UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

MARCELLO HENRYQUE COSTA DE SOUZA

ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL

BOTUCATU – SP

2020

MARCELLO HENRYQUE COSTA DE SOUZA

ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Co orientador: Clóvis Manoel Carvalho Ramos

Linha de Pesquisa: Manejo da Irrigação

BOTUCATU – SP

2020

S729e

Souza, Marcello Henryque Costa de
Estratégias de alocação de água para irrigação no perímetro irrigado pontal sul / Marcello Henryque Costa de Souza. -- Botucatu, 2020
80 p. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Luís Henrique Bassoi
Coorientador: Clóvis Manoel Carvalho Ramos

1. Planejamento agrícola. 2. Semiárido. 3. Modelagem. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL

AUTOR: MARCELLO HENRYQUE COSTA DE SOUZA
ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI
COORIENTADOR: CLOVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Pesquisador Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI
Embrapa Instrumentação / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp - Jaboticabal

Prof. Dr. FERNANDO CAMPOS MENDONÇA
Engenharia de Biossistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Botucatu, 04 de março de 2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente A Deus, porque sem ele presente em minha vida, nada seria possível!!

A minha mãe Luci Maria, por tudo que fez por mim ao longa da minha vida, ajuda, carinho, dedicação, cuidado e muitas outras coisas que no momento não consigo citar.

A minha esposa Roberta, que acima de tudo é uma grande companheira que Deus colocou em meu caminho, obrigado por sempre me incentivar e apoiar, mesmo quando eu mesmo achava que não seria capaz, por lutar sempre ao meu lado e principalmente por me “dar” o maior presente da minha vida (nossa filha Lara) e claro por viver essa “aventura frenética” (como você citou em sua tese) ao meu lado.

A Lara, minha filha, meu maior presente de Deus, por me mostrar o mais verdadeiro amor.

A minha sogra Maria Edilza, que na verdade se tornou uma segunda mãe na minha vida, por todo o carinho, cuidado e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Luis Henrique Bassoi, pela ajuda, compreensão, conselhos e por acreditar em mim, serei eternamente grato ao senhor por todas as oportunidades a mim oferecidas.

Ao meu co orientador, Clóvis Manoel Carvalho Ramos pela ajuda e tempo dedicado.

Aos meus amigos Henrique (já presente desde o mestrado, kkkk) e os que encontrei em Botucatu, Kevim e Regiane, Josiane, Douglas, Golbery, Zildélia. Obrigado por todos os momentos vividos, companheirismo e ajuda mutua durante minha estadia em Botucatu.

A toda minha família e de minha esposa, que também já somos uma só família, pelo apoio e carinho. E em especial a minha “tia” Iraildes, pela grande ajuda com a minha Lara, para que eu e minha esposa pudéssemos concluir nosso trabalho.

Aos meus pets Cristal e Ragnar, por todo carinho e companheirismo.

Ao Departamento de Engenharia Rural e a FCA/UNESP, pela oportunidade de realizar o curso.

Aos professores do curso, que compartilharam todo o conhecimento adquirido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

"Mas graças a Deus, que nos dá a vitória por meio de nosso Senhor Jesus Cristo. Portanto, meus amados irmãos, mantenham-se firmes, e que nada os abale. Sejam sempre dedicados à obra do Senhor, pois vocês sabem que, no Senhor, o trabalho de vocês não será inútil."

