19/08/2008	6,16	5,36	5,426
20/07/2008	5,55	4,72	6,39	20/08/2008	5,54	5,40	5,472
21/07/2008	6,01	5,42	6,50	21/08/2008	5,58	5,34	5,654
22/07/2008	6,10	5,90	6,07	22/08/2008	5,71	4,80	5,830
23/07/2008	5,89	5,14	5,93	23/08/2008	6,99	6,12	6,901
24/07/2008	5,93	5,16	6,54	24/08/2008	6,19	6,08	6,401
25/07/2008	6,09	5,28	6,64	25/08/2008	5,83	5,30	5,765
26/07/2008	6,69	6,23	6,90	26/08/2008	6,07	5,80	5,982
27/07/2008	6,03	5,91	6,35	27/08/2008	6,68	6,00	6,659
28/07/2008	5,50	4,89	5,59	28/08/2008	4,62	4,46	5,643
29/07/2008	5,48	4,92	5,30	29/08/2008	5,45	4,83	6,002

30/07/2008	5,74	5,04	5,59	30/08/2008	6,00	4,96	5,509
31/07/2008	5,78	5,00	5,88	31/08/2008	5,45	2,87	3,553
Acumulado	163,12	149,98	167,07	Acumulado	189,65	171,89	191,722

Porém a estação Brasília mesmo apresentando valores de ETO abaixo das outras estações as linhas de ETO nos gráficos demonstram forte correlação, sempre seguem o mesmo sentido, ou seja, os elementos climatológicos regionais apresentam forte correlação entre si, a estação Brasília – A001, provavelmente tenha subestimado esses valores devido a sua localização geográfica, a estação foi instalada em área hoje totalmente urbana, sofrendo interferência em todos elementos climáticos.

Os valores das ETO diária e ETO mensal obtidas das três estações meteorológicas foram comparados entre si por meio da correlação estatística, na Tabela 5, estão descritas as comparações das estações Brasília/Luziânia, Brasília/F. da Terra e Luziânia/F. da Terra.

Os dados de ETO diária podem ser considerados com uma correlação razoável entre as três diferentes estações, apenas no mês de junho a correlação das estações Faculdade da Terra e Brasília apresentaram valores inferiores a 0,7, (considerando uma escala que varia de -1 a +1 os valores de ETO diária apresentam uma correlação de 70% entre dados) representando a variabilidade no clima das três estações em estudo.

Já na correlação de ETO mensal os valores demonstraram, que os acumulados de ETO diária subdivididos em seus respectivos meses, junho a setembro de 2008 obteve-se uma correlação muito próxima de 1, variando de 0,99 a 0,99999 indicando que os valores de ETO regionais variam quase que igualmente nas diferentes estações. Esta é mais uma justificativa para o uso dos dados diários, de forma a representar melhor a variabilidade do clima das três regiões.

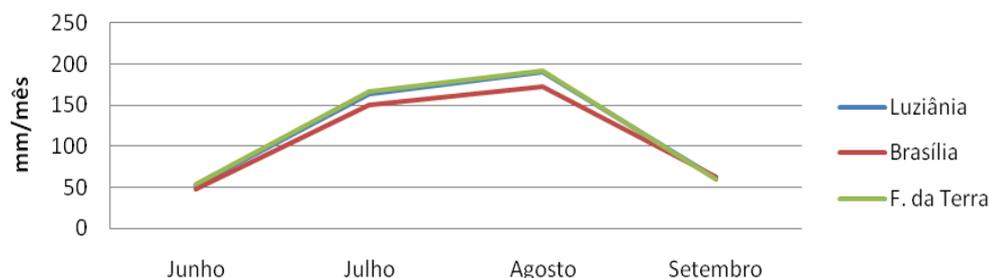
Tabela 5. Correlação entre dados de evapotranspiração de referencia diária e mensal de junho a setembro de 2008.

ET _O	Período	*Luziânia/Brasília	*Luziânia/F. da Terra	*Brasília/F. da Terra
Eto Diária	jun/08	0,696	0,831	0,818
	jul/08	0,886	0,875	0,820
	ago/08	0,770	0,735	0,866
	set/08	0,895	0,959	0,955
Eto Mensal	jun-set/2008	0,996	1,000	1,000

*Estações meteorológicas.

A Figura 4 demonstra os valores de ETO diária acumulados referentes a cada mês, devido a falta de alguns dados, os valores da ETO do mês de setembro só foram contabilizados a partir do dia 19, e os valores da ETO do mês de junho foram contabilizados entre os dias 20 e 30.

Figura 4. Acúmulo de ET₀ mensal.



Irrigação Total Necessária

A Tabela 6 apresenta valores da demanda de água, considerando o ciclo total para a cultura do feijão, entre os dias 20/06 a 22/09 de 2008 totalizando 95 dias, sob 2 tipos de solo, um solo argiloso e outro arenoso. Os valores de ET₀ das 3 estações foram utilizados objetivando a ET₀ média diária, a qual foi utilizada no cálculo da demanda hídrica.

