



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO AO LONGO DO PROJETO DE  
INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

**ANDRE KEITI IDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**  
**FEVEREIRO/2016**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO AO LONGO DO PROJETO DE  
INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

**ANDRE KEITI IDE**

**ORIENTADOR: PROFESSOR DR. CÍCERO LOPES DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 110/2016**

**BRASÍLIA/DF**  
**FEVEREIRO/2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ide, Andre Keiti

Cálculo da evapotranspiração de referência e da necessidade de irrigação ao longo do Projeto de Integração do Rio São Francisco./ Andre Keiti Ide; orientação de Cícero Lopes da Silva. – Brasília, 2016.

152 p.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

1. Penman-Monteith. 2. Planejamento da irrigação. 3. Uso da água na agricultura

Silva, C. L. Dr.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

IDE, A. K. **Cálculo da evapotranspiração de referência e da necessidade de irrigação ao longo do Projeto de Integração do Rio São Francisco.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 152p. Dissertação de Mestrado.

## CESSÃO DE DIREITOS

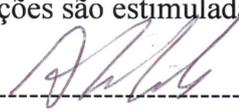
NOME DO AUTOR: Andre Keiti Ide

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Cálculo da evapotranspiração de referência e da necessidade de irrigação ao longo do Projeto de Integração do Rio São Francisco.**

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Andre Keiti Ide

CPF: 007.901.569-70

Endereço: Quadra 205, Lote 5, Bloco B, Apto 613 – Águas Claras – Brasília/DF

Tel: (61) 8326-3178 / email: andrekeiti@hotmail.com



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO AO LONGO DO PROJETO DE  
INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

**ANDRE KEIITI IDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

\_\_\_\_\_  
**CÍCERO LOPES DA SILVA, Doutor, Professor Associado.**  
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília - UnB)  
(ORIENTADOR) e-mail: cicero@unb.br

\_\_\_\_\_  
**DELVIO SANDRI, Doutor, Professor Adjunto II.**  
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília - UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO) e-mail: sandri@unb.br

\_\_\_\_\_  
**LINEU NEIVA RODRIGUES, Doutor, Pesquisador.**  
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA CERRADOS)  
(EXAMINADOR EXTERNO) e-mail: lineu.rodrigues@embrapa.br

**BRASÍLIA/DF, 29 de Fevereiro de 2016.**

*Dedico a Deus e à toda minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a Deus pela minha vida, pela saúde e todas as demais bençãos a mim concedidas.*

*À toda a minha família, especialmente à minha esposa Érica da Costa Viegas Ide; à minha filha Elisa Viegas Ide; aos meus pais Gabriel Tadashi Ide e Leonir Ossuce Ide, pelo apoio, carinho e ensinamentos.*

*Ao professor Dr. Cícero Lopes da Silva pela orientação, compreensão, conhecimentos transmitidos e dedicação em ensinar.*

*Ao professor Dr. Delvio Sandri e aos pesquisadores Lineu Neiva Rodrigues e Jorge Enoch Furquim Werneck Lima pelas contribuições e participação na banca examinadora.*

*A professora Dra. Selma Regina Maggiotto pelas valiosas contribuições para o projeto de pesquisa.*

*Aos professores Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar, Dr. Marcelo Fagioli, Dr. Gervásio Rios, Dr. Eiyti Kato e Dr. Tairone Paiva Leão, pelos conhecimentos transmitidos.*

*A Elianeiva de Queiroz Viana Odísio do Ministério da Integração Nacional, pela compreensão e apoio, sem os quais a realização deste curso não teria sido possível.*

*Aos amigos da UnB, Wendy, Heliab, Mariana Sena, Adriano Cesar, Shara, Bruna, Adriano Gonçalves, Carlos e Douglas.*

*Aos amigos da Coordenação Geral de Programas Ambientais do Ministério da Integração Nacional pelo apoio e discussões.*

## ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivo geral .....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1 Conceito de evapotranspiração .....	5
3.2 Fatores que afetam a evapotranspiração de referência .....	6
3.3 Estimativa da evapotranspiração .....	9
3.3.1 Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência .....	12
3.3.2 Desempenho de métodos de estimativa da ETo no semiárido nordestino .....	19
3.4 Planejamento da irrigação .....	21
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27
5 DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO.....	38
5.1 RESUMO .....	38
5.2 ABSTRACT .....	39
5.3 INTRODUÇÃO.....	40
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
5.4.1 Área de estudo .....	43
5.4.2 Dados meteorológicos .....	43
5.4.3 Cálculo da evapotranspiração de referência .....	47
5.4.3.1 Hargreaves-Samani (HARG).....	47
5.4.3.2 Thornthwaite-48 (TH48) .....	47
5.4.3.3 Thornthwaite modificado (THMOD) .....	48
5.4.3.4 Camargo-71 (CAMAR).....	48
5.4.3.5 Blaney-Criddle (BLCRI) .....	49
5.4.3.6 Jensen-Haise (JENHA).....	49
5.4.3.7 Radiação FAO 24 (RADFAO) .....	49
5.4.3.8 Aerodinâmico (AEROD).....	50
5.4.3.9 Energético (ENERG).....	50
5.4.3.1 Penman-Monteith-FAO (PMFAO) .....	51

5.4.4 Critérios de avaliação .....	52
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
5.6 CONCLUSÕES .....	60
5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
6 DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DE COMUNIDADES RURAIS ASSOCIADAS AO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO.....	68
6.1 RESUMO .....	68
6.2 ABSTRACT .....	69
6.3 INTRODUÇÃO.....	70
6.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	74
6.4.1 Área de estudo .....	74
6.4.2 Dados meteorológicos .....	77
6.4.3 Cálculo da evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ).....	79
6.4.4 Determinação da precipitação efetiva (P <sub>ef</sub> ).....	79
6.4.5 Coeficientes de cultivo (K <sub>c</sub> ) .....	80
6.4.6 Cálculo da evapotranspiração de cultura (ET <sub>c</sub> ).....	80
6.4.7 Cálculo das lâminas de irrigação .....	81
6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	82
6.6 CONCLUSÕES .....	91
6.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo I

- Figura 1** – Localização da área de estudo, comunidades rurais, canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, altitudes da região e precipitações anuais do Semiárido Brasileiro. Fonte: MI (2013).....44
- Figura 2** – Localização das 41 estações meteorológicas convencionais do INMET, utilizadas neste estudo, e canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia; MI (2013).....46
- Figura 3** – Comparação da evapotranspiração de referência média mensal (1995-2014), em  $\text{mm d}^{-1}$ , entre o método Penman-Monteith-FAO e os métodos avaliados, evidenciando a reta gerada por meio de regressão linear e a linha tracejada 1:1. ....55

### Capítulo II

- Figura 4** – Localização da área de estudo, comunidades rurais, canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, altitudes da região e precipitações anuais do Semiárido Brasileiro. Fonte: MI (2013).....75
- Figura 5** – Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e precipitação (P) média mensal (1995-2014) nas comunidades Captação no município de Cabrobó/PE e Kambiwá no município de Ibimirim/PE. ....82
- Figura 6** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo de cada uma das seis culturas avaliadas, considerando o plantio no mês de setembro, em cinco comunidades rurais localizadas ao longo dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.....84
- Figura 7** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para cada uma das seis culturas avaliadas, considerando o plantio no mês de fevereiro, em cinco comunidades rurais localizadas ao longo dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. ....85
- Figura 8** – Requerimentos anuais de irrigação, em  $\text{m}^3$ , das 34 comunidades rurais localizadas ao longo dos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. ....88
- Figura 9** – Requerimentos mensais de irrigação das 34 comunidades rurais nos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. ....89
- Figura 10** – Distribuição espacial dos volumes brutos anuais de água necessária para o atendimento da irrigação das 34 comunidades ao longo dos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. ....90

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo I

<b>Tabela 1</b> – Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas na área de estudo e no seu entorno, utilizadas para espacialização das médias mensais históricas (1995-2014) de temperatura do ar média compensada, máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação. ....	45
<b>Tabela 2</b> – Dados meteorológicos requeridos para a estimativa da ETo por cada um dos dez métodos avaliados. ....	51
<b>Tabela 3</b> – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Captação no município de Cabrobó/PE, em $\text{mm d}^{-1}$ , calculada segundo os dez métodos avaliados. ....	53
<b>Tabela 4</b> – Coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d), índice de confiança (c) e classificação de desempenho dos nove métodos avaliados em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, na estimativa da ETo nas 34 comunidades rurais estudadas.....	57

### Capítulo II

<b>Tabela 5</b> – Relação das comunidades rurais localizadas nas proximidades do Projeto de Integração do Rio São Francisco, e quantitativo de área a ser irrigada. ....	76
<b>Tabela 6</b> – Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas na área de estudo e no seu entorno, utilizadas para espacialização das médias mensais históricas (1995-2014) de temperatura do ar máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação e precipitação.....	77
<b>Tabela 7</b> – Coeficientes de cultivo e duração das fases de desenvolvimento das principais culturas pretendidas pelos futuros irrigantes das 34 comunidades estudadas. ....	83
<b>Tabela 8</b> – Requerimentos de irrigação para um ha da cultura do milho, considerando plantio no mês de setembro, na comunidade Captação no município Cabrobó/PE. ....	84
<b>Tabela 9</b> – Requerimentos de irrigação de 17 ha na comunidade Captação no município Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo <sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão, cebola, banana e capim de corte. ....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANN	Artificial Neural Network
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Evapotranspiração
ETc	Evapotranspiração de cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
ETp	Evapotranspiração potencial
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
G	Fluxo de calor no solo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Kc	Coefficiente de cultivo
Kl	Fator de ajuste devido à aplicação localizada da água
Ks	Fator de ajuste devido ao teor de umidade do solo
MI	Ministério da Integração Nacional
PDS	Plano de Desenvolvimento Sustentável
Rn	Radiação solar líquida
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land

## RESUMO GERAL

A água tem se tornado um recurso escasso em diversas regiões do mundo, limitando o desenvolvimento socioeconômico e gerando conflitos entre diferentes setores de usuários da sociedade. A sustentabilidade dos recursos hídricos depende, entre outros fatores, do adequado manejo e uso eficiente da água na agricultura que é a principal usuária deste recurso. No Brasil, aproximadamente 11% de seu território possui clima semiárido, com precipitações irregularmente distribuídas e com grande variabilidade interanual. A agricultura de sequeiro, praticada nesta região por pequenos produtores rurais, apresenta grande vulnerabilidade em função das condições climáticas adversas. A introdução da agricultura irrigada, mesmo que em pequena escala, se apresenta como um valioso instrumento para o aumento da renda e para a promoção do desenvolvimento socioeconômico destas populações. Com o objetivo de analisar as demandas de água para irrigação de 34 comunidades de pequenos produtores rurais localizadas nas proximidades dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, foram testados dez métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) nesta região, tendo como padrão o método de Penman-Monteith-FAO. Também foram estimadas as demandas para irrigação das principais culturas a serem implantadas nestas comunidades, considerando diferentes épocas de plantio, e ainda, as demandas mensais para irrigação de todas as comunidades. O método de Hargreaves-Samani e Thornthwaite modificado por Camargo apresentam bom potencial de uso, com desempenho classificado como “ótimo” para a estimativa da ET<sub>o</sub> em escala mensal. Os requerimentos de irrigação das culturas selecionadas variam conforme a duração do ciclo, época de plantio e localidade. As maiores demandas de água para irrigação são verificadas nas comunidades localizadas no sul do Estado de Pernambuco, sendo o mês de outubro o de maior demanda. A época de plantio que proporciona os menores requerimentos de irrigação é o período de janeiro a maio, em função das maiores precipitações efetivas. A demanda total de água para irrigação dos 1.688 ha distribuídos nas 34 comunidades é estimada em 16,6 milhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, correspondente a uma vazão unitária média anual de 0,32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Penman-Monteith, planejamento da irrigação, uso da água na agricultura.

## ABSTRACT

Water has become a scarce resource in many parts of the world, limiting the socio-economic development and generating conflicts between different sectors of users of society. The sustainability of water resources depends, among other factors, the proper management and efficient use of water in agriculture which is the main user of this resource. In Brazil, approximately 11% of its territory has semiarid climate, with irregularly distributed rainfall and large interannual variability. The dry farming agriculture, practiced in this area for small farmers, shows great vulnerability due to the adverse weather conditions. The introduction of irrigated agriculture, even if on a small scale, is presented as a valuable tool for increasing income and to promote the socioeconomic development of these populations. In order to analyze the demands of water for irrigation of 34 small farmers communities located near the canals of the São Francisco River Integration Project, ten methods of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimation in this region were tested, with the standard the Penman-Monteith-FAO. The demands for irrigation of major crops to be implemented in these communities, considering different planting dates, and still, monthly demands for irrigation of all communities were also estimated. The method of Hargreaves-Samani and Thornthwaite modified by Camargo have good potential for use with performance rated as "great" for the estimation of ET<sub>o</sub> in monthly scale. The irrigation requirements of selected crops vary according to the duration of the cycle, planting time and location. The greatest demand for water for irrigation are checked in the communities located in the southern state of Pernambuco, and the month of October, the most in demand. The planting date that provides the lower irrigation requirements is the period from January to May, due to higher effective precipitation. The total demand of water for irrigation of 1,688 hectares distributed in 34 communities is estimated at 16.6 million m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>, corresponding to an average annual unit flow rate of 0.32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** irrigation planning, Penman-Monteith-FAO, use of water in agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional, associado ao aumento do padrão de consumo e às mudanças de hábito da população, provocou notável incremento da demanda de água no último século. O volume global de água doce captado passou de  $600 \text{ Km}^3 \text{ ano}^{-1}$  no início do século XX para  $3.800 \text{ Km}^3 \text{ ano}^{-1}$  no início do século XXI (FAO, 2014). Por outro lado, a crescente urbanização e industrialização, a contaminação de mananciais e os impactos oriundos de mudanças climáticas, têm levado a uma redução na oferta de recursos hídricos em diversas regiões do mundo (KUO et al., 2006; SINGH, 2014).

É notória a necessidade de se promover o uso mais eficiente da água, caso contrário, os recursos hídricos em diferentes partes do mundo não serão suficientes para atender a crescente demanda. Em muitas regiões, os conflitos entre os diferentes setores de usuários da água têm se intensificado, e a baixa disponibilidade deste recurso, tem sido um fator limitante ao desenvolvimento socioeconômico (KUO et al., 2006; SHEN et al., 2013; DJAMAN et al., 2015).

A sustentabilidade dos recursos hídricos depende, entre outros fatores, do adequado manejo e uso eficiente da água na agricultura que é a principal usuária deste recurso. Em níveis globais, a agricultura utiliza aproximadamente 70% de toda água doce captada, podendo representar mais de 80% em países menos desenvolvidos e 95% em regiões específicas, onde a agricultura irrigada é praticada intensamente. No Brasil, a agricultura utiliza aproximadamente 55% dos recursos hídricos utilizados, a maior parte para a irrigação, que ocupa uma área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares (SHEN et al., 2013; SINGH, 2014; FAO, 2015).

A agricultura irrigada é comprovadamente uma dos mais efetivos instrumentos de combate à pobreza e distribuição de renda, gerando empregos a custos inferiores àqueles em outros setores da economia. Desempenha papel crucial na produção de alimentos, ocupando apenas 23% da área cultivada no mundo, mas é responsável por 40% da produção global de alimentos (MI, 2014; SINGH, 2014). Transformar o setor agrícola para atender a crescente demanda por alimentos, reduzir a pobreza rural, e ao mesmo tempo, contribuir para sustentabilidade ambiental, estão entre os mais importantes desafios que o mundo está enfrentando. Para atender esses desafios, atenção especial deve ser dada às comunidades cuja sobrevivência depende da agricultura, silvicultura e pesca. Na América Latina, essas

comunidades estão enfrentando intenso êxodo rural e altos índices de pobreza. São nessas comunidades que a transformação por uma agricultura mais sustentável deverá acontecer (FAO, 2014).

No Brasil, aproximadamente 11% de seu território compõe o chamado Semiárido Brasileiro, que se estende pelos Estados de Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. A precipitação média sobre esta região como um todo é de 750 mm, mas pode variar entre 500 e 2000 mm, dependendo da localidade. As precipitações se concentram nos meses de janeiro a julho, apresentando distribuição irregular e grande variabilidade interanual (MONTENEGRO et al., 2010; MARENGO & BERNASCONI, 2015). Nos últimos anos a ocorrência de anomalias nas precipitações tem agravado a disponibilidade hídrica na região, a qual tem apresentado balanço hídrico quantitativo em estado crítico, levando ao aumento da ocorrência de conflitos pelo uso da água (ANA, 2015; MARENGO & BERNASCONI, 2015; MENDES et al., 2015).

Com o objetivo de aumentar a oferta hídrica na porção setentrional da região Nordeste, estão sendo construídos dois sistemas de canais, com vazão máxima de  $127 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que conduzirão água do Rio São Francisco até as principais bacias hidrográficas desta região. Apesar do uso prioritário das águas aduzidas por estes sistemas ser o abastecimento humano em áreas urbanas, estes canais atravessam comunidades rurais que poderão utilizar a água em pequenos projetos de irrigação (MI, 2003).

Segundo Carvalho et al. (2009) em ambiente de múltiplos usos, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão. Além disso, o conhecimento das demandas de água dos cultivos é essencial para que sejam alcançados o uso eficiente da água na irrigação e estabilidade da produção agrícola (DJAMAN et al., 2015). O requerimento de água dos cultivos é determinado por fatores climáticos, características da cultura e do solo, e das práticas agrícolas adotadas (ALLEN et al., 1998; ROJAS & SHEFFIELD, 2013). A abordagem mais conhecida e amplamente utilizada para estimar as demandas de água das culturas é aquela proposta por Jensen (1968), onde as condições climáticas são expressas pela evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e as características da cultura são representadas por um coeficiente (K<sub>c</sub>), próprio de cada cultura e válido para condições de manejo padrão (PEREIRA et al., 2015).

Devido a sua grande importância para o cálculo dos requerimentos de água dos cultivos, assim como para o uso em estudos hidrológicos e ambientais, a estimativa da ET<sub>o</sub> é

objeto de abundante literatura, podendo ser encontrados mais de 50 modelos que visam a sua estimativa (MCMAHON et al., 2013; TODOROVIC et al., 2013; TEGOS et al., 2015). Esta grande quantidade de modelos para a estimativa da evapotranspiração advém da complexidade física do fenômeno, disponibilidade de dados e diversidade de condições climáticas (TEGOS et al., 2015). A maioria destes modelos foi desenvolvida empiricamente com base em estudos específicos, sendo apropriada para uso em climas similares àqueles dos estudos de origem (ZHAI et al., 2010). Uma exceção é o método de Penman-Monteith que possui forte embasamento físico, apresentando bom resultado em diferentes condições climáticas ao redor do mundo. É o método padrão de estimativa da ETo, sendo utilizado para a validação de outros métodos, no entanto demanda grande quantidade de dados climáticos que não estão disponíveis em muitas ocasiões (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011; PEREIRA et al., 2015).

Não há uma regra geral sobre o melhor método para estimar a ETo sob diversas condições climáticas, uma vez que num mesmo tipo de clima, estudos diferentes produzem resultados diversos em relação à performance de métodos de estimativa da ETo (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011). Segundo Zhai et al. (2010) para selecionar o método mais apropriado para calcular a evapotranspiração, várias formas de equações existentes devem ser analisadas e comparadas.

Desta forma, o conhecimento das demandas hídricas dos cultivos a serem implantados nas comunidades rurais distribuídas ao longo dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, e a avaliação do método mais apropriado para estimativa da ETo em situação de baixa disponibilidade de dados climáticos, são de fundamental importância para a adequada gestão dos recursos hídricos da região, assim como para os futuros irrigantes, técnicos de extensão rural e instituições que atuarão na operação dos canais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência nas áreas referentes ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, bem como estimar as necessidades de irrigação nas referidas áreas.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Avaliar diferentes métodos de determinação de evapotranspiração de referência na área de influência do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
2. Estimar a quantidade de água necessária à irrigação das principais culturas a serem implantadas nas comunidades rurais supracitadas sob o ponto de vista do irrigante e do operador do sistema.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Conceito de evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) é definida como a combinação dos processos de evaporação da água a partir da superfície do solo e da transpiração das plantas (RÁCZ et al., 2013). É um parâmetro crucial do ciclo hidrológico na agricultura, particularmente em sistemas irrigados (MARTÍ et al., 2015), possuindo ainda, expressiva importância na modelagem hidrológica, na determinação de preços de cobrança pelo uso da água e no gerenciamento de recursos hídricos de modo geral (KISI, 2011; ABDULLAH et al., 2015; TEGOS et al., 2015).

A taxa de evapotranspiração de uma superfície vegetada é determinada por fatores climáticos, características da vegetação e do solo, além das condições ambientais e das práticas agrícolas. A interdependência entre fatores atmosféricos e da superfície, associada à variabilidade espacial e temporal destes fatores, inviabilizam o desenvolvimento de um modelo capaz de contabilizar a ET para diferentes cultivos sob diferentes condições ambientais (ALLEN, et al., 1998; ROJAS & SHEFFIELD, 2013).

Devido a sua complexidade, o estudo da evapotranspiração se tornou mais compreensível após a introdução do conceito de evapotranspiração potencial (ETp) (SENTELHAS et al., 2010), o qual foi introduzido em 1944 por Thornthwaite e Wilm na tentativa de se chegar a um elemento meteorológico que representasse a necessidade de água da vegetação (CAMARGO & CAMARGO, 2000). A ETp foi então definida como a taxa de água perdida por uma superfície vegetada quando não há limitação de água no solo (SENTELHAS et al., 2010). Se faltar água no solo, a evapotranspiração ficará reduzida, deixando de ser potencial, ocorrerá então, a evapotranspiração real, menor que a potencial (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Apesar do conceito de ETp ser considerado um avanço importante e ter sido aplicado em diversas situações, atualmente o termo “evapotranspiração potencial” é considerado uma fonte de confusão por causa da definição vaga de “superfície vegetada”. Para contornar este problema, o termo ETp tem sido gradualmente substituído por ETo, para a qual, as características da superfície vegetada são padronizadas (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011).

A evapotranspiração de referência foi definida por Doorenbos & Pruitt (1977) no Boletim 24 da FAO como a taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água. Esta definição foi extensamente aplicada, até a revisão proposta Allen et al. (1998) no Boletim 56 da FAO, na qual as características da cultura de referência foram fixadas em 12 cm de altura, resistência total da superfície de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e coeficiente de reflexão de 0,23. As duas superfícies de referência para o cálculo da ETo, comumente utilizadas para propósitos agrícolas são a grama e a alfafa. A alfafa de referência é similar à grama, no entanto possui maior altura (KISI, 2011).

A ETo expressa a demanda evaporativa da atmosfera independente do tipo de cultura, características do solo, estágio de desenvolvimento e práticas de manejo, sendo dependente apenas de variáveis climáticas, simplificando o cálculo da evapotranspiração que pode ser realizado a partir de dados meteorológicos (SENTELHAS et al., 2010; ROJAS & SHEFFIELD, 2013).

A evapotranspiração de cultura sob condições padrões (ETc), definida por Allen et al. (1998) como: “a evapotranspiração de uma cultura livre de doenças, sem restrição nutricional, se desenvolvendo em área extensa sob condições ótimas de umidade, alcançando elevadas produtividades sob dada condição climática” é obtida a partir do produto da ETo pelo coeficiente de cultivo (Kc) que leva em conta a espécie do cultivo, seu estágio de desenvolvimento e as práticas de manejo (MARTÍ et al., 2015).

### **3.2 Fatores que afetam a evapotranspiração de referência**

Segundo Allen et al. (1998) os fatores meteorológicos determinantes da evapotranspiração de referência são aqueles que fornecem energia para vaporização e que promovem a remoção do vapor de água da superfície evaporante. Dentre estes fatores, os principais são a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade e a velocidade do vento.

Como a radiação solar é a fonte de energia primária para os fenômenos meteorológicos, possui influência expressiva no processo de evapotranspiração (CARVALHO et al., 2011), sendo mencionada por alguns autores como o elemento climático de maior preponderância na estimativa da ETo (LEMO FILHO et al., 2010). A temperatura do ar exerce um papel de controle sobre a ETo na medida em que o calor sensível do ar é

transferido às plantas (ALLEN et al., 1998), além de influenciar outros termos importantes na estimativa da ETo. O papel da umidade do ar está relacionado ao déficit de pressão de vapor entre a superfície e o ar circundante, sendo um fator determinante da capacidade evaporativa do ar (LEMOS FILHO et al., 2010). A influência do vento se dá na renovação da camada de ar saturada que se forma sobre a superfície evaporante, e assim como a umidade do ar, possui maior importância relativa em situações onde ocorrem fortes advecções locais ou regionais (ALLEN et al., 1998; LEMOS FILHO et al., 2010).

A ETo é uma função não linear e complexa destes fatores meteorológicos, sendo que a variação em um parâmetro provoca mudanças em outros parâmetros, de modo que o efeito dessas mudanças na ETo é difícil de ser compreendido (DINPASHOH et al., 2011). A resposta da ETo às variações nos componentes climáticos também é influenciada pela região e época do ano (GONG et al., 2006).

Em face desta complexidade, muitos pesquisadores se dedicam a avaliar a sensibilidade da ETo aos elementos climáticos. Uma breve comparação entre alguns destes estudos revela a diversidade de resultados, conforme a região e condições climáticas. Dinpashoh et al. (2011) em estudo de análise de tendência da ETo no Irã, concluíram que a velocidade do vento é a variável de maior impacto na ETo sobre a maior parte do Irã, com exceção da região costeira do mar Cáspio, onde a temperatura foi a variável determinante. Já Gong et al. (2006) em avaliação da sensibilidade da equação de Penman-Monteith na bacia do rio Yangtzé na China, concluíram que de modo geral, a umidade relativa foi a variável de maior impacto na ETo, seguida pela radiação solar de ondas curtas e a temperatura do ar, sendo que a velocidade do vento foi a variável de menor impacto.

Em avaliação dos efeitos dos elementos climáticos sobre a ETo em diferentes regiões dos Estados Unidos, Irmak et al. (2006) constataram diferentes resultados em função da época do ano, sendo que, de modo geral, a radiação solar foi o fator preponderante para o período do verão, e o déficit pressão de vapor para o período de inverno.

Alguns artigos de análise de sensibilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração no Brasil, também mostram resultados diversos conforme a condição climática e época do ano. Lemos Filho et al. (2010) avaliando a influência dos elementos meteorológicos sobre a ETo no Estado de Minas Gerais, constataram que a radiação solar se apresentou como fator determinante da ETo, e a velocidade do vento foi de menor influência. Segundo os autores, a menor influência da velocidade do vento pode ser explicada pela

continentalidade e aspectos topográficos da região estudada. Já Alencar et al. (2012) constataram maior sensibilidade da ETo calculada pela equação de Penman-Monteith à temperatura máxima, seguida da umidade relativa, para a cidade de Uberaba-MG. Silva et al. (2011) ao avaliarem a sensibilidade da equação de Penman-Monteith no município de Capim/PB, concluíram que o saldo de radiação é a variável de maior influência na determinação da ETo, e a temperatura média do ar a de menor impacto.

Estes estudos de análise da sensibilidade da ETo aos elementos climáticos servem de fundamento à outra temática amplamente discutida na literatura, a análise de tendências da evapotranspiração de referência e o seu comportamento futuro em função das mudanças climáticas (ALENCAR et al., 2011).

Alguns estudos têm demonstrado importantes tendências de aumento e também de diminuição na evaporação medida em tanques e na evapotranspiração de referência nas últimas décadas, em diferentes regiões do mundo (ALENCAR et al., 2011; Dinpashoh et al., 2011). Kisi (2015) constatou tendências significativas de aumento da evaporação mensal em tanque de evaporação para duas localidades na Turquia, e tendência significativa de redução para outra localidade. Na China, Xu et al. (2006) constataram tendência de redução na ETo e na evaporação em tanques na Bacia do Rio Yangtzé, devido à tendências de redução no saldo de radiação líquida e na velocidade do vento. Shen et al. (2010) também encontraram tendência significativa de redução na evaporação em tanque de evaporação, em regiões áridas da China. Bandyopadhyay et al. (2009) e Jhajharia et al. (2009) relatam tendências de redução na ETo em toda a Índia. Burn & Hesch (2007) analisando tendências na evaporação de tanques em 48 estações no Canadá, observaram tendências de aumento e de redução, influenciadas principalmente por alterações na velocidade do vento. Dinpashoh et al. (2011) relatam tendências de aumento da ETo anual em áreas agrícolas do Irã de até 186 mm a cada década, e também tendências de redução de até 63 mm a cada década, a depender da região estudada. Segundo os autores a principal variável climática influenciadora das tendências foi a velocidade do vento.

No Brasil, poucos estudos têm sido realizados para analisar a variação temporal da evapotranspiração decorrente das novas condições climáticas (ALENCAR et al., 2011). Alencar et al. (2012) relatam tendência de aumento de  $2,85 \text{ mm ano}^{-1}$  no Estado de Minas Gerais, influenciada principalmente pela tendência de diminuição da umidade relativa e a alta sensibilidade da ETo a este elemento climático na região estudada. Alencar et al. (2014)

constatarem tendência significativa de aumento da ETo da ordem de 1,2 mm ano<sup>-1</sup> no município de Catalão/GO, associada a tendências de aumento nas temperaturas máxima e mínima, além da radiação solar. Gondim et al. (2011) concluíram que aumentos de temperatura, associadas às mudanças climáticas globais, ocasionariam aumento nas demandas hídricas para a cultura da banana na Bacia do Rio Jaguaribe, no Estado do Ceará, em função de respectivos aumentos da ETo.

### **3.3 Estimativa da evapotranspiração**

Grande esforço tem sido empregado por muitos cientistas, nos últimos 100 (cem) anos, no sentido de estimar a ET com precisão, tendo como motivação a crescente consciência de que a água é essencial para a sustentabilidade da vida no planeta (ABDULLAH et al., 2015).

Técnicas convencionais de medida da evapotranspiração diferem em aspectos como complexidade, aplicabilidade, precisão e custos (EUSER et al., 2014). A evapotranspiração pode ser medida diretamente por meio de lisímetros, ou por meio de balanço hídrico e controle de umidade no solo, além de métodos micrometeorológicos. Também pode ser estimada indiretamente por meio de modelos matemáticos que utilizam dados climáticos como parâmetros de entrada (KUMAR et al., 2008; BARROS et al., 2009; LACERDA & TURCO, 2015).

O método direto e mais preciso de estimativa da evapotranspiração é o balanço de água por meio de lisímetros (KUMAR et al., 2008; VALIPOUR, 2015). Segundo Allen et al. (1998) lisímetros são equipamentos constituídos de tanques preenchidos com solo, onde o sistema radicular da cultura fica isolada do ambiente externo, permitindo que as variáveis que compõem o balanço hídrico possam ser medidas com precisão. Para que apresente resultados precisos, a vegetação ao redor do lisímetro deve corresponder perfeitamente àquela no seu interior (ALLEN et al., 1998). Os lisímetros são equipamentos muito caros e complexos, e sua operação demanda tempo, mão de obra especializada e exige experimentos precisos e cuidadosamente planejados (KUMAR et al., 2008; TABARI et al., 2013; VALIPOUR, 2015). Em contrapartida, apesar de exigir a implantação de uma estrutura física muitas vezes onerosa, a obtenção de dados de evapotranspiração por meio de lisímetros permite planejamento mais confiável da agricultura irrigada, possibilitando o uso mais racional dos recursos hídricos (BARROS et al., 2009). Também são utilizados no desenvolvimento,

calibração e avaliação da performance de modelos indiretos de estimativa da ETo (PEREIRA et al., 2015; XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011).

Outra abordagem para estimativa da ET é através de métodos micrometeorológicos, como o da correlação de vórtices turbulentos e do balanço de energia baseado na Razão de Bowen (BEZERRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2014). A combinação da razão de Bowen com a radiação solar líquida ( $R_n$ ) e com o fluxo de calor no solo ( $G$ ) permite que seja determinado o fluxo de calor latente sobre a superfície vegetada (BIUDES et al., 2008). A razão de Bowen pode ser determinada multiplicando a constante psicrométrica pela razão entre os gradientes de temperatura e pressão de vapor (LIMA et al., 2011). A contabilização dos gradientes de temperatura e pressão de vapor na coluna de ar imediatamente acima da superfície evaporante é efetuada por meio da instalação de sensores em diferentes altitudes, ou por meio de sensores de alta resolução capazes de realizar medições de temperatura e pressão atual de vapor em várias altitudes (BIUDES et al., 2008; EUSER et al., 2014).

Apesar das medições diretas de ET geralmente fornecerem valores mais precisos, os elevados custos e as dificuldades de implementação destas técnicas, limitam a disponibilidade deste tipo de informação, de modo que na maioria dos casos a ET é estimada por meio de métodos indiretos (AZHAR & PERERA, 2011).

Como alternativa às medidas diretas, muitos pesquisadores desenvolveram métodos de estimativa indireta da ET com base em modelos hidrometeorológicos e matemáticos, que utilizam dados climáticos como parâmetros de entrada (KUMAR et al., 2008). A estimativa da ETo por meio de equações matemáticas é o processo mais comum e mais usual de obtenção da perda de água em áreas vegetadas, assim, são necessários dados climático-fisiológicos para sua aplicação (BARROS et al., 2009).

Devido a sua grande importância para o manejo da irrigação, a estimativa da evapotranspiração de referência é objeto de abundante literatura, podendo ser encontrados mais de 50 modelos que visam a sua estimativa (MCMAHON et al., 2013; TEGOS et al., 2015). Esta diversidade de modelos para a estimativa da evapotranspiração advém da complexidade física do fenômeno, disponibilidade de dados e diversidade de condições climáticas (TEGOS et al., 2015).

Os métodos indiretos de estimativa da ETo variam de modelos simples baseados na evaporação de tanques, até métodos com boa base teórica e física, que incluem termos energéticos e aerodinâmicos (KUMAR et al., 2008). Segundo Rojas & Sheffield (2013) os

modelos de estimativa da ETo podem ser divididos em três categorias: i) métodos empíricos que se baseiam na temperatura do ar; ii) métodos empíricos baseados na radiação; iii) métodos com embasamento físico que combinam elementos de balanço de energia e transporte de massa. Em geral os métodos com embasamento físico apresentam resultados mais precisos em diferentes condições climáticas, no entanto requerem vários parâmetros que nem sempre estão disponíveis, como o método de Penman-Monteith. Por outro lado, as equações empíricas mais simples que requerem menos dados climáticos, comumente resultam em estimativas menos precisas (KUMAR et al., 2008; VEGA & JARA, 2009).

Além das tradicionais equações, recentemente outras técnicas de estimativa da ETo têm sido avaliadas, visando aplicação em situações com baixa disponibilidade de dados, a exemplo do uso de redes neurais artificiais (LANDERAS et al., 2008; KISI et al., 2015). Redes neurais artificiais (ANN) são modelos empíricos ideais para modelagem de fenômenos complexos e não lineares. Arquitetura ANN é um sistema massivo e paralelamente distribuído de processamento de informações que possui certas características de performance semelhante ao arranjo biológico de neurônios em um cérebro humano. Em muitas maneiras, ANNs são similares a modelos de regressão em hidrologia, exceto pelo fato de que uma ANN não exige a especificação de um modelo matemático (KUMAR et al., 2008). Como exemplo do uso desta técnica de modelagem Kisi (2011) e Kumar et al. (2008) constataram performance superior de redes neurais em relação às equações empíricas de estimativa da ETo no Estado da Califórnia, EUA, em comparação com a equação de Penman-Monteith.

Outra abordagem recentemente estudada para estimar a ET em situações de escassez de dados é por meio de informações de sensoriamento remoto. Sensores a bordo de satélites são capazes de fornecer informações relativas às condições climáticas da superfície, a exemplo do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, cujos dados de temperatura foram utilizados com sucesso por Maeda et al. (2011) para estimar a ETo no Quênia. Outra técnica bastante estudada neste campo de pesquisa é a utilização do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), onde a ET é determinada a partir da quantificação da densidade de fluxo de calor latente, o qual é obtido como resíduo da equação do balanço de energia, utilizando-se dados radiométricos de sensores orbitais (BEZERRA et al., 2008).

### 3.3.1 Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência

Em todo mundo, muitos pesquisadores se dedicam a avaliar o desempenho dos métodos de estimativa da ETo, chegando a resultados que apresentam grande variabilidade, em função das características climáticas próprias de cada região estudada, e devido ao empirismo inerente à maioria dos métodos (BARROS et al., 2009; SENTELHAS et al., 2010). Estes métodos apresentam ainda problemas de precisão, principalmente pela falta de ajuste dos coeficientes dos modelos, além de erros de leitura, acurácia dos sensores e por serem desenvolvidos para condições climáticas e agronômicas específicas, que não têm validade para condições distintas (BARROS et al., 2009).

De todos os métodos de estimativa da ETo, desenvolvidos ao longo dos últimos 100 anos, o método combinado de Penman-Monteith, proposto pela FAO como método padrão (MARTI et al., 2015), tem sido aplicado com sucesso em diferentes condições agrometeorológicas, sendo considerado robusto e preciso (RÁCZ et al., 2013).

O desenvolvimento dos métodos combinados teve início com o trabalho de Penman ao relacionar a ET com o balanço de energia, taxas de calor sensível e transferência de vapor de água (JENSEN, 2010). Segundo Penman (1948) duas condições devem ser satisfeitas para que haja evaporação de forma contínua: i) deve haver uma fonte de energia para prover calor latente de vaporização, e ii) um mecanismo que remova o vapor produzido da superfície evaporante.

Como a evaporação da água demanda grandes quantidades de energia, o processo de evapotranspiração é governado pela troca de energia na superfície vegetada e é limitada pela quantidade de energia disponível. Desta forma, é possível utilizar o princípio de conservação de energia para estimar a taxa de evapotranspiração. Ignorando a transferência horizontal de energia sobre uma superfície vegetada, que ocorre devido aos movimentos advectivos, e considerando que outros componentes do balanço de energia, como a fração que é consumida nas atividades metabólicas das plantas, são de quantidades desprezíveis, o balanço de energia se reduz a quatro componentes (ALLEN et al., 1998):

$$R_n - G - \lambda ET - H = 0 \quad (1)$$

em que:  $R_n$  é a radiação líquida;  $G$  é o fluxo de calor no solo;  $H$  é o fluxo de calor sensível,  $\lambda ET$  é o fluxo de calor latente.

O fluxo de calor latente ( $\lambda ET$ ) representa a evapotranspiração e pode ser derivada a partir da Equação 1 se os demais componentes são conhecidos. A radiação líquida ( $R_n$ ) e o fluxo de calor no solo ( $G$ ) podem ser medidos com sensores específicos ou estimados a partir de dados climáticos. Medições do fluxo de calor sensível ( $H$ ) são mais difíceis e demandam medições do gradiente de temperatura sobre a superfície (ALLEN et al., 1998). No desenvolvimento de sua famosa equação, Penman (1948) utilizou o princípio da razão de Bowen para calcular o fluxo de calor sensível. A abordagem de estimar a ET tendo como base apenas o balanço energético tende a superestimar a ETo em situações onde a atmosfera não possui capacidade de transportar o vapor produzido.