1 Coríntios 15:57-58

RESUMO

Diante dos problemas relacionados com a seca no Semiárido, aliada a alterações climáticas e ao aumento populacional, é necessário desenvolver ações de planejamento, estratégias de alocação, manejo e uso adequado da água nos perímetros de irrigação dessa região. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivos: i) determinar a demanda hídrica do perímetro irrigado Pontal Sul em duas maneiras, sendo uma semelhante a utilizada no seu projeto básico, e a segunda utilizando o programa MCID (Modelo Computacional para Suporte à Decisão em Irrigação e Drenagem), considerando períodos de maior demanda, elaborados de acordo com a simulação de diferentes cenários agrícolas; ii) gerar cenários baseados nas condições climáticas locais, para culturas perenes já implantadas na região, e na disponibilidade de água oferecida pelo perímetro irrigado, para definir quais culturas e em que proporções de ocupação da área poderão ser atendidas, com base na capacidade de bombeamento e condução de água do perímetro irrigado; iii) identificar onde, quando e em qual cenário há maior necessidade hídrica. Foram realizados levantamentos de dados, estudos bibliográficos, geração de cenários agrícolas e determinação das demandas na área do perímetro irrigado, para avaliar as condições de fornecimento de água aos lotes irrigados. De acordo com os cenários gerados, constatou-se que o perímetro irrigado Pontal Sul apresenta dados que favorecem a superestimação dos valores de água a serem fornecidos, visando garantir a demanda exigida pelas culturas; entretanto, tal fato não foi suficiente para evitar problemas futuros, quando avaliados os cenários, as condições climáticas desfavoráveis ou de exigência máxima das culturas. Essa constatação foi obtida a partir dos diferentes métodos de estimativa avaliados, demonstrando que em determinadas situações, o sistema de canais do projeto não atenderá a demanda dos cenários avaliados, tanto nos cálculos estimados pelo projeto, como pelo MCID. Portanto, é extremamente necessário o estudo prévio, o planejamento adequado para implantação das culturas e o uso de sistemas de irrigação, diante da inexistência de planejamento para muitos produtores. Dessa forma, o uso dessa metodologia para o planejamento da propriedade agrícola e do perímetro irrigado, pode servir de base para a definição das culturas a serem implantadas, das melhores épocas para poda (clima mais propício). Ademais, a utilização de um sistema de irrigação adequado proporcionará a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento da cultura e o fornecimento ininterrupto ao longo do seu ciclo.

Palavras-chave: Planejamento agrícola. Semiárido. Modelagem.

ABSTRACT

In view of the problems related to drought in the Brazilian semiarid region, together the climate change and population growth, it is necessary to develop planning actions, allocation strategies, management and adequate use of water in the irrigation schemes of that region. Thus, this work had as objectives: i) to determine the water demand of the Pontal Sul irrigation scheme in two ways, one similar to that used in its basic project, and the second using the program MCID (Computational Model to Support Decision in Irrigation and Drainage), considering periods of greater water demand according to the simulation of different agricultural scenarios; ii) to generate scenarios based on local weather conditions for perennial crops already used in that region, and on the water availability offered by the irrigation scheme, to define which crops and in what area proportions, based on the water pumping capacity and delivery from the irrigation scheme; iii) to identify where, when and in which scenario there is a greater water demand. Data surveys, bibliographic reviews, generation of agricultural scenarios and determination of demands in the area of the irrigation scheme were carried out to assess the conditions of water supply to the irrigated grower´s areas. According to the generated scenarios, it was found that the irrigation scheme presents conditions that favor the overestimation of the water values to be supplied, aiming to guarantee the crop water demands; however, this fact was not enough to avoid future problems, when evaluating the scenarios, the unfavorable weather conditions or the maximum crop water demands. This finding was obtained from the different estimation methods evaluated, demonstrating that in certain conditions the channel system will not meet the demand of the evaluated scenarios, either in the calculations estimated by the project or by the MCID. Therefore, a previous study is necessary to adequate planning for selection of crops and the use of irrigation systems, given the lack of planning for many growers. Thus, the use of this methodology for the planning of the grower´s area and the irrigation scheme can be useful as a basis for the selection of crops and best times for pruning (based on weather conditions). In addition, the use of an adequate irrigation system will provide the amount of water needed for the full crop development, and an uninterrupted supply throughout the growing season.

Keywords: Agricultural planning. Semiarid. Modelling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evapotranspiração de referência (ET_0), das culturas sob condições padrão (ETc) e ajustada ($ETc_{ajustada}$)..... 28

Figura 2 - Variáveis de entrada e os dados de saída relacionados ao programa MCID..... 31

Figura 3 - Localização do Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul (Petrolina – PE, 2019)..... 33

Figura 4 - Série histórica (1975 a 2018) da precipitação pluvial em Petrolina, PE..... 36

Figura 5 - Série histórica (1975 a 2018) da evapotranspiração de referência em Petrolina – PE..... 36

Figura 6 - Delimitação das zonas homogêneas de solo e localização dos lotes no Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul..... 47

Figura 7 - Classificação do IAC anual no período estudado (1975 – 2018), para cidade de Petrolina – PE..... 49

Figura 8 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 12..... 52

Figura 9 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 13..... 53

Figura 10 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 15..... 54

Figura 11 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 16..... 55

Figura 12 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 19..... 56

Figura 13 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 21..... 57

Figura 14 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 22..... 58

Figura 15 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 23..... 59
Figura 16 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 24..... 60
Figura 17 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 58..... 61
Figura 18 - Demanda Hídrica (mm/ano) para todas as culturas estudadas..... 64
Figura 19 - Demandas Hídricas anuais estimadas após alteração de kc e épocas de cultivo..... 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos lotes Perímetro irrigado Pontal Sul..... 33

