

Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaguaribe - CE¹

Spatial pattern of reference evapotranspiration and effective rainfall applied to ascertain irrigation requirements on the lower Jaguaribe Basin

Fabio Chaffin Barbosa², Adunias dos Santos Teixeira³ e Rubens Sonsol Gondim⁴

RESUMO

Para a quantificação mais precisa do balanço hídrico em uma determinada área, é necessário que os dados pontuais sejam espacializados de modo a se estimar valores médios para toda área em análise. Foram estimados valores médios mensais de precipitação efetiva e evapotranspiração de referência para os municípios com áreas irrigadas da região do Baixo Jaguaribe, utilizando dados de cinco estações meteorológicas e doze postos pluviométricos da região. Para tal, foi empregado o método do inverso do quadrado da distância. Os balanços hídricos obtidos possibilitam uma estimativa mais precisa dos volumes e vazões a serem outorgados para cada área irrigada.

Termos para indexação: outorga, irrigação, geoestatística, SIG.

ABSTRACT

In order to more precisely quantify the water balance over one given area, it is necessary that all local data be geographically located and average values computed over that area being analyzed. In this paper, monthly average values of effective precipitation and reference evapotranspiration were estimated for the municipalities contained the irrigated areas of the Lower Jaguaribe Valley based on 5 weather stations and 12 rain gauge sites and using the squared inverse distance algorithm. The generated hydrologic balances made it possible to obtain more precise values of volume and flowrate to be allocated to each irrigated field on the watershed.

Index terms: water rights, irrigation, geostatistics, GIS.

¹ Recebido para publicação em: 01/06/2004.

Aprovado em: 06/12/2004.

² Eng. Agr. da PROJETEC Projetos Técnicos, estudante de Mestrado em Irrigação e Drenagem, CCA/DENA, UFC, Fortaleza, CE, e-mail: fchaffin@projeteconet.com.br

³ Prof. Adj., Ph.D., Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE, e-mail: adunias@ufc.br

⁴ Eng. Agr., Mestre em Irrigação e Drenagem, Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, e-mail: rubens@cpat.embrapa.br

Introdução

A demanda de água do rio Jaguaribe distribui-se entre irrigação (83%), consumo humano (12%) e industrial (5%) (Ceará, 1998). Estes números indicam a importância da agricultura irrigada para região, assim como o risco desta atividade econômica em função da concorrência pelo uso da água com outras atividades consideradas prioritárias pela legislação de recursos hídricos.

O termo Precipitação Efetiva (Pef) tem diferentes interpretações, nas diferentes especialidades, sendo na agricultura definida como a parte da precipitação que fica armazenada no solo até a profundidade efetiva das raízes das plantas e assim disponível para os cultivos. É a diferença entre a precipitação total e as diferentes perdas como escoamento superficial, percolação além da zona radicular do solo e evaporação da água interceptada pela vegetação. Há que se considerar que as necessidades hídricas das culturas variam em decorrência de diferentes demandas espaciais e temporais (Pozzebon et al., 2003). Segundo Jensen et al. (1990), a lâmina de Pef armazenada no solo durante um período depende da frequência de ocorrência e características (total precipitado, duração e intensidade) da precipitação, das condições da superfície do solo e da capacidade de armazenagem de água do solo disponível na ocasião da chuva. Rodrigues et al. (2003) afirmam que nos últimos anos várias metodologias foram desenvolvidas com a finalidade de estimar a Pef em áreas agrícolas, dentre estas destaca-se a desenvolvida pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (USDA-SCS), por ser a mais utilizada.

A quantificação da chuva é obtida com a coleta da quantidade de água precipitada em postos pluviométricos, de forma pontual, assim como a evapotranspiração que é estimada a partir de parâmetros físicos e climáticos medidos em estações meteorológicas.

Para a quantificação mais precisa do balanço hídrico em uma determinada área, é necessário que os dados pontuais sejam espacializados de modo a se estimar valores médios para toda área em análise (Freitas e Lopes, 2003). Ian e Wein (1998), citados por Amorim et al. (2003), afirmam que o uso de dados de estações climatológicas próximas pode ser realizado adotando dois procedimentos distintos: ou supõe-se que os dados climáticos de uma dada estação sejam representativos de uma região circunvizinha a qual engloba um determinado local específico; ou então se faz a

interpolação espacial das variáveis climáticas para gerar dados para um local específico ou para uma série de locais.

Valores médios de variáveis climatológicas podem ser obtidos por diversos métodos que se baseiam em relações entre as áreas de influência e distância entre postos de coleta de dados. Pellegrino (1995) e Wei e McGuinness (1973), citados por Pellegrino (1998), obtiveram melhores resultados com o método do inverso do quadrado da distância para variáveis meteorológicas, quando comparado a outros métodos clássicos como o de Thiessen e o da média aritmética, tomando-se como padrão, o método das isoietas. Amorim et al. (2003), comparando diferentes métodos de interpolação para dados climáticos, obtiveram melhor desempenho do método *Inverso da Potência da Distância (IPD)* para dados de temperatura mínima, evaporação e insolação. Estes mesmos autores afirmam que o *IPD* é um dos métodos mais comumente aplicados para estimativa de dados climáticos e é a técnica de interpolação mais simples.

