

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO**

**SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO HIDROPÔNICA USANDO  
ÁGUAS PLUVIAIS E SALOBRAS**

**Jessica Sabrina de Castro Couto**

**CRUZ DAS ALMAS-BAHIA  
2022**

# **SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO HIDROPÔNICA USANDO ÁGUAS PLUVIAIS E SALOBRAS**

**Jessica Sabrina de Castro Couto**  
Engenheira Sanitarista e Ambiental  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2019

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

**Orientador:** Prof. Dr. Tales Miler Soares

**CRUZ DAS ALMAS-BAHIA  
2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C871s

Couto, Jessica Sabrina de Castro

Simulação da produção hidropônica usando águas pluviais e salobras /  
Jessica Sabrina de Castro Couto.\_Cruz das Almas, BA, 2022.

104f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas – Mestrado em Engenharia  
Agrícola

Orientador: Tales Miler Soares

1. Hidroponia – hortaliças folhosas. 2. Águas pluviais - reservatórios. 3. Agricultura  
irrigada. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências  
Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.585

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.  
Responsável pela Elaboração – Patrícia Verônica Nascimento Dias Fernandes (Bibliotecária - CRB5 /1353).  
(os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO**

**SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO HIDROPÔNICA USANDO ÁGUAS  
PLUVIAIS E SALOBRAS**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de  
Jessica Sabrina de Castro Couto

Aprovada em: 14 de julho de 2022



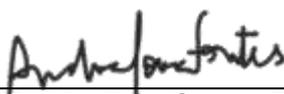
---

Prof. Dr. Tales Miler Soares  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
(Orientador)



---

Dr. Mairton Gomes da Silva  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
(Examinador Interno)



---

Profa. Dr. Andrea Sousa Fontes  
Universidade Federal da Bahia - UFBA  
(Examinador Externo)

## DEDICATÓRIA

Dedico essa conquista ao meu Pai Juraci Farias Couto e minha mãe Eunice Pereira de Castro.

Aos meus irmãos, Jeovana, Júnior e Júlia.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças e muita garra a cada instante;

Aos meus pais Eunice (que nunca deixou de orar por mim) e Juraci, grandes guerreiros;

E a meus irmãos, Jeovana, Júnior e Júlia, que são minha maior motivação;

Ao professor Dr. Fernando Falco Pruski (in memoriam) que tanto colaborou na confecção desse trabalho e ao meu orientador, profissional incansável, Dr. Tales Miler Soares e ao coordenador do curso Dr. Lucas Melo Vellame, que nunca mediram esforços para me auxiliar período de orientação;

Aos membros dessa banca de defesa de dissertação, pelas inúmeras contribuições ofertadas ao meu trabalho;

Aos meus amigos, colegas e funcionários do PPGEA que me ajudaram bastante nesta jornada difícil;

À cada irmã da PIB, que me acolheu tão bem no período que estive em Cruz das Almas;

Aos membros da banca, pela disponibilidade. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por todo conhecimento adquirido, serei eternamente grata;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho.

## SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO HIDROPÔNICA USANDO ÁGUAS PLUVIAIS E SALOBRAS

**RESUMO:** Os reservatórios de águas pluviais para produção agrícola possuem grande potencial de uso em hidroponia, sob ambiente protegido cuja cobertura com filme plástico pode servir como área de captação. Sobretudo em regiões semiáridas, as águas salobras podem ser diluídas em águas de chuva. Assim, realizou-se este estudo, cujo objetivo foi desenvolver um modelo de produção de aproveitamento de águas pluviais para o cultivo hidropônico, considerando o suprimento exclusivo com águas pluviais ou o suprimento com adição de águas salobras. Desse modo, desenvolveu-se um algoritmo, que utiliza séries diárias ou sintéticas de precipitação, com as quais é realizado um balanço hídrico, por meio da diferença entre entradas de águas (de chuva e salobras) no sistema e a necessidade de água pelas plantas cultivadas em hidroponia. As simulações foram realizadas em uma planilha no software Excel. Após a definição da metodologia, são apresentados estudos de caso de produção de coentro e alface crespa, realizados para os municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA. A planilha permitiu a determinação do volume de reservatório ( $V_R$ ) de águas pluviais necessário para manter o nível de condutividade elétrica tolerada ( $CE_{Limite}$ ) pelas culturas. Posteriormente, o modelo foi avaliado com base nas principais variáveis de entrada quais sejam: a precipitação pluvial ( $P$ ), a área de captação ( $A$ ), condutividade elétrica da água salobra ( $CE$ ), evaporação ( $E$ ), alteração do número de ciclos de cultivo ( $NC$ ), alteração da produtividade relativa ( $PR$ ) e número de ciclos de descarte da solução nutritiva ( $D$ ). No cálculo do volume do reservatório anual, o modelo apresentou maior sensibilidade à variação da evaporação e menor sensibilidade à frequência de descartes da solução nutritiva. O cálculo do reservatório plurianual indicou que o modelo foi mais sensível à alteração do número de ciclos de cultivo por ano e menos sensível à frequência de descartes da solução nutritiva.

**PALAVRAS-CHAVES:** Hidrógrafa; Ambiente protegido; Hortaliças folhosas.

## **SIMULATION OF HYDROPONIC PRODUCTION USING RAINWATERS AND BRACKISH**

**ABSTRACT:** Rainwater reservoirs for agricultural production have great potential for use in hydroponics, under a protected environment whose cover with plastic film can serve as a catchment area. Especially in semi-arid regions, brackish water can be diluted with rainwater. Thus, this study was carried out, whose objective was to develop a production model for the use of rainwater for hydroponic cultivation, considering the exclusive supply with rainwater or the supply with the addition of brackish water. Thus, an algorithm was developed, which uses daily or synthetic series of precipitation, with which a water balance is performed, through the difference between water inputs (rain and brackish) in the system and the water requirement by plants. grown in hydroponics. The simulations were performed on a spreadsheet in Excel software. After defining the methodology, case studies of coriander and crisp lettuce production are presented, carried out for the municipalities of Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA and Cruz das Almas-BA. The spreadsheet allowed the determination of the reservoir volume (RV) of rainwater necessary to maintain the level of electrical conductivity tolerated (CELimit) by the cultures. Subsequently, the model was evaluated based on the main input variables, namely: rainfall (P), catchment area (A), electrical conductivity of brackish water (EC), evaporation (E), change in the number of cycles of cultivation (NC), change in relative productivity (PR) and number of cycles of nutrient solution disposal (D). In calculating the volume of the annual reservoir, the model showed greater sensitivity to evaporation variation and less sensitivity to the frequency of nutrient solution discards. The calculation of the multiannual reservoir indicated that the model was more sensitive to the change in the number of crop cycles per year and less sensitive to the frequency of discarding the nutrient solution.

**Key-words:** Hydrographer; Protected environment; Leafy vegetables

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{total}$  = área total de captação,  $m^2$ ;

$A$  = área em projeção horizontal da cobertura do sistema de produção,  $m^2$ ;

$A_{Captação}$  = a área total de captação de águas pluviais,  $m^2$ ,

$A_{Cobertura}$  = área em projeção horizontal da cobertura do sistema de produção,  $m^2$ ;

$A_{Extra}$  = área extra em projeção horizontal,  $m^2$ ;

$A_R$  = área do reservatório descoberto,  $m^2$ ;

$A_{Reservatório}$  = área de cobertura do reservatório em projeção horizontal;

$B$  = base maior da seção trapezoidal,  $m$ ;

$b$  = base menor da seção trapezoidal,  $m$ ;

$CA$  = Cruz das Almas;

$CE_{AS}$  é o nível de condutividade elétrica da água salobra,  $dS\ m^{-1}$ ;

$CE_{Limite}$  = condutividade elétrica limite da água salobra,  $dS\ m^{-1}$ ;

$CE_{SN}$  = condutividade elétrica da solução nutritiva;

$cm$  = centímetros;

$CP_{FFi}$  = consumo hídrico por planta de cada cultura em cada fase fenológica no dia  $i$ ,  $m^3\ dia^{-1}$ ;

$D$  = frequência de descarte da solução nutritiva, ciclos;

$D$  = volume de água referente ao descarte de água no sistema protegido,  $m^3$ ;

$E$  = evaporação média anual,  $mm\ ano^{-1}$ ;

$E_f$  = eficiência do sistema de captação de águas pluviais, adimensional;

$E_i$  = evaporação do dia  $i$ ,  $mm\ dia^{-1}$ ;

$EUA$  = eficiência do uso da água;

$E_v$  = volume referente à evaporação do reservatório,  $m^3$ ;

$F$  = teste estatístico  $F$ ;

$GL$  = grau de liberdade;

$h$  = profundidade do reservatório;

$l_1$  = menor valor de entrada da variável em análise;

$l_{12}$  = média dos valores de entrada;

$l_2$  = maior valor de entrada da variável em análise;

JU = Juazeiro

K = fator de frequência, adimensional;

L = volume de água gasto na limpeza das estruturas do sistema protegido, m<sup>3</sup>;

mL = mililitros;

MQ = média dos quadrados;

n = número de culturas, unidades;

NC = alteração do número de ciclos de cultivo, unidades;

NP<sub>FFi</sub> = número de plantas de cada cultura em cada fase fenológica no dia i, unidades;

P = precipitação média anual, mm ano<sup>-1</sup>;

P1+2 = Programa Uma Terra Duas Águas;

P1MC = Programa Um Milhão de Cisternas;

P<sub>A</sub> = precipitação pluvial anual, mm;

P<sub>i</sub> = precipitação pluvial no dia i, m dia<sup>-1</sup>;

PR = alteração da produtividade relativa, %;

P<sub>u</sub> = volume de água gasto na pulverização das plantas contidas no sistema protegido, m<sup>3</sup>;

SB = Senhor do Bonfim;

S<sub>M</sub> = sensibilidade do modelo às variáveis de entrada;

S<sub>P</sub> = sistema de produção;

SQ = soma dos quadrados;

T = tempo de retorno, anos;

TE = tempo médio de enchimento do reservatório, anos;

V = volume correspondente aos vazamentos de água no sistema de produção, m<sup>3</sup>;

V<sub>Ai</sub> = volume armazenado no dia i, m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>;

V<sub>ASi</sub> = volume de água salobra no dia i, m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>;

V<sub>Di</sub> = volume total de água demandado pelo sistema protegido no dia i, m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>;

V<sub>EI</sub> = volume evaporado do reservatório no dia i; m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>;

V<sub>Ppc</sub> = volume de água de chuva necessário para atender ao período crítico, m<sup>3</sup>;

V<sub>Pi</sub> = volume coletado de água de chuva no dia i, m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>;

V<sub>Ptotal</sub> = volume total coletado de água de chuva, m<sup>3</sup>;

V<sub>R</sub> = volume do reservatório, m<sup>3</sup>;

V<sub>R1</sub> = volume do reservatório, obtido pelo modelo para o menor valor de entrada;

$V_{R12}$  = média do volume do reservatório obtido com os valores de entrada;

$V_{R2}$  = volume do reservatório, obtido pelo modelo para o maior valor de entrada;

$V_{RACpc}$  = volume requerido de água de chuva pelas culturas durante o período crítico,  $m^3$ ;

$V_{RACi}$  = volume requerido de água de chuva pelas culturas no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$V_{RACtotal}$  = volume total requerido de água de chuva pelas culturas,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$x$  = volume do reservatório para um dado período de retorno  $T$ ,  $m^3$ ;

$y$  = variável reduzida, adimensional;

$y^N$  = média da variável reduzida para “ $N$ ” valores de volume do reservatório;

$y_0$  = profundidade do reservatório,  $m$ ;

$z$  = inclinação do talude lateral do reservatório, adimensional;

$\mu$  = média dos valores de volume do reservatório,  $m^3$ ;

$\sigma_n$  = desvio-padrão da variável  $y$ ,  $m^3$ ; e

$\sigma_x$  = desvio-padrão dos valores de volume do reservatório,  $m^3$ .

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial (A). .....	11
<b>Figura 2.</b> Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial associada a área extra com a contribuição da água de poço.....	11
<b>Figura 3.</b> Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial associada à água de poço. ....	13
<b>Figura 4.</b> Representação sem escala da seção trapezoidal do reservatório escavado. ....	23
<b>Figura 5.</b> Mapa da hidrogeologia do Estado da Bahia indicando os municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas – BA (A) e classificação das águas dos poços dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA, conforme resolução do CONAMA nº 357 (B).....	32
<b>Figura 6.</b> Representação da precipitação média anual para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA. ....	35
<b>Figura 7.</b> Hidrógrafas do volume coletado de água de chuva para as cidades de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C), respectivamente, considerando área de captação igual a 817,42 m <sup>2</sup> .....	37
<b>Figura 8.</b> Representação da precipitação média mensal para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C). ....	38
<b>Figura 9.</b> Relação entre a condutividade elétrica (CE) da água salobra e a diferença entre o volume coletado de água de chuva e o requerido de água de chuva para a alface crespa (A) e para o coentro (B).....	41
<b>Figura 10.</b> Volume do reservatório anual e plurianual necessário considerando suprimento apenas com água de chuva.....	44
<b>Figura 11.</b> Volume do reservatório anual e plurianual considerando a diluição em que a condutividade elétrica da água salobra varia de 0 a 10 dS m <sup>-1</sup> , para as três localidades estudadas, Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA). ....	50

<b>Figura 12.</b> Volume do reservatório versus condutividade elétrica da água salobra para os poços presentes nos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C). .....	52
<b>Figura 13.</b> Representação da evaporação anual para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA. ....	53
<b>Figura 14.</b> Representação da evaporação média mensal para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C). .....	54
<b>Figura 15.</b> Condições de aporte e extravasamento dos reservatórios: reservatório anual Condição 1.1 (A), reservatório plurianual Condição 1.1 (B), reservatório anual Condição 2.1 (C), reservatório plurianual Condição 2.1 (D), reservatório anual Condição 2.2 (E), reservatório plurianual Condição 2.2 (F).....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Eficiência do uso da água (EUA) de diferentes espécies de plantas sob condições hidropônicas e cultivo convencional em solo.....	7
<b>Tabela 2.</b> Classificação dos dados de entrada entre preenchimento obrigatório e facultativo pelo usuário do modelo .....	21
<b>Tabela 3.</b> Coeficientes de runoff médios baseados no material constituinte do telhado de captação de águas pluviais .....	25
<b>Tabela 4.</b> Caracterização de 1 módulo para produção de alface crespa hidropônica, em termos de dimensões e área do ambiente protegido.....	26
<b>Tabela 5.</b> Número de plantas de alface crespa presentes em cada bancada por setor de produção.....	27
<b>Tabela 6.</b> Caracterização de 1 módulo para produção de coentro, agrião e outras plantas condimentares hidropônicas, em termos de dimensões e área do ambiente protegido.....	27
<b>Tabela 7.</b> Número de maços de coentro presentes em cada bancada por setor de produção.....	28
<b>Tabela 8.</b> Análise de variância e coeficientes de regressão linear múltipla tendo como variável dependente a diferença entre o volume coletado de água de chuva e requerido de água de chuva em função da precipitação média anual da localidade e da CE da água salobra .....	42
<b>Tabela 9.</b> Valores de volume de reservatórios associados a diferentes áreas de captação de águas pluviais considerando a área do SP igual a 817,42 m <sup>2</sup> .....	47
<b>Tabela 10.</b> Representação do tempo de enchimento médio dos reservatórios, considerando a área de captação de águas pluviais igual à área do sistema de produção (817,42 m <sup>2</sup> ) ou à área do sistema de produção adicionada à área de cobertura do próprio reservatório. ....	48
<b>Tabela 11.</b> Valores de volume de reservatório com ou sem perdas de água por evaporação para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA) .....	56
<b>Tabela 12.</b> Representação do volume de reservatórios com o número de ciclos por ano convencional e reduzido .....	57
<b>Tabela 13.</b> Volume de reservatório anual e plurianual considerando produtividade relativa como 100 e 75% para os municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA (CA) .....	58
<b>Tabela 14.</b> Variação do volume dos reservatórios em função da frequência de descartes da solução nutritiva .....	59
<b>Tabela 15.</b> Sensibilidade do modelo às principais variáveis de entrada .....	64

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Objetivo geral .....	2
2.2. Objetivos específicos .....	2
<b>3. HIPÓTESES</b> .....	<b>2</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
4.1. Água de chuva para fins agrícolas .....	4
4.2. Água salobra para fins agrícolas .....	5
4.3. Cultivo hidropônico .....	6
4.4. Emprego de águas salobras e águas de captação pluvial na hidroponia .....	9
4.4.1. Uso de águas salobras em hidroponia .....	9
4.4.2. Captação da água de chuva para uso em hidroponia .....	10
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
5.1. Desenvolvimento do algoritmo .....	14
5.1.1 Volume armazenado .....	14
5.1.2. Volume coletado de água de chuva .....	14
5.1.3. Volume demandando .....	15
5.1.4. Volume de água salobra .....	16
5.1.5. Volume requerido de água de chuva .....	17
5.1.6. Volume evaporado .....	17
5.1.7. Dimensionamento do reservatório .....	18
5.1.8. Operação dos reservatórios .....	20
5.1.9. Sensibilidade das variáveis do modelo .....	20
5.2. Cenários de aplicação .....	21
5.2.1. Entrada de dados de precipitação .....	21
5.2.2. Entrada de dados de área de captação .....	22
5.2.3. Entrada de dados de eficiência do sistema .....	24
5.2.4. Entrada de dados de demanda hídrica .....	25
5.2.5. Entrada de dados de água salobra .....	29
5.2.6. Entrada de dados de evaporação .....	30
5.3. Localidades de aplicação .....	30

5.3.1. Juazeiro-BA .....	31
5.3.2. Senhor do Bonfim-BA .....	33
5.3.3. Cruz das Almas-BA.....	33
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
6.1. Análise do modelo.....	35
6.1.1. Precipitação .....	35
6.1.2. Área de captação .....	46
6.1.3. CE da água salobra .....	49
6.1.4. Evaporação do reservatório .....	53
6.1.5. Alteração do número de ciclos de cultivo por ano.....	57
6.1.6. Redução da produtividade relativa.....	58
6.1.7. Descarte da solução nutritiva.....	59
6.1.8. Operação do reservatório .....	59
6.1.9. Sensibilidade das principais variáveis do modelo .....	64
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica encontra-se cada vez mais reduzida em várias partes do mundo, principalmente devido ao crescimento da população e o consequente aumento da demanda por água e alimentos. Embora o Brasil seja o país com maior quantidade de água doce do mundo (VALENTI et al., 2021), na Região Semiárida, a disponibilidade já não tem sido suficiente para suprir as demandas, o que configura um quadro de escassez hídrica (VERGARA et al., 2021).

Diante dessa realidade surge a necessidade da busca por sistemas alternativos de suprimento hídrico, bem como de tecnologias que visem o uso racional da água. Nesse sentido, o aproveitamento de águas pluviais tem ressurgido com um importante papel econômico, social e ambiental em regiões semiáridas (FEITOSA et al., 2018). Pois, além de se tratar de uma água de boa qualidade, consiste em uma tecnologia barata, que é capaz de ampliar a segurança hídrica, sem gerar rejeitos (RICARDO et al., 2019).

Outra alternativa largamente empregada em comunidades rurais de regiões áridas e semiáridas é a perfuração de poços, que visa atender às mais diversas demandas da sociedade. Porém, muitos dos poços perfurados não são capazes de suprir as necessidades da população, visto que possuem água de baixa qualidade, com alto nível de salinidade. Em algumas localidades, essas águas precisam até mesmo passar por dessalinizadores para serem utilizadas (BEZERRA et al., 2016).

O processo da dessalinização de águas salobras gera um resíduo conhecido como concentrado salino, o qual representa risco de contaminação ambiental (BONFIM, 2020), visto que tal rejeito geralmente é derramado no solo sem qualquer controle, causando aumento da salinidade em regiões semiáridas.

Sabe-se que em tais regiões, a maior parte da população vive da prática da agricultura familiar, baseada no cultivo de hortaliças (CASTRO, 2012; KHAN et al., 2021). Entretanto, as técnicas de cultivo convencionais precisam passar por mudanças, visando, principalmente, a otimização do uso da água. A utilização de técnicas de produção como a hidroponia é capaz de mitigar os problemas de escassez hídrica, além de possibilitar o uso de águas salobras proibitivas no plantio convencional (SILVA, 2019).

No cultivo hidropônico, as perdas por evaporação são praticamente nulas, o que representa uma economia de cerca de 80% da quantidade de água gasta com o plantio convencional (ORSINI, 2018; SILVA, 2019). Além disso, as respostas das plantas à salinidade podem ser melhores do que no plantio convencional em solo (SOARES, 2007). A hidroponia também pode ser capaz de viabilizar a mistura de águas de diferentes qualidades possibilitando o aproveitamento de águas salobras.

Visando otimizar ainda mais a prática da hidroponia, a integração de técnicas de captação de águas pluviais associadas ao armazenamento por meio de reservatórios é capaz de reduzir os efeitos causados pela irregularidade das precipitações, aumentando a produção agrícola e diminuindo os riscos de perdas em períodos de escassez (SILVA et al., 2014).

No presente estudo, o volume do reservatório é a principal incógnita para o balanceamento da disponibilidade hídrica. A adoção de tecnologias como o aproveitamento das águas pluviais para uso no cultivo hidropônico e misturas com águas salobras podem implicar no aumento da disponibilidade hídrica, possibilitando a utilização de poços muitas vezes desativados e/ou até mesmo os rejeitos da dessalinização.

Desse modo, percebe-se que é de importância estratégica a realização de estudos que envolvam técnicas de uso e reserva de água, que permitam avaliar ou prever sua utilização em períodos de escassez hídrica em escala universal, sobretudo em regiões áridas e semiáridas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Estabelecer e avaliar o desempenho de um modelo de produção baseado no aproveitamento de águas pluviais para o cultivo hidropônico, considerando o suprimento exclusivo com águas pluviais ou o suprimento com adição de águas salobras.

## **2.2. Objetivos específicos**

Desenvolver um modelo de produção que possibilite a simulação de cultivo hidropônico, mediante suprimento hídrico advindo de captação pluvial, usando a própria infraestrutura de hidroponia.

Dimensionar, mediante modelagem, o tamanho do reservatório e de eventual área extra de captação que proporcione autossuficiência hídrica para o modelo de produção.

Sinalizar possibilidades de racionalização, mediante modelagem, no emprego das águas pluviais para diluição de águas salobras de poços ou de rejeito da dessalinização com moderada a elevada condutividade elétrica na hidroponia.

Realizar a análise de sensibilidade do modelo em relação aos parâmetros que interferem no volume do reservatório.

## **3. HIPÓTESES**

A elevada eficiência do uso da água em hidroponia torna factível a autossuficiência hídrica do cultivo, quando se emprega o próprio ambiente protegido para captação de água de chuva, mesmo sob condições de clima semiárido.

Nas condições de insuficiência do ambiente protegido em garantir plenamente a demanda hídrica das culturas hidropônicas é possível aumentar a área extra de captação, mantendo-se a demanda e/ou tamanho do reservatório de regularização.

Para rejeito de dessalinização e/ou poços que produzem águas salobras de moderada ou elevada salinidade é possível produzir a diluição dessas águas mediante mistura com água de captação pluvial, garantindo que a produtividade relativa seja próxima à potencial.

A alteração no número de ciclos de cultivo é capaz de implicar diretamente no volume do reservatório.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Água de chuva para fins agrícolas

A captação de água de chuva para a produção de alimentos tem se tornado uma importante linha de pesquisa dentro dos estudos agrícolas, principalmente pelo potencial da água de chuva como fonte de água suplementar para a sustentabilidade da agricultura, visando uma melhor distribuição da água disponível, em um cenário em que o abastecimento de água e de alimentos é um desafio para a sociedade atual (FURTADO, 2019; VELASCO-MUNÓZ et al., 2019).

A água da chuva é um recurso livre de cobrança aquisitiva e seu aproveitamento consiste em uma alternativa que contribui para a autossuficiência e a sustentabilidade ambiental. Após ser coletada, essa água pode ser utilizada para inúmeros fins, visando a economia de água de boa qualidade (GOLDENFUM, 2006; EL TUGOZ et al., 2017).

Devido a sua importância, a captação, armazenamento e o aproveitamento de águas pluviais foram incluídos como objetivo na Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, intitulada como Política Nacional de Recursos Hídricos, cuja inserção ocorreu por meio da Lei nº 13.501 de 30 de outubro de 2017 (NÓBREGA et al., 2019). Visto que o suprimento de águas pluviais não depende somente das precipitações, mas também das condições corretas de captação e de armazenagem. Ao lidar com reservatórios de captação pluvial descobertos, a evaporação é uma variável de importante a ser considerada, pois a evaporação excessiva pode levar à secagem do reservatório e à falha do sistema de captação (LYNN et al., 2009). Sobretudo em regiões áreas semiáridas e áridas, cujas perdas por evaporação são muito maiores que os totais anuais de chuva, quantificar essas perdas integra o manejo e conservação das águas (BORGES, 2017).

Considerando o manejo de águas pluviais para produção de alimentos, estudos realizados no Brasil (SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2014) e em países como Namíbia (WOLTERS DORF et al., 2015), Uganda (KIGGUNDU et al., 2018), Turquia (BOYACI & KARTAL, 2019), Irã (AGHALOO & CHIU, 2020), Paquistão (JAN, 2020), Etiópia (TOLOSSA et al., 2020), Índia (SINGH et al., 2019) e Grécia (LONDRA et al., 2021; LONDRA et al., 2022) revelam que tecnologias relacionadas ao aproveitamento de água de chuva promovem o aumento da produtividade agrícola.

No que se refere ao uso de água de chuva para a produção de alimentos, pode-se considerar dois tipos de regularização: anual ou plurianual. A regularização plurianual se dá quando há transferência de água de um ano para outro visando atender a uma determinada demanda. Quando se fala de regularização intra-anual ou simplesmente anual, está se desconsiderando a necessidade de transferência de água de ano para ano (MANNICH et al., 2011).

Embora existam inúmeras vantagens, ressalta-se que, mesmo captando as águas de chuva para uso na irrigação convencional em solo, devido à alta demanda hídrica das culturas, sobretudo na regularização plurianual, o volume de água armazenado nem sempre é capaz de suprir as necessidades hídricas das culturas. Portanto, inviabilizando o cultivo nos períodos mais secos (MANDAL et al., 2020).

Outrossim, novas técnicas devem ser utilizadas visando a produção de alimentos em um cenário cada vez mais recorrente de escassez hídrica. Nesse âmbito, a hidroponia é uma alternativa de cultivo que pode proporcionar altos rendimentos com baixo consumo de água pelas plantas (SILVA et al., 2015).

## **4.2. Água salobra para fins agrícolas**

A acessibilidade de água doce para usos agrícolas está cada vez menor em diversas regiões do mundo, em razão do aumento populacional que, além de consumir mais água, demanda mais alimentos (COSTA et al., 2020). Nesse sentido, vários poços artesianos são perfurados visando suprir as necessidades hídricas. Entretanto, a maioria dos poços possuem águas de baixa qualidade, devido ao alto nível de salinidade (CAVALCANTE, 2018).

