

**É POSSÍVEL AUMENTAR A RENDA PROVENIENTE DA AGRICULTURA
IRRIGADA RACIONALIZANDO A ÁGUA DE PEQUENOS AÇUDES EM REGIÕES
SEMIÁRIDAS?**

Paulilo P. Brasil¹, Pedro H. A. Medeiros², Rosama Alves Oliveira³, Claudivan Feitosa de
Larcerda⁴

RESUMO: O desenvolvimento econômico no semiárido brasileiro deu-se a partir da construção de reservatórios estratégicos, acumulando os excedentes hídricos na estação chuvosa para atendimento das demandas na estação seca. Apesar da importância, essas estruturas não atendiam as demandas de toda sua bacia hidrográfica. Então, pequenas cidades e comunidades rurais construíram milhares de pequenos açudes, no entanto essas pequenas estruturas não suportam longos períodos secos e ofertam vazões hídricas com baixa garantia, dessa forma, sendo negligenciados nos planos de gestão hídrica. Diante do exposto, o modelo NeStRes foi desenvolvido para ser uma ferramenta na gestão de pequenos açudes na agricultura irrigada em regiões secas. O modelo avalia o *trade-off* entre a evaporação e a retirada de água para a irrigação, de forma a evitar perdas de safra por estresse hídrico. O mesmo foi estruturado em três módulos (hidrológico, agrícola e econômico), sendo possível calcular a renda máxima possível com a água armazenada sendo o fator limitante. Neste trabalho, o NeStRes foi aplicado para duas culturas de ciclo curto (milho e feijão), para uma série de dados climáticos com 100 anos de duração em dois açudes no Assentamento 25 de Maio, localizado na cidade de Madalena, Ceará. Os resultados apontaram que um uso intenso, porém racional, devolve maior renda na agricultura irrigada do que o modelo de gestão utilizado para os açudes estratégicos no Ceará. A partir disso, o modelo demonstrou que o uso dos pequenos açudes na agricultura irrigada possui potencial de agregar no planejamento agrícola e melhorar a renda dos agricultores.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura irrigada, gestão hídrica, planejamento agrícola

¹ Pós-doutorando da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Ceará – SEDET. paulilopalacio@gmail.com

² Prof. Doutor, Instituto Federal do Ceará, IFCE

³ Mestranda em Eng. Agrícola, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE

⁴ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE

IS IT POSSIBLE TO INCREASE LONG-TERM INCOME BY RATIONALIZING WATER FROM SMALL DAMS IN SEMI-ARID REGIONS?

ABSTRACT: Economic development in the Brazilian semiarid started with the construction of strategic dams, accumulating excess water in the rainy season to meet the demands in the dry season. Despite their importance, these structures didn't meet the demands of its entire hydrographic basin. Then, small cities and rural communities-built thousands of small dams, however these small structures do not withstand long dry periods and offer water flows with low guarantee, thus, being neglected in water management plans. That said, the NeStRes model was developed to be a tool in the management of small dams in irrigated agriculture in dry regions. The model assesses the trade-off between evaporation and water withdrawal for irrigation, in order to avoid crop losses due to water stress. It was structured in three modules (hydrological, agricultural, and economic), making it possible to calculate the maximum possible income with the stored water being the limiting factor. In this work, NeStRes was applied to two short cycle crops (maize and beans), for a series of climatic data with a duration of 100 years in two dams in the Settlement 25 de Maio, located in the city of Madalena, Ceará. The results pointed out that an intense but rational use returns greater income in irrigated agriculture than the management model used for strategic dams in Ceará. From this, the model demonstrated that the use of small dams in irrigated agriculture has the potential to add to agricultural planning and improve farmers' income.

KEYWORDS: irrigated agriculture, water management, agricultural planning

INTRODUÇÃO

A captação direta de água da chuva e armazenamento dos escoamentos através de barramentos têm sido a chave para garantir os meios de subsistência, aumento na produtividade agrícola em muitas civilizações e o armazenamento de água tornou-se uma estratégia fundamental contra a escassez hídrica (WISSER et al., 2010; NUNES & MEDEIROS, 2020). Os açudes têm permitido o crescimento econômico e a redução da pobreza em muitas regiões do mundo (BRISCOE, 2009).