Por outro lado, a abordagem fundamentada em princípios de transferência de massa considera a transferência de energia e vapor entre a superfície evaporante e a atmosfera, através do coeficiente de transporte do ar pelo gradiente de vapor de água (ALLEN et al., 1998; RÁCZ et al., 2013). Equações fundamentadas nesta abordagem ainda são utilizadas, a exemplo de Tabari et al. (2013) e Valipour (2015) que avaliaram equações baseadas em transferência de massa no Irã. No entanto, esta abordagem, quando não considera a energia disponível, tende a superestimar a ETo em situações onde não há energia suficiente para atender a capacidade evaporativa do ar.

Penman combinou o balanço de energia com a equação aerodinâmica desenvolvendo a sua famosa equação para estimar evaporação de uma superfície livre de água. Para obter a transpiração potencial em superfície gramada propôs um fator de redução, variável de 0,6 a 0,8 no curso do ano e de região para região (PENMAN, 1948; JENSEN, 2010).

Como a equação original de Penman utiliza uma função da velocidade do vento no seu termo aerodinâmico, calibrações locais dessa função eram requeridas para que resultados satisfatórios fossem alcançados (PENMAN, 1948; ALLEN et al., 1998). Posteriormente, fatores de resistência à transferência de vapor de uma superfície vegetada foram incorporados à equação original de Penman, estendendo sua aplicabilidade para superfícies vegetadas (MCMAHON et al., 2013). Com a introdução dos fatores de resistência aerodinâmica e resistência total da superfície vegetada promovida por Monteith (1965), a equação passou a ser chamada de Penman-Monteith.

Pela incorporação de expressões simplificadas da resistência aerodinâmica e resistência total da superfície, Allen et al. (1998) parametrizaram a equação original de Penman-Monteith para a grama hipotética de referência, originando a equação conhecida como Penman-Monteith-FAO, a qual passou a ser recomendada como o método padrão para determinar a ETo e para avaliar o desempenho de outros métodos (ALLEN et al., 1998; TODOROVIC et al., 2013; MARTÍ et al., 2015).

Em estudo realizado por Jensen, utilizando lisímetros em diversos locais do mundo, o método de Penman-Monteith foi o que apresentou o melhor desempenho, tanto na escala diária como mensal (ROJAS & SHEFFIELD, 2013). No entanto, este método possui como inconveniente a demanda de grande número de dados climáticos, como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa e radiação, os quais nem sempre estão disponíveis em muitas regiões do mundo, em quantidade e consistência necessárias, sobretudo em países em desenvolvimento (VALIANTZAS, 2013; MARTÍ et al., 2015; TEGOS et al., 2015). Apesar de ser amplamente estudado e aplicado em diversas regiões do mundo, em certas condições climáticas especiais, o método de Penman-Monteith recomendado pela FAO pode apresentar imprecisões (WIDMOSER, 2009). Azhar & Perera (2011) constataram subestimativa da ETo, quando calculada pela equação Penman-Monteith em três localidades da Austrália, em comparação com dados de lisímetros. Segundo Katerji & Rana (2014) as principais fontes de erro da equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO são devidas ao fato do não atendimento da premissa de regime permanente considerada nesta metodologia, sobretudo quando a equação é aplicada na escala diária ou para períodos maiores, e também por negligenciar a variação na resistência da superfície de referência, a qual é considerada fixa com valor de  $70 \text{ s m}^{-1}$ , sendo que alguns estudos indicam valores variando de 10 a  $130 \text{ s m}^{-1}$ .

Como o método de Penman-Monteith apresenta grande exigência de dados climáticos, Allen et al. (1998) recomendam procedimentos para estimativa de dados de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, quando ausentes. Propõe ainda, como alternativa, o uso da equação de Hargreaves-Samani em situações onde somente dados de temperatura do ar são disponíveis.

As recomendações de Allen et al. (1998) em situações de ausência de dados climáticos têm sido avaliadas em diferentes países e climas para testar sua viabilidade (ALENCAR et al., 2015). Todorovic et al. (2013) compararam o desempenho do método de Penman-Monteith-FAO com dados limitados e Hargreaves-Samani, em 16 países com diferentes condições

climáticas na região do Mediterrâneo, constatando que para condições climáticas mais áridas o método de Hargreaves-Samani apresentou melhor desempenho do que o Penman-Monteith-FAO com dados limitados, e para climas semiáridos a úmidos o método de Penman-Monteith-FAO com dados limitados apresentou melhor desempenho.

Em estudo semelhante, Popova et al. (2006) constataram desempenho satisfatório do método Penman-Monteith-FAO com dados limitados no sul da Bulgária, quando somente dados de temperatura máxima e mínima estão disponíveis, sendo superior ao método de Hargreaves-Samani, o qual superestimou a ETo nas condições avaliadas. Já Martinez & Thepadia (2010) constataram melhor desempenho do método de Hargreaves-Samani em condição de clima úmido, em regiões costeiras do Estado da Flórida.

Dentre os métodos que demandam poucos dados, os mais utilizados são aqueles que têm como fundamento a temperatura do ar. Segundo Martí et al. (2015) o desenvolvimento destes métodos se justifica por diversas razões, dentre as quais o fato de que a temperatura e a radiação solar explicam cerca de 80% da variabilidade da ETo, e que a amplitude da temperatura diária pode ser relacionada com a umidade, nebulosidade e advecção, além do fato de que a temperatura é a variável climática mais largamente monitorada entre aquelas necessária a estimativa da ETo.

Métodos baseados na temperatura são simples e demandam poucas variáveis de entrada, no entanto, o cálculo de alguns coeficientes empíricos requeridos pode ser difícil. Estes métodos são recomendados para serem usados na escala mensal ou para períodos maiores (RÁCZ et al., 2013).

Dentre os métodos baseados na temperatura, o de Blaney-Criddle (modificado por Doorenbos & Pruitt, 1977) é um dos mais simples, desenvolvido originalmente para uma região semiárida do oeste dos Estados Unidos, tendo sido amplamente utilizado para estimativa da ETo antes da introdução da equação de Penman-Monteith (FOOLADMAND & AHMADI, 2009; TUKIMAT et al., 2012; MELO & FERNANDES, 2012). RácZ et al. (2013) encontraram boa correlação do método de Blaney-Criddle com o método de Penman-Monteith na Hungria, concluindo, ainda, que este método apresentou comportamento estável (pouco sensível) diante de mudanças nos principais elementos climáticos que afetam a ETo. Bons resultados com a equação de Blaney-Criddle também são relatados por Fooladmand & Ahmadi (2009), após sua modificação, em que a temperatura média mensal foi substituída pela temperatura efetiva, e por meio da calibração regional de dois coeficientes para a

província de Fars no Irã. O método de Blaney-Criddle tem apresentado bom desempenho para regiões úmidas, onde o efeito advectivo é usualmente negligenciável, conforme reportado por Tabari et al. (2013) em avaliação de 31 métodos em região úmida no Irã, onde o método de Blaney-Criddle apresentou o melhor desempenho dentre os métodos baseados na temperatura do ar. Por outro lado Melo & Fernandes (2012) relatam baixo desempenho deste método para o município de Uberaba, MG em avaliação na escala mensal, constatando tendência de superestimativa da ETo em comparação com a equação de Penman-Monteith. Zhai et al. (2010) também relatam baixo desempenho deste método, mesmo após calibração regional, para a província de Gansu no noroeste da China.

Outro método baseado na temperatura bastante estudado é o método de Thornthwaite (1948), originalmente desenvolvido sob o conceito de evapotranspiração potencial de grandes áreas, na escala de bacias hidrográficas (MELO & FERNANDES, 2012). Este método foi derivado a partir de dados de chuva e escoamento em bacias hidrográficas de várias partes dos Estados Unidos, com posterior relacionamento empírico entre evapotranspiração, temperatura média do ar, e comprimento do dia (CAMARGO & CAMARGO, 2000; SENTELHAS et al., 2010; TUKIMAT et al., 2012). Thornthwaite avaliou o método comparando dados de excedentes hídricos de 12 localidades dos Estados Unidos e de um local da República Dominicana, com dados correspondentes ao consumo de água em irrigação, constatando excelente desempenho (CAMARGO & CAMARGO, 2000; BORGES e MENDIONDO, 2007). Segundo Tabari et al. (2013) o método de Thornthwaite-48 tende a subestimar a ETo em regiões úmidas, conforme resultado constatado para o norte do Irã. Melo & Fernandes (2012) constataram desempenho razoável do método de Thornthwaite-48 com certa tendência de subestimativa da ETo calculada na escala mensal, para o município de Uberaba/MG.

O método de Thornthwaite demanda o cálculo de um índice de calor da região considerado complexo (CAMARGO & CAMARGO, 2000). Desta forma, com base nos resultados encontrados por Thornthwaite, Camargo propôs um método mais simples e com eficiência similar ao método de Thornthwaite original, conhecido como Camargo-71 (MELO & FERNANDES, 2012). Demanda apenas dados de temperatura média do período e temperatura média anual do local. Este método tem apresentado resultados superiores ao método original de Thornthwaite para algumas localidades, a exemplo de Melo & Fernandes (2012) no município de Uberaba/MG e Borges & Menciondo (2007) na Bacia do Rio Jacupiranga/SP. Borges Júnior et al. (2012) relatam tendência de subestimativa do método de

Camargo-71 para a ETo diária na microrregião de Garanhuns/PE com erros maiores para os meses mais secos.

Como o método de Thornthwaite-48 não considera o termo aerodinâmico em sua equação apresenta tendência de subestimar a ETo em regiões áridas, uma vez que nestas condições a advecção regional constitui importante fonte de energia, e também tendência de superestimar a ETo em condições de superumidade (CAMARGO & CAMARGO, 2000; CAMARGO et al., 1999). Desta forma, Camargo et al. (1999) propuseram utilizar a temperatura efetiva na equação de Thornthwaite, de modo que esta pudesse representar o termo aerodinâmico, ajustando a equação para condições áridas e superúmidas. A abordagem proposta foi baseada em temperaturas médias mensais e seus resultados foram satisfatórios em comparação com a equação de Penman-Monteith (FOOLADMAND & AHMADI, 2009). Segundo Sentelhas et al. (2010) o método de Thornthwaite modificado por Camargo et al. (1999) permite ainda que calibrações regionais sejam realizadas por meio do ajuste de um coeficiente da equação.

O método de Hargreaves-Samani, recomendado pela FAO como alternativa em situações onde somente dados de temperatura do ar estão disponíveis, foi desenvolvido utilizando-se dados diários de um período de oito anos de lisímetros localizados em região de clima semiárido, em Davis na Califórnia (MAEDA et al., 2011; MELO & FERNANDES, 2012). Dentre as equações empíricas que se fundamentam na temperatura do ar, o método de Hargreaves-Samani é considerado uma exceção, na medida em que apresenta bons resultados em diferentes condições climáticas, tendo sido testado e usado mundialmente (ALLEN et al., 1998; MAEDA et al., 2011). Xystrakis & Matzarakis (2011) constataram que as estimativas da ETo pelo método de Hargreaves-Samani apresentaram grande redução de erro quando calculadas mensalmente em comparação com períodos diários, validando a recomendação de que o método de Hargreaves-Samani seja utilizado para períodos superiores a 10 dias. Sentelhas et al. (2010) constaram bom desempenho da equação de Hargreaves-Samani quando só se dispõe de dados de temperatura do ar, para Ontário no Canadá. Haijun et al. (2013) relatam subestimativa de 26% da ETo estimada pelo método de Hargreaves-Samani em Beijing na China. Temesgen et al. (2005) relatam subestimativa da ETo calculada pelo método de Hargreaves-Samani em condições de baixa umidade e elevados valores de velocidade do vento, assim como superestimativa da ETo em condições de elevada umidade e baixos valores de velocidade do vento, provavelmente devido à falta dos termos relativos a

estas duas variáveis climáticas de forma explícita nesta equação. Zhai et al. (2010) relatam excelente desempenho da equação de Hargreaves-Samani após calibração regional para a província de Gansu na China.

Outra categoria de métodos de estimativa da ETo é daqueles que se baseiam na radiação solar, e são fundamentados no fato de que a radiação solar é a fonte de energia primária para os fenômenos meteorológicos, possuindo contribuição expressiva na evapotranspiração (CARVALHO et al., 2011). A literatura é abundante de casos em que métodos baseados na radiação se mostram superiores a métodos baseados na temperatura, a exemplo de Tukimat et al. (2012) para o norte da Malásia e Xystrakis & Matzarakis (2011) para a ilha de Creta na Grécia. Rácz et al. (2013) afirmam ainda que equações com base na radiação, se calibradas localmente, podem apresentar maior precisão do que métodos combinados. Sua aplicação depende da disponibilidade de dados de radiação solar ou número de horas de brilho solar (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011).

O método da radiação FAO 24 foi apresentado por Doorenbos & Pruitt (1977) para estimar a ETo com base na radiação. Este método é uma adaptação do modelo de Makkink, desenvolvido com base em dados de região com clima úmido na Holanda, tendo sido recomendado em substituição ao método de Penman quando dados de velocidade do vento e umidade não estão disponíveis ou não possuem confiabilidade (ZHAI et al., 2010; MELO & FERNANDES, 2012). Demanda observações de insolação, nebulosidade ou radiação, além da temperatura do ar. Pode ser empregado na ausência de dados de umidade relativa e velocidade do vento requerendo, contudo, o conhecimento de níveis gerais desses elementos para o local (BORGES JÚNIOR et al., 2012). Segundo Allen et al. (1998) o método da radiação apresenta bons resultados em climas úmidos onde o termo aerodinâmico é relativamente pequeno, mas tende a subestimar a ETo em condições áridas. Haijun et al. (2013) constatou superestimava da ETo calculada pelo método da radiação FAO 24 em Beijing na China, mas excelente resultado após calibração local. Zhai et al. (2010) também constataram bom desempenho deste método para regiões áridas e semiáridas na província de Gansu na China, com resultados considerados excelentes após calibração local. Por outro lado Melo & Fernandes (2012) constataram superestimativa da ETo, com erros considerados elevados, para a cidade de Uberaba/MG. Azhar & Perera (2011) também constataram superestimativa deste método para algumas localidades da Austrália, mas bom resultado para outras localidades.

Jensen & Haise (1963) desenvolveram um método de estimativa da ETo com base na radiação, tendo como fundamento 3000 observações de evapotranspiração determinadas por procedimento de amostragem de solo, por um período de 35 (trinta e cinco) anos (ZHAI et al., 2010; XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011). O estudo original foi desenvolvido em regiões áridas e semiáridas usando dados de temperatura do ar e radiação solar (MELO & FERNANDES, 2012). Pereira et al. (2009) avaliando a performance de diversos métodos de estimativa da ETo na Serra da Mantiqueira em MG concluíram, que na escala mensal, o método de Jensen-Haise teve o melhor resultado em comparação com o método de Penman-Monteith. Alguns estudos demonstram que este método tende a superestimar a ETo em condições de clima úmido conforme constatado por Tabari et al. (2013) no norte do Irã e Trajkovic & Kolakovic (2009) na Sérvia. Xystrakis & Matzarakis (2011) avaliando diversos métodos de estimativa da ETo para condições de clima semiárido na ilha de Creta na Grécia, não recomendaram a equação de Jensen-Haise para aquela localidade. Após calibração regional, o método de Jensen-Haise apresentou excelente desempenho na província de Gansu na China (ZHAI et al., 2010).

### **3.3.2 Desempenho de métodos de estimativa da ETo no semiárido nordestino**

Cavalcante Júnior et al. (2011) avaliando o desempenho de 15 (quinze) métodos de estimativa da ETo, na escala diária, em Mossoró/RN constataram desempenho ótimo dos métodos da Radiação FAO 24 e Blaney-Criddle em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, tanto para o período seco como para o período úmido. Já o método de Jensen-Haise apresentou desempenho ótimo para o período seco, mas sua performance para o período úmido foi classificada como mediana. Segundo os autores, este resultado pode ser explicado pelo fato do método de Jensen-Haise ter sido desenvolvido originalmente em região de clima árido e semiárido. Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo-71 não apresentaram desempenho satisfatório, sendo observada relativa melhora de performance no período úmido. Os métodos de Makkink e Hanon apresentaram tendência de subestimar a ETo, o que, segundo os autores, pode ser explicado pelo fato desses métodos terem sido desenvolvidos originalmente para regiões úmidas.

Moura et al. (2013) compararam o desempenho de seis métodos de estimativa da ETo baseados na temperatura, três métodos baseados na radiação solar, e dois métodos baseados em modelagem estatística, na bacia do riacho Gameleira no Estado de Pernambuco. As

avaliações foram feitas nas escalas de tempo diária, quinquidial, decendial, quinzenal e mensal, em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO. Dentre os métodos baseados na temperatura, o método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou a melhor aderência ao método padrão, apesar de ter apresentado superestimativa da ETo para todos os meses. O desempenho do método de Hargreaves-Samani melhorou para períodos maiores, sendo classificado como ótimo para períodos maiores do que cinco dias, de acordo com o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997). Os métodos de Camargo-71, Blaney-Criddle e Thornthwaite modificado foram classificados como “muito bom” para a escala mensal, com desempenho inferior para a escala diária. Dentre os métodos baseados na radiação solar, o método da radiação FAO 24 foi o que apresentou o melhor desempenho, sendo classificado como “ótimo” em todas as escalas de tempo avaliadas. Na escala mensal o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle foram superiores aos métodos baseados na radiação, sendo uma opção interessante para a região.

Oliveira et al. (2010) avaliando o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Makkink e Tanque Classe A, na escala diária, em Juazeiro, norte da Bahia, constataram desempenho classificado como “bom”, de acordo com índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997), para os métodos de Hargreaves-Samani e Makkink, sendo superior inclusive, ao método do Tanque Classe A, classificado como “regular”.

Chagas et al. (2013) comparando o desempenho de cinco métodos de estimativa da ETo em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, no município de Real no norte da Bahia, constataram desempenho satisfatório dos métodos de Penman, Radiação FAO 24 e Blaney-Criddle e desempenho não satisfatório do método de Hargreaves-Samani.

Guedes Filho et al. (2011) avaliando o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Priestley-Taylor para a localidade de Areia na Paraíba, constataram boa correlação dos três métodos avaliados, em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, com pequena tendência de subestimativa dos valores de ETo.

Tagliaferre et al. (2012) comparando o desempenho de seis métodos de estimativa da ETo em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, nos municípios de Anagé, Piatã e Ilhéus na Bahia, constataram excelente desempenho do método de Blaney-Criddle. O método de Hargreaves não apresentou desempenho satisfatório, apresentando o pior resultado dentre os métodos avaliados, apresentando tendência de subestimativa da ETo em condições mais secas.

Silva et al. (2010) avaliando o desempenho dos métodos de Penman-Monteith-FAO e Hargreaves-Samani quando somente dados de temperatura máxima e mínima estão disponíveis, concluíram que o método de Hargreaves-Samani se apresentou como boa alternativa para o município de Campos Sales/CE, para estimativas da ETo na escala mensal.

Mendonça & Dantas (2010) comparando o desempenho dos métodos da radiação FAO 24 e Linacre em relação ao método de Penman-Monteith-FAO, no município de Capim/PB, constataram boa correlação do método da radiação para todas as estações do ano. Já o método de Linacre não apresentou boa correlação com o método padrão.

Souza et al. (2010) constataram desempenho “ótimo” para os métodos de Jensen-Haise e Priestley-Taylor na estimativa da ETo em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, para o perímetro irrigado Califórnia, localizado em clima semiárido no Estado de Sergipe. Os métodos de Hargreaves, Linacre e Makkink apresentaram desempenho inferior, sendo classificados como “muito bom” de acordo com o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997). O pior desempenho foi constatado para o Tanque Classe A, com desempenho “mediano”.

Silva et al. (2005) no desenvolvimento de um sistema computacional para o cálculo da ETo, comparou oito métodos com a equação de Penman-Monteith-FAO, constatando bom desempenho do método de Hargreaves-Samani para a cidade de Petrolina em Pernambuco. Os métodos de Thornthwaite e Linacre não apresentaram desempenho satisfatório para a escala diária.

### **3.4 Planejamento da irrigação**

O conhecimento dos requerimentos de água dos cultivos é uma preocupação básica e de fundamental importância para o planejamento e operação de sistemas de irrigação, sobretudo quando se busca a otimização dos recursos hídricos disponíveis (AZHAR & PERERA, 2011; TABARI et al., 2013).

A agricultura é a principal usuária de água, sendo responsável, em níveis médios globais, pelo uso de 70% de toda água doce captada, chegando a ser responsável por mais de 80% do uso em países menos desenvolvidos e de até 95% em regiões específicas onde a agricultura irrigada é praticada intensamente (SHEN et al., 2013; SINGH, 2014; FAO, 2015). Apesar da grande importância da agricultura irrigada para a sustentabilidade da sociedade,

baixas eficiências de uso da água na agricultura são relatadas com frequência na literatura. Darshana et al. (2012) relatam sistemas de irrigação com eficiência de apenas 30% na bacia do Rio Holeta na Etiópia. Este problema não é exclusivo de países menos desenvolvidos, conforme Lilienfeld & Asmild (2007) que ao avaliar a eficiência do uso da água em áreas irrigadas do oeste do Estado do Kansas nos Estados Unidos, durante um período de oito anos, constataram que cerca de 50% da água aplicada consistia de “excessos”. Wriedt et al. (2009) constataram uma economia potencial de água de 43% na agricultura irrigada na Europa.

Estudos dos requerimentos de água para irrigação contribuem para um uso mais eficiente da água disponível, podendo promover economias significativas (AZHAR & PERERA, 2011; TABARI et al., 2013). O conhecimento dos requerimentos de água dos cultivos, juntamente com análises de sua distribuição espacial e temporal, encontra aplicações em várias etapas do processo de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, servindo também de subsídio para outros estudos (WRIEDT et al., 2009; USMAN et al., 2015). Usman et al. (2015) utilizaram estimativas de demanda de água em um grande sistema de irrigação alimentado por canais, na bacia do Rio Indus no Paquistão, para avaliar a equidade, adequabilidade e confiabilidade da distribuição da água. Darshana et al. (2012) estimaram os requerimentos de água para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Holeta na Etiópia, para propor um modelo otimizado da agricultura irrigada naquela bacia. Lilienfeld & Asmild (2007) utilizaram informações de consumo de água dos cultivos para identificar a aplicação de água em excesso por irrigantes do Estado do Kansas nos Estados Unidos. Shen et al. (2013) partindo de estimativas de ETo, dados pluviométricos e coeficientes de cultivos das principais culturas do noroeste da China, identificaram focos e picos de demanda de água para atender cultivos irrigados. Outras aplicações de estudos de requerimentos de água para irrigação são relatadas na literatura, como: avaliação da pressão que a agricultura exerce sobre os recursos hídricos de determinada região; subsídio ao dimensionamento de sistemas de irrigação; fornecimento de parâmetros de comparação sobre a adequabilidade do uso da água; estimativas de custo de produção; manejo da irrigação, dentre outras (WRIEDT et al., 2009; ZHAI et al., 2010; TODOROVIC et al., 2013; USMAN et al., 2015).

Apesar de sua importância no consumo total de água, os requerimentos de água para irrigação não são avaliados a contento em muitas ocasiões. Mesmo em países desenvolvidos como na Europa, as medições e informações sobre consumo de água para irrigação são limitadas. Em geral são baseadas em mecanismos legais de concessão de direito de uso da

água, no entanto, em alguns países europeus, cerca de 45% da água utilizada para irrigação não é controlada por estes mecanismos. Na Itália a fragmentação e complexidade das organizações públicas dificultam o controle. Outras dificuldades decorrem da ausência de obrigações legais em se medir a água captada, e de captações ilegais (WRIEDT et al., 2009). Escassez de dados observados de consumo de água para irrigação também são relatadas por Shen et al. (2013) para o noroeste da China. Os mesmos autores comentam que medições diretas de campo podem fornecer cálculos precisos do consumo de água dos cultivos na escala da propriedade rural, mas se mostra como uma abordagem inadequada para estimar os requerimentos de água em escala regional. Segundo Wriedt et al. (2009) modelagens de consumo de água em escalas regionais e continentais possuem desafios específicos, sobretudo em relação à heterogeneidade na subescala e simplificações requeridas para modelar áreas geograficamente amplas. Desta forma, estudos de demanda de água para irrigação estimada por modelagem podem ser úteis em preencher lacunas nos dados oficiais disponíveis, além de prover dados para comparação por meio do fornecimento de estimativas não enviesadas na escala regional (WRIEDT et al., 2009).

Várias ferramentas de modelagem têm sido desenvolvidas para calcular os requerimentos de água para irrigação com o intuito de melhorar o planejamento da irrigação e o gerenciamento de recursos hídricos (WRIEDT et al., 2009). A abordagem padrão para estimar as demandas de água dos cultivos é baseada nos boletins da FAO, onde se recomenda que os requerimentos líquidos de irrigação por unidade de área irrigada sejam calculados pela diferença entre evapotranspiração potencial de um cultivo específico e a precipitação efetiva (WRIEDT et al., 2009; USMAN et al., 2015).

Outras abordagens têm sido desenvolvidas, principalmente envolvendo a integração da abordagem padrão recomendada pela FAO, com dados de sensoriamento remoto, a exemplo de Wriedt et al. (2009) que combinou dados de solo, área cultivada, dados climáticos, e outras informações em um sistema de informações geográficas, para quantificar as demandas de água para irrigação em todo o continente Europeu. Usman et al. (2015) utilizaram dados de sensoriamento remoto para estimar da evapotranspiração dos cultivos e respectivas demandas de água para irrigação em um sistema de canais na bacia do Rio Indus no Paquistão. Segundo Shen et al. (2013) a estimativa dos requerimentos de água dos cultivos por meio de sensoriamento remoto se mostra adequada para a escala regional, mas devido a erros originados da resolução espacial e temporal dos dados dos satélites, esta abordagem ainda

apresenta muitos problemas técnicos. Uma das principais limitações se refere ao método de interpolação de dados de imagens instantâneas, principalmente para a escala diária.

A abordagem padrão, baseada nas publicações da FAO, tem sido amplamente utilizada na determinação dos requerimentos líquidos de água para irrigação de cultivos (DARSHANA et al., 2012; USMAN et al., 2015). Partindo de dados meteorológicos de 67 estações, e dos coeficientes de cultivo de cinco cultivos principais, Shen et al. (2013) utilizaram a abordagem padrão da FAO para calcular os requerimentos de água para irrigação no noroeste da China. Surendran et al. (2015) utilizaram a abordagem padrão para modelar as demandas de água para irrigação e avaliar a sustentabilidade dos recursos hídricos no Estado de Kerala na Índia. Em trabalho similar, Kuo et al. (2006) estimaram os requerimentos de água para irrigação em 17 (dezessete) distritos de irrigação em Taiwan.

No Brasil, Rodriguez et al. (2007) adotaram abordagem baseada nas publicações da FAO para estimar a demanda de água das áreas irrigadas da bacia do Rio Paracatu, maior afluente do Rio São Francisco. Os autores constataram considerável crescimento da demanda de água, entre os anos de 1970 a 1996, devido ao aumento da área irrigada na bacia estudada. Os maiores requerimento de irrigação foram constatados para o mês de agosto, onde houveram as maiores diferenças entre a ETC e a precipitação efetiva. A vazão média anual estimada para atender as culturas irrigadas na bacia do Rio Paracatu foi de  $0,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , a qual, segundo os autores, é um valor bem abaixo daqueles normalmente utilizados como base de referência para projetos de sistemas de irrigação, ou dos parâmetros utilizados para calcular a quantidade de água demandada pela agricultura irrigada.

Faria et al. (2000) realizaram um trabalho de espacialização da demanda máxima diária de irrigação suplementar para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais. Os valores variaram de 4 a  $9 \text{ mm dia}^{-1}$ , conforme a região, tipo de solo e sazonalidade desse cultivo. Os autores também avaliaram a época de plantio que resultasse na menor demanda de água, sendo constatado que os meses de setembro e outubro são aqueles que demandam as menores quantidades de água para irrigação suplementar da cultura do milho.

Silva et al. (2012) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para mapear o volume de água utilizado no projeto de irrigação São Gonçalo no Estado da Paraíba, constatando que a demanda anual para irrigar os 3.559 ha do perímetro São Gonçalo é de  $29.532.142 \text{ m}^3$ , o que representa 64% do reservatório utilizado como fonte hídrica.

Requerimentos líquidos de irrigação constituem apenas uma parte do total de água captada para irrigação (demanda bruta). Uma quantidade adicional de água é captada para compensar perdas no transporte, e perdas devido à eficiência de uso da água de cada sistema de irrigação, e em certos casos, uma parcela adicional é aplicada para promover a lixiviação de sais. Valores médios de eficiência da irrigação, ponderados pela área ocupada por cada método, sendo considerados valores de 0,6 para sistemas de irrigação por inundação, 0,75 para aspersão e 0,9 para gotejamento, foram adotados por Wriedt et al. (2009).

Independente das técnicas utilizadas, os estudos de estimativas de demanda de água para irrigação envolvem simplificações, sobretudo aqueles que avaliam demandas na escala regional. As principais simplificações adotadas se referem em limitar o número de cultivos considerados, assim como a utilização de valores médios regionais de eficiência da irrigação, coeficientes de cultivo e dos parâmetros relativos ao solo (WRIEDT et al., 2009; SHEN et al., 2013; SURENDRAN et al., 2015; USMAN et al., 2015).

É bem claro que os cenários, estratégias, e valores médios considerados nos modelos de estimativa de água, diferirão da realidade a ser adotada pelos irrigantes. Além disso, muitos fatores que influenciam no consumo de água não são absorvidos pelos modelos, como diferentes estratégias de manejo, nível tecnológico, hábitos, educação e idade dos agricultores, aspectos econômicos da produção, dentre outros. No entanto, quando o foco do estudo são os requerimentos de irrigação em escala geográfica ampla, estas limitações inerentes aos modelos são aceitáveis (LILIENFELD & ASMILD, 2007; WRIEDT et al., 2009).

Devido à ausência de dados apropriados, a validação de um modelo de estimativa de requerimento de água para irrigação se mostra desafiadora. Há um problema conceitual em comparar requerimentos de irrigação simulada com dados reportados de água captada, mesmo quando as perdas e eficiências são adequadamente modeladas. A demanda de irrigação simulada é determinada por fatores climáticos, condições edáficas, culturas padrões, não levando em conta as variedades regionais, e diferenças de manejo. Por outro lado, captações oficialmente divulgadas representam a água real captada, adicionalmente afetada por práticas de manejo, restrições legais, racionamento de água, e outras razões de caráter econômico (WRIEDT et al., 2009). Apesar de terem se deparado com grandes discrepâncias entre valores estimados e valores oficialmente divulgados de água captada para irrigação, no desenvolvimento de um modelo de estimativa de demandas de água para irrigação na Europa,

Wriedt et al. (2009) concluíram que o modelo desenvolvido demonstrou ser razoável para estimar os requerimentos de água para irrigação.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, S. S.; MALEK, M. A.; ABDULLAH, N. S.; KISI, O.; YAP, K. S. Extreme Learning Machines: A new approach for prediction of reference evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.527, p.184-195, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014, Brasília, 2015. Disponível em: <[http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014\\_inf.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf)>. Acesso em: 06 de outubro, 2015.

ALENCAR, L. P. de; MANTOVANI, E. C; BUFON, V. B.; SEDIYAMA, G. C.; Silva, T. G. F. da. Variação temporal dos elementos climáticos e da ETo em Catalão, Goiás, no período de 1961-2011. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.826–832, 2014.

ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.39–50, 2015.

ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C.; MARTINEZ, M. A. Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa - MG. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, p.631–642, 2011.

ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C.; VIEIRA, G. H. S. Evolução temporal da evapotranspiração de referência e sua sensibilidade aos principais elementos climáticos na cidade de Uberaba – MG. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.159–166, 2012.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AZHAR, A. H.; PERERA, B. J. C. Evaluation of Reference Evapotranspiration Estimation Methods under Southeast Australian Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, n.5, p.268–279, 2011.

BANDYOPADHAYAY, A.; BHADRA, A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.14, n.5, p.508–518, 2009.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P. de; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. da. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

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

BIUDES, M. S.; VALENTINI, C. M. A.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. de S. Estimativa da evapotranspiração numa pastagem mista, em condições de cerrado, pelos métodos de razão de Bowen e Penman-Monteith. **Ciência e Natura**, v.30, n.1, p.71-86, 2008.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.293-300, 2007.

BURN, D. H.; HESCH, N. M. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. **Journal of Hydrology**, v.336, p.61-73, 2007.

CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.251-257, 1999.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

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

CARVALHO, D. F. de; SILVA, D. G. da; SOUZA, A. P. de; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. da. Coeficientes da equação de Angström-PreScott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.838-844, 2011.

CARVALHO, M. A.; MÉLLO JR., A. V.; SCHARDONG, A.; PORTO, R. L. L. Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.10-17, 2009.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M. de; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, sup.1, p.1699-1708, 2011.

CHAGAS, R. M., FACCIOLI, G. G.; NETTO, A. de O. A.; SOUZA, I. F. de; VASCO, A. N. do; SILVA, M. G. da. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) no município de Rio Real-BA. **Irriga**, v.18, n.1, p.351-363, 2013.

DARSHANA; PANDEY, A.; OSTROWSKI, M.; PANDEY, R. P. Simulation and optimization for irrigation and crop planning. **Irrigation and Drainage**, v.61, p.178-188, 2012.

DINPASHOH, Y.; JHAJHARIA, D.; FAKHERI-FARD, A.; SINGH, V. P.; KAHYA, E. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. **Journal of Hydrology**, v.399, p.422-433, 2011.

DJAMAN, K.; BALDE, A. B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M. K.; MANNEH, B.; MOUKOUMBI, Y. D.; FUTAKUCHI, K.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.3, p.139-159, 2015.

DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting Crop Water Requirements**. 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

EUSER, T.; LUXEMBURG, W. M. J.; EVERSON, C. S.; MENGISTU, M. G.; CLULOW, A. D.; BASTIAANSEN, W. G. M. A new method to measure Bowen ratios using high-resolution vertical dry and wet bulb temperature profiles. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.18, p.2021-2032, 2014.

FAO. FAO Statistical Yearbook 2014, Latin America and the Caribbean Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for the Latin America and the Caribbean, Santiago, p.181, 2014. <<http://www.fao.org/docrep/019/i3592e/i3592e.pdf>>. Acesso em: 01 de outubro, 2015.

FAO. FAO Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p.216, 2015. <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 01 de outubro, 2015.

FARIA, R. A. de; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.46-50, 2000.

FOOLADMAND, H. R.; AHMADI, S. H.; Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ET<sub>o</sub> in South of Iran. **Irrigation and Drainage**, v.58, p.234-245, 2009.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; TEIXEIRA, A. dos S.; EVANGELISTA, S. R. de M. Impactos das mudanças climáticas na demanda de Irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.594-600, 2011.

GONG, L.; XU, C.; CHEN, D.; HALLDIN, S.; CHEN, Y. D. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. **Journal of Hydrology**, v.329, p.620-629, 2006.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COSTA FILHO, J. F. da; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba, **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.1, p.37-47, 2011.

HAIJUN, L.; YAN, L.; RUIHAO, Z.; GUANHUA, H. Evaluation and modification of potential evapotranspiration methods in Beijing, China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.6, n.4, p.9–18, 2013.

IRMAK, S.; PAYERO, J. O.; MARTIN, D. L.; IRMAK, A.; HOWELL, T. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.132, n.6, p.564-578, 2006.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.89, n.4, p.15-41, 1963. Disponível em: <<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/1249/1/27.pdf>>. Acesso em 18 de setembro de 2015.

JENSEN, M. E. Historical evolution of ET estimating methods: A century of progress. In: Evapotranspiration Workshop - CSU/ARS, Fort Collins, CO, USA, 12 de março de 2010. Disponível em: <[http://ccc.atmos.colostate.edu/ET\\_Workshop/ET\\_Jensen/ET\\_history.pdf](http://ccc.atmos.colostate.edu/ET_Workshop/ET_Jensen/ET_history.pdf)>. Acesso em: 16 de setembro, 2015.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.). **Water Deficits and Plant Growth: Development, Control, and Measurement**. Academic Press, New York, NY, p.1–22, 1968.

JHAJHARIA, D.; SHRIVASTAVA, S. K.; SARKAR, D.; SARKAR, S. Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.763–770, 2009.

KATERJI, N.; RANA, G. FAO-56 methodology for determining water requirement of irrigated crops: critical examination of the concepts, alternative proposals and validation in Mediterranean region. **Theoretical and Applied Climatology**, v.116, p.515-536, 2014.

KISI, O. Modeling Reference Evapotranspiration Using Evolutionary Neural Networks. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, p.636-643, 2011.

KISI, O.; SANIKHANI, H.; ZOUNEMAT-KERMANI, M.; NIAZI, F. Long-term monthly evapotranspiration modeling by several data-driven methods without climatic data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.115, p.66-77, 2015.

KUMAR, M.; BANDYOPADHYAY, A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETo estimation models. **Irrigation Science**, v.26, p.531–545, 2008.

KUO, S. F.; HO, S. S.; LIU, C. W. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. **Agricultural Water Management**, v.82, p.433-451, 2006.

LACERDA, Z. C. de; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ETo) for Uberlândia -MG. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27–38, 2015.

LANDERAS, G.; ORTIZ-BARREDO, A.; LÓPEZ, J. J. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). **Agricultural Water Management**, v.95, p.553-565, 2008.

LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1294–1303, 2010.

LILIENFELD, A.; ASMILD, A. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: a Data Envelopment Analysis approach. **Agricultural Water Management**, v.94, p.73-82, 2007.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. de O.; SOARES, W. de A. SOUZA, E. S. de. Fluxo de calor sensível em cultivo de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1037–1045, 2011.

MAEDA, E. E.; WIBERG, D. A.; PELLIKKA, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. **Applied Geography**, v.31, p.251-258, 2011.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v.129, p.103-115, 2015.

MARTÍ, P.; ZARZO, M.; VANDERLINDEN, K.; GIRONA, J. Parametric expressions for the adjusted Hargreaves coefficient in Eastern Spain. **Journal of Hydrology**, 2015.

MARTINEZ, C. J.; THEPADIA, M. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.136, n.7, p.494–501, 2010.

MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.1331-1363, 2013.

MELO, G. L. de; FERNANDES, A. L. T. Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, state of Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.875–888, 2012.

MENDES, L. A.; BARROS, M. T. L. de; ZAMBON, R. C.; YEH, W. W-G. Trade-Off Analysis among Multiple Water Uses in a Hydropower System: Case of São Francisco River Basin, Brazil. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.141, n.10, p.04015014, 2015.

MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.196-202, 2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: programas ambientais**. Brasília, 2003. 185 p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Programas e Ações - Secretaria Nacional de Irrigação**, nov. 2014. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ceeff01f-6440-45da-859b-9acd1bfa87cf&groupId=66920](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=ceeff01f-6440-45da-859b-9acd1bfa87cf&groupId=66920)>. Acesso em: 26 de novembro, 2014.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. Rothamsted Experimental Station. Harpenden, Herts, v.19, p.205-234, 1965. (Publications in Climatology, v.XI, n.3). Disponível em: <<http://www.unc.edu/courses/2010spring/geog/595/001/www/Monteith65.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro, 2015.

MONTENEGRO, S. G.; MONTENEGRO, A.; RAGAB, R. Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study. **Irrigation Science**, v.28, p.301-316, 2010.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. de; SILVA, B. B. da; OLIVEIRA, L. M. M. de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

OLIVEIRA, G. M. de; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; BISPO, R. de C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. de. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.2, p.104-109, 2010.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. da; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. de. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1039-1046, 2014.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, v.193, n.1032, p.120-145, 1948. Disponível em: <[http://faculty.eas.ualberta.ca/jdwilson/EAS372\\_15/exams/Penman48.pdf](http://faculty.eas.ualberta.ca/jdwilson/EAS372_15/exams/Penman48.pdf)>. Acessado em 26 de agosto de 2015.

PEREIRA, D. dos R.; YANAGI, S. de N. M.; MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da; SILVA, L. A. da. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2488–2493, 2009.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p.4-20, 2015.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. Validation of the Fao methodology for computing ETo with limited data. Application to South Bulgaria. **Irrigation and Drainage**, v.55, p.201–215, 2006.

RÁCZ, C.; NAGY, J.; DOBOS, A. C. Comparison of Several Methods for Calculation of Reference Evapotranspiration. **Acta Silvatica & Lignaria Hungarica**, v.9, p.9-24, 2013.

RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F. de; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. da; TEIXEIRA, A. de F. Estimativa da demanda de água nas áreas irrigadas da bacia do Rio Paracatu. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.172–179, 2007.

ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. Evaluation of Daily Reference Evapotranspiration Methods as Compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith Equation Using Limited Weather Data in Northeast Louisiana. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.285-292, 2013.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canadá. **Agricultural Water Management**, v.97, n.5, p.635-644, 2010.

SHEN, Y.; LI, S.; CHEN, Y.; QI, Y.; ZHANG, S. Estimation of regional irrigation water requirement and water supply risk in the arid region of Northwestern China 1989–2010. **Agricultural Water Management**, v.128, p.55-64, 2013.

SHEN, Y.; LIU, C.; LIU, M.; ZENG, Y.; TIAN, C. Change in pan evaporation over the past 50 years in the arid region of China. **Hydrological Processes**, v.24, p.225–231, 2010.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. de; GALVÍNIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1218–1226, 2012.

SILVA, B. K. N.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; FARIAS, C. H. de A. Análise de sensibilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e razão de Bowen em cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1046-1053, 2011.

SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B. de; FONTES, L. de O.; BRASIL, P. P.; SILVA, M. G. da. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados mínimos para o Cariri Oeste Cearense. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v.6, n.3, p.42-48, 2010.

SILVA, V. de P. R. da; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B. da; CAMPOS, J. H. B. da C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.547-553, 2005.

SINGH, A. Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture. **Journal of Hydrology**, v.519, p.1688-1697, 2014.

SOUZA, I. F. de; SILVA, V. de P. R. da, SABINO, F. G.; NETTO, A. de O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. de. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.633-644, 2010.

SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C. M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E. J. Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India. **Aquatic Procedia**, v.4, p.1211-1219, 2015.

TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v.31, p.107–117, 2013.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J. P.; PAULA, A. de; GUIMARAES, D. U. G.; BARROSO, N. I. S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.136-143, 2012.

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; KOUTSOYIANNIS, D. A parsimonious regional parametric evapotranspiration model based on a simplification of the Penman–Monteith formula. **Journal of Hydrology**, v.524, p.708-717, 2015.

TEMESGEN, B.; ECHING, S.; DAVIDOFF, B.; FRAME, K. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, n.1, p.73-84, 2005.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55-94, 1948. Disponível em: <http://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Thornthwaite48-GeogrRev.pdf>. Acesso em: 18 de setembro de 2015.

TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, v.481, p.166-176, 2013.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. **Water Resources Management**, v.23, p.3057–3067, 2009.

TUKIMAT, N. N. A.; HARUN, S.; SHAHID, S. Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v.113, n.1, p.77-85, 2012.

USMAN, M.; LIEDL, R.; AWAN, U. K. Spatio-temporal estimation of consumptive water use for assessment of irrigation system performance and management of water resources in irrigated Indus Basin, Pakistan. **Journal of Hydrology**, v.525, p.26-41, 2015.

VALIANTZAS, J. D. Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman–Monteith reference evapotranspiration using limited weather data. **Journal of Hydrology**, v.505, p.13-23, 2013.

VALIPOUR, M. Evaluation of radiation methods to study potential evapotranspiration of 31 provinces. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.127, p.289–303, 2015.

VEGA, E. C.; JARA, J. C. Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y Región Andina) del Ecuador. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.390–403, 2009.

WIDMOSER, P. A discussion on and alternative to Penman–Monteith equation. **Agricultural Water Management**, n.96, p.711–721, 2009.

WRIEDT, G.; VAN DER VELDE, M.; ALOE, A.; BOURAOUI, F. Estimating irrigation water requirements in Europe. **Journal of Hydrology**, v.373, p.527-544, 2009.

XU, C.; GONG, L.; JIANG, T.; CHEN, D. SINGH, V. P. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. **Journal of Hydrology**, v.327, p.81-93, 2006.

XYSTRAKIS, F.; MATZARAKIS, A. Evaluation of 13 Empirical Reference Potential Evapotranspiration Equations on the Island of Crete in Southern Greece. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, n.4, p.211–222, 2011.

ZHAI, L.; FENG, Q.; LI, Q.; XU, C. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, northwest China. **Irrigation and Drainage**, v.59, p.477-490, 2010.

## **CAPÍTULO I**

### **DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

## **5 DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

### **5.1 RESUMO**

Estimativas adequadas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) são fundamentais no dimensionamento, manejo e planejamento de projetos de irrigação, contribuindo para o uso mais eficiente da água na agricultura. Dentre os métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>, o de Penman-Monteith-FAO é considerado o mais preciso para qualquer condição climática, mas possui o inconveniente de exigir uma variedade de dados climáticos que nem sempre estão disponíveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Thornthwaite-48, Thornthwaite modificado, Camargo-71, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Radiação FAO 24, Aerodinâmico e Energético, em comparação com o método padrão de Penman-Monteith-FAO, na estimativa da ET<sub>o</sub> na área de influência dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, localizada no Semiárido Nordeste. Foram obtidos dados de 41 estações meteorológicas do INMET, abrangendo o período de 1995 a 2014. Segundo o índice de concordância (c), o método de Hargreaves-Samani é o que apresentou o melhor desempenho, seguido dos métodos da Radiação FAO 24 e Thornthwaite modificado classificados como “ótimo”. Os métodos de Hargreaves-Samani e Thornthwaite modificado são indicados como alternativa à estimativa da ET<sub>o</sub> na região estudada.

**Palavras-chave:** agrometeorologia, Penman-Monteith, transposição de bacias.

## 5.2 ABSTRACT

Appropriate reference evapotranspiration estimates (ET<sub>o</sub>) are fundamental in the design, management and planning of irrigation projects, contributing to more efficient use of water in agriculture. Among the methods of estimating ET<sub>o</sub>, the Penman-Monteith-FAO is considered the most accurate for any climate condition, but has the disadvantage of requiring a variety of climate data that are not always available. The objective of this study was to evaluate the performance of the methods of Hargreaves-Samani, Thornthwaite-48, modified Thornthwaite, Camargo-71, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Radiation FAO 24, Aerodynamic and Energy, as compared to the standard method of Penman -Monteith-FAO, in estimating the ET<sub>o</sub> in the area of influence of the São Francisco River Integration Project, located in the semi-arid Northern. Data were obtained from 41 weather stations of INMET, covering the period from 1995 to 2014. According to the concordance index (c), the Hargreaves-Samani method is the one of the best performance, followed by the methods of Radiation FAO 24 and modified Thornthwaite, which had rated performance as "great." The methods of Hargreaves-Samani and modified Thornthwaite are indicated as an alternative to estimate ET<sub>o</sub> in the studied region.

**Keywords:** agrometeorology, interbasin transfer, Penman-Monteith.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a agricultura, e a sua escassez tem sido um fator limitante de desenvolvimento socioeconômico em muitas regiões do mundo, especialmente em locais de clima árido e semiárido (SILVA et al., 2012; SHEN et al., 2013; DJAMAN et al., 2015). Quantificar a demanda de água para agricultura irrigada e promover a análise das características espaciais e temporais das demandas de água para irrigação, são fundamentais para ajudar a promover o gerenciamento dos recursos hídricos para um caminho sustentável (SHEN et al., 2013; FAO, 2015).

No Brasil, a maior parte da região Nordeste apresenta clima semiárido, com temperaturas elevadas e estação chuvosa de pequena duração, caracterizada por precipitações irregulares e concentradas nos meses de janeiro a julho, apresentando também grande variabilidade interanual (MONTENEGRO et al., 2010; HASTENRATH, 2012). A maior parte da região semiárida brasileira apresenta balanço hídrico quantitativo em estado crítico, e os conflitos pelo uso da água entre irrigantes, hidrelétricas, e outros setores da sociedade têm se agravado (ANA, 2015; MENDES et al., 2015). Dentre as iniciativas governamentais para suprir o acentuado déficit hídrico da região, encontra-se em fase de construção dois sistemas de canais que conduzirão água do Rio São Francisco até algumas bacias hidrográficas dos Estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. A água aduzida por estes sistemas passará por comunidades rurais tradicionais que praticam agricultura familiar, justificando a utilização da água por esses agricultores em pequenos projetos de irrigação (MI, 2013). Neste sentido, a estimativa dos requerimentos de água para irrigação nestas comunidades é fundamental para garantir o adequado aproveitamento dos recursos hídricos.

Por causa da interdependência entre fatores atmosféricos e da superfície vegetada, e também por conta da sua variabilidade espacial e temporal, é basicamente impossível desenvolver um modelo capaz de contabilizar a evapotranspiração (ET) de diferentes cultivos sob diferentes condições ambientais (ROJAS & SHEFFIELD, 2013). Em função desta complexidade, a abordagem mais utilizada para estimar a demanda de água dos cultivos é aquela introduzida por Jensen (1968), onde a evapotranspiração é obtida pelo produto da evapotranspiração de uma superfície de referência (ET<sub>o</sub>) e um coeficiente de cultivo que leva em conta as práticas de manejo, a espécie e o estágio de desenvolvimento (MARTÍ et al., 2015; PEREIRA et al., 2015).

A ETo pode ser obtida através de medições diretas, utilizando-se aparelhos específicos que medem vários parâmetros físicos da atmosfera e da superfície de referência, ou com base no balanço de água no solo por meio de lisímetros (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011). No entanto, técnicas de medições diretas apresentam custos elevados e dificuldades operacionais, de modo que a ETo é estimada, na maioria das vezes, por meio de modelos matemáticos que utilizam dados climáticos como parâmetros de entrada (KUMAR et al., 2008; AZHAR & PERERA, 2011).

Os métodos para estimativa da ETo variam de simples relações empíricas até métodos complexos baseados em processos físicos que incluem termos energéticos e aerodinâmicos, como os métodos combinados de Penman e Penman-Monteith (KUMAR et al., 2008; AZHAR & PERERA, 2011). Devido a sua grande importância para o manejo da irrigação, a estimativa da ETo é objeto de abundante literatura, podendo ser encontrados mais de 50 modelos que visam a sua estimativa (MCMAHON et al., 2013), os quais podem ser divididos em três categorias: i) métodos empíricos que se baseiam na temperatura do ar; ii) métodos empíricos baseados na radiação; iii) métodos com embasamento físico que combinam elementos de balanço de energia e transporte de massa (ROJAS & SHEFFIELD, 2013).

O método mais apropriado para estimativa da ETo varia conforme o local e clima, não havendo consenso entre os pesquisadores sobre um método ou abordagem mais apropriada para estimar a ETo mundialmente (HAIJUN et al., 2013). A equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO tem demonstrado precisão e boa performance em estimar a ETo, tanto em regiões áridas como úmidas, e foi recomendada pela FAO como método padrão para calcular a ETo e para validar outras equações (PEREIRA et al., 2015). No entanto, sua aplicação não é possível em muitas situações, pois demanda uma variedade de dados meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis, especialmente em países em desenvolvimento. Por conta disso, para muitas aplicações operacionais a ETo é estimada por meio de equações empíricas simples que demandam menos variáveis de entrada (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011; MIHAILOVIC, 2012; MARTI et al., 2015).

Dentre as equações empíricas que demandam uma menor quantidade de dados, as que possuem embasamento na radiação, apresentam, de modo geral, desempenho superior aos métodos com base na temperatura (TUKIMAT et al. 2012). São fundamentadas no fato de que a radiação solar é a fonte de energia primária para os fenômenos meteorológicos, possuindo contribuição expressiva na evapotranspiração (CARVALHO et al., 2011). A

aplicação destes métodos depende da disponibilidade de dados de radiação solar ou número de horas de brilho solar (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011).

Embora os métodos com base na radiação apresentem desempenho superior em muitas situações, deve ser levado em consideração que os métodos baseados na temperatura requerem menos variáveis de entrada (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011). Além disso, dentre as variáveis climáticas utilizadas no cálculo da evapotranspiração, a temperatura do ar é a que apresenta maior disponibilidade de dados históricos.

A maioria destas equações empíricas foi elaborada com base em estudos específicos, sendo apropriada para uso em climas similares àqueles em que foi originalmente desenvolvida (ZHAI et al., 2010). A razão para o método apropriado para estimar a ETo variar com as condições climáticas e regiões de pesquisa é devida principalmente às diferenças nos fatores meteorológicos chave que afetam significativamente a ETo. Os fatores determinantes na ETo diferem de acordo com a região e época do ano, o que por sua vez, afeta o método mais apropriado para estimar a ETo (GONG et al., 2006; HAIJUN et al., 2013; RÁCZ et al., 2013). Xystrakis & Matzarakis (2011) relatam que em um mesmo tipo de clima, estudos diferentes têm produzidos resultados diversos em relação ao desempenho de equações empíricas de estimativa da ETo.

Desta forma, antes do uso destas equações para estimar a ETo em determinada região, é essencial que as suas performances sejam analisadas por meio de comparações com métodos mais sofisticados, como o método padrão de Penman-Monteith-FAO (XYSTRAKIS & MATZARAKIS, 2011; TABARI et al., 2013).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o desempenho dos métodos Blaney-Criddle, Thornthwaite-48, Thornthwaite modificado por Camargo, Camargo-71, Hargreaves-Samani, Radiação FAO 24, Jensen-Haise, Aerodinâmico e Energético, na estimativa da evapotranspiração de referência em escala mensal, identificando-se o melhor método alternativo, para uso no planejamento da irrigação em 34 comunidades rurais na região do Projeto de Integração do Rio São Francisco, tendo como base de comparação o método padrão Penman-Monteith-FAO.

## **5.4 MATERIAL E MÉTODOS**

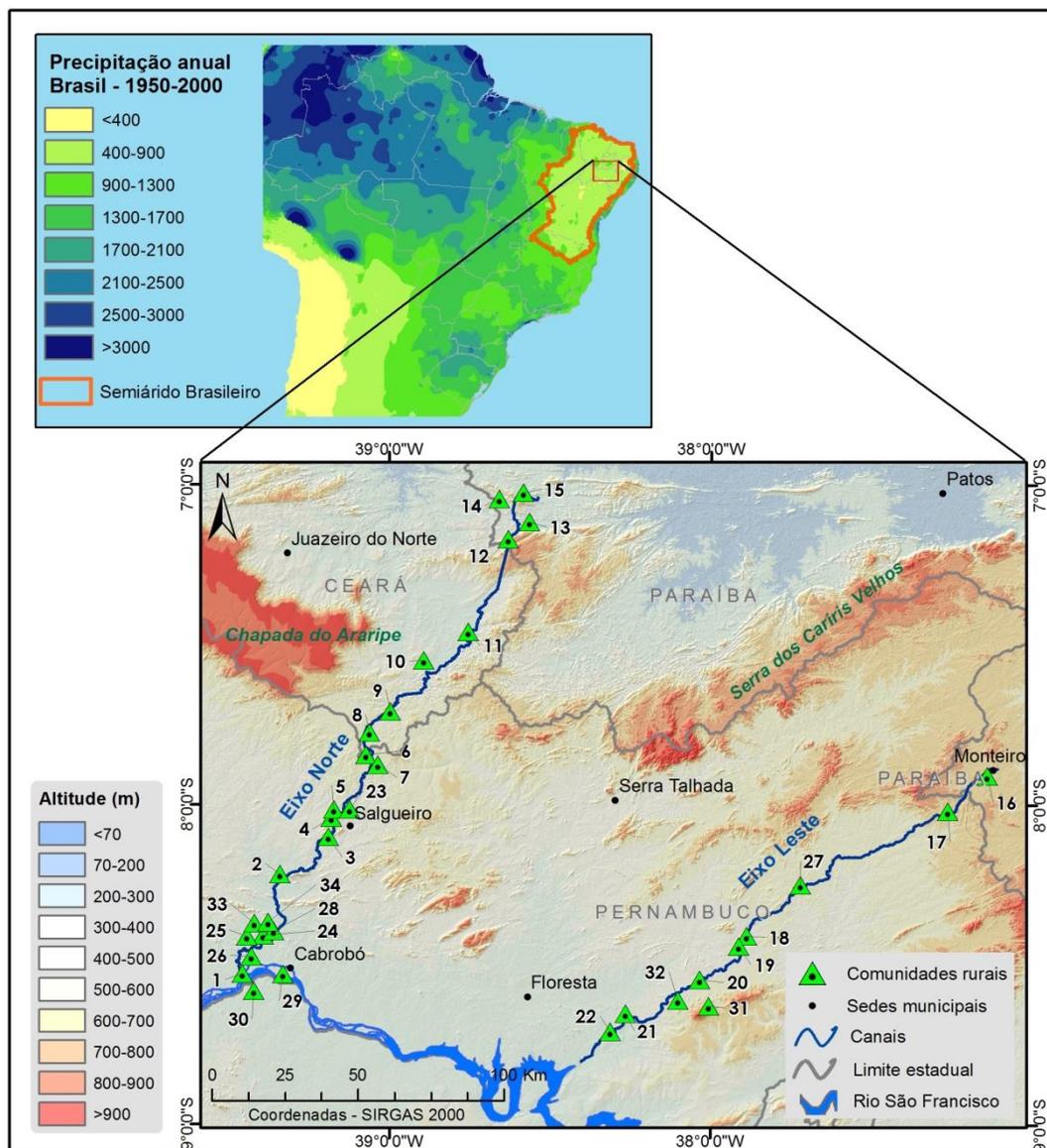
### **5.4.1 Área de estudo**

A área de estudo está integralmente localizada no Semiárido Brasileiro, delimitada pelas latitudes 6°55'0" e 9°0'0"S e longitudes 37°0'0" e 39°35'0"W, abrangendo parte dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é o BSW<sub>h</sub>, semiárido, bastante quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono, podendo não ocorrer, e temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C (EMBRAPA, 2005). As precipitações apresentam grande variabilidade espacial e interanual, com médias anuais variando de 500 a 1200 mm, concentradas nos meses de janeiro a maio. A ocorrência de episódios de secas e a grande variabilidade interanual das precipitações, observadas na região, estão associadas a variações nos padrões de temperatura da superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico, sobretudo a ocorrência de anomalias extremas como aquelas que caracterizam os fenômenos El Niño e La Niña (NÓBREGA & SANTIAGO, 2014; MARENGO et al., 2015).

As 34 comunidades rurais, objeto deste estudo, estão localizadas nas proximidades de dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco (Figura 1). Nestas comunidades estão previstas a implantação de sistemas de irrigação localizada, os quais totalizam uma área irrigada de 1.688 ha, distribuídos em Vilas Produtivas Rurais, Projetos de Assentamento da Reforma Agrária e territórios de etnias indígenas. Em sua concepção original, o projeto estabelece que cada família residente nestas comunidades seja contemplada com no mínimo um hectare irrigado (MI, 2013).

### **5.4.2 Dados meteorológicos**

Os dados meteorológicos necessários ao cálculo da evapotranspiração de referência foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Foram obtidas as médias mensais das temperaturas do ar máximas, mínimas e médias compensadas, da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da insolação, entre o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2014. Os dados obtidos abrangeram 41 estações meteorológicas convencionais (Tabela 1), localizadas na área de estudo e no seu entorno, estendendo-se pelos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe e Rio Grande do Norte (Figura 2).



**Figura 1** – Localização da área de estudo, comunidades rurais, canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, altitudes da região e precipitações anuais do Semiárido Brasileiro. Fonte: MI (2013).

As séries históricas foram analisadas quanto a sua consistência e as falhas existentes foram preenchidas utilizando o método da ponderação regional (ARAI et al., 2012). Os percentuais de falhas preenchidas, para cada estação meteorológica utilizada, estão apresentados na Tabela 1. As médias mensais históricas das seis variáveis meteorológicas foram espacializadas por meio do método geostatístico da krigagem pontual ordinária (WAGNER et al., 2012) com auxílio do Software Arcmap 10.1 (ESRI). A partir da espacialização foi possível obter a média mensal de cada variável, em cada comunidade estudada.

**Tabela 1** – Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas na área de estudo e no seu entorno, utilizadas para espacialização das médias mensais históricas (1995-2014) de temperatura do ar média compensada, máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação.

(continua)

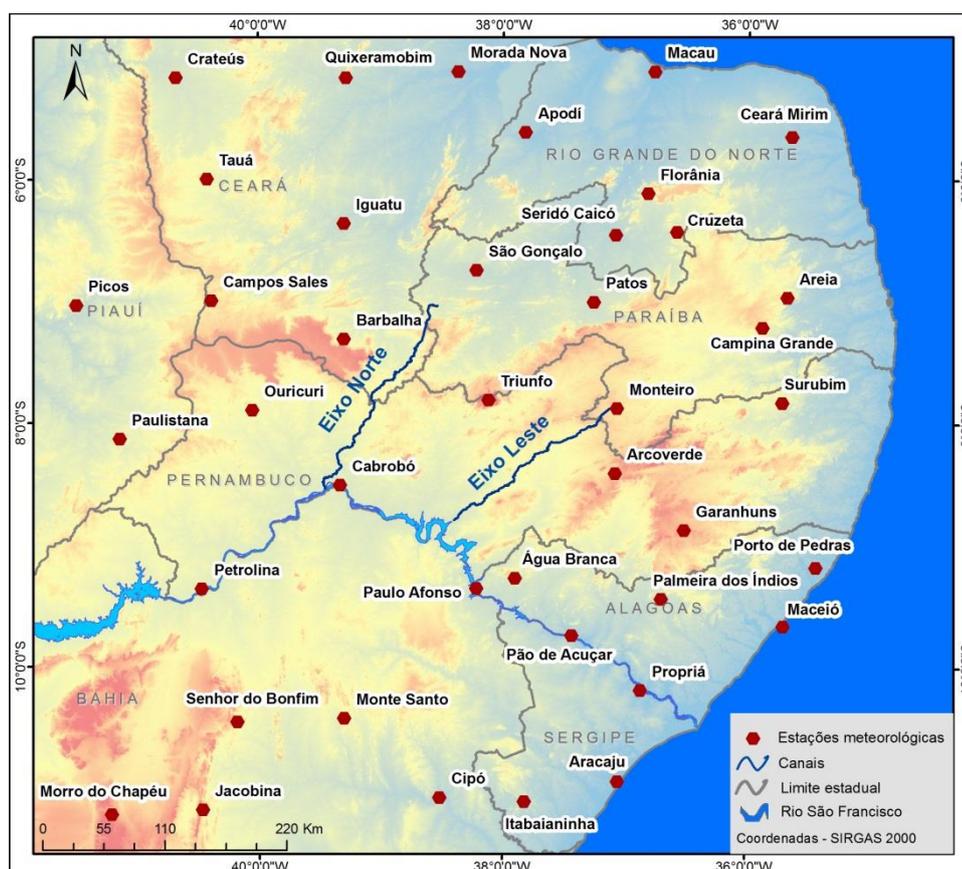
Nº	Nome da estação	Código	Lat	Long	Percentual de falhas preenchidas					
					v	n	T	UR	Tmax	Tmin
1	Água Branca	82989	9°17'	37°54'	7	7	7	8	7	7
2	Apodi	82590	5°37'	37°49'	24	25	24	24	22	22
3	Aracaju	83096	10°57'	37°3'	6	2	0	0	1	1
4	Arcoverde	82890	8°25'	37°5'	10	9	8	11	7	8
5	Areia	82696	6°58'	35°41'	8	7	8	7	5	5
6	Barbalha	82784	7°19'	39°18'	8	8	8	9	5	5
7	Cabrobó	82886	8°31'	39°20'	9	10	9	11	9	10
8	Campina Grande	82795	7°13'	35°53'	10	6	7	8	4	4
9	Campos Sales	82777	7°0'	40°23'	26	10	10	10	8	8
10	Ceará Mirim	82596	5°39'	35°39'	1	7	1	1	1	1
11	Cipó	83192	11°5'	38°31'	4	1	0	0	0	0
12	Crateús	82583	5°10'	40°40'	4	6	3	5	3	3
13	Cruzeta	82693	6°26'	36°35'	0	0	0	0	0	0
14	Florânia	82691	6°7'	36°49'	9	12	9	9	8	7
15	Garanhuns	82893	8°53'	36°31'	8	11	34	32	2	28
16	Iguatu	82686	6°22'	39°18'	8	4	4	3	4	3
17	Itabaianinha	83195	11°7'	37°49'	5	0	4	0	1	3
18	Jacobina	83186	11°11'	40°28'	10	3	2	0	2	0
19	Macau	82594	5°7'	36°46'	40	26	26	25	9	25
20	Maceió	82994	9°40'	35°42'	40	38	11	10	10	10
21	Monte Santo	83090	10°26'	39°18'	6	1	2	0	2	0
22	Monteiro	82792	7°53'	37°4'	18	8	3	3	3	2
23	Morada Nova	82588	5°7'	38°22'	19	18	19	20	18	18
24	Morro do Chapéu	83184	11°13'	41°13'	0	4	0	0	0	0
25	Ouricuri	82753	7°54'	40°3'	3	4	12	17	3	12
26	Palmeira dos Índios	82992	9°27'	36°42'	0	0	0	1	0	0
27	Pão de Açúcar	82990	9°45'	37°26'	13	15	14	13	11	10
28	Patos	82791	7°1'	37°16'	12	10	10	10	8	9
29	Paulistana	82882	8°8'	41°8'	3	3	3	3	3	3
30	Paulo Afonso	82986	9°22'	38°13'	6	4	0	0	0	0
31	Petrolina	82983	9°22'	40°28'	1	1	2	7	1	2

(continuação)

Nº	Nome da estação	Código	Lat	Long	Percentual de falhas preenchidas					
					v	n	T	UR	Tmax	Tmin
32	Picos	82780	7°2'	41°29'	8	8	8	8	6	6
33	Porto de Pedras	82996	9°11'	35°26'	7	9	8	40	7	7
34	Propriá	83097	10°12'	36°52'	17	1	7	3	3	7
35	Quixeramobim	82586	5°10'	39°17'	8	8	8	8	6	5
36	São Gonçalo	82689	6°45'	38°13'	20	20	18	18	15	15
37	Senhor do Bonfim	83088	10°28'	40°11'	18	21	19	30	18	18
38	Seridó Caicó	82690	6°28'	37°5'	8	9	8	8	6	6
39	Surubim	82797	7°50'	35°43'	0	4	2	6	2	2
40	Tauá	82683	6°0'	40°25'	10	12	10	14	8	8
41	Triunfo	82789	7°49'	38°7'	19	6	5	13	3	3

Lat=Latitude sul; Long=Longitude oeste ambas no sistema de coordenadas SIRGAS 2000; v=velocidade do vento; n=insolação; T=temperatura média compensada do ar; UR=umidade relativa do ar; Tmax=temperatura máxima do ar; Tmin=temperatura mínima do ar.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.



**Figura 2** – Localização das 41 estações meteorológicas convencionais do INMET, utilizadas neste estudo, e canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia; MI (2013).

### 5.4.3 Cálculo da evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência em cada comunidade foi calculada por 10 métodos, sendo eles: (i) métodos empíricos baseados na temperatura do ar: Hargreaves-Samani (HARG); Thornthwaite-48 (TH48); Thornthwaite modificado (THMOD); Camargo-71 (CAMAR); Blaney-Criddle (BLCRI); (ii) métodos empíricos baseados na radiação solar: Jensen-Haise (JENHA); Radiação FAO 24 (RADFAO); (iii) métodos com embasamento físico: Aerodinâmico (AEROD); Energético (ENERG); Penman-Monteith-FAO (PMFAO). Os referidos métodos de estimativa da ETo possuem diferentes exigências de dados meteorológicos (Tabela 2) e são apresentados a seguir.

#### 5.4.3.1 Hargreaves-Samani (HARG)

O método Hargreaves-Samani requer apenas dados de temperaturas para a estimativa da ETo, conforme Equação 2 (AZHAR & PERERA, 2011).

$$E_{To} = 0,0023 \times R_a \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \times (T_m + 17,8) \quad (2)$$

em que: ETo é a evapotranspiração de referência em mm d<sup>-1</sup>; Ra radiação solar extraterrestre recebida em uma superfície horizontal, expressa em equivalente de evaporação, em mm d<sup>-1</sup>; Tmax é a temperatura máxima diária em °C; Tmin é a temperatura mínima diária em °C; Tm é a temperatura média diária em °C.

#### 5.4.3.2 Thornthwaite-48 (TH48)

O método de Thornthwaite-48 fornece a ETo pela Equação 3 (SENTELHAS et al., 2010).

$$E_{To} = \frac{ET_p}{30} \times \frac{N}{12} \quad (3)$$

em que: ETp é a evapotranspiração padronizada para um mês de 30 dias, em que cada dia possui 12 horas de fotoperíodo; N é o fotoperíodo médio do mês, em horas. A ETp é calculada de acordo com as Equações 4 e 5.

$$ETp = 16 \times \left(10 \times \frac{Tm}{I}\right)^a \quad \text{se } 0 < Tm < 26,5 \text{ °C} \quad (4)$$

$$ETp = -415,85 + 32,44 \times Tm - 0,43 \times Tm^2 \quad \text{se } Tm > 26,5 \text{ °C} \quad (5)$$

em que:  $Tm$  é temperatura média do mês em °C;  $I$  é um índice de calor da região, dado pela Equação 6.

$$I = \sum_1^{12} 0,2 \times Tm^{1,514} \quad (6)$$

O expoente  $a$  da Equação 4 também é um índice térmico regional, calculado em função de  $I$  por meio da Equação 7.

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^2 \times I + 0,49239 \quad (7)$$

#### 5.4.3.3 Thornthwaite modificado (THMOD)

Este método foi proposto por Camargo et al. (1999) onde a temperatura média do método de Thornthwaite-48 é substituída pela temperatura efetiva ( $T_{ef}$ ) dada pela Equação 8.

$$T_{ef} = 0,5 \times k \times (3 \times T_{max} - T_{min}) \quad (8)$$

em que:  $k$  é um coeficiente com valor de 0,72.

#### 5.4.3.4 Camargo-71 (CAMAR)

O método de Camargo-71 é extremamente simples, sendo esperados resultados similares ao método de Thornthwaite-48 (CAMARGO & CAMARGO, 2000), obtidos pela Equação 9.

$$ETo = Ra \times Tm \times K \times D \quad (9)$$

em que: K é um fator de ajuste igual a 0,01 para Ta (temperatura média anual) até 23,5 °C; 0,0105 para Ta de 23,6 a 24,5 °C; 0,011 para Ta de 24,6 a 25,5 °C; 0,0115 para Ta de 25,6 a 26,5 °C; 0,012 para Ta de 26,6 °C a 27,5; 0,013 para Ta superior a 27,5 °C. D é o número de dias do período.

#### **5.4.3.5 Blaney-Criddle (BLCRI)**

O método de Blaney-Criddle modificado por Doorenbos & Pruitt (1977), utiliza dados de temperatura e dados gerais de umidade, insolação e velocidade do vento (FOOLADMAND & AHMADI, 2009), conforme Equação 10.

$$ET_o = a + b \times [p \times (0,46 \times T_m + 8)] \quad (10)$$

em que: a e b são coeficientes de ajuste dependentes de estimativas de umidade relativa mínima, insolação e velocidade do vento, adimensionais; p é a porcentagem de horas diurnas anuais durante o período considerado.

#### **5.4.3.6 Jensen-Haise (JENHA)**

Originalmente desenvolvido para regiões áridas e semiáridas, este método demanda o cálculo da radiação solar de ondas curtas recebida pela superfície terrestre (Rs), além de dados de temperatura (JENSEN, 2010), sendo estimado pela Equação 11.

$$ET_o = R_s \times (0,025 \times T_m + 0,078) \quad (11)$$

em que: Rs é a radiação solar de ondas curtas recebida pela superfície terrestre em um plano horizontal, expressa em equivalente de evaporação, mm d<sup>-1</sup>.

#### **5.4.3.7 Radiação FAO 24 (RADFAO)**

O método da radiação FAO 24 é recomendado em situações onde não há dados de umidade relativa do ar e velocidade do vento. No entanto, há necessidade de conhecimento

geral sobre estas variáveis, o qual pode ser extrapolado de áreas próximas ou obtido a partir de publicações que descrevam o clima da região (AZHAR & PERERA, 2011), sendo a ETo dada pela Equação 12.

$$E_{To} = c \times (W \times R_s) \quad (12)$$

em que:  $c$  é um fator de ajuste adimensional dependente das condições médias de umidade relativa do ar e velocidade do vento;  $W$  é um índice de ponderação adimensional dependente da temperatura e altitude; .

#### 5.4.3.8 Aerodinâmico (AEROD)

Este é um método com embasamento físico, onde se estabelece o fluxo de massa de vapor de água evaporada, por meio do coeficiente de difusividade de vapor de água no ar, dado pela Equação 13.

$$E_{To} = \frac{259,2 \times \rho_a \times u_2 \times (e_s - e_a)}{p_{ar}} \quad (13)$$

em que:  $\rho_a$  é a massa específica do ar em  $\text{Kg m}^{-3}$ ;  $u_2$  é a velocidade do vento a 2,0 m de altura em  $\text{m s}^{-1}$ ;  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor em kPa,  $e_a$  é a pressão de vapor atual em kPa;  $p_{ar}$  é a pressão atmosférica em kPa.

#### 5.4.3.9 Energético (ENERG)

O método Energético relaciona a transferência de energia para a superfície evaporante como a porção de energia que é convertida em fluxo de calor latente. Este método é restrito em situações onde a atmosfera não tem capacidade para transportar a quantidade de água que pode ser evaporada pela energia disponível. O cálculo da ETo é realizado por meio da Equação 14.

$$E_{To} = \frac{R_n - G}{\lambda} \quad (14)$$

em que:  $R_n$  é o saldo de radiação em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;  $\lambda$  é o calor latente de evaporação ( $2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , calculado pela Equação 15.

$$G = 0,07 \times (T_{m_{i+1}} - T_{m_{i-1}}) \quad (15)$$

em que:  $T_{m_{i+1}}$  é a temperatura média do mês posterior;  $T_{m_{i-1}}$  é a temperatura média do mês anterior.

#### 5.4.3.1 Penman-Monteith-FAO (PMFAO)

O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO tem forte embasamento físico e combina elementos de balanço de energia e transporte de massa, estimando a ETo pela Equação 16 (PEREIRA et al., 2015).

$$E_{To} = \frac{0,480 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T_m + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad (16)$$

em que:  $\gamma$  é a constante psicrométrica em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta$  é a inclinação da curva de pressão de vapor em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**Tabela 2** – Dados meteorológicos requeridos para a estimativa da ETo por cada um dos dez métodos avaliados.

Método	v	n	Tm	UR	Tmax	Tmin
Hargreaves-Samani					x	x
Thornthwaite-48			x			
Thornthwaite modificado					x	x
Camargo-71			x			
Blaney-Criddle			x			
Jensen-Haise		x	x			
Radiação FAO 24		x	x			
Aerodinâmico	x		x	x		
Energético		x			x	x
Penman-Monteith-FAO	x	x		x	x	x

v=velocidade do vento; n=insolação; Tm=temperatura média do ar; UR=umidade relativa do ar; Tmax=temperatura máxima do ar; Tmin=temperatura mínima do ar.

#### 5.4.4 Critérios de avaliação

Os valores da ETo mensal calculados pelos nove métodos alternativos foram comparados com os valores obtidos pelo método padrão Penman-Monteith-FAO. O desempenho dos métodos foi avaliado por meio de análise de regressão, e dos coeficientes de correlação ( $r$ ) entre a ETo calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO e os outros métodos, índice de concordância de Willmott ( $d$ ) dado pela Equação 17, e índice de confiança ( $c$ ) proposto por Camargo & Sentelhas (1997) (Equação 18). O índice de Willmott varia de 0 a 1 e estabelece uma concordância entre valores observados e estimados. O índice de confiança ( $c$ ) também varia de 0 a 1, de modo que para uma condição ideal  $r=d=c=1$  (DORNELAS et al., 2006).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E'_i| + |M'_i|)^2} \quad (17)$$

em que:  $E_i$  são os valores estimados;  $M_i$  são os eventos medidos;  $\bar{M}$  é a média dos eventos medidos;  $E'_i$  é a diferença entre os valores estimados e a média dos eventos medidos;  $M'_i$  é a diferença entre os valores medidos e a média dos eventos medidos.

$$c = r \times d \quad (18)$$

em que:  $c$  é o índice de confiança;  $r$  é o coeficiente de correlação;  $d$  é o índice de Willmott.

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo método padrão de Penman-Monteith-FAO os valores de ETo ficaram no intervalo de 2,7 mm d<sup>-1</sup> a 6,6 mm d<sup>-1</sup>, sendo os maiores valores constatados nas comunidades localizadas no sul do Estado de Pernambuco, no município de Cabrobó, observando-se tendência de redução nas porções norte e leste da área de estudo, devido, certamente, à elevação de altitude. Este padrão de distribuição espacial da ETo é semelhante aos padrões de distribuição espacial da temperatura do ar e umidade relativa sobre a área de estudo, indicando a forte influência destas variáveis sobre a ETo. Os maiores valores de ETo foram constatados para o período de setembro a dezembro, o qual corresponde ao período que apresenta os maiores valores de insolação e menores índices de umidade relativa do ar, associados à ocorrência de temperaturas elevadas. Os menores valores de ETo foram constatados para o período de abril a julho, o qual apresenta menor insolação e maiores índices de umidade relativa do ar. Como exemplo, apresenta-se a Tabela 3 com os valores de ETo mensal para a Vila Produtiva Rural Captação, no município de Cabrobó/PE, estimada pelos dez métodos utilizados. Os valores de ETo mensal estimados para as demais comunidades avaliadas, encontram-se apresentados no anexo 01.