Segundo Pellegrino et al. (1998), uma das aplicações principais de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) em agrometeorologia é a de transformar dados numéricos, obtidos em pontos referenciados geograficamente na superfície, em mapas interpolados a partir das informações originais, obtendo-se valores estimados para todas as localidades da região representada, não se restringindo apenas aos dados observados inicialmente. Com isso, gera-se uma série de informações confiáveis a respeito do comportamento espacial da variável, sem a necessidade de observação direta.

Perdigão e Moita (2003) afirmam que a utilização de técnicas de espacialização em meteorologia e climatologia encontra-se bastante divulgada, possibilitando a utilização de tais métodos em combinação com técnicas de SIG. Chung et al. (1997) aplicaram SIG para o cálculo da distribuição espacial da ETo em uma bacia hidrográfica na Coreia, através da interpolação espacial dos dados de 28 estações climáticas. Naoum e Tsanis (2003) utilizaram SIG para estimativa da pluviometria de bacias hidrográficas na ilha de Creta na Grécia, a partir de uma rede de pluviômetros, utilizando diferentes métodos de interpolação. Li et al. (2003) desenvolveram um aplicativo (*ArcET*) no ambiente ESRI, ArcGis e ArcObjects, para interpolação de dados climáticos e cálculo da evapotranspiração de referência (ETo), podendo ainda ser combinado com os

coeficientes culturais da cobertura vegetal do terreno, constituindo-se numa eficaz ferramenta para estimativa da distribuição espacial e temporal da evapotranspiração.

Cabral (2000) propôs o agrupamento de municípios vizinhos do Estado do Ceará com aqueles que dispunham de dados climáticos completos para cálculo de ETo por Penman-Monteith/FAO. “O critério utilizado para o agrupamento destes municípios em regiões climaticamente semelhantes foi a verificação do mesmo padrão de distribuição da ETo de Hargreaves ao longo do ano.”

O objetivo do presente trabalho consiste na determinação de valores médios de Pef e ETo para a região irrigada dos municípios da região do Baixo Jaguaribe, com vistas a possibilitar uma estimativa mais precisa do balanço hídrico e das necessidades de irrigação das culturas para fins de suporte técnico no planejamento e concessão de outorgas de direito de uso de água para irrigação. Os resultados ora obtidos são comparados àqueles propostos por Cabral (2000).

Material e Métodos

Foram utilizados dados médios mensais de chuva de 5 estações meteorológicas do INMET e de 12 postos pluviométricos situados na região de interesse e circunvizinhos, possibilitando a interpolação dos dados considerando também a influência das regiões do entorno. A Tabela 1 e a Figura 1 apresentam as estações meteorológicas e postos pluviométricos utilizados nesse estudo. A Tabela 2 apresenta os dados pluviométricos médios mensais das mesmas.

A partir dos dados de precipitação média mensal foram estimadas as Pef utilizando o método proposto pelo USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS), apresentado nas Equações (1) e (2) (Clarke, 1998).

$$P_{ef} = \frac{[Pt(125 - 0,2Pt)]}{125} \quad (Pt < 250\text{mm}) \quad (1)$$

$$P_{ef} = 125 + 0,1Pt \quad (Pt > 250\text{mm}) \quad (2)$$

onde:

P_{ef} = Precipitação efetiva (mm/mês);

Pt = Precipitação total (mm/mês).

Tabela 1 - Estações meteorológicas (EM) e postos pluviométricos (PP) utilizados neste estudo.

Município	Estação/Posto	Latitude	Longitude
Aracati	EM 437000	04° 34' S	37° 46' W
Aroeiras	PP 437001	04° 34' S	37° 58' W
Castanhão	PP 538008	05° 28' S	38° 24' W
Curral Novo	PP 638009	06° 02' S	38° 52' W
Icó	PP 638014	06° 25' S	38° 52' W
Iguatu	EM 639044	06° 22' S	39° 18' W
Jaguaribe	PP 538043	05° 54' S	38° 37' W
Jaguaruana	EM 437006	04° 47' S	37° 46' W
Limoeiro do Norte	PP 538009	05° 09' S	38° 06' W
Morada Nova	EM 538000	06° 01' S	38° 23' W
Mossoró - RN	EM 82591	05° 12' S	37° 18' W
Peixe Gordo	PP 538044	05° 13' S	38° 12' W
Pereiro	PP 638011	06° 03' S	38° 28' W
Russas	PP 437010	04° 56' S	38° 07' W
S. J. do Jaguaribe	PP 538010	05° 17' S	38° 16' W
Solonópole	PP 539023	05° 44' S	39° 01' W
Vieira	PP 437005	04° 59' S	37° 49' W

Fontes: EM (INMET, 2004); PP (ANEEL, 2001)



Figura 1 – Localização das áreas irrigadas, estações meteorológicas e postos pluviométricos na região em estudo e circunvizinhos.

As ETo foram obtidas de ESAM (2004) para Mossoró-RN e Cabral (2000) para as demais estações meteorológicas, estimadas pelo método Penman-Monteith, utilizando a equação proposta pela FAO, 1991 (Doorenbos e Pruitt, 1992). A Tabela 3 apresenta os valores estimados das ETo médias mensais.