Os efeitos positivos dos grandes açudes construídos pelo setor público levaram agricultores e comunidades remotas a construir seus próprios açudes, porém de pequena escala, em que foi gerado redes de alta densidade de açude, contribuindo na descentralização do acesso a água e no abastecimento (MEDEIROS & SIVAPALAN, 2020), mas também impactando os

fluxos hídricos nos rios e no aporte dos maiores açudes estratégicos localizados em posições a jusante (MAMEDE et al., 2018).

Os pequenos açudes embora não sejam capazes de atender múltiplas demandas, especialmente por serem mais susceptíveis aos efeitos da seca (ARAÚJO & BRONSTERT, 2016), cumprem um papel essencial para a sobrevivência das pequenas e comunidades rurais difusas (FRAITURE et al., 2014; FOWE et al., 2015; YOHANNES et al., 2017). Esses autores sugerem que esses açudes sejam utilizados exclusivamente na produção agrícola irrigada, considerando que essa é a principal atividade econômica dessas regiões no mundo. Entretanto, a utilização deles tem sido pouco explorada em pesquisas científicas hidrológicas e gestão (FOWE et al., 2015), com isso, essas estruturas acabam sendo subutilizadas pelos órgãos gestores e pelas comunidades ribeirinhas, devido de informações de como operá-los e aos conflitos inseridos sobre o domínio da água (OGILVIE et al., 2019).

A regra de operação em açudes varia conforme as características climáticas, morfologia hidráulica e os usos propostos da água. Em função disso, a construção de um modelo de gestão em pequenos açudes torna-se ainda mais complexa, pois estes possuem menores vazões, atendem pequenas áreas irrigadas e têm alto risco de colapso hídrico. Com isso, o modelo NeStRes, desenvolvido por Brasil & Medeiros (2020), define que o uso da água de pequenos açudes deve possuir uma destinação específica de forma a submeter a alguma atividade econômica viável.

O modelo NeStRes infere um uso prioritário da água na qual possa ser inserido objetivos finais definidos pelos usuários. No caso do uso na agricultura irrigada, deve-se observar que a melhor forma de otimizar o uso da água seria maximizando a renda ao invés da área cultivada (BRASIL & MEDEIROS, 2020). Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, apresentar um método de gestão da água de pequenos açudes na agricultura irrigada, pela ótica do modelo NeStRes.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo NeStRes (*Model for Operation of Non-Strategic Reservoirs for Irrigation in Drylands*) foi desenvolvido por Brasil & Medeiros (2020) que visa definir um uso prioritário da água dos pequenos açudes objetivando maximizar a receita na agricultura irrigada de pequena escala. O conceito envolvido é demonstrar que a prática adotada na gestão de grandes açudes não é economicamente viável aos pequenos açudes, pois com a vazão de retirada reduzida, a evaporação direta torna-se a principal fonte consumidora do recurso armazenado,

acarretando assim em perda de receita. Por outro lado, o uso intenso da água permite maiores áreas cultivadas, com isso elevando o risco de esvaziamento total do reservatório antes do fim do ciclo produtivo de uma dada cultura, o que pode resultar em perdas de safra e receita por déficit hídrico (Figura 1).

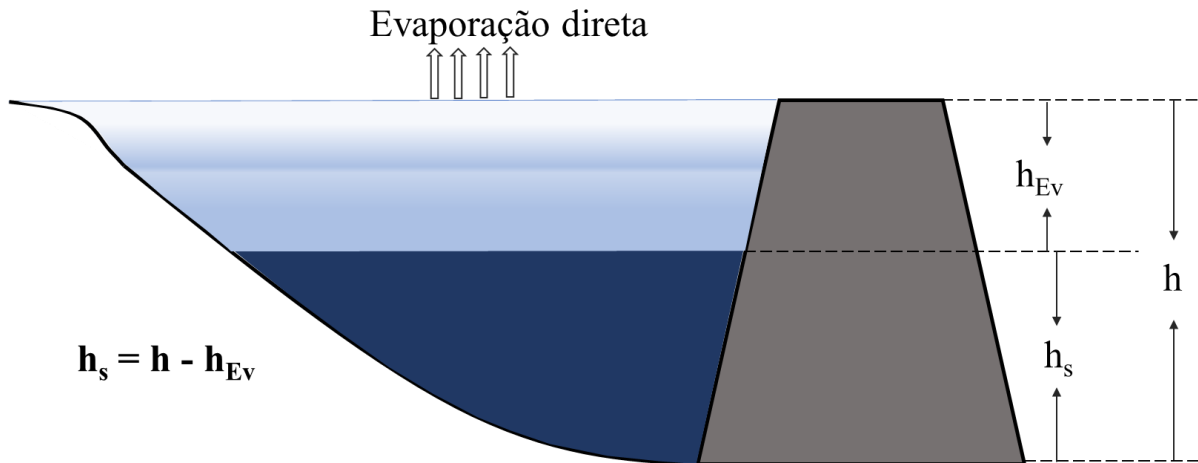


Figura 1. Esquema teórico em que demonstra a influência na lâmina de evaporação direta (h_{EV}) da gestão agrícola e hídrica.

