

DEMANDA HÍDRICA PARA AGRICULTURA IRRIGADA E SUA INFLUÊNCIA NAS ANÁLISES DE PEDIDOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA

Éder João Pozzebon¹ ; Pedro Cunha¹; Antônio Cabral Cavalcante¹;
Eduardo Carrari¹ & Luciano Meneses Cardoso da Silva¹

Resumo - Este trabalho objetiva trazer alguns subsídios às análises de pedidos de outorga de direito de uso da água para fins de irrigação, utilizando a bacia do rio São Francisco como estudo de caso. Foram feitas estimativas de demanda hídrica para irrigação em diversas localidades, por meio de metodologia específica utilizada em planejamento preliminar de projetos de irrigação, bem como analisada a sua repercussão nos critérios utilizados nas análises de pleitos de outorga. Ao final, é feita uma discussão sobre aspectos importantes que podem alterar as rotinas dessas análises.

Abstract - This paper aim to give support for irrigation water permits criteria, having the São Francisco river basin as a pilot area. Some estimates of water irrigation demands were calculated for several locations, using a specific methodology for irrigation projects, and then, these estimates were compared with the actual criteria used for analysing water permits. At the end, a discussion about important aspects that can change the routine of analysing water permits is presented.

Palavras-chave - Outorga, Irrigação

INTRODUÇÃO

Agricultura irrigada

Dentre os usos múltiplos da água no cenário mundial, o setor de irrigação é o de maior consumo, alcançando uma média de 70%. No Brasil, estimativas indicam que esse percentual é da ordem de 61%.

¹ Agência Nacional de Águas – ANA. Superintendência de Outorga e Cobrança. Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L. CEP. 70.610-200, Brasília - DF. Tel.: (61) 445-5251/5272. E-mail: eder@ana.gov.br, cunha@ana.gov.br, acabral@ana.gov.br, ecarrari@ana.gov.br, lmenezes@ana.gov.br.

Por consumir grandes volumes de água, a irrigação, pode ser, equivocadamente, responsabilizada por problemas de escassez. Entretanto, os benefícios da agricultura irrigada são imprescindíveis em estratégias de desenvolvimento econômico e social, tais como: geração de empregos e renda, sustentabilidade econômica e ambiental, combate à fome e desigualdade social.

Estudos do PIMES-UFPE, citados pela CODEVASF (2002) indicam que cada hectare irrigado no semi-árido brasileiro proporciona a geração de 0,7 a 5 empregos, conforme a cultura. Esses dados demonstram que a agricultura irrigada possibilita a geração de empregos de forma mais barata do que outros setores da economia.

Um ponto a ser destacado é que a agricultura irrigada permite a obtenção de altas produtividades, o que, especialmente em culturas de alto valor econômico, possibilita a concentração da produção sem a ocupação de bacias inteiras, permitindo a sustentabilidade econômica e ambiental de pequenos agricultores. O contrário se verifica na agricultura extensiva de baixo nível tecnológico, que pode, inclusive, ocasionar efeitos muito mais negativos para o meio ambiente, pela grande transformação que proporciona nas bacias.

O Brasil é um dos países em que a agricultura irrigada é proporcionalmente menos utilizada, já que, dos mais 220 milhões de hectares ocupados pela agricultura e pecuária, apenas algo em torno de 1,4%, ou seja, 3 milhões de hectares, são irrigados, o que representa um potencial muito grande de crescimento para os próximos anos. Esse avanço da agricultura irrigada, com certeza, poderá condicionar uma pressão significativa sobre os recursos hídricos, requerendo os devidos cuidados na gestão da água.

Na bacia do rio São Francisco, por exemplo, o potencial inexplorado de agricultura irrigada é significativo. Estudos da CODEVASF apontam para uma área irrigada atual de 333 mil hectares, com potencial de crescimento sustentável até 800 mil.

Legislação e questões relativas aos pedidos de outorga

Para que a irrigação cumpra os seus objetivos é fundamental que ela seja feita de forma a respeitar a legislação ambiental, de modo que os recursos naturais possam ser bem utilizados e que a sua disponibilidade esteja garantida para as futuras gerações.

Esse é um preceito básico da legislação do Brasil, a qual, também, considera a água como um bem de domínio público, cabendo ao Estado estabelecer a sua alocação entre os diversos setores usuários de modo a garantir um uso equilibrado, sem conflitos e com um mínimo de impactos ambientais. Nesse sentido, a Lei n.º 9.433/97, que institui Política Nacional dos Recursos Hídricos, apresenta, entre outros instrumentos, a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos.

Além disso, procurando minimizar os impactos ambientais da irrigação o CONAMA aprovou, em 2001, a Resolução n.º 284 que dispõe sobre as normas de licenciamento ambiental de empreendimentos de irrigação.

A outorga é o instrumento legal destinado a autorizar o uso de recursos hídricos para qualquer finalidade, como abastecimento humano, irrigação, aquicultura, indústria, geração hidrelétrica, etc. A análise de pedidos de outorga não é um processo cartorial. Ela possui uma série de etapas cujo desenvolvimento exige o trabalho de técnicos da área de hidrologia, agronomia, indústria, geologia, biologia, obras, entre outros. Portanto, trata-se, muitas vezes, de análises de significativa complexidade técnica.

Quando um usuário pretende utilizar água de um manancial (rio, lago ou águas subterrâneas) ele deve procurar o órgão gestor de recursos hídricos competente para tal (federal ou estadual) e formular o seu pedido. O presente trabalho se prende ao direito de uso da água, especificamente, para agricultura irrigada.

Como a irrigação é uma atividade muito rica em métodos e possibilidades de cultivo, os pedidos de outorga para esse fim devem observar uma série de detalhes que influenciam sobremaneira o direcionamento dos resultados das análises de outorga.

Vazão de captação e suas demandas – ponto central a ser equacionado

Um ponto marcante a ser considerado é que, além da variação das necessidades hídricas em decorrência de diferentes demandas espaciais e temporais (entre locais e épocas), a agricultura irrigada apresenta, ainda, a peculiaridade de variar tanto em número de horas e dias de captação de água, quanto no número de meses de operação. Assim, apesar de o irrigante possuir uma capacidade de bombeamento instalada, ele, efetivamente, faz uso desta em períodos fracionados, e não continuamente.