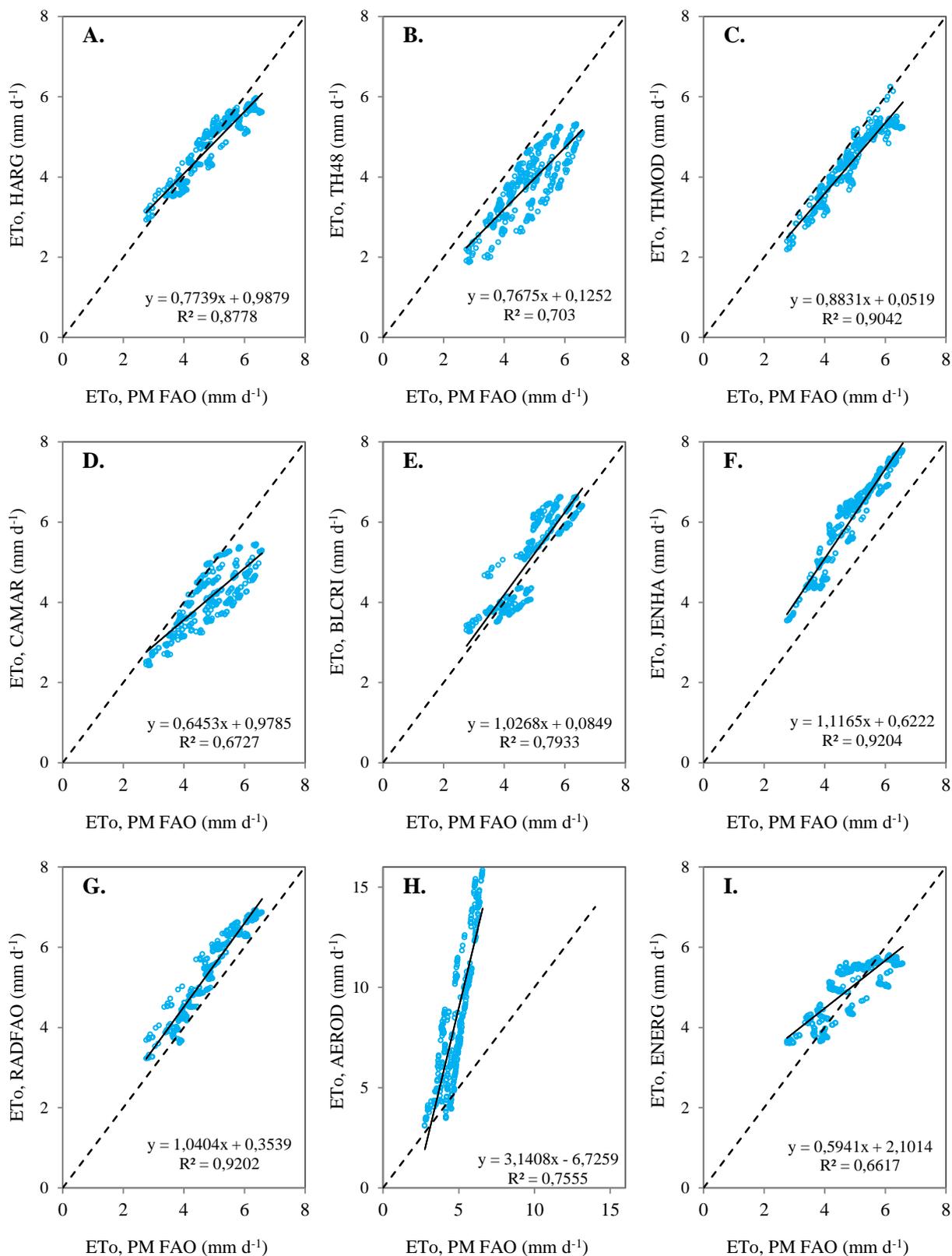
**Tabela 3** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Captação no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo os dez métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,3	6,5	6,9	6,1	9,2	5,6
Fev	5,2	5,2	4,8	4,9	5,2	6,3	6,7	6,0	7,8	5,5
Mar	4,8	4,8	4,7	4,5	5,0	4,1	6,5	5,0	5,9	5,4
Abr	4,5	4,3	4,3	4,0	4,5	4,4	5,9	4,8	6,5	4,9
Mai	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	7,1	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,3	3,7
Jul	4,1	3,7	3,1	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,9	3,8
Ago	4,9	4,3	3,4	3,8	4,1	5,5	5,6	5,2	11,5	4,3
Set	6,1	5,1	4,6	4,8	4,7	6,0	6,9	6,3	15,4	5,0
Out	6,6	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,8	6,9	15,8	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,3	5,3	5,4	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

Considerando as 408 (12 meses x 34 comunidades) observações, compostas pelas médias mensais da ETo calculadas nas 34 comunidades rurais, realizou-se a análise de regressão linear, tendo a ETo calculada pelo método padrão de Penman-Monteith-FAO como variável independente e a ETo calculada pelos demais métodos como variável dependente (Figura 3). Pode-se constatar que os métodos baseados na temperatura do ar: Thornthwaite-48, Thornthwaite modificado e Camargo-71 apresentaram tendência consistente de subestimar os valores da ETo sobre a região. Já os métodos baseados na radiação solar: Jensen-Haise e Radiação FAO 24 e o método Aerodinâmico apresentaram tendência consistente de superestimar a ETo.

Os métodos de Hargreaves-Samani e Energético apresentaram tendência de superestimar os menores valores e subestimar os maiores. Borges Júnior et al. (2012) constataram comportamento semelhante para o método de Hargreaves-Samani na microrregião de Garanhuns/PE. Destaca-se que a maior parte dos valores de ETo superestimados pelo método de Hargreaves-Samani ocorreu no período de janeiro a maio, onde são constatadas as menores velocidades do vento e maiores valores de umidade relativa, e as subestimativas se concentraram no período de setembro a novembro, onde são verificadas as maiores velocidades do vento e menores valores de umidades relativa. Este comportamento do método de Hargreaves-Samani é conhecido e segundo Temesgen et al. (2005) se deve, provavelmente, pela falta do termo explícito da velocidade do vento e umidade do ar em sua formulação.

O método de Blaney-Criddle superestimou alguns valores e subestimou outros, concordando com Cavalcante Júnior et al. (2011) e Moura et al. (2013) que constataram comportamento semelhante em diferentes localidade do Semiárido Nordeste. Bakhtiari et al. (2011) constataram subestimativas do método de Blaney-Criddle modificado por Doorenbos & Pruitt (1977) em clima semiárido no Irã. Já Tukimat et al. (2012) constataram superestimativa do método original de Blaney-Criddle para clima úmido na Malásia.



**Figura 3** – Comparação da evapotranspiração de referência média mensal (1995-2014), em  $\text{mm d}^{-1}$ , entre o método Penman-Monteith-FAO e os métodos avaliados, evidenciando a reta gerada por meio de regressão linear e a linha tracejada 1:1.

A tendência de subestimativa da ETo mensal pelos métodos de Thornthwaite-48 e Camargo-71, assim como a tendência de superestimativa dos métodos de Jensen-Haise e Radiação FAO 24 concordam com os resultados encontrados por Melo & Fernandes (2012) para a cidade de Uberaba/MG. Borges & Mediondo (2007) e Silva et al. (2011b) também constataram tendência de subestimativa dos métodos de Thornthwaite-48 e Camargo-71 para a Bacia do Rio Jacupiranga/SP e Uberlândia/MG, respectivamente. A subestimativa da ETo calculada pelo método de Camargo também concorda com Fernandes et al. (2012) para a cidade de Campo de Goytacazes/RJ. Segundo Camargo & Camargo (2000) o método de Thornthwaite-48 subestima a ETo em climas secos por não considerar a energia advectiva recebidas de áreas secas distantes. Observa-se que a subestimativa da ETo reduziu quando calculada pelo método de Thornthwaite modificado, concordando com Camargo et al. (1999), segundo o qual, a temperatura efetiva utilizada neste método representa melhor o termo aerodinâmico da evapotranspiração.

Moura et al. (2013) constataram tendência de superestimativa da ETo mensal estimada pelos métodos de Jensen-Haise e Radiação FAO 24 na Bacia do Riacho Gameleira no Estado de Pernambuco. Superestimativas da ETo pelo método da Radiação FAO 24 também são relatados por Haijun et al. (2013) em clima semiárido em Beijing na China, e Vescove & Turco (2005) para Araraquara/SP. Segundo Doorenbos & Pruitt (1977) o método da Radiação FAO 24 tende a superestimar a ETo em condições semiáridas. Xystrakis & Matzarakis (2011) também constataram tendência de superestimativa do método de Jensen-Haise para clima semiárido na Grécia.

O método de Hargreaves-Samani apresentou a melhor performance segundo a classificação proposta por Camargo & Sentelhas (1997), com coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,94 e índice de confiança ( $c$ ) de 0,89, sendo classificado como “ótimo” (Tabela 4). O bom desempenho do método de Hargreaves-Samani pode ser explicado pelo fato deste método ter sido originalmente desenvolvido para condições semiáridas, similar às encontradas na região de estudo. Além disso, este método apresenta com frequência, bom desempenho na estimativa da ETo em períodos de tempo mensais, como utilizados neste trabalho (BACHOUR et al., 2013; MOURA et al., 2013). O método de Hargreaves-Samani é amplamente estudado e utilizado em todo o mundo (ZHAI et al., 2010; MAEDA et al., 2011), sendo considerado por Allen et al. (1998) como uma exceção dentre os métodos empíricos, devido ao seu bom desempenho em diferentes condições climáticas. Apesar disso, a literatura relata grande

variabilidade de resultados em relação ao seu desempenho. Sentelhas et al. (2010) e Rojas & Sheffield (2013) constataram bom desempenho deste método quando somente dados de temperatura estão disponíveis para a cidade de Ontário no Canadá e para o Estado da Louisiana nos Estados Unidos, respectivamente. Moura et al. (2013) também concluíram que o método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou melhor desempenho dentre 11 (onze) equações avaliadas na bacia do Riacho Gameleira, no Estado de Pernambuco. Por outro lado, Trajkovic & Kolakovic (2009) relatam desempenho “ruim” deste método em clima úmido, subestimando a ETo na Croácia e Servia. Tagliaferre et al. (2012) e Chagas et al. (2013) também relatam baixo desempenho deste método em diferentes localidades no Estado da Bahia. Cavalcante Júnior et al. (2011) constataram desempenho classificado como “mau” para este método para o período seco em Mossoró/RN.

**Tabela 4** – Coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d), índice de confiança (c) e classificação de desempenho dos nove métodos avaliados em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO, na estimativa da ETo nas 34 comunidades rurais estudadas.

Método	r	d	c	Desempenho
Hargreaves-Samani	0,94	0,95	0,89	Ótimo
Radiação FAO 24	0,96	0,91	0,87	Ótimo
Thornthwaite modificado	0,95	0,90	0,86	Ótimo
Blaney-Criddle	0,89	0,93	0,83	Muito Bom
Jensen-Haise	0,96	0,74	0,71	Bom
Energético	0,81	0,87	0,71	Bom
Camargo-71	0,82	0,76	0,63	Mediano
Thornthwaite-48	0,84	0,72	0,60	Sufrível
Aerodinâmico	0,87	0,39	0,34	Péssimo

O método da Radiação FAO 24 apresentou o segundo maior índice de confiança, com desempenho classificado “ótimo”. O valor do coeficiente de correlação foi de 0,96, sendo superior ao do método de Hargreaves-Samani, indicando menor dispersão dos valores em torno da reta, mas devido à tendência consistente de superestimar a ETo, o valor do índice de concordância de Willmott (d) foi menor, 0,91. Bakhtiari et al. (2011) constataram que o método da Radiação FAO 24 apresentou o melhor desempenho dentre seis equações avaliadas, incluindo a equação de Penman-Monteith-FAO, em comparação com dados de lisímetros em clima semiárido no Irã. Souza et al. (2011) também relatam boa correlação do

método da Radiação FAO 24 com dados de lisímetros em Soropedia/RJ. Cavalcante Júnior et al. (2011), Borges Júnior et al. (2012) e Tagliaferre et al. (2012) constataram desempenho “ótimo” do método da Radiação FAO 24 para Mossoró/RN, Garanhuns/PE e Bahia, respectivamente.

O método de Thornthwaite modificado, apesar de apresentar tendência consistente de subestimar a ETo, também apresentou desempenho classificado como “ótimo” com coeficiente de correlação (r) de 0,95 e índice de concordância (d) de 0,90. O bom desempenho deste método na região pode ser explicado pelo fato da temperatura média ser substituída pela temperatura efetiva, a qual representa melhor o termo aerodinâmico da evapotranspiração (CAMARGO et al., 1999). Sentelhas et al. (2010) constataram resultado superior deste método em relação ao método de Thornthwaite-48 para Ontário no Canadá. Moura et al. (2013), também constataram resultado superior em relação ao método de Thornthwaite-48 na Bacia do Riacho Gameleira, em Pernambuco, com desempenho classificado como “muito bom” para períodos mensais.

O método de Blaney-Criddle apresentou índice de concordância (d) relativamente elevado de 0,93, mas devido à dispersão dos dados em relação à reta, o coeficiente de correlação (r) foi de 0,89, resultando em desempenho classificado como “muito bom”. Tagliaferre et al. (2012) constataram excelente desempenho deste método para algumas localidades na Bahia, sendo superior a métodos que demandam maior quantidade de dados meteorológicos. Resultado semelhante foi constatado por Cavalcante Júnior et al. (2011) para a cidade de Mossoró/RN. Apesar do método de Blaney-Criddle ter sido originalmente desenvolvido para região semiárida dos Estados do Novo México e Texas nos EUA e demonstrar bons resultados para estas condições (MAEDA et al., 2011), alguns autores constataram que este método apresenta boa consistência também em locais úmidos (ZHAI et al., 2010; TABARI et al., 2013; RÁCZ et al., 2013).

O método de Jensen-Haise apresentou elevado coeficiente de correlação (r) de 0,96, mas devido à tendência consistente de superestimar a ETo, apresentou baixo valor de índice de concordância (d), tendo o seu desempenho classificado com “bom”. Este resultado concorda com Xystrakis & Matzarakis (2011), que também constataram elevados coeficientes de correlação (r) para o método de Jensen-Haise, mas desempenho geral limitado devido à superestimativa da ETo para condições de clima semiárido na ilha de Creta na Grécia. Já Souza et al. (2010) constataram desempenho “ótimo” para o método de Jensen-Haise em

perímetro irrigado no Estado de Sergipe. Cavalcante Júnior et al. (2011) constataram desempenho “ótimo” do método de Jensen-Haise para o período seco e “mediano” para o período úmido em Mossoró/RN. Trajkovic & Kolakovic (2009) constataram desempenho mediano do método de Jensen-Haise, sendo o pior resultado dentre as equações empíricas com base na radiação solar para clima úmido na Croácia e Sérvia.

O método de Camargo-71, uma simplificação do método de Thornthwaite-48, apresentou desempenho “mediano”, sendo superior ao método original de Thornthwaite-48, o qual foi classificado como “sofrível”. Padrão semelhante foi constatado por Melo & Fernandes (2012), em que o desempenho do método de Camargo-71 foi superior ao método original de Thornthwaite para a cidade de Uberaba/MG. Borges Júnior et al. (2012) constataram baixo desempenho do método de Camargo-71 para a microrregião de Garanhuns/PE, com valor de “c” variando de 0,24 a 0,54, a depender da época do ano. Cavalcante Júnior et al. (2011) constataram desempenho classificado como “mediano” para o período úmido em Mossoró/RN e “péssimo” para o período seco. Silva et al. (2011b) e Bezerra et al. (2014) também constataram desempenho “mediano” do método de Camargo para Uberlândia/MG e Mossoró/RN, respectivamente.

Além de apresentar tendência consistente de subestimar a ETo, o método de Thornthwaite-48 também apresentou considerável dispersão dos dados, tendo o seu desempenho classificado como “sofrível”. O desempenho constatado foi inferior aos relatados por Silva et al. (2011b) para Uberlândia/MG, onde foi classificado como “bom”, e por Bezerra et al. (2014), para Mossoró/RN, onde foi classificado como “mediano”. Baixo desempenho deste método também é relatado por Trajkovic & Kolakovic (2009) em clima úmido na Croácia e Servia e Sentelhas et al. (2010) para Ontário no Canadá. Desempenhos intermediários foram constatados por Tabari et al. (2013) no Irã e Melo & Fernandes (2012) para Uberaba/MG.

Os métodos com embasamento físico, Energético e Aerodinâmico, apresentaram desempenho classificado como “bom” e “péssimo”, respectivamente, sendo que o método Aerodinâmico apresentou o pior desempenho dentre os avaliados. Este baixo desempenho pode ser explicado pelo fato deste método ter como embasamento, o déficit de pressão de vapor, o qual é, devido às condições semiáridas, elevado na região. No entanto, em condições áridas e semiáridas, a ETo é limitada pela disponibilidade de energia, o que faz com que métodos embasados no déficit de pressão de vapor apresentem tendência de superestimar a

ET<sub>o</sub>. Como o método Energético considera que a ET<sub>o</sub> equivale ao saldo de radiação sobre a superfície, seu desempenho foi superior ao do método Aerodinâmico, reforçando a hipótese de que na região de estudo, de modo geral, a atmosfera possui capacidade de transportar a quantidade de água que pode ser evaporada pela energia disponível.

Ressalta-se que métodos empíricos simples baseados na temperatura do ar tiveram desempenho superior a métodos que demandam dados de radiação. Era esperado que os métodos baseados na radiação tivessem desempenho superior aos métodos baseados na temperatura do ar, a exemplo dos resultados obtidos por Tukimat et al. (2012) e Xystrakis & Matzarakis (2011). Os métodos baseados na radiação, Jensen-Haise e Radiação FAO 24, apresentaram os maiores valores de coeficiente de correlação (r), mas a tendência consistente de superestimar a ET<sub>o</sub> limitou o seus desempenhos. Este fato é um indicativo à necessidade de calibração regional destes métodos para que seus desempenhos sejam melhorados.

## **5.6 CONCLUSÕES**

1. Os métodos de Hargreaves-Samani, Radiação FAO 24 e Thornthwaite modificado apresentam os melhores desempenhos.
2. Os métodos de Thornthwaite-48, Thornthwaite modificado e Camargo-71 apresentam tendência consistente de subestimar a ET<sub>o</sub>, enquanto os métodos da Radiação FAO 24 e Jensen-Haise apresentam tendência consistente de superestimar a ET<sub>o</sub>, em comparação com o método padrão de Penman-Monteith-FAO.
3. Os métodos de Hargreaves-Samani e Thornthwaite modificado são alternativas interessantes para o cálculo da ET<sub>o</sub> na região do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

## 5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014, Brasília, 2015. Disponível em: <[http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014\\_inf.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf)>. Acesso em: 06 de outubro, 2015.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.3, p.591–601, 2012.

AZHAR, A. H.; PERERA, B. J. C. Evaluation of Reference Evapotranspiration Estimation Methods under Southeast Australian Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, n.5, p.268–279, 2011.

BACHOUR, R.; WALKER, W. R.; TORRES-RUA, A. F.; MCKEE, M. Assesment of Reference Evapotranspiration by the Hargreaves Method in the Bekaa Valley, Lebanon. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.933–938, 2013.

BAKHTIARI, B.; GHAREMAN, N.; LIAGHAT, A. M.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of Reference Evapotranspiration Models for a Semiarid Environment Using Lysimeter Measurements. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.13, p.223–237, 2011.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. de A.; SILVA, E. F. F.; LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil). **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.3, p.211-220, 2014.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.293–300, 2007.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.380–390, 2012.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.251-257, 1999.

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

CARVALHO, D. F. de; SILVA, D. G. da; SOUZA, A. P. de; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. da. Coeficientes da equação de Angström-PreScott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.838–844, 2011.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M. de; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, sup.1, p.1699-1708, 2011.

CHAGAS, R. M., FACCIOLI, G. G.; NETTO, A. de O. A.; SOUZA, I. F. de; VASCO, A. N. do; SILVA, M. G. da. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) no município de Rio Real-BA. **Irriga**, v.18, n.1, p.351-363, 2013.

DJAMAN, K.; BALDE, A. B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M. K.; MANNEH, B.; MOUKOUMBI, Y. D.; FUTAKUCHI, K.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.3, p.139-159, 2015.

DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting Crop Water Requirements**. 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Coeficientes médios da equação de Angström-PreScott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, p.1213–1219, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Principais Solos do Semiárido do Nordeste do Brasil**. 2005. 35p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34392/1/OPB1114.pdf>>. Acesso em 16 de novembro de 2014.

FERNANDES, L. C.; PAIVA, C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. Evaluation of six empirical evapotranspiration equations – case study: Campo dos Goytacazes/RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p.272-280, 2012.

FAO. FAO Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p.216, 2015. <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 01 de outubro, 2015.

FOOLADMAND, H. R.; AHMADI, S. H.; Monthly spatial calibration of Blaney–Criddle equation for calculating monthly ET<sub>o</sub> in South of Iran. **Irrigation and Drainage**, v.58, p.234-245, 2009.

GONG, L.; XU, C.; CHEN, D.; HALLDIN, S.; CHEN, Y. D. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. **Journal of Hydrology**, v.329, p.620-629, 2006.

HAIJUN, L.; YAN, L.; RUIHAO, Z.; GUANHUA, H. Evaluation and modification of potential evapotranspiration methods in Beijing, China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.6, n.4, p.9–18, 2013.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v.112, p.243-251, 2012.

JENSEN, M. E. Historical evolution of ET estimating methods: A century of progress. In: Evapotranspiration Workshop - CSU/ARS, Fort Collins, CO, USA, 12 de março de 2010. Disponível em: <[http://ccc.atmos.colostate.edu/ET\\_Workshop/ET\\_Jensen/ET\\_history.pdf](http://ccc.atmos.colostate.edu/ET_Workshop/ET_Jensen/ET_history.pdf)>. Acesso em: 16 de setembro, 2015.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.). **Water Deficits and Plant Growth: Development, Control, and Measurement**. Academic Press, New York, NY, p.1–22, 1968.

KUMAR, M.; BANDYOPADHYAY, A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETo estimation models. **Irrigation Science**, v.26, p.531–545, 2008.

MAEDA, E. E.; WIBERG, D. A.; PELLIKKA, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. **Applied Geography**, v.31, p.251-258, 2011.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v.129, p.103-115, 2015.

MARTÍ, P.; ZARZO, M.; VANDERLINDEN, K.; GIRONA, J. Parametric expressions for the adjusted Hargreaves coefficient in Eastern Spain. **Journal of Hydrology**, 2015.

MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.1331-1363, 2013.

MELO, G. L. de; FERNANDES, A. L. T. Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, state of Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.875–888, 2012.

MENDES, L. A.; BARROS, M. T. L. de; ZAMBON, R. C.; YEH, W. W-G. Trade-Off Analysis among Multiple Water Uses in a Hydropower System: Case of São Francisco River Basin, Brazil. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.141, n.10, p.04015014, 2015.

MIHAILOVIC, D. V. Critical analysis of the contemporary methods for estimating reference evapotranspiration. **Bulletin of the Faculty of Forestry**, v.106, p.57-70, 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Programa Básico Ambiental de fornecimento de água e apoio técnico para pequenas atividades de irrigação ao longo dos canais para as comunidades agrícolas**. Versão revisada. Brasília, 2013. 20 p. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/documents/10157/3675235/PBA16.pdf/40147ab4-7265-4a82-bd06-670061296b34>>. Acesso em: 14 de outubro de 2015.

MONTENEGRO, S. G.; MONTENEGRO, A.; RAGAB, R. Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study. **Irrigation Science**, v.28, p.301-316, 2010.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. de; SILVA, B. B. da; OLIVEIRA, L. M. M. de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência da temperatura na superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, v.13, n.1, p.107-118, 2014.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p.4-20, 2015.

RÁCZ, C.; NAGY, J.; DOBOS, A. C. Comparison of Several Methods for Calculation of Reference Evapotranspiration. **Acta Silvatica & Lignaria Hungarica**, v.9, p.9-24, 2013.

ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. Evaluation of Daily Reference Evapotranspiration Methods as Compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith Equation Using Limited Weather Data in Northeast Louisiana. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.285-292, 2013.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canadá. **Agricultural Water Management**, v.97, n.5, p.635-644, 2010.

SHEN, Y.; LI, S.; CHEN, Y.; QI, Y.; ZHANG, S. Estimation of regional irrigation water requirement and water supply risk in the arid region of Northwestern China 1989–2010. **Agricultural Water Management**, v.128, p.55-64, 2013.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. de; GALVÍNIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1218–1226, 2012.

SILVA, V. J. da; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C. R. da; CAMARGO, R. de; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.95-101, 2011b.

SOUZA, A. P. de; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. B. D. da; ALMEIDA, F. T. de; ROCHA, H. S. da. Estimativa da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p.219-228, 2011.

SOUZA, I. F. de; SILVA, V. de P. R. da; SABINO, F. G.; NETTO, A. de O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. de. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.633-644, 2010.

TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v.31, p.107–117, 2013.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J. P.; PAULA, A. de; GUIMARAES, D. U. G.; BARROSO, N. I. S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.136-143, 2012.

TEMESGEN, B.; ECHING, S.; DAVIDOFF, B.; FRAME, K. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, n.1, p.73-84, 2005.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. **Water Resources Management**, v.23, p.3057–3067, 2009.

TUKIMAT, N. N. A.; HARUN, S.; SHAHID, S. Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v.113, n.1, p.77-85, 2012.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.713-721, 2005.

WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **Journal of Hydrology**, v.465, p.388-400, 2012.

XYSTRAKIS, F.; MATZARAKIS, A. Evaluation of 13 Empirical Reference Potential Evapotranspiration Equations on the Island of Crete in Southern Greece. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, n.4, p.211–222, 2011.

ZHAI, L.; FENG, Q.; LI, Q.; XU, C. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, northwest China. **Irrigation and Drainage**, v.59, p.477-490, 2010.

## **CAPÍTULO II**

### **DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DE COMUNIDADES RURAIS ASSOCIADAS AO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

## 6 DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DE COMUNIDADES RURAIS ASSOCIADAS AO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

### 6.1 RESUMO

Em várias partes do mundo a água tem se tornado um recurso escasso, sobretudo em regiões áridas e semiáridas. O Brasil possui 11% de seu território com clima semiárido, sendo que as bacias hidrográficas desta região tem apresentado balanço hídrico quantitativo em estado crítico, o que tem limitado o desenvolvimento regional. Dentre as iniciativas que visam o aumento da oferta hídrica no Semiárido Brasileiro, destaca-se o Projeto de Integração do Rio São Francisco, em que os canais atravessam comunidades rurais que praticam a agricultura familiar, os quais farão uso da água em pequenos projetos de irrigação. O planejamento da irrigação, com estimativas adequadas dos requerimentos de água dos cultivos, é fundamental para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos aduzidos por estes canais, assim como, para o adequado aproveitamento da água nos projetos de irrigação a serem instalados. Objetivou-se neste trabalho estimar e avaliar a distribuição espacial e temporal das demandas de irrigação em 34 comunidades rurais, tanto do ponto de vista dos usuários, quanto do operador do sistema. As demandas de água variam conforme a duração do ciclo da cultura, época de plantio e localidade. As maiores demandas de água para irrigação são verificadas nas comunidades ao sul do Estado de Pernambuco, sendo o mês de outubro o de maior demanda. O volume bruto anual para irrigação das comunidades é de 16,6 milhões de m<sup>3</sup>, sendo 11,9 milhões de m<sup>3</sup> para as comunidades localizadas ao longo dos canais do Eixo Norte e 4,7 milhões de m<sup>3</sup> para os canais do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco. A vazão unitária média anual para o atendimento da irrigação nas 34 comunidades rurais é estimada em 0,32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** planejamento da irrigação, recursos hídricos, transposição de bacias.

## 6.2 ABSTRACT

In many parts of the world water has become a scarce resource, especially in arid and semiarid regions. Brazil has 11% of its territory with semi-arid climate, and the watershed of this region has shown quantitative water balance in critical condition, which has limited regional development. Among the initiatives aimed at increasing the water supply in the Brazilian Semiarid, there is the São Francisco River Integration Project, in which the canals run through rural communities practicing family farming, which will make use of water in small irrigation project. The irrigation planning with adequate estimates of the crop water requirements, it is essential for better management of water resources raised by these canals, as well as to the proper use of water in irrigation projects to be installed. The objective of this study was to estimate and evaluate the spatial and temporal distribution of the demands of irrigation in 34 rural communities, both from the point of view of users and the operator of the canal system. Water demands vary according to the duration of the cycle, planting time and location. The greatest demand for water for irrigation are observed in communities located in the southern state of Pernambuco, and the month of October, the most in demand. The annual gross volume for irrigation communities is 16.6 million m<sup>3</sup>, corresponding to 11.9 million m<sup>3</sup> for communities located along the North axis canals and 4.7 million m<sup>3</sup> for the East axis canals of the São Francisco River Integration Project. The average annual unit flow to meet irrigation in 34 rural communities is estimated at 0.32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** interbasin transfer, irrigation planning, water resources.

### 6.3 INTRODUÇÃO

Em várias partes do mundo a água tem se tornado um recurso escasso, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, fazendo com que o uso eficiente da água na agricultura seja uma necessidade iminente. A baixa disponibilidade de água nestas regiões, associada a crescente demanda, tem provocado aumento dos conflitos entre os diferentes setores da sociedade, limitando o desenvolvimento socioeconômico (KUO et al., 2006; SILVA et al., 2012; SHEN et al., 2013; DJAMAN et al., 2015).

O adequado planejamento dos recursos hídricos, incluindo informações acuradas sobre os requerimentos de água dos cultivos é um componente crítico para o alcance do uso eficiente da água na agricultura (TABARI et al., 2013; SURENDRAN et al., 2015), sendo ainda fundamental para o manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação, assim como para a realização de estudos hidrológicos, climatológicos e ambientais (DINPASHOH, 2006; TODOROVIC et al., 2013; DJAMAN et al., 2015). Adicionalmente, estas informações são utilizadas por organizações que gerenciam sistemas de distribuição de água para irrigação, visando à avaliação da eficiência e melhoria de suas capacidades, e por agricultores que desejam conhecer as demandas de água específicas de um cultivo (KUO et al., 2006; KISI, 2011; SILVA et al., 2012).

O requerimento de água dos cultivos é determinado por fatores climáticos, características da cultura e do solo, e das práticas agrícolas adotadas (ALLEN, et al., 1998; ROJAS & SHEFFIELD, 2013). Seu estudo, para fins de quantificação de água para irrigação, é realizado com embasamento científico, desde o final do século XIX nos Estados Unidos (JENSEN & HAISE, 1963; TEGOS et al. 2015). Segundo Shen et al. (2013) dentre as metodologias existentes para a estimativa da demanda de água das culturas, há aquelas que se baseiam em observações diretas de campo, métodos que utilizam sensoriamento remoto, e aquelas que utilizam modelagem da evapotranspiração. Medições de campo podem fornecer dados precisos do consumo de água dos cultivos na escala de propriedade, mas se mostra de difícil aplicação em escala regional. Por outro lado, abordagens baseadas em sensoriamento remoto são adequadas para a escala regional, mas devido a erros originados de resolução espacial e temporal dos dados dos satélites, ainda apresentam muitos problemas técnicos. Atualmente, a abordagem padrão para estimar a demanda de água dos cultivos é baseada nos boletins da FAO, onde os requerimentos líquidos de irrigação por unidade de área irrigada são calculados pela diferença entre evapotranspiração potencial de um cultivo específico e a

precipitação efetiva. Um simples modelo de balanço de água no solo contabiliza a umidade disponível e seu impacto na evapotranspiração real do cultivo (WRIEDT et al., 2009; SILVA et al., 2012). De acordo com esta abordagem, as condições climáticas são expressas pela evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e as características da cultura são representadas por um coeficiente (K<sub>c</sub>), próprio de cada cultura e válido para condições de manejo padrão (PEREIRA et al., 2015). Segundo Wriedt et al. (2009), na quantificação da demanda total de água em sistemas de irrigação, deve-se considerar ainda, uma parcela adicional de água, em função da eficiência de cada sistema de irrigação, de perdas no transporte, e da necessidade de aplicar água adicional para prevenir a salinização em determinadas situações.

Para a estimativa da ET<sub>o</sub>, vários métodos estão disponíveis, de modo que o mais apropriado varia conforme o local, clima, e disponibilidade de dados. Não há consenso entre os pesquisadores sobre um método ou abordagem mais apropriada para estimar a ET<sub>o</sub> mundialmente (HAIJUN et al., 2013). A equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO tem demonstrado precisão e boa performance em estimar a ET<sub>o</sub>, tanto em regiões áridas como úmidas, e foi recomendada pela FAO como método padrão para estimar a ET<sub>o</sub> e para validar outras equações (PEREIRA et al., 2015).

Em função de a agricultura ser grande consumidora de água, diversos pesquisadores em diferentes regiões do mundo tem se dedicado a estudar os requerimentos de água para irrigação, visando o uso mais eficiente dos recursos hídricos disponíveis. Wriedt et al. (2009) avaliaram a demanda de água na agricultura irrigada na Europa, constatando uma economia potencial de 43%. Lilienfeld & Asmild (2007) em estudo sobre o uso da água em áreas irrigadas do oeste do Estado do Kansas nos Estados Unidos, constataram que cerca de 50% da água aplicada consistia de “excessos”. Usman et al. (2015) utilizaram estimativas de demanda de água em um grande sistema de irrigação alimentado por canais, na bacia do Rio Indus no Paquistão, para avaliar a equidade, adequabilidade e confiabilidade da distribuição da água. Shen et al. (2013) partindo de estimativas de ET<sub>o</sub>, dados pluviométricos e coeficientes de cultivos das principais culturas do noroeste da China, identificaram focos e picos de demanda de água para atender cultivos irrigados. Outras aplicações de estudos de requerimentos de água para irrigação são relatadas na literatura, como: avaliação da pressão que a agricultura exerce sobre os recursos hídricos de determinada região; subsídio ao dimensionamento de sistemas de irrigação; fornecimento de parâmetros de comparação sobre a adequabilidade do uso da

água; estimativas de custo de produção; manejo da irrigação, dentre outras (WRIEDT et al., 2009; ZHAI et al., 2010; TODOROVIC et al., 2013; USMAN et al., 2015).

Apesar de sua importância, os requerimentos de água para irrigação nem sempre são avaliados a contento, mesmo em países desenvolvidos (WRIEDT et al., 2009; SHEN et al., 2013). Segundo Wriedt et al. (2009) modelagens de consumo de água em escalas regionais e continentais possuem desafios específicos, sobretudo em relação à heterogeneidade na subescala e simplificações requeridas para modelar áreas geograficamente amplas. Desta forma, estudos de demanda de água para irrigação estimada por modelagem podem ser úteis em preencher lacunas nos dados oficiais disponíveis, além de prover dados para comparação através do fornecimento de estimativas não enviesadas na escala regional.

No Brasil, aproximadamente 11% de seu território possui clima semiárido, com precipitações irregulares e com grande variabilidade interanual. As bacias hidrográficas desta região tem apresentado balanço hídrico quantitativo em estado crítico, o que tem limitado o desenvolvimento regional. A agricultura de sequeiro é praticada principalmente por agricultores familiares em sistemas produtivos de extrema vulnerabilidade em função dos frequentes episódios de “secas”. As áreas irrigadas se concentram em perímetros públicos de irrigação nas margens do Rio São Francisco, e a jusante de reservatórios de médio e grande porte. Dentre as iniciativas que visam o aumento da oferta hídrica em bacias hidrográficas do Semiárido Brasileiro, destaca-se a construção de dois grandes sistemas de canais que captarão água do Rio São Francisco e a conduzirão até bacias da porção setentrional da região Nordeste. Em seu trajeto, estes canais atravessam comunidades rurais que praticam a agricultura familiar, justificando a utilização da água por esses agricultores em pequenos projetos de irrigação. (MONTENEGRO et al., 2010; MI, 2013; MARENGO & BERNASCONI, 2015). Transformar o setor agrícola para atender a crescente demanda por alimentos, reduzir a pobreza rural, e ao mesmo tempo contribuir para sustentabilidade ambiental, estão entre os mais importantes desafios que o mundo está enfrentando. Para atender esses desafios, atenção especial deve ser dada às comunidades cuja sobrevivência depende da agricultura, silvicultura e pesca (FAO, 2014). A agricultura irrigada é um dos mais efetivos instrumentos de combate à pobreza, distribuição de renda, e aumento de produtividade no meio rural, sendo estrategicamente importante para o desenvolvimento de comunidades rurais do Semiárido Brasileiro (MI, 2014; SURENDRAN et al., 2015). O planejamento da irrigação, com estimativas adequadas dos requerimentos de água dos

cultivos, é fundamental para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos aduzidos pelos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, assim como para o adequado aproveitamento da água nos projetos de irrigação a serem instalados nas comunidades rurais atendidas.

Objetivou-se neste trabalho: (i) sob o ponto de vista do operador do sistema, estimar e avaliar a distribuição espacial e temporal das demandas de água para irrigação de 34 comunidades rurais localizadas nas proximidades dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco; (ii) sob o ponto de vista do irrigante, estimar as demandas de água para irrigação dos principais cultivos pretendidos nestas comunidades rurais, em diferentes épocas de plantio.