Visto isso, Brasil & Medeiros (2020) observaram que existe uma vazão de retirada que irá balancear com a evaporação direta, com isso, sendo determinado uma regra de operação que devolverá a máxima receita possível para uma dada cultura. Assim, o modelo simula o arranjo agrícola baseado na dinâmica hidrológica dos açudes numa escala diária de tempo, admitindo a água como sendo o fator limitante principal, e é composto por três módulos operacionais: a) módulo hidrológico para cálculo da disponibilidade hídrica e definição de vazão de retirada; b) módulo agrícola que simula o sistema de produção agrícola e consumo de água pela cultura; c) módulo econômico realiza um balanço financeiro (fluxo de caixa) para quantificação da receita do agricultor com a atividade agrícola.

O módulo hidrológico é baseado no princípio da conservação de massa no açude para determinação da dinâmica temporal da água e desse modo calcular a vazão de retirada para a irrigação (ARAÚJO et al., 2006).

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t) \quad (1)$$

Em que: dV/dt é a variação do volume de água do açude em dado intervalo de tempo (m^3); Q_{in} é a massa de água de entrada no açude, precipitação e vazão afluyente, (m^3) e Q_{out} é a massa de água que é retirado do açude, evaporação direta, infiltração, sangria e vazão para uso na irrigação, (m^3).

A vazão afluyente foi determinada utilizando o modelo *Curve Number* (CN) que se baseia em estimar o escoamento superficial direto (Pe) em função de precipitações individuais em pequenas e médias bacias hidrográficas.

No módulo agrícola, o balanço hídrico da cultura é calculado, também em uma escala diária, considerando o manejo da irrigação via clima. O módulo considera a irrigação e a precipitação efetiva.

$$P_{eff_i} = \begin{cases} P_i \times \left(\frac{4,17 - 0,02 \times P_i}{4,17} \right) & P_i < 83\text{mm} \\ 41,7 + 0,1 \times P_i & P_i \geq 83\text{mm} \end{cases} \quad (2)$$

Em que P_{eff} é a parte da precipitação que fica disponível para as plantas (mm) e P é a precipitação total diária (mm).

A evapotranspiração de referência é estimada utilizando-se a equação parcimoniosa proposta por Hargreaves & Samani (1985, Equação 3). A escolha desse método de evapotranspiração de referência se dá pela limitação de dados climatológicos a longo prazo e pela oportunidade de ajustes numéricos que visam aprimorar a precisão da evapotranspiração (LIMA JÚNIOR et al., 2016).

$$ET_o = 0,408 \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot 0,0023 \cdot (T_{av} + 17,8) \cdot Ra \quad (3)$$

$$ET_c = ET_o \cdot kc \quad (4)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm); T_{max} , T_{min} e T_{av} são as temperaturas máxima, mínima e média (°C), respectivamente; Ra é a radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$); ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm) e; kc é o coeficiente de evapotranspiração da cultura para a cultura (adimensional).

Por fim, o módulo econômico calcula um balanço considerando os custos e as receitas do sistema de produção agrícola. Os custos referem-se à produção (preparo do solo, sementes, agrotóxicos, mão de obra, entre outros); eletricidade; e custo de aquisição inicial do sistema de irrigação. A receita corresponde ao valor obtido com a venda da produção ao final do ciclo da cultura, admitindo-se um preço fixo ($\text{R}\$\text{kg}^{-1}$) do produto.