Sob essa ótica, depreende-se que ao se considerar apenas a vazão de captação máxima instantânea como parâmetro de comparação no balanço entre oferta e demanda nas análises dos pedidos de outorga, certamente está-se conduzindo à superestimativas dos impactos causados por essas captações.

Especificamente, foi adotada a bacia do rio São Francisco como estudo de caso, avaliando a demanda hídrica para irrigação ao longo desta, por estimativas de consumo médio mensal a partir de variáveis agrometeorológicas para algumas localidades.

OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é trazer subsídios aos critérios de análise dos pedidos de outorga – tendo a bacia do rio São Francisco como estudo de caso – determinando-se a demanda hídrica para irrigação em diversas localidades ao longo deste rio.

O presente artigo se propõe a demonstrar que a análise das outorgas baseada em volumes mensais ou diários de irrigação, ou na vazão média contínua do período de operação, deve ser mais realista do que quando feita pela vazão de captação máxima instantânea.

É apresentada, ainda, uma proposta alternativa para estabelecimento de classes de outorga para irrigação baseada na eficiência do uso da água.

É nesse sentido que o presente trabalho pretende discutir alguns pontos, esclarecer algumas dúvidas e apontar formas de trabalho ante algumas situações práticas, abrindo espaço para uma discussão ampla, sem ter nenhuma pretensão de esgotá-la.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos convencionais para estimativa de demandas hídricas para irrigação

Inicialmente, será feita uma descrição resumida da metodologia normalmente utilizada para estudos de demanda hídrica para planejamento preliminar de projetos de irrigação. Também será apresentado um estudo de caso na bacia do rio São Francisco.

Em seguida, será feita uma discussão sobre a influência dessas estimativas sobre as análises dos pedidos de outorga e uma apresentação das conclusões e recomendações para desenvolvimentos futuros.

A estimativa do consumo de água para irrigação, mais do que de outras atividades, apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes locais, das diversas características dos solos, das culturas irrigadas e dos níveis tecnológicos dos irrigantes que proporcionam diferentes eficiências no uso da água.

Tradicionalmente, a determinação dos volumes mensais de irrigação são calculados, basicamente, a partir de parâmetros meteorológicos, das características das culturas a serem irrigadas, do método de irrigação e da eficiência de uso da água. Inicialmente, são calculadas as necessidades de irrigação líquida, que, dividida pela eficiência da irrigação (eficiência da adução e aplicação da água), determina a necessidade de irrigação bruta. Estes valores são expressos em lâmina de água (mm), que, se considerada a área a ser irrigada, podem ser facilmente transformados em volume.

Com a determinação da vazão de captação, através da escolha da(s) bomba(s), é estimado o número de horas por mês que deve ser feita a captação, para atender às necessidades dos cultivos. A

seguir, com a determinação do número de horas por dia e do número de dias por mês de operação estimam-se os volumes diários e mensais a serem captados. Normalmente, são seguidos os passos do fluxograma da Figura 1.

A seguir, será feita uma breve conceituação dos principais passos e parâmetros da determinação do consumo médio mensal.

Parâmetros de referência

Precipitação efetiva

O termo precipitação efetiva tem diferentes interpretações, nas diferentes especialidades. Em agricultura, a precipitação efetiva é definida como a parte da precipitação que fica armazenada no solo até a profundidade das raízes das plantas e que fica 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.

Porém, em hidrologia, a precipitação efetiva é a parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial.

A precipitação efetiva (agronômica) é um parâmetro de difícil determinação. É principalmente influenciado pela intensidade da chuva, declividade do terreno, tipo, textura, estrutura e umidade do solo, sistema de cultivo, práticas culturais e conservacionistas, profundidade do sistema radicular e demais características das culturas. Na prática, segundo (Doorenbos e Pruitt, 1997) em condições de cobertura vegetal completa, pode-se supor, seguramente, que chuvas leves têm uma eficiência de aproximadamente 100%.

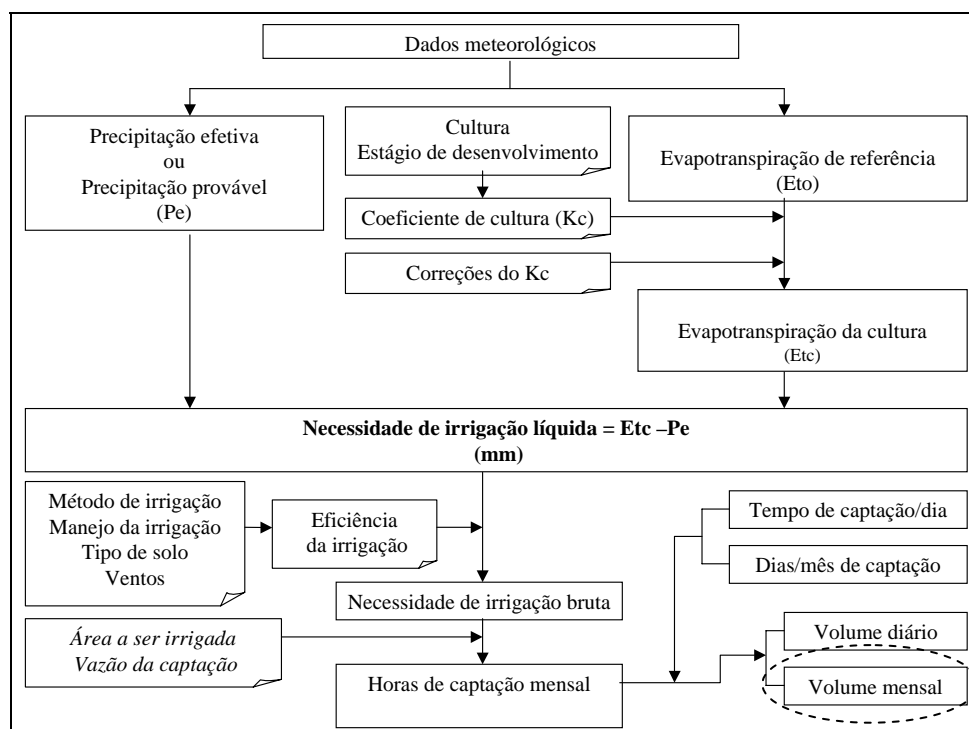


Figura 1 – Fluxograma para a determinação das necessidades para irrigação.