Os aquíferos mais comuns no Semiárido Brasileiro são do tipo fraturados ou cársticos. Os poços perfurados em aquíferos fraturados costumam fornecer pequenas vazões e a possibilidade de se ter um poço produtivo depende da capacidade em interceptar fraturas capazes de conduzir a água, que, tende a seguir caminhos preferenciais (IRITANI, 2011). Já nos aquíferos cársticos, o armazenamento e fluxo da água ocorre em poros formados pela circulação da água que dissolve a rocha carbonática ao longo das superfícies de fraturas, esses aquíferos são heterogêneos e

anisotrópicos (LEGRAND & LAMOREAUX, 1975; FORD & WILLIAMS, 1989; HINDI, 2002).

Segundo Rhoades et al. (2000), o uso de águas salobras na agricultura e até mesmo do rejeito da dessalinização é uma importante opção a ser considerada, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Nesse sentido, Arrieiro et al. (2020) reportaram que a utilização de águas salobras é viável para evitar uma possível crise alimentar mundial.

Algumas estratégias de manejo podem ser empregadas para minimizar os riscos da utilização de águas salobras na irrigação, dentre elas têm-se: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização de águas salobras nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas salobras, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações de sais visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização do solo (LACERDA et al., 2009).

No cultivo hidropônico (cultivo sem solo), as águas salobras podem ser utilizadas de maneira eficiente sem grandes consequências a longo prazo. É evidente que o cultivo de hortaliças sob estresse salino pode ser muito vantajoso, desde que se escolha o sistema de produção adequado, visto que culturas de ciclo rápido tendem a sofrer menos com os impactos causados pela salinidade (VIANA, 2017).

#### **4.3. Cultivo hidropônico**

A hidroponia consiste em uma técnica de cultivo sem solo, em ambientes protegidos, nos quais os nutrientes são fornecidos às plantas por meio de uma solução nutritiva balanceada, atendendo às necessidades nutricionais das mesmas (CARRIJO e MAKISHIMA, 2000). A alta eficiência de uso da água na hidroponia é uma de suas principais vantagens, em relação ao cultivo convencional (VIANA, 2017), como pode ser visto na Tabela 1.

**Tabela 1.** Eficiência do uso da água (EUA) de diferentes espécies de plantas sob condições hidropônicas e cultivo convencional em solo

Cultura	EUA (kg m <sup>-2</sup> )		EUA (kg m <sup>-2</sup> )	
	Hidroponia <sup>a</sup>	Fonte	Solo	Fonte
Alface	93,24 <sup>*</sup>	SOARES <i>et al.</i> , 2019	28,50 <sup>1*</sup>	SILVA, V. <i>et al.</i> , 2018b
Almeirão	22,50 <sup>2</sup>	ATZORI <i>et al.</i> , 2019	14,80	PITORO <i>et al.</i> , 2021
Cebolinha	8,93 <sup>3**</sup>	SILVA JÚNIOR <i>et al.</i> , 2019a	7,26 <sup>4</sup>	SANTOS <i>et al.</i> , 2020
Coentro	29,43 <sup>*</sup>	SILVA, M. <i>et al.</i> , 2020a	4,48 <sup>*</sup>	SILVA, V. <i>et al.</i> , 2018a
Couve-flor	17,53	COSTA, 2020	9,42 <sup>5</sup>	SOUZA <i>et al.</i> , 2018
Chicória	71,10	SILVA, M. <i>et al.</i> , 2020b	13,90	PITORO <i>et al.</i> , 2021
Rúcula	22,07 <sup>6**</sup>	CAMPOS JÚNIOR <i>et al.</i> , 2018a	14,42 <sup>*</sup>	CUNHA <i>et al.</i> , 2013
Salsa	54,61 <sup>7***</sup>	MARTINS <i>et al.</i> , 2019a	16,50	PITORO <i>et al.</i> , 2021

<sup>a</sup> Valores de EUA obtidos em hidroponia com o uso de água de baixa salinidade; \* – valores obtidos em experimentos realizados no outono; <sup>1</sup> – valor obtido para alface crespa 'Isabela'; <sup>2</sup> – valor convertido a partir da unidade m<sup>3</sup> l<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> e <sup>4</sup> – valores obtidos no 1º e 2º experimento, respectivamente; <sup>4</sup> – valor obtido sob lâmina de irrigação de 70,63 mm e dose de NPK de 377,34 kg ha<sup>-1</sup>; <sup>5</sup> – valor obtido no 2º experimento sob 100% da evapotranspiração da cultura somada com a precipitação efetiva; \*\* e \*\*\* – valores obtidos sob tratamento controle, com condutividades elétricas das soluções nutritivas de 1,5 e 1,7 dS m<sup>-1</sup> (sem NaCl), respectivamente.

Fonte: SILVA *et al.* (2021, p. 292).

Além da elevada EUA, o cultivo hidropônico apresenta outras vantagens, tais como: redução do ciclo das culturas, possibilidade de cultivo durante todo o ano, obtenção de produtos mais uniformes e com melhor qualidade, maior produtividade por área, menor custo de mão-de-obra, melhor eficiência de insumos agrícolas, além da utilização de áreas não inapropriadas para o cultivo convencional (RODRIGUES, 2002; BEZERRA NETO, 2017). Ademais, estima-se uma redução de aproximadamente 80% do consumo de água quando comparado ao plantio convencional em solo (ORSINI *et al.*, 2018).

As perdas por evaporação na hidroponia são consideradas mínimas, o que implica em economia de água (SOARES, 2007). Portanto, pode-se ter um aumento do rendimento da cultura por quantidade de água consumida, constituindo-se uma opção vantajosa para a regiões semiáridas (VIANA, 2017),

No Semiárido Brasileiro, a maior parte da produção de hortaliças provém da agricultura de base familiar (NASCIMENTO e MELO, 2011; CAVALCANTE, 2019), na qual o cultivo de hortaliças folhosas como, por exemplo, a alface, coentro, cebolinha e rúcula, tem sido a principal fonte de renda (SILVA *et al.*, 2021).

Nesse estudo, foram avaliadas as culturas do coentro e da alface crespa com o propósito de validar o modelo desenvolvido. Sabe-se que a alface é a hortaliça

folhosa mais consumida no Brasil. E tem sido largamente explorada em regiões semiáridas, tanto em solo como em sistemas hidropônicos, sendo a principal cultura de hidroponia no país (BERGAMO & GANDRA, 2019). O coentro (cuja unidade comercial é chamada de maço) é uma das hortaliças folhosas mais consumidas no Nordeste brasileiro, sendo muito produzido em regiões semiáridas tanto de forma convencional quanto por meio da hidroponia (SOARES, et al., 2017).

No Brasil, em experimentos conduzidos em hidroponia, o consumo hídrico de diferentes culturas foi estimado (CAZUZA NETO et al., 2014; FREITAS et al., 2014; LIRA et al., 2017; SILVA JÚNIOR, 2017; SILVA et al., 2018; COSTA et al., 2020). Nesse sentido, Cazuza Neto et al. (2014) reportaram o consumo de 2,59 L de água para produzir um maço de coentro e Silva et al. (2018) perceberam variações entre 1,93 e 3,03 L maço<sup>-1</sup> da mesma cultura. O consumo hídrico para produção de alface crespa variou entre 2,35 e 4,76 L planta<sup>-1</sup> (FREITAS et al., 2014). Para produzir um maço de agrião, Lira et al. (2017) verificaram um consumo hídrico de 2,18 a 4,06 L (LIRA et al., 2017). O consumo de água para produção de cebolinha foi de 0,33; 0,44 e 0,73 L planta<sup>-1</sup> (SILVA JÚNIOR, 2017). Em um experimento realizado com couve-flor, Costa et al. (2020), verificaram um consumo hídrico de 26,7 e 14,4 L planta<sup>-1</sup>.

Percebe-se que além da economia de água, o cultivo hidropônico é capaz de minimizar outras barreiras relacionadas ao clima, ao solo, à área, entre outros, desde que este seja adaptado à realidade do agricultor familiar do Semiárido brasileiro. A disseminação de materiais com linguagem acessível é capaz de solucionar eventuais dúvidas e reduzir a resistência à aceitação dos sistemas hidropônicos. Este tipo de cultivo também pode estimular o avanço da agricultura familiar e, conseqüentemente contribuir para a geração de renda, eliminando a sazonalidade da produção, principalmente entre as famílias mais vulneráveis (BEZERRA NETO, 2017).

A literatura brasileira ainda carece de trabalhos acadêmicos direcionados à inserção e competitividade do pequeno agricultor no mercado de hortaliças hidropônicas. Compreender as limitações e potencialidades produtivas e de mercado é essencial para o sucesso da produção e norteia investimentos seguros. Nesse sentido, a academia está à frente no traçado de cenários e definição de estratégias. Mas na prática, é essencial orientar o planejamento e a gestão de produtores

hidropônicos, alertando-os para os benefícios e limitações a serem enfrentadas (ZEN e BRANDÃO, 2019).

Apesar das inúmeras vantagens, o cultivo hidropônico possui alguns entraves que podem limitar a expansão dessa técnica de cultivo, como: alto custo inicial de implantação; expressivo risco de perda das culturas por falta de energia elétrica; necessidade de acompanhamento permanente e a fácil dispersão de patógenos em função da circulação da solução nutritiva entre as estruturas, caso não seja realizado um manejo adequado (MARTÍNEZ et al., 2013; HUSSAIN et al., 2014; SILVA, 2019).

#### **4.4. Emprego de águas salobras e águas de captação pluvial em hidroponia**

##### **4.4.1. Uso de águas salobras em hidroponia**

As águas salobras podem ser utilizadas de maneira eficiente na hidroponia sem grandes consequências a longo prazo, caso técnicas de manejo adequadas sejam seguidas (VIANA, 2017).

Desse modo, diversas pesquisas têm sido conduzidas visando demonstrar a viabilidade da hidroponia associada ao aproveitamento racional de águas salobras (MODESTO et al., 2019; SILVA et al., 2018; BASHABSHEH et al., 2020; COSTA et al., 2020; BIONE et al., 2021; FREITAS et al., 2021). Essas pesquisas são imprescindíveis para a disseminação de informações referentes ao uso racional das águas subterrâneas salobras do Semiárido Brasileiro e também de rejeito da dessalinização.

Cultivando quiabo com águas salobras em hidroponia, Modesto et al. (2019) relatou que o fruto foi a parte que menos sofreu os impactos do aumento da condutividade elétrica, afirmando que este não deve ser esse um fator restritivo à sua comercialização.

Nesse âmbito, cultivando coentro em hidroponia, Silva et al. (2018) disseram que águas com salinidade de até 7,0 dS m<sup>-1</sup> podem ser usadas no cultivo de coentro apesar das reduções no crescimento e na produção, mas sem efeitos deletérios na qualidade visual do produto.

Bashabsheh et al. (2020), em um estudo com sálvia cultivada em sistema hidropônico sob águas provenientes de rejeitos da dessalinização, concluíram que,

houve uma diminuição das características morfológicas da cultura em relação à água doce, mas como opção sustentável o uso desse tipo de rejeito é capaz de reduzir de forma drástica os impactos ambientais do descarte em solo.

Em um estudo com couve-flor em hidroponia, COSTA et al (2020), concluíram que é possível usar águas salobras no preparo da solução nutritiva e na reposição da evapotranspiração, com redução moderada da produção. sem comprometimento grave da qualidade das flores e folhas.

Em trabalho com pimenta biquinho em cultivo hidropônico, Bione et al (2021), reportaram que os sintomas da salinidade nas plantas foram inicialmente mais abruptos que nos estágios de desenvolvimento subsequentes.

Cultivando alface crespa em hidroponia, Freitas et al. (2021), perceberam que apesar das reduções no porte das plantas utilizando-se água salobra, com até 5,3 dS  $m^{-1}$ , não houve depreciação visual do produto para comercialização.

Os estudos apresentados partem do princípio que diz que as respostas da planta em condição salina são melhores na hidroponia do que no solo, devido à ausência do potencial mátrico (SOARES, 2007).

#### 4.4.2. Captação da água de chuva para uso em hidroponia

Na hidroponia, quando o cultivo é praticado em ambientes protegidos cobertos com plásticos agrícolas, como o polietileno de baixa densidade (PEBD), pode-se aproveitar essa estrutura para captação de águas pluviais (LONDRA et al., 2022), conforme Figura 1.



**Figura 1.** Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial (A).

Além da própria estrutura do sistema de produção de hortaliças hidropônicas, pode-se considerar áreas extras para a captação das águas pluviais. Essa área extra pode ser definida por estruturas pré-existentes (residências, garagem, benfeitorias, galpões..., etc) ou pode ser construída para esse propósito (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial associada a área extra com a contribuição da água de poço.

Após a coleta e canalização, as águas pluviais devem ser armazenadas para posterior utilização (HAGEMANN, 2009). A maneira mais eficiente de armazenar águas pluviais se dá por meio de reservatórios (também chamados de cisternas). Tais dispositivos são imprescindíveis em regiões com irregularidade de precipitações. E em áreas rurais, os reservatórios podem aumentar a disponibilidade das águas utilizadas pelos produtores agrícolas (FEITOSA et al., 2018), potencializando a segurança alimentar e econômica (NOGUEIRA, 2017).

Em meados de 1980 as cisternas foram destinadas ao aproveitamento de águas pluviais e eram restritas apenas ao consumo humano (cisterna convencional). Em 2004, o governo federal brasileiro implantou o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), visando facilitar o acesso à água pela população rural de baixa renda do Semiárido, por meio da construção de reservatórios domiciliares de 16 m<sup>3</sup>. A partir de

então foram implementados projetos como o Cisternas nas Escolas e o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2) (NÓBREGA et al., 2019).

O P1+2 surgiu com o fim de propiciar água para atividades produtivas, mediante a implantação de cisternas calçadão de 200 m<sup>2</sup>, com o propósito de aumentar a área de captação pluvial. No P1+2 a cisterna é executada com as mesmas técnicas construtivas da convencional, entretanto, as capacidades de armazenagem são de 30 e 52 m<sup>3</sup>, representando uma solução efetiva de tecnologia social para a agricultura familiar podendo ser construídos de vários materiais (ASA, 2014; BORJA e LORDELO, 2022).

De maneira geral, os reservatórios podem ser de alvenaria de bloco, concreto, geomembrana, aço carbono e até mesmo polietileno (os de pequenas dimensões), a depender da quantidade de água que se pretende armazenar e do valor a ser investido no projeto (SANTOS, 2010; HOLANDA e PAZ, 2016), no entanto, é importante optar por materiais mais econômicos, já que o custo elevado de tais dispositivos pode inviabilizar o aproveitamento da água pluvial (HAGEMANN, 2009), sobretudo para usos em cultivo hidropônico, cujos valores iniciais de implantação do sistema são elevados. O que eleva a necessidade de selecionar o tamanho ideal do reservatório para garantir o armazenamento máximo da água da chuva que maximize o retorno do investimento inicial (KHASTAGIR & JAYASURIYA, 2011).

Conforme Demanboro et al. (2014), a utilização de geomembrana na construção de reservatórios se apresenta como uma boa opção para a diminuição de custos da construção principalmente para aqueles de grandes volumes. Em um orçamento realizado no ano de 2022, estimou-se que um reservatório escavado de 330,75 m<sup>3</sup>, revestido de geomembrana, custe em torno de R\$ 15.000,00, o que representa um investimento de R\$ 45,35 m<sup>-3</sup>, constituindo uma alternativa ao cultivo hidropônico.

Visando reduzir os custos iniciais da hidroponia, existem alguns projetos sociais para construção de ambientes protegidos de baixo custo para pequenos produtores com área de 114 m<sup>2</sup> no Mato Grosso (ICV, 2019), de 128 m<sup>2</sup> no Ceará (DEUSDARÁ e LIMA, 2022) e de 37,5 m<sup>2</sup> no Rio Grande do Sul (DORES et al., 2020) e alguns estudos detalham a quantidade de plantas cultivadas mensalmente na agricultura de pequeno porte, a exemplo de Borges e Dal’Sotto (2016) e Santos e Oliveira (2021).

No estudo baseado em uma unidade familiar de produção hidropônica na área rural do município de Santa Helena-PR, em um ambiente protegido de 532 m<sup>2</sup>, com cultivo de alface e rúcula resultou em uma produção mensal de 507 pés de rúcula e 2.853 pés de alface (3.360 mensais) (BORGES e DAL'SOTTO, 2016).

Em outro estudo realizado em unidade familiar de produção hidropônica na área rural do município de Cruz das Almas-BA, em um ambiente protegido, com cultivo de alface e rúcula resultou em uma produção de até 3.532 pés de alface e 2.273 molhos de coentro mensais (SANTOS e OLIVEIRA, 2021).

Algo que pode potencializar ainda mais a utilização de águas pluviais no cultivo hidropônico é a combinação de águas de diferentes qualidades, como por exemplo as águas salobras (CAVALCANTE, 2018; FURTADO, 2019) (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema simplificado de representação do sistema de produção hidropônica, acoplado à captação pluvial associada à água de poço.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas. A primeira delas consistiu no desenvolvimento de uma sequência de cálculos (algoritmo) para a determinação do volume de reservatórios de águas pluviais. Posteriormente, foram apresentados cenários de aplicação, por meio de três estudos de caso, perfazendo-se testes de sensibilidade do modelo às principais variáveis de entrada por ele consideradas.

### 5.1. Desenvolvimento do algoritmo

#### 5.1.1. Volume armazenado

O reservatório dimensionado armazena apenas águas pluviais. Para o dimensionamento desse reservatório que visou o atendimento das necessidades hídricas de hortaliças hidropônicas, o balanço hídrico diário foi aplicado. O modelo levou em consideração dados de entrada diários de precipitação e evaporação (quando o reservatório se encontra descoberto), a área de captação de águas pluviais, o coeficiente de escoamento, além das demandas hídricas. O modelo foi descrito pela Equação 1, que indica o volume de água armazenado diariamente no reservatório (Adaptado de CARVALHO et al., 2007).

$$V_{Ai} = V_{Pi} - V_{RACi} - V_{Ei} \quad (1)$$

em que:

$V_{Ai}$  é o volume armazenado no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$V_{Pi}$  é o volume coletado de água de chuva no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$V_{RACi}$  é o volume requerido de água de chuva pelas culturas no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ; e

$V_{Ei}$  é o volume evaporado do reservatório no dia  $i$  (caso o reservatório esteja descoberto);  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ .

Após a determinação do volume armazenado no dia  $i$ , foi plotada a hidrógrafa de volume armazenado.

#### 5.1.2. Volume coletado de água de chuva

Toda a análise histórica foi realizada considerando uma série de 10 anos de precipitações diárias sem falhas, conforme outros autores (LONDRA et al., 2021; LONDRA et al., 2022).

O volume coletado de água de chuva diariamente foi dado pelo produto entre a precipitação e a área de captação, conforme a Equação 2 (TOMAZ, 2003).

$$V_{Pi} = \frac{P_i}{1.000} \times A_{\text{Captação}} \times Ef \quad (2)$$

em que:

$V_{Pi}$  é o volume coletado de água de chuva no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$P_i$  é a precipitação pluvial no dia  $i$ ,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

$Ef$  é a eficiência do sistema de captação de águas pluviais, adimensional; e

$A_{\text{Captação}}$  é a área total de captação de águas pluviais,  $m^2$ , dada pela soma entre a:

- $A_{\text{Cobertura}}$  é a área em projeção horizontal da cobertura do sistema de produção,  $m^2$ ;
- $A_{\text{Extra}}$  é a área extra em projeção horizontal,  $m^2$  (caso exista); e
- $A_{\text{Reservatório}}$  é a área de cobertura do reservatório em projeção horizontal,  $m^2$  (caso exista).

Após a realização do cálculo do volume coletado de água de chuva, foi plotada uma hidrógrafa dos volumes coletados de água de chuva diariamente.

### 5.1.3. Volume demandado

O cálculo da demanda diária total de água no sistema de produção se deu pelo somatório do produto entre o número de plantas e o consumo hídrico por planta em cada fase fenológica de cada cultura (volume consumido), somado com o consumo referente à limpeza, pulverização, descarte e vazamentos, conforme a Equação 3.

$$V_{Di} = \sum_{i=1}^n NP_{FFi} \times CP_{FFi} + L + Pu + D + E_V + V \quad (3)$$

em que:

$n$  é o número de culturas, unidades;

$V_{Di}$  é o volume total de água demandado pelo sistema protegido no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$NP_{FFi}$  é o número de plantas de cada cultura em cada fase fenológica no dia  $i$ , unidades;

$CP_{FFi}$  é o consumo hídrico por planta de cada cultura em cada fase fenológica no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$L$  é o volume de água gasto na limpeza das estruturas do sistema protegido,  $m^3$ ;

$Pu$  é o volume de água gasto na pulverização das plantas contidas no sistema protegido,  $m^3$ ;

$D$  é o volume de água referente ao descarte de água no sistema protegido,  $m^3$ ;

$E_v$  é o volume de água referente à evaporação do reservatório,  $m^3$ ; e

$V$  é o volume correspondente aos vazamentos de água no sistema de produção,  $m^3$ .

De posse dos resultados da Equação 3, foi plotada a hidrógrafa do volume demandado.

#### 5.1.4. Volume de água salobra

Caso o usuário disponha de águas salobras, recomenda-se que seja realizada a mistura dessas águas com as águas pluviais (no reservatório de solução nutritiva). Desse modo, o volume de água salobra necessário diariamente foi calculado pela Equação 4.

$$V_{Asi} = \left( \frac{CE_{limite} - CE_{SN}}{CE_{AS}} \right) \times V_{Di} \quad (4)$$

em que:

$V_{Asi}$  é o volume de água salobra a ser utilizado no dia  $i$ ,  $m^3$ ;

$CE_{limite}$  é a condutividade elétrica limite da água tolerada pelas culturas,  $dS \text{ m}^{-1}$ ;

$CE_{SN}$  é o nível de condutividade elétrica da solução nutritiva,  $dS \text{ m}^{-1}$ ;

$CE_{AS}$  é o nível de condutividade elétrica da água salobra,  $dS \text{ m}^{-1}$ ; e

$V_{Di}$  é o volume total demandado pelo sistema de produção no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ .

O cálculo do volume de água salobra permite plotar a hidrógrafa da água salobra.

### 5.1.5. Volume requerido de água de chuva

O volume requerido de água de chuva diariamente pelo sistema de produção foi determinado pela diferença entre o volume demandado e o volume de água salobra, conforme expresso pela Equação 5.

$$V_{RACi} = V_{Di} - V_{ASi} \quad (5)$$

em que:

$V_{RACi}$  é o volume requerido de água de chuva pelas culturas no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$V_{Di}$  é o volume total de água demandado pelo sistema protegido no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$V_{ASi}$  é o volume de água salobra no dia  $i$ ,  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ .

A Equação 5 também permitiu obter as hidrógrafas do volume requerido de água de chuva pelas culturas.

Também foram realizadas por meio da função Análise de Dados e Regressão do Excel, uma análise de variância e calculados os coeficientes de regressão múltipla tendo como variável dependente a diferença entre o volume coletado de água de chuva e requerido de água de chuva em função da precipitação média anual da localidade e da CE da água salobra.

### 5.1.6. Volume evaporado

Caso o reservatório esteja descoberto, o volume de água do reservatório perdido diariamente por evaporação é dado pela Equação 6.

$$V_{Ei} = A_R \times E_i \quad (6)$$

em que:

$V_{Ei}$  é o volume evaporado do reservatório no dia  $i$ ;  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ;

$A_R$  é a área do reservatório descoberto,  $m^2$ ; e

$E_i$  é a evaporação do dia  $i$ ,  $mm \text{ dia}^{-1}$ .

Após a obtenção do volume evaporado e das hidrógrafas do volume coletado de água de chuva, do volume demandado, do volume de água salobra, do volume

requerido de água de chuva e do volume armazenado foram calculados os volumes de reservatório.

### 5.1.7. Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento do reservatório, tanto de regime anual quanto plurianual, segue o método das diferenças máximas acumuladas, metodologia proposta por Barbosa Júnior (2005), a qual diz que a vazão regularizada corresponde às vazões que saem do reservatório. O volume do reservatório suficiente para atender às demandas foi dado pela Equação 7.

$$V_R = V_{RACpc} - V_{Ppc} \quad (7)$$

em que:

$V_R$  é o volume do reservatório, m<sup>3</sup>;

$V_{RACpc}$  é o volume requerido de água de chuva pelas culturas durante o período crítico, m<sup>3</sup>; e

$V_{Ppc}$  é o volume coletado de água de chuva durante o período crítico, m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>.

No cálculo do volume do reservatório de regime plurianual, em cada dia 31 de dezembro, o reservatório levará o déficit (ou superávit) para o dia 01 de janeiro. Nesse tipo de dimensionamento, há transferência tanto dos déficits quanto dos superávits para os próximos anos. Desse modo, o maior déficit dentre todos os anos encontrados consiste no volume do reservatório (MANNICH et al., 2011).

Na determinação do volume de um reservatório anual, o volume armazenado no início de cada dia 01 de janeiro é tomado como 0 m<sup>3</sup> e é necessário que para cada ano da série trabalhada seja determinado o máximo déficit acumulado. Como se tratam de eventos anuais independentes, para os resultados anuais obtidos aplica-se uma função de distribuição estatística (PÉRICO, 2014).

De posse dos máximos déficits acumulados anualmente, foi aplicada a distribuição de Gumbel para o cálculo do volume do reservatório associado a um Tempo de Retorno (T). Sabe-se que existem outras distribuições de probabilidade que podem ser consideradas para esse tipo de dimensionamento e a escolha pela

distribuição de Gumbel se deu pelos bons resultados que esse método demonstra para esse tipo de estimativa (COTTA et al., 2016).

O T relaciona o risco e custo da obra. Em projetos de sistemas de conservação de solos e de drenagem agrícola é comum adotar um T entre 5 e 20 anos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012; BACK et al., 2019). Nesse estudo, o T considerado foi igual a 5 anos.

Conforme Kite (1988), a ocorrência do evento por séries finitas é dada pela Equação 8.

$$x = \mu + \frac{\sigma_x}{\sigma_n}(y - y^{N^*}) \quad (8)$$

em que:

x é o volume do reservatório com Tempo de Retorno T, m<sup>3</sup>;

μ é a média dos valores de volume do reservatório, m<sup>3</sup>;

σ<sub>x</sub> é o desvio-padrão dos valores de volume do reservatório, m<sup>3</sup>;

σ<sub>n</sub> é o desvio-padrão da variável y, m<sup>3</sup>;

y é a variável reduzida, adimensional; e

y<sup>N\*</sup> é a média da variável reduzida para "N" valores de volume do reservatório.

