

# Dimensões ótimas da cisterna-calçada no semiárido: agricultura e pecuária

*Optimum dimensions of the sidewalk cistern in the semi-arid: agriculture and livestock*

Juliana Farias Araujo<sup>1\*</sup> , Anderson Gadéa<sup>1</sup> , Ana Caroline Souza<sup>1</sup> , Eduardo Cohim<sup>1</sup> 

## RESUMO

## ABSTRACT

Em virtude da importância do aproveitamento de água pluvial no semiárido brasileiro, foi proposta uma metodologia para realizar o dimensionamento otimizado de sistemas de aproveitamento de água da chuva (SAAC) para atender à irrigação em áreas rurais no semiárido baseada na minimização dos custos de construção e no atendimento da eficiência de atendimento mínima. Para testá-la, foi simulado um estudo para cultura da cebola (*Allium cepa* L.) na região brasileira semiárida de Feira de Santana (BA), considerando um sistema de irrigação suplementar com déficit hídrico controlado, eficiência de atendimento mínima de 90% e área de plantio de 2.500 m<sup>2</sup>. Os resultados indicaram que a combinação ótima é composta de uma área de 130 m<sup>2</sup> e uma cisterna de 36,1 m<sup>3</sup>. Além disso, foi recomendado o uso do SAAC para suprir não apenas a agricultura, mas também a dessedentação animal, com o intuito de aproveitar melhor a água de chuva armazenada nos reservatórios. Por fim, verificou-se forte relação positiva linear entre o custo de construção do SAAC ótimo e a demanda de irrigação decorrente de dez diferentes áreas de cultivo.

Due to the importance of rainwater utilization in the Brazilian Semi-arid, a methodology was proposed to perform the optimized design of rainwater harvesting systems (RWHS) to meet irrigation in rural areas in the semi-arid, based on minimizing construction costs and meeting a minimum Service Efficiency (SE). To illustrate it, a study case was carried out for onion (*Allium cepa* L.) in the semi-arid Brazilian region of Feira de Santana (Bahia), considering a supplementary irrigation system with controlled water deficit, a minimum SE of 90% and a planting area of 2,500 m<sup>2</sup>. The results indicated that the optimal combination is composed of an area of 130 m<sup>2</sup> and a cistern of 36.1 m<sup>3</sup>. In addition, the use of RWHS was recommended to supply not only agriculture, but also animal watering, in order to improve the use of the rainwater stored in the reservoirs. Ultimately, there was a strong positive linear relationship between the optimal RWHS construction cost and the irrigation demand arising from ten different crop areas.

**Palavras-chave:** agropecuária familiar; sistemas descentralizados de água; irrigação.

**Keywords:** family farming; decentralized water systems; irrigation.

## INTRODUÇÃO

Historicamente, o semiárido foi tido como espaço-problema, terra das secas e da miséria, em razão de julgamentos superficiais que condicionavam essas questões às condições climáticas e geológicas locais. Em decorrência dessa visão e do suposto objetivo de impulsionar o desenvolvimento regional, realizaram-se obras de engenharia para “corrigir” os efeitos do semiárido, porém os resultados dessas medidas não proporcionaram acesso à água à população em geral, pois os benefícios estiveram vinculados predominantemente às elites, contribuindo para o aumento da dependência e da vulnerabilidade social (BURITI; BARBOSA, 2019).

Nesse sentido, alternativas que possibilitem o acesso descentralizado e democrático da água são cada vez mais relevantes. Essas práticas adequam-se às políticas de convivência com o semiárido, que objetivam melhorar a qualidade de vida dos sertanejos, propondo soluções para o monitoramento e a

mitigação dos efeitos da seca sobre a produtividade, considerando as potencialidades, as fragilidades e os limites ambientais da região (BRITO *et al.*, 2017).

Exemplos de iniciativas de convivência e que também colaboram com o desenvolvimento da agropecuária sustentável são as práticas eficientes de irrigação por gotejamento e o planejamento da irrigação suplementar com déficit hídrico controlado realizado por intermédio das técnicas de inteligência artificial, que permitem a retratação das diferentes sensibilidades de culturas quanto à ausência de água em diferentes estádios fenológicos.

Essas práticas também contribuem para reduzir o desperdício de água na agricultura, o que é indispensável ante o aumento de sua demanda por conta da irrigação decorrente da necessidade de produção crescente de alimentos. Ademais, colaboram com a diminuição de perdas da produção provocada pela escassez hídrica. Assim, essas técnicas favorecem o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, proporcionando

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana - Feira de Santana (BA), Brazil.

\*Autora correspondente: julianafarias1996@gmail.com

**Conflitos de interesse:** os autores declaram não haver conflitos de interesse.

**Financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (pedido nº 159878/2020-9) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) (pedido nº 1204/2020).

**Recebido:** 02/06/2022 - **Aceito:** 18/01/2023

o aumento da produtividade agrícola e da renda dos pequenos produtores (ONU, 2019; CHEN *et al.*, 2021).

Os sistemas de aproveitamento de água da chuva (SAAC) também são alternativas de convivência, a exemplo das cisternas-calçadão, as quais trazem impactos positivos para as questões sociais e contribuem para o alcance da segurança alimentar e nutricional das famílias. Apesar desses benefícios, há críticas em relação ao não atendimento das necessidades hídricas domésticas e das plantas durante a estiagem (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Assim, é recomendável o dimensionamento otimizado dos SAAC, a fim de ampliar os benefícios sociais e econômicos e evitar os casos de subdimensionamento, que resultam em sistemas incapazes de fornecer uma fonte de água suficiente e confiável, e de superdimensionamento, que ocasiona o aumento dos custos de capital incorridos com benefícios limitados (SEMAAN *et al.*, 2020).