Tabela 6. Demanda hídrica por hectare considerando ciclo de 90 dias para cultura do feijão.

Solo (sf)	Demanda (m ³ ha ⁻¹)	Diferença (m ³ ha ⁻¹)	Diferença ha ⁻¹ (sf) (%)
Argiloso	5568		
Arenoso	5341	227	4.1

sf – safra de feijão

Os valores obtidos de 5341 m³ ha⁻¹ para solo tipo arenoso, e 5568 m³ ha⁻¹ para o solo argiloso, demonstram uma variação de 4.1% no volume final da demanda hídrica ao fim da safra, supondo uma área de 100 ha, esse valor torna-se significativo, totalizando 22700 m³ ha⁻¹, essa quantidade possibilita a irrigação de aproximadamente 5 ha a mais quando considerado um solo arenoso.

A demanda de água requerida para o solo argiloso, certamente foi superior ao solo arenoso, devido à alteração da disponibilidade total de água no solo – DTA, dada em mm.cm⁻¹ correspondendo 0.8 ao solo arenoso e 1.9 ao solo argiloso, os valores do coeficiente Ks variam de forma menos brusca no solo argiloso, isso ocorre devido a diferença hídrica existente entre a lamina de água armazenada no solo no dia atual (LAA_d) e água armazenada no solo no dia anterior (LAA_{d-1}).

O solo argiloso quando em C_c, com 1.9 mm.cm⁻¹ de DTA em LAA_{d-1}, supondo que sofra perda de 0.1mm d⁻¹ por ET, constata-se que LAA_d torna-se 5.26% inferior à disponibilidade inicial de água (LAA_{d-1}), já observando um solo arenoso cuja DTA é igual a 0.8 mm/cm em LAA_{d-1}, quando há essa mesma perda de 0.1 mm d⁻¹ a diferença torna-se maior 12.5, entre um dia e outro.

Tabela 7. Valores acumulados de ET_C e correlação entre dados diários e acumulo mensal de ET_C em solo de textura argilosa e arenosa.

Mês	Acumulo ET_C (arenoso) (mm)	Acumulo ET_C (argiloso) (mm)	Correlação argila/areia (acúmulos diários)
Junho (dia 20 a 30)	28.7	29.1	0.89
Julho (dia 1 a 31)	116.3	120.0	0.93
Agosto (dia 1 a 31)	183.9	202.9	0.93
Setembro (dia 1 a 22)	135.5	132.2	0.91

A diferença entre valores da lâmina de água armazenada no solo do dia atual (LAA_d) e do dia anterior (LAA_{d-1}) influenciam diretamente no coeficiente K_s , responsável pelas restrições da capacidade do solo em evaporar, ou seja quanto menor a quantidade de água no solo, maior será sua capacidade em reter essa água, não deixando, dessa forma, que a ET seja máxima.

A determinação da Evapotranspiração real (ET_C) considera o decréscimo de umidade no solo como um parâmetro de medida da ET , a ET_O multiplicada ao coeficiente K_c determina a ET_{PC} que multiplicado ao K_s determina minha ET_C .

A correlação entre dados diários conforme apresentado na tabela 7 foi o parâmetro adotado como forma de quantificação da relação entre os dados de saída de água (ET_O) de um solo arenoso frente a um solo argiloso, os meses de julho, agosto e setembro apresentaram 0.93, 0.94, 0.91 respectivamente, uma correlação considerada alta, apenas o mês de junho apresentou correlação inferior a 0.9, apresentando 0.89 que também é considerada altamente correlata.

Os valores de ET_C diário foram convertidos em dados da perda de água do solo acumulado em cada mês conforme apresentados na tabela 8. Segundo Sano et al.(2005), a área total irrigada no Distrito Federal em 2002 foi de aproximadamente 11.804 ha. Adotando o mesmo índice de consumo de água utilizado para os pivôs-centrais, de $6.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a demanda total de água para a irrigação, no Distrito Federal, em 2002, foi da ordem de 70,82 milhões de m^3 , o que representa cerca de 29,1% do total de água consumida para a irrigação e o consumo humano (243,44 milhões de m^3). Desse total, 16,8% (40,94 milhões de m^3) foram utilizados para a irrigação por pivô-central. Esse resultado foi inferior ao apresentado por CHRISTOFIDIS (2000), que estimou em 65,8% a relação entre a demanda de água para a irrigação, no Distrito Federal, e o consumo hídrico total. A diferença entre os resultados foi gerada pelo fato de CHRISTOFIDIS (2000) ter considerado a irrigação sendo conduzida durante todo o ano, o que não é correto, pois, na estação chuvosa, que vai de novembro a abril, dependendo da cultura, a irrigação só é utilizada durante os eventuais períodos de veranico. Desta forma o resultado encontrado neste trabalho para demanda no período de estiagem (Tabela 6), da ordem de $5500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para o período da safra do feijão é próximo ao valor estimado para o índice de consumo de água utilizado para os pivôs-centrais.