Tabela 2 - Características dos setores de colonização do Perímetro Irrigado Pontal Sul (Petrolina -PE, 2019) 34

Tabela 3 - Médias mensais das características climáticas para o período de 1975 – 2018, para cidade de Petrolina-PE..... 35

Tabela 4 - Classificação do Índice de Anomalias de Chuvas..... 38

Tabela 5 - Culturas e porcentagem de área ocupada no Perímetro Irrigado Pontal Sul..... 39

Tabela 6 - Vazão e lâmina máxima diária de cada estação de recalque (ER) do Perímetro Irrigado Pontal Sul..... 41

Tabela 7 - Evapotranspiração de referência (ET_0, mm) pelo método de Hargreaves adotada para elaboração e dimensionamento do projeto Pontal - Área Sul..... 42

Tabela 8 - Duração dos estádios fenológicos e kc para diferentes culturas utilizadas na simulação dos cenários..... 45

Tabela 9 - Características de solo para cada zona de manejo..... 47

Tabela 10 - Quantificação dos meses de ocorrência do IAC respectivo a qualificação para cada mês no período estudado (1975 – 2018), na cidade de Petrolina – PE..... 49

Tabela 11 - Épocas alternativas para cultivo e kc..... 68

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**19**
2	**REVISÃO DE LITERATURA**	**20**
2.1	**Necessidade da alocação de água**	**20**
2.2	**Fruticultura no Nordeste brasileiro**	**23**
2.3	**Perímetro Irrigado Pontal Sul**	**24**
2.4	**Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)**	**26**
2.5	**Demanda Hídrica**	**26**
2.5.1	Evapotranspiração	27
2.6	**Modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem (MCID)**	**29**
3	**MATERIAL E MÉTODOS**	**31**
3.1	**Localização e características da área**	**31**
3.2	**Características climáticas da área de estudo**	**35**
3.2.1	Índice de Anomalias de Chuvas (IAC)	37
3.3	**Determinação dos cenários**	**37** **38**
3.4	**Cálculo da demanda hídrica em nível de setor de irrigação**	**39**
3.4.1	Dados do Projeto	42
3.4.2	Dados estimados	44
3.5	**Uso do Modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem (MCID)**	**45**
3.5.1	Características de solo da área de estudo	46
4	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	**48**
4.1	**Análise Climática e Índice de Anomalias de Chuva (IAC)**	**48**
4.2	**Cenários Agrícolas**	**51**
4.3	**Demanda estimada pelo MCID**	**64**
4.4	**Estratégia de alocação**	**67**
5	**CONCLUSÕES**	**71**
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	**72**

1 INTRODUÇÃO

O planejamento agrícola busca considerar diferentes variáveis espaciais e temporais, como o uso do solo, disponibilidade e demanda de água, irrigação e suas interações, mais as novas tecnologias, para favorecer a eficiência do uso da água e buscar soluções para os problemas relacionados a escassez hídrica.

Esse cenário, impulsiona o interesse por simulações de demanda, e por otimização de sistemas de irrigação, com o objetivo de desenvolver e implementar a infraestrutura adequada de recursos hídricos e as estratégias de alocação de água.

A irrigação consiste no emprego artificial de água para as culturas, utilizando-se métodos que apresentem melhor desempenho, considerando características de solo e das plantas, além das condições locais (capacidade de atender a necessidade de água a ser aplicada) e financeiras para adquirir os sistemas, contribuindo de forma significativa para o aumento da produção das culturas (OLIVEIRA et al., 2017).

Dessa forma, a agricultura irrigada é importante para o desenvolvimento social e econômico, tanto pelo aspecto de garantia de safra, como pelo ganho de produtividade, que dependendo da cultura, pode alcançar duas ou três safras por ano. Para tanto a atividade necessita do emprego de tecnologias e estratégias, as quais proporcionem o uso adequado da água.

As estratégias visando alocação ótima de água, resultam em benefícios econômicos e ambientais, fornecendo subsídio para seu uso adequado, buscando maximizar o rendimento da produção agrícola (LI et al., 2016).

Corroborando com esse pensamento, a criação de perímetros irrigados, dentre outras finalidades, tem como objetivo principal favorecer o desenvolvimento da região semiárida do Brasil, a partir de áreas planejadas para o implemento da agricultura irrigada, gerando renda e expansão das áreas destinadas a essa atividade.