Para isso, devem ser consideradas algumas variáveis, tais como: área de captação, regime pluviométrico e demanda (GHISI, 2010; ARAUJO; COHIM, 2016; ABNT, 2019). No que tange à otimização, o custo aparece em maior frequência entre as variáveis mais utilizadas para a otimização, e a abordagem mais empregada é a que avalia as despesas que seriam poupadas por conta da implementação do SAAC com o abastecimento centralizado de água (SEMAAN *et al.*, 2020). Todavia, esse enfoque não seria adequado para este estudo nem para 25,1% da população do nordeste brasileiro, que não é atendida pelas redes de abastecimento de água (SNIS, 2020).

Assim, este trabalho objetivou propor uma metodologia de dimensionamento otimizado de SAAC para atender não apenas à irrigação suplementar, mas também à pecuária, baseada na minimização dos custos de construção e na fixação da eficiência de atendimento (EA) mínima.

## METODOLOGIA

Foram adotadas as seguintes etapas para dimensionar as cisternas-calçadão para atender à irrigação suplementar com déficit hídrico:

- alocação temporal e quantitativa de diversas lâminas totais de irrigação, com o objetivo de maximizar o rendimento agrícola, gerando uma série de demanda diária para cada lâmina total;
- escolha da série, por intermédio do cálculo da produtividade da água, entre as geradas;
- definição das diversas combinações de área de captação e de volume de cisternas que atendem à demanda com EA mínima;
- realização da otimização do SAAC, que tem como objetivo a definição da combinação que minimiza os custos de construção entre todas aquelas que atendem à EA mínima.

Essa metodologia é aplicável a qualquer localidade semiárida. Para detalhar cada etapa, neste estudo foram simuladas duas situações na região de Feira de Santana (BA): a decorrente do cultivo da cebola (*Allium cepa* L.) e a dessa cultura conjuntamente com a criação de cabras, considerando dois lotes de 30 animais por ano, com período de crescimento de seis meses, necessitando cada de 5 L.dia<sup>-1</sup> (IABS, 2011).

### Alocação temporal e quantitativa dos eventos de irrigação

Foi utilizado o *software* Deficit Irrigation Toolbox (DIT), que permite simular o crescimento da planta ante a variabilidade do clima, do solo e da gestão

da água. Entre as estratégias de irrigação implementadas no DIT, utilizou-se a técnica evolutiva global para programação ótima de irrigação (GET-OPTIS), a qual usa algoritmos evolutivos para realizar a distribuição temporal e quantitativa da lâmina total, gerando a série que maximiza o rendimento das colheitas (SCHÜTZZE; PALY; SHAMIR, 2012; SCHÜTZZE; MIALYK, 2019).

Essa etapa de alocação foi repetida para diversas lâminas totais, variando de 0 mm à correspondente a da irrigação suplementar total, gerando uma série de demanda diária para cada lâmina total. Recorreu-se à produtividade da água (Equação 1) para definir a série a ser empregada no dimensionamento do SAAC.

$$PA = \frac{Pr}{P + I} \quad (1)$$

Em que:

PA: a produtividade da água (kg.m<sup>-3</sup>);

Pr: a produção atingida pela cultura (kg);

P: a precipitação total (m<sup>3</sup>);

I: o volume de irrigação (m<sup>3</sup>).

Entre os modelos de crescimento de cultura implementados pelo DIT, utilizou-se o balanço de água no solo (RAO; SARMA; CHANDER, 1988), o qual deriva da equação de Doorenbos e Kassam (1979) e que considera a divisão em períodos fenológicos. Como dados de entrada, tem-se a série da profundidade da raiz, a qual foi modelada, em planilha eletrônica, conforme o método do coeficiente dual da cultura da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) 56 (ALLEN *et al.*, 1998).

### Dimensionamento otimizado do SAAC

Para definir as combinações de área de captação e de volume de cisterna que atendam à demanda com EA mínima específica, foram utilizadas as equações do balanço seriado do comportamento do sistema com intervalo diário definidas por Fewkes (2000). Nesse processo, adotaram-se o coeficiente de escoamento de 0,8 e o parâmetro  $\theta$ , que descreve o momento do consumo da demanda em relação à água que é adicionada à cisterna, de 0,5. Também foi empregada a Equação 2 para converter a lâmina diária de irrigação em volume e a Equação 3 para calcular a EA de cada combinação.

$$D_{(t)} = \frac{0,4 A IRN}{0,9} \quad (2)$$

Em que:

D: demanda diária do sistema de irrigação (L);

IRN: irrigação diária total necessária (mm);

A: área de irrigação (m<sup>2</sup>).

A constante 0,4 foi inserida para considerar a fração de área molhada, a qual é o valor mínimo recomendado para as condições semiáridas (EMBRAPA, 2009). Já a constante 0,9 representa a eficiência de aplicação da irrigação por gotejamento (FERREIRA, 2011).

$$EA (\%) = \frac{\sum Y_{(t)}}{\sum D_{(t)}} 100 \quad (3)$$

Em que:

EA: eficiência de atendimento;

$\Sigma D_{(t)}$ : somatório da quantidade de água demandada durante o período estudado.  
 $\Sigma Y_{(t)}$ : volume de água efetivamente utilizado para suprir a demanda obtido por meio do SAAC durante o período estudado.

Entre todas as combinações geradas, foi determinada a combinação ótima mediante a função objetivo, que minimiza o custo envolvido na construção do SAAC, incluindo o referente à captação e à cisterna. Assim, foram avaliadas todas as combinações encontradas que atendem à EA mínima especificada (90%), e determinou-se a que apresenta o menor custo total. Para isso, foram utilizadas as curvas do custo da construção da área de captação e da cisterna encontradas mediante a interpolação dos orçamentos obtidos para diversas áreas de captação e vários volumes de reservatório.