Esses dados são calculados diariamente e estão sujeitos a cobrança de juros (no caso de dívidas) e rendimento de poupança (no caso de balanço positivo). E ao fim da simulação é maximizada uma renda mensal que se pode adquirir através do uso dos pequenos reservatórios na produção do milho.

$$RL = RB - Ct \quad (5)$$

$$RL = RB - (Cp + Ce + Ic \pm Rs) \quad (5)$$

$$RL_n = 0 \rightarrow \text{Max}(Ic) \quad (7)$$

Em que: RL é a receita líquida na produção agrícola (R\$); RB é a receita bruta na produção agrícola (R\$); Ct são os custos totais na produção agrícola (R\$); Cp são os custos de operação da agricultura (\$); Ce são os custos da energia elétrica (R\$); Ic é a renda mensal do agricultor adquirida na produção agrícola (R\$); Rs é o rendimento do saldo sendo positivo ou negativo (R\$); o índice n é a contagem do último dia de simulação no modelo NeStRes.

O modelo foi aplicado em dois açudes inseridos no Assentamento 25 de Maio, Madalena, Ceará (Figura 2). Os açudes, Raiz e o São Nicolau (Tabela 1) fazem parte da Bacia do Rio Banabuiú, possuem classificação climática de Köppen como clima semiárido quente (BSh), com temperaturas médias em torno de 29°C, com precipitação média de 700 mm e evaporação potencial de até 2000 mm (INMET, 2018).

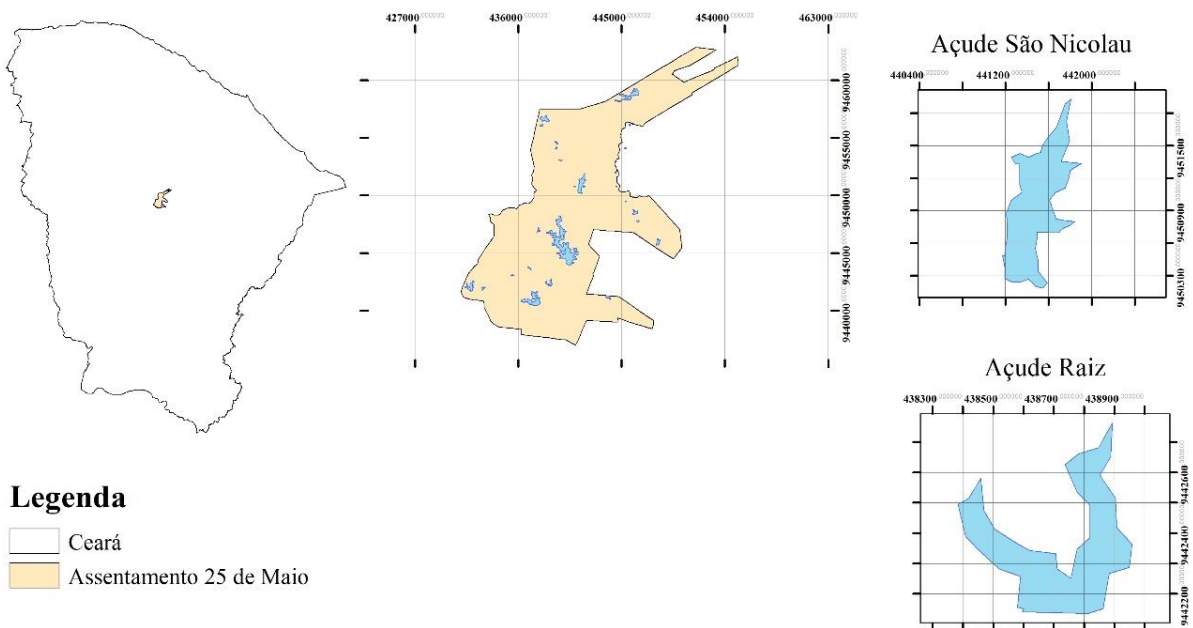


Figura 2. Assentamento 25 de Maio e localização dos dois açudes utilizados neste estudo.

Tabela 1. Características dos reservatórios estudados

Açude	Bacia hidrográfica (km ²)	Cap. Máx. (m ³)	h (m)	K ¹	□ ¹
Raiz	5,0	1.500.000	9,03	3942	2,7
São Nicolau	36,1	890.000	6,26	6290	2,7

¹ K e □ representam os coeficientes de abertura e forma do açude: $V = K \cdot h^{\square}$.

O modelo foi aplicado para avaliar o comportamento de dois cultivos de ciclo curto, milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). Essas culturas são amplamente produzidas em todo o mundo, estão presentes na alimentação humana e animal e pode ser cultivado em qualquer época do ano na região semiárida do Brasil (Tabela 2).