Portanto, é essencial que nos perímetros irrigados, sejam considerados também, os modelos de alocação de água, que buscam aumentar a relação entre o benefício econômico e a redução na quantidade de água utilizada na irrigação, considerando as estratégias de uso, subsidiando tanto a escolha da cultura, como a definição da época mais adequada para o cultivo, considerando as características da região na qual está inserido.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram:

i. Determinar a demanda hídrica do Perímetro Irrigado Pontal Sul utilizando os dados de projeto e dados pesquisados na literatura e série histórica climática; utilizando o programa MCID (modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem, considerando períodos de maior demanda (críticos), elaborados de acordo com a simulação de diferentes cenários agrícolas;
ii. Gerar cenários baseados nas condições climáticas locais, em culturas perenes e na disponibilidade de água oferecida pelo perímetro irrigado e definir quais culturas e em que proporções de ocupação da área poderão ser atendidas de acordo com a capacidade de bombeamento e condução de água do perímetro irrigado;
iii. Identificar a partir dos dados adquiridos, onde, quando e qual cenário há maior necessidade de água;
iv. Apontar, com base nos cenários simulados e nas estimativas de demanda hídrica, alternativas para melhor alocação e uso da água no perímetro irrigado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Necessidade da alocação de água

A demanda hídrica de algumas regiões, nos dias atuais, já extrapola a quantidade de água disponível. Isso ocorre, entre outros fatores, devido ao aumento populacional contínuo e a consequente necessidade de suprir a população (consumo, agricultura, indústrias, etc.); além disso, as alterações climáticas e poluição das fontes hídricas colaboram ainda mais para a escassez hídrica (SINGH, 2014; TEIXEIRA et al., 2016).

A realocação de recursos hídricos tornou-se um problema de preocupação mundial, devido ao impacto significativo do desenvolvimento econômico, estabilidade social e equilíbrio ecológico. Portanto, a alocação eficiente, equitativa e sustentável da água é vital para as autoridades de gestão da água.

O gerenciamento agrícola da água enfrenta desafios do estresse ambiental ecológico (por exemplo, problemas de escassez de água, pressão dos recursos da terra e alterações climáticas), e existem incertezas entre as diversas atividades nos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos agrícolas (DAVIJANI, et al., 2016; HU et al., 2016; XIE et al., 2018).

No caso das mudanças climáticas, as quais representam sérias ameaças à segurança alimentar global, devido às oscilações entre oferta e demanda de água, o que proporciona uma alteração na distribuição espacial e temporal das chuvas e na disponibilidade de água, fatores que interferem diretamente na produção agrícola (SILVA et al., 2016; KANG et al., 2017).

No caso do Nordeste brasileiro, particularmente na região semiárida, o uso da água é uma questão importante, quando se refere ao seu desenvolvimento social. Porém, a conscientização quanto ao uso racional, por meio do manejo adequado, ainda é um problema, devido principalmente, a falta de planejamento e de gerenciamento dos recursos hídricos, somado ainda às características climáticas (chuvas escassas e alta evapotranspiração), o que infere diretamente na produção de alimentos (CRUZ et al., 2016).

Para a agricultura, em especial em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água é um problema crítico, a irrigação desempenha um papel fundamental na produtividade agrícola, favorecendo o desenvolvimento da cultura, nessas áreas onde geralmente a precipitação é insuficiente para atender a demanda hídrica da cultura.

Faz-se necessário então, verificar a disponibilidade de água e seu uso, por meio do planejamento agrícola adequado, que tradicionalmente baseia-se na necessidade da cultura e na disponibilidade local de água (MOLINOS-SENANTE et al., 2014, HASSAN-ESFAHANI et al., 2015; DAVIJANI, et al., 2016; QUEIROZ et al., 2018).

Segundo Assad (2016), em áreas como a destacada anteriormente, a expansão da irrigação deve ser vista com muita cautela, visto que estas são consideradas como “Áreas com possível conflito de água”, no futuro, podendo ocasionar por exemplo, um conflito entre a irrigação e o abastecimento urbano.

Essa cautela deve-se basear em estudos aprofundados e de planejamento agrícola adequado. O planejamento agrícola busca considerar diferentes variáveis espaciais e temporais, como o uso do solo, demanda de água, irrigação e suas

interações. Assim, tem se buscado cada vez mais melhorar a eficiência de uso da água, visando a aplicação exata, demandada pela cultura ao longo do ciclo. Percebe-se, portanto, que o emprego de novas tecnologias, desempenha um papel fundamental na melhoria da alocação de água para irrigação (HASSAN-ESFAHANI et al., 2015; QUEIROZ et al., 2018).