### Simulação do cultivo da cebola em Feira de Santana (BA)

A metodologia foi aplicada para a simulação do cultivo da cebola em uma área de plantio de 2.500 m<sup>2</sup> na zona rural de Feira de Santana, localizada no semiárido brasileiro. Foram simulados três cenários:

- produção de sequeiro sem irrigação, ou seja, precipitação como única fonte de água para as culturas;
- irrigação suplementar com déficit de água;
- irrigação suplementar total, assumindo disponibilidade ilimitada de água para irrigação e a aplicação de água sempre que a umidade do solo fosse inferior a 90% da capacidade de campo.

Em todos os cenários foi considerada a data de plantio como 1º de maio, a fim de simular os meses que apresentam os maiores volumes de chuvas e as menores temperaturas (SANTOS; MARTINS; SANTOS, 2018). Os parâmetros necessários para modelar a raiz e para calibrar o modelo no DIT foram obtidos na literatura para localidades que possuem características climáticas semelhantes à da área de estudo (Tabela 1).

A série climática de 20 anos (1998–2017) foi obtida no Instituto Nacional de Meteorologia. As falhas dos dados de evapotranspiração de referência foram preenchidas conforme os valores encontrados automaticamente no *AquaCrop* (FAO, 2021), e as de precipitação e de temperatura, segundo os dados disponibilizados por Xavier, King e Scanlon (2016). A série sem falhas apresenta as seguintes médias anuais: precipitação de 705 mm, evapotranspiração potencial de 1.159 mm, temperatura mínima de 20°C e temperatura máxima de 30°C.

Os custos relativos à construção da cisterna foram levantados em função dos insumos e dos trabalhadores necessários. Para isso, foram realizados os

orçamentos, em planilha eletrônica, para as cisternas com volumes de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 e 100 m<sup>3</sup>, possibilitando a interpolação, mediante a curva de melhor ajuste, para se obter o custo de cisterna para qualquer capacidade nesse intervalo. O mesmo procedimento foi realizado para a área de captação, e foram consideradas as seguintes áreas: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 m<sup>2</sup>.

Nesse processo, foram consideradas as técnicas construtivas adotadas pelo Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), ou seja, um calçadão pavimentado para captar a água da chuva e uma cisterna de placas de concreto, construída na parte mais baixa do terreno, para armazenar o volume captado. Foi previsto um conjunto de tubos de policloreto de vinila (PVC) para conectar a área de captação com a cisterna, e não se levou em conta a manutenção do sistema.

A EA foi adotada como 90% por ser a recomendada por Giffoni *et al.* (2019) para Feira de Santana para dessedentação animal e por ser superior à indicada por Zhu *et al.* (2015) para a pecuária (75%) e para a agricultura (50–75%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Simulação do cultivo da cebola

As simulações mostram que a produção máxima de cebola de 2.300 kg obtida para a situação de sequeiro (água somente decorrente da precipitação) pode ser incrementada com o uso da irrigação suplementar com déficit hídrico. Na Figura 1, observa-se que esse incremento diminui com o aumento das lâminas totais. Esse mesmo comportamento foi evidenciado por Orduña-Alegria, Schütze e Niyogi (2019) quando analisaram o cultivo do milho nos Estados Unidos.

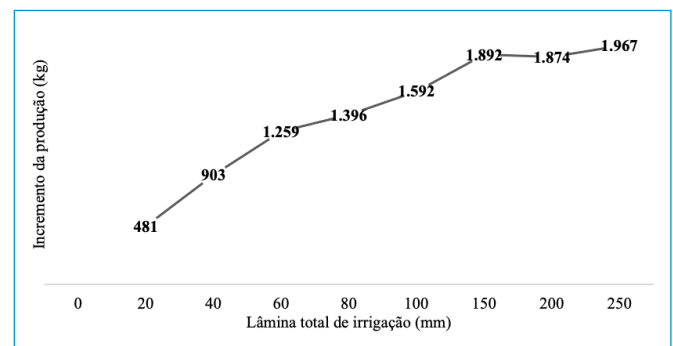


Figura 1 - Incremento da produção da cebola em função das lâminas totais na região de Feira de Santana (BA).

Tabela 1 - Dados do solo e da cultura necessários para realizar as modelagens.

Característica	Valor	Unidade	Fonte
Altura máxima da planta	0,4	m	Allen <i>et al.</i> (1998)
Capacidade de campo e ponto de murcha permanente volumétricos (textura franco-arenosa)	22%; 10%	-	Raes (2017)
Coefficientes basais inicial e médio	0,15; 0,95	-	Allen <i>et al.</i> (1998)
Coefficientes da cultura para as diferentes fases fenológicas	0,58; 0,83; 0,94; 0,69	-	Lopes Filho (2013)
Duração das fases fenológicas	17; 26; 39; 33	dias	Lopes Filho (2013)
Produtividade máxima	40	ton,ha <sup>-1</sup>	Doorenbos e Kassam (1979)
Profundidade inicial da sementeira	1,5	cm	Embrapa (2021)
Profundidade máxima efetiva	0,45	m	Allen <i>et al.</i> (1998)

Assim, é importante utilizar a produtividade da água (Figura 2) para definir a série de demanda de irrigação decorrente da alocação temporal e quantitativa da lâmina total a ser utilizada no dimensionamento do SAAC, com o intuito de aproveitar melhor o recurso mais limitante no semiárido: a água.

