



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

PROPOSTA PARA OPERAÇÃO DE PEQUENOS AÇUDES NO SEMIÁRIDO

Paulilo P. Brasil¹; Pedro H. A. Medeiros² & Carlos Alexandre G. Costa³

RESUMO – Objetivou-se o desenvolvimento e aplicação de um modelo de produção agrícola irrigada para a racionalização da operação de pequenos açudes no semiárido. O modelo é composto de três rotinas: i) balanço hídrico no reservatório em função das afluências e efluências hídricas, geometria do açude e características da bacia hidrográfica; ii) balanço hídrico da cultura e simulação do cultivo agrícola; iii) análise econômica para cálculo da renda proveniente do cultivo agrícola irrigado. Foi analisado o reservatório São Joaquim, localizado no assentamento rural 25 de Maio, Ceará, tendo se utilizado uma série de dados de 1986 a 2014. A simulação indicou que a vazão regularizada com 30% de garantia apresentou a maior renda possível proveniente da agricultura irrigada a partir do reservatório analisado, mostrando ser possível racionalizar o uso da água de pequenos açudes com vista à maximização da renda de agricultores.

ABSTRACT – It was aimed to develop and implement an irrigated agricultural production model for the rationalization of small dams operation in the Brazilian semiarid region. The model is composed of three routines: i) water balance in the reservoir based on water inflows and outflows, reservoir geometry and catchment characteristics; ii) water balance of the culture and simulation of agricultural cultivation; iii) economic analysis for the calculation of income from irrigated agricultural cultivation. The work was carried out at the São Joaquim reservoir, located in the rural settlement May 25, Ceará, using a hydrological series from 1986 to 2014. The simulation indicated that the water yield with 30% reliability provided the highest income possible from the irrigated agriculture from the analyzed reservoir, showing that it is possible to rationalize the use of water from small dams in order to maximizing the income of farmers.

Palavras-Chave – Operação de açudes, racionalização do uso da água, maximização de renda.

¹ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestrando em Engenharia Agrícola – DENA/UFC, (88) 996128266, paulilopalacio@gmail.com

² Prof. do Instituto Federal do Ceará - IFCE, Doutor em Engenharia Civil, phamedeiros@ifce.edu.br

³ Prof. da Universidade Federal do Ceará - UFC, Doutor em Engenharia Agrícola, costacag@gmail.com

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro, além de ser o mais populoso do mundo, apresenta alta vulnerabilidade às secas, ocasionado pelo regime pluviométrico anual altamente concentrado em poucos meses do ano, altas evaporações, e solos rasos e predominantemente cristalinos contribuem para a intermitência dos rios.

O estado Ceará tem aproximadamente 93% do seu território encravado na região semiárida, em consequência disso, é fortemente dependente de reservatórios superficiais para atendimento de demandas hídricas no período de escassez, por exemplo, 90% da água ofertada aos usuários vêm dos açudes (ARAÚJO *et al.*, 2006).

No estado de Ceará, apenas na bacia do Alto Jaguaribe, de acordo com Araújo *et al.* (2012), a rede de reservatórios na referida bacia consistia, em 1970, de pouco mais de 2.000 açudes, sendo cerca de 4.000 em 2002 e 4.700 em 2010. Viana *et al.* (2011) informam que os principais usos dos pequenos açudes são o abastecimento humano rural, o abastecimento animal e a pequena irrigação de subsistência. No entanto, a alta taxa de evaporação nesses equipamentos hidráulicos não possibilita assegurar a continuidade desses usos, devido à certeza de secarem rapidamente.

Pequenas cidades, agricultores e comunidades rurais também vêm construindo espontaneamente milhares de pequenos e micro reservatórios (ou por particulares ou com ajuda governamental), devido essas demandas não serem atendidas pelos reservatórios estratégicos, porém com baixa eficiência relativa dos recursos hídricos armazenados durante o período de escassez hídrica. Em consequência disso, esses reservatórios são praticamente ignorados em políticas de gestão de recursos hídricos e assim dificultando o planejamento, pois a gestão adequada exige um conhecimento da capacidade de regularização de vazão para diferentes níveis de garantia e regras de operação.