A variável y é dada pela Equação 9 (KITE, 1988).

$$Y = -\ln [-\ln(1 - \frac{1}{T})] \quad (9)$$

em que:

T é o Tempo de Retorno, anos.

No que se refere ao Tempo de Retorno, também foi calculado o fator de frequência associado a ele, segundo a Equação 10 (KITE, 1988).

$$K = \frac{y - y^{N^*}}{\sigma_n} \quad (10)$$

em que:

K é o fator de frequência, adimensional;

y é variável reduzida dada pela Equação 9, adimensional;

$\sigma_n$  é o desvio-padrão da variável  $y$ ,  $m^3$ ; e

$y^N$  é a média da variável reduzida para “N” valores de volume do reservatório.

### 5.1.8. Operação dos reservatórios

Existem diferentes regras de operação de reservatórios, mas todas indicam o volume de reservação que se pretende atingir em determinado período de tempo, visando atender às demandas do sistema (BRAVO et al., 2006; MURÇA et al., 2014). Assim, em uma condição em que o volume coletado de água de chuva atende ao valor requerido de água de chuva, pode-se:

- iniciar o reservatório no seu volume máximo e repor com o volume máximo quando o reservatório esvazia (Condição 1.1).

E em uma condição em que a precipitação não atende às demandas, pode-se:

- iniciar o reservatório no seu volume máximo e repor com o volume máximo quando o reservatório esvazia (Condição 2.1); ou
- iniciar o reservatório com a diferença média anual entre precipitação e demanda e repor com essa diferença (Condição 2.2).

### 5.1.9. Sensibilidade das variáveis do modelo

Conforme a metodologia proposta por Nearing et al. (1990), determinou-se a sensibilidade das principais variáveis de entrada consideradas pelo modelo, a qual se baseia na Equação 11.

$$S_M = \frac{\frac{V_{R1} - V_{R2}}{V_{R12}}}{\frac{I_1 - I_2}{I_{12}}} \quad (11)$$

em que:

$S_M$  é a sensibilidade do modelo a uma dada variável de entrada;

$V_{R1}$  é o volume do reservatório, obtido pelo modelo para o menor valor de entrada;

$V_{R2}$  é o volume do reservatório, obtido pelo modelo para o maior valor de entrada;

$V_{R12}$  é a média do volume do reservatório obtido com os valores de entrada;

$I_1$  é o menor valor de entrada da variável em análise;

$I_2$  é o maior valor de entrada da variável em análise; e

$I_{12}$  é a média dos valores de entrada da variável em análise.

O valor de  $S_M$  possibilita a determinação da sensibilidade do modelo a diferentes magnitudes dos parâmetros de entrada. Quanto maior forem os índices obtidos, mais sensível é o modelo à variável, enquanto os valores próximos a zero indicam que o modelo não apresenta sensibilidade à variável. O sinal do índice de sensibilidade indica a relação entre o valor de entrada e o resultado. Caso o valor seja negativo, a variável de entrada e o resultado são inversamente proporcionais. Valores positivos indicam que o valor de entrada e o resultado são diretamente proporcionais, ou seja, o aumento do valor de entrada provoca um aumento no resultado (NEARING et al., 1990; SILVA, 2011).

## **5.2. Cenários de aplicação**

Visando aplicar o algoritmo desenvolvido, criou-se uma planilha no software Excel do pacote Microsoft Office versão 2016 (Apêndice A e Apêndice B), a qual permite realizar o balanço hídrico com base em dados diários.

Para o correto funcionamento da planilha, a qual se espera transformar em um software, o usuário deve inserir alguns dados de alimentação do sistema, conforme apresentado na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2.** Classificação dos dados de entrada entre preenchimento obrigatório e facultativo pelo usuário do modelo

<b>Dados</b>	<b>Obrigatório</b>	<b>Facultativo</b>
Nome do município		
Precipitação	X	
Área do sistema de produção		X
Área do reservatório como captação		X
Área extra	X	
Eficiência do sistema de captação	X	
Número de plantas	X	
Consumo hídrico por planta		X
Limpeza		X
Pulverização		X
Descarte		X
Vazamentos		X
CE tolerada pelas culturas		X
CE água salobra disponível	X	
Evaporação	X	
Tempo de retorno		X

### 5.2.1. Entrada de dados de precipitação

Após a escolha do local de estudo, existem diferentes formas de inserção das informações referentes às precipitações: utilizando a plataforma Hidroweb da ANA (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>) ou BDMEP do INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>), caso a série seja diária. No entanto, estes podem ser sintéticos e obtidos por meio do software Hydrology do GPRH (<https://sites.google.com/view/gprhidro/software/hydrology>), quando os dados diários não forem encontrados.

Ao inserir a série natural de dados de precipitações, deve-se realizar um pré-tratamento da mesma, que precisa cumprir alguns requisitos: não pode possuir qualquer falha e deve contar com um mínimo de valores diários de 10 anos, que não necessariamente devem seguir a sequência cronológica anual, desde que sejam anos com dados contínuos, sem interrupções, com a representatividade e a extensão

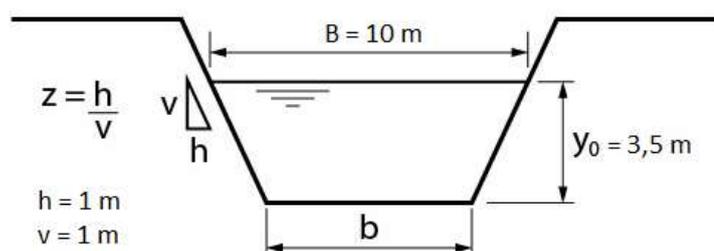
requerida. Séries sintéticas, encontradas no software Hydrology, já passam por esse pré-tratamento automaticamente.

### 5.2.2. Entrada de dados de área de captação

A área de captação referente a 1 módulo de produção de coentro e 1 módulo de alface crespa (a qual será melhor detalhada posteriormente) foi definida como 817,42 m<sup>2</sup>.

A área da cobertura é essencial para a captação de águas pluviais e em um primeiro momento, foi referente à própria área da estrutura de cultivo, mas caso necessário, recomenda-se que se considere uma superfície de captação adicional (área extra). Reforçando que o intuito do estudo não é apontar para a viabilidade econômica.

Uma vez que o usuário queira considerar a captação de água associada à própria estrutura do reservatório, o que é razoável e mais esperado, foi proposta uma metodologia para um reservatório de seção trapezoidal e escavado em solo, fixando-se a profundidade do reservatório igual a 3,5 m, a base maior (B) igual a 10 m e inclinação do talude igual a 1:1, conforme recomendado por Marangon et al. (2011), considerando solo de textura média (Figura 4).



**Figura 4.** Representação sem escala da seção trapezoidal do reservatório escavado.

Tomando-se  $h = 1$  (cateto vertical) e  $v = 1$  (cateto horizontal), o valor de  $z$  foi 1 e a base menor ( $b$ ) igual a 3 m, conforme Equação 12 (PORTO, 2000).

$$b = B - 2 \times z \times y_0 \quad (12)$$

em que:

$b$  é a base menor da seção trapezoidal, m;

$B$  é a base maior da seção trapezoidal, m;

$z$  é a inclinação do talude lateral do reservatório, adimensional; e

$y_0$  é a profundidade do reservatório.

No presente estudo, considerou-se que o reservatório não possui volume morto, ou seja, toda água armazenada é potencialmente disponível.

Realizou-se também o cálculo da área de captação mínima necessária para garantir a autossuficiência hídrica da produção hidropônica a partir da captação pluvial, ou seja, tomando-se como base as situações em que o volume requerido de água de chuva se iguala ao volume coletado de água de chuva. Para isso subtraiu-se desse valor a área do sistema de produção, que considera o número de módulos de produção (Equação 13).

$$A_{\text{mínima}} = \left( V_{\text{RAC}} \times \frac{1.000}{P \times \text{Ef}} \right) - A_{\text{cobertura}} \quad (13)$$

em que:

$A_{\text{mínima}}$  é a área mínima necessária para o atendimento das demandas hídricas, m<sup>2</sup>;

$V_{\text{RAC}}$  é o volume requerido de água de chuva, m<sup>3</sup>;

$\text{Ef}$  é a eficiência do sistema de captação de águas pluviais, adimensional;

$P$  é a precipitação total da localidade, mm; e

$A_{\text{cobertura}}$  é a área de cobertura do próprio reservatório, m<sup>2</sup>.

Também foi calculado o tempo médio de enchimento dos reservatórios, considerando as precipitações das localidades de estudo (Equação 14).

$$\text{TE} = \frac{V_R}{\frac{P}{1.000} \times A_{\text{captação}}} \quad (14)$$

em que:

$\text{TE}$  é o tempo médio de enchimento dos reservatórios, anos;

$V_R$  é o volume do reservatório,  $m^3$ ;

$P$  é a precipitação total da localidade,  $mm$ ;

$A_{\text{Captação}}$  é a área total de captação de águas pluviais,  $m^2$ ,

Ressalta-se que todos os dados considerados no presente estudo são de alteração facultada pelo usuário.

### 5.2.3. Entrada de dados de eficiência do sistema

O coeficiente de escoamento superficial (eficiência ou coeficiente de runoff) representa o quociente entre a água que esco superficialmente e o total da água precipitado (TOMAZ, 2003) e varia de acordo com o material de cobertura da área de captação, e para o plástico varia de 0,9 a 0,95, adotado nesse estudo como 0,95 (Tabela 3).

**Tabela 3.** Coeficientes de runoff médios baseados no material constituinte do telhado de captação de águas pluviais

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de runoff</b>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2003).

### 5.2.4. Entrada de dados de demanda hídrica

O consumo hídrico das culturas varia com as condições micrometeorológicas locais externas ao ambiente e às próprias dimensões ou materiais de cobertura do ambiente protegido, mas isso não foi simulado. Por padrão, o modelo considera a previsão de consumo hídrico encontrada nos estudos de Soares (2007) e Silva (2020) para alface crespa e coentro, respectivamente. Por outro lado, o usuário tem a liberdade de inserir dados de consumo hídrico que julgar mais adequados às suas

condições. Além disso, caso queira trabalhar com outra(s) cultura(s), o usuário deve inserir os dados de consumo hídrico das culturas desejadas.

O modelo pode ser aplicado para quaisquer n culturas hidropônicas. Sabe-se que o consumo hídrico das culturas se altera com o estágio de desenvolvimento e com a variação das condições climáticas, o que implica na variação da vazão de água requerida em função do tempo. Além disso, deve-se levar em conta a densidade de plantio, no que se refere ao número de plantas no ambiente de produção.

Para isso, definiu-se o módulo de produção hidropônica. As simulações foram realizadas considerando a mesma demanda de produção: 1 módulo de coentro e 1 módulo de alface crespa.

A área de captação de 817,42 m<sup>2</sup> (referente à soma das áreas dos módulos de coentro e da alface crespa) foi definida a partir de projetos reais de uma empresa tradicional no ramo da hidroponia no Brasil.

A alface crespa possui 3 fases fenológicas de crescimento. Desse modo, considerou-se que essa cultura permanece durante 10 dias na mesa de germinação, 20 dias nas bancadas de berçário e 21 dias na estrutura de crescimento final, totalizando assim, 51 dias de cultivo.

Assim, para a alface crespa definiu-se um espaço de 2 m x 2 m para o setor de germinação, um setor de 6 m x 13 m destinado ao berçário e um setor de 7 m x 51 m para o crescimento final (Tabela 4).

O setor de germinação da alface crespa foi estipulado com base em placas fenológicas de 30 cm x 46 cm contendo 345 células cada.

**Tabela 4.** Caracterização de 1 módulo para produção de alface crespa hidropônica, em termos de dimensões e área do ambiente protegido

Setor	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Germinação	2	2	4
Berçário	6	13	78
Crescimento final	7	51	357

Ainda para a alface, considerou-se que o sistema possua 1 local destinado à fase de germinação, 4 bancadas de berçário e 1 módulo contendo 4 submódulos para a fase de crescimento final, com 3 bancadas cada.

Simulou-se que durante os 7 primeiros dias de operação do módulo serão semeados 1.725 pés de alface crespa e a partir de oitavo dia de cultivo serão semeados o dobro (3.450 maços), visando atender a 4 colheitas mensais. Após a germinação, o módulo contará com 4 bancadas de berçário, cada uma com 1.309 plantas e 4 submódulos de crescimento final, cada um contendo 1.128 plantas, distribuídas em 3 bancadas com 376 pés em cada (Tabela 5), considerando também que haverá pequenas perdas entre as fases (24,11% entre os setores de germinação e berçário e de 13,83% entre o berçário e o crescimento final).

**Tabela 5.** Número de plantas de alface crespa presentes em cada bancada por setor de produção

<b>Setor</b>	<b>Número de plantas</b>	
Germinação	Germinação 1	1.725
	Germinação 2	1.725
Berçário	Berçário 1	1.309
	Berçário 2	1.309
	Berçário 3	1.309
	Berçário 4	1.309
Crescimento final (3 bancadas por submódulo)	Submódulo 1	1.128
	Submódulo 2	1.128
	Submódulo 3	1.128
	Submódulo 4	1.128

No que se refere ao coentro, considerou-se que este permanece durante 10 dias na mesa de germinação e 25 dias nas bancadas de crescimento final, totalizando assim, 35 dias de cultivo. Portanto, haverá apenas 1 setor para germinação e 1 módulo contendo 4 submódulos para o crescimento final, com 3 bancadas cada. Logo, estabeleceu-se um setor de 4,2 m x 5,1 m para a fase de germinação e um setor de crescimento final de 7 m x 51 m (Tabela 6).

Para a germinação do coentro, simulou-se a obtenção de mudas em copos plásticos descartáveis (80 mL), de 5 cm de diâmetro, contendo 15 sementes por copo.

**Tabela 6.** Caracterização de 1 módulo para produção de coentro, em termos de dimensões e área do ambiente protegido

<b>Setor</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Germinação	4,2	5,1	21,42
Crescimento final	7	51	357

Por meio das dimensões já pré-definidas para o sistema de produção, foi estipulado o número de plantas de coentro e alface, na mesa de germinação, em cada uma das bancadas dos 4 berçários considerados (apenas para a alface crespa) e em cada um dos 4 submódulos de crescimento final.

De maneira análoga à alface crespa, para o coentro também considerou-se que durante os 7 primeiros dias de operação do módulo serão semeados 2.268 maços de coentro e a partir de oitavo dia de cultivo foi semeado o dobro (4.536 maços), visando atender a 4 entregas mensais, ou seja, as colheitas serão semanais e após a germinação, o ambiente de produção contará com 4 submódulos de crescimento final, cada um contendo 2.160 plantas, distribuídas em 3 bancadas, com 720 maços em cada (Tabela 7), considerando também que haverá pequenas perdas entre as fases (4,76%).

**Tabela 7.** Número de maços de coentro presentes em cada bancada por setor de produção

<b>Setor</b>	<b>Número de plantas</b>	
Germinação	Germinação 1	2.268
	Germinação 2	2.268
Crescimento final (3 bancadas por submódulo)	Submódulo 1	2.160
	Submódulo 2	2.160
	Submódulo 3	2.160
	Submódulo 4	2.160

Para ambas as culturas se considerou que nos primeiros dias haverá plantas apenas na fase de germinação. Posteriormente, as primeiras plantas começarão a ser transplantadas para o berçário (somente no caso da alface crespa) e depois para os submódulos de crescimento final, levando em consideração todo o calendário de cultivo.

Como medida profilática, ao fim de cada ciclo foi realizada a limpeza das bancadas e demais estruturas de hidroponia. Quando o usuário indicar o uso de mistura com águas salobras, deve-se usar a água de menor qualidade na limpeza. Nesse sentido, considerou-se os valores de vazão referentes a uma lavadora comercial de alta pressão. A limpeza da mesa de germinação demorará apenas algumas horas, logo, durante todos os dias de operação do sistema de produção, haverá a mesma quantidade de plantas sendo germinadas. A limpeza das bancadas da fase de berçário demorará 1 dia e durante esse dia não haverá plantas consumindo água nas bancadas. Para as estruturas de crescimento final serão considerados 2 dias destinados à lavagem, quando não haverá contabilização do consumo hídrico pelas plantas. Mas, tais valores podem ser alterados pelo usuário, caso necessário.

O valor referente a vazamentos foi fixado como 5%. Considerou-se que a pulverização seja realizada a cada 7 dias e levou-se em conta os dados reais de um pulverizador costal manual de 20 litros.

O volume do reservatório de solução nutritiva deve obedecer uma proporção mínima entre 1 e 2 L de solução nutritiva por planta de alface crespa (FURLANI et al., 1999) e 1 L de solução nutritiva por maço de coentro (NGUYEN et al., 2019). Nesse estudo optou-se por 1,5 L por planta de alface crespa e 1 L por maço de coentro, destinados ao crescimento final de cada cultura.

No que se refere ao descarte da solução nutritiva, produtores mais experientes podem mantê-la por vários ciclos repondo apenas os nutrientes, sem descartar todo o volume da solução ao final do ciclo. Para um produtor iniciante e sujeito a maiores riscos (devido ao uso de águas salobras, riscos fitossanitários, entre outros), é recomendado que seja feito o descarte total da solução ao final de cada colheita. Nesse estudo, considerou-se que o produtor tenha conhecimento intermediário e o descarte da solução nutritiva seja realizado a cada 3 ciclos de produção (BACKES et al., 2003).

Tais valores de demanda são de alteração facultada ao usuário.

Por padrão, considerou-se que haverá 15 colheitas anuais de coentro e 13 colheitas anuais de alface crespa e que a produtividade relativa é igual a 100%.

#### **5.2.5. Entrada de dados de água salobra**

Para esse estudo, considerou-se que o nível de CE tolerado pela cultura da alface crespa foi constante e igual a  $4,03 \text{ dS m}^{-1}$  (SOARES, 2007) e como a solução nutritiva possui  $2 \text{ dS m}^{-1}$  (FURLANI, 1999), a mistura das águas deve atingir uma CE máxima de  $2,03 \text{ dS m}^{-1}$ .

Para o coentro, considerou-se que o nível de CE tolerado pela cultura também foi constante e igual a  $4,41 \text{ dS m}^{-1}$  (SILVA et al, 2022), visto que a solução nutritiva possui  $2 \text{ dS m}^{-1}$  (FURLANI, 1999), a mistura das águas deve atingir uma CE máxima de  $2,41 \text{ dS m}^{-1}$ .

Contemplou-se apenas o efeito osmótico da salinidade, não sendo incorporados os efeitos específicos da salinidade. Ressalta-se que para águas de mesma condutividade elétrica (CE), a resposta da planta pode ser variável a depender das espécies químicas dos íons componentes.

Para as três localidades estudadas, variando-se o nível de CE da água salobra entre 0 a  $10 \text{ dS m}^{-1}$ , simulou-se os volumes de reservatório de regime anual e pluriannual necessários para o atendimento do sistema.

#### **5.2.6. Entrada de dados de evaporação**

Nesse estudo, é facultativa a consideração ou não da evaporação do reservatório. O controle da evaporação implica em custos que devem ser considerados pelo usuário em sua tomada de decisão, entretanto essa análise econômica não está sendo considerada nesse estudo.

Com relação à evaporação, os dados inseridos não podem possuir qualquer falha e deve contar com um mínimo de valores diários de 10 anos, que não necessariamente devem seguir a sequência cronológica anual, desde que sejam anos com dados contínuos, sem interrupções, com a representatividade e a extensão

requerida. Os dados diários medidos pelo evaporímetro de Piché dos municípios de Senhor do Bonfim e Cruz das Almas foram facilmente encontrados na plataforma BDMEP do INMET, estações 83088 e 83088, respectivamente. Como Juazeiro não possui tais dados disponíveis, foram utilizados dados de Petrolina (PE), cidade próxima em localização, estação 82983, como forma de alimentar a planilha de cálculo.

### **5.3. Localidades de aplicação**

O modelo desenvolvido foi aplicado às condições de precipitações de três municípios baianos, conforme destacado na sequência.

#### **5.3.1. Juazeiro – BA**

O município de Juazeiro, cuja sede localiza-se nas coordenadas geográficas 9° 24' 50" S e 40° 30' 10" W (IBGE, 2011), encontra-se no Extremo Norte do Estado da Bahia, às margens do Rio São Francisco, com uma população estimada de 219.544 habitantes e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual a 0,677, classificado como médio (IBGE, 2021).

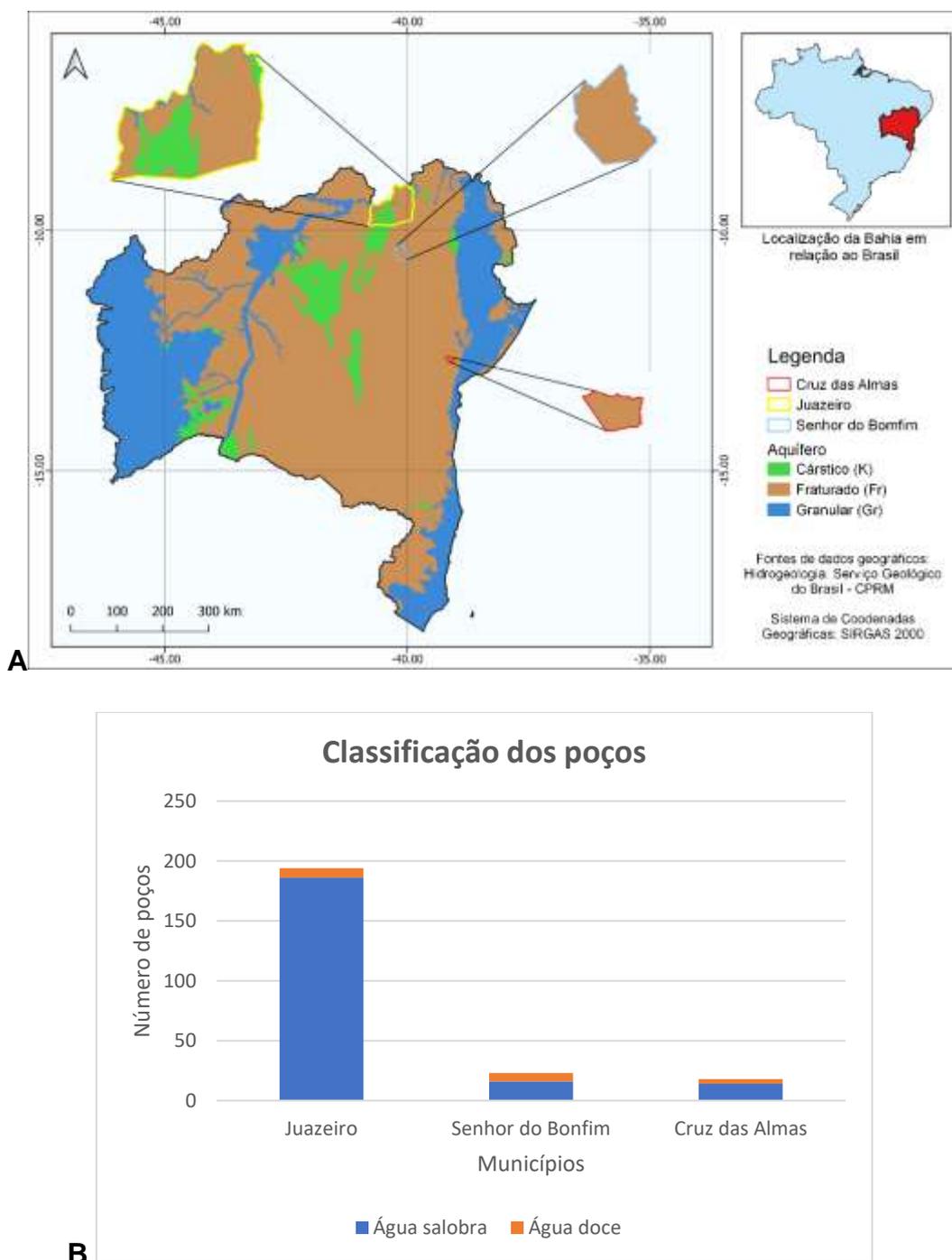
Possui clima do tipo BswH, conforme a classificação de Köepen Geiger. Essa nomenclatura corresponde a um clima semiárido, com precipitações anuais médias entre 380 e 760 mm, estação chuvosa limitada e temperaturas elevadas. As precipitações irregulares limitam a agricultura de sequeiro na localidade que é bem seca e cuja estação chuvosa geralmente se concentra entre quatro meses do ano (TEIXEIRA, 2010).

Além da irregularidade das precipitações, o município apresenta elevadas temperaturas, baixa umidade do ar e elevadas taxas de evapotranspiração. Entretanto, por meio de técnicas de irrigação, o Vale do São Francisco vem se destacando na prática da agricultura (VIEIRA et al., 2010; SANTIAGO et al., 2017).

Os aquíferos presentes no município são do tipo fraturados ou cársticos (Figura 5A).

Após realizar um levantamento dos poços do município de Juazeiro, por meio da plataforma SIAGAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM,

2021) percebeu-se que, conforme os parâmetros da Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), dos 194 poços com salinidade cadastrada, 186 (95,88%) possuem águas classificadas como salobras e apenas 8 (4,12%) deles possuem água doce e nenhum é salino (Anexo A1 e Figura 5 B).



**Figura 5.** Mapa da hidrogeologia do Estado da Bahia indicando os municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas – BA (A) e classificação das

águas dos poços dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA, conforme resolução do CONAMA nº 357 (B).

### **5.3.2. Senhor do Bonfim - BA**

Senhor do Bonfim situa-se no Centro Norte da Bahia, distante 376 km da capital Salvador, possui população estimada de 79.813 habitantes e IDH igual 0,666, classificado como médio (IBGE, 2021). A sede do município se localiza nas coordenadas 10° 28' 00"S e 40° 11' 00"W e pela classificação climática de Köppen Geiger, o município pode ser considerado como Aw, clima tropical quente e com irregularidade das precipitações pluviométricas que não ultrapassam os 800mm anuais (SILVA, 2015; REIS; SOUZA, 2021).

Em âmbito hidrogeológico (Figura 5A), percebe-se que o tipo de aquífero presente no município é fraturado. No que se refere às águas subterrâneas, Senhor do Bonfim possui 23 poços com salinidade cadastrada na plataforma SIAGAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2021), dos quais apenas 7 (30,43%) possuem água doce e o restante (69,57%) são de águas salobras (Anexo A2 e Figura 5B).

### **5.3.3. Cruz das Almas – BA**

Visando diversificar as aplicações do modelo, o terceiro município escolhido para aplicação da metodologia criada foi Cruz das Almas, o qual se encontra situado no Recôncavo Baiano, a cerca de 146 km da capital Salvador. Sua sede localiza-se nas coordenadas geográficas 12° 48' 38" S e 39° 06' 26"W (CUNHA, 2018). E a população estimada atualmente é de 63.923 habitantes e IDH médio igual 0,699 (IBGE, 2021).