Empregam-se diferentes critérios para a estimativa da precipitação efetiva. Na Índia, por exemplo, considera-se apenas 60% da precipitação média como sendo efetiva. Em outros países, considera-se a chuva efetiva como a chuva média, porém sem levar em consideração as precipitações inferiores a 5 mm, superiores a 75 mm/dia ou 125 mm/10 dias (Doorenbos e Pruitt, 1997). Vários métodos podem ser empregados para a estimativa da precipitação efetiva, tais como o uso de lisímetros, o método do balanço de água do solo a campo, o método de Blaney e Criddle; o método do U.S. Soil Conservation Service., entre outros. Maiores informações sobre precipitação efetiva, tais como conceituação, métodos e adequabilidade de aplicação dos mesmos, podem ser encontradas em Dastane (1974).

Precipitação provável ou dependente

A precipitação provável é a precipitação que apresenta uma probabilidade específica de ocorrência. Para a sua determinação são necessárias séries históricas de dados. Quando a irrigação visa ao suprimento de toda as necessidades hídricas das culturas, a precipitação não é considerada no planejamento de sistemas de irrigação. Entretanto, na agricultura de sequeiro ou no caso de irrigação suplementar, o conhecimento da precipitação provável é de fundamental importância para um aproveitamento eficiente da água. No caso de ser considerada apenas a precipitação média, como freqüentemente ocorre em projetos de irrigação, o risco de falhas no suprimento aumenta consideravelmente.

Em agricultura irrigada, para a minimização dos riscos, normalmente usam-se valores de precipitação provável com 75% ou 80% de probabilidade de ocorrência. No entanto, esses valores podem ser mais variáveis conforme a disposição ao risco do agricultor; já que a deficiência hídrica provocada pela falta de água, pode provocar perdas econômicas com a redução da produtividade da cultura. Neste caso, o valor econômico do produto agrícola pode ser determinante exigindo uma escolha mais rigorosa sobre a probabilidade de ocorrência da precipitação provável. Para ajudar neste tipo de análise, Doorenbos e Kassam (1994) apresentam as relações entre a água e o rendimento de diversas culturas, de forma fácil de ser utilizada.

Existem vários métodos para a determinação da precipitação provável, entre outros: a distribuição gama, o método de Kimball, a cadeia de Markov, e o cálculo da probabilidade a partir de seqüência de valores medidos de precipitação. Exemplos de aplicação de alguns desses métodos são encontrados em Bernardo (1995) e Pereira et al. (2002). Para o nordeste brasileiro estimativas de valores de precipitação provável podem ser encontrados em Hargreaves (1974). Uma outra opção de cálculo determinístico é o uso da função PERCENTIL da planilha eletrônica Microsoft Excel®. Esta função retorna o k-ésimo percentil de valores em um intervalo de seqüência de dados de chuvas, considerando-se um determinado valor de probabilidade.

Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (E_{t0}) é um parâmetro usado para definir a água que é evapotranspirada em uma superfície de solo coberta por vegetação com características específicas, quais sejam, vegetação rasteira (gramínes), cobrindo uniformemente todo o solo, com altura entre 8 e 15 cm, em fase de crescimento ativo e sem restrição hídrica.

O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para representar a demanda evapotranspirativa da atmosfera, independentemente do tipo de cultura, do estágio de desenvolvimento, das práticas de manejo e fatores do solo. Em suma, a E_{t0} pode ser calculada a partir de dados de clima, sendo, portanto, considerada como um parâmetro climático.

A E_{t0} pode ser obtida pela execução de trabalhos experimentais em que seja feito um balanço hídrico de forma a determinar o consumo de água. Como estas determinações são difíceis de serem executadas, para fins práticos, este valor é obtido a partir de vários métodos, entre os quais os Métodos de Penman/Montheit/FAO, descrito em Allen et al. (1994), recomendado, também, pelo Boletim FAO 56 (Allen et al., 1998). Este método tem embasamento físico e, por isso, geralmente, apresenta melhores resultados, com a desvantagem de demandar dados climáticos de difícil obtenção. Entre os mais de 50 métodos existentes, podem ser usados, por exemplo, Blaney-Criddle modificado pela FAO, Hargreaves, radiação e tanque de evaporação.

A escolha do método de estimativa da E_{t0} deve, entre outros fatores, levar em conta a disponibilidade de dados meteorológicos, a escala de tempo para o qual o método foi desenvolvido e a adequabilidade do método à região, pois os métodos empíricos não têm aplicação geral. Para o método Penman/Montheit/FAO, segundo Allen et al. (1998), a E_{t0} quando calculada com médias mensais de dados climáticos é muito similar ao valor calculado a partir de médias diárias. A literatura sobre evapotranspiração é vasta, sendo que uma boa revisão teórica e prática, incluindo os resultados de pesquisadores brasileiros pode ser encontrada em Pereira et al. (1997).

Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultura

A partir da evapotranspiração de referência (E_{t0}) é possível estimar a evapotranspiração da cultura a ser irrigada, por meio dos coeficientes de cultivo (K_c), conforme a equação 1.

$$E_c = E_{t0} \times K_c \quad (1)$$

O coeficiente de cultura (K_c) é um fator adimensional, que estabelece a relação entre a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração da cultura. Representa uma integração dos quatro principais características que diferenciam uma determinada cultura da cultura de referência grama quais sejam: a altura; a reflectância (albedo); a resistência do dossel à perda de água e a evaporação do solo (Allen et al. 1998). O K_c é um valor normalmente encontrado na literatura para

as diferentes culturas e seus estádios de crescimento. A sua determinação é feita experimentalmente através de estimativas ou medidas de evapotranspiração das culturas, que são relacionadas com a evapotranspiração de referência, através da equação 2.

$$K_c = E_{tc} / E_{t_0} \quad (2)$$

A E_{tc} considera a cultura sob condição padrão, ou seja, é a evapotranspiração de uma cultura livre de pragas, doenças e plantas daninhas, bem fertilizada, que se desenvolve em uma área ampla, com ótimo suprimento hídrico do solo e que alcança plena produção sob determinadas condições climáticas (Albuquerque 2001, 2002). Entretanto, no campo, é possível que a evapotranspiração da cultura seja diferente da condição ótima, em decorrência de pragas, doenças, salinidade do solo, baixa fertilidade, déficit ou excesso hídrico, práticas agrícolas, entre outros fatores. Assim, na tentativa de ajustar esses desvios em relação à condição padrão, podem ser usados outros coeficientes, para ajustes do K_c para as condições citadas acima. Maiores detalhes sobre ajustamentos de K_c para diversas situações podem ser encontrados em Allen et al. (1998).