O objetivo principal com esse trabalho foi utilizar um critério econômico para a operação de pequenos reservatórios.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo consiste em avaliar a disponibilidade de água em reservatórios efetuando simulações do balanço hídrico para quantificação das entradas e saídas hídricas em reservatórios para determinar diferentes níveis de vazões de regularizadas (Q_w). O modelo consiste em calcular o equilíbrio de água simplificado em reservatórios, com passo de tempo diário para uma dada regra de operação do reservatório. O balanço hídrico foi calculado pela lei de conservação de massa:

$$\frac{\partial V(t)}{\partial t} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t) \quad (1)$$

$$Q_{ini} = Q_{Vi} + Q_{Pi} + Q_{Gi} \quad (2)$$

$$Q_{outi} = Q_{Ei} + Q_{Ii} + Q_{Wi} + Q_{Oi} \quad (3)$$

Em que:

V_i – volume armazenado no reservatório no tempo no dia i , m^3 ;

Q_{ini} – soma de todas as afluências no dia i , m^3 ;

Q_{outi} – soma de todas as efluências no dia i , m^3 ;

Q_{Vi} – vazão afluyente no dia i , m^3 ;

Q_{Pi} – precipitação direta sobre o lago no dia i , m^3 ;

Q_{Gi} – recarga subterrânea no dia i , m^3 ;

Q_{Ei} – evaporação do lago no dia i , m^3 ;

Q_{Ii} – infiltração no dia i , m^3 ;

Q_{WPj} – volume de água regularizada potencial para suprimento da irrigação na garantia j , m^3 dia⁻¹ e;

Q_{Oi} – vertimento no dia i , m^3 .

Admite-se que os volumes excedentes são totalmente vertidos (Q_O) ao fim de cada dia de ocorrência na simulação. A retirada de água para a irrigação durante a estação chuvosa ocorre para suplementar déficit hídrico devido a ocorrência de veranicos durante a estação. Ao fim de cada dia o nível do reservatório será determinado pelo volume acrescido pelas afluências menos a evaporação direta no reservatório e, se caso necessário, a retirada para irrigação. A estação seca foi caracterizada pela depleção de volume devido à evaporação simultânea (Q_E) e o volume regularizado potencial para a irrigação (Q_{WP}). Segundo de Araújo et al. (2006) $Q_G \approx Q_I$ no Nordeste brasileiro, podendo-se desconsiderar ambos os termos.

O balanço hídrico de cultivo (BHC), em escala diária, foi realizado considerando o manejo de irrigação integrado via clima. O BHC considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação e a precipitação são as componentes de entrada. Já as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) são as componentes de saída do BHC. As perdas por escoamento superficial ou percolação profunda devem ser eliminadas com o manejo de água adequado. Portanto, para fins de controle do BHC restam às irrigações, as precipitações e a evapotranspiração.

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) existem vários métodos, a escolha depende do clima local, finalidade e material meteorológico existente. Os diferentes métodos podem

utilizar uma ou mais variáveis e as estimativas podem ser feitas por meio de equações simples a complexas. A (ET_0) foi estimada utilizando a equação de Hargreaves e Samani (1985):

$$ET_{0i} = 0,0023 \times (T_{xi} - T_{ni})^{0,5} \times (T_{mi} - 17,8) \times R_{ai} \times 0,408 \quad (4)$$

Em que:

ET_{0i} – evapotranspiração de referência do dia i, mm;

T_{xi} – temperatura máxima do dia i, °C;

T_{ni} – temperatura mínima do dia i, °C;

T_{mi} – temperatura média do dia i, °C e;

R_{ai} – radiação solar no topo da atmosfera do dia i, MJ m⁻².

A estimativa do consumo de água pelas culturas (ET_c) representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais. O cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) é feito, normalmente, empregando-se a seguinte equação:

$$ET_{c_{ik}} = ET_0 \times K_{c_{ik}} \quad (5)$$

Em que:

$ET_{c_{ik}}$ – evapotranspiração da cultura no dia i e cultura k, mm;

$K_{c_{ik}}$ – coeficiente da cultivo no dia i e cultura k, adimensional.

O K_c varia com a planta, local, clima, práticas culturais, desenvolvimento vegetativo, disponibilidade de água no solo, estágio de desenvolvimento e condições de cultivo com ou sem controle de ervas daninhas. Na realidade o valor de K_c integra o efeito dos fatores acima mencionados.