O município possui um clima tropical quente e úmido, do tipo Aw a Am, conforme a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 24,5 °C e precipitação total anual média de 1.138 mm, variando de 900 a 1.300 mm (GUIMARÃES e LOPES, 2015). Conta com duas estações distintas (uma mais seca e outra chuvosa). E o maior índice de chuvas ocorre entre março e junho (ALEXANDRINO e CAIAFA, 2018).

Cruz das Almas possui geologia constituída por rochas metamórficas e depósitos de sedimentos (CBPM, 1997; RIBEIRO, 1998; RODRIGUES et al., 2009). O relevo é constituído por planalto ou tabuleiro (BRASIL, 1981; RODRIGUES et al., 2009). Os aquíferos também são todos do tipo fraturado (Figura 5A).

Embora Cruz das Almas seja um município relativamente chuvoso, que não faz parte do Semiárido, dos 18 poços com nível de salinidade cadastrada na plataforma SIAGAS da CPRM, 14 (77,78%) possuem águas classificadas como salobras e apenas 4 (22,22%) são classificadas como águas doces (Anexo A3 e Figura 5B).

Após coletar informações gerais referentes ao município de Cruz das Almas, buscou-se na plataforma BDMEP do INMET, uma série dos últimos 10 anos de precipitações sem falhas para o município, estação 8322. E na plataforma Hidroweb da ANA para Juazeiro, estação 940024 e para Senhor do Bonfim estação 1040027.

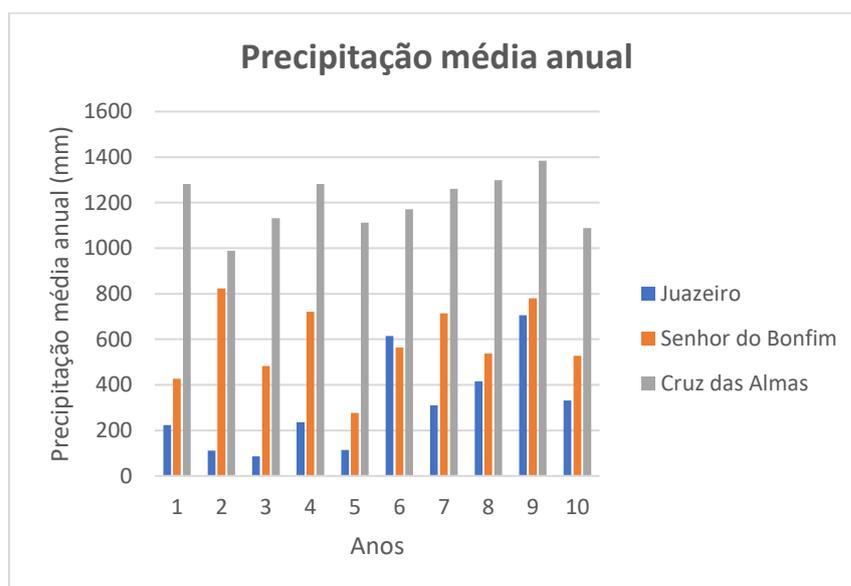
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Análise do modelo

O presente modelo apresenta mudanças nos resultados em função das principais variáveis de entrada empregadas, quais sejam: a precipitação pluvial, a área de captação, CE da água salobra, evaporação, alteração do número de ciclos de cultivo por ano, redução da produtividade relativa e frequência de descartes da solução nutritiva.

#### 6.1.1. Precipitação

Na Figura 6 são apresentadas as precipitações anuais dos três municípios de estudo, durante o período de 10 anos considerado.



**Figura 6.** Representação da precipitação média anual para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA.

Percebeu-se que para o município de Juazeiro, a precipitação média, calculada por meio da série de 10 anos considerada, foi de apenas 314,84 mm anuais, com variações entre 86,1 e 705 mm anuais e que em apenas 4 anos as chuvas foram superiores à média (Figura 6).

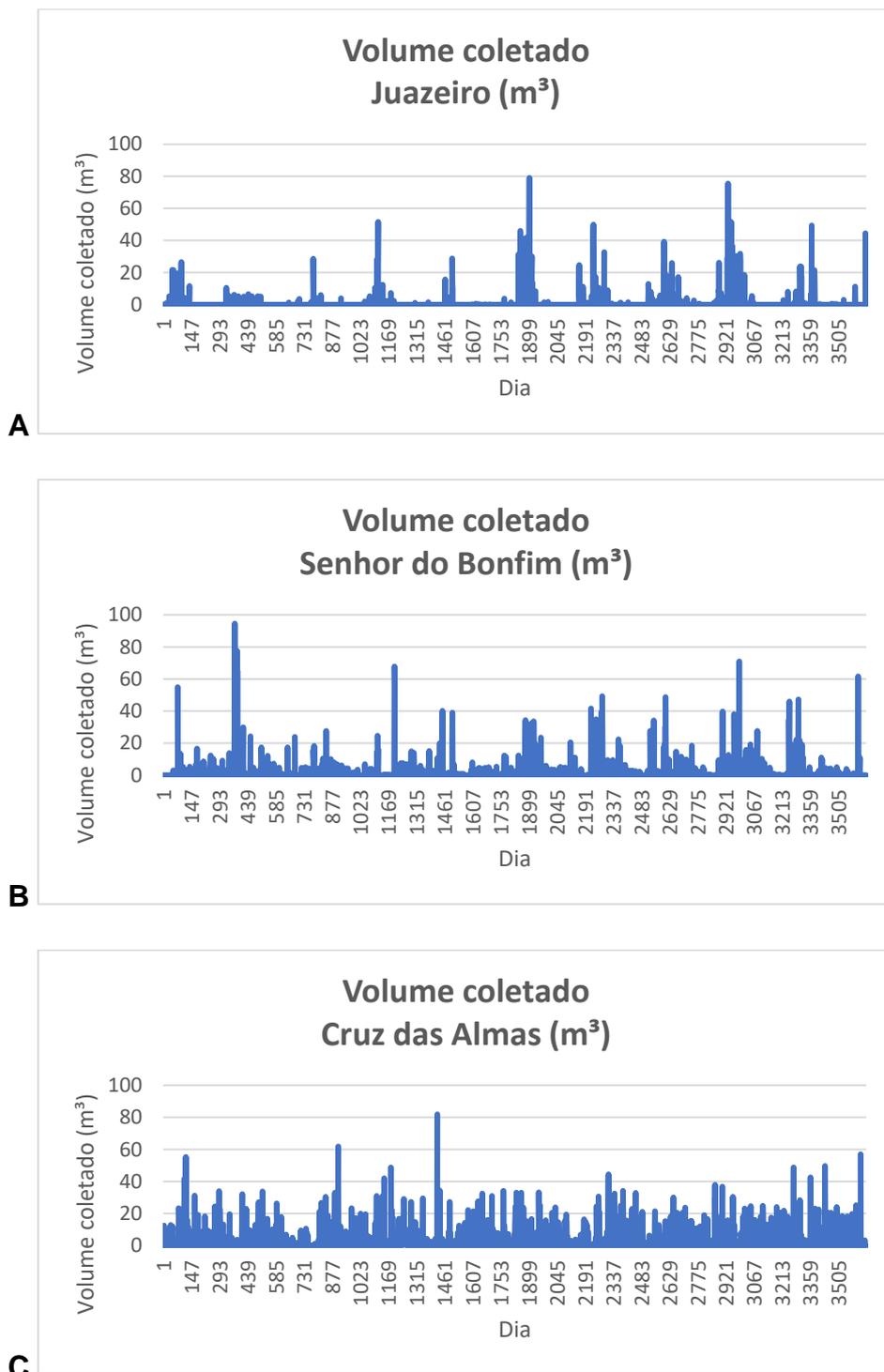
Em Senhor do Bonfim, a precipitação média foi de 585,38 mm anuais. Dos 10 anos considerados no estudo, percebe-se que no município, cuja precipitação varia entre 277,3 e 822,9 mm, apenas 4 anos possuem precipitações anuais superiores ao valor médio (Figura 6).

Para a cidade mais chuvosa dentre as estudadas, Cruz das Almas, cuja precipitação média anual foi igual a 1.199,93 mm, em 5 anos foram superiores à precipitação média, tendo variação entre 989,5 e 1.383,9 mm (Figura 6).

Além da diferença do total coletado de água de chuva anualmente, algo que também pode contribuir para a diferença entre o volume de reservatórios é a distribuição temporal das precipitações que são mais regulares no tempo para os municípios de Senhor do Bonfim e Cruz das Almas (cidade mais chuvosa dentre as três), enquanto em Juazeiro, há picos isolados de precipitações em algumas datas e na maioria dos dias não há chuva alguma (Figura 7). Em Senhor do Bonfim, tal distribuição tem relação com as chuvas orográficas que são características da região, que possui um relevo irregular cercado por montanhas e serras.

É fundamental estudar de forma detalhada o regime de precipitações das estações utilizadas, reconhecendo que o período seco é o principal parâmetro hidrológico que afeta o comportamento de um sistema de captação de água da chuva (PALLA et al., 2011), desse modo foi realizada uma análise dos períodos sem chuvas das localidades.

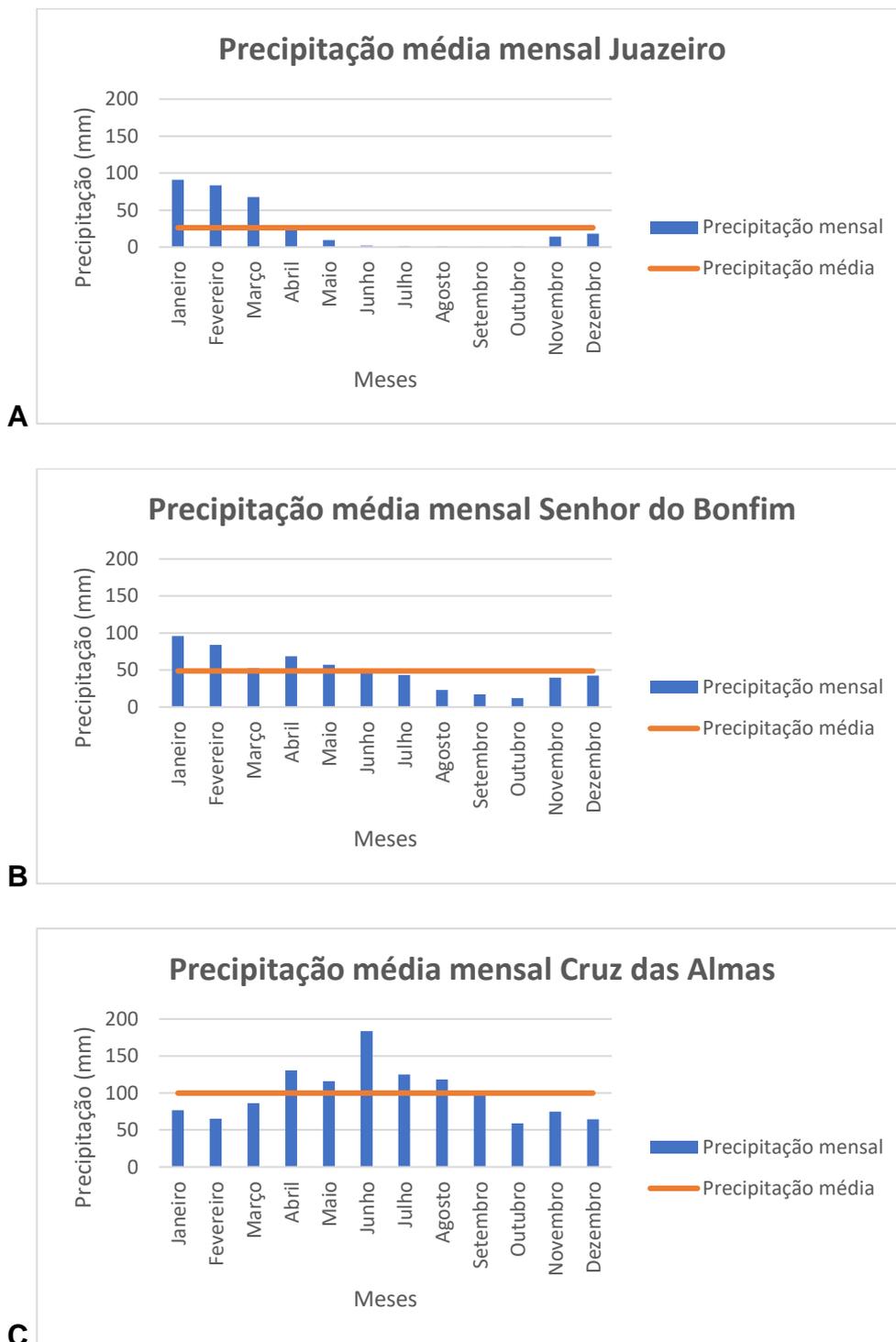
Dos 3.650 dias considerados (10 anos de dados diários), 91,99% dos dias em Juazeiro possuem volume coletado de água de chuva nulo e em Senhor do Bonfim 72,47% são iguais a zero. Embora Juazeiro possua alguns picos isolados de precipitação até maiores do que em Cruz das Almas, o volume coletado de água de chuva total em Cruz das Almas é bem superior ao do primeiro município, sendo que Cruz das Almas possui apenas 1.766 dias (48,38%) com precipitação igual a 0 mm (Figura 7).



**Figura 7.** Hidrógrafas do volume coletado de água de chuva para as cidades de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C), respectivamente, considerando área de captação igual a 817,42 m<sup>2</sup>.

Obs.: As hidrógrafas levam em consideração o número de dias considerados no estudo e variam de 1 a 3650.

Observou-se um comportamento diferente associado às precipitações mensais de cada localidade (Figura 8).

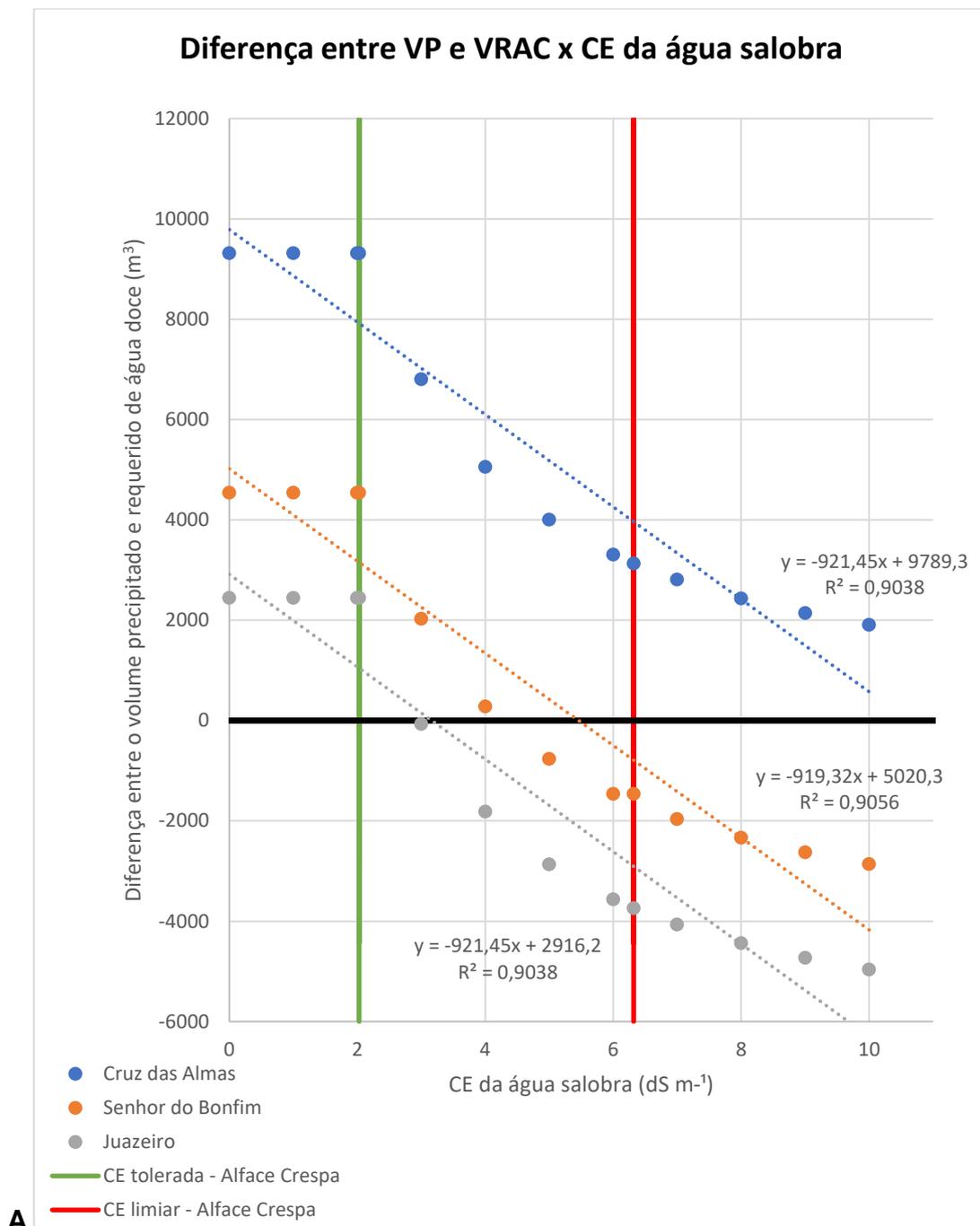


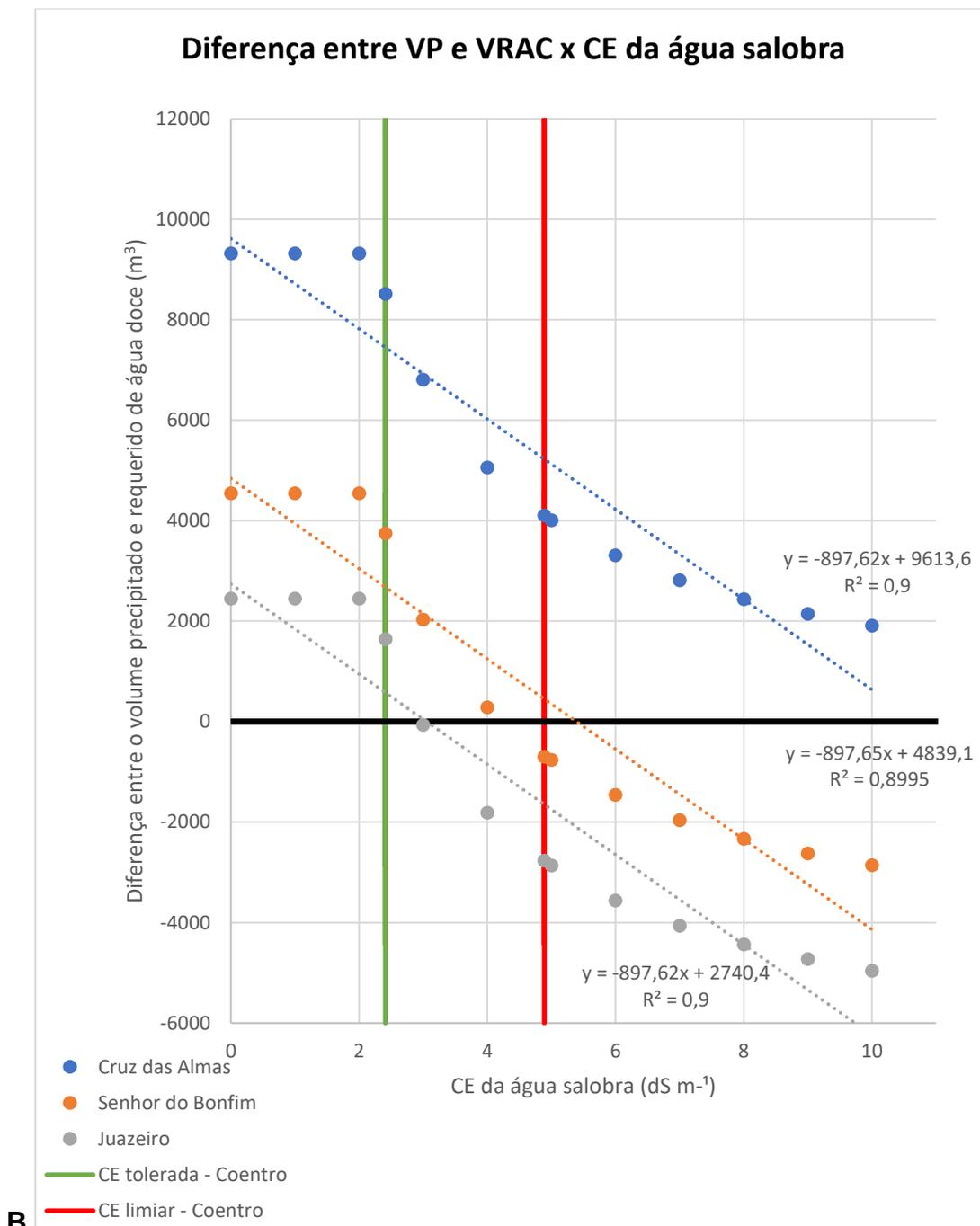
**Figura 8.** Representação da precipitação média mensal para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C).

Em Senhor do Bonfim, percebeu-se que este município apresentou os meses de agosto, setembro e outubro como menos chuvosos. Cruz das Almas, por sua vez, possui distribuição praticamente simétrica e o mês de junho é o que mais chove, sem apresentar definição clara de períodos secos e chuvosos ao longo dos meses. Em Juazeiro, o comportamento pluvial apresenta uma distribuição caracterizada por elevada amplitude de variação dos valores de precipitação média mensal ao longo do ano, com uma variação extrema no regime pluvial, sendo os meses mais chuvosos no verão e os secos no inverno, tendo praticamente toda a precipitação concentrada nos três meses iniciais do ano.

Tomando-se os valores de precipitação de cada localidade estudada, a análise de suprimento total das demandas do sistema de produção foi realizada observando se o volume coletado de água de chuva acumulado durante o período considerado era superior ao volume requerido de água de chuva total, ou seja,  $V_{Ptotal} > V_{RACtotal}$ , a qual está representada na Figura 9A para a cultura da alface crespa e Figura 9B para o coentro.

Para águas salobras com nível de CE entre 0 e 2,03 dS m<sup>-1</sup>, apenas a água salobra pode ser utilizada para suprimento das demandas hídricas da cultura, portanto não há necessidade de volume utilização de água de chuva ( $V_{RACtotal} = 0$ ).





**Figura 9.** Relação entre a condutividade elétrica (CE) da água salobra e a diferença entre o volume coletado de água de chuva e o requerido de água de chuva para a alface crespa (A) e para o coentro (B).

Nessa simulação, considerou-se que o reservatório está completamente coberto (sem perdas por evaporação) e que a área de captação de águas pluviais seja igual à própria área do sistema de produção, sem áreas extras. A seguir está representada a análise estatística (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise de variância e coeficientes de regressão múltipla tendo como variável dependente a diferença entre o volume coletado de água de chuva e requerido de água de chuva em função da precipitação média anual da localidade e da CE da água salobra

<b>Estatística de regressão</b>	
R múltiplo	0,975973
R-Quadrado	0,952522
R-quadrado ajustado	0,950261
Erro padrão	912,6018
Observações	45

<b>ANOVA</b>					
	<b>GI</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	2	7,02E+08	3,51E+08	421,3133	1,61E-28
Resíduo	42	34979366	832842		
Total	44	7,37E+08			

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>Stat t</b>	<b>valor-P</b>	<b>95% inferiores</b>	<b>95% superiores</b>	<b>Inferior 95.0%</b>	<b>Superior 95.0%</b>
Interseção	560,6407	365,3965	1,534335	0,132447	-176,759	1298,041	-176,759	1298,041
CE	-933,877	46,93507	-19,8972	5,35E-23	-1028,6	-839,158	-1028,6	-839,158
P	7,764555	0,367363	21,13594	5,3E-24	7,023187	8,505923	7,023187	8,505923

GL = grau de liberdade. SQ = soma dos quadrados. MQ = média dos quadrados. F= teste F.

A análise da Tabela 8 levou à obtenção da Equação 15.

$$(V_{Ptotal} - V_{RACtotal}) = 560,60 - 933,88 \times CE_{AS} + 7,76 \times P_A \quad (15)$$

em que:

$V_{Ptotal}$  é o volume total coletado de água de chuva,  $m^3$ ;

$V_{RACtotal}$  é o volume total requerido de água de chuva,  $m^3$ ;

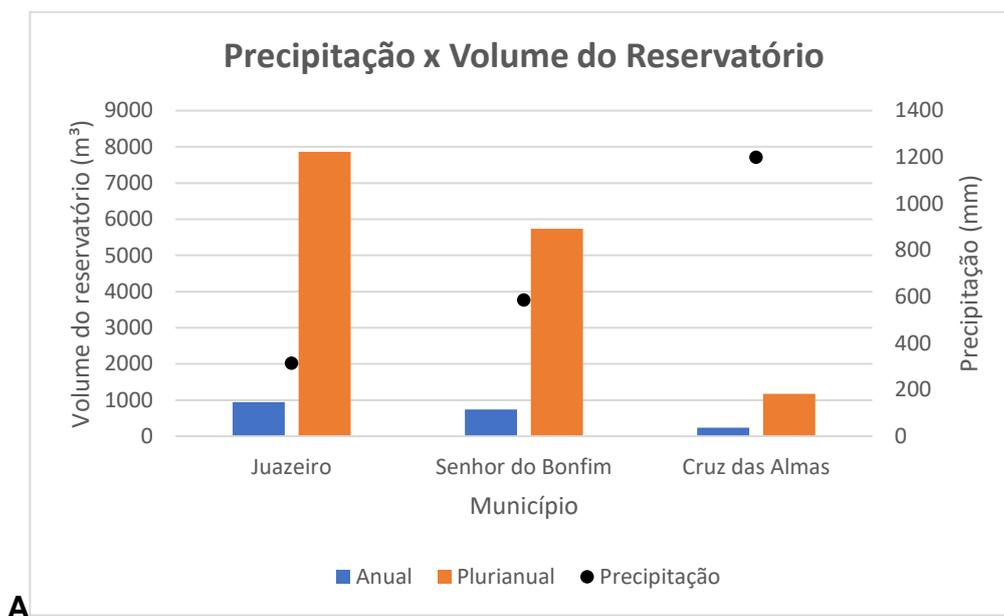
$CE_{AS}$  é o nível de condutividade elétrica da água salobra,  $dS\ m^{-1}$ ; e

$P_A$  é a precipitação pluvial anual,  $mm$ .

Desse modo, percebeu-se que existe relação entre as variáveis precipitação e nível de CE de água salobra. Considerando a precipitação dos municípios estudados, o nível de CE máxima que a água salobra deve possuir para que a diluição atinja o suprimento pleno das demandas do sistema de produção em Juazeiro é de  $3,22\ dS\ m^{-1}$ , em Senhor do Bonfim de  $5,46\ dS\ m^{-1}$  e em Cruz das Almas de  $10,57\ dS\ m^{-1}$ .