Há uma variação pequena ( $0,21 \text{ kg.m}^{-3}$ ) entre a produtividade calculada para a lâmina de 60 a 150 mm. Assim, é adequado o uso da série de demanda decorrente da alocação da menor (60 mm), a qual demanda apenas  $23,2 \text{ m}^3$  em maio,  $20,2 \text{ m}^3$  em junho,  $18,8 \text{ m}^3$  em julho e  $4,5 \text{ m}^3$  em agosto e possibilita aumentar a produção em 54% ( $1.259 \text{ kg}$ ).

Esse percentual de 54% está contido no intervalo de 22 a 88%, encontrado por Zhu *et al.* (2015) em um trabalho experimental realizado para verificar o potencial da irrigação suplementar para diversas culturas viabilizada pelos SAACs do 1-2-1 Project na China, e é 64% inferior ao obtido no cenário de acesso ilimitado de água, que demandou a lâmina total de 208 mm, resultando no aumento da pegada hídrica de  $164 \text{ m}^3$  (Equação 2) em uma área de  $2.500 \text{ m}^2$ .

Apesar de a redução provocada pelo uso da irrigação suplementar com déficit em comparação com a suplementar total ter sido maior do que os 60% encontrados por Asmamaw *et al.* (2021) em uma análise de regressão entre as produções da cebola e as economias de água, essa redução é pequena, quando considerada a área que pode ser irrigada com o volume poupado.

### Dimensionamento otimizado dos sistemas de água da chuva

O dimensionamento foi baseado no modelo comportamental de Fewkes (2000). Apesar de a modelagem desenvolvida por Jing *et al.* (2017) ser focada para a área urbana, os autores também utilizaram um modelo comportamental, porém mantiveram fixa a área de captação, variando apenas o volume da cisterna. Com

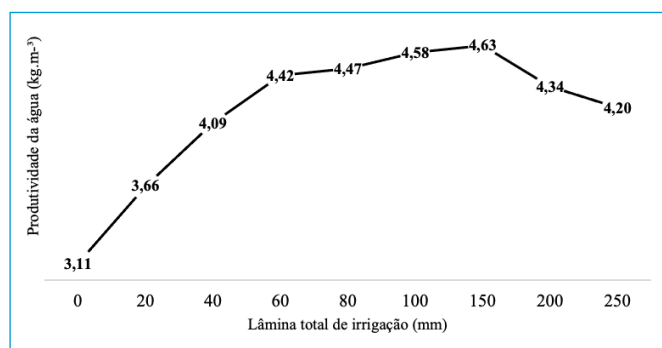


Figura 2 - Produtividade da água em função das lâminas no cultivo da cebola na região de Feira de Santana (BA).

isso, verificaram o atendimento máximo de 80% da demanda de um gramado com área de  $2 \text{ mil m}^2$  em regiões semiáridas chinesas.

Esses valores são inferiores à EA de 90%. Assim, é apontada a importância de variar a área, pois isso permite a captação de mais chuva. Nesse sentido, foram determinadas diversas combinações de área de calçamento e de volume de cisterna que atendem a essa EA, e foi definida a ótima como aquela que minimiza os custos associados à construção do SAAC. Para isso, foram utilizadas as equações de custo apresentadas na Figura 3, sendo verificados um comportamento exponencial para a curva da cisterna e um comportamento linear para a da área de captação.

Os custos de construção da área de captação e do volume da cisterna e o total de cada combinação são exibidos na Figura 4. Evidencia-se que, à medida que a área de captação aumenta, o custo associado à sua construção também cresce, porém o referente à cisterna desce, o que mostra que existe de fato um ponto de menor custo total.

Esse ponto ótimo consiste em uma área de captação de  $130 \text{ m}^2$  e por uma cisterna de  $36,1 \text{ m}^3$ , sendo necessário o investimento de R\$ 13.719. Não foi possível encontrar uma dimensão de reservatório que atendesse à demanda com áreas inferiores a  $110 \text{ m}^2$ , pois, mesmo que se aumentasse o volume da cisterna, não haveria captação de água necessária para enchê-la.

Destaca-se que as dimensões ótimas são inferiores ao padrão estabelecido pelo Programa Uma Terra e Duas Águas (cisterna com  $52 \text{ m}^3$  e área de captação do tipo calçamento com  $200 \text{ m}^2$ ), mostrando que o dimensionamento otimizado permite a redução dos investimentos necessários para a construção do SAAC. Imteaz e Shadeded (2022) também evidenciaram isso quando realizaram um dimensionamento otimizado na Palestina e constataram que a capacidade das cisternas encontrada é metade do indicado pelo método de Rippl.

Ademais, ressalta-se que a água armazenada está sendo utilizada apenas durante o cultivo agrícola. Assim, recomenda-se a criação de animais ao longo de todo o ano, a fim de gerar maior retorno econômico para os agricultores e melhor aproveitamento da água captada. Nesse contexto, acrescentou-se a demanda fixa de dois lotes de 30 cabras por ano, que resultou em um SAAC otimizado constituído de uma área de  $235 \text{ m}^2$  e de uma cisterna de  $32,1 \text{ m}^3$ , sendo preciso o investimento de R\$ 16.490. Essas dimensões são similares às usualmente adotadas na China com o 1-2-1 Project, que é de  $30 \text{ a } 70 \text{ m}^3$  (ZHU *et al.*, 2015).