Tabela 2 - Dados pluviométricos médios mensais das estações e postos utilizados.

Estação/Posto	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Aracati	1912-1983	74,9	139,3	235,3	221,2	135,6	47,6	20,4	3,3	2,6	4,7	6,1	19,8	910,8
Aroeiras	1962-1999	63,5	112,4	211,6	220,4	121,5	65,8	26,6	6,6	4,3	6,5	6,8	25,0	871,0
Jaguaruana	1912-1983	43,0	119,9	211,5	182,8	108,4	45,3	21,0	3,6	2,3	1,3	3,4	11,7	754,2
Russas	1962-1977	77,6	92,8	234,8	218,6	129,6	56,3	25,0	3,9	1,9	0,2	1,7	14,2	856,6
Vieira	1962-1983	64,6	105,0	178,1	190,7	124,3	48,9	24,2	4,4	5,0	0,8	1,5	18,8	766,3
Morada Nova	1912-1976	81,3	115,2	198,5	163,8	100,7	43,0	16,5	3,4	2,6	1,1	3,0	18,0	747,1
Limoeiro Norte	1984-1999	65,3	126,9	185,4	171,5	92,8	38,1	16,6	3,6	2,3	1,9	3,4	15,7	723,5
Mossoró - RN	1991-2003	58,4	112,7	180,2	178,6	113,1	48,5	45,7	10,7	4,4	2,1	3,3	19,2	776,9
Peixe Gordo	1992-1999	83,3	97,0	170,1	130,6	88,3	58,3	9,6	13,3	0,6	2,4	0,3	18,3	672,1
S. J. Jaguaribe	1911-1983	71,4	114,6	190,9	156,0	91,0	42,2	19,5	4,1	1,1	2,3	3,0	18,7	714,8
Castanhão	1962-1999	64,4	111,3	213,8	179,5	92,8	48,4	31,8	7,0	2,6	3,0	3,2	26,8	784,6
Solonópole	1948-1983	67,7	100,4	170,4	158,9	111,9	44,9	20,1	7,6	7,6	0,8	5,7	15,5	711,5
Jaguaribe	1992-1999	110,9	97,8	147,0	149,7	100,0	23,7	19,1	13,4	0,3	2,8	5,6	21,0	691,3
Curral Novo	1934-1983	64,6	118,8	186,2	122,4	77,9	29,5	12,9	2,4	4,3	3,9	25,1	20,4	668,4
Pereiro	1910-1983	90,1	168,7	303,6	239,3	128,4	58,0	28,3	9,3	9,8	7,1	13,1	32,5	1.088,2
Iguatu	1989-2000	128,3	109,1	182,4	176,4	120,2	28,4	9,0	8,1	13,1	18,9	14,2	54,9	863,0
Icó	1912-1999	87,5	131,0	200,8	148,4	77,4	27,3	11,8	4,8	5,3	9,1	14,7	33,3	751,4

Fontes: Mossoró (ESAM, 2004); demais (ANEEL,2001).

Tabela 3 - ETo média mensal estimada pelo método Penman-Monteith/FAO, para as estações meteorológicas utilizadas neste estudo.

Estação	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Aracati	1912-1983	193,8	163,8	160,9	146,1	142,3	133,8	187,2	217,0	204,9	214,2	165,6	164,3	2.093,9
Mossoró-RN	1991-2003	185,1	140,1	119,1	106,3	112,3	118,6	148,2	188,4	209,2	214,6	205,4	197,9	1.945,2
Iguatu	1989-2000	154,7	114,8	107,9	99,3	106,6	114,9	146,9	175,2	182,4	197,2	187,8	184,1	1.771,8
Jaguaruana	1912-1983	191,3	149,5	140,4	130,8	131,1	136,5	160,0	195,6	210,6	230,3	213,6	200,3	2.090,0
Morada Nova	1912-1976	208,6	157,9	151,6	137,1	141,4	140,4	164,3	195,0	219,3	238,4	229,8	225,4	2.209,2

Fontes: Mossoró (ESAM, 2004); demais (CABRAL,2000).

Para a interpolação dos dados de Pef e ETo utilizou-se o *Método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD)*. Esse método assume que o valor a ser estimado para a variável em um ponto X qualquer é proporcional ao valor medido em n estações vizinhas (P_i) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o ponto X e cada uma destas n estações (d_i^2). Portanto, quanto mais distante o posto estiver do ponto X, menor será seu peso, ou seja, menor sua influência sobre o valor a ser estimado (P_o). A Equação (3) apresenta o método de cálculo (Pellegrino et al., 1998).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_{io}^m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{io}^m}} \quad (3)$$

onde: P_o = valor estimado; P_i = valor medido na estação i; d_i = distância entre o ponto a ser estimado e a estação i; n = número de estações usadas na estimativa de P_o ; i = número da estação (variando de 1 a n); e m = expoente que define a ordem da interpolação (IQD m=2).

O software *Surfer 7.0* foi usado para a confecção de mapas de contorno com curvas de isovalores com base nos dados médios mensais de Pef (estações meteorológicas e postos pluviométricos) e ETo (estações meteorológicas), a partir dos dados espacialmente distribuídos através do método do IQD.