No que se refere às precipitações, também foram realizadas simulações de volume de reservatório para os municípios baianos de Juazeiro, Senhor do Bonfim e Cruz das Almas, desconsiderando a mistura com águas salobras (Figura 10). Observou-se que a diminuição dos índices de precipitação implicou em um incremento no volume do reservatório. Esse incremento ocorreu porque a oferta de volume coletado de água de chuva diminuiu, assim o volume a ser reservado (tanto anual quanto plurianual) aumentou, o que foi ainda mais evidente para o município de Juazeiro.

Constatou-se que para o município de Juazeiro, um reservatório de regime plurianual de  $7.866,50\ m^3$  ainda não seria capaz de suprir a todas as demandas do sistema de produção, enquanto para o regime anual um reservatório de  $940,73\ m^3$  também não seria capaz de suprir plenamente ( $V_{Ptotal} < V_{RACtotal}$ ) (Figura 10).



**Figura 10.** Volume do reservatório anual e plurianual necessário considerando suprimento apenas com água de chuva.

Para Senhor do Bonfim, um reservatório de regime plurianual de 5.731,18 m<sup>3</sup> de volume ou um anual de 740,54 m<sup>3</sup> (Figura 10) não seriam capazes de suprir plenamente às demandas do sistema de produção ( $V_{Ptotal} < V_{RACtotal}$ ).

Para Cruz das Almas, um reservatório de regime anual de 233,35 m<sup>3</sup> ou um plurianual igual a 1.175,67 m<sup>3</sup>, não seriam capazes de suprir plenamente às demandas da produção (Figura 10) ( $V_{Ptotal} < V_{RACtotal}$ ).

Portanto, sem a mistura com águas de menor qualidade, nem mesmo na cidade mais chuvosa dentre as três consideradas, Cruz das Almas, houve o suprimento pleno das demandas hídricas por meio do uso de águas pluviais.

Percebeu-se que o volume do reservatório é inversamente proporcional ao aumento da precipitação e que o volume de reservatório estimado pelo regime plurianual chega a ser 88,04% superior ao anual. A variação do volume do reservatório entre as localidades consideradas também sofreu influência da variabilidade da precipitação média anual e da sazonalidade de precipitações ao longo do ano.

Confirmou-se que quanto mais chuvoso é o município, maior foi o volume coletado de água de chuva, e ao se considerar a mesma área de captação, menor foi a necessidade de reservar água, enquanto para municípios mais secos, maior deverá ser o volume do reservatório.

Conforme as condições de contorno, considerou-se uma demanda anual média total do sistema de produção igual a 1.027,69 m<sup>3</sup>, dos quais em 9 anos são constantes (1.037,24 m<sup>3</sup>) e apenas no primeiro ano é inferior e igual a 941,81 m<sup>3</sup>, pois devido a rotatividade do sistema de produção a expectativa é de que apenas no início do primeiro ano haja um menor consumo hídrico.

Estudos similares a esse vêm sendo realizados em diversos países (WOLTERS DORF et al., 2015; BOYACI & KARTAL, 2019; SINGH et al., 2019; LONDRA et al., 2021; LONDRA et al., 2022).

Em um estudo realizado por Woltersdorf et al. (2015), considerou-se que para uma área de captação de 100 m<sup>2</sup>, um reservatório pluvial de 30 m<sup>3</sup> poderia suprir um total de 75% das demandas de pequenos produtores de hortaliças cultivadas em solo na Namíbia.

Boyaci & Kartal (2019), em um estudo realizado em um município da Turquia com precipitação média anual de 388,3 mm, verificaram que 61,49% e 47,74% das necessidades de irrigação do tomate em sistemas de produção aquecidos e não aquecidos, respectivamente, poderiam ser atendidas por reservatórios com capacidades de 0,21 e 0,30 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> de captação, respectivamente.

Singh et al. (2019) identificaram que 60% das necessidades de pimentão cultivado em solo podem ser atendidas por um reservatório de 125 m<sup>3</sup> de volume em uma área de 560 m<sup>2</sup> área de sistema de produção no distrito de Ludhiana na Índia, cuja precipitação média anual é de 781,5 mm.

Londra et al. (2021) dimensionaram reservatórios de água da chuva para atendimento das necessidades hidropônicas de begônia e tomate em dois municípios da Grécia com precipitações médias anuais de 419 mm e 448 mm, respectivamente. Eles descobriram que 65 a 72% das necessidades de hídricas da begônia durante o ano poderiam ser atendidas por reservatórios cobertos de 100 a 200 m<sup>3</sup> com 1.000 m<sup>2</sup> de área do sistema de produção. E que de 90 a 100% das necessidades do tomate durante um período de cultivo de 8 meses poderiam ser atendidas por reservatórios

cobertos de 100 a 290 m<sup>3</sup> com 1.000 m<sup>2</sup> área de ambiente protegido, respectivamente, enquanto o valor máximo das necessidades de água que poderiam ser atendidas por reservatórios descobertos foi de 91% com uma capacidade crítica de reservatório de 177 m<sup>3</sup> por 1.000 m<sup>2</sup> de área de sistema protegido.

Em um estudo similar realizado na Grécia por Londra et al. (2022), considerando um reservatório coberto (sem perdas por evaporação) para atendimento de demandas hídricas do tomate cultivado em hidroponia, um volume de 200 m<sup>3</sup> foi necessário para o suprimento total das demandas da cultura, considerando área do sistema de produção igual a 1.000 m<sup>2</sup> com precipitação média anual de 974,24 mm. No presente estudo, apenas Cruz das Almas possui precipitação superior a esse valor.

Nas situações em que o volume coletado de água de chuva total é inferior ao total do volume requerido de água de chuva, existem basicamente três maneiras de se minimizar esse problema, muito comum em regiões semiáridas:

- diminuição do número de ciclos de produção das culturas durante o período considerado ou redução do número de plantas cultivadas no sistema, o que pode ser feito facilmente, embora implique em impactos financeiros;
- disposição de maior aporte do volume de água de chuva (por exemplo, por meio da contribuição de uma área extra de captação). A adequação da área extra acarreta aumento no custo do projeto, porém implica diretamente no volume do reservatório. Sabe-se que o reservatório é, na grande maioria dos casos, o item mais caro do sistema, correspondendo a cerca de 80% do projeto de captação de água da chuva, como já demonstrado em vários estudos (AMORIM e PEREIRA, 2008), o que reforça a importância de áreas maiores de captação de águas pluviais; e
- aceitar a diminuição da produtividade relativa por meio da diluição de maneira que a CE limiar restrinja a produção a uma certa porcentagem do total, o que também interfere diretamente na rentabilidade do sistema.

### **6.1.2. Área de captação**

No que se refere à área de captação de águas pluviais visando o suprimento hídrico do sistema de produção, foram consideradas três situações distintas (Tabela 9):

- na primeira, a área de captação se referiu à própria área do sistema de produção (817,42 m<sup>2</sup>);
- na segunda, calculou-se o valor de área mínima necessária para manter o autossuficiência hídrica do sistema; e
- na última, considerou-se a área do sistema de produção associada a área de captação produzida pela própria cobertura do reservatório.

Considerando apenas a área do sistema de produção como área de captação de águas pluviais, em nenhuma das localidades estudadas houve o suprimento pleno das demandas hídricas.

As áreas extras mínimas necessárias para garantir o suprimento total das demandas em Juazeiro (JU), Senhor do Bonfim (SB) e em Cruz das Almas (CA) foram iguais a 2.618,58 m<sup>2</sup>; 1.030,68 m<sup>2</sup> e 84,58 m<sup>2</sup>, respectivamente.

Tomando-se a área de cobertura do reservatório como área de captação, todas as demandas hídricas foram supridas, para as três localidades.

**Tabela 9.** Valores de volume de reservatório considerando a área do próprio sistema de produção como área de captação (817,42 m<sup>2</sup>), área do sistema de produção associada a uma área mínima e a área do sistema de produção associada à própria cobertura do reservatório para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA)

Local	Área do SP		Área do SP + Área extra mínima		Área do SP + Área de cobertura do reservatório	
	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )
JU	940,73	7.866,50	799,76	3.011,79	774,88	2.421,89
SB	740,54	5.731,18	493,13	1.078,81	306,86	354,51
CA	233,35	1.175,67	207,79	536,50	180,45	332,07

Conforme Rodriguez et al. (2016a), a área média do telhado de uma residência do Semiárido é de 70 m<sup>2</sup>. Entretanto, para a maioria das localidades que fazem parte dessa região, esse valor de área extra de captação ainda seria insuficiente para

garantir o suprimento total das demandas. E até mesmo para a simulação mais favorável realizada, em Cruz das Almas, uma área extra igual a 70 m<sup>2</sup> foi insuficiente para a garantia do suprimento pleno das demandas.

Existem alternativas que podem ser consideradas para o aumento da área de captação, principalmente no que se refere ao aproveitamento das áreas de telhados já existentes na propriedade, bem como a própria área de cobertura do reservatório e a captação da água superficial com a utilização de lona plástica e até mesmo por meio de cisternas calçadão.

Algo que pode justificar ainda mais a necessidade de uma área extra de captação de águas pluviais é o valor de tempo médio de enchimento dos reservatórios (TE) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Tempo de enchimento médio (TE) dos reservatórios para as localidades de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA), considerando a área de captação de águas pluviais igual à área do sistema de produção (817,42 m<sup>2</sup>) e a área do sistema de produção adicionada à área de cobertura do próprio reservatório

Local	Área de captação = Área do SP				Área de captação = Área do SP + Área de cobertura do reservatório			
	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	TE (anos)	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	TE (anos)	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	TE (anos)	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	TE (anos)
JU	940,73	3,66	7.866,50	30,57	774,88	1,26	2.421,89	9,41
SB	740,54	1,55	5.731,18	11,98	306,86	0,45	354,51	0,74
CA	233,35	0,24	1.175,67	1,20	180,45	0,18	332,07	0,34

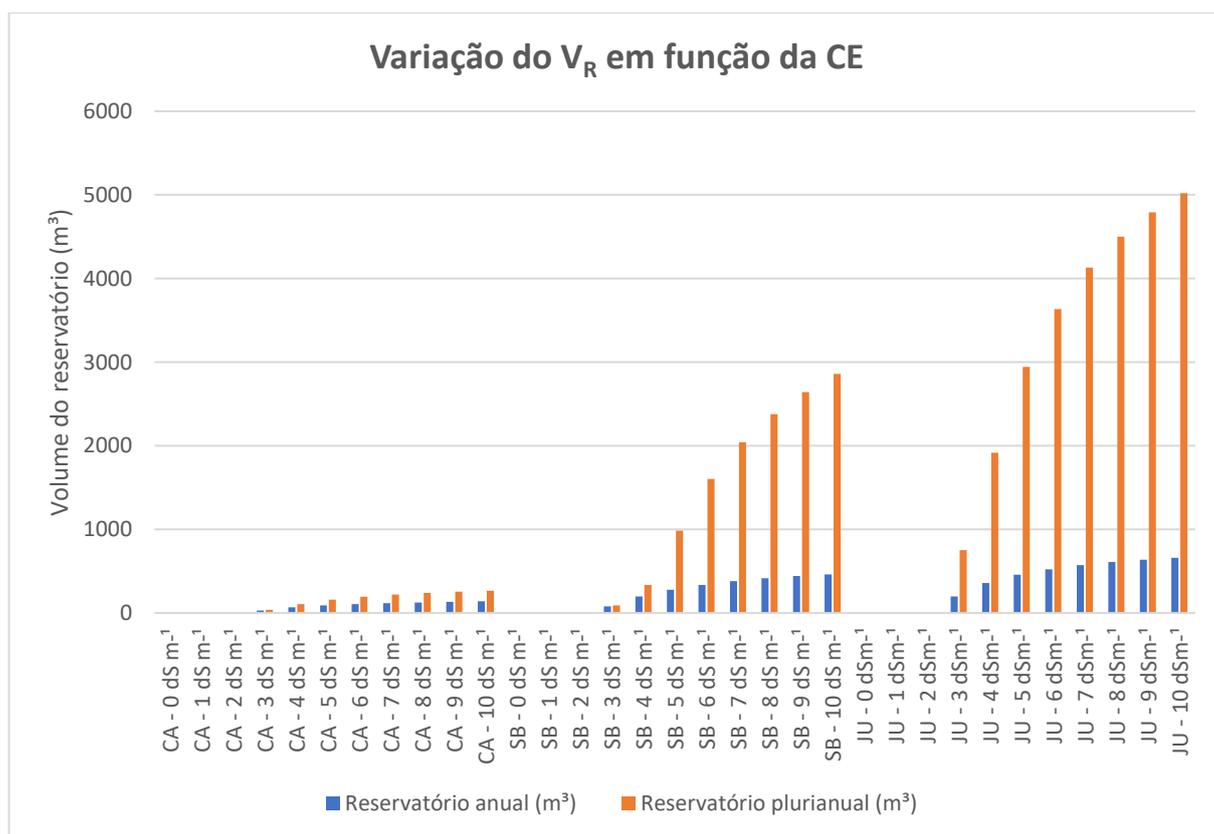
Percebeu-se que para o município de Juazeiro, cuja precipitação média anual é igual a 314,84 mm, a presença da área de cobertura do reservatório como área de captação chega a reduzir em 65,58% o TE do reservatório anual e em até 69,21% o TE do reservatório plurianual.

Para Senhor do Bonfim, localidade cuja precipitação média é de 585,38 mm, a área extra chegou a reduzir em até 70,69% o TE do reservatório anual e em até 93,81% o TE do reservatório plurianual. Tais resultados indicaram que em todas as simulações realizadas, o reservatório plurianual foi o que mais sofreu reduções de volume pela presença de uma área extra de captação (Tabela 10).

Para o município de Cruz das Almas, cuja precipitação anual média é igual a 1.199,93 mm, a presença da área extra chegou a reduzir em 22,67% o volume do reservatório anual em 71,76% o volume do reservatório plurianual (Tabela 10).

### 6.1.3. CE da água salobra

No âmbito da salinidade, para águas salobras com maior nível de CE, haverá necessidade de um reservatório de maior volume (Figura 11).



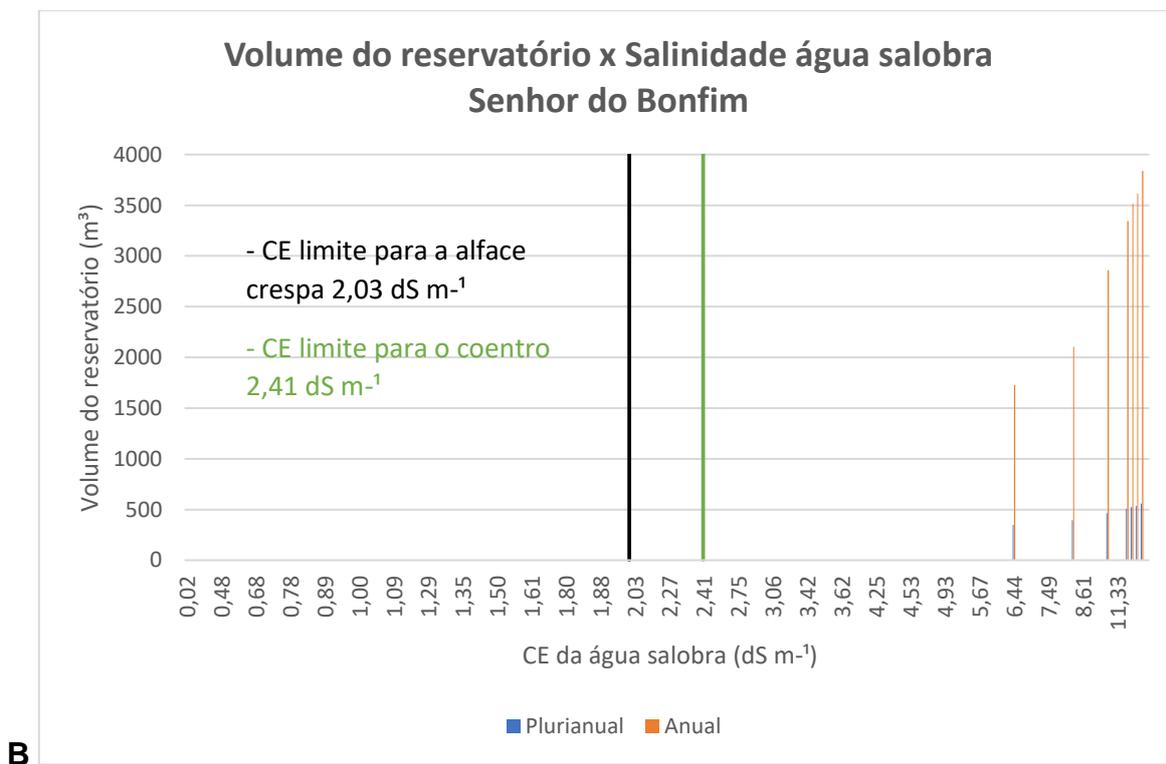
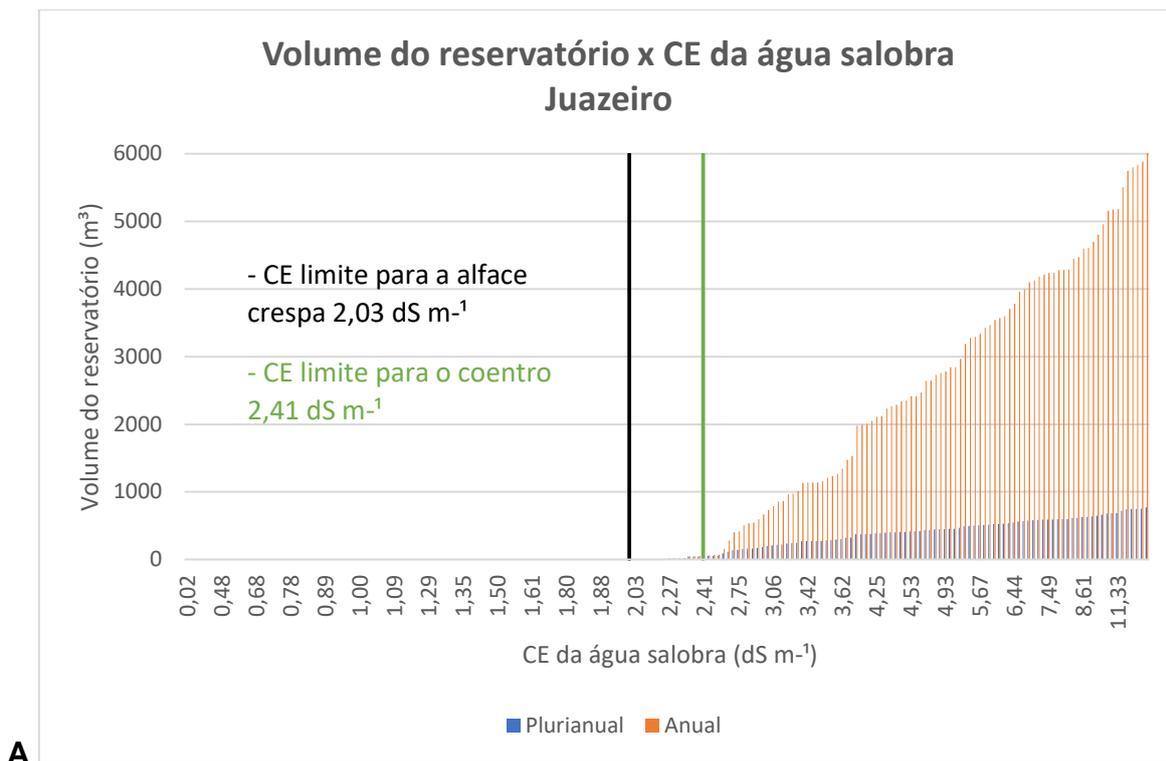
**Figura 11.** Volume do reservatório anual e plurianual considerando a diluição em que a condutividade elétrica da água salobra varia de 0 a 10 dS m<sup>-1</sup>, para as três localidades estudadas, Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA).

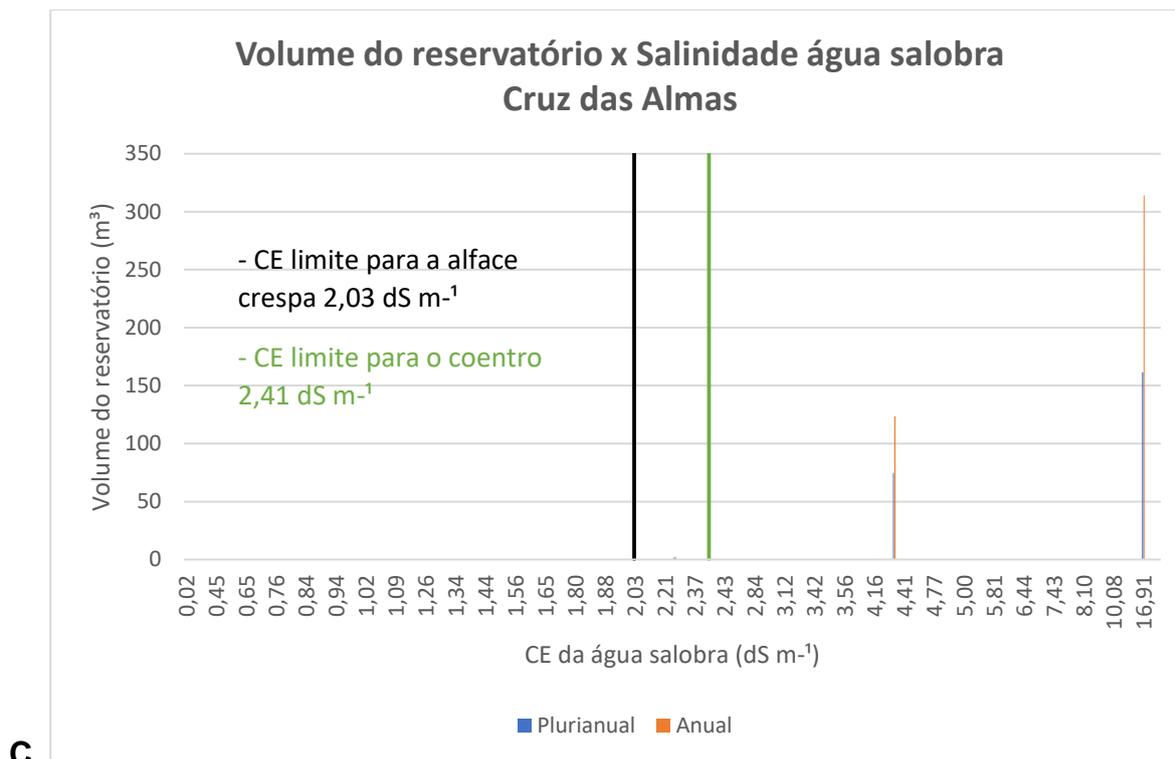
Para uma água salobra com o nível de CE de 0 até 2,03 dS m<sup>-1</sup> ( $S_{AS} + S_{SN} \leq S_T$ ) para a alface crespa e de 0 até 2,41 dS m<sup>-1</sup> para o coentro, não haverá necessidade de reservatório ( $V_R = 0$  m<sup>3</sup>). Assim, caso haja vazão suficiente de água salobra, apenas essa água pode ser utilizada para abastecer o sistema, sem a necessidade de implantação do sistema de captação de águas pluviais.

Desse modo, percebeu-se que:

- para o município de Juazeiro-BA, tomando-se um nível de CE da água salobra igual a 6 dS m<sup>-1</sup>, um reservatório anual deveria ter 524,27 m<sup>3</sup> e o plurianual 3.636,15 m<sup>3</sup>, ambos sem garantia de suprimento pleno do sistema, devido às baixas taxas de precipitações (Figura 11A);
- para Senhor do Bonfim-BA, tomando-se o mesmo nível de CE da água salobra (6 dS m<sup>-1</sup>), um reservatório plurianual deveria ter 1.602,00 m<sup>3</sup> e o anual 336,58 m<sup>3</sup>, ambos sem garantia de suprimento pleno pelas culturas (Figura 11B); e
- para Cruz das Almas-BA, considerando nível de CE a igual a 6 dS m<sup>-1</sup>, um reservatório plurianual deveria ter 194,85 m<sup>3</sup> e o anual 105,78 m<sup>3</sup>, com garantia de suprimento total do sistema de produção (Figura 11C).

A Figura 12 expressa a relação do nível de CE dos poços existentes nos três municípios estudados versus o volume do reservatório anual e plurianual, considerando 1 módulo de alface crespa e 1 módulo de coentro (mesma demanda hídrica, mesma área de captação de 817,42 m<sup>2</sup>). Percebe-se que quanto maior o nível de CE da água salobra, maior foi o volume do reservatório, pois maior foi a necessidade de volume de diluição com água pluvial para manter o nível de CE tolerado pelas culturas. Já para águas menos salobras, reservatórios menores foram capazes de suprir toda a demanda da produção.





**Figura 12.** Volume do reservatório versus condutividade elétrica da água salobra para os poços presentes nos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C).

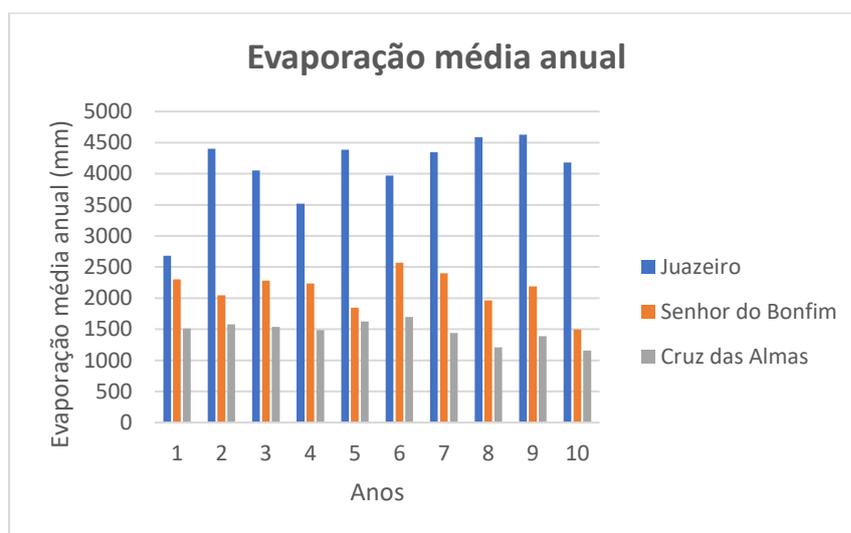
Dos 194 poços encontrados na plataforma SIAGAS do município de Juazeiro, caso haja vazão suficiente, em 91 deles apenas a água salobra seria suficiente para suprir todas as demandas do sistema de produção, não necessitando de reservatório. Entretanto, para 103 poços (53,09% do total), a diluição em águas pluviais seria necessária (Figura 12A).

Já para Senhor do Bonfim, dos 23 poços encontrados, para 16 poços encontrados, apenas a água salobra seria suficiente para suprir todas as demandas do sistema de produção. Entretanto, para 7 poços (30,43% do total), a mistura com águas pluviais seria necessária (Figura 12B).