Tabela 2. Dados das culturas utilizados na simulação do modelo NeStRes

Cultura	DHC (mm)	D (dias)	Z (cm)	kc ₁	kc ₂	kc ₃	kc ₄	Pr (kg/ha)	Custo (R\$ha ⁻¹)	PM (R\$kg ⁻¹)
Milho	650	110	45	0,66	0,98	1,29	0,82	8.500	R\$ 3.000,00	R\$ 0,80
Feijão	600	70	25	0,4	0,8	1,2	0,75	1.800	R\$ 1.040,00	R\$ 4,16

* DHC -Demanda hídrica da cultura por ciclo; D – duração do ciclo produtivo; Z – profundidade efetiva das raízes; Pr – produtividade média dos cultivos irrigados; Custo – custo de implantação da cultura e; PM – preço médio de venda da produção.

O sistema de irrigação utilizado foi aspersão convencional devido a fácil operação e não possuir restrições para diferentes tipos de topografias e solos com valor médio de investimento de R\$ 7.000 por hectares. O tipo solo utilizado nas simulações possui classe textural média, com as seguintes propriedades: umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) de 22%, umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) de 10% e densidade (ρ_s) de 1,4 g.cm⁻³.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações apontaram que o uso intenso da água retorna maiores receitas mensais para ambas as culturas e ambos os açudes (Figura 3). Esses resultados indicam que é possível uma mudança de paradigma na gestão da água tendo em vista o uso dos pequenos açudes (BRASIL & MEDEIROS, 2020), pois a baixa confiabilidade de permanência da água nesses açudes impossibilita o uso da água para abastecimentos estratégicos (humano e animal), desse modo causando perdas do capital hídrico pela evaporação direta da água armazenada no açude. Com isso, a utilização da água dessas estruturas para a irrigação, do milho e do feijão por exemplo, esse fluxo hídrico passaria para uma função biológica e retornaria rendas a longo prazo para os operadores dos açudes. Resultados similares foram observados por Ouyang et al. (2018) utilizando pequenos açudes na irrigação do milho, algodão e soja no East Mississipi, EUA.

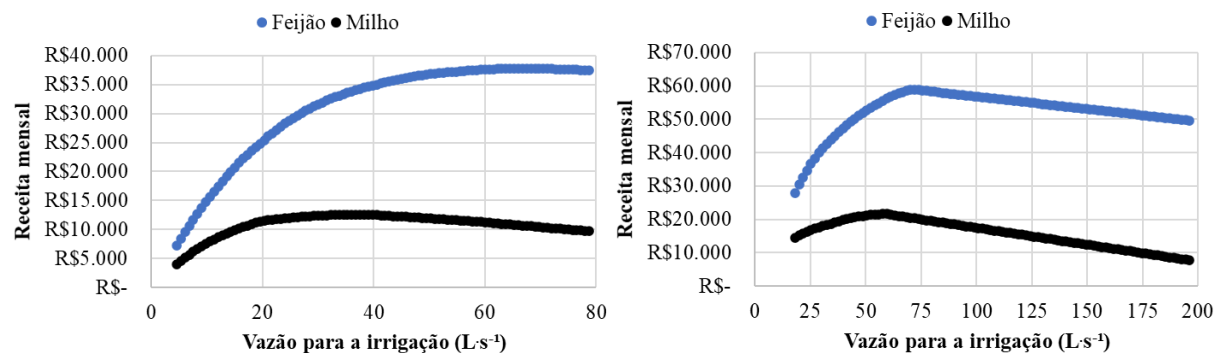


Figura 3. Curva de operação na irrigação do milho e o feijão para os açudes Raiz (a) e o São Nicolau (b).

Poussin et al. (2015) observaram melhorias nas condições econômicas e alimentares nas regiões entre Burkina Faso e Gana fazendo o uso de um pequeno reservatório, mesmo sem uma gestão agrícola e hídrica adequada. A cultura do feijão obteve receita mensal três vezes maior em comparação ao milho no açude Raiz e, aproximadamente, 2,7 vezes para o açude São

Nicolau, para as condições de receitas máximas nas condições de mercado para cada cultura. A diferença entre as receitas produzidas entre o milho e o feijão, observada na Figura 3, demonstra a importância de culturas que possuem melhores rentabilidades (benefício/custo) dará melhores respostas a longo prazo aos produtores rurais. Yohannes et al. (2017) observaram a utilização de culturas adaptadas as regiões secas e mais resistentes ao estresse hídrico ajudaram a reduzir os impactos econômicos severos causados por eventos de seca prolongadas.