Face as grandes variabilidades de tipos de solos presentes e, conseqüentemente, das suas diferentes capacidades de retenção de água. A Capacidade de Água Disponível no solo (CAD) pode ser definida como o armazenamento máximo de água no solo, disponível para as plantas, sendo calculada pela equação:

$$AFD = \left(\frac{U_{CC} - U_{PMP}}{10} \right) \times d_s \times Z \times f \quad (6)$$

Em que:

AFD – água facilmente disponível para as plantas, mm;

U_{CC} – umidade do solo na capacidade campo, %;

U_{PMP} – umidade do solo no ponto de murcha permanente, %;

d_s – densidade aparente do solo, g cm⁻³;

Z – profundidade efetiva do sistema radicular, cm e;

f – fração de esgotamento da água no solo, adimensional.

As receitas líquidas (RL) foram determinadas a partir do rendimento relativo e da lâmina bruta obtido para cada nível de garantia (G), utilizando as expressões:

$$RL_{ijk} = RB_{ijk} - CT_{ijk} - Rf_{jkr} \pm RR_{ijk} \quad (7)$$

$$RB_{ijk} = Yr_{ijk} \times Pf_k \quad (8)$$

Em que:

RL_{ijk} – receita líquida obtida no dia i, garantia j, cultura k e sistema de irrigação r, R\$;

RB_{ijk} – receita bruta obtida pelo cultivo no dia i, garantia j e cultura k, R\$;

CT_{ijk} – custo total de produção para dia i, garantia j, cultura k e sistema de irrigação r, R\$.

Rf_{kr} – renda fixa adquirida pela garantia j, cultura k e sistema de irrigação r, R\$;

RR_{ijk} – rendimento investido no dia i, garantia j, cultura k e sistema de irrigação r, R\$;

Yr_{ijk} – produção da cultura no dia i, garantia j e cultura k, kg e;

Pf_k – preço médio da venda da cultura k, R\$ kg⁻¹.

O modelo proposto foi aplicado no reservatório São Joaquim que está localizado no Assentamento Rural Federal “25 de Maio”, nas divisas dos municípios de Madalena, Boa Viagem e Quixeramobim, todos pertencentes ao estado do Ceará e compõe a bacia hidrográfica do Banabuiú (Figura 1). O reservatório possui volume de 5,15 hm³, espelho d’água cobrindo uma área de 180 ha e área da bacia hidrográfica de 30,8 km². O Assentamento está inserido na região semiárida brasileira, apresentando déficit hídrico natural, com elevadas temperaturas, predominância de longos períodos sem chuva e intensas taxas de evaporação, apresentando uma precipitação média anual de aproximadamente 600 mm e evaporação potencial média de 2100 mm ano⁻¹. Somando a esses fatores a ocorrência de ventos fortes e secos, as temperaturas ficam em torno de 26 a 28°C, podendo chegar a 25°C, em média, no período chuvoso (LOPES, 2013).