Um desses coeficientes é o coeficiente de estresse hídrico (K_s), que tem a finalidade de corrigir o K_c para situações de restrições hídricas existentes no solo, sendo que, nesse caso, será menor do que 1. Esta correção pode ser feita quando o intervalo entre as irrigações é maior que um dia, com o solo passando gradualmente a restringir mais a evapotranspiração da cultura. Para a condição de suprimento hídrico ideal, o valor de K_s será igual a 1.

Uma outra correção que pode ser feita é o coeficiente de umedecimento da superfície do solo que é usado para corrigir o K_c , no caso dos sistemas de irrigação em que apenas uma fração da área total é irrigada. O coeficiente expressa a relação entre a área umedecida pela irrigação e a área total ocupada pela cultura. Este coeficiente será igual a 1 para os sistemas de irrigação que apresentarem 100 % de área molhada, como é o caso, por exemplo da aspersão, e menor que 1 para os sistemas de irrigação localizada como microaspersão e gotejamento. Nesta última situação, não se tem uma regra fixa para a determinação dos valores, pois é dependente das características da cultura e seu espaçamento, do sistema de irrigação, das características dos emissores e a distribuição destes na área irrigada.

Necessidade de Irrigação Líquida (NIL), Bruta (NIB) e Eficiência de irrigação (E_i)

A necessidade de irrigação líquida é a diferença entre a evapotranspiração da cultura (E_{tc}) e a precipitação efetiva (P_e) ou a precipitação provável (dependente), dado em mm/mês.

$$NIL = E_{tc} - P_e \quad (3)$$

A necessidade de irrigação bruta é relação entre a necessidade irrigação líquida, em mm/mês, e a eficiência do sistema de irrigação (E_i), em %.

$$NIB = \frac{NIL}{E_i} \cdot 100 \quad (4)$$

A eficiência de irrigação (E_i) é a relação entre o volume mensal correspondente às necessidades de irrigação líquida e o volume mensal captado para irrigação da respectiva área, conforme equação 5.

$$E_i = \frac{10 \cdot NIL \cdot A}{V_c} \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

E_i : eficiência da irrigação em %, neste caso, considerando todas as perdas, desde a captação até a aplicação;

NIL: necessidade de irrigação líquida mm/mês.

A: área irrigada em ha;

V_c : Volume de captação mensal em $m^3/mês$.

O fator 10 é usado para transformação da lâmina para volume por hectare, ou seja 1mm é igual a $10 m^3/ha$.

A determinação da eficiência de irrigação é um ponto crítico a ser considerado na determinação das demandas hídricas para irrigação. Os valores da eficiência de aplicação podem ser avaliados no próprio sistema de irrigação ou podem ser encontrados na literatura para cada método e condições de irrigação. Os valores de eficiência de captação e condução dependem de cada projeto. São esperadas maiores perdas quando a condução é feita em canais de terra.

As perdas de eficiência são decorrentes de vários fatores tais como: distribuição sem uniformidade da água, escoamento superficial, percolação profunda, evaporação na superfície do solo, perdas por evaporação e derivação do jato na irrigação por aspersão. O fato é que nunca ocorre 100% de eficiência na aplicação.

As avaliações da eficiência, mesmo tão importantes, são muito difíceis de serem feitas. Na literatura encontram-se tabelas com recomendações que podem ser consideradas satisfatórias, como o exemplo da Tabela 1.

Outras necessidades de água em agricultura irrigada

Além das necessidades das culturas, a água pode ser importante para outras atividades como a preparação de terrenos, indução à germinação, pré-processamento e lavagem de produtos

colhidos. Em áreas salinizadas, podem ser necessárias aplicações de lâminas adicionais de água para a lixiviação de sais acumulados na rizosfera (zona do solo onde encontram-se as raízes das plantas), como forma de correção do problema.

Tabela 1 - Eficiência média de irrigação em função do método de irrigação e de condicionantes.

Método	Condicionante	Eficiência* (%)
Sulcos de infiltração	Sulcos longos e/ou solos arenosos	50
	Solo e comprimento adequados	65
Inundação (tabuleiros)	Solo arenoso - lençol profundo	40
	Solo argiloso - lençol raso	60
Aspersão convencional	Ventos fortes	60
	Com ventos leves ou sem	75
Autopropelido / montagem direta	Ventos fortes	60
	Com ventos leves ou sem	75
Pivô central	Vento forte / condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Microaspersão	Condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Gotejamento	Condições razoáveis	85
	Em ótimas condições	95
Tubos perfurados	Perfuração manual	65
	Em ótimas condições	80

* Não estão consideradas as perdas de água em canais e nas estações de bombeamento. Fonte: Engecorps (1998)

Consumo médio mensal por hectare

A partir dos volumes mensais de necessidade hídrica das culturas, pode-se determinar o consumo médio mensal por hectare (L/s/ha), conforme a equação 6:

$$\text{Consumo Médio Mensal } \left(\frac{\text{L}}{\text{seg. ha}} \right) = \frac{V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \right) \cdot 1000 \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right)}{N \frac{\text{dias}}{\text{mês}} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hora}} \cdot A(\text{ha})} \quad (6)$$

Onde:

V: Volume mensal (m³/mês);

N: Número de dias do mês;

A: Área irrigada (ha).

O consumo médio mensal por hectare (L/s/ha) supõe um suprimento contínuo de água, ou seja representa a necessidade de irrigação caso esta fosse realizada continuamente ao longo do tempo. É um valor adequado para ser usado em comparações, sendo que, também, é denominado de vazão contínua por hectare, vazão específica ou vazão distribuída.

Estudo de caso: bacia do rio São Francisco

Foram realizadas avaliações das necessidades de irrigação para dez locais ao longo do rio São Francisco, baseado na metodologia de estimativa das demandas para irrigação, apresentada acima, desde Propriá, próximo a foz, até Pirapora, conforme Figura 2.

Nos cálculos, foram utilizados os dados meteorológicos, para cada localidade estudada, obtidos na base de dados da FAO CLIMWAT (<http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/climwat.stm>), que é uma base com dados meteorológicos mundiais para serem usados no programa computacional CROPWAT.

No referido programa, a evapotranspiração de referência foi determinada a partir de dados médios mensais, pelo uso da equação de Penman-Monteith/FAO. A precipitação efetiva foi calculada a partir de médias mensais de precipitação, de acordo com fórmulas desenvolvidas pelo USDA Soil Conservation Service.