Com base na localização georeferenciada das áreas irrigadas obtidas do cadastro de outorga d'água da região do Baixo Jaguaribe da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) (Ceará, 2002),

foram estimados os valores de Pef e ETo para cada uma das áreas irrigadas, através da interpolação dos dados pelo método do IQD.

O mapa da Figura 1 apresenta a localização das áreas irrigadas. A Tabela 4 apresenta a relação dos municípios com os quantitativos do cadastro de outorga d'água da região do Baixo Jaguaribe, com 967 irrigantes outorgados e 5.071 ha irrigados.

Tabela 4 - Quantidade de irrigantes outorgados e área irrigada no Baixo Jaguaribe.

Município	Irrigantes Outorgados	Área Irrigada (ha)
Alto Santo	61	225,4
Aracati	3	2,3
Itaiçaba	21	80,8
Jaguaruana	139	792,9
Limoeiro do Norte	250	2.164,4
Morada Nova	1	3,0
Quixeré	39	61,2
Russas	61	505,2
S. João do Jaguaribe	303	784,5
Tabuleiro do Norte	89	451,1
Total	967	5.070,6

Fontes: Ceará, 2004.

Os mapas de contorno elaborados pelo *Surfer* foram exportados no formato *shapefile*, possibilitando a elaboração de mapas com as isolinhas de Pef e ETo junto com a localização das áreas irrigadas, estações meteorológicas, postos pluviométricos e os limites municipais da região do Baixo Jaguaribe, elaborados através do software *ArcView GIS 3.2*.

Os valores estimados para cada área irrigada foram agrupados em função do município de localização e, em seguida, obtidas as médias mensais da Pef e ETo por município. Estes valores foram comparados com as médias das estações ou postos do mesmo município e com aqueles obtidos pela metodologia utilizada por Cabral (2000).

Resultados e Discussão

A Tabela 5 apresenta os resultados das estimativas da Pef pelo método USDA-SCS para os postos pluviométricos da região de interesse e circunvizinhos.

A média do total anual da Pef para todos os postos é de 606,8 mm, variando de 539,8 no posto de Mossoró-RN a 754,4 mm em Pereiro.

Os postos situados dentro da região de interesse (Castanhão, São João do Jaguaribe, Peixe Gor-

Tabela 5 - Pef (mm) estimada pelo método USDA-SCS para os postos pluviométricos utilizados.

Local	Posto	X-coord	Y-coord	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Aracati	437000	636.923	9.494.130	65,9	108,3	146,7	142,9	106,2	44,0	19,7	3,3	2,6	4,7	6,0	19,2	669,5
Aroeiras	437001	613.546	9.494.130	57,0	92,2	140,0	142,7	97,9	58,9	25,5	6,5	4,3	6,4	6,7	24,0	662,1
Castanhão	538008	564.566	9.394.223	57,8	91,5	140,7	127,9	79,0	44,7	30,2	6,9	2,6	3,0	3,2	25,7	613,2
Mossoró - RN	82591	688.422	9.424.973	47,3	84,4	119,0	115,6	82,4	37,8	19,5	8,4	2,4	1,9	5,8	15,3	539,8
Curral Novo	638009	514.472	9.331.984	57,9	96,2	130,7	98,4	68,2	28,1	12,6	2,4	4,3	3,9	24,1	19,7	546,5
Icó	638014	516.698	9.290.826	75,3	103,5	136,3	113,2	67,8	26,1	11,6	4,8	5,3	9,0	14,4	31,5	598,8
Iguatu	639044	466.822	9.295.883	102,0	90,1	129,2	126,6	97,1	27,1	8,9	8,0	12,8	18,3	13,9	50,1	684,1
Jaguaribe	538043	542.302	9.346.438	91,2	82,5	112,4	113,8	84,0	22,8	18,5	13,1	0,3	2,8	5,5	20,3	567,2
Jaguaruana	437006	633.584	9.465.282	40,0	96,9	139,9	129,3	89,6	42,0	20,3	3,6	2,3	1,3	3,4	11,5	580,1
Limoeiro do Norte	538009	597.962	9.431.982	58,5	101,1	130,4	124,4	79,0	35,8	16,2	3,6	2,3	1,9	3,4	15,3	571,9
Morada Nova	538000	570.132	9.435.313	70,7	94,0	135,5	120,9	84,5	40,0	16,1	3,4	2,6	1,1	3,0	17,5	589,3
Peixe Gordo	538044	591.282	9.421.989	72,2	81,9	123,8	103,3	75,8	52,9	9,5	13,0	0,6	2,4	0,3	17,8	553,5
Pereiro	638011	559.000	9.329.760	77,1	123,2	155,4	147,7	102,0	52,6	27,0	9,2	9,6	7,0	12,8	30,8	754,4
Russas	437010	597.962	9.454.184	68,0	79,0	146,6	142,1	102,7	51,2	24,0	3,9	1,9	0,2	1,7	13,9	635,2
S. J. do Jaguaribe	538010	581.264	9.415.327	63,2	93,6	132,6	117,1	77,8	39,4	18,9	4,1	1,1	2,3	3,0	18,1	571,2
Solonópole	539023	554.547	9.368.668	60,4	84,3	123,9	118,5	91,9	41,7	19,5	7,5	7,5	0,8	5,6	15,1	576,7
Vieira	437005	631.357	9.448.634	57,9	87,4	127,3	132,5	99,6	45,1	23,3	4,4	5,0	0,8	1,5	18,2	603,0

do, Limoeiro do Norte, Vieira, Russas e Jaguaruana) apresentaram média do total anual de 589,7 mm, variando de 553,5 mm em Peixe Gordo a 635,2 mm em Russas. Para todos os postos, cerca de 75% do total anual precipitado ocorre no período de fevereiro a maio.