A criação desses animais proporciona a redução dos picos de água armazenada, principalmente durante os meses em que não há cultivo agrícola (Figura 5). Além disso, gera uma contrapartida de benefícios importante, pois o SAAC proporcionaria o aumento da receita de R\$ 21 mil por ano, no

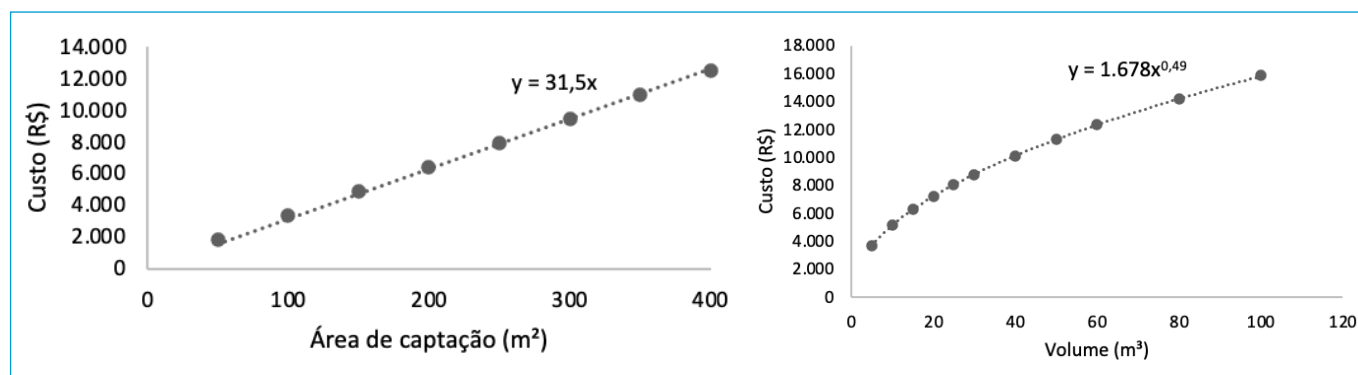


Figura 3 - Equações de custo da construção da (A) área de captação e da (B) cisterna (b).

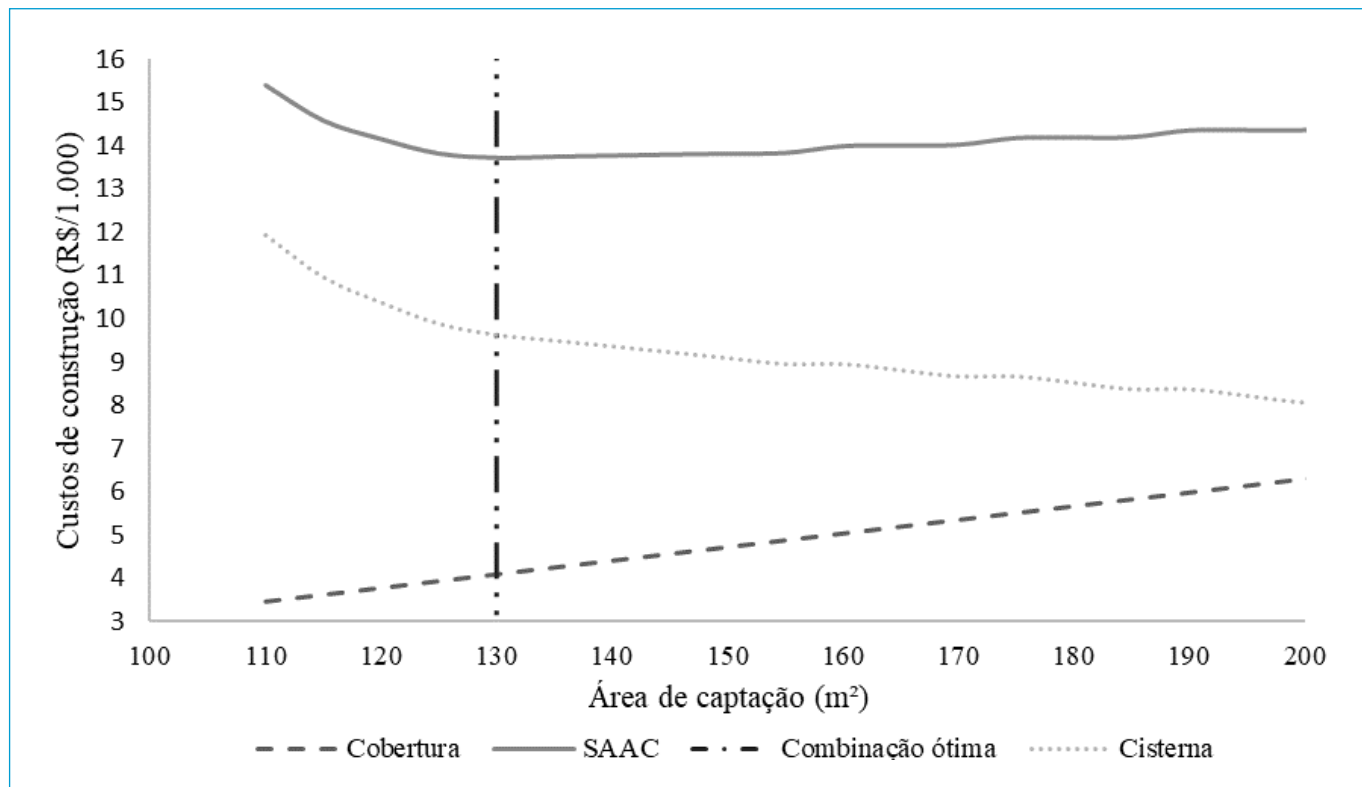


Figura 4 - Custos envolvidos na construção dos componentes do sistema e o total para demanda otimizada da cebola.