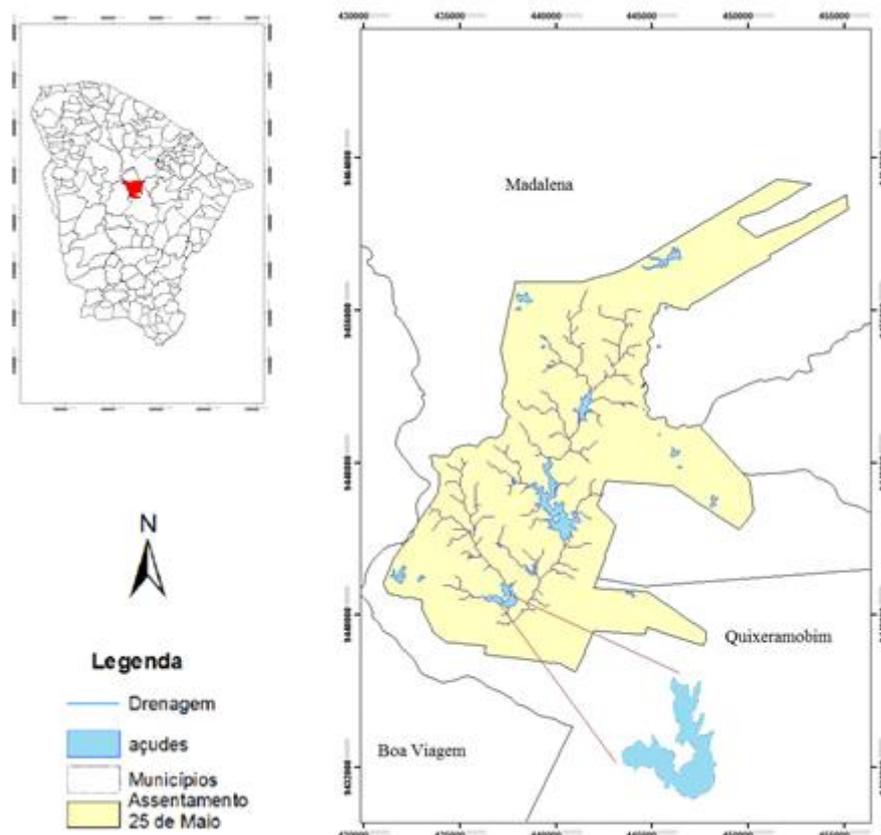


Figura 1 – Localização do reservatório São Joaquim no Assentamento Rural Federal “25 de Maio”.

As simulações foram realizadas durante o período de janeiro de 1986 à novembro de 2014, pois foram disponibilizadas séries medidas de precipitação, evaporação, escoamento superficial, temperatura máxima e mínima. Os dados de precipitação foram adquiridos dos postos pluviométricos na cidade de Madalena e Quixeramobim da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) de janeiro de 1986 à novembro de 2014. A evaporação foi obtida das NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (INMET, 2009), e a estação que representa a Bacia Hidrográfica do Banabuiú é de Quixeramobim, sendo as medições realizadas através do método de Piché. As afluências para os pequenos açudes (Q_R) podem ser obtidas através de registros fluviométricos e utilizando-se técnicas de regionalização de vazões que foram obtidos no trabalho realizado por Nascimento (2015).

O programa computacional foi estruturado de forma a permitir ao usuário a entrada de informações tais como: a) dados de características geométricas do reservatório, volume máximo, cota máxima de sangria, bacia hidrográfica, vazão regularizada; b) informações sobre a cultura, tipo de irrigação, informações sobre o solo; c) informações sobre custo de irrigação, custo de implantação da cultura, tarifa de energia elétrica, altura manométrica, rendimento do conjunto motor-bomba, produtividade da cultura, preço de venda da produção. No qual podemos observar os dados de entrada para o reservatório São Joaquim (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados de entrada utilizados no modelo do reservatório São Joaquim

Dados Geométricos		
Volume Máxima	5.150.000	m ³
Bacia Hidrográfica	30,8	km ²
Altura de sangria	7,5	m
Fator k	22.586	-
Fator α	2,7	-

Os dados para a cultura milho foi retirado do sistema de produção Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados de entrada utilizados no modelo para o cultivo do milho

Dados da cultura		
Demanda hídrica	650	mm
Ciclo	110	dias
Kc máximo	1,29	-
Z	45	cm
f	0,5	-
Produtividade	8.500	kg ha ⁻¹

A textura do solo para essa simulação foi considerada média (Franco), sendo que umidade na capacidade de campo (U_{cc}) foi de 22%, ponto de murcha permanente (U_{pmp}) 10% e densidade do solo (d_s) 1,4 g cm⁻³ (VERMEIREN & JOBLING, 1997).

A irrigação escolhida foi feita por aspersão convencional, sendo a eficiência pré-fixada em 75%. Utilizou-se este valor de eficiência por ser um valor que, em nível de propriedade rural, pode ser perfeitamente obtido com o manejo adequado do sistema. O valor de altura manométrica utilizada foi de 40 m, que representa uma situação hipotética representativa na maioria dos sistemas de irrigação por aspersão convencional.