O emprego de novas tecnologias e a necessidade de melhoria na eficiência do uso da água, juntamente com os problemas relacionados a escassez, ocasionou um maior interesse pela modelagem de otimização de sistemas de irrigação, com o objetivo de desenvolver e implementar a infraestrutura adequada de recursos hídricos e as estratégias de alocação (LI et al., 2016).

Tanto os modelos mais simples, como os matemáticos, baseados no mapeamento espacial, correlacionados com o mapeamento temporal de uma bacia hidrológica, podem fornecer uma adequada estrutura para uma análise interligada dos diferentes elementos relacionados à água, como a demanda da irrigação e dos abastecimentos municipal e industrial.

Esses modelos buscam otimizar, facilitar a análise e o planejamento dos recursos hídricos, e ainda, aliados as tecnologias utilizadas na agricultura, como o uso de dispositivos eletrônicos para o monitoramento contínuo das condições climáticas e do uso de solo, podem proporcionar um manejo da irrigação mais preciso (BERHE et al., 2013).

Estudos para melhorar a alocação de água, estreitam ainda mais a relação entre o benefício econômico e a redução na quantidade utilizada na irrigação, especialmente para regiões áridas. Tais estudos, empregam estratégias funcionais para alcançar um desenvolvimento eficiente, equitativo e sustentável da gestão dos recursos hídricos. O emprego das tecnologias disponíveis, como o uso de imagens de satélites e automação, favorece a estimativa da demanda hídrica de uma determinada cultura (HASSAN-ESFAHANI et al., 2015; LI et al., 2016).

Transferência e alocação eficiente de água, são fundamentais para a mitigação de desastres em períodos de seca. Sendo especialmente importante, quando há diferentes interesses dos múltiplos usuários, e flutuação da oferta e demanda de recursos hídricos, que causam simultaneamente conflitos de espaço e tempo (XU et al., 2016). Dessa forma, as estratégias visando a alocação ótima de água trará benefícios econômicos e ambientais, que influenciam diretamente na produtividade

de água, atualmente um dos fatores mais importantes em se tratando de agricultura irrigada.

A produtividade da água é considerada um dos indicadores para a agricultura de alta eficiência, devido a necessidade de maximizar o rendimento da produção, com alocação mínima de água (ou seja, a produtividade máxima do uso da água), diante do aumento nos problemas de escassez de água para a irrigação (LI et al., 2016).

Entretanto, mesmo os sistemas que dispõe de alta tecnologia, quando geridos de forma inadequada, podem ser tão dispendiosos e improdutivos quanto os sistemas tradicionais, fazendo com que a tecnologia de irrigação gere perdas decorrentes, relacionadas principalmente aos investimentos. Simples ações como um diagnóstico dos problemas de eficiência, podem favorecer as práticas agrícolas e o uso adequado da água (LEVIDOW et al., 2014).

2.2 Fruticultura no Nordeste brasileiro

No Nordeste brasileiro, a fruticultura irrigada, há algumas décadas, se destaca como uma fonte geradora de renda, com elevado potencial agrícola, devido as condições edafoclimáticas favoráveis a produção, durante todo o ano (MEDEIROS et al., 2018).

Essa região tem apresentado resultados expressivos nos últimos anos, tanto em produção, como na geração de empregos e outros elementos que beneficiam as condições de vida da população, tornando a fruticultura irrigada um importante aliado ao crescimento econômico do país (SOBEL e COSTA, 2005).

A partir da década de 90, o Vale do Submédio São Francisco, localizado no nordeste brasileiro, se tornou responsável pela maioria das exportações de frutas do país. Destaca-se o caso da uva, onde a região foi responsável pela exportação de aproximadamente 99,77% da produção nacional no ano de 2013 (JULIÃO et al., 2017), e o da manga, que o qual é responsável por aproximadamente 95% das exportações nacionais (SILVA et al., 2016). Essa região, no ano de 2012, proporcionou a maior receita, oriunda da exportação de manga, em comparação com as demais frutas produzidas no Brasil.

Entretanto devido à grande variabilidade temporal e espacial das precipitações, em conjunto com elevadas taxas de evaporação, são observados longos períodos de

estiagens. Esses períodos ocasionam a redução dos volumes de água disponíveis e, em muitos casos, são agravados pela utilização de forma ineficiente dos recursos hídricos, podendo assim, acarretar prejuízos na produção agrícola (SILVA et al., 2017).