## 6.4 MATERIAL E MÉTODOS

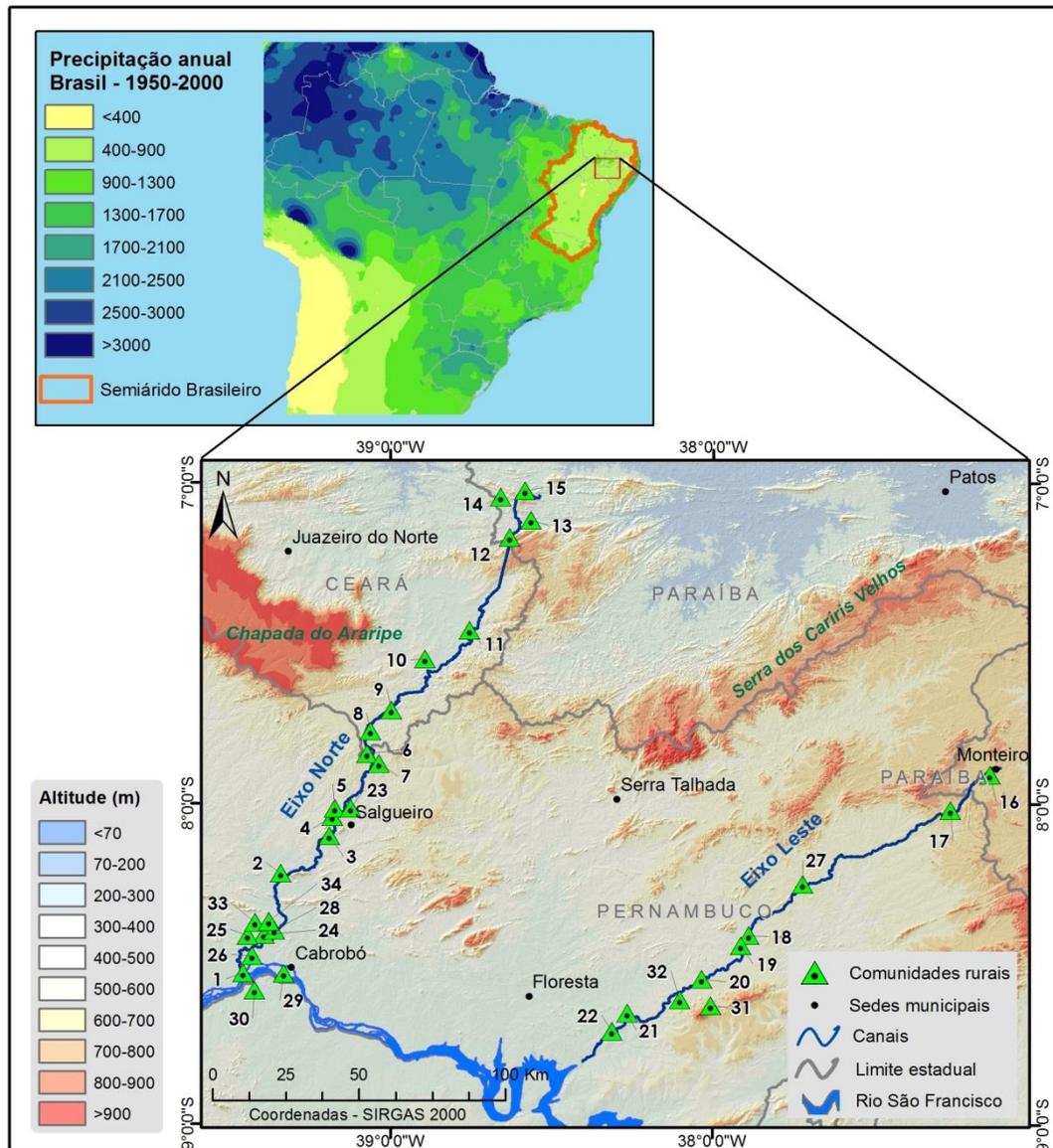
### 6.4.1 Área de estudo

A área de estudo está integralmente localizada no Semiárido Brasileiro, delimitada pelas latitudes 6°55'0" e 9°0'0"S e longitudes 37°0'0" e 39°35'0"W, abrangendo parte dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A área abrange parcialmente as bacias hidrográficas dos Rios São Francisco, Jaguaribe, Piranhas e Paraíba. A altitude varia de aproximadamente 300 m nas margens do Rio São Francisco, até 1200 m sobre a Serra dos Cariris Velhos na porção central da área.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é o BSW<sub>h</sub>, semiárido, bastante quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono, podendo não ocorrer, e temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C (EMBRAPA, 2005). As precipitações apresentam grande variabilidade espacial e interanual, com médias anuais variando de 500 a 1200 mm, concentradas nos meses de janeiro a maio. As maiores precipitações são verificadas no sul do Estado do Ceará e extremo oeste do Estado da Paraíba, e os menores valores são encontrados no sul do Estado de Pernambuco e norte da Bahia. A ocorrência de episódios de secas e a grande variabilidade interanual das precipitações, observadas na região, estão associadas a variações nos padrões de temperatura da superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico, sobretudo a ocorrência de anomalias extremas como aquelas que caracterizam os fenômenos El Niño e La Niña (NÓBREGA & SANTIAGO, 2014; MARENGO et al., 2015).

Nesta região predominam solos de pouca profundidade, sendo as classes de maior ocorrência a dos Neossolos Litólico e Regolítico, e Luvisolo Crômico, além da ocorrência, em menor extensão, de Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos (CORREIA et al., 2011; INSA, 2015). A agricultura de sequeiro é praticada sobre a região principalmente por agricultores familiares com predominância das culturas do feijão caupi, milho e mandioca. Devido às condições climáticas adversas, estes sistemas produtivos apresentam grande vulnerabilidade e sofrem frequentes prejuízos com a ocorrência dos episódios de “secas”. Grande parte das áreas agrícolas é ocupada pela vegetação natural, onde há predomínio da caatinga hiperxerófila, a qual é explorada como pastagem natural, principalmente para a caprinocultura e bovinocultura extensiva.

As 34 comunidades rurais, objeto deste estudo, estão localizadas nas proximidades dos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco (Figura 4). Nestas comunidades estão previstas a implantação de sistemas de irrigação localizada, os quais totalizam 1.688 ha, distribuídas em Vilas Produtivas Rurais, Projetos de Assentamento da Reforma Agrária e territórios de etnias indígenas (Tabela 5). Em sua concepção original, o projeto estabelece que cada família residente nestas comunidades seja contemplada com no mínimo um hectare irrigado (MI, 2013).



**Figura 4** – Localização da área de estudo, comunidades rurais, canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco, altitudes da região e precipitações anuais do Semiárido Brasileiro. Fonte: MI (2013).

**Tabela 5** – Relação das comunidades rurais localizadas nas proximidades do Projeto de Integração do Rio São Francisco, e quantitativo de área a ser irrigada.

<b>Nº</b>	<b>Comunidade</b>	<b>Município</b>	<b>Nº de Famílias</b>	<b>Área Irrigada (ha)</b>
1	Vila Produtiva Rural Captação	Cabrobó-PE	17	17
2	Vila Produtiva Rural Baixio dos Grandes	Cabrobó-PE	83	83
3	Vila Produtiva Rural Negreiros	Salgueiro-PE	26	26
4	Vila Produtiva Rural Uri	Salgueiro-PE	45	45
5	Vila Produtiva Rural Queimada Grande	Salgueiro-PE	25	25
6	Vila Produtiva Rural Malícia	Salgueiro-PE	20	20
7	Vila Produtiva Rural Pilões	Verdejante-PE	25	25
8	Vila Produtiva Rural Retiro	Penaforte-CE	30	30
9	Vila Produtiva Rural Ipê	Jati-CE	10	10
10	Vila Produtiva Rural Vassouras	Brejo Santo-CE	145	145
11	Vila Produtiva Rural Descanso	Mauriti -CE	80	80
12	Vila Produtiva Rural Jurema	S. J. Piranhas-PB	120	120
13	Vila Produtiva Rural Irapuá	S. J. Piranhas-PB	51	51
14	Vila Produtiva Rural Quixeramobim	S. J. Piranhas-PB	47	47
15	Vila Produtiva Rural Bartolomeu	Cajazeiras -PB	22	22
16	Vila Produtiva Rural Lafaete	Monteiro -PB	60	60
17	Vila Produtiva Rural Salão	Sertânia-PE	39	39
18	Assentamento Serra Branca	Betânia-PE	35	35
19	Assentamento Pirambeba	Betânia-PE	30	30
20	Assentamento Serra Negra	Floresta-PE	64	64
21	Assentamento Lajedo	Floresta-PE	12	12
22	Assentamento Curralinhos do Angico	Floresta-PE	50	50
23	Assentamento Monte Alegre	Salgueiro-PE	50	50
24	Assentamento Riacho dos Bois	Cabrobó-PE	30	30
25	Assentamento Barro Vermelho	Cabrobó-PE	18	18
26	Assentamento Tucutu-jibóia	Cabrobó-PE	50	50
27	Assentamento Porteiras	Custódia-PE	42	42
28	Assentamento Eloita Pereira	Cabrobó-PE	30	30
29	Tribo Indígena Truká	Cabrobó - PE	-	100
30	Tribo Indígena Tumbalalá	Curaçá/Abaré -PE	-	100
31	Tribo Indígena Kambiwa	Floresta - PE	-	100
32	Tribo Indígena Pipipã	Ibimirim - PE	-	100
33	Projeto de Crédito Fundiário Santa Fé (Mosquito)	Cabrobó-PE	20	20
34	Projeto de Crédito Fundiário Poço do Angico	Cabrobó-PE	12	12
<b>Total</b>				<b>1688</b>

Fonte: Ministério da Integração Nacional (2013) p. 326-327.

#### 6.4.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos necessários à estimativa da ETo, bem como os dados de precipitação média mensal, necessários para o cálculo da precipitação efetiva, foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Foram obtidas, além da precipitação, as médias mensais de temperatura do ar máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa e insolação entre o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2014. Os dados obtidos abrangeram 41 estações meteorológicas localizadas na área de estudo e no seu entorno, estendendo-se pelos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe e Rio Grande do Norte (Tabela 6).

**Tabela 6** – Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas na área de estudo e no seu entorno, utilizadas para espacialização das médias mensais históricas (1995-2014) de temperatura do ar máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação e precipitação.

(continua)

Nº	Nome da estação	Código	Lat	Long	Percentual de falhas preenchidas				
					v	n	UR	Tmax	Tmin
1	Água Branca	82989	9°17'	37°54'	7	7	8	7	7
2	Apodi	82590	5°37'	37°49'	24	25	24	22	22
3	Aracaju	83096	10°57'	37°3'	6	2	0	1	1
4	Arcoverde	82890	8°25'	37°5'	10	9	11	7	8
5	Areia	82696	6°58'	35°41'	8	7	7	5	5
6	Barbalha	82784	7°19'	39°18'	8	8	9	5	5
7	Cabrobó	82886	8°31'	39°20'	9	10	11	9	10
8	Campina Grande	82795	7°13'	35°53'	10	6	8	4	4
9	Campos Sales	82777	7°0'	40°23'	26	10	10	8	8
10	Ceará Mirim	82596	5°39'	35°39'	1	7	1	1	1
11	Cipó	83192	11°5'	38°31'	4	1	0	0	0
12	Crateús	82583	5°10'	40°40'	4	6	5	3	3
13	Cruzeta	82693	6°26'	36°35'	0	0	0	0	0
14	Florânia	82691	6°7'	36°49'	9	12	9	8	7
15	Garanhuns	82893	8°53'	36°31'	8	11	32	2	28
16	Iguatu	82686	6°22'	39°18'	8	4	3	4	3
17	Itabaianinha	83195	11°7'	37°49'	5	0	0	1	3
18	Jacobina	83186	11°11'	40°28'	10	3	0	2	0

(continuação)

Nº	Nome da estação	Código	Lat	Long	Percentual de falhas preenchidas				
					v	n	UR	Tmax	Tmin
19	Macau	82594	5°7'	36°46'	40	26	25	9	25
20	Maceió	82994	9°40'	35°42'	40	38	10	10	10
21	Monte Santo	83090	10°26'	39°18'	6	1	0	2	0
22	Monteiro	82792	7°53'	37°4'	18	8	3	3	2
23	Morada Nova	82588	5°7'	38°22'	19	18	20	18	18
24	Morro do Chapéu	83184	11°13'	41°13'	0	4	0	0	0
25	Ouricuri	82753	7°54'	40°3'	3	4	17	3	12
26	Palmeira dos Índios	82992	9°27'	36°42'	0	0	1	0	0
27	Pão de Açúcar	82990	9°45'	37°26'	13	15	13	11	10
28	Patos	82791	7°1'	37°16'	12	10	10	8	9
29	Paulistana	82882	8°8'	41°8'	3	3	3	3	3
30	Paulo Afonso	82986	9°22'	38°13'	6	4	0	0	0
31	Petrolina	82983	9°22'	40°28'	1	1	7	1	2
32	Picos	82780	7°2'	41°29'	8	8	8	6	6
33	Porto de Pedras	82996	9°11'	35°26'	7	9	40	7	7
34	Propriá	83097	10°12'	36°52'	17	1	3	3	7
35	Quixeramobim	82586	5°10'	39°17'	8	8	8	6	5
36	São Gonçalo	82689	6°45'	38°13'	20	20	18	15	15
37	Senhor do Bonfim	83088	10°28'	40°11'	18	21	30	18	18
38	Seridó Caicó	82690	6°28'	37°5'	8	9	8	6	6
39	Surubim	82797	7°50'	35°43'	0	4	6	2	2
40	Tauá	82683	6°0'	40°25'	10	12	14	8	8
41	Triunfo	82789	7°49'	38°7'	19	6	13	3	3

Lat=Latitude sul; Long=Longitude oeste ambas no sistema de coordenadas SIRGAS 2000; v=velocidade do vento; n=insolação; UR=umidade relativa do ar; Tmax=temperatura máxima do ar; Tmin=temperatura mínima do ar.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

As séries históricas foram analisadas quanto a sua consistência e as falhas existentes foram preenchidas através do método da ponderação regional (ARAI et al., 2012). As médias mensais históricas das seis variáveis meteorológicas foram espacializadas por meio do método geoestatístico da krigagem pontual ordinária (WAGNER et al., 2012), com auxílio do Software Arcmap 10.1 (ESRI). A partir da espacialização foi possível obter a média mensal de cada variável em cada comunidade estudada.

As informações sobre as culturas e respectivas áreas a serem implantadas sob irrigação nas comunidades, foram obtidas junto ao Ministério da Integração Nacional, tendo como referência o estudo intitulado “Plano de Desenvolvimento Sustentável - PDS” das Vilas Produtivas Rurais. Neste documento constam os resultados de uma pesquisa de campo realizada junto aos futuros irrigantes, a respeito das intenções de cultivo para as áreas irrigadas (MI, 2014). Das culturas citadas pelos futuros irrigantes, foram consideradas aquelas com resultado mais frequente e com áreas mais expressivas.

#### 6.4.3 Cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

Com a interpolação das variáveis climáticas sobre toda a região de estudo, foi possível obter as médias mensais de temperatura do ar máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa e insolação em cada comunidade, evidenciando, desta forma, ser desnecessário o uso de equações empíricas para o cálculo da ET<sub>o</sub>, sendo assim, adotou-se o método de Penman-Monteith-FAO (Equação 19).

$$ET_o = \frac{0,480 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T_m + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad (19)$$

em que: ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração de referência em mm d<sup>-1</sup>; R<sub>n</sub> é o saldo de radiação em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; G é o fluxo de calor no solo em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; γ é a constante psicrométrica em kPa °C<sup>-1</sup>; T é a temperatura média do ar em °C; u<sub>2</sub> é a velocidade do vento a 2,0 m de altura em m s<sup>-1</sup>; e<sub>s</sub> é a pressão de saturação do vapor em kPa; e<sub>a</sub> é a pressão de vapor atual em kPa; Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor em kPa °C<sup>-1</sup>.

#### 6.4.4 Determinação da precipitação efetiva (P<sub>ef</sub>)

As precipitações efetivas mensais foram calculadas pelo método do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (DOOREMBOS & PRUIT, 1977) em que a precipitação efetiva é dependente da precipitação média mensal, da evapotranspiração mensal da cultura e da capacidade de armazenamento de água do solo, considerada neste trabalho de 1 mm cm<sup>-1</sup> de solo.

#### 6.4.5 Coeficientes de cultivo (Kc)

As curvas do coeficiente de cultivo de cada cultura considerada foram construídas com base nos valores propostos por Allen et al. (1998), ajustando-se as durações dos ciclos das culturas para valores típicos da região de estudo. Para o cálculo das demandas mensais de água de cada cultura, adotaram-se os valores de Kc médios mensais. Para o cálculo das demandas hídricas na área total de cada comunidade, os coeficientes de cultivo foram ponderados em função da área a ser ocupada por cada cultura e dos respectivos coeficientes de cultivo em cada mês (GONDIM et al., 2008), (Equação 20).

$$\overline{Kc} = \sum_{i=1}^n \frac{Kc_i \times A_i}{A} \quad (20)$$

em que:  $\overline{Kc}$  é o coeficiente de cultivo ponderado para o mês considerado;  $Kc_i$  é o coeficiente de cultivo da cultura  $i$  no mês considerado;  $A_i$  é a área ocupada pela cultura  $i$  no mês considerado;  $A$  é a área irrigada total da comunidade;  $i$  é um contador numérico e  $n$  a enésima área cultivada.

#### 6.4.6 Cálculo da evapotranspiração de cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura foi calculada para cada mês do ano, conforme metodologia de Keller & Bliesner (1990), (Equação 21).

$$ETc_i = ET_{O_i} \times Kc_i \times Ks_i \times Kl \quad (21)$$

em que:  $ETc_i$  é a evapotranspiração da cultura no mês  $i$ , em mm;  $ET_{O_i}$  é a evapotranspiração de referência no mês  $i$ , em mm;  $Kc_i$  é o coeficiente de cultivo no mês  $i$ , adimensional;  $Ks_i$  é o coeficiente de umidade do solo no mês  $i$ , adimensional;  $Kl$  é o coeficiente de ajuste em função da área molhada, adimensional.

Os valores de  $Ks$  foram considerados iguais a 1, uma vez que para todas as comunidades estão previstas a implantação de sistemas de irrigação localizada, onde é previsto que o solo estará sempre próximo à capacidade de campo (FREITAS et al., 2008).

Para culturas de pequeno espaçamento, a exemplo do milho e feijão caupi, os valores de KI foram considerados iguais a 1, em função da área molhada atingir 100% do espaçamento disposto para cada pé de planta. Para a cultura da banana, devido ao maior espaçamento de cultivo, foram adotados valores de KI igual 0,64, correspondente à razão entre a área molhada e a área representada por cada emissor, conforme os espaçamentos das culturas e dos emissores, usualmente adotados neste tipo de irrigação.

#### **6.4.7 Cálculo das lâminas de irrigação**

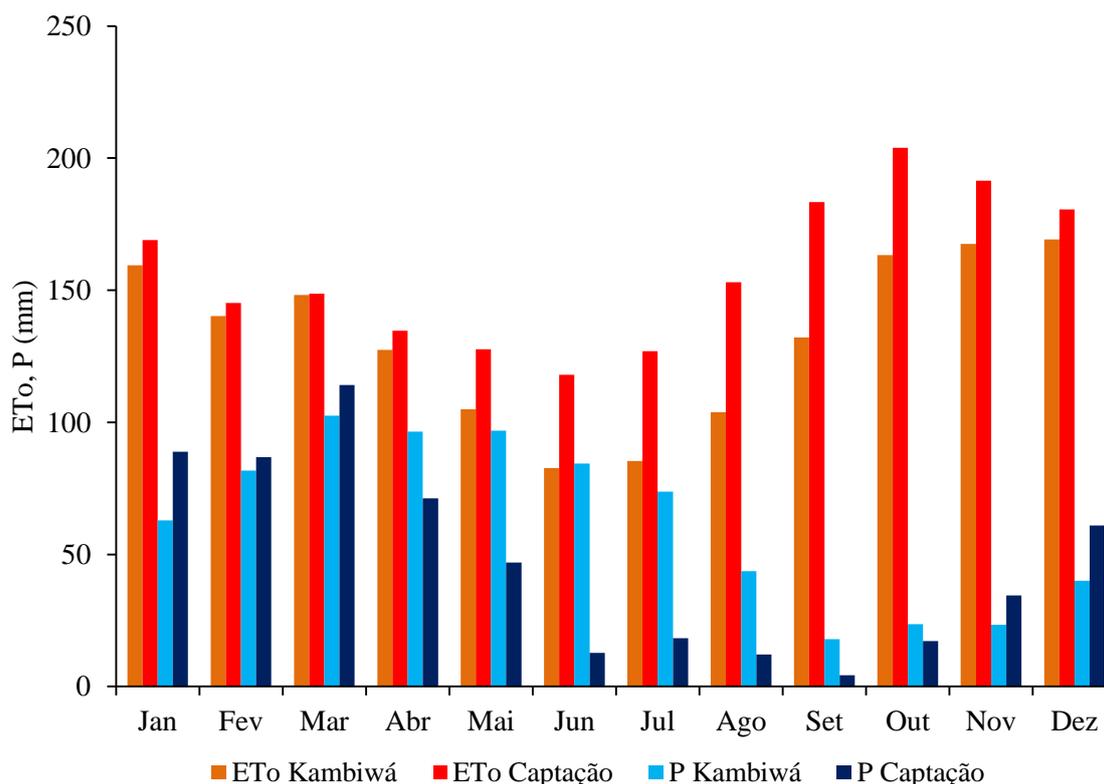
As lâminas líquidas mensais de irrigação foram calculadas subtraindo-se a precipitação efetiva da evapotranspiração de cultura. Adotou-se a eficiência de irrigação, em decimal, igual a 0,9 para o cálculo das lâminas brutas mensais de irrigação (SILVA et al., 2009).

Sob o ponto de vista do irrigante, as lâminas mensais de irrigação e os volumes brutos mensais de água necessária foram calculados para cada cultura individualmente, simulando o plantio em diferentes épocas do ano. Para as culturas do milho, do feijão caupi e da cebola, foi considerado um período de irrigação compreendido entre o plantio e o início da fase de senescência das culturas. Para a cultura da melancia foi considerado que a irrigação será realizada ao longo de todo o ciclo da cultura. Para as culturas da banana e do capim de corte foi considerado que a irrigação será realizada ao longo de todo o ano.

Objetivando atender o ponto de vista do operador dos sistemas de canais, as lâminas mensais de irrigação e os volumes brutos mensais de água necessária, foram calculados para toda a área irrigada, considerando um coeficiente de cultivo ponderado para cada comunidade, obtendo-se assim os volumes mensais e anuais necessários para atendimento de todas as comunidades.

## 6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração de referência mensal da região, calculada pelo método padrão de Penman-Monteith-FAO ficou compreendida no intervalo de 83 a 204 mm, com totais anuais variando de 1.584 a 1.883 mm. Os maiores valores mensais foram constatados para os meses de outubro, novembro e dezembro, com tendência de redução até os meses de maio, junho e julho, os quais apresentaram os menores valores de ETo. As comunidades localizadas no sul do Estado de Pernambuco, na região de Cabrobó/PE, apresentaram, de modo geral, os maiores valores de ETo e as comunidades da porção leste da área de estudo, nos municípios de Floresta/PE, Ibimirim/PE e Betânia/PE, os menores valores de ETo. A Figura 5, a título de exemplo, apresenta a variação anual da ETo e da precipitação média mensal (1995 a 2014) nas comunidades Captação e Kambiá, as quais apresentaram os maiores e menores valores de ETo, respectivamente.



**Figura 5** – Evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (P) média mensal (1995-2014) nas comunidades Captação no município de Cabrobó/PE e Kambiá no município de Ibimirim/PE.

Segundo a pesquisa de intenção de cultivo realizada junto aos futuros irrigantes, as principais culturas pretendidas nas comunidades são o milho (*Zea mayz*), feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cebola (*Allium cepa* L.), melancia (*Citrullus lanatus*), banana (*Musa* spp.) e capim de corte (*Pennisetum purpureum* Schum). Os coeficientes de cultivo e duração de cada fase de desenvolvimento das culturas consideradas estão apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7** – Coeficientes de cultivo e duração das fases de desenvolvimento das principais culturas pretendidas pelos futuros irrigantes das 34 comunidades estudadas.

Cultura		Fases de desenvolvimento				Total (dias)
		I	II	III	IV	
Milho <sup>1</sup>	Kc	0,80	1,00	1,20	0,35	
	Duração	20	35	40	30	125
Feijão Caupi <sup>2</sup>	Kc	0,80	0,98	1,16	0,70	
	Duração	25	23	17	10	75
Cebola <sup>1</sup>	Kc	0,80	0,92	1,05	0,81	
	Duração	12	20	56	32	120
Melancia <sup>1</sup>	Kc	0,80	0,90	1,00	0,75	
	Duração	10	20	20	30	80
Banana-ano 1 <sup>1</sup>	Kc	0,80	0,95	1,10	1,00	
	Duração	120	90	120	60	390
Banana-ano 2 <sup>1</sup>	Kc	1,00	1,10	1,20	1,10	
	Duração	120	60	180	5	365
Capim de corte <sup>3</sup>	Kc	Média = 1,00				
	Duração					365

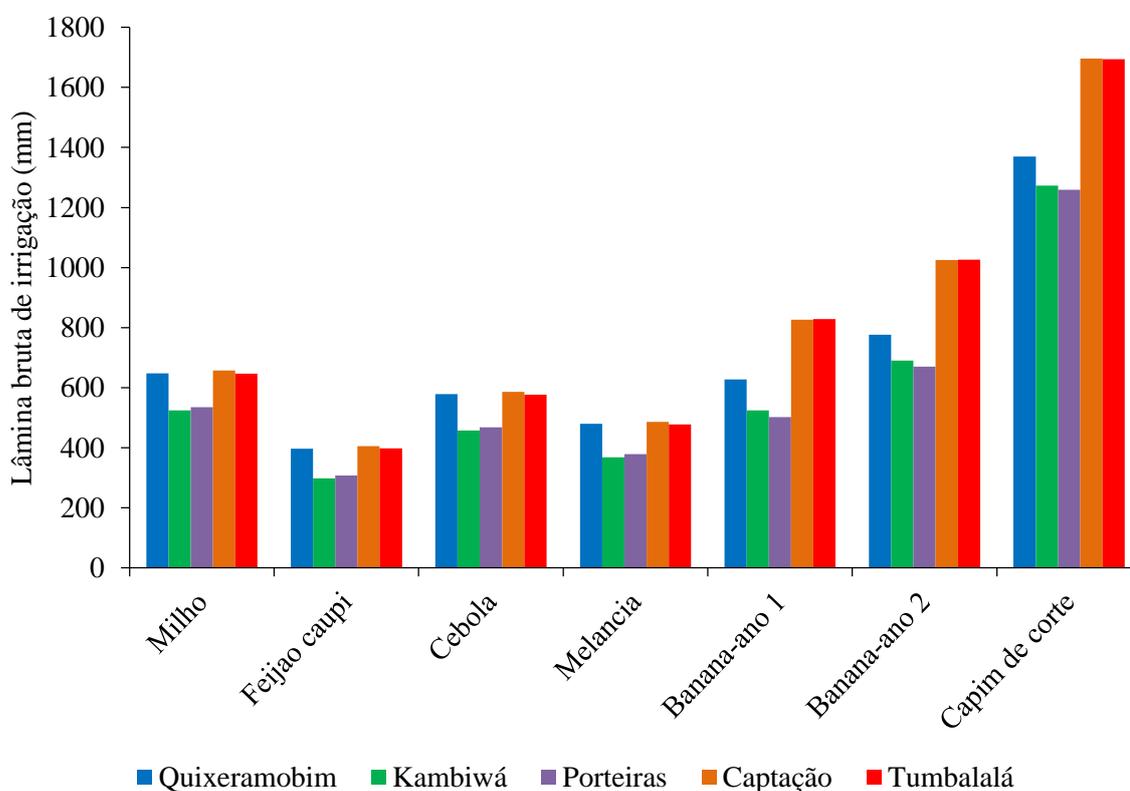
Fonte: <sup>1</sup>Allen et al. (1998). <sup>2</sup>Lima et al. (2011). <sup>3</sup>Banco de dados de Kc da Embrapa, considerando fator de 0,8 em função do efeito médio dos cortes.

Os requerimentos de água para irrigação de um ciclo de cultivo destas culturas foram calculados para cada comunidade considerando o plantio em diferentes meses do ano. A título de exemplo apresenta-se na Tabela 8 as demandas mensais de água para irrigação da cultura do milho, na comunidade Captação no município de Cabrobó/PE, considerando o plantio no mês de setembro. As Figuras 6 e 7 apresentam as lâminas brutas de irrigação das seis culturas, em quatro comunidades avaliadas, considerando o plantio no mês de setembro e fevereiro, respectivamente. Os cálculos dos requerimentos de irrigação para as demais culturas, épocas de plantio e comunidades avaliadas, encontram-se no Anexo 02.

**Tabela 8** – Requerimentos de irrigação para um ha da cultura do milho, considerando plantio no mês de setembro, na comunidade Captação no município Cabrobó/PE.

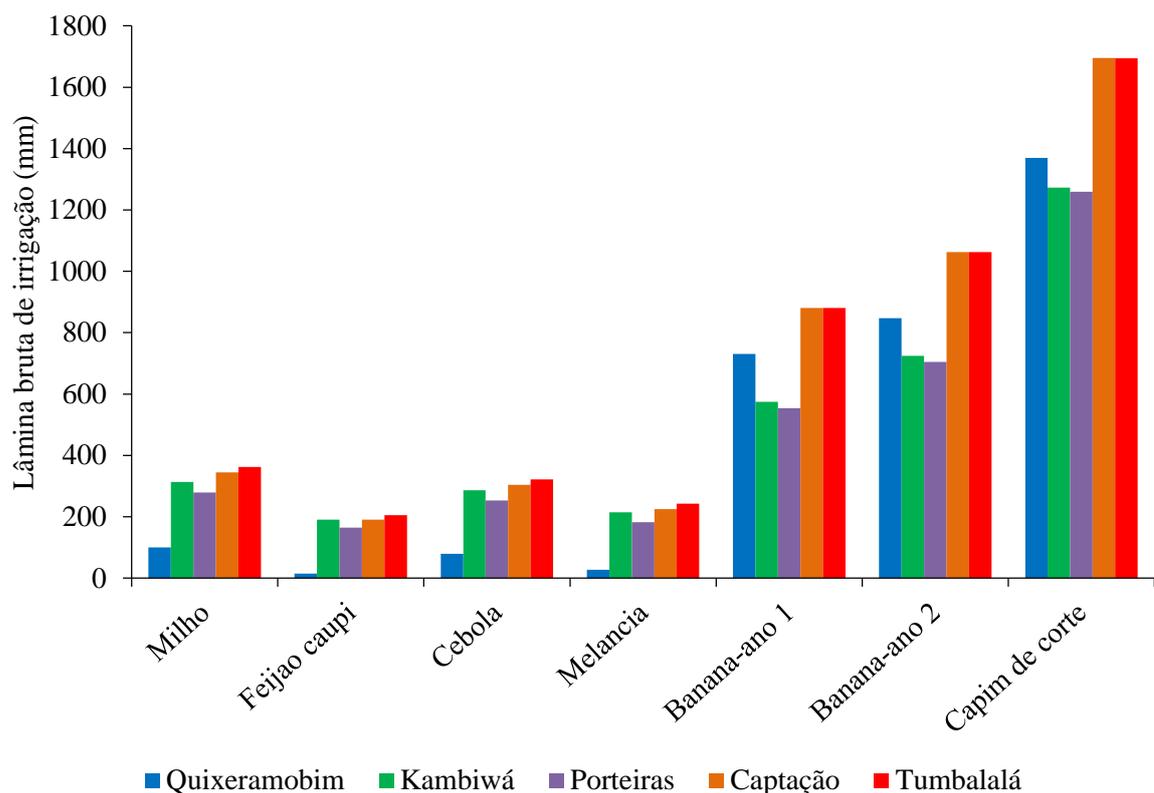
Mês	NDI	LLI (mm)	LBI (mm)	VB (m <sup>3</sup> )
Set	30	147	163	1.632
Out	31	207	229	2.295
Nov	30	221	245	2.453
Dez	4	17	19	191
Jan	0	-	-	-
<b>Total</b>	<b>95</b>	<b>591</b>	<b>657</b>	<b>6.571</b>

NDI = Número de dias de irrigação; LLI = Lâmina líquida de irrigação; LBI = Lâmina bruta de irrigação; VB = Volume bruto.



**Figura 6** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo de cada uma das seis culturas avaliadas, considerando o plantio no mês de setembro, em cinco comunidades rurais localizadas ao longo dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

<sup>1</sup>Para as culturas da banana e do capim de corte, a lâmina bruta informada corresponde ao atendimento das culturas ao longo de um ano, contado a partir da data de plantio. Para as demais culturas, a lâmina bruta informada corresponde ao atendimento de um ciclo de cultivo.



**Figura 7** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para cada uma das seis culturas avaliadas, considerando o plantio no mês de fevereiro, em cinco comunidades rurais localizadas ao longo dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

<sup>1</sup>Para as culturas da banana e do capim de corte, a lâmina bruta informada corresponde ao atendimento das culturas ao longo de um ano, contado a partir da data de plantio. Para as demais culturas, a lâmina bruta informada corresponde ao atendimento de um ciclo de cultivo.

Constata-se que a cultura que apresentou a maior demanda de água foi o capim de corte, com LBI variando de 1.259 mm ano<sup>-1</sup>, no Projeto de Assentamento Porteiras, a 1.696 mm ano<sup>-1</sup> na Vila Produtiva Rural Captação.

A cultura da banana apresentou a segunda maior demanda de água, com LBI variando de 500 mm ano<sup>-1</sup>, no Projeto de Assentamento Porteiras, a 883 mm ano<sup>-1</sup> na Etnia Indígena Tumbalalá, considerando o primeiro ano de cultivo. Para o segundo ano de cultivo, a LBI variou de 670 mm ano<sup>-1</sup>, no Projeto de Assentamento Porteiras a 1.063 mm ano<sup>-1</sup> na Etnia Indígena Tumbalalá. Estes valores estão condizentes com Coelho et al. (2013) para Cruz das Almas na Bahia, e abaixo dos valores constatados por Freitas et al. (2008) onde a lâmina suplementar média para a bacia do Rio São Francisco foi de 1.735 mm ano<sup>-1</sup>.

A cultura do feijão caupi apresentou as menores demandas de água dentre as culturas avaliadas, devido, principalmente, a menor duração do ciclo de cultivo. A LBI para atender

um ciclo da cultura, variou de 15 mm na Vila Produtiva Rural Quixeramobim, considerando o plantio no mês de fevereiro, a 404 mm na Vila Produtiva Rural Captação, considerando o plantio no mês de setembro. Os valores de LBI foram consideravelmente inferiores aos reportados por Ramos et al. (2012) para a cultura do feijão caupi em Teresina no Piauí.

Para a cultura da melancia, a LBI para atender um ciclo da cultura, variou de 27 mm na Vila Produtiva Rural Quixeramobim, considerando o plantio no mês de fevereiro, a 486 mm na Vila Produtiva Rural Captação, considerando o plantio no mês de setembro.

Para a cultura da cebola, a LBI para atender um ciclo da cultura, variou de 79 mm na Vila Produtiva Rural Quixeramobim, considerando o plantio no mês de fevereiro, a 586 mm na Vila Produtiva Rural Captação, considerando o plantio no mês de setembro.

Para a cultura do milho, a LBI para atender um ciclo da cultura, variou de 100 mm na Vila Produtiva Rural Quixeramobim, considerando o plantio no mês de fevereiro, a 657 mm na Vila Produtiva Rural Captação, considerando o plantio no mês de setembro. Os valores de LBI constatados para a cultura do milho estão de acordo com Shen et al. (2013), no qual são reportados requerimentos da ordem de 350 a 640 mm em regiões semiáridas da China.

Os requerimentos de irrigação das culturas anuais apresentaram grande variação em função da época de plantio, em que o plantio de julho a novembro proporcionou as maiores demandas de água, principalmente em função da fase de pleno desenvolvimento das culturas coincidir com períodos de elevadas demandas atmosféricas e baixas precipitações. O plantio nos meses de janeiro a maio proporcionou as menores demandas de água, principalmente em função das maiores precipitações efetivas verificadas neste período. A forte influência da época de plantio nos requerimentos de irrigação também foi constatada por Kuo et al. (2006) em avaliação das demandas de água de um distrito de irrigação em Taiwan, em função, principalmente, de variações nas precipitações. As maiores LBI verificadas para as culturas do capim de corte e da banana, se deve, principalmente, à perenidade das mesmas. Surendran et al. (2015) e Darshana et al. (2012) em estudos de demanda de água para irrigação, também constataram maiores demandas para culturas perenes, em comparação com culturas anuais de ciclos curtos.

A partir do coeficiente de cultivo médio para cada comunidade como um todo, ponderado pela área de cada cultivo, possibilitou-se obter os requerimentos de irrigação de todas as comunidades, considerando um determinado cenário de cultivo composto pelas principais culturas pretendidas pelos futuros irrigantes, em épocas de plantio típicas para a

região. A Tabela 9 apresenta os requerimentos mensais de água para irrigação da comunidade Captação no município de Cabrobó/PE, e as Tabelas para as demais comunidades encontram-se no anexo 03. Ressalta-se que o VB (m<sup>3</sup>) (Tabela 9) corresponde ao volume de água mensal que o controlador do sistema deve fornecer aos irrigantes nesta comunidade, conforme o cenário adotado neste trabalho.

**Tabela 9** – Requerimentos de irrigação de 17 ha na comunidade Captação no município Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão, cebola, banana e capim de corte.