Observa-se uma tendência de redução das precipitações anuais médias no sentido do litoral (669,5 mm em Aracati e 662,1 mm em Aroeiras) para o interior (546,5 mm em Curral Novo e 598,8 mm em Icó), havendo exceções como Pereiro, situado a cerca de 200 km do litoral e que apresenta os maiores índices pluviométricos (média anual de 754,4 mm), provavelmente em função das chuvas orográficas provocadas pela Serra do Pereiro. Os dados de Iguatu também contradizem a tendência: embora com a localização mais continental, apresenta um total anual médio de 684,1 mm, superior aos postos do litoral. Segundo Ceará (1998), “[...] para a estação de Iguatu, os valores de precipitação média mensal publicados pelas Normais Climatológicas de 1961-1990 pelo Departamento Nacional de Meteorologia, apresentam valores extremamente elevados (2.279 mm anuais) e defasados em relação à estação úmida natural da região. Provavelmente, trata-se de um equívoco computacional da própria publicação”.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, os mapas de contorno com as isolinhas das estimativas de Pef (USDA-SCS) do mês de março e ETo (Penman-Monteith/FAO) do mês de outubro, correspondendo aos meses de maior precipitação e

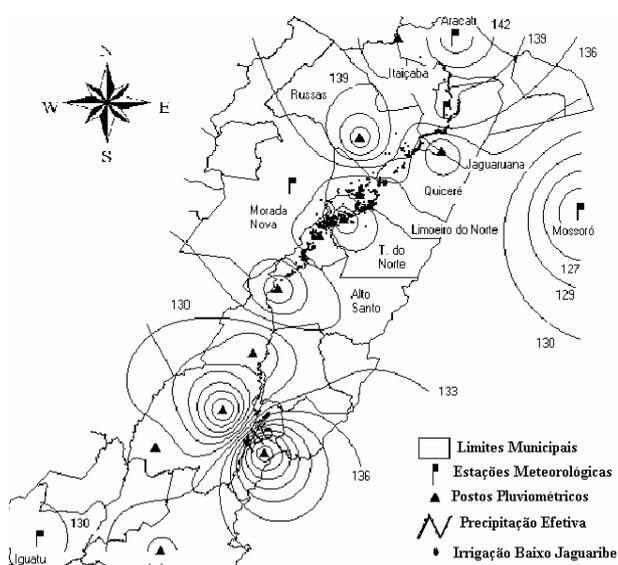


Figura 2 – Isoietas (Pef) média do mês de março determinadas pelo IQD.

demanda evapotranspirativa, respectivamente, posicionados sobre a localização das áreas irrigadas, estações meteorológicas, postos pluviométricos e os limites municipais da região do Baixo Jaguaribe.

Através da metodologia proposta neste trabalho, a estimativa da média por município é obtida através da média dos valores estimados por interpolação para as áreas irrigadas do mesmo município. Desta forma, além de considerar os valores estimados de todas as estações da região, com a interpolação, foram obtidos resultados individualizados para cada município.

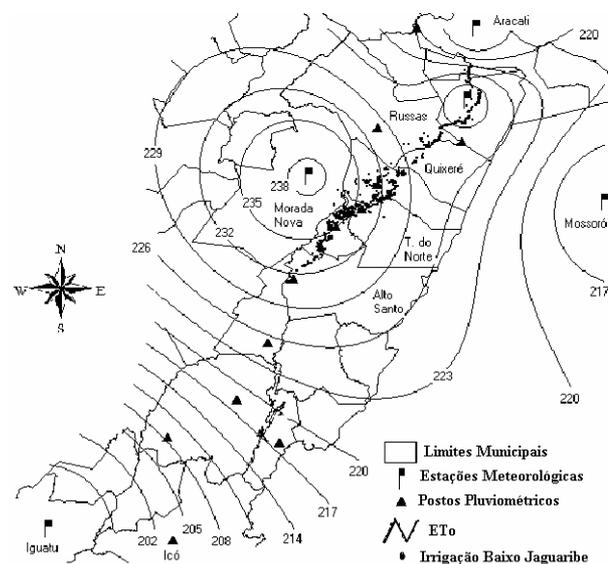


Figura 3 – Isolinhas de ETo média do mês de outubro calculadas por Penman-Monteith, determinadas pelo método IQD.

As Tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente, as estimativas das médias mensais de Pef e ETo (Penman-Monteith/FAO), por município, determinadas através da média dos valores interpolados (método do IQD) para cada área irrigada dos respectivos municípios.