Morote et al. (2019) relacionam que os episódios de mudanças climáticas, podem piorar ainda mais os regimes pluviométricos, principalmente na redução dos índices de chuvas e aumento da sua irregularidade, percebido através dos padrões apresentados nos últimos anos, tornando a escassez hídrica um dos mais desafiadores problemas para região.

Segundo Branco e Barros (2017), houve na região, um incremento de 286% da área de exploração entre as décadas de 70 e 90, graças a implantação dos projetos irrigados, tornando-se um polo de referência nacional em fruticultura irrigada, principalmente na produção de uva, manga, banana, coco, entre outras.

A criação dos perímetros para garantir a expansão agrícola, foi possibilitada devido a utilização da irrigação e das tecnologias envolvidas no sistema de produção. Nos últimos 40 anos as políticas governamentais buscaram incentivar a criação de perímetros irrigados no Nordeste, porém, nem todos esses polos obtiveram sucesso, devido principalmente, a falta de conhecimento técnico por parte dos usuários. Outro fator interveniente, é o número insuficiente de profissionais nas instituições oficiais para assistência técnica aos agricultores (CASTRO, 2012).

A expansão dos perímetros irrigados, traz inúmeros benefícios e também alguns problemas. Segundo Sobel e Costa (2005), a ausência de conhecimento técnico tem acarretado no uso inadequado da água, principalmente pelo não conhecimento dos inúmeros sistemas de irrigação. A falta de conhecimento induz o usuário a utilização de um sistema inadequado para o tipo de cultivo, gerando um efeito cascata que eleva o custo de implantação, faz uso inadequado da água, reduz a produtividade, além de aumentar a possibilidade de escassez hídrica (CASTRO, 2012).

2.3 Perímetro Irrigado Pontal Sul

A criação dos perímetros de irrigação, teve como objetivos fundamentais, favorecer o desenvolvimento das regiões contempladas (economicamente e

socialmente) por meio de investimentos do setor público e/ou privados, para capacitação dos produtores, modernização dos equipamentos e estímulo à produção de culturas com maior rentabilidade (OLIVEIRA et al., 2017; REIS e GUÉNEAU, 2017).

A implantação destes perímetros irrigados busca priorizar áreas que apresentam condições climáticas adversas, visando cumprir o disposto na Política Nacional de Irrigação, contida na Lei Federal nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013 (BRASIL, 2013), que responsabiliza o setor público pela implantação do projeto, de forma a favorecer o desenvolvimento do espaço agrário nacional.

De acordo com Correia (2016), o Projeto Público de Irrigação Pontal encontra-se localizado no Município de Petrolina, estado de Pernambuco, região semiárida, e que já possui infraestrutura logística para exportação dos produtos produzidos na região, o que pode justificar ainda mais o investimento e desenvolvimento do perímetro. Este projeto visa colaborar para o desenvolvimento da região com o emprego da agricultura irrigada, adicionando aproximadamente 7,7 mil ha irrigados ao processo produtivo, incrementando a produção e a produtividade das safras, além de contribuir com a criação de empregos (CODEVASF, 2017).

Este perímetro foi dividido em Norte e Sul, onde 3,7 dos 7,7 mil ha, pertencem ao Pontal Sul. Segundo a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), o perímetro irrigado visa colaborar para o desenvolvimento da região semiárida, considerando a sustentabilidade ambiental, elevando a produção e a produtividade das safras agrícolas, através da agricultura irrigada, propiciando aumento da oferta de alimentos, e novos empregos diretos e indiretos.

A agricultura irrigada nessa região constitui uma atividade importante para o sustento das comunidades rurais, além disso, há ainda um grande potencial para produção de frutas, fato este confirmado pela expansão contínua das áreas irrigadas (TEIXEIRA et al., 2009).

Todo esse desenvolvimento, ocorreu devido ao cultivo de maracujá, goiaba, manga, uva, coco e caju, podendo ainda, serem consorciadas com cultivos anuais de milho, feijão, amendoim, melão, melancia, abóbora, tomate, entre outros (CODEVASF, 2017).

2.4 Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)

Em regiões semiáridas, o conhecimento das condições hídricas é extremamente necessário para o desenvolvimento das estratégias de manejo, para produção agrícola. Essas regiões tem como característica, a irregularidade e sazonalidade das chuvas, o que torna necessário o monitoramento.