Para Cruz das Almas, município que não se encontra na região semiárida, dos 18 poços com dados cadastrados, apenas 3 (16,67%) necessitariam da mistura com águas de chuva (2,27; 4,30 e 17,15 dS m<sup>-1</sup>). Para 15 deles, a mistura não se fará necessária (Figura 12C).

#### 6.1.4. Evaporação do reservatório

Nas simulações que consideraram que o reservatório de água da chuva estava descoberto, os valores anuais de evaporação para as três localidades estudadas estão representados na Figura 13.



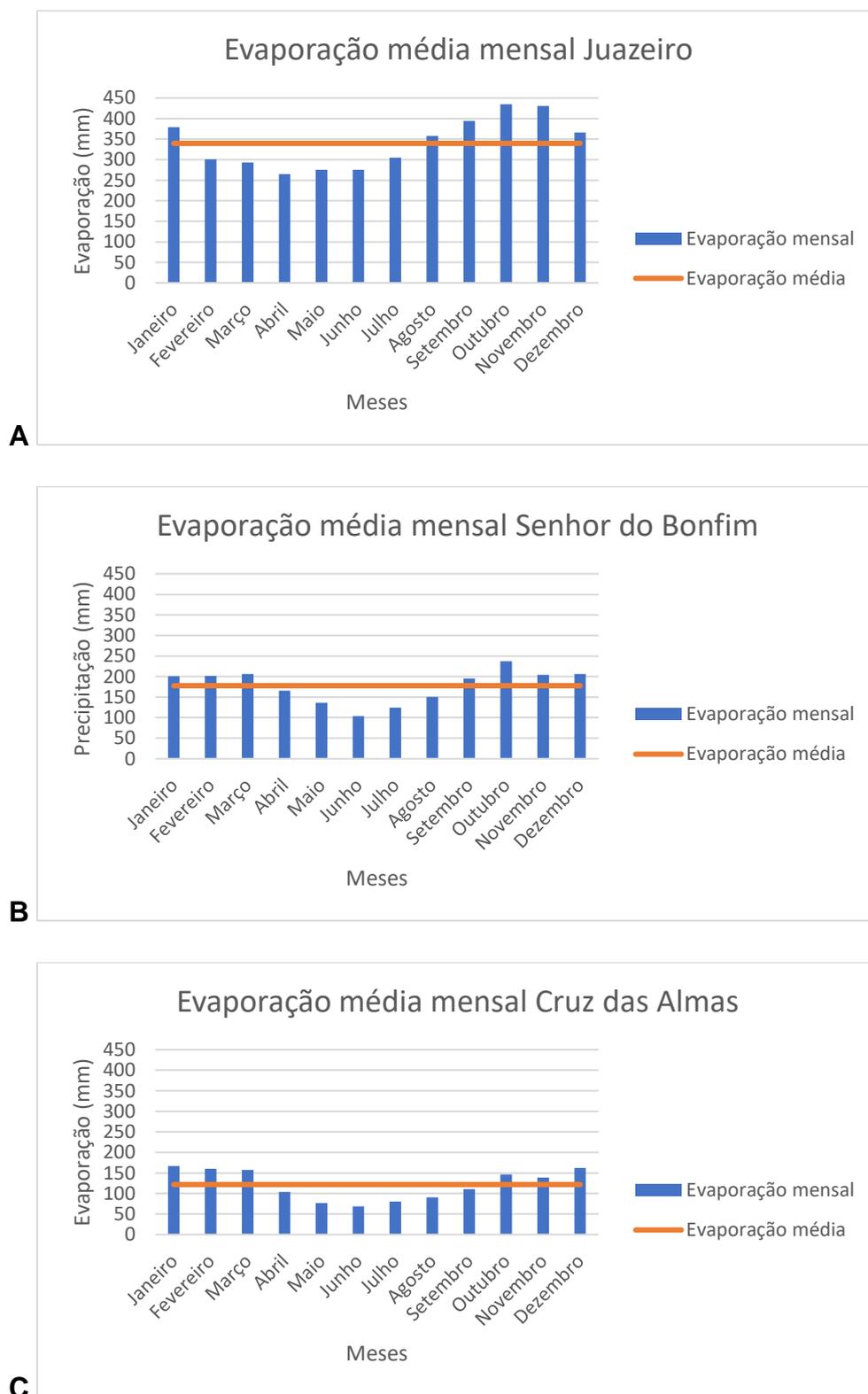
**Figura 13.** Representação da evaporação anual para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA.

Desse modo, percebeu-se que para o município de Juazeiro, a evaporação média, calculada por meio da série de 10 anos considerada, foi de 4.075,52 mm por ano, com variações entre 2.680,4 e 4.626,9 mm anuais (Figura 13).

Na cidade de Senhor do Bonfim, a evaporação média foi de 2.133,1 mm anuais. Dos 10 anos considerados no estudo, percebe-se que a evaporação variou entre 2.568,6 e 1.496,3 mm (Figura 13).

Para o município de Cruz das Almas, cuja evaporação média foi igual a 1.462,4 mm, houve variação entre 1.155,5 e 1.698,4 mm (Figura 13).

Nos municípios considerados, percebeu-se que o mês de outubro foi o que mais houve perdas de água por evaporação. Em Juazeiro, abril foi o mês com menores perdas (Figura 14A). Em Senhor do Bonfim (Figura 14B) e Cruz das Almas (Figura 14C), junho foi o mês em que menos evaporou água.



**Figura 14.** Representação da evaporação média mensal para os 10 anos de estudo dos municípios de Juazeiro-BA (A), Senhor do Bonfim-BA (B) e Cruz das Almas-BA (C).

Em um estudo de captação de água da chuva para uso em horticultura de pequenas propriedades realizado na Namíbia, Woltersdorf et al. (2015) reportaram que a cidade de Ondangwa tem uma precipitação média anual de 464 mm e uma evaporação de 2.600 mm anuais, cerca de 5,6 vezes superior ao total de chuvas. No presente estudo, enquanto em Juazeiro a evaporação é 12,94 vezes superior à precipitação média anual, em Senhor do Bonfim é 3,64 e até em Cruz das Almas é 1,22 vezes superior.

Considerando que o reservatório esteja descoberto, conforme o total de água evaporada diariamente do reservatório, verificou-se que:

- na cidade de Juazeiro as perdas por evaporação implicaram em um aumento do volume do reservatório anual em 292,27% e no plurianual de 314,67% (Tabela 11);
- no município de Senhor do Bonfim houve o aumento de 190,02% no volume do reservatório anual e de 221,49% no plurianual (Tabela 11); e
- para a cidade de Cruz das Almas houve um aumento de 161,15% do volume de reserva anual e 222,13% no plurianual (Tabela 11).

As altas taxas de evaporação são um problema muito comum principalmente em regiões semiáridas o que fortalece a necessidade de que o reservatório esteja coberto, evitando que se perca a água já armazenada.

**Tabela 11.** Valores de volume de reservatório (VR), com ou sem perdas de água por evaporação para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA)

Local	Sem perdas por evaporação		Com perdas por evaporação	
	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )
JU	940,73	7.866,50	2.749,46	24.753,22
SB	740,54	5.731,18	1.407,14	12.694,00
CA	233,35	1.175,67	376,04	2.611,51

No estudo de Londra et al. (2022), considerando reservatório descoberto para atendimento de demandas hídricas do tomate cultivado em hidroponia, o volume do reservatório passou de 200 m<sup>3</sup> (sem perdas por evaporação) para 520 m<sup>3</sup> (um aumento de 260%), para o suprimento total das demandas da cultura, considerando área do sistema de produção igual a 1.000 m<sup>2</sup> com precipitação média anual de 974,24 mm. No presente estudo, o aumento médio dos volumes de reservatório anuais e plurianuais para as localidades consideradas foram iguais a 214,48% e 252,76%, respectivamente.

Ao se considerar a evaporação, qualquer incremento no volume do reservatório leva a uma diminuição no nível de suprimento. Isso ocorre porque a água da chuva armazenada já não consegue atender às demandas hídricas, o que ainda é agravado devido às perdas por evaporação em reservatórios descobertos (LONDRA et al., 2021).

#### **6.1.5. Alteração do número de ciclos de cultivo por ano**

Realizou-se simulações do volume dos reservatórios anuais e plurianuais para as três localidades de estudo, Juazeiro-BA, Senhor do Bonfim-BA e Cruz das Almas-BA, considerando as condições normais de cultivo, sem adição de águas salobras, mas reduzindo o número de ciclos da alface crespa de 13 para 12 ciclos anuais e do coentro de 15 para 14, conforme Tabela 12. Foram desprezadas aqui as comparações de teor econômico.

**Tabela 12.** Representação do volume de reservatórios com o número de ciclos anuais convencional e reduzido, para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA)

Município	Número de ciclos da alface crespa	Número de ciclos do coentro	V <sub>R</sub> anual (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> plurianual (m <sup>3</sup> )	Suprimento total
JU			940,73	7.866,50	Não
SB	13	15	740,54	5.731,18	Não
CA			233,35	1.175,67	Não
JU			870,08	6.833,01	Não
SB	12	14	694,97	4.679,80	Não
CA			226,14	379,69	Sim

Verificou-se que o suprimento (pleno ou não) do sistema foi afetado pela redução do número de ciclos por ano apenas em Cruz das Almas, além disso, o volume do reservatório (tanto anual quanto plurianual) no município, foi reduzido em 3,09% para o reservatório anual e 32,30% para o reservatório plurianual. Ou seja, ficou evidente que a redução de apenas um ciclo de produção de cada cultura por ano trouxe grandes reduções no volume do reservatório sobretudo para o de regime plurianual.

A análise da Tabela 12 tornou evidente que quanto mais chuvoso é o município, maior foi redução do reservatório plurianual, enquanto o reservatório anual sofreu menores reduções de volume.

#### 6.1.6. Redução da produtividade relativa

Considerando uma situação em que o nível de CE limiar da água necessário para manter a produção relativa em 75% seja igual a 6,32 dS m<sup>-1</sup> (SOARES, 2007) para a alface crespa e 4,89 dS m<sup>-1</sup> para o coentro, foram realizadas simulações do volume dos reservatórios anuais e plurianuais para as três localidades de estudo, considerando a mesma área de captação (817,42 m<sup>2</sup>), visando verificar o quanto a redução de 25% na produção implicaria na redução do volume a ser reservado para

manter o nível de CE tolerado pelas culturas. Mais uma vez, foram desprezadas aqui as análises de viabilidade econômica.

Para o município de Cruz das Almas, com a redução de 25% da produtividade relativa, houve o suprimento pleno das demandas hídricas do sistema de produção, o que não foi observado para as demais localidades (Tabela 13). O volume do reservatório (tanto anual quanto plurianual), foi diretamente impactado pela redução da produção, chegando a 32,30% de redução em Cruz das Almas, no reservatório de regime anual e a 73,83% no reservatório plurianual no mesmo município.

Após Cruz das Almas, o município de Senhor do Bonfim foi o que mais sofreu alteração para ambos os regimes de reservatório, seguido do município de Juazeiro. Assim, percebeu-se que quanto mais chuvoso é o município, maior foi a redução do volume de reservação com a redução da produção.

**Tabela 13.** Volumes de reservatório anual e plurianual considerando produtividade relativa como 100 e 75% para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA)

Local	Produtividade relativa 100%			Produtividade relativa 75%		
	V <sub>R</sub>	V <sub>R</sub>	Suprimento total	V <sub>R</sub>	V <sub>R</sub>	Suprimento total
	Anual (m <sup>3</sup> )	Plurianual (m <sup>3</sup> )		Anual (m <sup>3</sup> )	Plurianual (m <sup>3</sup> )	
JU	940,73	7.866,50	Não	734,23	5.768,63	Não
SB	740,54	5.731,18	Não	535,25	3.615,81	Não
CA	233,35	1.175,67	Não	157,97	307,63	Sim

#### 6.1.7. Descarte da solução nutritiva

Com relação à frequência de descartes da solução nutritiva, simulou-se que esta seja realizada a cada 1, 3 e 6 ciclos (Tabela 14).

**Tabela 14.** Variação do volume dos reservatórios em função da alteração da frequência de descartes da solução nutritiva, para os municípios de Juazeiro-BA (JU), Senhor do Bonfim-BA (SB) e Cruz das Almas-BA (CA)

Frequência dos descartes	1 ciclo		3 ciclos		6 ciclos	
	$V_R$	$V_R$	$V_R$	$V_R$	$V_R$	$V_R$
	Local	Anual (m <sup>3</sup> )	Plurianual (m <sup>3</sup> )	Anual (m <sup>3</sup> )	Plurianual (m <sup>3</sup> )	Anual (m <sup>3</sup> )
JU	1.013,69	8.609,12	940,73	7.866,50	921,92	7.681,74
SB	814,03	6.473,80	740,54	5.731,18	722,82	5.546,52
CA	297,79	1.889,86	233,35	1.175,67	219,95	998,01

Em todas as simulações realizadas, a alteração da frequência dos descartes não implicou na garantia do suprimento plenos das demandas, mas houve redução sobretudo no volume de reservatório plurianual.

#### 6.1.8. Operação do reservatório

A análise de operação do reservatório visou manter os valores de extravasamento e aporte dos reservatórios os mais próximos de zero possível. Desse modo, foram perceptíveis as variações entre as Figuras 14A e 14B para os municípios de Cruz das Almas e Senhor do Bonfim, visto que o aporte e extravasamento foram praticamente nulos, para o reservatório de regime anual.

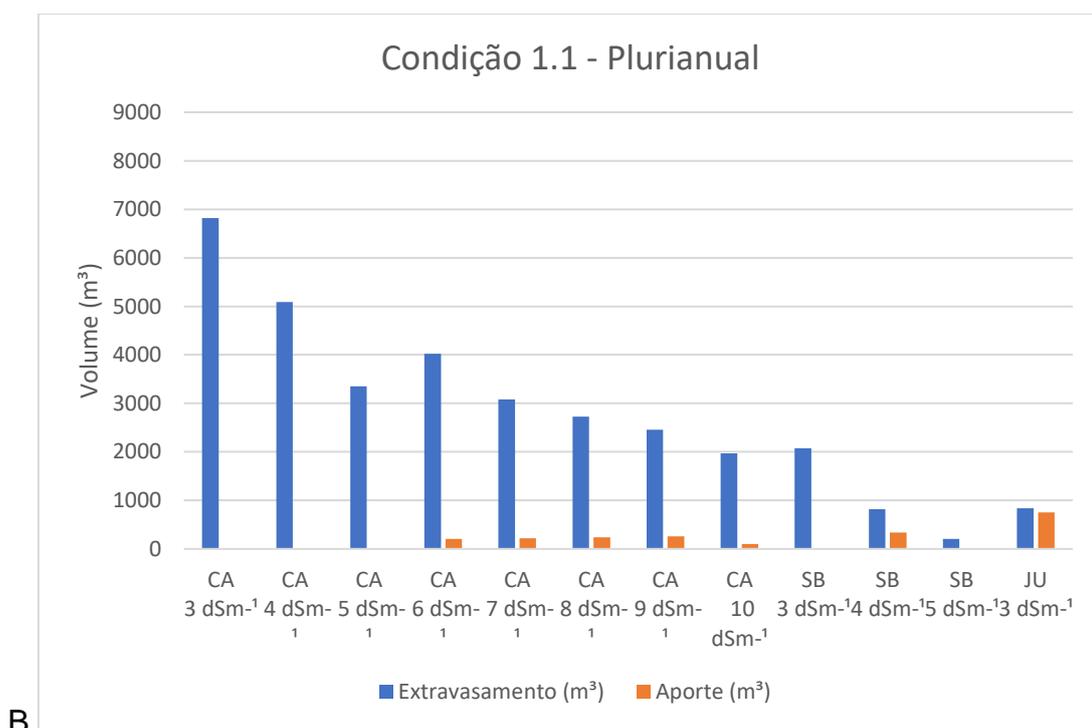
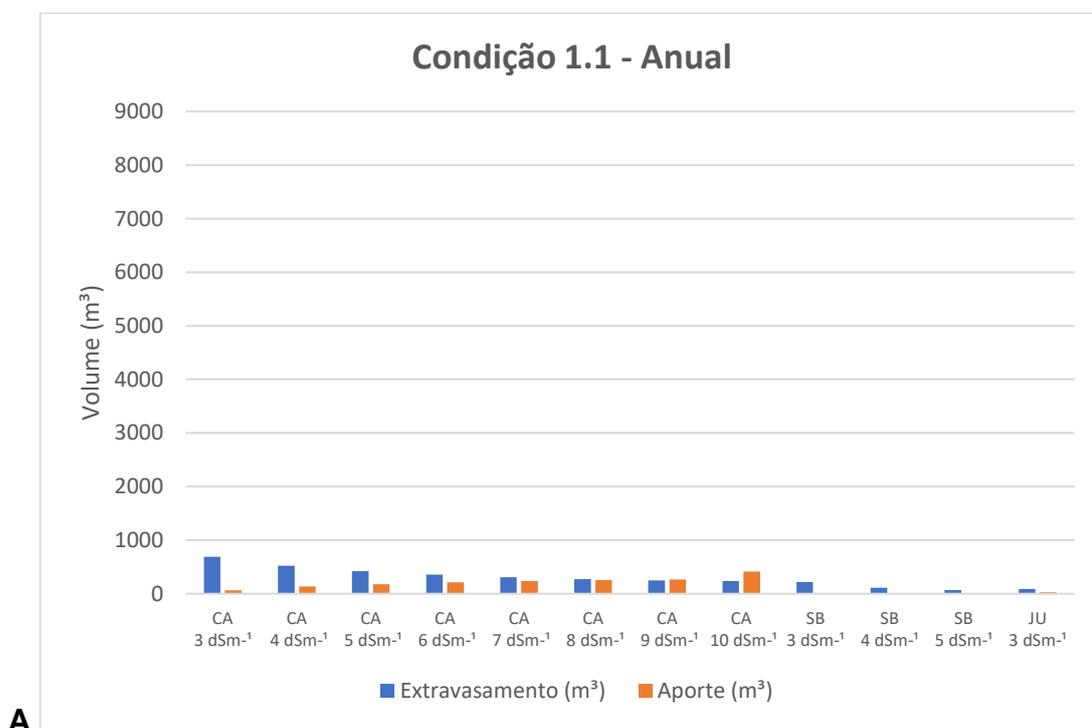
As Figuras 14C e 14D indicaram que a Condição 2.1 requereu grande reposição de água (aportes), sobretudo no reservatório de regime anual.

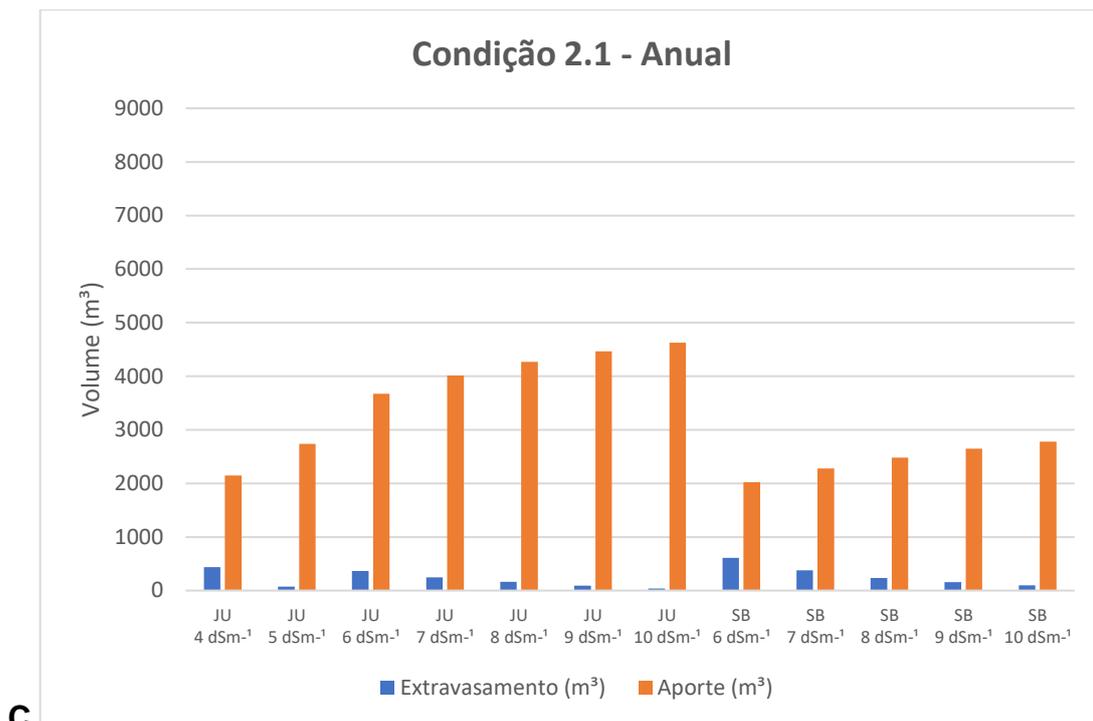
E as Figuras 14E e 14F apresentaram diferenças apenas nos valores de extravasamento.

Ficou evidente que para as situações simuladas, o extravasamento foi maior para o município de Cruz das Almas-BA, cidade mais chuvosa dentre as três consideradas. Nesses casos, seria interessante aumentar o volume do reservatório,

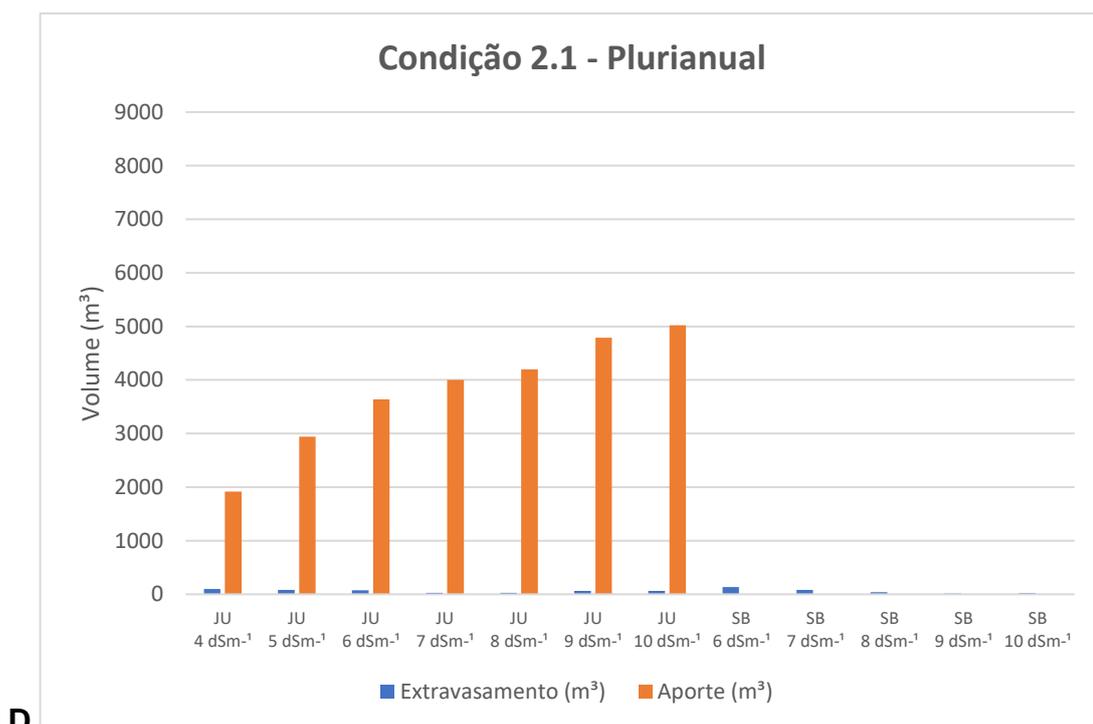
visando evitar as perdas de grandes volumes de água. Em geral, o aporte foi maior para o município de Juazeiro, que é o menos chuvoso dentre os três.

A condição 2.2 foi a que apresentou o maior aporte entre todas e grandes perdas por extravasamentos.

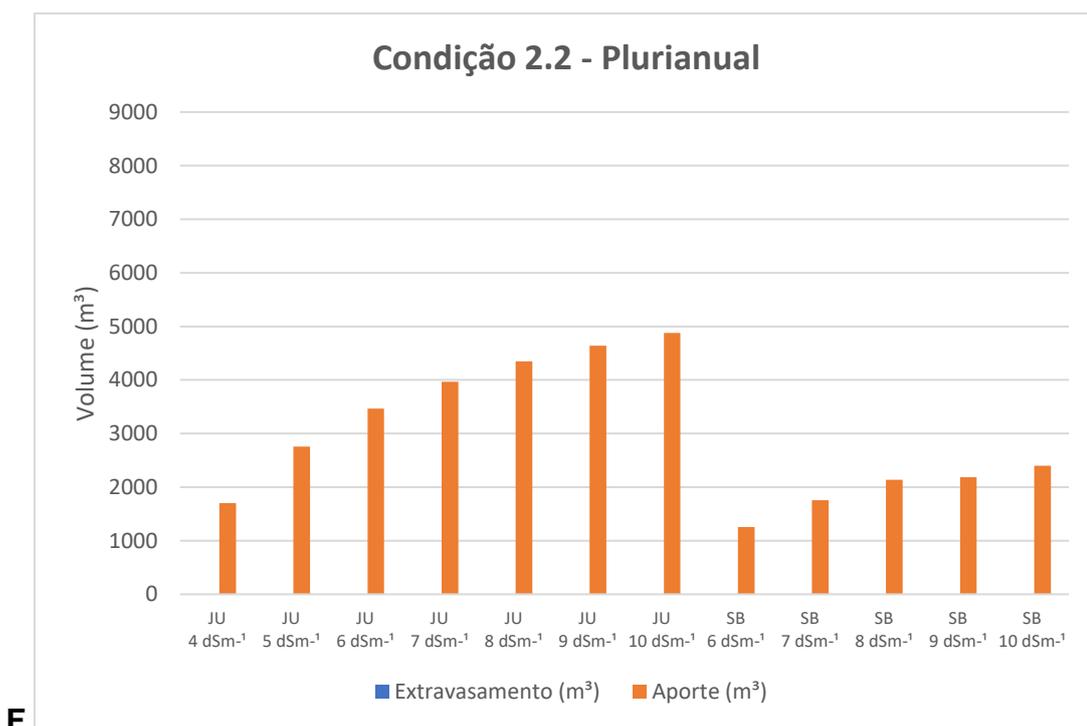
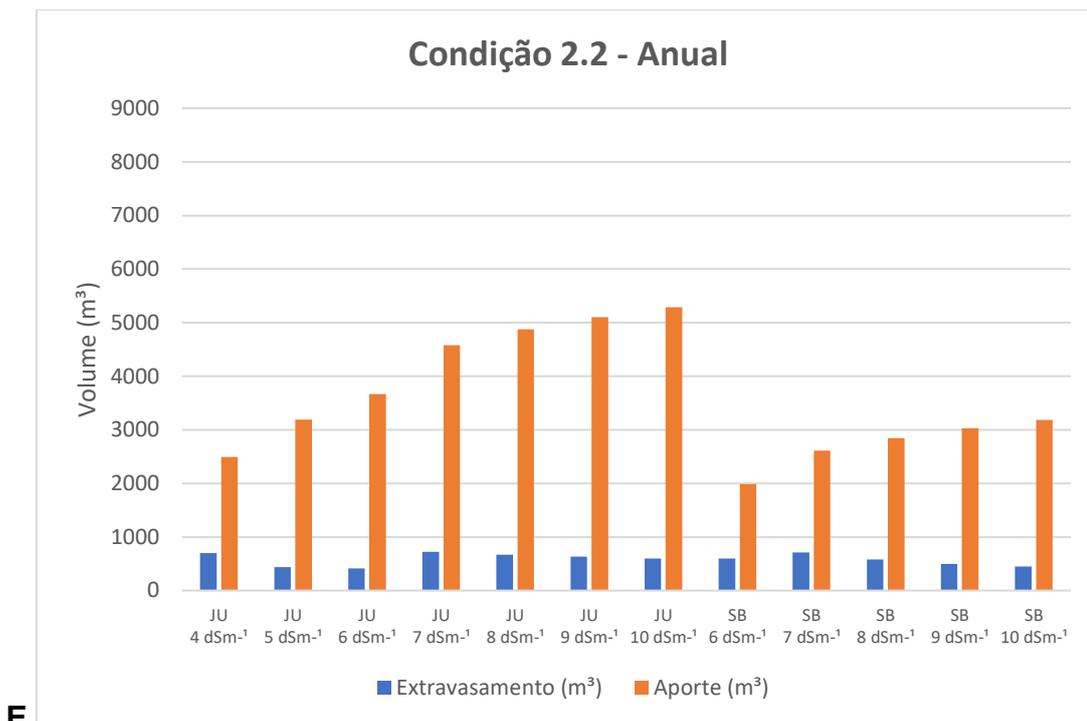




C



D



**Figura 15.** Condições de aporte e extravasamento dos reservatórios: reservatório anual Condição 1.1 (A), reservatório plurianual Condição 1.1 (B), reservatório anual Condição 2.1 (C), reservatório plurianual Condição 2.1 (D), reservatório anual Condição 2.2 (E), reservatório plurianual Condição 2.2 (F).