Com relação ao fluxo de caixa durante o período de 100 anos (Figura 4), observa-se a necessidade de um gerenciamento de capital ao qual, possivelmente, pequenos produtores não sejam capazes de gerir o capital de giro, que na grande maioria do tempo, devido a presença de secas extensas, ficam com dívidas negativas enormes.

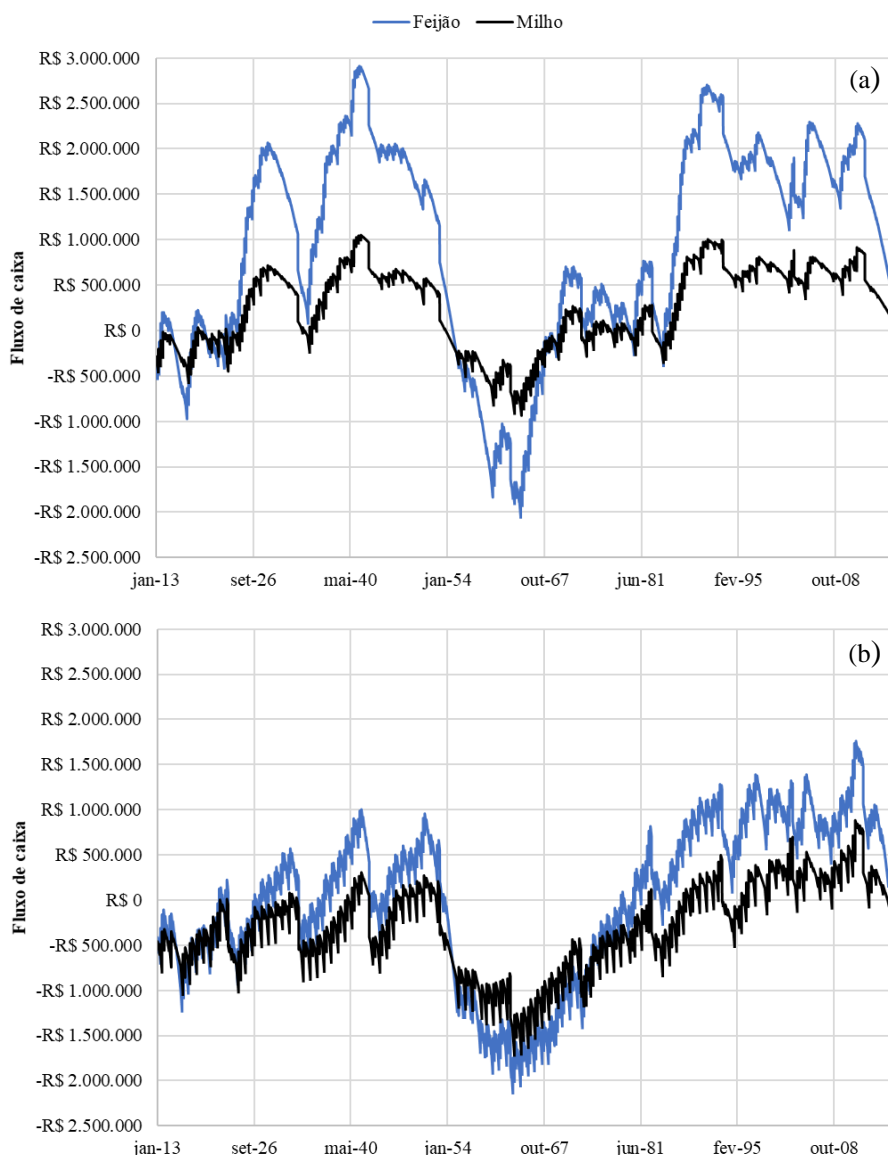


Figura 4. Fluxo de caixa das culturas estudadas para os açudes Raiz (a) e São Nicolau (b).

O comportamento do fluxo de caixa na cultura do feijão para o açude Raiz (Figura 4a) apresenta maior flutuação em comparação o milho para o mesmo açude, pois além da cultura

ter menor custo de produção, e não possuir restrição a variação de preço de venda, na ótica do modelo, o açude Raiz apresenta uma menor capacidade de transformar vazão afluyente em armazenamento de água (ver o tamanho da bacia hidrográfica, em comparação com açude São Nicolau, na Tabela 1). Já com o açude São Nicolau, as curvas para as duas culturas estão seguindo um padrão parecido ao longo do período analisado, que se deve a maior capacidade transformar vazão afluyente em armazenamento no açude.