Deste modo, estudos a respeito das características pluviométricas de determinada região, em nível mensal ou anual, como intensidade, duração e distribuição das chuvas, são de grande valia para definir períodos de excesso ou déficit hídrico, e a partir deles, determinar a melhor estratégia de cultivo (Queiroz et al., 2018). Costa e Rodrigues (2017), apontam que o monitoramento com o uso de índices climáticos, regionais, é essencial para o desenvolvimento de estratégias visando reduzir ou eliminar os efeitos adversos da seca em áreas agrícolas.

Na região do Nordeste Brasileiro, mais especificamente na região semiárida onde se encontra o Perímetro Irrigado Pontal Sul, a seca pode ser um fator limitante a agricultura irrigada, destaque no cenário nacional. Diante disto, o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), desenvolvido por Rooy (1965), é utilizado por diversos autores, como Alves et al. (2016); Hänsel et al. (2016); Costa e Rodrigues (2017); Silva et al. (2017) e Queiroz et al. (2018), para definir as possíveis severidades positivas ou negativas das anomalias da chuva. Estes autores, utilizaram o IAC como ferramenta para classificar períodos de excesso ou escassez em suas regiões, pois esse índice fornece dados do regime pluviométrico derivado de uma série histórica, para caracterizar sua variabilidade espaço-temporal.

2.5 Demanda Hídrica

O conhecimento da demanda hídrica de qualquer cultura é de grande importância para um desenvolvimento e planejamento adequado. O suprimento hídrico correto, não só favorece a qualidade do produto, mas também ao uso racional da água, elevando a eficiência de sua utilização, e reduzindo os riscos de salinização de alguns solos, principalmente os localizados em regiões áridas e semiáridas (LEVIDOW et al., 2014).

O consumo de água pela planta é baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), que é dependente da estimativa da evapotranspiração de referência de uma cultura hipotética (ET_0) e do coeficiente de cultura (kc), tal que $ETc = kc \times ET_0$ (ALLEN et al., 1998). A ETc representa a perda combinada de água devido à evaporação da superfície do solo e a transpiração da cultura. A estimativa da ETc é um dos métodos mais utilizados para o manejo da irrigação, devido a altas correlações entre kc e o desenvolvimento fenológico da cultura, o que pode representar o consumo de água pela planta. Além disso, o uso da ETc pode facilitar um melhor planejamento da irrigação e a eficiência do uso da água (ROZENSTEIN et al., 2018).

Para Teixeira (2009) uma maneira de se determinar o requerimento hídrico de uma cultura é considerando o seu coeficiente de cultivo (kc), que é encontrado através da razão entre a evapotranspiração (condições locais) e a evapotranspiração de referência (ET_0), obtida em condições ideais de medida, em diferentes fases do cultivo. Dessa forma, a estimativa da necessidade hídrica, nos seus diferentes estágios de desenvolvimento, é decisiva para o planejamento e manejo adequado da água, na agricultura irrigada (TOMAZETTI et al., 2015).

Nesse contexto, a evapotranspiração pode sofrer alterações significativas, em se tratando das condições locais, pois depende de fatores associados ao solo, à planta e à atmosfera. Em regiões semiáridas, essas alterações associadas às mudanças climáticas intensificam o processo de desertificação. Assim, em áreas irrigadas, a gestão da água pode ser melhorada ajustando a tomada de decisão com base nas variáveis meteorológicas mais condicionantes (CARVALHO et al., 2018).

2.5.1 Evapotranspiração

Segundo Varejão-Silva (2000), o termo evapotranspiração corresponde a parcela de água transferida para atmosfera, a partir de superfícies vegetadas, proveniente tanto da evaporação de água existente no extrato do solo, como da transpiração das plantas.

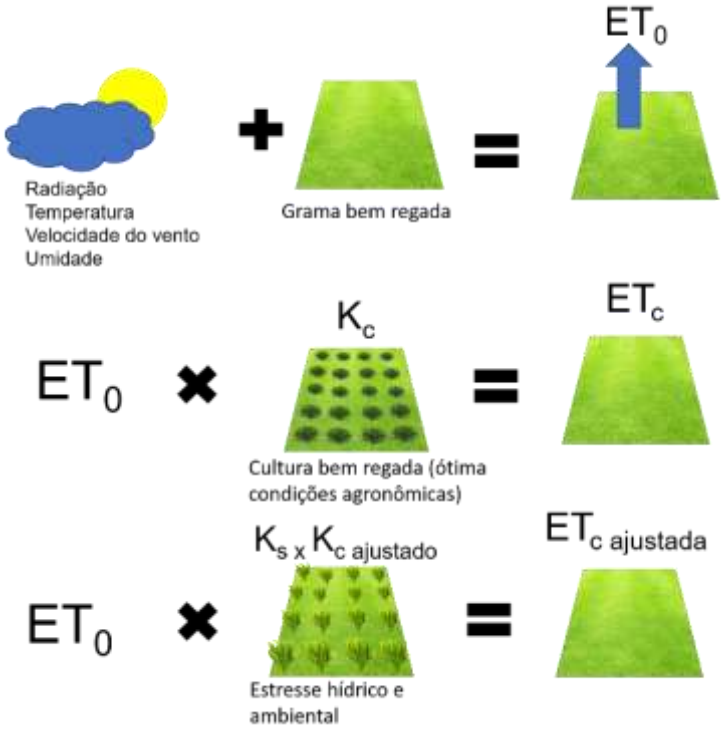
Sendo a agricultura irrigada o principal setor usuário dos recursos hídricos, aliado a escassez de água, faz-se necessário conhecer a transferência de vapor de água para atmosfera, ou seja, a evapotranspiração, para que se possa fazer uso racional da água.