Embora o reservatório de regime plurianual seja o de maior volume e geralmente menos atraente do ponto de vista financeiro, em algumas situações ele pode ser a escolha mais vantajosa por implicar em menores perdas por extravasamento, maior aproveitamento de água e menor necessidade de aporte.

Com base nas simulações realizadas e observando as regras de operação e as características hidrológicas dos municípios estudados, verificou-se as seguintes escolhas como as mais eficientes para os volumes de reservatório:

- Juazeiro
  - Anual - para 3 dS m<sup>-1</sup> - condição 1.1
  - Plurianual – entre 4 e 10 dS m<sup>-1</sup> não foram verificadas grandes diferenças de valores de aporte para esse município em nenhuma das simulações realizadas. O extravasamento foi ligeiramente maior para a condição 2.2 no reservatório anual.
- Senhor do Bonfim
  - Anual – condição 1.1 de 3 a 5 dS m<sup>-1</sup>
  - Plurianual – condição 2.1 de 6 a 10 dS m<sup>-1</sup>
- Cruz das Almas
  - Reservatório anual – condição 1.1 - para todos os níveis de CE da água salobra.

#### **6.1.9. Sensibilidade das principais variáveis do modelo**

Com a finalidade de realizar a análise de sensibilidade do modelo em relação às principais variáveis de entrada, considerou-se as condições apresentadas nas condições de contorno. Na Tabela 15 encontram-se os valores dos índices de sensibilidade do modelo ao volume de reservatório anual e ao volume de reservatório plurianual em relação às principais variáveis de entrada, quais sejam a precipitação pluvial (P), a área total de captação ( $A_{total}$ ), nível de CE da água salobra ( $CE_{AS}$ ), evaporação (E), alteração do número de ciclos de cultivo (NC), alteração da produtividade relativa (PR) e número de ciclos de descarte da solução nutritiva (D).

**Tabela 15.** Sensibilidade do modelo às principais variáveis entrada

Variável	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	Volume anual (m <sup>3</sup> )			Volume plurianual (m <sup>3</sup> )		
			VR <sub>1</sub>	VR <sub>2</sub>	S <sub>M</sub>	VR <sub>1</sub>	VR <sub>2</sub>	S <sub>M</sub>
<b>P</b>	314,84	1.199,93	940,73	233,35	-1,03	7.866,5	1.175,67	-1,27
<b>A<sub>total</sub></b>	817,42	3.436,00	940,73	799,76	-0,13	7.866,5	3.011,79	-0,73
<b>CE<sub>AS</sub></b>	3,00	10,00	196,38	660,72	1,01	750,48	5.020,54	1,37
<b>E</b>	14.673,00	40.880,00	376,04	2.749,46	1,61	2.611,51	24.753,22	1,72
<b>NC</b>	26	28	870,08	940,73	1,05	6.833,01	7.866,5	1,90
<b>PR</b>	75	100	734,23	940,73	0,86	5.768,63	7.866,5	1,08
<b>D</b>	1	6	1.013,69	921,92	-0,07	8.609,12	7.681,74	-0,08

O sinal negativo do índice de sensibilidade do modelo indica que um aumento nas variáveis que interferem no volume do reservatório implica na diminuição deste volume. O índice de sensibilidade positivo indica o oposto.

Por meio das simulações realizadas, percebeu-se que para o cálculo do volume de reservatório anual, o modelo foi mais sensível à variação da evaporação, seguida da alteração do número de ciclos de cultivo, precipitação, da CE da água salobra, da redução da produtividade relativa, da área de captação e em último lugar à frequência de descartes da solução nutritiva.

O cálculo do reservatório plurianual indicou que o modelo foi mais sensível à alteração do número de ciclos de cultivo, à evaporação, à CE da água salobra, precipitação, produtividade relativa, área de captação e à frequência de descartes da solução nutritiva, sendo as três últimas variáveis análogas ao reservatório de regime anual.

A redução de apenas um ciclo de cultivo foi capaz de impactar bastante no volume do reservatório, sobretudo de regime plurianual.

A consideração da evaporação chegou a triplicar o volume do reservatório.

Rodriguez et al. (2016a), em um estudo de captação e aproveitamento de águas pluviais para usos residenciais, afirmam que o aumento da área de captação consiste em uma alternativa eficiente para minimizar o volume do reservatório, além de aumentar o nível de segurança do mesmo. Porém, em regiões em que a precipitação é insuficiente para garantir que o reservatório encha completamente, o aumento do volume do reservatório possui menos eficiência, caso a área de captação permaneça constante. As áreas de captação maiores podem permitir o total

enchimento de reservatórios e garantir o suprimento durante as estações mais secas (RODRIGUEZ et al., 2016b).

Em regiões com precipitação no período chuvoso suficiente para garantir o enchimento total do reservatório, mas marcada com períodos mais longos de seca, aumentar a área de captação é considerado menos eficiente. Porque a água afluenta no reservatório durante o período das chuvas é suficiente para garantir o total enchimento e a contribuição de água na estação seca é menos relevante, então para esta condição, aumentar o volume do reservatório é a melhor opção (RODRIGUEZ et al., 2016b).

A frequência de descartes da solução nutritiva foi a variável que menos influenciou no volume do reservatório.

## 7. CONCLUSÕES

O modelo apresenta boa estimativa do volume do reservatório, tanto de regime anual, quanto de regime plurianual, possibilitando a diluição de águas salobras.

Nas três situações simuladas não houve suprimento pleno das demandas das culturas sem a mistura com águas salobras. O balanço hídrico se manteve negativo apenas com o uso de águas pluviais. Entretanto, ao se considerar a área de cobertura do reservatório como área de captação de águas pluviais, há o suprimento pleno.

No cálculo do volume do reservatório anual, o modelo apresenta maior sensibilidade à variação da evaporação, da alteração do número de ciclos de cultivo, precipitação, CE da água salobra, produtividade relativa, área de captação e em último lugar à frequência de descartes da solução nutritiva.

O cálculo do reservatório plurianual indica que o modelo é mais sensível à alteração do número de ciclos de cultivo, à evaporação, CE da água salobra, precipitação, produtividade relativa, área de captação e à frequência de descartes da solução nutritiva.

Ressalta-se que o desenvolvimento desse modelo possibilita a produção de múltiplos resultados, que podem servir de base para inúmeros estudos a serem realizados sobretudo em regiões semiáridas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHALOO, K.; CHIU, YIE-RU. Identifying Optimal Sites for a Rainwater-Harvesting Agricultural Scheme in Iran Using the Best-Worst Method and Fuzzy Logic in a GIS-Based Decision Support System. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1-24, 2020.

ALEXANDRINO, R. V.; CAIAFA, A. N. Avaliação e caracterização de áreas de preservação permanente no Campus da UFRB, Cruz das Almas, Bahia. **Magistra**, v. 29, n. 2, p. 215-224, 2018.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

ARRIERO, S. S.; ALMEIDA, W. F.; PAZ, V. P. S.; DAMASCENO, L. F. Yield of eggplant using low quality water and pulse drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 12, p. 822-826, 2020.

ASA – Articulação Semiárido Brasileiro. **Programa de formação e mobilização social para a convivência com a semiárido**: um milhão de cisternas rurais - P1MC. Recife: Articulação no Semi-Árido Brasileiro, 2014.

BACK, Á. J.; WILDNER, L. P.; GARCEZ, J. G. Análise de chuvas intensas visando ao dimensionamento de estruturas de conservação do solo para a região de Chapecó, Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 32, n. 3, p. 95-100, 2019.

BACKES, F. A.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA FILHO, H. N.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D. Reposição de nutrientes durante três cultivos de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 590-596, 2003.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Regularização de vazão**. Apostila de Hidrologia. 2005. Notas de Aula. Universidade Federal de Ouro Preto.

BASHABSHEH, K.; TABAL, A. J.; BANI-HANI, N.; QRUNFLEH, I.; HADDAD, M.; AL-EINEIN, S. A. Production of sage (*Salvia officinalis* L.) in a hydroponics system using brackish water at low cost. **Irrigation and Drainage**, v. 70, n. 5, p. 1172-1182, 2021.

BERGAMO, G.; GANDRA, E. A. Avaliação microbiológica de alface cultivada sob as formas tradicional, orgânica e hidropônica. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 7, n. 3, p. 82-93, 2016.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2012. 335p.

BEZERRA, E. B. N.; RÊGO, R. L. C.M; SILVA, C. I. A.; MEIRA, C. M. B. S.; OLIVEIRA, R. Impactos da destinação do rejeito da dessalinização de água subterrânea em uma comunidade de Juazeirinho-PB. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Paraíba. **Anais[...]** Campina Grande, 2016.

BEZERRA NETO, E. O cultivo hidropônico. In: BEZERRA NETO, E. (ed. tec.) **Hidroponia**. n.6, p.15-30, 2017.

BIONE, M. A. A.; SOARES, T. M.; COVA, A. M. W.; PAZ, V. P. S.; RAFAEL, M. R. S.; MODESTO, F. J. N.; SANTANA, J. A.; NEVES, B. S. L. Hydroponic production of 'Biquinho'pepper with brackish water. **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106607, 2021.

BONFIM, F. M. **Qualidade das águas de abastecimento do município de Crateús – CE, nos anos de estiagem: águas naturais, dessalinizadas e rejeito salino**. 2020. 156 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

BORGES, R.; DAL'SOTTO, T. C. Análise econômico-financeira de um sistema de cultivo hidropônico. **Custos e agronegócio online**, v. 12, n. 3, p. 217-239, 2016.

BORGES, T. K. S. **Evaporação em superfície de água livre com baixa turbidez**. 2017. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2017.

BORJA, P. C.; LORDELO, L. M. K. P1MC e o abastecimento humano. In: BORJA, P. C.; LORDELO, L. M. K.; SANTOS, J. E. (orgs.). **Água, cisternas e Semiárido Brasileiro**. Cruz das Almas: EDUFRB, 2022. p. 125–141.

BOYACI, S.; KARTAL, S. Rainwater harvesting on greenhouse roof and use in irrigation. **International Journal of Research – Granthaalayah**, v. 7, n. 2, 7, p. 93–100, 2019.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Levantamento de recursos naturais. Folha SD 24 (Salvador)**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1981.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2021.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; PILAR, J. V.; TUCCI, C. E. M. Otimização de regras de operação de reservatórios utilizando um algoritmo evolutivo. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 1., Curitiba, 2014. **Anais [...]** Curitiba, 2006.

CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N.; SOUZA, A. F. Princípios de nutrição mineral, formulação e manejo da solução nutritiva. In: CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. (eds.). **Princípios de hidroponia**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 28p. (Circular Técnica, 22).

CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., São Carlos, 2007. **Anais [...]** São Carlos, 2007.

CASTRO, C. N. **A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Texto para Discussão, Brasília: IPEA, 2012.

CAVALCANTE, A. R. **Aspectos fisiológicos e produtivos do pimentão sob estresse salino e densidade de plantas em hidroponia de baixo custo**. 2018. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

CAVALCANTE, F. L. **Viabilidade agrônômica do consórcio de caupi-hortaliça com rúcula sob adubação orgânica**. 2017. 46p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

CAZUZA NETO, A.; SOARES, T. M.; BIONE, M. A.; FREITAS, F. T. O.; MELO, D. M.; SILVA FILHO, J. A. Efeito da salinidade no consumo hídrico do molho de coentro produzido em sistema hidropônico NFT. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SALINITY

& BRAZILIAN MEETING ON IRRIGATION ENGINEERING, 2., Fortaleza. **Anais[...]** Fortaleza: INOVAGRI, 2014.

CBPM - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. **Projeto Estudo do Domínio Granulítico na Região Itaberaba – Cruz das Almas.** v.1, Salvador, 1997. 84p.

COSTA, L. F.; SOARES, T. M.; SILVA, M. G.; MODESTO, F. J. N; QUEIROZ, L. A; PEREIRA, J. S. Crescimento e rendimento da couve-flor em um sistema hidropônico com água salgada. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 1060-1070, 2020.

COTTA, H. H. A., CORREA, W. S. C., ALBUQUERQUE, T. T.A., 2016. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n.12, p.202-217, 2016.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

CUNHA, F. C. Educação ambiental: uma descrição das ações realizadas no município de Cruz das Almas (BA). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 76-95, 2018.

DEMANBORO, A. C.; SCHNEIDER; L. M.; LONGO, R. M.; BETTINE, S. C. Use of geomembranes in the reservation of rainfall. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10., **Anais[...]** São Paulo: UFS. 2015.

DEUSDARÁ, C. E. C.; LIMA, J. C. W. **Mensagem à Câmara Municipal de Fortaleza. Mensagem à Câmara Municipal.** Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2022.

DORES, G. H. S.; VALENTE, C. O.; GUATIMOSIM, E. Estufas de baixo custo aplicadas à produção de hortaliças pela agricultura familiar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 1-6, 2020.

EL TUGOZ, J.; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2017.

FEITOSA, E. R.; YADA, M. M.; SOARES, N. M. Uso de cisternas na captação da água da chuva para uso animal. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 305-314, 2018.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst geomorphology and hidrology**. London: Unwin Hyman, 1989.

FREITAS, F. T. O. et al. Consumo hídrico de alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT com águas salobras. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SALINITY & BRAZILIAN MEETING ON IRRIGATION ENGINEERING, 2., Fortaleza. **Anais[...]** Fortaleza: INOVAGRI, 2014.

FREITAS, F. T. O.; SOARES, T. M.; SILVA, M. G.; RAFAEL, M. R. S. Cultivo de alface sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas em sistemas hidropônicos usando água salobra. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 67-96, 2021.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 2, n. 481, p. 777-778, 1999.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 1999. 52p. Boletim Técnico, 180.

FURTADO, G. F. **Cultivo de pimentão hidropônico utilizando água com diferentes qualidades: salobra, residuária e de chuva**. 2019. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

GOLDENFUM, J. A. **Reaproveitamento de águas pluviais**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, v. 1, n. 2, p. 1-14, 2006.

GUIMARÃES, M. J. M.; LOPES, I. Análise da precipitação do município de Cruz das Almas através da técnica de quantis. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 25., **Anais[...]** São Cristóvão: UFS. 2015.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HINDI, E. C.; ROSA FILHO, E. F.; LUCENA, L. R. F.; BITTENCOURT, A. V. L.; MANTOVANI, L. E.; XAVIER, J. M.; NADAL.; GIUSTI, D. A. Características hidrogeológicas do aquífero cárstico em Colombo (PR) e impactos ambientais resultantes da sua exploração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. 2002, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo, 2002.

HOLANDA, R. M.; PAZ, Y. M. Cisternas de placa. In: EL-DERI, S. D. (org.). **Tecnologias sociais para a sustentabilidade**. Recife: EDUFRPE, 2016, p. 37-41.

HUSSAIN, A.; IQBAL, K.; AZIEM, S.; MAHATO, P.; NEGI, A. K. A review on the science of growing crops without soil (soilless culture) – a novel alternative for growing crops. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 7, n. 11, p. 833-842, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cruz das Almas**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/cruz-das-almas.html>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de nomes geográficos**. Rio de Janeiro: IBGE, 399 p. v. 1, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv56282>>.pdf. Acesso em: 15 mai. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Juazeiro**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/juazeiro/panorama>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Senhor do Bonfim**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/senhor-do-bonfim/panorama>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ICV – Instituto Centro de Vida. **Estufas aumentam a produção e a renda de agricultores familiares em MT**. Cuiabá, 2019. Disponível em: <<https://www.icv.org.br/2019/03/estufas-aumentam-a-producao-e-a-renda-de-agricultores-familiares-em-mt/>>. Acesso em: 30 jul. 2022.

IRITANI, M. A.; FERREIRA, L. M. R; FERNANDES, A. J.; EZAKI, S. **Projeto ambiental estratégico aquíferos: síntese das atividades período 2007/2010**. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 146 p.

JAN, I. Socio-Economic Determinants of Farmers' Adoption of Rainwater Harvesting Systems in Semi-Arid Regions of Pakistan. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Ashrafi Esfahani Hwy, v. 22, n. 2, pág. 377-387, 2020.

KHAN, A. S.; SILVA, M. J. N.; SOUSA, E. P.; LIMA, P. V. P. S. Tecnologias de reaproveitamento de água: Impactos na Renda e na Sustentabilidade Agrícolas de Agricultores Familiares no Município de Iguatu–Ceará, Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 34, n. 1, p. 25-42, 2021.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Investment evaluation of rainwater tanks. **Water resources management**, v. 25, n. 14, p. 3769-3784, 2011.

KIGGUNDU, N.; WANYAMA, J.; MFITUMUKIZA, D.; TWINOMUHANGI<sup>2</sup>, R.; BARASA, B.; KATIMBO, A.; KYAZZE, F. B. Rainwater harvesting knowledge and practice for agricultural production in a changing climate: A review from Uganda's perspective. **Agricultural Engineering International**, v. 20, n. 2, pág. 19-36, 2018.

KITE, G. W. Frequency and risk analyses in hydrology. 5.ed. Highlands Ranch, Colorado: **Water Resources Publications**, 1988. 257p.

LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. T., GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 221-230, 2009.

LEGRAND, H. E.; LAMOREAUX, P. E. Hydrogeology and hydrology of karst. In: BURGER, A.; DUBERTRET, L. **Hydrogeology of karstic terrains**, (Ed.), Paris: IAH, 1975.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SOARES, H. R.; WILLADINO, L. G. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 13-19, 2018.

LONDRA, P. A.; GKOLFINOPOULOU, P.; MPONOU, A.; THEOCHARIS, A. T. Effect of rainfall regime on rainwater harvesting tank sizing for greenhouse irrigation use. **Hydrology**, v. 9, n. 7, p. 1-14, 2022.

LONDRA, P.A.; KOTSATOS, I. E.; THEOTOKATOS, N.; THEOCHARIS, A.T.; DERCAS, N. Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Tanks for Irrigation Use in Greenhouse Agriculture. **Hydrology**, v. 8, n. 132, p. 1-16, 2021.

LYNN, N. S.; HENRY, C. S.; DANDY, D. S. Evaporation from microreservoirs. **Lab on a Chip**, v. 9, n. 12, p. 1780-1788, 2009.

MANDAL, S.; VEMA, V. K.; KURIAN, C. SUDHEER, K. P. Improving the crop productivity in rainfed areas with water harvesting structures and deficit irrigation strategies. **Journal of Hydrology**, v. 586, p. 124818, 2020.

MANNICH, M.; KAVISKI, E; MINE, M. R. M. Regularização de vazões intra-anual: comparação de métodos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais[...]** Maceió: ABRH, 2011.

MARANGON, M.; MARQUES, J. A. P.; NUNES, R. C. P. **Uma Solução Alternativa para Revestimentos e Contenção de Taludes em Vias Públicas Urbanas**. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 17, 2011, Porto Alegre. **Anais[...]** Porto Alegre, 2011.

MARTÍNEZ, F.; CASTILLO, S.; BORRERO, C.; PÉREZ, S.; PALENCIA, P.; AVILÉS, M. Effect of different soilless growing systems on the biological properties of growth media in strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 59-64, 2013.

MODESTO, F. J. N.; SANTOS, M. Â. C. M.; SOARES, T. M.; SANTOS, E. P. M. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**, v.24, n. 1, p. 86-97, 2019.

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

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.

NASCIMENTO, W. M.; MELO, P. C. T. Panorama da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS, 11., 2011, Porto Alegre. **Palestras...** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.

NEARING, M.A.; DEER-ASCOUGH, L.; LAFLEN, J.M. Sensitivity analysis of the WEPP hillslope profile erosion model. **American Society of Agricultural Engineers**, v.3, n. 33, p. 839-849, 1990.

NGUYEN, T. P. D.; LU, N.; KAGAWA, N.; TAKAGASI, M. Optimization of Photosynthetic Photon Flux Density and Root-Zone Temperature for Enhancing Secondary Metabolite Accumulation and Production of Coriander in Plant Factory. **Agronomy**, v. 9, n. 5, p. 1-14, 2019.

NÓBREGA, R. D.; VIEIRA, A. S.; MEDEIROS, A. C.; MOREIRA, A. R.; MARACAÇA, P. B. Viabilidade técnica-financeira do aproveitamento de água pluvial para a produção de alface-crespa (*Lactuca sativa* L.) no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. **Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 01-13, 2019.

NOGUEIRA, D. Segurança hídrica, adaptação e gênero: o caso das cisternas para captação de água de chuva no semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 3, p. 22-36, 2017.

ORSINI, F.; MICHELON, N.; GIANQUINTO, G. P. **Simplified soilless systems for urban vegetable production**. Hortis - Horticulture in towns for inclusion and socialisation: Italy, 2018. 49p.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L.; LA BARBERA, P. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, 2011, v. 401, n. 1, p. 65-76.

PÉRICO, G. **Avaliação estocástica dos efeitos de reservatórios na expansão de um sistema hidrelétrico**. 2014. 175 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: USP, 2000. 540 p.

REIS, F. S.; SOUZA, S. O. Compartimentação geomorfológica da área urbana do município de Senhor do Bonfim–BA enquanto subsídio ao planejamento do uso e ocupação. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 25, n. 35, p. 1-21, 2021.

RIBEIRO, L. P. **Os latossolos amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Seplante - CADCT, 1998.

RICARDO, T. F.; RODRÍGUEZ, G. C.; OLIVEIRA, G. M. **Vantagens do uso da cisterna para o aproveitamento de água da chuva em comunidades periféricas: um caso na cidade de Pelotas/RS**. In: CONGRESSO DE EXTENSÃO E CULTURA, 6., 2019, Pelotas. **Anais[...]** Pelotas: UFPEL, 2019.

RHOADES, J. S.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de GHEYI, H. R.; SOUZA, J.; QUEIROZ, J. E. Capina Grande: UFPB, 2000, 117p.

RODRIGUES, L. R. F. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

RODRIGUES, M. G. F.; NACIF, P. G. F.; COSTA, O. V.; OLSZEWSKI, N. Solos e suas relações com as paisagens naturais no município de Cruz das Almas-BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, p. 193-205, 2009.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F; SINGH, V. P. Estimated Per Capita Water Usage Associated with Different Levels of Water Scarcity Risk in Arid and Semiarid Regions. **Water Resources Management**, v. 30, n. 4, p.1311-1324, 2016a.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F; SINGH, V. P. Cistern Project for domestic water use in Semi-Arid Regions. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 5, n. 3, p. 695-702, 2016b.

SANTIAGO, E. J. P.; OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B.R.; MOURA, M. S. B.; GONÇALVES, I. S. Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Juazeiro, BA. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 457-464, 2017.

SANTOS, M. S. C.; OLIVEIRA, G. E. Análise financeira em uma empresa familiar de hidroponia. In: RODOWANSKI, I. J.; OLIVEIRA NETO, J. S.; CAMPOS, J. P.; FERREIRA, R. M. S. (orgs.). **Estudos em Ciências Exatas e Tecnológicas**. Cruz das Almas: EDUFRB, 2021. p. 125 – 141.

SANTOS, M. J. Programa Um Milhão de Cisternas Rurais – **Proposição de um sistema de indicadores de avaliação de sustentabilidade SIAVS-P1MC**. 2010. 221 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; SÁ, T. S.; SILVA, V. P.; CARVALHO, A. J. A.; SANTOS, D. B.; SILVA, T. S. M. Uso de água captada de chuva para produção de alface irrigada por sistemas de irrigação de baixo custo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., Paraíba. **Anais[...]** Campina Grande, p. 09-12, 2012.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; SÁ, T. S.; SILVA, V. P.; CARVALHO, A. J. A.; SANTOS, D. B. Captação de água da chuva para produção de alface irrigada com sistemas de baixo custo. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DA CHUVA, 9., Feira de Santana. **Anais[...]** Feira de Santana, p. 10-20, 2014a.

SILVA, D. P. **Modelo para dimensionamento de sistemas de drenagem de superfície em estradas não pavimentadas**. 2011. 132 p. (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SILVA, E. C. **Caracterização de nascentes da sub-bacia do Rio Barrocas, município de Senhor do Bonfim, Bahia**. 2015. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, M. G. **Coentro hidropônico sob diferentes condições de cultivo relacionadas à solução nutritiva: temperatura, salinidade e recirculação**. 2019. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTANA, G. O.; PINHO, J. S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 547-552, 2018.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R. Production of coriander using hydroponic technique. In: Ramadan, M. F. (ed.). **Handbook of coriander (*Coriandrum sativum*) chemistry, functionality and applications**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2022. No prelo.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; COSTA, I. P.; VASCONCELOS, R. S. Growth, production and water consumption of coriander grown under different recirculation intervals and nutrient solution depths in hydroponic channels. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 4, p. 281-294, 2020.