Os dados de econômicos para produção e instalação da cultura do milho foi fornecida pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a cidade de Barreiras na Bahia (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de entrada utilizados no modelo de custos para o cultivo do milho irrigado

Dados Econômicos		
Custo da irrigação	7.000	R\$ ha ⁻¹
Custo de implantação da cultura	3.000	R\$ ha ⁻¹
Preço de venda	0,8	R\$ kg ⁻¹
Tarifa de energia elétrica	0,091	R\$ kWh ⁻¹

As hipóteses simplificadoras do modelo são: a) toda água excedente durante um dia de simulação do balanço hídrico será vertido no fim do dia da simulação; b) só será necessário retirar água do reservatório apenas para a irrigação; c) o reservatório só terá um único uso; d) a área máxima

cultivada depende do volume de água por dia que pode ser retirado potencialmente com uma garantia pré-fixada; e) não haverá perda de produção devido o stress hídrico desde que o modelo estime a área máxima cultivada para o volume do reservatório no início do cultivo; f) o ciclo total até replantio terá mais 10 dias para preparo do solo; g) não há restrição de solo para cultivo, sendo assim cultura do milho sempre terá produtividade máxima; h) não foi considerado a variação do mercado no preço de venda do milho; i) a operação ótima vai ser aquela que obtiver a maior renda mensal para durante todo o período simulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disponibilidade hídrica pode ser impactada de acordo com duas perspectivas: a mudança da confiabilidade na vazão regularizável, e a mudança na vazão disponível a um nível de confiança (Araújo *et al.*, 2006). Para o uso desse modelo com apenas o uso para fim econômico apresentou par o reservatório São Joaquim que a segurança hídrica não está necessariamente ligada a renda máxima que pode ser produzida pela água, isso nos pequenos reservatórios (Figura 2).

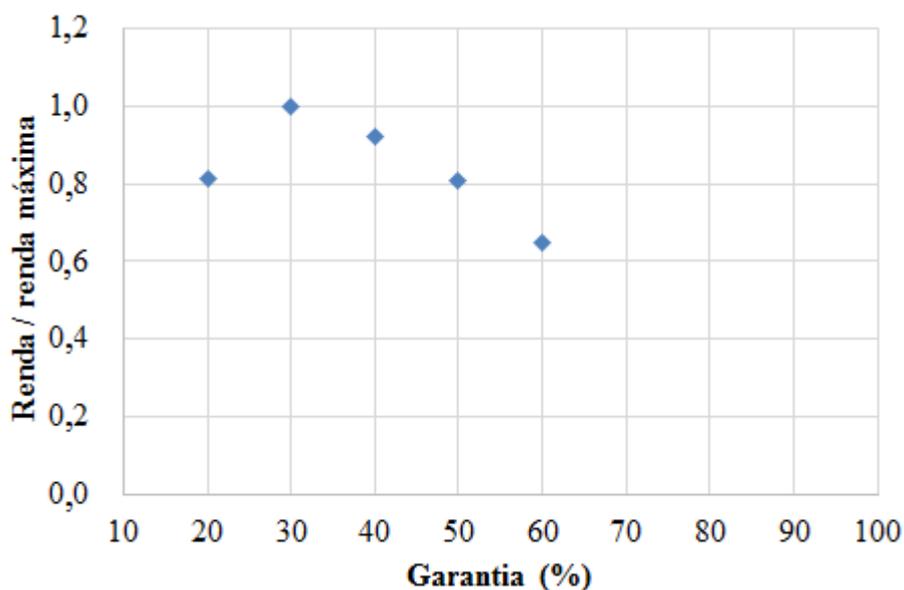


Figura 2 – Curva de operação do reservatório São Joaquim para fins econômicos.

Em que pequenos reservatórios nem sempre uma vazão que tenha garantia de permanência por um período maior não haverá garantia de produção maximizada (Figura 2). Com isso a necessidade de aprofundar em um uso para esses pequenos reservatórios nas políticas públicas se faz necessária, devido à escassez hídrica que sempre está presente no semiárido do Brasil. A garantia de apenas 30% apresentou vazão de $7.613 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ e a partir desse volume foi determinado que a área máxima cultivada para essa operação foi de aproximadamente 129 ha (Figura 3).