Os coeficientes de cultura (K_c) foram considerados nos cálculos como sendo 1, pois esse valor atende às necessidades da maioria das culturas na fase de maior demanda, especialmente em frutíferas, que é o tipo de cultura com maior potencial no vale do rio São Francisco. Este valor representa um suprimento hídrico ideal. Entretanto, deve ser considerado que, na prática da irrigação, esta situação não é permanente, pois entre duas irrigações, geralmente existe algum grau de deficiência hídrica, com exceção de irrigações localizadas, que são efetuadas com alta frequência.



Figura 2 – Localidades na Bacia do rio São Francisco onde foram calculadas as necessidades de irrigação.

Nos cálculos, foram consideradas duas condições de irrigação, conforme a percentagem da superfície do terreno umedecida pela irrigação. Para o caso da irrigação localizada foi assumido um valor de 70% de superfície umedecida e para os demais métodos foi considerado 100%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de caso: bacia do rio São Francisco.

Os resultados das estimativas de necessidade líquida de irrigação do mês mais crítico (Figura 3) mostraram variações consideráveis entre os locais estudados. As maiores necessidades ocorrem no médio São Francisco, entre Belém do São Francisco e Paratinga, sendo que o maior valor encontrado foi em Remanso, com uma necessidade de 113 mm/mês para irrigação localizada e de 161 mm/mês para os demais métodos, ambas para o mês de agosto. As menores necessidades foram encontradas em Paulo Afonso, com valor de 70 mm/mês para irrigação localizada e 116 mm/mês para os demais métodos. As menores necessidades estimadas em Paulo Afonso devem-se, principalmente, ao regime de chuvas, que apresenta médias mais constantes ao longo do ano. Em Propriá, a maior contribuição das chuvas ocorre entre abril e setembro. Nesse período, a montante de Belém do São Francisco ocorre o contrário, com menores contribuições de chuvas. A região de Paulo Afonso, que fica entre uma e outra região, apresenta características intermediárias.

A época de ocorrência do mês mais crítico também varia ao longo do rio, sendo que em Propriá, mais próximo ao litoral, as maiores deficiências hídricas ocorrem em janeiro, sendo que, continuamente ocorrem em meses mais tardios, conforme as localidades encontrarem-se na direção de montante do rio.

O consumo médio mensal por hectare (Tabelas 2 e 3), além de variarem em função das necessidades de irrigação líquidas, também são altamente dependentes da eficiência com que é feita a irrigação. As possíveis variações dos consumos médios por hectare podem atingir até 70% em decorrência das diferentes eficiências. Por outro lado, com base neste estudo, as diferenças de necessidades de irrigação líquida entre as localidades consideradas podem ser de 38% e 28%, conforme o tipo de irrigação.

Deve ser ponderado que nesse estudo apenas foram consideradas localidades próximo ao rio. Caso fossem considerados locais em toda a bacia, com micro-climas diferenciados, essas diferenças seriam bem maiores. Também deve ser ressaltado que nesse estudo não estão sendo consideradas lâminas adicionais para lixiviação de sais, para minimização de problemas de salinidade. No caso destas lâminas serem necessárias provocarão uma redução da eficiência de uso da água.

Como pode ser visto nas Tabelas 2 e 3, a eficiência da irrigação é um dos fatores mais importantes a ser considerado em estudos de demanda hídrica para irrigação, pois em função dela

podem ocorrer grandes diferenças entre os valores de consumo médio por hectare. Quanto menor a eficiência da irrigação maiores vazões médias serão necessárias e maior o impacto sobre o manancial de captação.

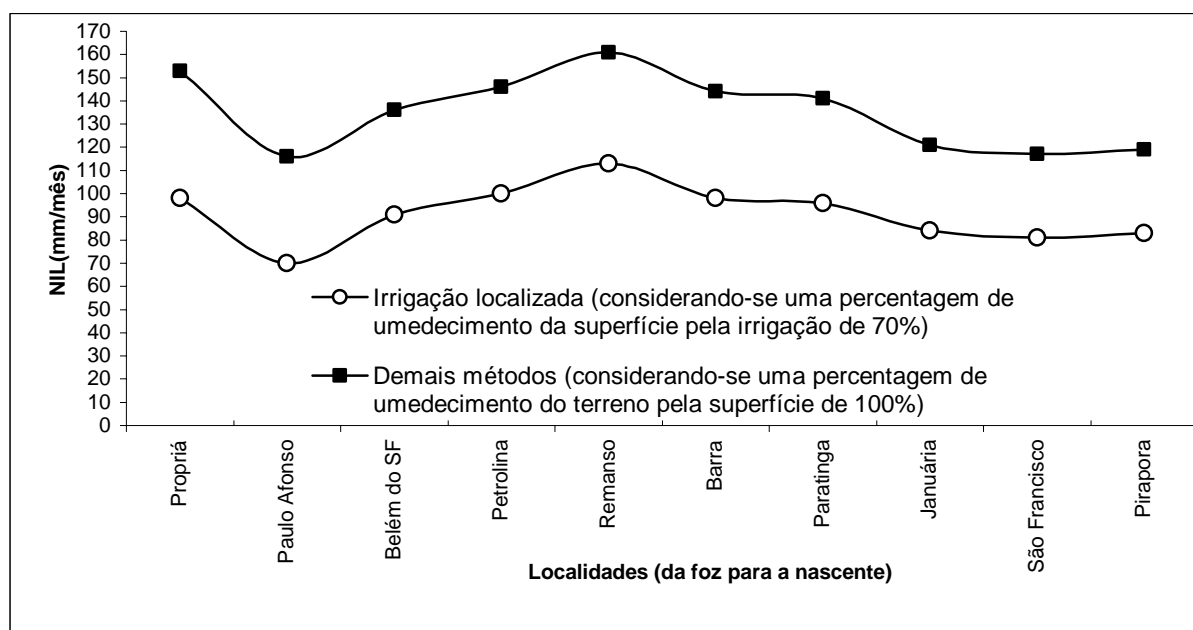


Figura 3 - Necessidade líquida de irrigação (NIL) do mês de maior deficiência hídrica para algumas localidades ao longo do rio São Francisco.