Comparando os totais anuais médios de Pef estimados através dos dados dos postos pluviométricos eventualmente existentes nos municípios (Tabela 5), com os estimados com base na interpolação em função da localização geográfica das áreas irrigadas do mesmo município (Tabela 6), observa-se a redução dos valores para os municípios de Aracati (13%), Russas (8%) e Morada Nova (3%), como resultado da interpolação com os valores mais reduzidos dos postos situados nos municípios de Jaguaruana, Limoeiro do Norte e São João do Jaguaribe, os quais apresentaram uma ligeira elevação nos resultados.

Tabela 6 - Pef (USDA-SCS) por município estimada com base na média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Alto Santo	59,2	92,1	134,9	124,0	83,3	43,2	22,0	5,8	2,4	2,3	3,0	19,5	591,6
Aracati	60,1	96,3	133,1	124,2	80,3	39,7	19,5	5,0	2,4	2,2	3,3	18,1	584,0
Itaiçaba	61,4	92,9	131,4	120,6	82,3	42,7	17,0	6,0	2,0	2,0	2,6	16,7	577,7
Jaguaretama	56,7	90,2	133,0	130,9	94,5	44,7	21,5	4,6	3,6	1,4	2,5	16,6	600,1
Jaguaruana	60,3	92,3	132,0	121,8	83,6	43,0	18,2	5,9	2,2	2,0	2,7	17,1	581,0
Limoeiro do Norte	59,3	93,9	132,4	123,6	84,4	42,1	18,0	5,3	2,3	1,9	2,9	16,4	582,5
Morada Nova	66,6	90,1	130,2	116,1	80,4	44,5	15,2	7,3	1,6	2,1	2,2	17,4	573,8
Quixeré	58,9	91,8	132,7	125,1	87,4	43,5	19,0	5,3	2,6	1,7	2,6	16,4	586,9
Russas	57,8	93,3	133,4	124,4	85,6	42,6	19,0	5,2	2,4	1,9	2,9	16,5	585,1
S. J. do Jaguaribe	61,9	91,8	132,0	119,7	82,0	43,0	18,0	5,9	1,8	2,1	2,6	17,5	578,4
Tabuleiro do Norte	65,5	89,2	128,5	114,5	79,7	46,0	14,2	8,4	1,5	2,1	1,8	17,1	568,4

Tabela 7 - ETo (Penman-Monteith/FAO) por município estimada com base nos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Alto Santo	199,9	153,9	146,2	133,4	136,1	137,1	163,4	195,9	214,3	232,1	218,2	211,2	2.141,8
Aracati	200,9	154,6	147,1	133,8	136,7	137,0	164,1	196,3	214,7	232,0	218,0	211,9	2.147,2
Itaiçaba	200,4	154,5	147,0	134,1	136,6	137,3	164,0	196,5	214,6	232,3	217,9	211,0	2.146,2
Jaguaretama	192,7	151,3	142,6	131,8	132,3	135,6	162,8	197,5	210,5	228,3	209,1	198,3	2.092,8
Jaguaruana	199,5	153,9	146,2	133,6	136,0	137,2	163,5	196,2	214,2	232,1	217,6	210,2	2.140,1
Limoeiro do Norte	198,4	153,7	145,9	133,5	135,5	136,7	163,9	196,9	213,4	231,0	215,1	207,4	2.131,6
Morada Nova	206,3	157,0	150,3	136,1	140,0	139,4	164,3	195,4	217,9	236,4	226,1	221,2	2.190,5
Quixeré	197,0	153,0	144,9	132,9	134,6	136,5	163,3	196,8	212,8	230,6	214,3	205,6	2.122,3
Russas	198,0	153,4	145,6	133,4	135,3	136,9	163,5	196,7	213,3	231,2	215,5	207,2	2.129,9
S. J. do Jaguaribe	201,5	154,8	147,4	134,3	137,2	137,7	163,9	196,1	215,2	233,1	219,7	213,1	2.154,1
Tabuleiro do Norte	201,7	155,0	147,6	134,3	137,2	137,5	164,1	196,2	215,3	232,9	219,4	213,2	2.154,5

Com relação a ETo, comparando os totais anuais médios estimados através dos dados das estações meteorológicas (Tabela 3) com os estimados por interpolação (Tabela 7), observa-se um incremento da ordem de 2% nos municípios de Aracati e Jaguaruana, em decorrência da interpolação com o valor mais elevado da estação de Morada Nova.

Ressalta-se que os valores de Pef e ETo estimados por município através da metodologia ora empregada baseia-se na localização das áreas irrigadas a partir do rio Jaguaribe nos respectivos municípios. Desta forma, para o município de Morada Nova, por exemplo, os valores estimados correspondem às condições da região leste do município, junto ao rio Jaguaribe, distante cerca de 50 km da estação meteorológica do município.

A Tabela 8 apresenta a comparação entre os valores de Pef do mês de março, correspondente ao de maiores índices, estimados com os dados dos postos (USDA-SCS) e pela média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas do mesmo município.

As maiores variações de Pef ocorreram no triângulo formado pelas estações de Aracati, Vieira e Russas, incluindo ainda a estação de Jaguaruana. Os postos de Aracati e Russas apresentaram as maiores Pef (147 mm), enquanto que o posto de Vieira foi bastante inferior (127 mm). A interpolação para as áreas irrigadas situadas nestes municípios resultou uma altura de Pef praticamente igual para todos estes municípios (133 mm). O município de Itaiçaba não dispõe de posto pluviométrico.