SILVA, M. G.; SILVA, C. C. P.; COVA, A. M. W.; GHEYI, H. R.; SOARES T. M. Experiências com o uso de águas salobras em hidroponia no Nordeste brasileiro. In: CERQUEIRA, P.R. S.; LACERDA, C.F.; ARAÚJO, G. G. L.; GHEYI, H. R.; SIMÕES, W. L. **Agricultura irrigada em ambientes salinos**. Brasília: CODEVASF, p. 290-321, 2021.

SILVA, N. L.; MARTINS, N. T. L.; GONÇALVES, A. L. Escassez hídrica: hidroponia como alternativa na produção de alimentos. In: JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, 6., Palmas, 2015. **Anais[...]** Palmas, 2015.

SILVA, R.; THIEL, A. A.; LINO, S. R. L.; SOUZA, M. Reúso de água com enfoque na produção da agricultura familiar. **Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense**, v.2, n. 3, p.37-41, 2014b.

SILVA JÚNIOR, F. J. **Estratégias de uso de águas salobras no cultivo da cebolinha em hidroponia de baixo custo**. 2017. 67 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2017.

SINGH, K.G.; SHARDA, R.; SINGH, A. Harvesting rainwater from greenhouse rooftop for crop production. **Agricultural Research Journal**, v. 56, n. 3, p. 493-502, 2019.

SOARES, C. S.; SILVA, J. A.; SILVA, G. N. Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, n. u, p. 1-5, 2017.

SOARES, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semiárido brasileiro**. 2007. 267p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

TEIXEIRA, A. H. C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Embrapa Semiárido – Petrolina, PE. (INFOTECA - E). 2010.

TOLOSSA, T. T.; ABEBE, F. B.; GIRMA, A. A. Rainwater harvesting technology practices and implication of climate change characteristics in Eastern Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2020.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2003.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, s/n, p. 1-18, 2021.

VELASCO-MUÑOZ, J.; AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; FUENTE, A. B. D.; FIDELIBUS, M. D. Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. **Water**, v. 11, n. 7, p. 1320, 2019.

VERGARA, F. E.; CHIESA, V.; COSTA, C.; OLIVEIRA, R. M.; DIAS, R.; MACIEL, CIRLENE. Aplicabilidade do modelo matemático SAD-IPH na análise de processos de outorga: o caso da Bacia do Ribeirão **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, s/v, n. 21, p. 208-234, 2021.

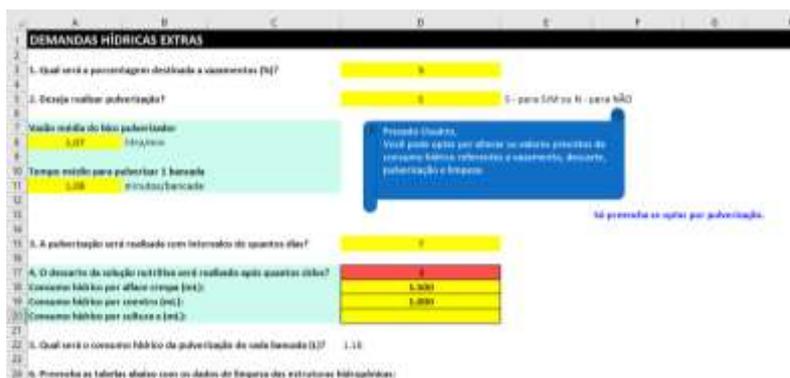
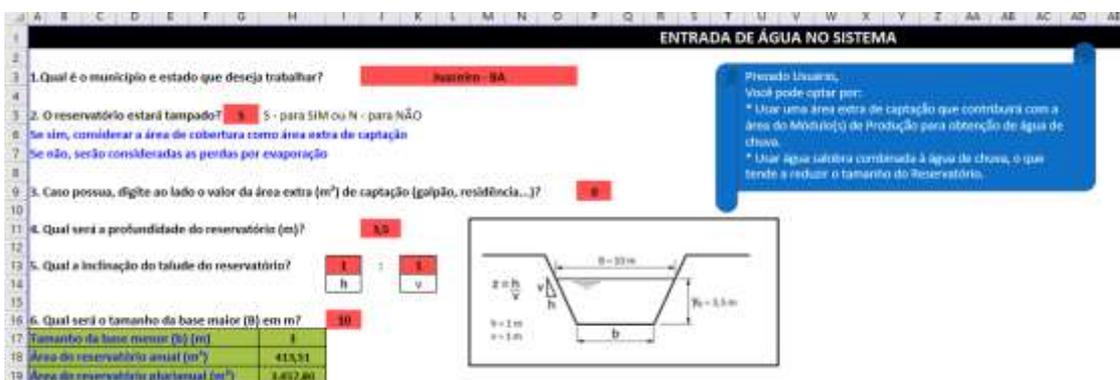
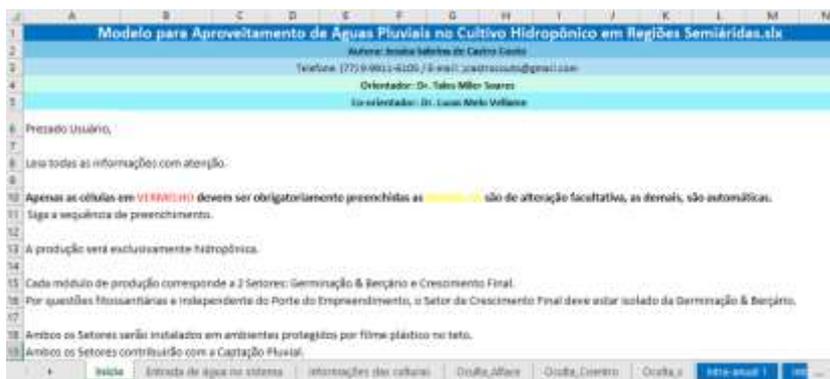
VIANA, P. C. **Eficiência do uso de águas salobras no cultivo hidropônico da couve-folha**. 2017. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

VIEIRA, J. P. G.; SOUZA, M. J. H.; TEIXEIRA, J. M.; CARVALHO, F. P. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 762-767, 2010.

WOLTERS DORF, L.; LIEHR, S.; DÖLL, P. Rainwater harvesting for small-holder horticulture in Namibia: Design of garden variants and assessment of climate change impacts and adaptation. **Water**, v. 7, n. 4, p. 1402-1421, 2015.

ZEN, H. D.; BRANDÃO, J. B. Competitividade da produção hidropônica de hortaliças folhosas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 115, 2019.

# APÊNDICE A



# APÊNDICE B

Cultura 6															
GERMINAÇÃO			BOTAÇÃO 1		BOTAÇÃO 2		BOTAÇÃO 3		BOTAÇÃO 4		Submódulo 1		Submódulo 2		
Dia	RF de plantas	Consumo (mL)	Dia	Consumo (mL)	RF de plantas	Consumo (mL)	RF de plantas	Consumo (mL)	RF de plantas	Consumo (mL)	CRESCIMENTO FINAL 1	CRESCIMENTO FINAL 2	Dia	Consumo (mL)	
1	1725	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1725	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
3	1725	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
4	1725	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
5	1725	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
6	1725	1	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
7	1725	2	7	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
8	2450	2	8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
9	2450	2	9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
10	2450	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
11	2450	0	11	1309	16	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
12	2450	0	12	1328	16	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
13	2450	0	13	1328	16	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
14	2450	0	14	1328	16	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
15	2450	0	15	1309	16	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0

RESULTADOS - Reservatório de regime pluviométrico											RESULTADOS - Reservatório de regime anual											
O volume do reservatório (em m³) é de: 7.866,50											O volume do reservatório (em m³) para o Tj de 5 anos é de: 482,73											
It	Pluviosidade (mm)	Volume precipitado (m³)	Volume evaporado (m³)	Volume demandado (m³)	Volume de água salobra (m³)	Volume requerido de água de chuva (m³)	Demanda extra por chuva (m³)	Demanda acumulada (m³)	Volume armazenado (m³)	Volume disponível (m³)	It	Pluviosidade (mm)	Volume precipitado (m³)	Volume evaporado (m³)	Volume demandado (m³)	Volume de água salobra (m³)	Volume requerido de água de chuva (m³)	Demanda extra por chuva (m³)	Demanda acumulada (m³)	Volume armazenado (m³)	Volume disponível (m³)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RESULTADOS										
3	Volume do reservatório intra-anual (m³)	Sem área do reservatório	940,73							
4	Volume do reservatório pluviométrico (m³)	reservatório	7.866,50							
5	Volume precipitado total (m³)		2.444,89							
6	Volume demandado total (m³)		10.276,94							
7	Volume total de água salobra (m³)		0,00							
8	Volume total requerido de água de chuva (m³)		10.276,94							
9	Não é possível atender a todo o plano de demandas									
11	Volume do reservatório intra-anual (m³)	Com área do reservatório	774,98							
12	Volume do reservatório pluviométrico (m³)		2.421,89							
13	Volume precipitado total (m³)		13.460,11							
14	Volume demandado total (m³)		10.276,94							
15	Volume total de água salobra (m³)		0,00							
16	Volume total requerido de água de chuva (m³)		10.276,94							

Operação do reservatório (em m³)	Condição 1.1	Condição 1.1	Condição 2.2
Aporte (Pluviométrico)	0,00	0,00	0,00
Extracção (Pluviométrico)	-	0,00	0,00
Aporte (Intra-anual)	-	7.525,82	7.525,82
Extracção (Intra-anual)	824,73	-	228,40

Operação do reservatório (em m³)	Condição 1.1	Condição 1.1	Condição 2.2
Aporte (Pluviométrico)	0,00	-	-
Extracção (Pluviométrico)	1.150,26	-	-
Aporte (Intra-anual)	3.294,30	-	-
Extracção (Intra-anual)	6.020,41	-	-

Volume precipitado

Volume consumido

Volume de água salobra

Volume requerido de água de chuva

**ANEXO A1.** Relação de poços do município de Juazeiro – BA com salinidade cadastrada na Plataforma SIAGAS da CPRM

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Fazenda Olho D'Água	2900003196	0,19	0,11	Água doce
Sítio do Sacramento	2900003316	3,24	1,91	Água salobra
Mari	2900003317	6,82	4,01	Água salobra
Firmeza	2900003318	0,82	0,48	Água doce
Paredão	2900003319	1,34	0,79	Água salobra
Serra Negra	2900003320	0,48	0,28	Água doce
Povoado Umbuzeiro	2900003332	0,31	0,18	Água doce
Povoado Altamira	2900003337	0,65	0,38	Água doce
Fazenda Angical	2900003340	5,81	3,42	Água salobra
Povoado Abóboras	2900003341	1,61	0,95	Água salobra
Povoado Pinhões	2900003344	0,16	0,09	Água doce
Fazenda Itaci	2900006783	2,28	1,34	Água salobra
Umburana	2900006911	4,87	2,86	Água salobra
Fazenda Pedra da Onça	2900006912	3,53	2,08	Água salobra
Povoado Campo Grande	2900006913	5,87	3,45	Água salobra
Fazenda Caixão	2900006914	2,42	1,42	Água salobra
Povoado Gangorra	2900006957	4,26	2,51	Água salobra
Povoado Passarinho	2900006958	1,65	0,97	Água salobra
Mina	2900006959	0,78	0,46	Água doce
Mudubim	2900006960	1,43	0,84	Água salobra
Povoado Juremal II	2900006961	1,56	0,92	Água salobra
Povoado Junco	2900006962	4,20	2,47	Água salobra
Povoado Ocrem	2900006968	17,50	10,29	Água salobra
Povoado Serrote Branco	2900006969	1,61	0,95	Água salobra
Fazenda Serra dos Alquideres (Badeço)	2900006970	1,31	0,77	Água salobra
Serra da Madeira	2900006971	2,55	1,50	Água salobra
Saquinho dos Gonçalves	2900006972	7,43	4,37	Água salobra
Povoado Santa Teresinha	2900006973	4,15	2,44	Água salobra
Povoado Horto Salitre	2900006974	2,03	1,19	Água salobra
Povoado Alfavaca	2900006975	4,77	2,81	Água salobra
Povoado Alfavaquinha	2900006975	2,38	1,40	Água salobra
Povoado Baraúnas II	2900006976	2,74	1,61	Água salobra
Povoado Barbeiro	2900006977	1,15	0,68	Água salobra
Povoado Curral Novo	2900006978	16,25	9,56	Água salobra
Fazenda Barão	2900006979	1,95	1,14	Água salobra
Mulungu	2900006980	5,00	2,94	Água salobra
Vermelho dos Araújo	2900006981	1,66	0,98	Água salobra
Poço da Pedra	2900006982	5,00	2,94	Água salobra
Povoado Aldeia	2900006984	2,85	1,68	Água salobra
Povoado Alfavaquinha	2900006986	10,08	5,93	Água salobra
Tapera	2900006987	0,94	0,55	Água salobra

## ANEXO A1 – Continuação

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Povoado Pau-Preto	2900006988	2,20	1,29	Água salobra
Fazenda Marruá	2900006990	0,44	0,26	Água doce
Povoado Açude de Rancharia	2900006991	0,54	0,32	Água doce
Limoeiro	2900006992	7,50	4,41	Água salobra
Povoado Jacaré	2900006995	1,81	1,07	Água salobra
Povoado Lagoa das Pedras dos Grilos	2900006996	21,25	12,50	Água salobra
São Pedro	2900006997	2,13	1,25	Água salobra
Fazenda São Pedro	2900006998	0,77	0,45	Água doce
Fazenda Lagoinha	2900006999	4,90	2,88	Água salobra
Povoado Lagoa de Boi	2900007000	9,38	5,51	Água salobra
Povoado Cipó	2900007001	0,67	0,39	Água doce
Fazenda Baraúna	2900007003	5,45	3,21	Água salobra
Povoado Angico	2900007004	4,25	2,50	Água salobra
Fazenda Malhada D'Água	2900007005	2,27	1,34	Água salobra
Juremal	2900007140	6,00	3,53	Água salobra
Fazenda Pau-Ferro/Lagoinha/Poços	2900007141	4,93	2,90	Água salobra
Barra Bonita	2900007143	1,30	0,76	Água salobra
Fazenda Buquerão	2900015466	1,12	0,66	Água salobra
Povoado Juá	2900015467	3,78	2,22	Água salobra
Fazenda Juá	2900015468	4,53	2,66	Água salobra
Fazenda Buquerão	2900015469	0,68	0,40	Água doce
Sítio Buquerão	2900015470	0,74	0,44	Água doce
Fazenda Monte Alegre	2900017319	0,85	0,50	Água salobra
Povoado Campo Verde	2900017599	5,60	3,29	Água salobra
Povoado Fazenda Santana	2900017600	3,28	1,93	Água salobra
Tapera	2900017601	1,44	0,85	Água salobra
Fazenda Tapera	2900017602	3,73	2,19	Água salobra
Fazenda Tapera	2900017603	1,84	1,08	Água salobra
Fazenda Alfavaca	2900017606	0,90	0,53	Água salobra
Fazenda Ocrem	2900017607	8,97	5,28	Água salobra
Fazenda Boa Vista	2900017608	2,65	1,56	Água salobra
Sítio Boa Vista	2900017609	3,01	1,77	Água salobra
Fazenda Nova Jerusalém	2900017610	2,25	1,32	Água salobra
Sítio São Gonçalo	2900017613	0,95	0,56	Água salobra
Sítio São Gonçalo / Favela	2900017614	1,82	1,07	Água salobra
Fazenda Papagaio	2900017615	1,50	0,88	Água salobra
Fazenda Soledade	2900017619	3,41	2,01	Água salobra
Povoado Veneza	2900017620	3,50	2,06	Água salobra
Fazenda Pedra do Meio	2900017621	0,65	0,38	Água doce
Carnaíba do Sertão	2900017622	0,76	0,45	Água doce
Fazenda Pedra do Meio	2900017623	1,30	0,76	Água salobra
Fazenda Bala	2900017624	1,15	0,68	Água salobra
Fazenda Mulungu	2900017626	2,37	1,39	Água salobra

## ANEXO A1 – Continuação

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Fazenda Alto Bonito	2900017628	11,33	6,66	Água salobra
Fazenda Alfavaquinha	2900017629	3,44	2,02	Água salobra
Fazenda Santana da Caatinga	2900017631	2,82	1,66	Água salobra
Fazenda de Santana da Caatinga	2900017632	2,84	1,67	Água salobra
Fazenda Canaã (Carnaúba)	2900017634	0,84	0,49	Água doce
Chácara Carnaíba	2900017636	0,89	0,52	Água salobra
Chácara Carnaíba	2900017637	1,09	0,64	Água salobra
Sítio Patrícia	2900017639	0,29	0,17	Água doce
Comunidade Serra dos Espinhos	2900017640	3,06	1,80	Água salobra
Fazenda Delgado	2900017641	3,42	2,01	Água salobra
Fazenda Carnaíba	2900017643	1,31	0,77	Água salobra
Fazenda Paraíso	2900017644	6,44	3,79	Água salobra
Fazenda Juremal	2900017646	1,35	0,79	Água salobra
Fazenda São José	2900017647	1,53	0,90	Água salobra
Sítio Santa Terezinha	2900017649	1,02	0,60	Água salobra
Fazenda Fortaleza	2900017650	4,16	2,45	Água salobra
Fazenda Mudubim	2900017651	1,43	0,84	Água salobra
Fazenda Serra da Cátia	2900017652	1,95	1,15	Água salobra
Fazenda Mulambar I	2900017653	1,29	0,76	Água salobra
Açude Juremal	2900017654	2,27	1,34	Água salobra
Povoado Canoa	2900017655	8,63	5,08	Água salobra
Fazenda Água Branca	2900017656	13,72	8,07	Água salobra
Fazenda Barão	2900017660	0,95	0,56	Água salobra
Fazenda Baixão	2900017661	0,95	0,56	Água salobra
Povoado Olho D'Água	2900017662	1,08	0,64	Água salobra
Fazenda Riacho do Meio	2900017663	1,89	1,11	Água salobra
Fazenda Vertente	2900017664	1,34	0,79	Água salobra
Fazenda Monte Alegre	2900017665	1,11	0,65	Água salobra
Fazenda Trindade	2900017666	1,09	0,64	Água salobra
Povoado Olho D'Água	2900017667	1,82	1,07	Água salobra
Fazenda Juremal	2900017668	7,35	4,32	Água salobra
Povoado Roça Grande	2900017669	11,15	6,56	Água salobra
Arapuã Velho (Fazenda)	2900017670	1,00	0,59	Água salobra
Fazenda Tanque de Tulina	2900017687	0,45	0,27	Água doce
Tanque Novo II (Rancharia)	2900017688	1,61	0,94	Água salobra
Fazenda Manoel Joaquim	2900017689	8,61	5,06	Água salobra
Fazenda Lagoa das Pedras	2900017690	1,88	1,10	Água salobra
Fazenda Tanque Novo II	2900017692	4,59	2,70	Água salobra
Sítio Tanque Novo	2900017694	6,30	3,71	Água salobra
Fazenda Caraibinha	2900017696	4,39	2,58	Água salobra
Fazenda São Fidelis	2900017697	0,65	0,38	Água doce
Fazenda São Fidelis	2900017699	1,56	0,92	Água salobra
Sítio Serra Negra	2900017700	1,03	0,61	Água salobra

## ANEXO A1 – Continuação

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Fazenda São Domingos	2900017701	7,49	4,41	Água salobra
Povoado Mulungu	2900017703	7,60	4,47	Água salobra
Povoado Salina	2900017705	3,23	1,90	Água salobra
Povoado Salina II	2900017706	4,53	2,66	Água salobra
Riacho do Sítio	2900017707	5,15	3,03	Água salobra
Povoado Umburana	2900017708	0,85	0,50	Água salobra
Fazenda Juramento II	2900017709	16,91	9,95	Água salobra
Lagoa dos Porcos (Povoado)	2900017711	5,67	3,34	Água salobra
Fazenda Serra Azul	2900017713	4,41	2,59	Água salobra
Fazenda Serra Azul	2900017714	7,14	4,20	Água salobra
Fazenda Serra Azul	2900017715	1,48	0,87	Água salobra
Fazenda Serra Azul	2900017716	3,42	2,01	Água salobra
Rodeador	2900017717	11,26	6,62	Água salobra
Canoa	2900017718	7,63	4,49	Água salobra
Sítio	2900017719	6,05	3,56	Água salobra
Santana	2900017720	7,61	4,48	Água salobra
Baraúna	2900017722	1,80	1,06	Água salobra
Sítio Barreiro	2900017723	1,71	1,00	Água salobra
Povoado Tatu	2900017724	1,05	0,62	Água salobra
Fazenda Poço do Cambão	2900017725	3,13	1,84	Água salobra
Fazenda Logradouro	2900017726	6,91	4,06	Água salobra
Sítio Barreiro	2900017727	1,71	1,00	Água salobra
Arapuã	2900017728	2,28	1,34	Água salobra
Sertãozinho	2900017729	4,46	2,62	Água salobra
Sertãozinho	2900017730	3,42	2,01	Água salobra
Baixo do Angico	2900017732	1,80	1,06	Água salobra
Cacimba do Silva	2900017733	2,43	1,43	Água salobra
Cacimba do Silva	2900017734	1,57	0,92	Água salobra
Cacimba do Silva	2900017735	2,14	1,26	Água salobra
Lagoa dos Cavalos	2900017736	2,21	1,30	Água salobra
Riacho do Mari	2900017738	6,10	3,59	Água salobra
São José	2900017739	0,69	0,40	Água doce
Serra Preta	2900017740	2,75	1,62	Água salobra
Jaramataia	2900017741	4,14	2,44	Água salobra
Lealdade	2900017744	0,62	0,36	Água doce
Vermelho dos Costa	2900017745	1,00	0,59	Água salobra
Vermelho dos Araújo	2900017746	1,36	0,80	Água salobra
Firmeza	2900017748	1,26	0,74	Água salobra
Jaburu	2900017749	5,58	3,28	Água salobra
Recreio	2900017750	2,41	1,42	Água salobra
Campo Formoso	2900017751	0,84	0,49	Água doce
Caraibeira	2900017752	1,21	0,71	Água salobra
Caraibeira	2900017753	2,38	1,40	Água salobra

## ANEXO A1 – Continuação

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Boa Sorte	2900017754	0,78	0,46	Água doce
Boa Sorte	2900017755	1,05	0,62	Água salobra
Saco da Mina	2900017756	8,17	4,81	Água salobra
Rancho Velho	2900017757	0,78	0,46	Água doce
Sítio São José	2900020285	1,76	1,04	Água salobra
Fazenda Lagoa do Angico I	2900020290	1,45	0,85	Água salobra
Sítio São José (Lagoa do Angico)	2900020291	1,85	1,09	Água salobra
Lagoa do Boi II	2900021891	18,19	10,70	Água salobra
Vereda do Meio / Córrego	2900022159	3,12	1,84	Água salobra
Manoel Patrício	2900022162	3,56	2,09	Água salobra
Juramento	2900022163	8,10	4,76	Água salobra
Juá	2900022164	7,21	4,24	Água salobra
Paredão	2900024481	0,72	0,42	Água doce
Barra Bonita	2900031348	2,00	1,18	Água salobra
Fazenda Bastião	2900031351	4,47	2,63	Água salobra
Lagoinha (Distrito de Massaroca)	2900031353	0,02	0,01	Água doce
Mulungu	2900031356	4,36	2,56	Água salobra
Serra do Badeca (Distrito de Pinhões)	2900031358	2,89	1,70	Água salobra
Umbuzeiro	2900031359	1,93	1,14	Água salobra
Policlínica de Juazeiro	2900032318	1,55	0,91	Água salobra

**Fonte:** Adaptado da CPRM, 2021.

\*(BRASIL, 2005)

**Anexo A2.** Relação de poços do município de Senhor do Bonfim – BA com salinidade cadastrada na Plataforma SIAGAS da CPRM

Localidade	Código	CE (ds m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Convento Missão Sahi	2900004552	0,13	0,08	Água doce
Tijuaçu	2900004558	6,25	3,68	Água salobra
Tanquinho	2900004559	10,00	5,88	Água salobra
Riacho Seco	2900004561	13,00	7,65	Água salobra
Fazenda Pinicapau	2900004562	18,75	11,03	Água salobra
Lagoa da Pedra	2900004563	15,63	9,19	Água salobra
Cidade de Senhor do Bonfim	2900017029	0,11	0,07	Água doce
Estiva	2900017030	0,60	0,35	Água doce
Estádio Pedro Amorim	2900017031	1,12	0,66	Água salobra
Fazenda Cumbi	2900017032	0,14	0,08	Água doce
Fazenda Zumbi	2900016914	2,19	1,29	Água salobra
Barro	2900017017	1,08	0,63	Água salobra
Orfanato São José	2900017027	0,58	0,34	Água doce
Mocó de Cima	2900016904	0,20	0,12	Água doce
Pinicapau III	2900016902	14,52	8,54	Água salobra
Catuaba II / Barro	2900004564	18,75	11,03	Água salobra
Barraca do Faleiro	2900023046	0,28	0,17	Água doce
Curadeira I	2900026951	0,42	0,24	Água doce
Mulungu I	2900026952	0,94	0,55	Água salobra
Assentamento Serra Verde	2900031147	1,59	0,94	Água salobra
Assentamento Serra Verde II	2900031148	0,91	0,54	Água salobra
Fazenda Alto da Boa Vista	2900031150	0,37	0,22	Água doce
Canavieiras	2900031741	0,64	0,38	Água doce

**Fonte:** Adaptado da CPRM, 2021.

\*(BRASIL, 2005)

**Anexo A3.** Relação de poços do município de Cruz das Almas – BA com salinidade cadastrada na Plataforma SIAGAS da CPRM

Localidade	Código	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidade (‰)	Classificação CONAMA 357*
Itapora	2900002623	0,41	0,24	Água doce
Cruz das Almas	2900002624	1,16	0,68	Água salobra
Cruz das Almas	2900002625	0,24	0,14	Água doce
Lagoa Seca	2900005376	4,30	2,53	Água salobra
Piabas	2900005607	2,05	1,21	Água salobra
Caminho a II	2900005609	0,59	0,35	Água doce
Umbaubeira	2900005611	17,15	10,09	Água salobra
Tua de Baixo	2900005612	1,00	0,59	Água salobra
Tereza Ribeiro	2900005643	0,17	0,10	Água doce
Tua	2900031604	2,27	1,34	Água salobra
UFRB III	2900022788	0,84	0,49	Água doce
Umbaubeira	2900025017	0,97	0,57	Água salobra
Araças	2900025019	0,82	0,48	Água doce
Tintureiro	2900030795	0,37	0,22	Água doce
Engenho São João	2900024464	1,60	0,94	Água salobra
Tapera/Corta Jaca	2900022783	0,62	0,36	Água doce
Tiririca	2900022784	0,72	0,42	Água doce
UFRB IV	2900022785	0,86	0,50	Água salobra

**Fonte:** Adaptado da CPRM, 2021.

\*(BRASIL, 2005)