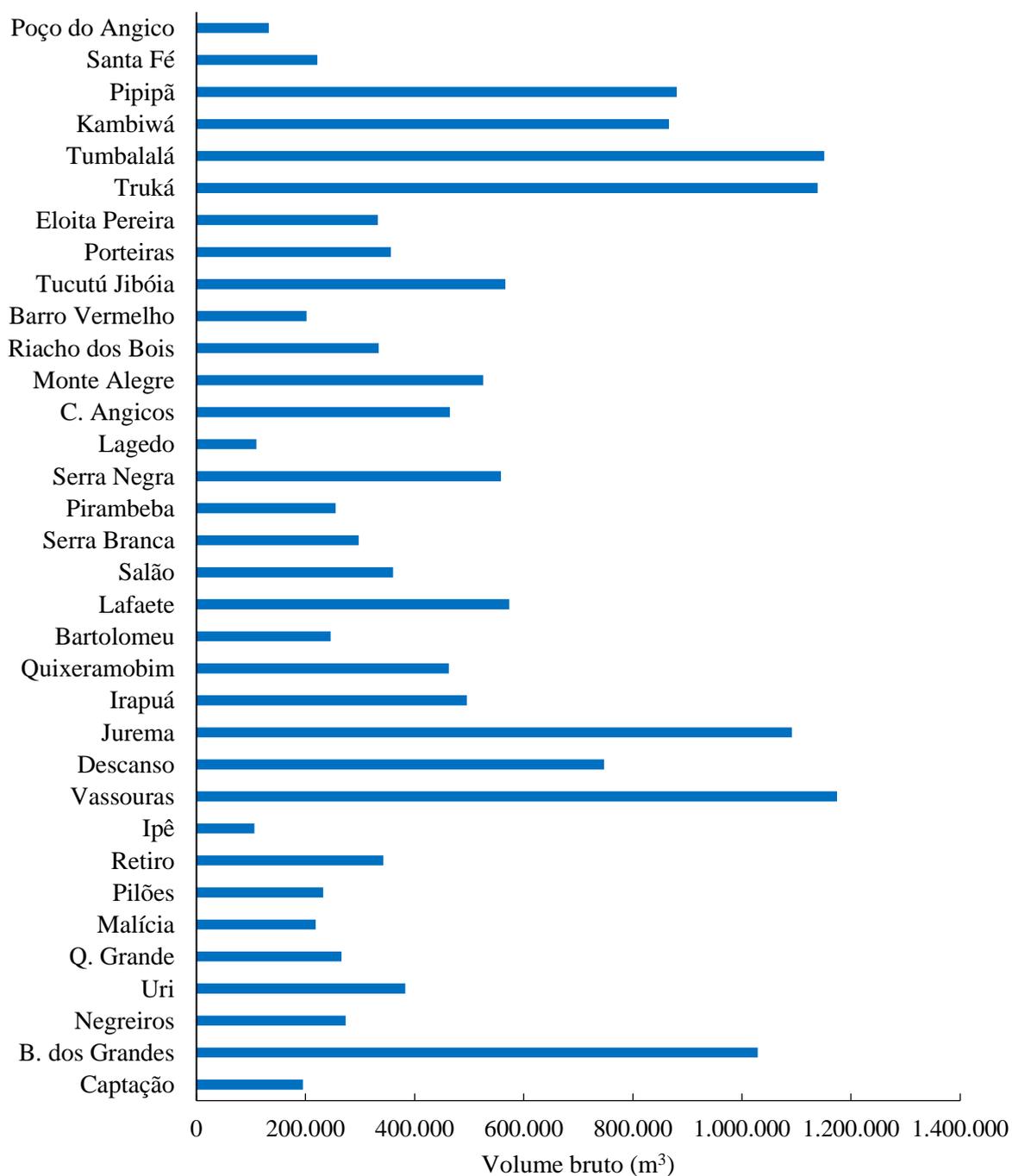
<b>Mês</b>	<b>LLI (mm)</b>	<b>LBI (mm)</b>	<b>VB (m<sup>3</sup>)</b>
Jan	73	82	13.865
Fev	54	60	10.146
Mar	65	72	12.277
Abr	55	61	10.345
Mai	40	45	7.617
Jun	48	54	9.122
Jul	75	83	14.181
Ago	100	111	18.842
Set	132	147	24.917
Out	135	150	25.558
Nov	153	170	28.856
Dez	104	115	19.632
<b>Total</b>	<b>1.034</b>	<b>1.149</b>	<b>195.356</b>

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área; banana e capim de corte, vegetando de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

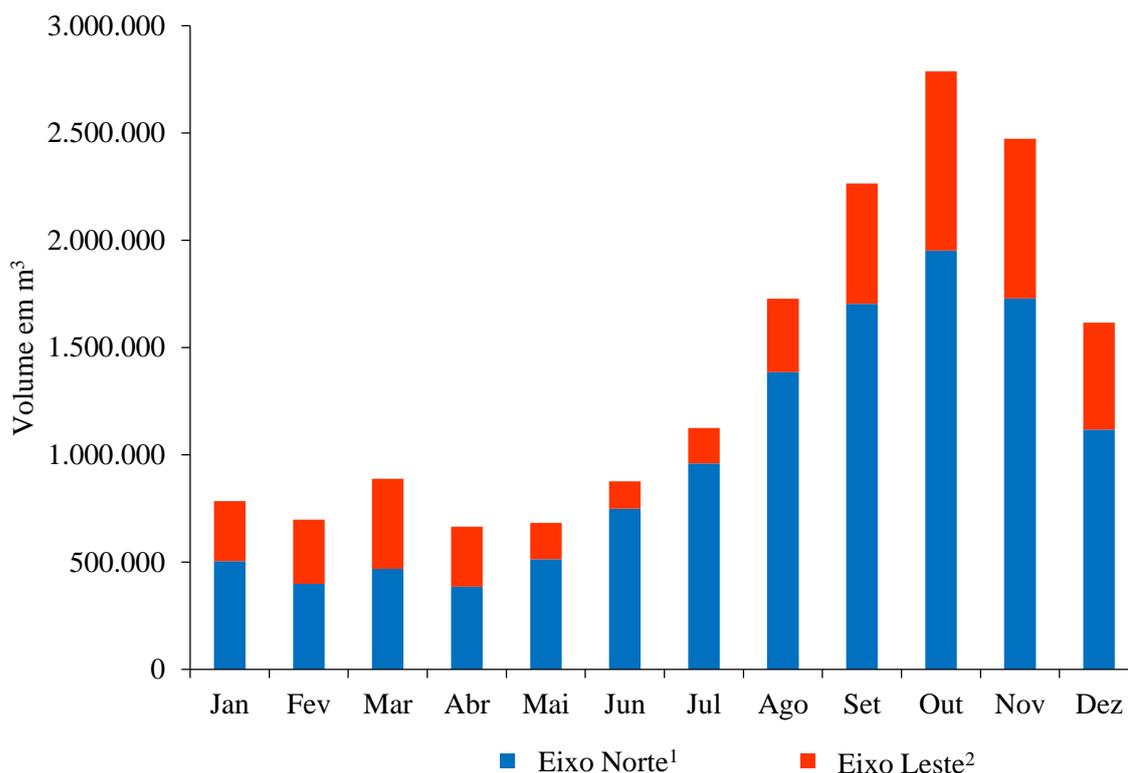
Os volumes brutos anuais para atendimento das 34 comunidades estudadas são apresentados na Figura 8. Os maiores volumes brutos de água necessária foram constatados para as Vilas Produtivas Rurais Vassouras, Jurema e Baixio dos Grandes, além das áreas das etnias indígenas, as quais são as comunidades com maior área a ser irrigada.

A Figura 9 apresenta os volumes brutos mensais de água necessária à irrigação, por cada eixo de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Observa-se que as comunidades localizadas ao longo do Eixo Norte apresentam demandas de água superiores às comunidades do Eixo Leste, uma vez que a área a ser irrigada ao longo do Eixo Norte é de

1.156 ha, contra 532 ha no Eixo Leste. O volume anual de água necessária a ser retirado do Eixo Norte é da ordem de 11,9 milhões de  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ , e de 4,7 milhões de  $m^3 \text{ ano}^{-1}$  no Eixo Leste, totalizando aproximadamente 16,6 milhões de  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ , o qual é o volume anual de água que o operador do sistema deve outorgar aos irrigantes considerados neste trabalho.



**Figura 8** – Requerimentos anuais de irrigação, em  $m^3$ , das 34 comunidades rurais localizadas ao longo dos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.



**Figura 9** – Requerimentos mensais de irrigação das 34 comunidades rurais nos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

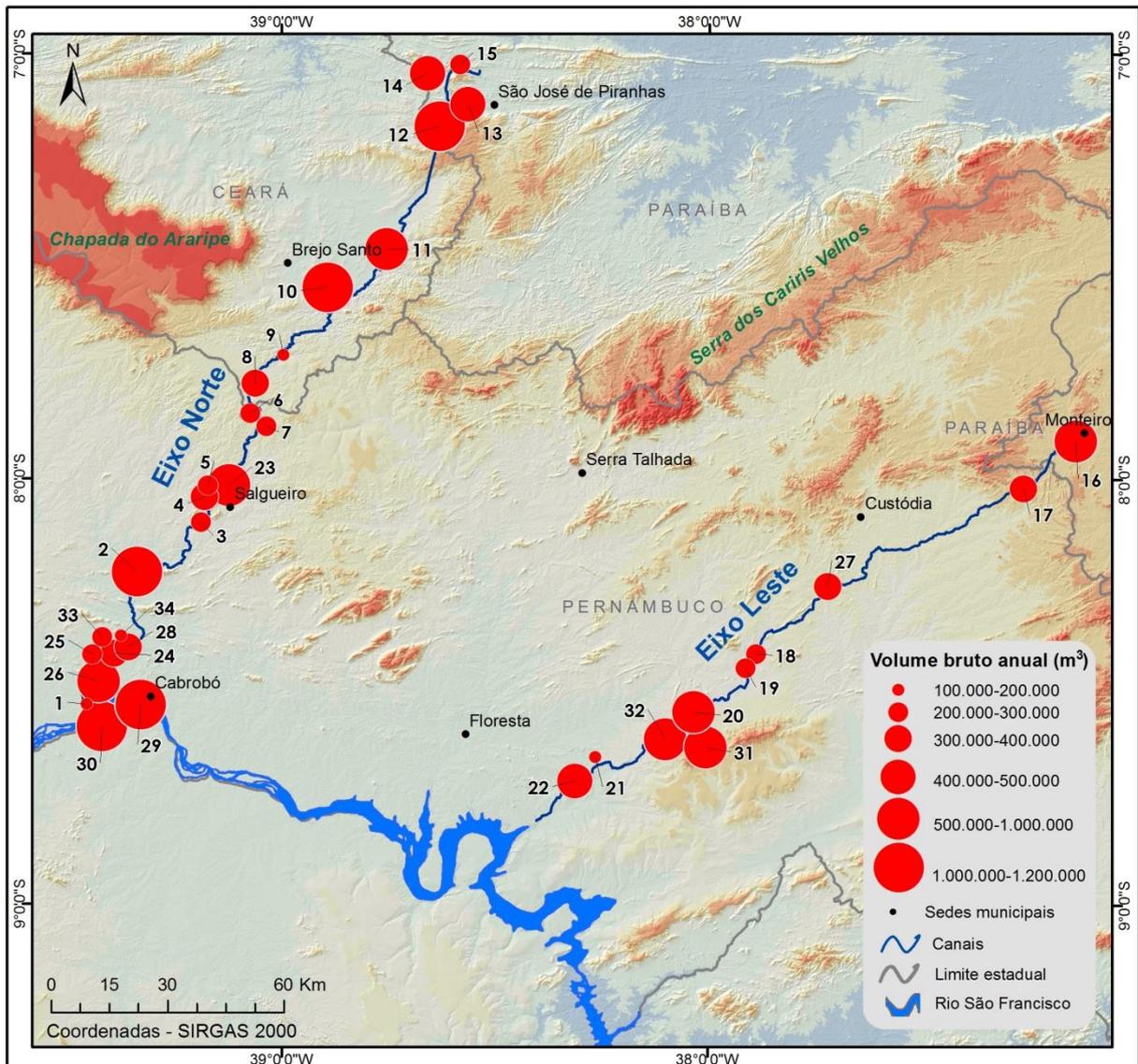
<sup>1</sup>O Eixo Norte atenderá 24 comunidades, totalizando 1.156 ha irrigados.

<sup>2</sup>O Eixo Leste atenderá 10 comunidades, totalizando 532 ha irrigados.

Os meses de agosto a dezembro apresentam as maiores demandas de água, sendo o mês de outubro o de maior demanda, com valor de volume bruto de água necessária superior a 2,7 milhões de  $\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ , devido às baixas precipitações e elevadas demandas atmosféricas que ocorrem neste período. Para este mês de pico, que corresponde a um período de baixa disponibilidade de água no Rio São Francisco (LUZ & GENZ, 2013), a demanda de água para irrigação das 34 comunidades equivale a 4% da vazão outorgada ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, que é de  $26 \text{ m}^3/\text{s}$  para períodos de baixa disponibilidade de água no Rio São Francisco. Já os meses de janeiro a junho, que corresponde a um período de maior disponibilidade de água no Rio São Francisco, apresentam demandas totais inferiores a um milhão de  $\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ , o que equivale a 0,4% da vazão outorgada ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, que é de  $126 \text{ m}^3/\text{s}$  para períodos de elevada disponibilidade de água no Rio São Francisco.

A Figura 10 apresenta a distribuição espacial dos volumes brutos anuais de água necessária para o atendimento da irrigação nas 34 comunidades, onde se verifica maior demanda para os canais do Eixo Norte, com demandas concentradas nos municípios de Cabrobó/PE, Brejo Santo/CE e São José de Piranhas/PB. Para o Eixo Leste, há uma concentração de demanda no município de Floresta/PE e Monteiro/PB.

A vazão unitária de retirada para irrigação de todas as comunidades ficou compreendida no intervalo de 0,15 a 0,64 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, com média anual de 0,32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.



**Figura 10** – Distribuição espacial dos volumes brutos anuais de água necessária para o atendimento da irrigação das 34 comunidades ao longo dos dois sistemas de canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

As estimativas de demandas de água para irrigação anteriormente apresentadas, poderão ser utilizadas para fins de planejamento das atividades de irrigação e da operação dos canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Também poderão ser utilizadas como subsídio ao dimensionamento dos sistemas de irrigação e fornecimento de parâmetros de comparação sobre a adequabilidade do uso da água e estimativas de custo de produção por parte dos futuros irrigantes. Naturalmente, em função dos cenários, estratégias, valores médios e simplificações consideradas na modelagem das estimativas de água, as demandas reais poderão diferir dos valores estimados, o que para Wriedt et al. (2009) é perfeitamente aceitável em estudos de demanda de água para irrigação, sobretudo em escala regional.

## 6.6 CONCLUSÕES

1. O volume bruto anual de água a ser retirado dos canais para irrigação das 34 comunidades é de 16,6 milhões de m<sup>3</sup>, sendo 11,9 milhões de m<sup>3</sup> os canais do Eixo Norte e 4,7 milhões de m<sup>3</sup> para os canais do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
2. A vazão unitária média anual para o atendimento da irrigação nas 34 comunidades rurais é estimada em 0,32 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.
3. O mês de outubro apresenta a maior demanda de água, com volume bruto de água necessária superior a 2,7 milhões de m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>.
4. A cultura do capim de corte apresenta a maior demanda de água, com lâmina bruta de irrigação variando de 1.259 mm ano<sup>-1</sup> a 1.696 mm ano<sup>-1</sup>.
5. A cultura do feijão caupi apresenta as menores demandas de água, com lâmina bruta de irrigação para atender um ciclo da cultura, variando de 15 a 404 mm.
6. Para as culturas anuais, o plantio no mês de setembro apresenta as maiores lâminas brutas de irrigação, e o plantio no mês de fevereiro as menores lâminas brutas de irrigação.

## 6.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.3, p.591-601, 2012.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, R. C. de; PAMPONET, A. J. M. Necessidades hídricas de bananeira tipo Terra em condições de tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.9, p.1260-1268, 2013.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A. de; ARAUJO, J. L. P. A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Cap. 1, p.21-48.

DARSHANA; PANDEY, A.; OSTROWSKI, M.; PANDEY, R. P. Simulation and optimization for irrigation and crop planning. **Irrigation and Drainage**, v.61, p.178-188, 2012.

DINPASHOH, Y. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. **Agricultural Water Management**, v.84, p.123-129, 2006.

DJAMAN, K.; BALDE, A. B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M. K.; MANNEH, B.; MOUKOUMBI, Y. D.; FUTAKUCHI, K.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.3, p.139-159, 2015.

DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting Crop Water Requirements**. 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Principais Solos do Semiárido do Nordeste do Brasil**. 2005. 35p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34392/1/OPB1114.pdf>>. Acesso em 16 de novembro de 2014.

FAO. FAO Statistical Yearbook 2014, Latin America and the Caribbean Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for the Latin America and the Caribbean, Santiago, p.181, 2014. <<http://www.fao.org/docrep/019/i3592e/i3592e.pdf>>. Acesso em: 01 de outubro, 2015.

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. S. Demanda de irrigação da cultura da banana na Bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p. 343–349, 2008.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; EVANGELISTA, S. R. de M.; TEIXEIRA, A. dos S.; FUCK JUNIOR, S. C. de F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1657-1644, 2008.

HAIJUN, L.; YAN, L.; RUIHAO, Z.; GUANHUA, H. Evaluation and modification of potential evapotranspiration methods in Beijing, China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.6, n.4, p.9–18, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/sigsab/acervoDigital>>. Acesso em: 14 de outubro de 2015.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.89, n.4, p.15-41, 1963. Disponível em: <<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/1249/1/27.pdf>>. Acesso em 18 de setembro de 2015.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KISI, O. Modeling Reference Evapotranspiration Using Evolutionary Neural Networks. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.137, p.636-643, 2011.

KUO, S. F.; HO, S. S.; LIU, C. W. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. **Agricultural Water Management**, v.82, p.433-451, 2006.

LILIENFELD, A.; ASMILD, A. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: a Data Envelopment Analysis approach. **Agricultural Water Management**, v.94, p.73-82, 2007.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. de O.; SOARES, W. de A. SOUZA, E. S. de. Fluxo de calor sensível em cultivo de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1037–1045, 2011.

LUZ, L. D. da; GENZ, F. First Essentials Towards Environmental Flows For São Francisco River (Brazil): Recovering Damaged Ecosystems And Meeting Human Needs. World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future. ASCE, 2013, p.1279-1296.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v.129, p.103-115, 2015.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Plano de Desenvolvimento Sustentável da Vila Produtiva Rural Negreiros**. Brasília, 2014. 175 p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Programa Básico Ambiental de fornecimento de água e apoio técnico para pequenas atividades de irrigação ao longo dos canais para as comunidades agrícolas**. Versão revisada. Brasília, 2013. 20 p. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/documents/10157/3675235/PBA16.pdf/40147ab4-7265-4a82-bd06-670061296b34>>. Acesso em: 14 de outubro de 2015.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Programas e Ações - Secretaria Nacional de Irrigação**, nov. 2014. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ceeff01f-6440-45da-859b-9acd1bfa87cf&groupId=66920](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=ceeff01f-6440-45da-859b-9acd1bfa87cf&groupId=66920)>. Acesso em: 26 de novembro, 2014.

MONTENEGRO, S. G.; MONTENEGRO, A.; RAGAB, R. Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study. **Irrigation Science**, v.28, p.301-316, 2010.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência da temperatura na superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, v.13, n.1, p.107-118, 2014.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p.4-20, 2015.

RAMOS, H. M. M.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; MAROUELLI, W. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão caupi para produção de grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.576-583, 2012.

ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. Evaluation of Daily Reference Evapotranspiration Methods as Compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith Equation Using Limited Weather Data in Northeast Louisiana. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.285-292, 2013.

SHEN, Y.; LI, S.; CHEN, Y.; QI, Y.; ZHANG, S. Estimation of regional irrigation water requirement and water supply risk in the arid region of Northwestern China 1989–2010. **Agricultural Water Management**, v.128, p.55-64, 2013.

SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. de; WORKMAN, S. R. Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.7, p.730-737, 2009.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. de; GALVÍNIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1218–1226, 2012.

SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C. M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E. J. Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India. **Aquatic Procedia**, v.4, p.1211-1219, 2015.

TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v.31, p.107–117, 2013.

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; KOUTSOYIANNIS, D. A parsimonious regional parametric evapotranspiration model based on a simplification of the Penman–Monteith formula. **Journal of Hydrology**, v.524, p.708-717, 2015.

TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, v.481, p.166-176, 2013.

USMAN, M.; LIEDL, R.; AWAN, U. K. Spatio-temporal estimation of consumptive water use for assessment of irrigation system performance and management of water resources in irrigated Indus Basin, Pakistan. **Journal of Hydrology**, v.525, p.26-41, 2015.

WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **Journal of Hydrology**, v.464-465, p.388-400, 2012.

WRIEDT, G.; VAN DER VELDE, M.; ALOE, A.; BOURAOUI, F. Estimating irrigation water requirements in Europe. **Journal of Hydrology**, v.373, p.527-544, 2009.

ZHAI, L.; FENG, Q.; LI, Q.; XU, C. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, northwest China. **Irrigation and Drainage**, v.59, p.477-490, 2010.

## **ANEXOS**

**Anexo 1** - Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) nas 34 comunidades rurais estudadas, em  $\text{mm d}^{-1}$ , calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

**Anexo 2** - Lâminas brutas de irrigação para atendimento das culturas do milho, feijão caupi, cebola, melancia, banana e capim de corte, considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

**Anexo 3** – Requerimentos de irrigação nas 34 comunidades rurais estudadas, considerando cenários de cultivo específicos para cada comunidade.

**Anexo 1** - Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) nas 34 comunidades rurais estudadas, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

**Tabela 1** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Captação no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,3	6,5	6,9	6,1	9,2	5,6
Fev	5,2	5,2	4,8	4,9	5,2	6,3	6,7	6,0	7,8	5,5
Mar	4,8	4,8	4,7	4,5	5,0	4,1	6,5	5,0	5,9	5,4
Abr	4,5	4,3	4,3	4,0	4,5	4,4	5,9	4,8	6,5	4,9
Mai	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	7,1	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,3	3,7
Jul	4,1	3,7	3,1	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,9	3,8
Ago	4,9	4,3	3,4	3,8	4,1	5,5	5,6	5,2	11,5	4,3
Set	6,1	5,1	4,6	4,8	4,7	6,0	6,9	6,3	15,4	5,0
Out	6,6	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,8	6,9	15,8	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,3	5,3	5,4	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

PMFAO = Penman-Monteith FAO; HARG = Hargreaves-Samani; TH48 = Thornthwaite 48; THMOD = Thornthwaite modificado por Camargo; CAMAR = Camargo 71; BLCRI = Blaney-Cridle; JENHA = Jensen-Haise; RADFAO = Radiação FAO 24; AEROD = Aerodinâmico; ENERG = Energético.

**Tabela 2** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Baixio dos Grandes no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,3	5,2	4,9	4,9	4,9	6,4	6,7	6,0	8,6	5,5
Fev	4,9	5,1	4,5	4,7	4,9	5,3	6,5	5,5	6,4	5,4
Mar	4,6	4,8	4,3	4,3	4,7	4,0	6,3	4,9	5,2	5,3
Abr	4,4	4,3	4,0	3,9	4,3	3,8	5,8	4,5	5,5	4,9
Mai	4,0	3,9	3,6	3,6	3,7	4,1	5,0	4,2	6,2	4,3
Jun	3,8	3,6	3,1	3,2	3,4	3,9	4,4	3,7	7,4	3,7
Jul	4,0	3,7	2,9	3,3	3,4	3,9	4,6	4,3	8,4	3,8
Ago	4,9	4,3	3,2	3,9	3,8	5,4	5,6	5,3	11,1	4,4
Set	6,0	5,2	4,2	5,2	4,5	5,9	6,9	6,3	14,7	5,1
Out	6,5	5,7	5,0	5,3	5,0	6,3	7,6	6,8	15,3	5,6
Nov	6,3	5,7	5,2	5,4	5,1	6,5	7,5	6,7	13,7	5,6
Dez	5,7	5,5	5,1	5,3	5,0	6,5	7,2	6,3	10,5	5,6

**Tabela 3** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Negreiros no município de Salgueiro/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,2	5,2	4,7	4,9	4,9	6,3	6,6	6,0	8,2	5,5
Fev	4,9	5,1	4,3	4,5	4,8	5,2	6,4	5,5	6,2	5,4
Mar	4,6	4,8	4,2	4,3	4,6	3,9	6,2	4,9	4,8	5,3
Abr	4,3	4,3	3,9	3,9	4,2	3,8	5,8	4,5	5,2	4,9
Mai	3,9	3,8	3,4	3,5	3,7	4,0	5,0	4,2	5,6	4,3
Jun	3,7	3,5	2,9	3,1	3,3	3,8	4,4	3,7	6,6	3,8
Jul	3,9	3,7	2,7	3,2	3,3	3,8	4,5	4,4	7,9	3,8
Ago	4,8	4,3	3,0	3,9	3,7	5,3	5,5	5,3	10,5	4,4
Set	5,9	5,2	3,9	5,1	4,4	5,8	6,8	6,3	13,9	5,1
Out	6,4	5,7	4,8	5,2	4,9	6,2	7,5	6,8	14,8	5,6
Nov	6,2	5,7	5,0	5,3	5,0	6,4	7,5	6,7	13,3	5,7
Dez	5,7	5,5	5,0	5,2	5,0	6,5	7,1	6,4	10,4	5,6

**Tabela 4** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Uri no município de Salgueiro/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,2	5,2	4,7	4,9	4,8	6,3	6,5	6,0	7,9	5,5
Fev	4,8	5,1	4,3	4,5	4,8	5,2	6,4	5,5	6,1	5,4
Mar	4,5	4,8	4,1	4,3	4,6	3,9	6,2	4,8	4,7	5,3
Abr	4,3	4,3	3,8	3,9	4,2	3,8	5,7	4,5	5,0	4,9
Mai	3,9	3,9	3,4	3,5	3,7	4,0	5,0	4,2	5,5	4,3
Jun	3,7	3,5	2,9	3,1	3,3	3,8	4,4	3,8	6,6	3,8
Jul	4,0	3,7	2,7	3,3	3,3	3,8	4,6	4,4	7,9	3,9
Ago	4,8	4,4	3,0	3,9	3,7	5,3	5,5	5,3	10,5	4,4
Set	5,9	5,2	3,9	5,2	4,4	5,8	6,8	6,3	13,8	5,1
Out	6,4	5,7	4,8	5,3	4,9	6,2	7,5	6,8	14,8	5,6
Nov	6,2	5,7	5,0	5,3	5,0	6,4	7,5	6,7	13,3	5,7
Dez	5,7	5,5	5,0	5,2	5,0	6,4	7,1	6,4	10,3	5,6

**Tabela 5** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Queimada Grande no município de Salgueiro/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,2	4,6	4,9	4,6	6,3	6,5	5,9	7,8	5,5
Fev	4,8	5,0	4,3	4,5	4,5	5,2	6,3	5,5	6,0	5,4
Mar	4,5	4,8	4,1	4,2	4,4	3,9	6,2	4,8	4,7	5,3
Abr	4,3	4,3	3,8	3,9	4,0	3,8	5,7	4,5	4,9	4,9
Mai	3,9	3,9	3,4	3,5	3,5	4,0	5,0	4,2	5,4	4,3
Jun	3,7	3,5	2,9	3,1	3,2	3,8	4,4	3,8	6,5	3,8
Jul	4,0	3,7	2,7	3,3	3,2	3,8	4,6	4,4	7,9	3,9
Ago	4,8	4,4	3,0	4,0	3,6	5,3	5,6	5,3	10,5	4,4
Set	5,9	5,2	3,9	5,2	4,2	5,8	6,8	6,3	13,8	5,1
Out	6,4	5,7	4,8	5,3	4,7	6,2	7,5	6,8	14,8	5,6
Nov	6,2	5,7	5,0	5,3	4,8	6,4	7,5	6,7	13,2	5,7
Dez	5,7	5,5	5,0	5,2	4,7	6,4	7,1	6,4	10,3	5,6

**Tabela 6** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Malícia no município de Salgueiro/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,2	4,4	4,8	4,6	6,2	6,5	6,0	7,2	5,5
Fev	4,8	5,0	4,1	4,4	4,5	5,2	6,3	5,5	5,6	5,5
Mar	4,5	4,8	4,0	4,2	4,3	3,9	6,2	4,9	4,4	5,4
Abr	4,2	4,4	3,7	3,9	3,9	3,7	5,7	4,5	4,5	5,0
Mai	3,8	3,9	3,3	3,5	3,5	3,5	5,0	4,0	5,1	4,3
Jun	3,7	3,6	2,8	3,1	3,1	3,8	4,4	3,8	6,2	3,9
Jul	4,0	3,8	2,6	3,4	3,1	3,7	4,6	4,5	7,8	3,9
Ago	4,8	4,4	3,0	4,0	3,5	5,3	5,6	5,4	10,4	4,5
Set	5,8	5,3	3,8	5,3	4,1	5,7	6,7	6,3	13,4	5,1
Out	6,3	5,8	4,7	5,3	4,6	6,2	7,5	6,8	14,5	5,6
Nov	6,1	5,7	4,9	5,3	4,7	6,4	7,4	6,7	12,9	5,7
Dez	5,7	5,5	4,9	5,2	4,7	6,4	7,0	6,4	10,1	5,6

**Tabela 7** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Pilões no município de Verdejante/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,2	4,4	4,8	4,6	6,2	6,5	6,0	7,3	5,5
Fev	4,8	5,0	4,1	4,3	4,5	5,1	6,3	5,5	5,7	5,5
Mar	4,5	4,8	4,0	4,2	4,3	3,9	6,2	4,9	4,4	5,4
Abr	4,2	4,3	3,7	3,9	3,9	3,7	5,7	4,5	4,6	5,0
Mai	3,8	3,8	3,2	3,4	3,5	3,5	4,9	3,9	5,0	4,3
Jun	3,6	3,5	2,8	3,1	3,1	3,8	4,4	3,8	6,1	3,9
Jul	3,9	3,7	2,6	3,3	3,1	3,7	4,6	4,5	7,6	3,9
Ago	4,8	4,4	2,9	4,0	3,5	5,3	5,5	5,4	10,2	4,4
Set	5,8	5,3	3,7	5,2	4,1	5,7	6,7	6,3	13,2	5,1
Out	6,3	5,7	4,7	5,3	4,6	6,1	7,4	6,8	14,4	5,6
Nov	6,1	5,7	4,9	5,3	4,7	6,3	7,4	6,7	12,9	5,7
Dez	5,7	5,5	4,9	5,2	4,7	6,4	7,0	6,4	10,1	5,6

**Tabela 8** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Retiro no município de Penaforte/CE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,2	4,4	4,8	4,6	5,3	6,5	5,6	7,0	5,5
Fev	4,7	5,0	4,1	4,3	4,5	5,1	6,3	5,5	5,5	5,5
Mar	4,5	4,8	3,9	4,2	4,3	3,9	6,2	4,9	4,3	5,4
Abr	4,2	4,4	3,6	3,9	3,9	3,7	5,7	4,5	4,4	5,0
Mai	3,8	3,9	3,3	3,5	3,5	3,5	5,0	4,0	5,0	4,4
Jun	3,7	3,6	2,8	3,2	3,1	3,8	4,5	3,9	6,3	3,9
Jul	4,0	3,8	2,7	3,4	3,2	3,8	4,6	4,5	7,8	3,9
Ago	4,9	4,4	3,0	4,1	3,5	5,3	5,6	5,4	10,5	4,5
Set	5,8	5,3	3,8	5,3	4,1	5,7	6,7	6,3	13,4	5,1
Out	6,3	5,8	4,7	5,3	4,6	6,2	7,5	6,8	14,5	5,6
Nov	6,1	5,7	4,9	5,3	4,7	6,4	7,4	6,7	12,8	5,7
Dez	5,6	5,5	4,9	5,2	4,7	6,4	7,0	6,3	10,1	5,6

**Tabela 9** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Ipê no município de Jati/CE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,2	4,4	4,8	4,5	5,3	6,4	5,6	7,0	5,5
Fev	4,7	5,0	4,0	4,3	4,4	5,1	6,3	5,5	5,4	5,5
Mar	4,5	4,8	3,9	4,2	4,3	3,9	6,2	4,9	4,2	5,4
Abr	4,2	4,4	3,6	3,9	3,9	3,7	5,7	4,5	4,2	5,0
Mai	3,8	3,9	3,2	3,5	3,5	3,5	5,0	4,0	4,8	4,4
Jun	3,7	3,6	2,8	3,2	3,1	3,8	4,5	3,9	6,1	3,9
Jul	4,0	3,8	2,6	3,4	3,1	3,7	4,7	4,5	7,7	3,9
Ago	4,8	4,5	3,0	4,1	3,5	5,3	5,6	5,4	10,5	4,5
Set	5,8	5,3	3,8	5,4	4,1	5,7	6,7	6,3	13,3	5,1
Out	6,3	5,8	4,7	5,3	4,6	6,1	7,5	6,8	14,4	5,6
Nov	6,1	5,7	4,9	5,3	4,7	6,3	7,4	6,7	12,6	5,7
Dez	5,6	5,5	4,8	5,2	4,7	6,3	7,0	6,3	10,1	5,6

**Tabela 10** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Vassouras no município de Brejo Santo/CE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,2	4,3	4,8	4,5	6,1	6,4	5,9	6,8	5,5
Fev	4,7	5,0	3,9	4,2	4,4	5,1	6,2	5,5	5,3	5,5
Mar	4,4	4,8	3,8	4,2	4,3	3,8	6,1	4,9	4,1	5,4
Abr	4,2	4,4	3,6	3,9	3,9	3,7	5,8	4,6	3,9	5,1
Mai	3,8	3,9	3,2	3,5	3,5	3,5	5,0	4,0	4,6	4,4
Jun	3,7	3,6	2,8	3,2	3,1	3,8	4,6	4,0	5,9	4,0
Jul	4,0	3,9	2,7	3,5	3,2	3,8	4,7	4,6	7,8	4,0
Ago	4,9	4,5	3,0	4,2	3,6	5,3	5,7	5,5	10,6	4,5
Set	5,8	5,4	3,8	5,5	4,1	5,7	6,9	6,4	13,2	5,2
Out	6,3	5,8	4,6	5,3	4,6	6,1	7,5	6,8	14,2	5,6
Nov	6,1	5,7	4,8	5,3	4,7	6,3	7,4	6,7	12,4	5,7
Dez	5,6	5,5	4,8	5,2	4,6	6,3	7,0	6,3	10,1	5,6

**Tabela 11** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Descanso no município de Mauriti/CE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,2	4,2	4,8	4,5	6,1	6,4	5,9	6,9	5,5
Fev	4,7	5,0	3,9	4,2	4,4	5,1	6,3	5,5	5,3	5,5
Mar	4,4	4,8	3,8	4,2	4,3	3,8	6,1	4,9	4,1	5,4
Abr	4,2	4,4	3,5	3,9	3,9	3,7	5,8	4,7	3,8	5,1
Mai	3,7	3,9	3,2	3,5	3,5	3,5	5,0	4,0	4,4	4,4
Jun	3,6	3,6	2,7	3,2	3,1	3,8	4,6	4,0	5,7	4,0
Jul	4,0	3,9	2,6	3,5	3,1	3,7	4,7	4,6	7,7	4,0
Ago	4,9	4,5	3,0	4,2	3,5	5,3	5,7	5,5	10,5	4,6
Set	5,8	5,4	3,7	5,4	4,1	5,7	6,9	6,5	13,0	5,3
Out	6,3	5,8	4,5	6,1	4,5	6,1	7,5	6,8	14,0	5,6
Nov	6,0	5,7	4,8	5,3	4,6	6,3	7,4	6,7	12,3	5,7
Dez	5,6	5,5	4,8	5,2	4,6	6,3	7,0	6,3	10,1	5,6

**Tabela 12** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Jurema no município de São José de Piranhas/PB, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,3	4,4	5,0	4,5	6,1	6,5	5,9	6,8	5,5
Fev	4,7	5,0	4,0	4,4	4,4	5,1	6,4	5,6	5,0	5,6
Mar	4,5	4,9	3,9	4,3	4,3	3,9	6,3	5,0	4,0	5,5
Abr	4,2	4,4	3,7	4,0	4,0	3,7	5,9	4,7	3,6	5,1
Mai	3,8	4,0	3,3	3,6	3,5	3,6	5,2	4,2	4,3	4,5
Jun	3,8	3,8	2,9	3,6	3,2	3,9	4,9	4,2	6,0	4,1
Jul	4,2	4,1	3,0	3,9	3,3	3,9	5,0	4,8	8,4	4,1
Ago	5,2	4,7	3,4	4,7	3,7	5,5	6,1	5,8	11,8	4,7
Set	6,0	5,6	4,1	5,9	4,3	5,8	7,1	6,6	14,0	5,4
Out	6,3	5,9	4,7	5,4	4,6	6,2	7,6	6,9	14,0	5,7
Nov	6,1	5,8	4,9	5,4	4,7	6,3	7,5	6,8	12,4	5,8
Dez	5,7	5,6	4,9	5,3	4,6	6,3	7,1	6,4	10,4	5,7

**Tabela 13** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Irapuá no município de São José de Piranhas/PB, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,3	4,4	5,0	4,5	6,2	6,5	5,9	6,8	5,5
Fev	4,7	5,1	4,0	4,4	4,5	5,1	6,4	5,6	5,0	5,6
Mar	4,5	4,9	3,9	4,4	4,3	3,9	6,3	5,0	4,0	5,5
Abr	4,2	4,4	3,7	4,0	4,0	3,7	5,9	4,7	3,6	5,1
Mai	3,8	4,0	3,4	3,7	3,5	3,6	5,3	4,2	4,3	4,6
Jun	3,8	3,9	3,0	3,6	3,2	3,9	4,9	4,3	6,1	4,1
Jul	4,3	4,1	3,0	4,0	3,3	3,9	5,1	4,8	8,5	4,1
Ago	5,3	4,8	3,4	4,8	3,7	5,5	6,1	5,8	12,1	4,7
Set	6,1	5,6	4,2	6,0	4,3	5,9	7,2	6,6	14,1	5,4
Out	6,3	5,9	4,7	5,5	4,6	6,2	7,6	6,9	14,0	5,7
Nov	6,1	5,8	4,9	5,4	4,7	6,3	7,5	6,8	12,4	5,8
Dez	5,7	5,6	4,9	5,3	4,7	6,4	7,1	6,4	10,5	5,7

**Tabela 14** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Quixeramobim no município de São José de Piranhas/PB, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,3	4,5	5,1	4,8	5,3	6,5	5,6	6,7	5,5
Fev	4,7	5,1	4,1	4,5	4,7	5,1	6,5	5,6	4,9	5,6
Mar	4,5	4,9	3,9	4,4	4,5	3,9	6,3	5,0	4,0	5,5
Abr	4,2	4,4	3,7	4,0	4,2	3,8	5,9	4,7	3,5	5,1
Mai	3,9	4,0	3,4	3,7	3,7	3,6	5,3	4,2	4,3	4,6
Jun	3,9	3,9	3,1	3,8	3,4	3,9	5,1	4,3	6,3	4,2
Jul	4,4	4,2	3,2	4,1	3,5	4,0	5,2	4,9	8,8	4,1
Ago	5,4	4,9	3,6	5,0	4,0	5,6	6,3	5,9	12,5	4,7
Set	6,2	5,6	4,4	6,2	4,5	5,9	7,3	6,7	14,5	5,4
Out	6,4	6,0	4,8	5,5	4,9	6,2	7,7	6,9	14,3	5,8
Nov	6,1	5,8	4,9	5,4	4,9	6,4	7,6	6,8	12,5	5,8
Dez	5,7	5,6	4,9	5,4	4,9	6,4	7,2	6,4	10,5	5,7

**Tabela 15** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Bartolomeu no município de Cajazeiras/PB, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,0	5,3	4,5	5,2	4,8	6,2	6,5	5,9	6,8	5,5
Fev	4,7	5,1	4,1	4,5	4,7	5,2	6,5	5,6	4,9	5,6
Mar	4,5	4,9	4,0	4,4	4,6	3,9	6,4	5,0	4,0	5,5
Abr	4,2	4,5	3,7	4,0	4,2	3,8	5,9	4,7	3,5	5,1
Mai	3,9	4,1	3,4	3,8	3,7	3,6	5,3	4,2	4,3	4,6
Jun	3,9	3,9	3,1	3,8	3,4	3,9	5,1	4,3	6,2	4,2
Jul	4,4	4,2	3,2	4,2	3,5	4,0	5,2	4,9	8,8	4,1
Ago	5,4	4,9	3,7	5,0	4,0	5,6	6,3	5,9	12,6	4,7
Set	6,2	5,7	4,4	6,3	4,5	5,9	7,3	6,7	14,6	5,4
Out	6,4	6,0	4,8	5,5	4,9	6,2	7,7	6,9	14,3	5,8
Nov	6,1	5,8	4,9	5,5	4,9	6,4	7,6	6,8	12,5	5,8
Dez	5,7	5,7	4,9	5,4	4,9	6,4	7,2	6,4	10,7	5,7