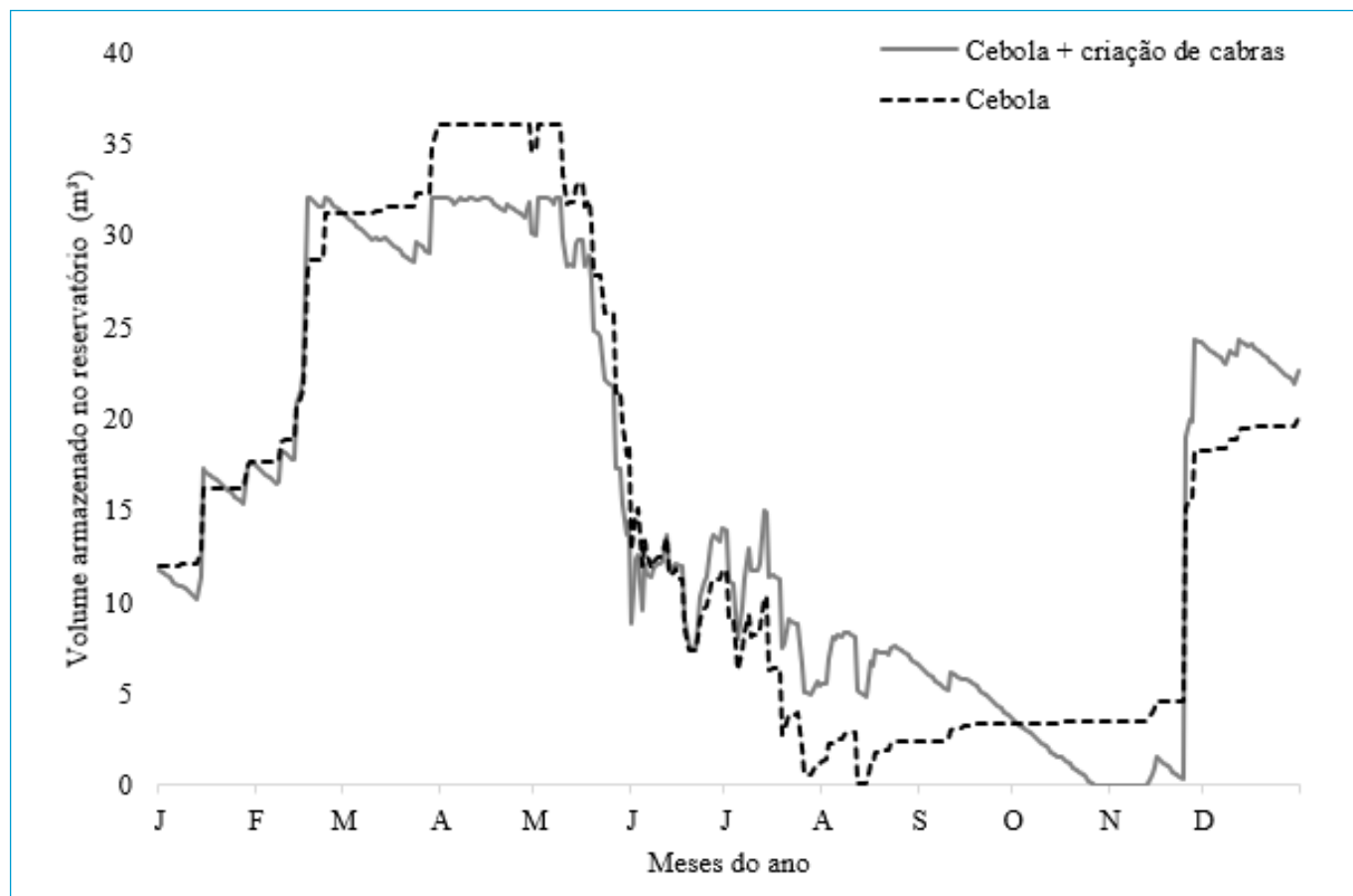


Figura 5 - Volume de água simulado disponível na cisterna no atendimento da demanda da cebola e da criação das cabras conjuntamente com a cebola.

que se refere à pecuária, e de R\$ 5.979, decorrente da venda da cebola, resultando em uma razão entre os benefícios e o investimento (R\$ 16.490) de 1,64. Esse valor é superior ao quociente de 0,44 encontrado para a produção da cebola. Nessa análise, foram desconsideradas as outras despesas envolvidas na criação da pecuária e agrícola e considerados o preço de venda médio do período de outubro de 2020 a 2021 da cebola (R\$ 1,68) e o de cada animal de R\$ 350 (CONAB, 2021) e a situação hipotética da venda de toda a produção agrícola.

Por fim, destaca-se que esse impacto seria ainda mais expressivo se houvesse maior incentivo para que as 1,44 milhão de famílias que residem no semiárido brasileiro optassem pela implementação desse sistema de irrigação, viabilizado pelo SAAC otimizado (IBGE, 2019). Isso possibilitaria a diversificação dos cultivos pelos pequenos agricultores, trazendo melhorias não apenas para os aspectos relacionados com a segurança alimentar, hídrica e nutricional, mas também para o aumento da renda dos agricultores familiares. Desse modo, contribuiria para a fixação deles no campo, diminuindo os problemas decorrentes do êxodo rural (ROBA *et al.*, 2022). Além disso, reduziria a utilização dos sistemas hídricos nacionais e a intensidade dos problemas decorrentes de salinização, pois os SAACs não demandariam nenhuma água de corpos hídricos, e a água da chuva apresenta menor salinidade do que as outras fontes hídricas disponíveis no semiárido, como a água subterrânea e os açudes.

### Análise de sensibilidade

O comportamento dos custos de construção do SAAC otimizado em relação à demanda otimizada da cebola para dez diferentes áreas de cultivo (1 mil, 2 mil, 3 mil, 4 mil, 5 mil, 6 mil, 7 mil, 8 mil, 9 mil e 10 mil m<sup>2</sup>) é apresentado na Figura 6.