Tabela 8 - Comparação entre os valores de Pef para o mês de março estimados com os dados dos postos e pela média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas do mesmo município.

Município	Estação / Posto	Pef Média Março (mm/mês)		Diferença (%)
		Estação / Posto	Média da Interpolação	
Alto Santo	Castanhão	140,7	134,9	4,1%
S.J. Jaguaribe	S.J. Jaguaribe	132,6	132,0	0,5%
Morada Nova	Morada Nova	135,5	130,2	3,9%
Tabuleiro Norte	Peixe Gordo	123,8	128,5	-3,8%
Limoeiro Norte	Limoeiro Norte	130,4	132,4	-1,5%
Quixeré	Vieira	127,3	132,7	-4,2%
Russas	Russas	146,6	133,4	9,0%
Jaguaruana	Jaguaruana	139,9	132,0	5,6%
Itaiçaba	-	-	131,4	-
Aracati	Aracati	146,7	133,1	9,3%

A Tabela 9 apresenta a comparação entre os valores de ETo (Penman-Monteith/FAO) do mês de outubro, correspondente ao de maiores índices, estimados com os dados das estações e pela média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas do mesmo município.

Nota-se a pressão dos valores mais elevados de ETo verificada no interior do Estado (estações de Morada Nova e Jaguaruana) sobre as interpolações para as áreas irrigadas do município de Aracati, todas elas situadas ao sul da estação meteorológica, provocando neste município, uma elevação significativa do valor obtido através da média das interpolações das áreas irrigadas (232 mm) em relação ao estimado para estação meteorológica (214 mm).

Cabral (2000) agrupou municípios em regiões climaticamente semelhantes com seus municípios vizinhos, considerando os valores médios estimados de apenas uma estação meteorológica para estimativa de uma única média para todos os municípios agrupados.

Tabela 9 - Comparação entre os valores de ETo obtidos com os dados das estações e pela média dos valores interpolados.

Município	ETo Média OUTUBRO (mm/mês)		Diferença (%)
	Média da Estação	Média da Interpolação	
Morada Nova	238,4	236,4	0,8%
Jaguaruana	230,3	232,1	-0,8%
Aracati	214,2	232,1	-8,4%

Desta forma, para os municípios de Alto Santo, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte e Russas, são atribuídos os mesmos valores de Pef e ETo que os estimados para a estação de Morada Nova. Da mesma forma para os municípios de Quixeré e Itaiçaba, cujos valores atribuídos correspondem ao da estação de Jaguaruana.

A Tabela 10 apresenta a comparação entre os valores de Pef do mês de março, mês com maiores índices pluviométricos, estimados pelo método USDA-SCS, com base na metodologia proposta por Cabral (2000) e pelo presente estudo, correspondendo à média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas do mesmo município.

Considerando os dados do mês de março, observa-se que a metodologia proposta por Cabral (2000) superestimou as Pef em até 9,3% frente aos resultados obtidos pela média dos valores interpolados.

Tabela 10 - Comparação entre os valores de Pef do mês de março estimados por Cabral (2000) e pela média dos valores interpolados (IQD).

Município	Pef Média Março (mm/mês)		Diferença (%)
	Cabral, 2000	Média Interpolação	
Alto Santo	138,1	134,9	2,3%
S. J. do Jaguaribe	138,1	132,0	4,4%
Morada Nova	138,1	130,2	5,7%
Tabuleiro do Norte	138,1	128,5	7,0%
Limoeiro do Norte	138,1	132,4	4,1%
Quixeré	143,4	132,7	7,5%
Russas	138,1	133,4	3,4%
Jaguaruana	143,4	132,0	7,9%
Itaiçaba	143,4	131,4	8,4%
Aracati	146,7	133,1	9,3%

A Tabela 11 apresenta a comparação entre os valores de ETo (Penman-Monteith/FAO) do mês de outubro, mês de máxima demanda evapotranspirativa, estimados por Cabral (2000) e pela média dos valores interpolados (IQD) para as áreas irrigadas do mesmo município.

Considerando os dados do mês de outubro, observa-se que a metodologia proposta por Cabral

Tabela 11 - Comparação entre os valores de ETo (Penman-Monteith/FAO) do mês de outubro estimados por Cabral (2000) e pela média dos valores interpolados (IQD).

Município	Área Irrigada (ha)	(Cabral, 2000)		Média Interpolação		Diferença (%)
		ETo Média		ETo Média		
		Outubro (mm/mês)	Demanda (1000 m ³)	Outubro (mm/mês)	Demanda (1000 m ³)	
Alto Santo	225,4	238,4	604	232,1	588	2,6%
S. J. Jaguaribe	784,5	238,4	2.104	233,1	2.057	2,2%
Morada Nova	3,0	238,4	8	236,4	8	0,8%
Tabuleiro Norte	451,1	238,4	1.210	232,9	1.182	2,3%
Limoeiro Norte	2.164,4	238,4	5.805	231,0	5.625	3,1%
Quixeré	61,2	230,3	158	230,6	159	-0,1%
Russas	505,2	238,4	1.355	231,2	1.314	3,0%
Jaguaruana	792,9	230,3	2.054	232,1	2.070	-0,8%
Itaiçaba	80,8	230,3	209	232,3	211	-0,9%
Aracati	2,3	227,1	6	232,0	6	-2,2%
	5.070,6		13.514		13.220	2,2%

(2000) superestimou ligeiramente a ETo para a maioria dos municípios, frente aos resultados obtidos pela média dos valores interpolados. Para Aracati, a ETo mais elevada determinada pela interpolação é explicada pela localização geográfica das áreas irrigadas, situadas ao sul da estação meteorológica do município e, portanto, sob condições de maior demanda evapotranspirativa.