**Tabela 16** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Lafaete no município de Monteiro/PB, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,5	4,2	5,2	4,3	6,1	6,4	6,0	8,0	5,5
Fev	5,0	5,4	4,0	5,0	4,2	5,9	6,4	6,0	7,3	5,6
Mar	4,8	5,1	3,9	4,7	4,1	4,3	6,3	5,4	6,3	5,5
Abr	4,3	4,5	3,5	4,1	3,7	4,1	5,7	5,0	5,0	5,1
Mai	3,6	3,9	3,1	3,5	3,2	3,9	4,7	4,1	4,3	4,3
Jun	3,2	3,6	2,6	3,1	2,9	3,6	4,1	3,6	4,1	3,8
Jul	3,2	3,7	2,4	3,0	2,9	3,6	4,1	4,1	4,3	3,8
Ago	3,9	4,3	2,6	3,7	3,2	5,1	5,0	5,0	6,1	4,5
Set	5,1	5,2	3,1	4,7	3,7	5,4	6,3	6,2	9,5	5,2
Out	5,5	5,6	3,8	5,4	4,1	5,8	6,8	6,4	10,8	5,6
Nov	5,8	5,7	4,2	5,7	4,3	6,1	7,1	6,6	11,2	5,7
Dez	5,5	5,6	4,3	5,6	4,3	6,2	6,8	6,3	10,1	5,6

**Tabela 17** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Vila Produtiva Rural Salão no município de Sertânia/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,5	4,0	5,0	4,2	6,0	6,3	5,9	8,3	5,5
Fev	5,0	5,4	3,9	4,8	4,2	5,9	6,4	6,0	7,3	5,5
Mar	4,7	5,1	3,8	4,6	4,1	4,3	6,2	5,3	6,3	5,5
Abr	4,2	4,5	3,4	4,0	3,7	4,1	5,7	4,9	5,0	5,1
Mai	3,5	3,8	3,0	3,3	3,2	3,8	4,6	4,1	4,2	4,3
Jun	3,0	3,4	2,4	2,8	2,8	3,6	3,9	3,5	3,8	3,8
Jul	3,1	3,5	2,2	2,8	2,8	3,5	3,9	4,0	4,0	3,8
Ago	3,8	4,2	2,4	3,4	3,1	4,9	4,9	5,0	5,6	4,4
Set	4,9	5,1	3,0	4,5	3,6	5,3	6,1	6,1	8,8	5,2
Out	5,4	5,6	3,6	5,2	4,0	5,7	6,7	6,4	10,4	5,5
Nov	5,7	5,7	4,1	5,5	4,2	6,0	7,0	6,6	10,9	5,7
Dez	5,5	5,6	4,2	5,4	4,2	6,1	6,7	6,3	9,9	5,6

**Tabela 18** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Serra Branca no município de Betânia/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,3	3,9	4,6	4,0	6,0	6,3	6,0	8,1	5,5
Fev	5,0	5,1	3,8	4,3	3,9	5,8	6,3	6,0	7,5	5,5
Mar	4,7	5,0	3,7	4,5	3,8	4,2	6,2	5,3	6,5	5,4
Abr	4,2	4,4	3,4	3,8	3,4	4,0	5,5	4,8	5,4	5,0
Mai	3,4	3,6	2,8	2,9	2,9	3,7	4,4	3,9	4,2	4,3
Jun	2,8	3,0	2,1	2,2	2,5	3,4	3,6	3,3	3,4	3,7
Jul	2,8	3,2	1,9	2,5	2,4	3,3	3,6	3,8	3,4	3,7
Ago	3,5	3,8	2,0	2,9	2,7	4,6	4,4	4,6	4,8	4,2
Set	4,5	4,7	2,6	3,9	3,2	5,1	5,7	5,7	7,5	5,0
Out	5,4	5,4	3,4	5,0	3,7	5,6	6,5	6,3	10,0	5,4
Nov	5,6	5,5	3,9	4,9	3,9	5,9	6,9	6,5	10,4	5,6
Dez	5,4	5,4	4,1	5,0	4,0	6,1	6,7	6,3	9,7	5,6

**Tabela 19** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Pirambeba no município de Betânia/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,3	3,9	4,6	4,0	6,0	6,3	6,0	8,1	5,5
Fev	5,0	5,1	3,8	4,3	3,9	5,8	6,3	6,0	7,5	5,5
Mar	4,7	5,0	3,7	4,5	3,8	4,2	6,2	5,3	6,5	5,4
Abr	4,2	4,4	3,4	3,8	3,4	4,0	5,5	4,8	5,4	5,0
Mai	3,4	3,5	2,8	2,9	2,9	3,7	4,4	3,9	4,2	4,3
Jun	2,8	3,0	2,1	2,2	2,5	3,4	3,6	3,3	3,4	3,7
Jul	2,8	3,2	1,9	2,5	2,4	3,3	3,6	3,8	3,4	3,7
Ago	3,5	3,7	2,0	2,9	2,7	4,6	4,4	4,6	4,8	4,2
Set	4,5	4,7	2,6	3,9	3,2	5,1	5,7	5,7	7,5	5,0
Out	5,4	5,4	3,4	4,9	3,7	5,6	6,5	6,3	10,0	5,4
Nov	5,6	5,5	3,9	4,9	3,9	5,9	6,9	6,5	10,4	5,6
Dez	5,5	5,4	4,1	5,0	4,0	6,1	6,7	6,3	9,7	5,6

**Tabela 20** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Serra Negra no município de Floresta/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,3	4,1	4,7	4,0	6,0	6,4	6,0	8,3	5,5
Fev	5,0	5,1	3,9	4,3	4,0	5,9	6,4	6,0	7,5	5,6
Mar	4,8	5,0	3,9	4,5	3,9	4,3	6,2	5,3	6,7	5,4
Abr	4,2	4,4	3,5	3,8	3,5	4,1	5,6	4,8	5,6	5,0
Mai	3,4	3,5	2,9	2,9	3,0	3,8	4,4	3,9	4,4	4,2
Jun	2,8	3,0	2,2	2,2	2,5	3,4	3,6	3,2	3,5	3,7
Jul	2,8	3,2	1,9	2,4	2,5	3,3	3,6	3,7	3,5	3,6
Ago	3,5	3,7	2,0	2,8	2,7	4,7	4,4	4,5	4,8	4,1
Set	4,6	4,7	2,7	3,9	3,3	5,2	5,7	5,7	7,6	4,9
Out	5,4	5,4	3,4	5,0	3,8	5,6	6,6	6,4	10,1	5,5
Nov	5,7	5,5	4,0	5,0	4,0	6,0	6,9	6,5	10,6	5,6
Dez	5,5	5,4	4,2	5,0	4,0	6,1	6,8	6,3	9,9	5,6

**Tabela 21** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Lagedo no município de Floresta/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,2	5,3	4,2	4,8	4,3	6,1	6,5	6,0	8,5	5,5
Fev	5,1	5,1	4,1	4,5	4,2	6,0	6,5	6,1	7,8	5,6
Mar	4,9	5,0	4,0	4,5	4,1	4,3	6,3	5,4	7,0	5,4
Abr	4,3	4,4	3,6	3,9	3,7	4,1	5,6	4,8	5,9	5,0
Mai	3,5	3,6	3,0	3,0	3,2	3,8	4,5	3,9	4,8	4,2
Jun	2,9	3,0	2,3	2,3	2,7	3,5	3,7	3,3	4,0	3,7
Jul	2,9	3,2	2,0	2,5	2,7	3,4	3,7	3,8	3,9	3,6
Ago	3,6	3,8	2,2	2,9	3,0	4,8	4,5	4,6	5,3	4,1
Set	4,7	4,8	2,9	4,0	3,6	5,3	5,8	5,7	8,5	4,9
Out	5,5	5,4	3,7	5,1	4,0	5,8	6,8	6,5	10,6	5,5
Nov	5,8	5,5	4,2	5,2	4,3	6,1	7,1	6,6	10,9	5,7
Dez	5,6	5,4	4,4	5,2	4,3	6,2	6,9	6,3	9,9	5,6

**Tabela 22** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Curralinho dos Angicos no município de Floresta/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,3	5,3	4,3	4,9	4,3	6,2	6,6	6,1	8,6	5,5
Fev	5,1	5,1	4,1	4,6	4,3	6,0	6,6	6,1	7,8	5,6
Mar	4,9	5,0	4,0	4,5	4,1	4,4	6,4	5,4	7,1	5,5
Abr	4,3	4,3	3,7	3,9	3,7	4,1	5,7	4,8	6,0	5,0
Mai	3,5	3,6	3,0	3,0	3,2	3,8	4,5	3,9	4,9	4,2
Jun	3,0	3,0	2,4	2,4	2,8	3,5	3,7	3,3	4,1	3,6
Jul	3,0	3,2	2,1	2,5	2,7	3,4	3,7	3,8	3,9	3,6
Ago	3,6	3,8	2,2	2,9	3,0	4,9	4,5	4,6	5,4	4,1
Set	4,8	4,8	3,0	4,1	3,6	5,3	5,8	5,7	8,7	4,9
Out	5,6	5,4	3,8	5,1	4,1	5,8	6,8	6,5	10,6	5,5
Nov	5,8	5,5	4,3	5,2	4,3	6,1	7,2	6,6	10,9	5,7
Dez	5,6	5,5	4,5	5,2	4,4	6,2	6,9	6,4	10,0	5,6

**Tabela 23** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Monte Alegre no município de Salgueiro/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,2	4,6	4,9	4,6	6,2	6,5	6,0	7,8	5,5
Fev	4,8	5,0	4,2	4,4	4,5	5,2	6,3	5,5	6,0	5,4
Mar	4,5	4,8	4,1	4,2	4,4	3,9	6,2	4,9	4,6	5,3
Abr	4,2	4,3	3,8	3,9	4,0	3,8	5,7	4,5	4,9	5,0
Mai	3,8	3,8	3,3	3,5	3,5	4,0	5,0	4,2	5,3	4,3
Jun	3,6	3,5	2,8	3,1	3,2	3,8	4,3	3,8	6,4	3,8
Jul	3,9	3,7	2,6	3,3	3,2	3,7	4,5	4,4	7,7	3,9
Ago	4,8	4,3	3,0	3,9	3,5	5,3	5,5	5,3	10,3	4,4
Set	5,8	5,2	3,8	5,1	4,1	5,7	6,7	6,3	13,6	5,1
Out	6,3	5,7	4,8	5,2	4,6	6,2	7,5	6,8	14,6	5,6
Nov	6,2	5,7	5,0	5,3	4,8	6,4	7,5	6,7	13,2	5,7
Dez	5,7	5,5	4,9	5,2	4,7	6,4	7,1	6,4	10,3	5,6

**Tabela 24** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Riacho dos Bois no município de Cabrobó/PE, em  $\text{mm d}^{-1}$ , calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,8	6,1	9,0	5,5
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,1	5,4	6,6	5,6	7,3	5,5
Mar	4,8	4,8	4,6	4,5	4,9	4,0	6,4	4,9	5,7	5,4
Abr	4,4	4,3	4,2	4,0	4,5	4,3	5,9	4,9	6,1	4,9
Mai	4,1	3,9	3,7	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	6,8	4,2
Jun	3,9	3,6	3,2	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,0	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,7	3,8
Ago	4,9	4,3	3,3	3,8	4,0	5,5	5,6	5,2	11,3	4,3
Set	6,1	5,1	4,4	5,1	4,7	5,9	6,9	6,3	15,1	5,0
Out	6,5	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,7	6,9	15,6	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,3	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Tabela 25** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Barro Vermelho no município de Cabrobó/PE, em  $\text{mm d}^{-1}$ , calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,8	6,1	9,0	5,6
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,1	5,4	6,7	5,6	7,4	5,5
Mar	4,8	4,8	4,6	4,5	4,9	4,0	6,5	5,0	5,7	5,4
Abr	4,5	4,3	4,2	4,0	4,5	4,3	5,9	4,9	6,2	4,9
Mai	4,1	3,9	3,7	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	6,9	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,1	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,8	3,8
Ago	4,9	4,3	3,4	3,9	4,0	5,5	5,6	5,2	11,4	4,3
Set	6,1	5,1	4,4	5,1	4,7	6,0	6,9	6,3	15,2	5,0
Out	6,5	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,8	6,9	15,7	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,3	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Tabela 26** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Tucutú Jibóia no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,9	6,1	9,1	5,6
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,2	5,4	6,7	5,6	7,5	5,5
Mar	4,8	4,8	4,6	4,5	5,0	4,1	6,5	5,0	5,8	5,4
Abr	4,5	4,3	4,3	4,0	4,5	4,3	5,9	4,8	6,3	4,9
Mai	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	7,0	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,1	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,8	3,8
Ago	4,9	4,3	3,4	3,8	4,0	5,5	5,6	5,2	11,4	4,3
Set	6,1	5,1	4,4	5,1	4,7	6,0	6,9	6,3	15,3	5,0
Out	6,6	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,8	6,9	15,7	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,3	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,4	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Tabela 27** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Porteiras no município de Custódia/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,3	3,9	4,6	3,9	5,9	6,3	5,9	8,1	5,5
Fev	5,0	5,1	3,7	4,3	3,9	5,8	6,3	6,0	7,5	5,5
Mar	4,7	5,1	3,7	4,5	3,8	4,2	6,1	5,3	6,4	5,4
Abr	4,2	4,4	3,3	3,8	3,4	4,0	5,5	4,8	5,2	5,0
Mai	3,4	3,6	2,8	3,0	2,9	3,7	4,4	3,9	4,2	4,3
Jun	2,8	3,1	2,1	2,3	2,5	3,4	3,6	3,3	3,4	3,7
Jul	2,9	3,3	1,9	2,6	2,4	3,3	3,7	3,8	3,5	3,7
Ago	3,5	3,8	2,0	3,0	2,7	4,7	4,5	4,7	5,0	4,3
Set	4,6	4,8	2,6	4,0	3,2	5,1	5,7	5,8	7,7	5,0
Out	5,4	5,5	3,3	5,0	3,7	5,6	6,5	6,3	10,0	5,4
Nov	5,6	5,5	3,8	5,0	3,9	5,9	6,9	6,5	10,4	5,7
Dez	5,4	5,5	4,0	5,0	4,0	6,0	6,7	6,3	9,6	5,6

**Tabela 28** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Assentamento Eloita Pereira no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,8	6,1	9,0	5,5
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,1	5,4	6,6	5,6	7,2	5,5
Mar	4,7	4,8	4,6	4,5	4,9	4,0	6,4	4,9	5,6	5,4
Abr	4,4	4,3	4,2	4,0	4,5	3,9	5,9	4,5	6,1	4,9
Mai	4,1	3,9	3,7	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	6,8	4,2
Jun	3,9	3,6	3,2	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	7,9	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,7	3,8
Ago	4,9	4,3	3,3	3,9	4,0	5,5	5,6	5,2	11,3	4,3
Set	6,1	5,2	4,4	5,1	4,7	5,9	6,9	6,3	15,1	5,0
Out	6,5	5,6	5,0	5,2	5,3	6,4	7,7	6,9	15,6	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,6	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,3	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Tabela 29** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Tribo Indígena Truká no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,5	5,3	5,0	5,1	5,3	6,5	6,9	6,1	9,3	5,6
Fev	5,2	5,2	4,8	4,9	5,2	6,3	6,7	6,0	8,0	5,5
Mar	4,8	4,8	4,7	4,5	5,0	4,1	6,5	5,0	6,0	5,4
Abr	4,5	4,3	4,3	4,0	4,5	4,3	5,9	4,8	6,6	4,9
Mai	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	7,1	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,2	3,6	4,0	4,4	3,6	8,0	3,7
Jul	4,0	3,7	3,0	3,1	3,6	3,9	4,6	4,3	8,4	3,8
Ago	4,9	4,3	3,3	3,8	4,0	5,5	5,6	5,2	11,0	4,3
Set	6,0	5,1	4,4	5,0	4,7	5,9	6,9	6,3	15,0	5,0
Out	6,5	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,7	6,8	15,5	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	14,1	5,7
Dez	5,9	5,5	5,2	5,3	5,4	6,6	7,3	6,4	11,0	5,6

**Tabela 30** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Tribo Indígena Tumbalalá no município de Curaçá/BA, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,5	5,3	5,0	5,1	5,3	6,5	6,9	6,2	9,5	5,6
Fev	5,3	5,2	4,8	4,9	5,2	6,3	6,8	6,1	8,7	5,5
Mar	4,9	4,8	4,7	4,6	5,0	4,1	6,5	5,0	6,3	5,4
Abr	4,6	4,3	4,3	4,0	4,5	4,4	5,9	4,9	6,9	4,9
Mai	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,1	5,0	4,2	7,2	4,2
Jun	3,9	3,6	3,3	3,2	3,6	4,0	4,3	3,6	8,0	3,7
Jul	4,0	3,6	3,0	3,0	3,6	3,9	4,6	4,3	8,2	3,8
Ago	4,8	4,2	3,3	3,7	4,0	5,5	5,6	5,2	10,7	4,4
Set	6,0	5,1	4,3	4,9	4,7	5,9	6,9	6,3	14,8	5,0
Out	6,5	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,7	6,8	15,3	5,6
Nov	6,3	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,7	6,7	13,6	5,7
Dez	5,9	5,5	5,2	5,3	5,4	6,6	7,3	6,4	10,9	5,6

**Tabela 31** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Tribo Indígena Kambiwá no município de Floresta/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,1	5,3	4,1	4,8	4,0	6,0	6,4	6,0	8,4	5,5
Fev	5,0	5,1	3,9	4,4	4,0	5,9	6,4	6,0	7,4	5,6
Mar	4,8	5,1	3,9	4,6	3,9	4,3	6,2	5,3	6,6	5,4
Abr	4,2	4,4	3,5	3,9	3,5	4,1	5,6	4,8	5,6	5,0
Mai	3,4	3,5	2,9	2,9	2,9	3,8	4,4	3,9	4,0	4,2
Jun	2,8	2,9	2,2	2,2	2,5	3,4	3,5	3,2	3,1	3,7
Jul	2,8	3,2	1,9	2,4	2,5	3,3	3,5	3,7	3,1	3,6
Ago	3,4	3,7	2,0	2,8	2,7	4,7	4,3	4,5	4,4	4,1
Set	4,4	4,7	2,7	3,8	3,3	5,2	5,6	5,7	6,8	5,0
Out	5,3	5,4	3,4	4,9	3,7	5,6	6,5	6,3	9,5	5,4
Nov	5,6	5,5	4,0	5,1	4,0	6,0	6,9	6,5	10,3	5,7
Dez	5,5	5,5	4,2	5,1	4,0	6,1	6,7	6,3	9,8	5,6

**Tabela 32** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) na Tribo Indígena Pipipã no município de Ibimirim/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,2	5,3	4,1	4,7	4,0	6,1	6,4	6,0	8,4	5,5
Fev	5,0	5,1	3,9	4,4	4,0	5,9	6,4	6,1	7,5	5,6
Mar	4,8	5,0	3,9	4,5	3,9	4,3	6,3	5,4	6,7	5,4
Abr	4,3	4,4	3,5	3,9	3,5	4,1	5,6	4,8	5,7	5,0
Mai	3,5	3,5	2,9	2,9	3,0	3,8	4,4	3,9	4,4	4,2
Jun	2,8	3,0	2,2	2,2	2,5	3,5	3,6	3,3	3,5	3,7
Jul	2,8	3,2	1,9	2,4	2,5	3,3	3,6	3,7	3,5	3,6
Ago	3,5	3,7	2,1	2,8	2,7	4,7	4,4	4,5	4,8	4,1
Set	4,6	4,7	2,7	3,9	3,3	5,2	5,7	5,7	7,6	4,9
Out	5,4	5,4	3,5	5,0	3,8	5,7	6,6	6,4	10,1	5,5
Nov	5,7	5,5	4,0	5,0	4,0	6,0	7,0	6,6	10,6	5,7
Dez	5,5	5,5	4,2	5,1	4,1	6,1	6,8	6,3	9,9	5,6

**Tabela 33** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Crédito Fundiário Santa Fé no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,8	6,1	8,9	5,5
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,1	5,4	6,6	5,6	7,1	5,5
Mar	4,7	4,8	4,6	4,5	4,9	4,0	6,4	4,9	5,6	5,4
Abr	4,4	4,3	4,2	4,0	4,5	3,9	5,9	4,5	6,0	4,9
Mai	4,1	3,9	3,7	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	6,8	4,2
Jun	3,9	3,6	3,2	3,3	3,6	4,0	4,4	3,7	8,0	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,7	3,8
Ago	4,9	4,3	3,3	3,9	4,0	5,5	5,6	5,2	11,4	4,3
Set	6,1	5,2	4,4	5,1	4,7	5,9	6,9	6,3	15,2	5,0
Out	6,5	5,6	5,1	5,2	5,3	6,4	7,7	6,9	15,6	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,6	6,7	14,2	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,3	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Tabela 34** – Evapotranspiração de referência mensal (1995-2014) no Projeto de Crédito Fundiário Poço do Angico no município de Cabrobó/PE, em mm d<sup>-1</sup>, calculada segundo o método de Penman-Monteith FAO e os nove métodos avaliados.

Mês	PMFAO	HARG	TH48	THMOD	CAMAR	BLCRI	JENHA	RADFAO	AEROD	ENERG
Jan	5,4	5,3	5,0	5,0	5,2	6,4	6,8	6,1	9,0	5,5
Fev	5,1	5,2	4,8	4,8	5,1	5,4	6,6	5,6	7,2	5,5
Mar	4,7	4,8	4,6	4,5	4,9	4,0	6,4	4,9	5,6	5,4
Abr	4,4	4,3	4,2	4,0	4,5	3,9	5,9	4,5	6,1	4,9
Mai	4,1	3,9	3,7	3,7	4,0	4,1	5,1	4,2	6,8	4,2
Jun	3,9	3,6	3,2	3,3	3,6	3,9	4,4	3,7	7,9	3,7
Jul	4,1	3,7	3,0	3,2	3,6	3,9	4,6	4,3	8,7	3,8
Ago	4,9	4,3	3,3	3,9	4,0	5,5	5,6	5,2	11,3	4,3
Set	6,1	5,2	4,3	5,1	4,7	5,9	6,9	6,3	15,1	5,0
Out	6,5	5,6	5,0	5,2	5,2	6,4	7,7	6,9	15,6	5,6
Nov	6,4	5,7	5,3	5,4	5,4	6,6	7,6	6,7	14,1	5,7
Dez	5,8	5,5	5,2	5,3	5,3	6,6	7,3	6,4	10,7	5,6

**Anexo 2** – Lâminas brutas de irrigação para atendimento das culturas do milho, feijão caupi, cebola, melancia, banana e capim de corte, considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

**Tabela 35** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo da cultura do milho (125 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	361	344	341	375	402	465	554	640	657	595	504	419
2	B. dos Grandes	297	282	294	343	384	453	543	626	642	578	473	369
3	Negreiros	267	252	268	318	359	431	523	612	632	572	461	346
4	Uri	252	240	259	314	358	431	524	612	631	569	454	335
5	Q. Grande	247	234	254	311	356	431	524	612	631	568	451	332
6	Malícia	335	317	329	292	348	429	523	609	625	562	436	325
7	Pilões	220	204	228	288	342	421	516	604	623	562	440	312
8	Retiro	325	307	323	289	350	434	528	612	625	560	429	315
9	Ipê	163	153	191	280	344	429	525	610	624	559	425	282
10	Vassouras	138	128	181	269	340	433	532	615	625	558	419	269
11	Descanso	134	118	171	255	330	428	532	614	625	560	422	270
12	Jurema	125	103	161	253	342	452	556	633	639	573	429	272
13	Irapuá	128	104	160	251	340	454	560	638	642	577	434	276
14	Quixeramobim	123	100	161	258	353	469	574	647	648	578	432	272
15	Bartolomeu	127	103	160	255	350	468	574	648	650	582	437	277
16	Lafaete	354	315	262	233	227	288	399	505	572	557	494	417
17	Salão	352	309	256	222	210	269	379	491	559	549	492	415
18	Serra Branca	336	285	240	199	189	236	340	456	532	534	482	403
19	Pirambeba	337	286	240	199	188	235	340	456	531	534	483	404
20	Serra Negra	351	299	251	205	190	237	342	461	536	538	489	414
21	Lagedo	361	311	266	225	208	254	359	480	549	545	494	421
22	C. Angicos	370	319	272	230	212	257	361	482	552	548	499	428
23	Monte Alegre	246	231	250	304	349	423	517	607	629	568	452	331
24	Riacho dos Bois	340	323	326	363	394	459	548	633	651	591	495	403
25	Barro Vermelho	344	328	329	367	397	461	550	635	653	592	497	406
26	Tucutú Jibóia	350	333	334	370	398	463	551	637	654	594	500	411
27	Porteiras	328	279	235	200	193	242	347	460	535	535	480	397
28	Eloita Pereira	335	320	323	362	394	460	548	634	651	590	493	400
29	Truká	366	346	339	367	389	450	541	629	652	596	510	427
30	Tumbalalá	384	362	349	370	387	445	536	625	647	592	513	440
31	Kambiwá	368	313	255	198	174	219	323	443	524	535	496	427
32	Pipipã	358	305	255	207	190	236	342	461	537	539	493	419
33	Santa Fé	334	319	323	363	395	461	549	634	651	590	492	398
34	Poço do Angico	335	319	323	362	393	458	547	633	651	591	493	400

**Tabela 36** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo da cultura do feijão caupi (75 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	214	190	183	205	225	249	287	363	404	378	319	257
2	B. dos Grandes	173	147	145	180	212	241	282	355	395	370	308	231
3	Negreiros	153	125	127	165	197	224	269	345	387	365	306	221
4	Uri	144	116	119	161	196	224	269	346	386	364	304	215
5	Q. Grande	141	112	115	158	194	224	270	346	386	364	303	213
6	Malícia	142	207	196	144	186	221	271	345	382	361	299	200
7	Pilões	123	93	96	142	182	216	266	341	380	360	300	203
8	Retiro	134	201	191	139	186	223	275	348	383	360	297	194
9	Ipê	97	48	77	133	181	220	272	346	382	360	296	191
10	Vassouras	84	29	71	124	175	219	278	352	383	359	296	185
11	Descanso	84	24	65	115	167	213	277	353	382	359	299	187
12	Jurema	81	17	56	107	171	223	293	368	390	366	309	189
13	Irapuá	83	19	55	105	170	223	295	372	392	369	312	192
14	Quixeramobim	80	15	54	107	177	232	304	378	396	370	312	189
15	Bartolomeu	83	18	54	106	175	231	304	380	397	372	315	193
16	Lafaete	211	188	158	132	115	134	183	274	332	343	320	256
17	Salão	210	185	155	127	108	121	171	264	324	336	316	257
18	Serra Branca	200	169	141	117	95	104	151	236	305	323	307	254
19	Pirambeba	201	170	141	116	94	104	151	236	305	323	307	255
20	Serra Negra	209	179	149	122	98	104	151	239	309	325	309	260
21	Lagedo	214	187	156	132	113	113	159	253	319	331	311	263
22	C. Angicos	220	193	161	136	116	115	160	254	321	333	313	266
23	Monte Alegre	140	111	114	155	190	218	265	342	384	364	304	213
24	Riacho dos Bois	200	176	170	197	220	245	285	358	400	376	317	250
25	Barro Vermelho	203	178	173	199	222	247	286	359	401	377	318	251
26	Tucutú Jibóia	206	183	177	201	223	247	287	361	402	377	319	254
27	Porteiras	195	164	137	115	96	109	155	239	307	325	307	251
28	Eloita Pereira	197	173	168	196	220	246	285	358	400	376	316	248
29	Truká	218	193	183	202	219	240	278	354	399	377	323	262
30	Tumbalalá	230	205	192	206	218	238	274	352	398	372	321	267
31	Kambiwá	220	191	158	120	88	92	140	227	298	321	311	267
32	Pipipã	213	184	153	123	98	103	151	239	309	326	310	263
33	Santa Fé	196	172	168	196	221	247	286	359	400	376	316	246
34	Poço do Angico	197	172	168	196	219	245	284	358	399	376	317	248

**Tabela 37** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo da cultura da cebola (120 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	322	304	298	328	348	395	471	554	586	536	454	382
2	B. dos Grandes	266	246	253	298	332	385	461	543	573	523	430	339
3	Negreiros	239	219	230	276	309	364	443	530	564	517	421	321
4	Uri	226	207	221	272	308	365	444	530	563	516	416	311
5	Q. Grande	221	202	217	269	307	364	444	530	562	515	414	308
6	Malícia	296	284	294	252	298	362	444	528	557	510	402	286
7	Pilões	197	175	193	248	293	356	438	523	555	510	405	292
8	Retiro	287	275	288	248	299	367	448	531	558	509	397	277
9	Ipê	148	126	155	240	294	362	446	529	557	508	394	270
10	Vassouras	125	103	137	229	289	364	453	534	558	508	390	258
11	Descanso	122	95	129	217	279	359	452	534	557	509	393	259
12	Jurema	115	82	120	212	288	379	475	553	570	520	401	261
13	Irapuá	118	83	118	210	287	381	478	557	573	524	405	265
14	Quixeramobim	114	79	119	215	297	394	490	565	578	526	404	262
15	Bartolomeu	118	81	118	213	295	393	490	567	580	529	408	266
16	Lafaete	317	286	237	209	195	238	331	432	503	497	446	379
17	Salão	316	281	233	200	181	221	313	418	491	490	443	378
18	Serra Branca	303	259	218	181	163	194	280	386	465	475	434	368
19	Pirambeba	304	260	219	180	163	193	280	386	465	475	435	369
20	Serra Negra	316	272	228	187	165	194	281	390	468	478	440	377
21	Lagedo	325	282	241	204	181	209	296	407	481	485	444	382
22	C. Angicos	333	289	247	209	185	211	297	410	484	488	448	388
23	Monte Alegre	220	200	214	264	300	357	438	525	560	515	415	308
24	Riacho dos Bois	304	284	283	317	341	390	465	549	581	533	448	369
25	Barro Vermelho	307	288	286	320	344	392	467	551	582	534	449	371
26	Tucutú Jibóia	313	294	291	323	345	394	468	552	584	535	452	375
27	Porteiras	296	253	214	180	167	199	286	389	468	476	433	363
28	Eloita Pereira	300	281	281	316	341	391	466	549	581	533	446	366
29	Truká	328	306	297	322	338	382	458	544	581	537	459	388
30	Tumbalalá	344	322	306	325	336	378	454	541	576	532	460	399
31	Kambiwá	332	286	234	181	150	178	265	374	457	474	445	388
32	Pipipã	323	278	232	188	165	193	281	390	469	479	442	382
33	Santa Fé	298	280	280	317	342	392	466	550	581	532	445	364
34	Poço do Angico	299	281	280	316	341	390	465	548	581	533	447	365

**Tabela 38** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento de um ciclo da cultura da melancia (80 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	245	225	226	259	282	317	375	451	486	445	369	300
2	B. dos Grandes	192	170	182	230	266	307	366	441	474	434	349	263
3	Negreiros	166	143	160	211	246	288	350	430	465	429	343	246
4	Uri	154	132	152	207	245	288	351	431	465	427	338	238
5	Q. Grande	149	127	147	203	243	287	351	430	464	427	337	235
6	Malícia	205	223	230	186	235	285	352	429	460	423	328	215
7	Pilões	126	101	124	184	230	279	347	425	458	422	330	220
8	Retiro	196	215	224	181	235	288	357	432	461	422	324	207
9	Ipê	96	52	84	174	229	284	354	430	460	421	322	200
10	Vassouras	82	41	75	163	223	285	360	436	461	421	319	190
11	Descanso	82	36	68	151	214	279	360	437	461	422	322	191
12	Jurema	79	29	56	143	219	294	379	454	472	432	330	193
13	Irapuá	81	29	55	141	217	294	381	458	475	436	335	197
14	Quixeramobim	78	27	55	145	226	306	392	465	480	437	334	194
15	Bartolomeu	81	28	54	143	224	304	392	467	481	440	338	198
16	Lafaete	242	213	179	154	142	174	249	344	411	411	368	301
17	Salão	241	209	175	147	130	159	234	332	400	404	365	301
18	Serra Branca	228	188	159	132	116	137	207	302	375	389	356	293
19	Pirambeba	229	189	160	131	115	136	207	302	375	389	356	294
20	Serra Negra	240	200	170	138	118	137	208	305	379	392	360	301
21	Lagedo	247	209	180	153	133	149	220	321	390	397	363	305
22	C. Angicos	254	216	186	158	137	152	221	323	393	400	366	310
23	Monte Alegre	148	125	145	199	237	281	346	426	462	427	338	235
24	Riacho dos Bois	227	206	212	249	275	312	370	446	480	442	364	289
25	Barro Vermelho	231	210	215	252	278	314	371	448	482	443	365	291
26	Tucutú Jibóia	236	215	219	255	279	315	373	449	483	444	368	295
27	Porteiras	221	182	155	131	118	141	212	305	379	391	355	288
28	Eloita Pereira	224	203	210	248	276	313	371	446	480	442	363	286
29	Truká	250	227	226	254	273	306	363	442	480	445	374	307
30	Tumbalalá	265	242	236	258	272	302	359	439	477	441	374	315
31	Kambiwá	255	215	177	134	105	122	194	291	368	388	364	312
32	Pipipã	246	206	173	139	118	136	208	306	379	392	362	305
33	Santa Fé	222	202	209	248	277	314	371	447	481	442	362	284
34	Poço do Angico	223	203	209	248	275	312	370	446	480	442	363	286

**Tabela 39** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento da cultura da banana, ao longo do primeiro ano de cultivo (365 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	871	880	881	877	866	852	838	828	826	833	847	860
2	B. dos Grandes	787	795	795	775	764	750	736	726	725	733	757	775
3	Negreiros	738	746	738	709	698	684	669	660	659	679	707	725
4	Uri	731	739	727	694	680	666	652	642	646	670	699	717
5	Q. Grande	728	736	722	689	673	659	644	635	639	665	693	712
6	Malícia	795	795	770	765	741	727	712	703	715	737	756	778
7	Pilões	707	710	687	655	629	615	600	591	603	635	663	690
8	Retiro	796	792	764	758	729	715	701	697	713	735	757	779
9	Ipê	710	703	676	641	608	594	579	575	598	631	666	693
10	Vassouras	709	697	670	635	597	581	567	566	592	629	666	693
11	Descanso	703	691	664	629	591	575	561	559	585	622	659	686
12	Jurema	728	713	683	647	608	592	579	581	609	648	685	712
13	Irapuá	732	717	688	652	612	596	583	584	613	651	689	715
14	Quixeramobim	748	731	701	664	624	608	595	599	628	667	705	731
15	Bartolomeu	749	733	703	666	627	610	597	600	629	668	706	732
16	Lafaete	632	646	652	654	648	634	618	604	598	599	607	619
17	Salão	606	621	627	630	624	610	594	580	572	573	580	592
18	Serra Branca	536	552	563	568	563	549	529	514	504	502	509	520
19	Pirambeba	536	553	564	569	564	550	530	514	505	503	510	521
20	Serra Negra	555	570	580	585	581	569	550	534	524	522	529	540
21	Lagedo	590	604	612	617	612	600	583	568	558	556	564	575
22	C. Angicos	605	619	627	632	627	615	598	582	572	571	578	590
23	Monte Alegre	718	727	712	680	663	649	634	624	628	655	683	701
24	Riacho dos Bois	838	847	847	842	831	817	802	792	791	798	811	826
25	Barro Vermelho	845	854	855	850	839	825	811	801	799	806	820	833
26	Tucutú Jibóia	855	864	865	861	850	836	821	812	810	817	830	843
27	Porteiras	536	554	563	565	559	544	525	510	501	500	507	521
28	Eloita Pereira	835	844	844	837	826	812	797	788	786	793	807	823
29	Truká	860	869	871	867	857	843	829	818	816	822	835	848
30	Tumbalalá	871	881	883	880	871	857	843	832	828	834	847	859
31	Kambiwá	553	575	587	593	589	574	551	535	524	521	527	538
32	Pipipã	563	578	588	593	589	577	558	542	532	530	536	548
33	Santa Fé	835	843	844	836	825	811	797	787	786	793	806	823
34	Poço do Angico	834	843	843	836	825	811	797	787	785	792	806	822

**Tabela 40** – Lâminas brutas de irrigação, em mm, para atendimento da cultura da banana, ao longo do segundo ano de cultivo (365 dias), considerando diferentes meses de plantio, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	1.057	1.062	1.061	1.056	1.048	1.038	1.030	1.024	1.025	1.031	1.040	1.049
2	B. Grandes	953	957	955	950	941	932	923	918	920	926	936	945
3	Negreiros	887	892	888	881	872	863	854	849	850	856	869	879
4	Uri	875	879	875	863	854	844	835	831	832	842	857	866
5	Q. Grande	868	872	868	854	845	835	827	822	823	836	850	860
6	Malícia	930	932	927	922	913	903	894	890	892	903	912	922
7	Pilões	825	827	822	799	791	781	772	767	774	793	807	816
8	Retiro	924	926	916	910	901	892	883	879	886	897	906	916
9	Ipê	814	816	798	774	764	754	746	743	759	779	794	806
10	Vassouras	808	810	788	764	748	738	730	731	747	768	787	800
11	Descanso	802	804	782	757	736	727	718	719	736	757	780	794
12	Jurema	827	828	805	780	755	745	737	739	757	783	806	820
13	Irapuá	833	833	810	785	759	750	742	744	762	788	812	825
14	Quixeramobim	848	848	824	798	773	763	756	758	777	803	827	840
15	Bartolomeu	850	850	827	801	775	766	758	761	779	806	829	843
16	Lafaete	800	807	810	809	803	794	784	776	773	775	781	790
17	Salão	771	779	782	782	776	767	757	748	745	746	752	761
18	Serra Branca	698	707	711	712	707	698	686	677	672	672	678	687
19	Pirambeba	698	707	711	713	708	699	687	678	673	672	678	687
20	Serra Negra	719	728	733	734	729	720	708	699	693	693	699	708
21	Lagedo	757	766	770	771	766	757	745	736	731	731	737	746
22	C. Angicos	773	782	786	787	782	772	761	751	746	747	753	762
23	Monte Alegre	856	861	857	842	834	824	815	810	811	824	838	848
24	Riacho Bois	1.021	1.026	1.024	1.019	1.011	1.001	992	987	988	994	1.003	1.012
25	B. Vermelho	1.030	1.035	1.033	1.028	1.019	1.010	1.001	996	997	1.003	1.012	1.021
26	Tucutú Jibóia	1.040	1.045	1.044	1.039	1.031	1.021	1.012	1.007	1.008	1.014	1.023	1.032
27	Porteiras	695	704	708	709	704	695	683	674	670	670	676	685
28	Eloita Pereira	1.016	1.021	1.019	1.015	1.006	996	988	982	983	989	999	1.008
29	Truká	1.046	1.051	1.050	1.046	1.037	1.028	1.019	1.013	1.013	1.019	1.028	1.037
30	Tumbalalá	1.057	1.063	1.063	1.059	1.051	1.042	1.032	1.026	1.026	1.031	1.040	1.049
31	Kambiwá	715	725	730	732	727	718	706	696	690	690	695	704
32	Pipipã	727	736	741	742	737	728	716	707	701	701	707	716
33	Santa Fé	1.016	1.020	1.019	1.014	1.005	996	987	982	983	989	998	1.007
34	Poço Angico	1.015	1.020	1.018	1.013	1.005	995	986	981	982	988	997	1.007

**Tabela 41** – Lâminas brutas anuais de irrigação, em mm, para atendimento da cultura do capim de corte, nas 34 comunidades rurais estudadas.