A correlação encontrada entre os valores acumulados mensais foi muito alta 0.99, podendo assim considerar irrisório o acréscimo de 4.1% na demanda final de água, de um solo arenoso frente ao solo argiloso.

6 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados a partir do desenvolvimento desse trabalho apresentaram-se satisfatórios, a utilização de imagens de satélite dos sensores TM e CCD mostraram-se confiáveis na determinação do período vegetativo das culturas sob regime de irrigação, esse fator aliado ao calendário agrícola regional possibilitou a identificação da cultura observada.

A alta correlação apresentada entre os dados das diferentes estações, Brasília, Faculdade da Terra e Luziânia, mostram o grande potencial na estimativa da ET_0 em determinada região, não excedendo 50 Km de distância entre estações, podemos considerar pouca diferença em seus parâmetros climatológicos exceto a precipitação, partindo desse princípio sugere-se o estudo desses dados de forma regional, ou seja, limites físicos mais abrangentes.

Com relação aos dados climatológicos utilizados, se faz necessário a verificação da ET_0 durante o período das chuvas na região, haja vista que no presente trabalho não foi considerada a precipitação devido à época de estiagem na região em estudo. Como a irrigação não é conduzida durante todo o ano, pois, na estação chuvosa, que vai de novembro a abril, dependendo da cultura, a irrigação só é utilizada eventualmente, o resultado encontrado neste trabalho para demanda no período de estiagem, da ordem de $5.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para o período da safra do feijão é próximo ao valor estimado para o índice de consumo de água utilizado para os pivôs-centrais, de $6.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Os dados pedológicos podem ser considerados fatores intervenientes somente no turno de rega, podendo-se considerar inexpressível a variação da quantidade de evaporação nos diferentes tipos de solo. A demanda hídrica calculada para os diferentes tipos pedológicos, argiloso e arenoso, também apresentou uma diferença pequena, 4.1% maior para o solo argiloso, demonstrando influência direta da evapotranspiração.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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).

ALMEIDA, H. A.; KLAR, A. E.; VILLA NOVA, N. A. Comparação de dados de evapotranspiração de referência estimados por diferentes métodos. **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 2, p. 104-118, 1999.

ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. 786 p.

AZEVEDO, B. M. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, Lisímetro de pesagem e equação de PENMAN-MONTHEIT utilizando sistemas automáticos**. 1999. 81f. Tese (Doutorado em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BARBOSA, I. O.; LACERDA, M. P. C.; BILICH, M. R. Relações pedomorfogeológicas nas chapadas elevadas do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1373-1383, set./out. 2009.

BASTOS, E. A. Determinação dos coeficientes de cultura da alface. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.3,p.2-7, 1996.

BERNARDO, S.; SOARES A. A.; MANTOVANI E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: Ed UFV, 2005. 611 p.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 5, n. 1, p. 89 – 97, 1997.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos para abastecimento humano, indústrias e irrigação no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2000, Campus da UNB. **Anais**. Brasília-DF: Ed. FINATEC, 2000. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_centro_oeste_bsb25.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2013.

CONAB. **Geotecnologia**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

FAO, **AQUASTAT**: FAO's global information system on water and agriculture, FAO, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/aquastat>>, acessado dia 21 Dezembro 2013.

GOMES, H. P.; **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 3. ed., Campina Grande: Ed. UFP, 1999. 412 p.

HUSSEIN, A. S. A. Grass ET estimates using PENMAN-type equations in Central Sudan. **Journal of Irrigation and drainage Engineering**, v.125, n. 6, p. 324 – 329, 1999.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**, New York, ASCE, 1990, 332p.

MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Piracicaba, 1996. 71f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 33-38. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. (INPE-6171-PRE/2260). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.11.30>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

MENESES, P. R.; NOVO, E. M. L. M.; MADEIRA NETTO, J. S.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J.; FERREIRA, L. G. **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. 1. ed. Brasília: Editora UnB, 2001. v. 1, 262 p

PEREIRA, F. A. C. **Desempenho do modelo de PENMAN-MONTHEIT e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem.** 1998. 87f. Tese (Doutorado em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

QUAGLIA, L. **Calibração de um lisímetro de pesagem para Monitoramento da evaporação do solo sem Cobertura vegetal.** 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

REATTO, A.; MARTINS, É. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO, J. O. A.; **Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 31 p

RIBEIRO, R. S. F. **ET estimation using Penman-Montheit equation compared to ET measured by lysimetry.** Knoxville: University of Tennessee, 1996. p.15.

RIGHETTO, A.M.; **Hidrologia e recursos hídricos,** São Carlos, SP Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 840 p.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.,** 2004. 212f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélites no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo,** v. 52, n. 1, p. 21-39, jan./jun. 2005.

SANO, E. E.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Engenharia Agrícola.** vol.25 no.2 Jaboticabal Mai/Ago. 2005

SENTELHAS, P.C. Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba, 1998. 97p. Tese (**Doutorado em agronomia**). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J. A.; CESAR, L.E. V.; VANZELA, L. S. Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001.