Tabela 2. Estimativas de necessidade de irrigação líquida e consumo médio mensal por hectare para irrigação localizada (70% de umedecimento da superfície do solo), para o mês de maior deficiência hídrica – dados de algumas localidades ao longo do rio São Francisco.

Local	Mês mais crítico	NIL* mm/mês	Volume m ³ /ha/mês	Dif** %	Eficiência da irrigação (%)							
					100%	90	80	70	60	50	40	30
Propriá	Jan	98	980	87	0,37	0,41	0,46	0,52	0,61	0,73	0,91	1,22
Paulo Afonso	Nov	70	700	62	0,27	0,30	0,34	0,39	0,45	0,54	0,68	0,90
Belém do SF	Out	91	910	81	0,34	0,38	0,42	0,49	0,57	0,68	0,85	1,13
Petrolina	Out	100	1.000	88	0,37	0,41	0,47	0,53	0,62	0,75	0,93	1,24
Remanso	Ago	113	1.130	100	0,42	0,47	0,53	0,60	0,70	0,84	1,05	1,41
Barra	Set	98	980	87	0,38	0,42	0,47	0,54	0,63	0,76	0,95	1,26
Paratinga	Ago	96	960	85	0,36	0,40	0,45	0,51	0,60	0,72	0,90	1,19
Januária	Ago	84	840	74	0,32	0,36	0,41	0,46	0,54	0,65	0,81	1,08
São Francisco	Ago	81	810	72	0,30	0,34	0,38	0,43	0,50	0,60	0,76	1,01
Pirapora	Ago	83	830	73	0,31	0,34	0,39	0,44	0,52	0,62	0,77	1,03
Máximo		113	1.130	100	0,42	0,47	0,53	0,60	0,70	0,84	1,05	1,41
Mínimo		70	700	62	0,27	0,30	0,34	0,39	0,45	0,54	0,68	0,90
Média		91	914	81	0,34	0,38	0,43	0,49	0,57	0,69	0,86	1,15

*Estimativa da necessidade de irrigação líquida correspondente ao mês mais crítico

**Percentagem em relação à localidade de maior demanda hídrica.

As diferenças em relação ao consumo médio por hectare entre a irrigação localizada e os demais métodos são em decorrência de que a irrigação localizada umedece apenas uma

percentagem do terreno. Por esse motivo, os valores de consumo são menores quando comparados aos métodos que molham toda a superfície. É importante considerar que a redução da evapotranspiração da cultura em função da redução da área umedecida é um assunto complexo. Na realidade, pode não apresentar a proporcionalidade assumida neste estudo. Em decorrência, o problema deve ser estudada caso a caso.

Além disso, as interações entre espaçamentos e sombreamentos da cultura com a área umedecida pelas irrigações devem ser melhor estudadas pela pesquisa, de forma a permitir aplicações técnicas mais seguras.

Os resultados de consumo médio mensal por hectare para o mês de maior demanda, para as diversas localidades ao longo do rio São Francisco, mostram que os valores acima de 1,0 L/s/ha (valor normalmente considerado para suprimento de água nos projetos de irrigação) somente serão atingidos quando a eficiência de irrigação for muito baixa (abaixo de 50%), mesmo nas regiões de maior demanda hídrica.

Tabela 3. Estimativas de necessidade de irrigação líquida e consumo médio mensal por hectare para os demais métodos de irrigação (com 100% de umedecimento da superfície do solo) para o mês de maior deficiência hídrica – dados de algumas localidades ao longo do rio São Francisco.

Local	Mês mais crítico	NIL* mm/mês	Volume m ³ /ha/mês	Dif** %	Eficiência da irrigação (%)							
					100%	90	80	70	60	50	40	30
					Consumo médio mensal L/s/ha							
Propriá	Jan	153	1.530	95	0,57	0,63	0,71	0,82	0,95	1,14	1,43	1,90
Paulo Afonso	Nov	116	1.160	72	0,45	0,50	0,56	0,64	0,75	0,90	1,12	1,49
Belém do S.Francisco	Out	136	1.360	84	0,51	0,56	0,63	0,73	0,85	1,02	1,27	1,69
Petrolina	Out	146	1.460	91	0,55	0,61	0,68	0,78	0,91	1,09	1,36	1,82
Remanso	Ago	161	1.610	100	0,60	0,67	0,75	0,86	1,00	1,20	1,50	2,00
Barra	Set	144	1.440	89	0,56	0,62	0,69	0,79	0,93	1,11	1,39	1,85
Paratinga	Ago	141	1.410	88	0,53	0,58	0,66	0,75	0,88	1,05	1,32	1,75
Januária	Ago	121	1.210	75	0,47	0,52	0,58	0,67	0,78	0,93	1,17	1,56
São Francisco	Ago	117	1.170	73	0,44	0,49	0,55	0,62	0,73	0,87	1,09	1,46
Pirapora	Ago	119	1.190	74	0,44	0,49	0,56	0,63	0,74	0,89	1,11	1,48
Máximo		161	1.610	100	0,60	0,67	0,75	0,86	1,00	1,20	1,50	2,00
Mínimo		116	1.160	72	0,44	0,49	0,55	0,62	0,73	0,87	1,09	1,46
Média		135	1.354	84	0,51	0,57	0,64	0,73	0,85	1,02	1,28	1,70

*Estimativa da necessidade de irrigação líquida correspondente ao mês mais crítico

**Percentagem em relação à localidade de maior demanda hídrica.

Para regiões de menor demanda do rio São Francisco, o valor de 1,0 L/s/ha somente será atingido quando a irrigação for realizada de forma muito ineficiente (menor de 40%).

Um outro ponto a ser considerado é que o estabelecimento de um valor máximo de consumo em L/s/ha, para que o uso de água para irrigação seja considerado eficiente ou ineficiente, não é uma boa estratégia. Este procedimento apenas terá efeito para as regiões que apresentam maiores demandas de irrigação, e pouco efeito em regiões ou épocas que apresentem menores demandas ou

onde a irrigação é feita de forma complementar à precipitação. Nessa última condição, raramente será atingido o limite estabelecido em L/s/ha. Para que todos os usuários sejam estimulados a economizar água., devem ser estabelecidos critérios de outorga e cobrança que levem em conta a eficiência da irrigação, de forma a induzir o uso eficiente da água.

Discussão sobre a influência na análise de pedidos de outorga

Que unidades são adequadas nas análises dos pedidos de outorga?