CONCLUSÕES

A operação de pequenos açudes na região semiárida do Brasil, segundo a ótica do modelo NeStRes, revelou que é possível utilizá-los na agricultura irrigada e que, a longo prazo, essas estruturas têm respostas economicamente satisfatórias. Importantes informações podem ser obtidas da aplicação do modelo NeStRes sobre o papel desempenhado por diferentes reservatórios no sistema de água: considerando que a prática comum de “economizar água” é desejada para açudes estratégicos, reduzindo o risco de falha no abastecimento de água humana, açudes não estratégicos podem ser explorados mais intensamente para gerar renda com a agricultura irrigada em terras secas.

E necessário uma análise econômica a longo prazo para que a produção de um grão ou produto não extrapole o limite comercializável pela região, de forma a não acarretar descontrole nos preços de venda.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE), Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado do Ceará (SEDET), Instituto do Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Programa Cientista Chefe, Brasil, pelo apoio financeiro previsto para esta pesquisa e bolsa de estudo ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. A method to assess hydrological drought in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil. **Water International**, 2016.

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

BRASIL, P. P.; MEDEIROS, P. H. A. NeStRes – model for operation of Non-Strategic Reservoirs for irrigation in drylands: model description and application to a semiarid basin. **Water Resources Management**, v. 34, n. 1, p. 195–210, 2020.

BRISCOE, J. Water security: why it matters and what to do about it. **Innov. Technol. Gov. Global**, v. 4, p. 3-28, 2009.

FRAITURE, C. de; KOUALI, G. N.; SALLY, H.; KABRE, P. Pirates or pioneers? Unplanned irrigation around small reservoirs in Burkina Faso. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 212-220, 2014.

FOWE, T.; KARAMBIRI, H.; PATUREL, J. E.; POUSSIN, J. C.; CECCHI, P. Water balance of small reservoirs in the Volta basin: A case study of Boura reservoir in Burkina Faso. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 99-109, 2015.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Appl Eng Agric**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.

INMET. **Normais climatológicas brasileiras 1981–2010**. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

LIMA JÚNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. D.; OLIVEIRA, J. B.; NASCIMENTO, F. A. L.; MÂCEDO, K. G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016.

MAMEDE, G. L.; GÜNTNER, A.; MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Modeling the effect of multiple reservoirs on water and sediment dynamics in a semiarid catchment in Brazil. **J Hydrol Eng**, v. 23, n. 12, p. 05018020, 2018.

MEDEIROS, P. H. A.; SIVAPALAN, M. From hard-path to soft-path solutions: slow–fast dynamics of human adaptation to droughts in a water scarce environment. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 11, p. 1803-1814, 2020.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, n. 18, 2020.

OGILVIE, A.; RIAUX, J.; MASSUEL, S.; MULLIGAN, M.; BELAUD, G; GOULVEN, P; CALVEZ, R. Socio-hydrological drivers of agricultural water use in small reservoirs. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 17-29, 2019.

OUYANG, Y.; FENG, G.; LEININGER, T. D.; READ, J.; JENKINS, J. N. Pond, and irrigation model (PIM): a tool for simultaneously evaluating pond water availability and crop irrigation demand. **Water Resour Manag**, v. 32, p. 2969–2983, 2018.

POUSSIN, J. C.; RENAUDIN, L.; ADOGOBA, D.; SANON, A.; TAZEN, F.; DOBGE, W.; FUSILIER, J. L.; BARBIER, B.; CECCHI, P. Performance of small reservoir irrigated schemes in the Upper Volta basin: Case studies in Burkina Faso and Ghana. **Water resources and rural development**, v. 6, p. 50-65, 2015.

WISSER, D.; FROLKING, S.; DOUGLAS, E. M.; FEKETE, B. M.; SCHUMANN, A. H.; VÖRÖSMARTY, C. J. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – A global-scale analysis. **Jornal of Hydrology**, v. 384, p. 264-275, 2010.

YOHANNES, D. F.; RITSEMA, C. J.; SOLOMON, H.; FROEBRICH, J.; van DAM, J. C. Irrigation water management: Farmers’ practices, perceptions, and adaptations at Gumselassa irrigation scheme, North Ethiopia. **Agricultural Water Management**, v. 191, p. 16–28, 2017.