Verificou-se relação linear positiva, apresentando correlação perfeita, de acordo com a categorização sugerida por Callegari-Jacques (2007), com coeficiente de correlação de Pearson de 0,95. A equação encontrada facilita a realização de orçamentos e também a verificação da viabilidade econômica da construção dessa alternativa de convivência com o semiárido, facilitando

o desenvolvimento de trabalhos como o de Murça, Julio e Moruzzi (2014) e o de Jing *et al.* (2017).

## CONCLUSÕES

Neste estudo foi apresentada uma metodologia para auxiliar no dimensionamento ótimo do SAAC para atender à demanda agrícola em localidades rurais semiáridas, com foco no atendimento da série diária de demanda de irrigação suplementar com déficit hídrico e da demanda de criação de cabras e na minimização dos custos envolvidos na construção do SAAC.

Para testar essa metodologia, foi realizada uma simulação na região de Feira de Santana, concluindo-se por um SAAC ótimo para atender à demanda da cebola correspondente ao formado pela área de captação de 130 m<sup>2</sup> e por uma cisterna de 36,1 m<sup>3</sup>, sendo necessário o investimento de R\$ 13.719. Essas dimensões são inferiores ao padrão do Programa Uma Terra e Duas Águas (52 m<sup>3</sup> e área de captação do tipo calçada com 200 m<sup>2</sup>).

Também foi determinado que a análise de uma demanda fixa para atender à necessidade hídrica de dois lotes de 30 cabras por ano requer o aumento de apenas 20% do investimento necessário e proporciona a redução dos picos de água armazenada nas cisternas, principalmente nos meses em que não há cultivo das culturas agrícola. Isso permite não apenas a ampliação dos benefícios sociais (decorrente do aumento da garantia de colheita e da geração de mais ocupação e renda para os agricultores familiares, fixando a população no campo e reduzindo os problemas sociais e econômicos oriundos do êxodo rural), mas igualmente o uso mais eficiente da água, reduzindo a demanda hídrica dos sistemas convencionais.

Ademais, foi verificada forte relação positiva entre as diferentes áreas de cultivo e o custo de construção do SAAC ótimo, o que proporciona que sejam estimados os custos por meio de equações lineares (com coeficientes de correlação de Pearson de 0,95) que dependem apenas da área de plantação.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que sejam avaliados os outros insumos envolvidos no contexto da produção agrícola e pecuária, a fim de levar em consideração mais atributos no estudo da viabilidade econômica dos SAAC, a qual pode ser utilizada como um meio para o agricultor escolher a cultura a se produzir.

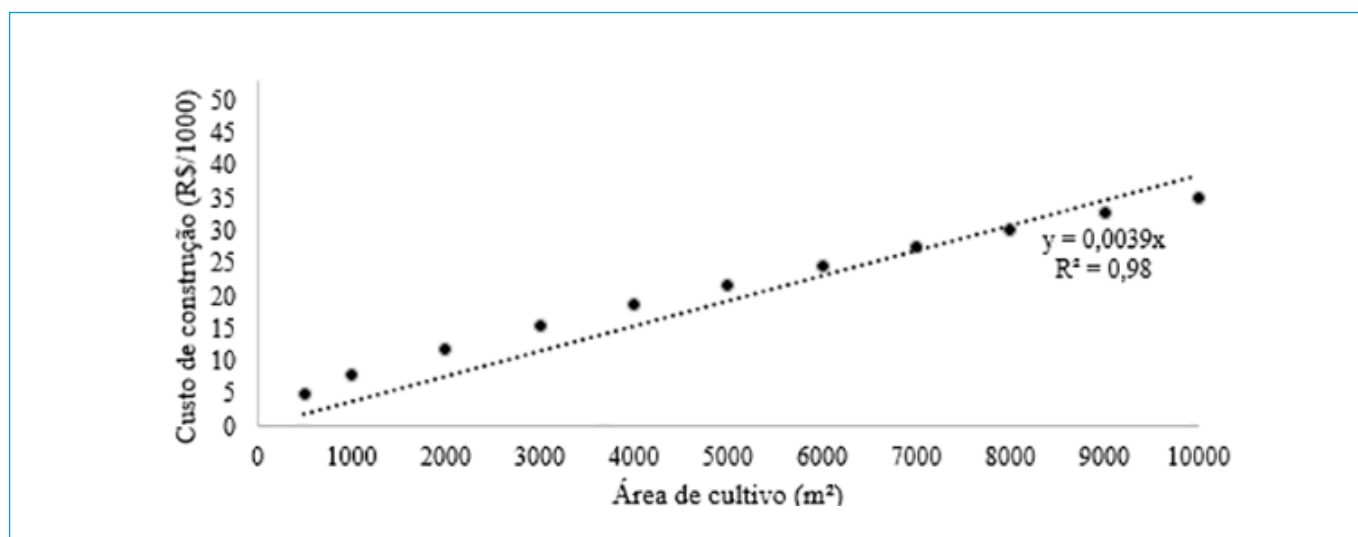


Figura 6 - Custo de construção (R\$) versus área de cultivo (m<sup>2</sup>).