As unidades utilizadas para medir volumes de água no tempo variam com a ciência que se está tratando. Por exemplo, em hidrologia não é costume dizer que a vazão de um rio é 864.000,0 m³/dia, e sim 10,0 m³/s ou 10.000,0 L/s. Em agronomia, são freqüentemente utilizadas as seguintes unidades: m³/mês, m³/dia, m³/h e mm/dia, mm/mês, L/s/ha. Essa variação de unidades pode causar, muitas vezes, aplicações incorretas e desentendimentos técnicos, especialmente quando voltadas para as análises dos pedidos de outorga.

A primeira questão a ser observada é se o manancial é um reservatório (artificial ou natural) ou um rio (água corrente). A princípio, é mais razoável utilizar volumes (diários ou até mensais) quando se tratar de reservatórios, principalmente se for em região semi-árida, e utilizar vazões para o caso de rios. Dessa forma, utiliza-se a mesma “moeda” na contabilidade hídrica. Obviamente, não há nada que impeça a utilização dos dois tipos em qualquer situação.

Por exemplo, não parece fazer muito sentido utilizar a unidade m³/dia de água captada em um rio (água corrente), pois esse volume diário poderá ser retirado em poucas horas, podendo acarretar uma vazão instantânea significativa para o manancial e causar desabastecimento de outros usuários. Portanto, parece ser mais razoável tratar vazão com vazão e volume com volume.

Vazão de demanda média diária ou média mensal?

O porte do manancial determinará a resolução temporal mais adequada para o balanço hídrico. Para mananciais de grande porte, como o rio São Francisco, o balanço hídrico mensal é bastante satisfatório, ou seja, utilizar vazões médias mensais de demanda e oferta, dado que os problemas de simultaneidade de uso da água são naturalmente atenuados em grandes bacias.

Já nos mananciais de pequeno porte (riachos, córregos, etc.), o uso concomitante da água por alguns usuários, num mesmo trecho, pode trazer problemas muito graves de desabastecimento e até de corte do rio. Nesses casos, a adoção de balanços hídricos diários e até o estabelecimento de escalas de horários no uso da água são fundamentais.

No caso do uso de volumes (diários ou mensais), especialmente em mananciais de pequeno porte, deverão ser estabelecidos envoltórios condicionantes, de forma a evitar uma captação

concentrada em pequenos períodos, cabendo o estabelecimento de números mínimos de horas e dias para a captação.

Além das questões relatadas, há outros pontos e conceitos que também devem ser considerados nas análises dos pedidos de outorga, relativamente aos consumos médios de água para irrigação.

Consumo médio mensal por hectare

O consumo médio mensal por hectare em L/s/ha representa a necessidade de irrigação por hectare, caso esta fosse realizada continuamente ao longo do tempo. Na realidade, essa captação é feita de forma concentrada em algumas horas/dia e alguns dias/mês.

A concentração da captação é dependente de vários fatores, entre os quais, do sistema e do manejo da irrigação e da existência de reservatório pulmão, fatores estes que determinam a vazão de captação a ser utilizada no projeto, além das próprias necessidades de suprimento hídrico.

Normalmente, os métodos de irrigação por superfície (inundação e sulcos, por exemplo) exigem captações proporcionalmente mais concentradas no tempo. Já os métodos de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão, por exemplo) têm irrigações frequentes, exigindo que as captações sejam menores e mais distribuídas ao longo do tempo.

Em decorrência disso, quando se deseja comparar consumos de água, a vazão de captação nominal não é adequada, ao contrário do consumo médio (em L/s/ha), que pode ser usado para comparação com balizadores da eficiência da irrigação nas análises dos processos de pedido de outorga.

Volume em vez de vazão para os pedidos de outorga de irrigação

Em termos quantitativos, uma captação promove uma redução dos volumes e, conseqüentemente, da vazão do manancial. Entretanto, um mesmo volume pode ser captado de forma mais ou menos concentrada no tempo, resultando em uma vazão instantânea máxima maior ou menor.

Sendo assim, pelo menos em mananciais de maior porte, fundamentalmente, o impacto mais representativo é o ocasionado pelo volume e sobre ele é que os agentes reguladores devem dar mais atenção.

Geralmente, a captação para irrigação é sazonal e concentrada em alguns dias/mês e algumas horas/dia. Em decorrência disso, considerar a vazão de captação como parâmetro de comparação no balanço entre oferta e demanda pode levar a uma superestimativa dos impactos causados pelas captações para irrigação.

Para demonstrar essa possibilidade, foi realizado um estudo preliminar, considerando-se uma amostra com 167 pontos de captação outorgados em mananciais de domínio da União, distribuídos no em todo país, englobando todos os métodos e culturas, desde arroz irrigado por inundação até gotejamento. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 4. Nesse estudo, obteve-se que as vazões contínuas médias, considerando o ano todo e no mês de maior consumo, representam cerca de 29,4% e 69,6%, respectivamente, da vazão de captação.

Tabela 4. Resumo de amostra de 167 pontos de captação outorgados em mananciais de domínio da União, quanto à vazão de captação e à vazão contínua média mensal e anual.

Vazão	m ³ /h	m ³ /s	L/s/ha	%
Vazão de captação (vazão da bomba)	167.372,3	46,492	0,94	100
Vazão média no mês de maior consumo	116.476,8	32,355	0,79	69,6
Vazão contínua anual	49.262,0	13,684	0,333	29,4

Obs: Área total irrigada da amostra: 41.100,1 ha.

Na ausência de informações mais detalhadas, como número médio sugere-se o fator 0,38 para converter as vazões de captação (máximas instantâneas) em vazões contínuas anuais para os empreendimentos da bacia do rio São Francisco. Em termos médios, é o mesmo que dividir a vazão máxima instantânea informada pelo irrigante pelo fator 2,63 para obter a correspondente vazão contínua. Para o caso apresentado na Tabela 4, este fator de conversão é de 0,29 (ou 3,45), já que a vazão média contínua anual corresponde a 29% da vazão de captação.

Isso é feito com a finalidade de fazer o balanço hídrico entre demanda e a disponibilidade. Esse fato mostra a necessidade de considerarem-se as vazões contínuas, obtidas diretamente dos dados do requerente, nas análises dos pedidos de outorga, de forma a evitar o uso desses fatores de conversão, que muitas vezes são inadequados, podendo levar a estimativas pouco realistas, perdendo, com isso peculiaridades regionais.