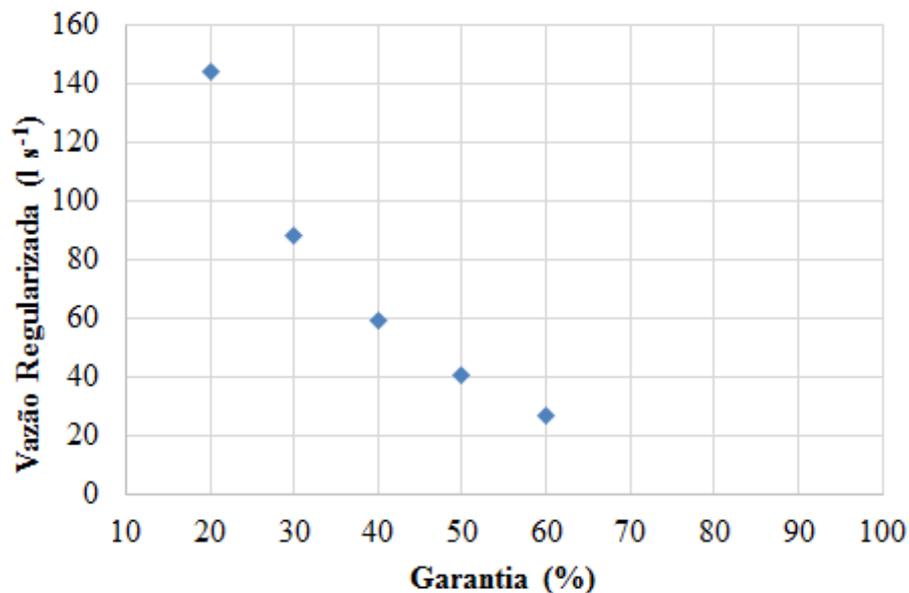


Figura 3 – Curva da vazão regularizada *versus* a garantia.

Segundo Mousinho (2005) o alto risco para a agricultura de sequeiro no semiárido inviabiliza a agricultura durante a maior parte do ano e mesmo nos meses mais recomendados para início de semeadura no regime de sequeiro para o cultivo do feijão-caupi irá se submeter há um risco econômico de 75%. Com a adição da irrigação na agricultura, seja para suplementação no período de chuvas como para irrigação total no período de secas, será um ganho importante valor econômico para o pequeno agricultor. E ainda com uso desses reservatórios diminuirá um pouco a pressão nos grandes reservatórios estratégicos.

CONCLUSÕES

O modelo mostrou-se como um bom suporte para planejamento da agricultura familiar, sendo possível proporcionar um aumento da renda do pequeno agricultor e ainda destinando uso definitivo para os pequenos reservatórios, que atualmente encontram-se em sua maioria subutilizados como consequência da cultura de poupar água.

A alta garantia para operação, praticada pelos órgãos gestores nos grandes sistemas e que as vezes não é possível para pequenos reservatórios devido a sua baixa profundidade, o que acaba por provocar o completo esvaziamento em intervalos de tempo de poucos anos, não se mostra economicamente a melhor proposta para esse tipo de reservatório. diferentemente dos grandes reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006). “*Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil*”. Hydrol. Sci. J., 51(1), 157–170.

ARAÚJO J.C.; MEDEIROS P.H.A.; MAMEDE G.L. (2012). “*Impactos da densa rede de açudes no semiárido brasileiro*”, in Anais do I Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, Iguatu–CE.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). “*Reference crop evapotranspiration from temperature*”. Applied Engineering in Agriculture, v. 01, n. 02, p. 96-99.

INMET (2009) – “*Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*”. Edição revista e ampliada. Brasília, DF.

LOPES, J. W. B. L. (2013). “*Modelagem hidrossedimentológica em meso-bacia no semiárido*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola); Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

MOUSINHO, F. E. P. (2005). “*Variabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí*”. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.

NASCIMENTO, A. T. P. (2015). “*Análise da disponibilidade hídrica nos pequenos açudes do assentamento 25 de Maio, Madalena-CE*”. 65f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Maracanaú, CE.

VERMEIREN, L., JOBLING, G.A. (1997). “*Irrigação localizada*”, in Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36. Tradução de H.R. Gheyi, F.A.V. Damasceno, L.G.A. Silva Jr., J.F. de Medeiros, Campina Grande, UFPB, 184p.

VIANA, L. F. G.; PINHO, A. I. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; ARAÚJO, J. C. (2011). “*Identificação dos principais usos de pequenos açudes a montante do açude Benguê, Ceará, Brasil*”, in Anais do XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2011. Cuiabá.