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Araujo, J.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Metodologia, Escrita — Primeira Redação. Gadéa, A.: Supervisão, Validação, Visualização, Curadoria

de Dados, Análise Formal, Software, Validação. Souza, A.C.: Conceituação, Investigação, Escrita — Primeira Redação. Cohim, E.: Obtenção de Financiamento, Investigação, Metodologia, Supervisão, Conceituação, Análise Formal.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO, 1998. 301 p.
- ALMEIDA, C.; BEBÉ, F.; LIMA, P.; SILVA, M.; FREITAS, P. Cenário da agricultura familiar em comunidades quilombolas do Território Sertão Produtivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2017. *Anais* [...]. Brasília: ABA, 2017. p. 1-7.
- ARAUJO, J.F.; COHIM, E. Determinação do tamanho ótimo dos reservatórios de água pluvial em Araci na Bahia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 3., 2016. *Anais* [...]. Aracaju: ABRH, 2016.
- ASMAMAW, D.K.; JANSSENS, P.; DESSIE, M.; TILAHUN, S.; ADGO, E.; NYSSSEN, J.; WALRAEVENS, K.; CORNELIS, W. Deficit irrigation as a sustainable option for improving water productivity in Sub-Saharan Africa: the case of Ethiopia. A critical review. *Environmental Research Communications*, v. 3, n. 10, 102001, 2021. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac2a74>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BRITO, F.C.S.; LIMA, D.C.; SOUSA, J.D.; MEDEIROS, A.C.; MARACAJA, P.B.; MEDEIROS, A.P.; PAIVA, A.C.C. Uma abordagem histórica e teórica das políticas públicas de combate à seca e convivência com o semiárido. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 57-65, 2017.
- BURITI, C.O.; BARBOSA, H.A. Secas e vulnerabilidade socioambiental no semiárido brasileiro: a institucionalização dos estudos científicos e das políticas hídricas na região. *Ciência Geográfica*, v. 23, p. 267-282, 2019.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- CHEN, C.; WANG, S.; KIM, H.; PAN, S.; FAN, C.; LIN, Y. J. Non-conventional water reuse in agriculture: a circular water economy. *Water Research*, v. 199, 117193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Preços agrícolas, da sociobio e da pesca*. CONAB. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 13 nov. 2021.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Roma: FAO, 1979. 193 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Como plantar cebola*. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalias/cebola/plantio>. Acesso em: 5 out. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Sistema de Produção de Melancia*. EMBRAPA, 2009. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/irrigacao.htm>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- FERREIRA, V.M. *Irrigação e Drenagem*. Florianópolis: EDUFPI, 2011. 128 p.
- FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban Water*, v. 1, n. 4, p. 323-333, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00026-1)
- GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management*, v. 24, n. 10, p. 2381-2403, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>
- GIFFONI, W.; GADÉA, A.S.M.; COHIM, E.; FREITAS, J.J.; ARAUJO, J.F. Sizing of rainwater harvesting systems for animal watering in semi-arid region. *Water Practice and Technology*, v. 14, n. 4, p. 971-980, 2019. <https://doi.org/10.2166/wpt.2019.080>
- IMTEAZ, M.A.; SHADEED, S. Superiority of water balance modelling for rainwater harvesting analysis and its application in deriving generalised equation for optimum tank size. *Journal of Cleaner Production*, v. 342, 130991, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130991>
- INSTITUTO AMBIENTAL BRASIL SUSTENTÁVEL (IABS). *Manual de criação de caprinos e ovinos*. Brasília: CODEVASF, 2011. 142 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos*. Rio de Janeiro: IBGE/SIDRA, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- JING, X.; ZHANG, S.; ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, Y. Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 126, p. 74-85, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.027>
- LOPES FILHO, A.F. *Demanda hídrica e produtividade da cebola irrigada, cultivada em sistema convencional e orgânico no norte da Bahia*. 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013.
- MURÇA, M.C.R.; JULIO, M.; MORUZZI, R.B. Metodologia de otimização para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2, p. 29-40, 2014.
- ORDUÑA-ALEGRIA, M.E.; SCHÜTZE, N.; NIYOGI, D. Evaluation of hydroclimatic variability and prospective irrigation strategies in the U.S. Corn Belt. *Water*, v. 11, n. 12, p. 2447, 2019. <https://doi.org/10.3390/w1122447>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Sustainable development goals*. ONU, 2019. Disponível em: [https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/SDG\\_Guidelines\\_AUG\\_2019\\_Final.pdf](https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/SDG_Guidelines_AUG_2019_Final.pdf). Acesso em: 21 dez. 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). *AquaCrop*. FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- RAES, D. *AquaCrop training handbooks I: understanding Aquacrop*. Roma: FAO, 2017. 59 p.

RAO, N.H.; SARMA, P.B.S.; CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 13, n. 1, p. 25-32, 1988. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(88\)90130-8](https://doi.org/10.1016/0378-3774(88)90130-8)

ROBA, N.T.; KASSA, A.K.; GELETA, D.Y.; HISHE, B.K. Achievements, challenges and opportunities of rainwater harvesting in the Ethiopia context: a review. *Water Supply*, v. 22, n. 2, p. 1611-1623, 2022. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.330>

SANTOS, R.A.; MARTINS, D.L.; SANTOS, R.L. Balanço hídrico e classificação climática de Köppen e Thornthwaite no município de Feira de Santana (BA). *Geo Uerj*, v. 33, p. 1-17, 2018.

SCHÜTZE, N.; MIALYK, O. *Deficit irrigation toolbox (DIT): user guide*. Dresden, 2019. 15 p.

SCHÜTZE, N.; PALY, M.; SHAMIR, U. Novel simulation-based algorithms for optimal open-loop and closed-loop scheduling of deficit irrigation systems.

*Journal of Hydroinformatics*, v.14, n.1, p.136-151, 2012. <https://doi.org/10.2166/hydro.2011.073>

SEMAAN, M.; DAY, S.D.; GARVIN, M.; RAMAKRISHNAN, N.; PEARCE, A. Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: a systematic literature review. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 6, 100033, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100033>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). *Mapa de Indicadores de Água*. SNIS, 2020. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-abastecimento-agua>. Acesso em: 28 fev. 2022.

XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>

ZHU, Q.; GOULD, J.; LI, Y.; MA, C. *Rainwater harvesting for agriculture and water supply*. Londres: Spring, 2015.