Dessa forma, do ponto de vista agrônômico, considera-se que o pedido de outorga baseado em volumes mensais ou diários de irrigação pode ser mais adequado que a vazão de captação instantânea. A partir deste volume, podem ser determinadas vazões médias contínuas de captação.

Ressalta-se que a determinação de volumes mensais ou diários para irrigação é mais fácil que a determinação de vazão e regimes de operação, devido ao fato de que nas captações para irrigação, raramente existem medidores de vazão, de forma que seja possível avaliar-se as demandas por esse meio.

Difícilmente os irrigantes conseguem informar as demandas de uma forma confiável. Assim, as estimativas de demandas a partir de informações como local da irrigação, área irrigada, cultura,

método de irrigação, calendário de irrigação, entre outras, são mais precisas, na maioria dos casos, do que os valores informados pelos irrigantes em termos de vazão de captação. Com isso, a melhor alternativa é lançar mão de estimativas das demandas em termos de volumes mensais e posteriormente fazer as devidas transformações.

Porém, do ponto de vista da análise do impacto hidrológico do empreendimento sobre um manancial de água corrente, as vazões médias e máximas instantâneas devem ser utilizadas, sendo que para reservatórios, devem ser utilizados volumes mensais ou diários.

A identificação da vazão máxima instantânea serve, ainda, para a área de fiscalização do órgão gestor de recursos hídricos como limite máximo que o usuário tem direito a captar, cabendo a aplicação de multas ou advertências quando da constatação de valores maiores.

Classes de outorga e cobrança em função da eficiência do uso da água para irrigação

Deve ser considerado que nem sempre o método de irrigação, por si, é o principal responsável pela eficiência da irrigação. Métodos supostamente eficientes quando mal manejados podem ser muito ineficientes. Por outro lado, métodos considerados ineficientes podem ter seu desempenho melhorado através de um adequado manejo da irrigação, uso de técnicas de reaproveitamento da água no final do sulco, sistematização das áreas, pudelagem de tabuleiros, entre outras. Na Tabela 1 percebe-se grandes possibilidades de melhoria de eficiência, independente do método.

Nesse sentido, para que seja estimulado um uso eficiente propõe-se uma metodologia que considere a eficiência de uso da água da irrigação, que deverá ser declarada pelo requerente quando do pedido de outorga. O valor da eficiência declarado será fundamental para a determinação dos volumes a serem outorgados. Na prática da irrigação o requerente deverá alcançar a meta de eficiência declarada.

As vantagens para o irrigante em buscar a eficiência seria compensada pela maior prioridade de suprimento de água em caso de suspensão da outorga decorrente de programas de racionamento, prioridades na emissão de outorga e valor diferenciado de cobrança, com valores menores para as classes de maior eficiência. Na Tabela 5, são apresentadas sugestões de classes em função da eficiência.

Tabela 5. Classes de outorga em função da eficiência do uso da água para irrigação

Eficiência de irrigação (%)	Prioridade
Alta (> 85%)	1
Média (entre 70% e 85%)	2
Baixa (entre 55% e 70%)	3
Muito baixa (< 55%)	4

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A estimativa do consumo de água para irrigação, apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes localidades, das diferentes características dos solos, das culturas irrigadas e dos níveis tecnológicos dos irrigantes que proporcionam variações de eficiência no uso da água;

- Para determinação das necessidades de irrigação, a evapotranspiração de referência e a precipitação efetiva deverão ser tratadas estatisticamente, de forma que seja possível a determinação de níveis de garantia aos estudos subseqüentes;

- Os métodos de determinação da evapotranspiração de referência e, especialmente, da determinação da precipitação efetiva ou provável carecem de aprimoramentos para possibilitar estimativas mais realistas das demandas de água para irrigação.

- No balanço hídrico entre demanda e disponibilidade do manancial, a utilização somente da vazão de captação máxima instantânea pode levar a superestimativas das demandas para irrigação.

- Os critérios utilizados nas análises de pedidos de outorga para irrigação podem ser aprimorados a partir do conhecimento das variáveis espaciais e temporais. A irrigação tem sua demanda por água bastante variável no tempo e espaço. O impacto sobre o manancial pode ser superestimado se isso não for levado em conta.

- As estimativas de demandas a partir de informações básicas (local da irrigação, área irrigada, cultura, método de irrigação, calendário de irrigação, etc.) são mais precisas, na maioria dos casos, do que os valores informados pelos irrigantes em termos de vazão de captação.

- A determinação de consumos médios por hectare como limite entre usos eficientes e ineficientes não é uma boa estratégia pois existem muitos fatores que podem determinar as demandas, especialmente a época e o local onde é feita a irrigação. O valor de 1,0 L/s/ha, largamente utilizado como balizador, é muito alto para ser adotado como um limite entre usos eficientes e ineficientes.

- Para estimular o uso eficiente dos recursos hídricos, os critérios para análise de pedidos de outorga para irrigação devem levar em conta a eficiência do uso da água. Sendo assim, sugere-se que sejam estabelecidos critérios de outorga e cobrança que levem em conta essa eficiência, de forma a estimular o uso racional da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. An Update for the Calculation of reference evapotranspiration **ICID Bulletin**, 43(2), 1994 p.35-92.

- ALBURQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G.C.; BEZZERRA, J. R. C.; STONE, L. F. e SILVEIRA, P. M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna**. n. 52/53 2001/2002.
- 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).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995, 657p.
- DASTANE, N.G., **Effective rainfall in irrigated agriculture**. Roma: FAO, 1974. (FAO. Irrigation and drainage paper, 25).
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Projetos de Irrigação no Vale do São Francisco**. CODEVASF. Brasília, 2002. Revista, 42 p. il. (<http://www.codevasf.gov.br/produtos/publicacoes.htm>)
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução de GHEYI, H.R. et al, Campina Grande, UFPB, 1997. 204p.
- DOOREMBOS, J. KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H.R. et al, Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- ENGEORPS **Manual de Outorga**. In: Relatório 210- SRH-MAO-RT-006/98, Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Fundação Arthur Bernardes, Brasília, , 1998.
- HARGREAVES, G.H. **Precipitation Dependability and Potentials for Agricultural Production in Northeast Brasil**. Utah State University. Logan (1974).
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações**. Guaíba. Agropecuária, 2002, 2002.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. FEALQ. Piracicaba, 1997, 183p.

Nota: As opiniões e conclusões apresentadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não significando atitude da Agência Nacional de Águas – ANA.