Com base na área irrigada constante do cadastro de outorga da COGERH, a Tabela 11 apresenta também o volume de água demandado para irrigação na região do Baixo Jaguaribe para o mês de outubro, estimado através das duas metodologias, tendo sido considerado um coeficiente de cultivo (Kc) médio de 0,9 e eficiência de irrigação de 80% para todas as culturas.

Conclusões e Recomendações

A estimativa do consumo de água para irrigação apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes localidades. Os critérios utilizados nas análises de pedidos de outorga para irrigação devem considerar as variações espaciais e temporais do balanço hídrico, determinado pela Pef e ETo.

Ainda que o município disponha em sua área de estação meteorológica ou posto pluviométrico, quase sempre os dados coletados não são representativos de toda sua superfície geo-política e, menos ainda, de municípios circunvizinhos. Para a quantificação mais pre-

cisa do balanço hídrico em uma determinada área, é necessário que os dados pontuais de Pef e ETo disponíveis sejam espacializados de modo a se estimar valores mais apropriados para esta área específica.

A metodologia empregada possibilitou a obtenção de valores estimados individualizados por município e, mais especificamente, relativos às regiões irrigadas a partir do rio Jaguaribe, possibilitando uma estimativa mais precisa dos volumes e vazões a serem outorgados para cada área irrigada, com base no município a qual esteja situada.

Agradecimentos

À FINEP-CT Hidro pelo apoio financeiro, à COGERH pela disponibilização dos dados e ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

Referências Bibliográficas

AMORIM, R. S. S.; GRIEBELER, N. P.; GONÇALVES, F. A. **Comparação de métodos de interpolação para espacialização de dados climáticos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia-GO. Anais. CD.

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regionalização de vazões dos rios das sub-bacias Acaraú(35) e Jaguaribe(36)**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2001.
- CABRAL, R. C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método Penman-Monteith/FAO (1991) para o Estado do Ceará**. 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2000.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. **Cadastro de outorga d'água. 2002**. [Fortaleza], 2002. Disquete 31/2 pol. Excel.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. Engesoft – Engenharia e Consultoria S/C Ltda. **Plano de gerenciamento das águas da bacia do rio Jaguaribe**. [Fortaleza], CE, 1998. 1 CD-ROM.
- CHUNG, H. W.; CHOI, J. Y.; BAE, S. J. **Calculation of spatial distribution of potential evapotranspiration using GIS**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1997, Minneapolis, Minnesota, USA. Paper – American Society of Agricultural Engineers, No 973030, 9 pp.5 ref.
- CLARKE, D. **CropWat for Windows: user guide**. Versão 4.3. FAO, NWRC, IIDS, University of Southampton, Southampton, UK. 1998.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper, 24. FAO, Rome, Italy, 1992. 144 pp.
- ESAM – Escola Superior de Agricultura de Mossoró. **Dados climatológicos**. Disponível em: <<http://www.esam.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2004.
- FREITAS, M. A.; LOPES, A. V. **Avaliação da demanda de água para irrigação: aplicação à bacia do rio São Francisco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2003, Juazeiro-BA. Anais. CD.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Informações cadastrais das estações meteorológicas do INMET**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sistemas/inmetWeb/produtos/climatologia/informacaoCadastralEstacao.jsp>>. Acesso em: 15 jan. 2004.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. American Society of Civil Engineers (ASCE), Manual and Reports of Civil Engineers Practice N° 70, New York, 1990.
- LI, S.; TARBOTON, D.; MCKEE, M. **Development of an ArcMap toolbar for regional evapotranspiration modeling**. Utah State University. Disponível em: <http://www.engineering.usu.edu/cee/faculty/dtarb/ESRI_paper_shujun_7_03.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- NAOUM, S.; TSANIS, I. K. **Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece**. In: Hydrological-Processes. 2003, 17:10, 1899-1922; 332 ref.
- PELLEGRINO, G. Q.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; BRUNINI, O. **O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. *Sistemas de informações Geográficas – aplicações na agricultura*. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998.
- PERDIGÃO, A.; MOITA, S. **A utilização de Sistemas de Informação Geográfica em Climatologia e Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.ihera.min-agricultura.pt>>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTE, A. C.; CARRARI, E.; SILVA, L. M. C. **Demanda hídrica para a agricultura irrigada e sua influência nas análises de pedidos de outorga de direito de uso de água**. XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba-PR. Anais. CD.
- RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, E. M. **Metodologia para Estimativa da precipitação anual em áreas agrícolas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia-GO. Anais. CD.