Nº	Comunidade	Mês de plantio											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Captação	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696
2	B. Grandes	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581	1.581
3	Negreiros	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505
4	Uri	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487	1.487
5	Q. Grande	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478	1.478
6	Malícia	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534
7	Pilões	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419
8	Retiro	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524	1.524
9	Ipê	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363
10	Vassouras	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335
11	Descanso	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319
12	Jurema	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346	1.346
13	Irapuá	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354
14	Quixeramobim	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370	1.370
15	Bartolomeu	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374
16	Lafaete	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380
17	Salão	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344	1.344
18	Serra Branca	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260
19	Pirambeba	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260
20	Serra Negra	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285
21	Lagedo	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333
22	C. Angicos	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351
23	Monte Alegre	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464	1.464
24	Riacho Bois	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656
25	B. Vermelho	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666	1.666
26	Tucutú Jibóia	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677
27	Porteiras	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259	1.259
28	Eloita Pereira	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651
29	Truká	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682	1.682
30	Tumbalalá	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694
31	Kambiwá	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273	1.273
32	Pipipã	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294
33	Santa Fé	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650
34	Poço Angico	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649	1.649

**Anexo 3** – Requerimentos de irrigação nas 34 comunidades rurais estudadas, considerando cenários de cultivo específicos para cada comunidade.

**Tabela 42** – Requerimentos de irrigação na comunidade Captação no município Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	169	0,79	133	89	70	73	0,9	82	17	13.865
Fev	145	0,74	108	87	65	54	0,9	60	17	10.146
Mar	149	0,89	133	114	82	65	0,9	72	17	12.277
Abr	135	0,73	98	71	53	55	0,9	61	17	10.345
Mai	128	0,54	68	47	36	40	0,9	45	17	7.617
Jun	118	0,48	57	13	10	48	0,9	54	17	9.122
Jul	127	0,69	87	18	15	75	0,9	83	17	14.181
Ago	153	0,72	110	12	12	100	0,9	111	17	18.842
Set	183	0,74	136	4	4	132	0,9	147	17	24.917
Out	204	0,73	149	17	16	135	0,9	150	17	25.558
Nov	191	0,93	179	34	30	153	0,9	170	17	28.856
Dez	181	0,82	148	61	51	104	0,9	115	17	19.632
Total	1.883		1.406	568	443	1.034		1.149		195.356

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiração de referência; K<sub>cp</sub> = Coeficiente de cultivo médio mensal ponderado; ET<sub>c</sub> = Evapotranspiração de cultura; P = Precipitação mensal; P<sub>ef</sub> = Precipitação efetiva; LLI = Lâmina líquida de irrigação; E<sub>i</sub> = Eficiência de irrigação; LBI = Lâmina bruta de irrigação; VB = Volume bruto; K<sub>s</sub> = 1.

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 43** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Baixio dos Grandes no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	163	0,85	139	110	82	70	0,9	78	83	65.016
Fev	138	0,84	116	112	78	51	0,9	56	83	46.694
Mar	144	0,88	127	144	99	44	0,9	49	83	40.382
Abr	131	0,84	109	94	67	53	0,9	59	83	49.040
Mai	123	0,78	97	54	40	64	0,9	71	83	59.182
Jun	114	0,77	88	15	12	78	0,9	86	83	71.765
Jul	125	0,82	103	20	16	90	0,9	100	83	82.787
Ago	152	0,83	126	15	13	116	0,9	129	83	106.877
Set	181	0,84	152	7	7	146	0,9	162	83	134.496
Out	201	0,84	168	18	17	154	0,9	171	83	141.620
Nov	188	0,89	168	33	29	143	0,9	159	83	132.083
Dez	178	0,86	153	65	54	108	0,9	120	83	99.265
Total	1.836		1.545	686	514	1.116		1.240	996	1.029.207

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, do feijão caupi e da cebola, vegetando nos meses de setembro a dezembro, junho a agosto e janeiro a abril, respectivamente, ocupando 15% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 35% e 50% da área, respectivamente.

**Tabela 44** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Negreiros no município de Salgueiro/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, melancia, e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	161	0,76	123	119	88	53	0,9	59	26	15.398
Fev	136	1,04	141	127	88	66	0,9	74	26	19.156
Mar	142	0,91	129	159	108	37	0,9	41	26	10.622
Abr	129	0,67	87	107	74	28	0,9	31	26	8.153
Mai	120	0,55	66	60	43	32	0,9	35	26	9.187
Jun	110	0,75	83	21	16	70	0,9	77	26	20.108
Jul	122	0,79	97	29	23	77	0,9	86	26	22.241
Ago	149	0,82	122	17	14	110	0,9	122	26	31.792
Set	177	0,80	141	7	7	135	0,9	150	26	38.913
Out	198	0,88	175	19	18	159	0,9	177	26	45.922
Nov	186	0,70	129	32	28	107	0,9	119	26	30.818
Dez	177	0,66	116	65	54	73	0,9	81	26	21.011
Total	1.807		1.408	763	562	946		1.051	312	273.320

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, do feijão caupi e da melancia, vegetando nos meses de dezembro a março, maio a julho e agosto a outubro, respectivamente, ocupando 65% da área. Cultura do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 35% da área.

**Tabela 45** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Uri no município de Salgueiro/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, melancia, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	160	0,68	109	124	91	34	0,9	38	45	17.141
Fev	135	0,88	118	133	91	39	0,9	43	45	19.536
Mar	141	0,79	111	166	113	13	0,9	14	45	6.335
Abr	128	0,62	80	112	76	17	0,9	19	45	8.454
Mai	120	0,54	64	61	44	28	0,9	31	45	13.997
Jun	110	0,67	74	21	16	61	0,9	68	45	30.487
Jul	123	0,70	86	30	24	66	0,9	73	45	32.772
Ago	149	0,73	108	16	13	97	0,9	107	45	48.291
Set	176	0,71	125	7	7	119	0,9	132	45	59.493
Out	197	0,77	152	19	18	136	0,9	151	45	67.951
Nov	186	0,64	119	32	28	95	0,9	105	45	47.422
Dez	177	0,61	108	66	55	62	0,9	69	45	31.014
Total	1.802		1.255	786	576	766		851	540	382.893

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, do feijão caupi e da melancia, vegetando nos meses de dezembro a março, maio a julho e agosto a outubro, respectivamente, ocupando 45% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 45% e 10% da área, respectivamente.

**Tabela 46** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Queimada Grande no município de Salgueiro/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	159	0,60	96	126	92	22	0,9	25	25	6.159
Fev	135	0,75	101	135	92	27	0,9	30	25	7.407
Mar	141	0,96	136	169	114	38	0,9	42	25	10.554
Abr	128	0,86	110	114	78	43	0,9	48	25	12.063
Mai	120	0,80	96	62	45	58	0,9	64	25	16.004
Jun	110	0,77	85	22	17	71	0,9	79	25	19.646
Jul	123	0,77	95	30	24	74	0,9	83	25	20.636
Ago	149	0,79	117	16	13	106	0,9	118	25	29.463
Set	176	0,78	138	7	7	132	0,9	146	25	36.602
Out	197	0,96	190	19	18	175	0,9	194	25	48.525
Nov	186	0,86	160	32	28	136	0,9	151	25	37.754
Dez	176	0,68	120	66	55	76	0,9	85	25	21.155
Total	1.799		1.443	798	583	957		1.064	300	265.969

<sup>1</sup>Cenário composto pela cultura do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 20% e 30% da área, respectivamente.

**Tabela 47** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Malícia no município de Salgueiro/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	156	0,67	105	139	100	22	0,9	25	20	4.978
Fev	133	0,76	101	154	103	16	0,9	18	20	3.553
Mar	140	0,88	124	190	0	124	0,9	137	20	27.468
Abr	126	0,82	104	129	87	29	0,9	32	20	6.466
Mai	118	0,79	93	67	48	52	0,9	57	20	11.478
Jun	110	0,77	84	26	20	67	0,9	75	20	14.944
Jul	123	0,77	94	30	24	74	0,9	82	20	16.441
Ago	149	0,78	116	14	12	106	0,9	118	20	23.607
Set	174	0,77	135	6	6	130	0,9	144	20	28.833
Out	196	0,88	173	20	19	157	0,9	174	20	34.866
Nov	184	0,82	152	31	28	128	0,9	142	20	28.481
Dez	175	0,72	125	67	55	80	0,9	88	20	17.679
Total	1.784		1.405	875	501	985		1.094	240	218.794

<sup>1</sup>Cenário composto pela cultura do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 30% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 40% e 30% da área, respectivamente.

**Tabela 48** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Pilões no município de Verdejante/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, melancia, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	157	0,75	118	136	97	38	0,9	43	25	10.691
Fev	134	0,92	123	151	101	37	0,9	42	25	10.396
Mar	140	0,84	118	187	124	13	0,9	14	25	3.487
Abr	126	0,70	88	129	87	17	0,9	18	25	4.615
Mai	118	0,62	73	68	49	33	0,9	37	25	9.199
Jun	108	0,74	81	28	21	63	0,9	70	25	17.522
Jul	121	0,77	93	31	24	73	0,9	81	25	20.143
Ago	147	0,79	117	15	13	106	0,9	118	25	29.378
Set	173	0,78	134	7	7	129	0,9	143	25	35.700
Out	195	0,83	161	20	19	145	0,9	161	25	40.269
Nov	184	0,71	131	31	28	108	0,9	120	25	30.100
Dez	175	0,69	120	66	55	76	0,9	84	25	20.999
Total	1.779		1.359	869	624	837		930	300	232.498

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, do feijão caupi e da melancia, vegetando nos meses de dezembro a março, maio a julho e agosto a outubro, respectivamente, ocupando 40% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 30% da área.

**Tabela 49** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Retiro no município de Penaforte/CE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	155	0,64	99	145	103	16	0,9	17	30	5.199
Fev	132	0,77	102	160	106	15	0,9	17	30	5.070
Mar	139	0,96	134	199	0	134	0,9	148	30	44.508
Abr	125	0,87	109	135	90	32	0,9	35	30	10.536
Mai	118	0,81	96	69	50	54	0,9	60	30	17.862
Jun	110	0,79	87	26	20	70	0,9	78	30	23.262
Jul	124	0,79	97	29	23	77	0,9	86	30	25.831
Ago	150	0,80	121	13	11	111	0,9	124	30	37.135
Set	175	0,80	139	6	6	134	0,9	149	30	44.757
Out	196	0,96	188	20	19	172	0,9	191	30	57.381
Nov	184	0,87	160	31	28	136	0,9	151	30	45.350
Dez	175	0,71	124	68	56	78	0,9	87	30	26.011
Total	1.783		1.454	900	511	1.029		1.143	360	342.902

<sup>1</sup>Cenário composto pela cultura do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 45% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 20% e 35% da área, respectivamente.

**Tabela 50** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Ipê no município de Jati/CE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	155	0,60	94	149	105	11	0,9	12	10	1.193
Fev	132	0,78	103	167	112	14	0,9	16	10	1.608
Mar	139	1,04	144	206	132	32	0,9	36	10	3.570
Abr	125	0,91	114	141	94	35	0,9	39	10	3.867
Mai	117	0,84	99	72	51	55	0,9	61	10	6.131
Jun	110	0,81	89	29	22	70	0,9	78	10	7.752
Jul	123	0,80	99	30	24	79	0,9	88	10	8.793
Ago	150	0,83	124	12	12	114	0,9	126	10	12.642
Set	174	0,82	142	5	5	138	0,9	153	10	15.314
Out	196	1,04	203	20	19	187	0,9	208	10	20.770
Nov	183	0,91	167	30	27	145	0,9	161	10	16.059
Dez	174	0,70	122	68	56	78	0,9	86	10	8.628
Total	1.777		1.499	929	659	957		1.063	120	106.328

<sup>1</sup>Cenário composto pela cultura do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 60% da área. Cultura do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 40% da área.

**Tabela 51** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Vassouras no município de Brejo Santo/CE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, melancia, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,71	109	157	109	21	0,9	24	145	34.555
Fev	131	0,97	127	179	118	24	0,9	27	145	39.328
Mar	138	0,85	117	221	139	0	0,9	0	145	0
Abr	125	0,63	79	153	100	0	0,9	0	145	0
Mai	117	0,52	60	77	55	16	0,9	18	145	26.422
Jun	110	0,70	77	34	26	56	0,9	62	145	90.494
Jul	125	0,74	92	31	25	71	0,9	79	145	113.873
Ago	152	0,77	117	10	10	109	0,9	121	145	174.996
Set	175	0,75	131	5	5	127	0,9	141	145	204.315
Out	195	0,83	161	20	19	145	0,9	161	145	232.847
Nov	182	0,65	118	28	25	98	0,9	108	145	157.148
Dez	174	0,61	107	67	55	62	0,9	69	145	100.264
Total	1.776		1.295	982	686	729		810	1.740	1.174.242

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, do feijão caupi e da melancia, vegetando nos meses de dezembro a março, maio a julho e agosto a outubro, respectivamente, ocupando 60% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 20% da área.

**Tabela 52** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Descanso no município de Mauriti/CE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,60	93	156	109	5	0,9	6	80	4.650
Fev	131	0,75	98	182	119	2	0,9	2	80	1.625
Mar	138	0,96	133	225	141	12	0,9	14	80	10.953
Abr	125	0,86	108	161	106	18	0,9	20	80	15.629
Mai	116	0,80	93	83	58	44	0,9	48	80	38.721
Jun	109	0,77	84	39	30	59	0,9	66	80	52.476
Jul	124	0,77	96	34	27	73	0,9	81	80	64.842
Ago	152	0,79	120	8	8	113	0,9	125	80	100.307
Set	175	0,78	137	4	4	133	0,9	148	80	118.601
Out	194	0,96	187	21	20	170	0,9	189	80	151.252
Nov	181	0,86	156	26	24	136	0,9	151	80	120.766
Dez	175	0,68	119	64	53	76	0,9	85	80	67.674
Total	1.774		1.423	1.003	698	841		934	960	747.497

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 20% e 30% da área, respectivamente.

**Tabela 53** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Jurema no município de São José de Piranhas/PB, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,59	90	161	112	0	0,9	0	120	0
Fev	132	0,73	96	186	121	0	0,9	0	120	0
Mar	139	0,95	132	235	146	6	0,9	7	120	8.042
Abr	125	0,85	105	174	115	6	0,9	6	120	7.606
Mai	119	0,78	93	89	62	39	0,9	43	120	51.877
Jun	115	0,76	87	41	31	59	0,9	66	120	79.250
Jul	131	0,75	99	36	29	74	0,9	82	120	98.712
Ago	162	0,77	125	9	9	117	0,9	130	120	156.145
Set	181	0,76	139	4	4	135	0,9	150	120	180.004
Out	196	0,95	185	20	19	169	0,9	188	120	225.374
Nov	183	0,85	154	22	20	137	0,9	152	120	182.061
Dez	177	0,67	117	60	50	77	0,9	86	120	102.710
Total	1.812		1.423	1.036	718	819		910	1.440	1.091.781

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 54** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Irapuá no município de São José de Piranhas/PB, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,65	100	159	111	11	0,9	12	51	6.083
Fev	132	0,77	101	183	120	4	0,9	4	51	2.262
Mar	140	0,94	131	234	145	8	0,9	8	51	4.262
Abr	125	0,86	107	176	116	8	0,9	9	51	4.548
Mai	119	0,81	96	91	64	42	0,9	47	51	23.824
Jun	115	0,79	91	43	32	63	0,9	70	51	35.705
Jul	132	0,79	104	38	31	78	0,9	86	51	44.023
Ago	163	0,80	131	8	8	124	0,9	138	51	70.190
Set	182	0,79	145	4	4	142	0,9	157	51	80.214
Out	196	0,94	185	20	19	168	0,9	187	51	95.439
Nov	183	0,86	157	21	20	141	0,9	156	51	79.760
Dez	177	0,72	127	58	48	88	0,9	97	51	49.593
Total	1.818		1.476	1.034	718	875		972	612	495.902

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 40% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 25% e 35% da área, respectivamente.

**Tabela 55** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Quixeramobim no município de São José de Piranhas/PB, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,65	100	162	112	9	0,9	10	47	4.785
Fev	132	0,77	101	187	122	3	0,9	3	47	1.333
Mar	140	0,94	131	236	147	6	0,9	7	47	3.391
Abr	125	0,86	107	178	117	7	0,9	8	47	3.840
Mai	120	0,81	97	89	63	44	0,9	48	47	22.749
Jun	118	0,79	93	40	31	66	0,9	73	47	34.521
Jul	135	0,79	106	35	28	82	0,9	91	47	42.895
Ago	167	0,80	133	8	8	127	0,9	141	47	66.260
Set	185	0,79	147	3	3	144	0,9	160	47	75.245
Out	198	0,94	186	20	19	170	0,9	189	47	88.634
Nov	184	0,86	158	21	20	141	0,9	157	47	73.697
Dez	178	0,72	127	59	49	87	0,9	97	47	45.524
Total	1.832		1.487	1.038	718	886		985	564	462.875

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 40% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 25% e 35% da área, respectivamente.

**Tabela 56** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Bartolomeu no município de Cajazeiras/PB, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	154	0,75	116	160	111	26	0,9	28	22	6.267
Fev	132	0,84	111	184	120	13	0,9	14	22	3.186
Mar	140	0,97	135	235	146	13	0,9	15	22	3.217
Abr	125	0,91	113	179	117	15	0,9	16	22	3.598
Mai	120	0,87	104	91	64	51	0,9	56	22	12.371
Jun	117	0,85	100	41	32	74	0,9	82	22	18.001
Jul	135	0,85	115	37	30	90	0,9	100	22	22.089
Ago	167	0,86	144	7	7	138	0,9	153	22	33.766
Set	185	0,86	159	3	3	156	0,9	174	22	38.199
Out	198	0,97	191	20	19	175	0,9	195	22	42.891
Nov	184	0,91	167	20	19	151	0,9	168	22	37.021
Dez	178	0,80	142	57	48	104	0,9	115	22	25.353
Total	1.835		1.599	1.033	715	1.006		1.118	264	245.959

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 30% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 15% e 55% da área, respectivamente.

**Tabela 57** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Lafaete no município de Monteiro/PB, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	158	0,59	92	80	62	42	0,9	47	60	28.306
Fev	140	0,73	102	78	58	55	0,9	62	60	36.941
Mar	147	0,95	140	112	80	71	0,9	78	60	47.006
Abr	128	0,85	108	89	64	53	0,9	59	60	35.184
Mai	110	0,78	86	98	66	29	0,9	32	60	19.264
Jun	95	0,76	71	69	47	31	0,9	34	60	20.410
Jul	99	0,75	74	61	42	38	0,9	42	60	25.487
Ago	122	0,77	94	39	31	68	0,9	75	60	45.092
Set	153	0,76	117	14	12	107	0,9	119	60	71.310
Out	171	0,95	162	19	17	147	0,9	164	60	98.273
Nov	173	0,85	146	16	15	133	0,9	148	60	88.797
Dez	171	0,67	113	40	34	86	0,9	95	60	57.202
Total	1.666		1.308	715	527	860		955	720	573.272

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 58** - Requerimentos de irrigação na comunidade Vila Produtiva Rural Salão no município de Sertânia/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	158	0,59	93	77	60	44	0,9	49	39	19.154
Fev	139	0,73	102	81	60	53	0,9	59	39	23.148
Mar	147	0,95	139	111	79	70	0,9	78	39	30.459
Abr	127	0,85	107	92	65	50	0,9	56	39	21.813
Mai	108	0,78	85	98	66	28	0,9	31	39	12.069
Jun	91	0,76	69	72	49	27	0,9	30	39	11.674
Jul	95	0,75	72	68	47	31	0,9	35	39	13.602
Ago	118	0,77	91	38	30	65	0,9	72	39	28.140
Set	148	0,76	113	14	12	103	0,9	114	39	44.593
Out	169	0,95	160	20	18	144	0,9	160	39	62.477
Nov	171	0,85	144	17	15	131	0,9	145	39	56.682
Dez	169	0,67	113	40	34	85	0,9	95	39	36.884
Total	1.639		1.287	729	534	832		925	468	360.694

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 59** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Serra Branca no município de Betânia/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	158	0,59	93	76	59	45	0,9	50	35	17.396
Fev	139	0,73	102	96	70	45	0,9	50	35	17.665
Mar	147	0,95	139	120	85	65	0,9	72	35	25.278
Abr	126	0,85	106	108	74	42	0,9	47	35	16.475
Mai	106	0,78	83	96	65	27	0,9	30	35	10.592
Jun	84	0,76	64	79	52	19	0,9	21	35	7.386
Jul	88	0,75	66	65	44	28	0,9	31	35	11.015
Ago	108	0,77	83	43	32	55	0,9	61	35	21.509
Set	136	0,76	104	17	14	92	0,9	102	35	35.686
Out	166	0,95	157	23	20	139	0,9	155	35	54.232
Nov	168	0,85	142	24	22	124	0,9	137	35	48.082
Dez	169	0,67	112	43	36	83	0,9	92	35	32.309
Total	1.595		1.252	790	572	765		850	420	297.623

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 60** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Pirambeba no município de Betânia/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	158	0,59	93	75	58	45	0,9	50	30	15.099
Fev	139	0,73	102	96	70	45	0,9	51	30	15.150
Mar	147	0,95	139	119	85	66	0,9	73	30	21.867
Abr	126	0,85	106	108	74	42	0,9	47	30	14.145
Mai	106	0,78	83	96	65	27	0,9	30	30	9.067
Jun	84	0,76	64	80	52	18	0,9	20	30	6.145
Jul	88	0,75	66	65	44	28	0,9	31	30	9.416
Ago	107	0,77	83	43	32	55	0,9	61	30	18.421
Set	136	0,76	104	17	14	92	0,9	102	30	30.555
Out	166	0,95	157	23	20	139	0,9	155	30	46.472
Nov	168	0,85	142	24	22	124	0,9	137	30	41.210
Dez	169	0,67	112	43	36	83	0,9	92	30	27.702
Total	1.594		1.252	788	572	766		851	360	255.250

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 61** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Serra Negra no município de Floresta/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	160	0,59	94	72	57	48	0,9	53	64	33.892
Fev	141	0,73	103	91	67	49	0,9	54	64	34.591
Mar	148	0,95	141	113	81	70	0,9	78	64	49.984
Abr	127	0,85	108	104	72	45	0,9	50	64	32.138
Mai	107	0,78	84	93	63	29	0,9	32	64	20.672
Jun	85	0,76	64	78	51	20	0,9	22	64	14.051
Jul	88	0,75	66	68	46	27	0,9	30	64	19.041
Ago	107	0,77	83	40	30	56	0,9	63	64	40.168
Set	137	0,76	104	16	13	93	0,9	103	64	66.100
Out	168	0,95	159	23	21	141	0,9	157	64	100.211
Nov	170	0,85	143	25	23	124	0,9	138	64	88.015
Dez	170	0,67	113	43	36	84	0,9	93	64	59.603
Total	1.607		1.262	767	560	785		873	768	558.465

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 62** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Lagedo no município de Floresta/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	162	0,59	95	73	58	48	0,9	54	12	6.429
Fev	143	0,73	105	89	66	51	0,9	57	12	6.791
Mar	151	0,95	143	110	80	74	0,9	82	12	9.869
Abr	129	0,85	109	102	72	47	0,9	52	12	6.292
Mai	110	0,78	86	86	59	35	0,9	39	12	4.643
Jun	88	0,76	67	68	46	27	0,9	30	12	3.613
Jul	91	0,75	69	72	49	27	0,9	30	12	3.569
Ago	111	0,77	85	36	27	62	0,9	68	12	8.215
Set	142	0,76	108	14	12	98	0,9	109	12	13.113
Out	172	0,95	162	23	21	144	0,9	160	12	19.250
Nov	173	0,85	146	27	24	125	0,9	139	12	16.669
Dez	172	0,67	114	45	38	84	0,9	93	12	11.167
Total	1.643		1.290	745	550	822		913	144	109.620

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 63** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Currealinho dos Angicos no município de Floresta/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	163	0,59	96	71	56	50	0,9	55	50	27.655
Fev	144	0,73	105	86	64	53	0,9	59	50	29.704
Mar	152	0,95	144	106	78	77	0,9	85	50	42.517
Abr	130	0,85	110	99	70	49	0,9	55	50	27.254
Mai	110	0,78	86	84	58	36	0,9	40	50	20.104
Jun	89	0,76	67	66	45	29	0,9	32	50	15.911
Jul	92	0,75	69	72	49	27	0,9	30	50	15.085
Ago	112	0,77	86	37	28	62	0,9	68	50	34.186
Set	143	0,76	110	15	12	99	0,9	110	50	54.853
Out	172	0,95	163	22	20	146	0,9	162	50	80.984
Nov	173	0,85	147	27	24	126	0,9	139	50	69.750
Dez	173	0,67	115	45	38	84	0,9	94	50	46.827
Total	1.652		1.297	730	542	837		930	600	464.831

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 64** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Monte Alegre no município de Salgueiro/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	159	0,60	96	126	92	22	0,9	25	50	12.419
Fev	135	0,75	101	137	93	26	0,9	29	50	14.332
Mar	141	0,96	136	170	115	38	0,9	42	50	20.988
Abr	127	0,86	110	116	79	42	0,9	47	50	23.520
Mai	119	0,80	95	63	46	56	0,9	62	50	31.216
Jun	109	0,77	84	24	19	69	0,9	76	50	38.113
Jul	122	0,77	94	32	25	72	0,9	80	50	40.080
Ago	148	0,79	116	17	14	104	0,9	116	50	57.896
Set	175	0,78	137	7	7	131	0,9	145	50	72.517
Out	196	0,96	189	19	18	174	0,9	193	50	96.550
Nov	185	0,86	160	31	28	136	0,9	151	50	75.747
Dez	176	0,68	120	66	55	76	0,9	85	50	42.338
Total	1.793		1.438	807	591	946		1.051	600	525.717

<sup>1</sup>Cenário composto pela cultura do milho vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 20% e 30% da área, respectivamente.

**Tabela 65** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Riacho dos Bois no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	167	0,79	132	95	73	69	0,9	77	30	22.997
Fev	143	0,74	106	95	70	47	0,9	53	30	15.817
Mar	147	0,89	132	124	88	59	0,9	66	30	19.680
Abr	133	0,73	97	79	58	50	0,9	55	30	16.583
Mai	126	0,54	68	50	37	38	0,9	43	30	12.787
Jun	116	0,48	56	14	11	47	0,9	52	30	15.645
Jul	126	0,69	86	19	15	74	0,9	82	30	24.558
Ago	152	0,72	110	14	12	99	0,9	110	30	33.098
Set	182	0,74	135	7	7	129	0,9	143	30	42.951
Out	202	0,73	148	17	16	134	0,9	149	30	44.776
Nov	191	0,93	178	34	30	152	0,9	169	30	50.720
Dez	180	0,82	148	62	52	103	0,9	114	30	34.350
Total	1.867		1.395	610	468	1.002		1.113	360	333.962

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 66** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Barro Vermelho no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	168	0,79	132	94	73	70	0,9	77	18	13.940
Fev	143	0,74	106	93	69	49	0,9	54	18	9.756
Mar	148	0,89	132	122	87	60	0,9	67	18	12.034
Abr	134	0,73	97	77	56	51	0,9	57	18	10.181
Mai	127	0,54	68	49	37	39	0,9	43	18	7.792
Jun	117	0,48	56	13	10	48	0,9	53	18	9.559
Jul	126	0,69	87	19	15	74	0,9	82	18	14.802
Ago	153	0,72	110	14	12	100	0,9	111	18	19.920
Set	183	0,74	135	6	6	130	0,9	144	18	25.915
Out	203	0,73	149	17	16	135	0,9	150	18	26.932
Nov	191	0,93	178	34	30	152	0,9	169	18	30.491
Dez	180	0,82	148	62	52	103	0,9	115	18	20.617
Total	1.872		1.398	601	463	1.010		1.122	216	201.938

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 67** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Tucutú Jibóia no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	168	0,79	132	92	72	71	0,9	79	50	39.570
Fev	144	0,74	107	91	68	50	0,9	56	50	27.902
Mar	148	0,89	132	119	85	62	0,9	69	50	34.494
Abr	134	0,73	98	75	55	52	0,9	58	50	29.038
Mai	127	0,54	68	48	36	40	0,9	44	50	21.991
Jun	117	0,48	56	13	10	48	0,9	53	50	26.633
Jul	126	0,69	87	19	15	74	0,9	82	50	41.170
Ago	153	0,72	110	13	11	100	0,9	112	50	55.782
Set	183	0,74	135	6	6	130	0,9	145	50	72.281
Out	203	0,73	149	17	16	135	0,9	150	50	74.916
Nov	191	0,93	179	34	30	153	0,9	170	50	84.814
Dez	180	0,82	148	61	51	104	0,9	115	50	57.749
Total	1.875		1.401	590	455	1.019		1.133	600	566.340

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 68** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Porteiras no município de Custódia/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	157	0,59	92	79	61	43	0,9	48	42	20.013
Fev	139	0,73	102	99	72	43	0,9	48	42	20.292
Mar	146	0,95	138	124	88	62	0,9	69	42	29.106
Abr	125	0,85	106	109	74	41	0,9	46	42	19.310
Mai	107	0,78	84	98	66	26	0,9	29	42	12.331
Jun	85	0,76	65	78	51	20	0,9	22	42	9.403
Jul	89	0,75	67	63	43	30	0,9	34	42	14.194
Ago	110	0,77	85	46	34	56	0,9	62	42	25.973
Set	138	0,76	106	18	15	93	0,9	103	42	43.309
Out	166	0,95	157	22	20	140	0,9	156	42	65.411
Nov	168	0,85	142	22	20	125	0,9	139	42	58.339
Dez	168	0,67	112	43	36	83	0,9	92	42	38.594
Total	1.599		1.255	801	578	763		848	504	356.275

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 69** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Assentamento Eloita Pereira no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	167	0,79	131	97	75	68	0,9	75	30	22.520
Fev	142	0,74	106	96	70	47	0,9	52	30	15.543
Mar	147	0,89	131	126	89	58	0,9	64	30	19.239
Abr	133	0,73	97	80	58	49	0,9	54	30	16.346
Mai	126	0,54	68	50	37	38	0,9	43	30	12.764
Jun	116	0,48	56	14	11	47	0,9	52	30	15.656
Jul	126	0,69	86	19	15	74	0,9	82	30	24.610
Ago	152	0,72	110	14	12	99	0,9	111	30	33.166
Set	182	0,74	135	7	7	129	0,9	143	30	42.985
Out	203	0,73	148	17	16	134	0,9	149	30	44.774
Nov	191	0,93	178	34	30	152	0,9	169	30	50.670
Dez	180	0,82	148	62	52	103	0,9	114	30	34.266
Total	1.866		1.394	616	472	998		1.108	360	332.539

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 70** - Requerimentos de irrigação na comunidade Tribo Indígena Truká no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	169	0,79	133	86	67	76	0,9	84	100	84.455
Fev	146	0,74	109	86	64	55	0,9	61	100	60.947
Mar	150	0,89	133	113	82	66	0,9	73	100	73.367
Abr	135	0,73	99	72	53	54	0,9	61	100	60.553
Mai	127	0,54	68	50	37	39	0,9	43	100	43.023
Jun	116	0,48	56	16	13	46	0,9	51	100	50.691
Jul	125	0,69	85	21	17	72	0,9	80	100	79.574
Ago	150	0,72	108	17	14	96	0,9	107	100	106.661
Set	181	0,74	134	6	6	129	0,9	143	100	143.143
Out	202	0,73	148	17	16	134	0,9	149	100	148.906
Nov	191	0,93	178	33	29	153	0,9	170	100	169.806
Dez	182	0,82	149	59	49	106	0,9	118	100	117.872
Total	1.874		1.401	578	448	1.025		1.139	1.200	1.138.997

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 71** - Requerimentos de irrigação na comunidade Tribo Indígena Tumbalalá no município de Curaçá/BA, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	171	0,79	134	81	64	80	0,9	88	100	88.477
Fev	149	0,74	111	80	60	60	0,9	67	100	66.846
Mar	151	0,89	135	106	77	71	0,9	79	100	78.956
Abr	137	0,73	100	68	51	57	0,9	64	100	63.886
Mai	127	0,54	68	49	37	39	0,9	44	100	43.508
Jun	116	0,48	56	16	13	45	0,9	50	100	50.489
Jul	123	0,69	84	21	17	71	0,9	79	100	78.529
Ago	149	0,72	107	18	15	94	0,9	105	100	104.609
Set	180	0,74	133	5	5	129	0,9	143	100	143.221
Out	201	0,73	147	17	16	133	0,9	148	100	148.264
Nov	189	0,93	177	35	30	150	0,9	167	100	166.619
Dez	181	0,82	149	59	49	106	0,9	118	100	117.817
Total	1.875		1.401	555	435	1.036		1.151	1.200	1.151.221

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 72** - Requerimentos de irrigação na comunidade Tribo Indígena Kambiá no município de Ibimirim/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	159	0,59	94	63	51	52	0,9	58	100	58.231
Fev	140	0,73	103	82	60	54	0,9	60	100	59.651
Mar	148	0,95	140	102	75	76	0,9	84	100	84.065
Abr	127	0,85	108	96	68	49	0,9	54	100	54.428
Mai	105	0,78	82	97	65	26	0,9	29	100	28.792
Jun	83	0,76	62	84	55	15	0,9	17	100	16.946
Jul	85	0,75	64	74	49	22	0,9	24	100	24.368
Ago	104	0,77	80	44	32	52	0,9	58	100	58.119
Set	132	0,76	101	18	15	88	0,9	98	100	98.033
Out	163	0,95	155	24	21	136	0,9	152	100	151.608
Nov	167	0,85	142	23	21	124	0,9	138	100	137.523
Dez	169	0,67	113	40	34	85	0,9	94	100	94.472
Total	1.584		1.243	747	545	780		866	1.200	866.237

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 73** - Requerimentos de irrigação na comunidade Tribo Indígena Pipipã no município de Floresta/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	160	0,59	94	70	55	49	0,9	55	100	54.606
Fev	141	0,73	103	88	65	51	0,9	56	100	56.129
Mar	149	0,95	141	110	79	73	0,9	81	100	80.719
Abr	128	0,85	108	102	71	46	0,9	51	100	51.460
Mai	107	0,78	84	93	63	29	0,9	32	100	32.477
Jun	85	0,76	64	78	51	20	0,9	22	100	22.122
Jul	88	0,75	66	69	46	26	0,9	29	100	29.164
Ago	107	0,77	83	40	30	56	0,9	63	100	62.654
Set	137	0,76	105	16	13	93	0,9	103	100	103.437
Out	168	0,95	159	23	21	141	0,9	157	100	156.820
Nov	170	0,85	144	25	23	124	0,9	138	100	137.790
Dez	171	0,67	114	43	36	84	0,9	93	100	93.403
Total	1.611		1.265	757	555	793		881	1.200	880.781

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril e agosto a novembro, e cultura do feijão caupi vegetando nos meses de maio a julho, ocupando 50% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, cada uma ocupando 25% da área.

**Tabela 74** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Crédito Fundiário Santa Fé no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ETo (mm)	Kcp	ETc (mm)	P (mm)	Pef (mm)	LLI (mm)	Ei	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	167	0,79	131	98	75	67	0,9	74	20	14.851
Fev	142	0,74	105	97	71	46	0,9	51	20	10.201
Mar	147	0,89	131	126	89	58	0,9	64	20	12.792
Abr	133	0,73	97	80	58	49	0,9	54	20	10.878
Mai	126	0,54	68	50	37	38	0,9	43	20	8.507
Jun	116	0,48	56	13	10	48	0,9	53	20	10.587
Jul	126	0,69	86	19	15	74	0,9	82	20	16.435
Ago	153	0,72	110	14	12	100	0,9	111	20	22.137
Set	183	0,74	135	7	7	129	0,9	143	20	28.696
Out	203	0,73	148	17	16	134	0,9	149	20	29.866
Nov	191	0,93	178	34	30	152	0,9	169	20	33.772
Dez	180	0,82	148	62	52	103	0,9	114	20	22.816
Total	1.865		1.394	617	473	997		1.108	240	221.538

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.

**Tabela 75** - Requerimentos de irrigação na comunidade Projeto de Crédito Fundiário Poço do Angico no município de Cabrobó/PE, considerando um cenário de cultivo<sup>1</sup> composto pelas culturas do milho, feijão caupi, cebola, banana e capim de corte.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>cp</sub>	ET <sub>c</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>ef</sub> (mm)	LLI (mm)	E <sub>i</sub>	LBI (mm)	Área (ha)	VB (m <sup>3</sup> )
Jan	167	0,79	131	97	75	68	0,9	75	12	9.008
Fev	142	0,74	106	97	71	46	0,9	51	12	6.154
Mar	147	0,89	131	126	89	58	0,9	64	12	7.696
Abr	133	0,73	97	80	58	49	0,9	54	12	6.536
Mai	126	0,54	68	50	37	38	0,9	42	12	5.095
Jun	116	0,48	56	14	11	47	0,9	52	12	6.244
Jul	126	0,69	86	19	15	74	0,9	82	12	9.817
Ago	152	0,72	110	14	12	99	0,9	110	12	13.236
Set	182	0,74	135	7	7	129	0,9	143	12	17.152
Out	202	0,73	148	17	16	134	0,9	149	12	17.891
Nov	191	0,93	178	33	29	153	0,9	169	12	20.338
Dez	180	0,82	148	62	52	103	0,9	114	12	13.716
Total	1.864		1.393	617	472	997		1.107	144	132.883

<sup>1</sup>Cenário composto pelas culturas da cebola, do feijão caupi e do milho, vegetando nos meses de janeiro a abril, junho a agosto e setembro a dezembro, respectivamente, ocupando 55% da área. Culturas da banana e do capim de corte, vegetando nos meses de janeiro a dezembro, ocupando 30% e 15% da área, respectivamente.