No estudo dessa temática, adotou-se como referência, a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, semelhante a grama, chamada de evapotranspiração de referência – ET_0. Apenas os fatores climáticos afetam a ET_0, dessa forma, seus valores medidos ou calculados em diferentes locais e estações do ano, podem ser comparados, pois representam a evapotranspiração da mesma superfície de referência (ALLEN, et al. 1998).

De acordo com Bernardo et at. (2019), a evapotranspiração de referência pode ser determinada ou estimada por métodos diretos e indiretos. Do primeiro grupo, são exemplos, lisímetros, parcelas experimentais no campo e controle da umidade do solo. Como métodos indiretos, pode-se citar, uso de evaporímetros (tanque Classe A, atmômetro); aplicação de equações (Blaney-Criddle, Penman-Monteith, Hargreaves) e utilização de sensores acoplados a plataformas orbitais e suborbitais (sensoriamento remoto).

A partir da ET_0, pode-se calcular a evapotranspiração de uma cultura específica – ETc. A ETc é obtida multiplicando a ET_0 pelo coeficiente de cultivo (Kc), que varia em função do tipo de cultura, seu estádio de desenvolvimento, comprimento do seu ciclo vegetativo e das condições climáticas locais. Quanto maior a demanda evapotranspirométrica local, ou quanto maior for a sensibilidade da planta ao déficit hídrico no solo, maior deverá ser o valor do Kc. Nas regiões onde as condições de campo são diferentes das condições padrão, é necessário adotar fatores de correção, para ajustar a ETc, esse ajuste representa o efeito das condições ambientais e de manejo, na evapotranspiração das culturas, esses conceitos, podem ser visualizados na Figura 1 (ALLEN, et al. 1998; BERNARDO et al., 2019).

Figura 1 - Evapotranspiração de referência (ET_0), das culturas sob condições padrão (ETc) e ajustada ($ETc_{ajustada}$)



Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998).

Há na literatura pesquisas dos autores Molinos-Senante et al. (2014), Thevs et al. (2015), Li et al. (2016) e Silva et al. (2016), nas quais é relatado a importância e a necessidade de estudos, com base na estimativa da ET_0, visando o correto manejo da irrigação.

2.6 Modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem (MCID)

A aplicação de modelos de simulação atualmente tem se destacado, pela proposta de solucionar problemas em áreas irrigadas. Estas ferramentas são extremamente importantes, para o planejamento e gerenciamento de projetos irrigados, pois representam alternativas para resolver problemas, ou simular condições reais de cultivo (SOUZA e FRIZZONE, 2003).

Segundo Borges Júnior et al. (2008), a irrigação é uma das ferramentas que agregada a outros condicionantes, tem a capacidade de elevar produções e aumentar as fronteiras agrícolas, tornando regiões de clima seco, em áreas produtivas.

Entretanto, para se alcançar elevadas produtividades, o planejamento e o manejo da irrigação, são extremamente necessários. Todavia, novas tecnologias também podem acarretar grandes problemas em pessoas não treinadas, gerando perdas consideráveis, ao invés de ganhos.

Percebe-se que nos últimos anos, é cada vez mais necessário, o aprimoramento e desenvolvimento de técnicas e modelos computacionais, voltadas para a simulação e estimativa de demandas. Essas ferramentas buscam justamente, facilitar o entendimento das formas adequadas de manejo, e integrar todas as variáveis do sistema solo – planta – atmosfera, visando uma adequada condição de cultivo (SOUZA e FRIZZONE, 2003; XIE et al., 2018).

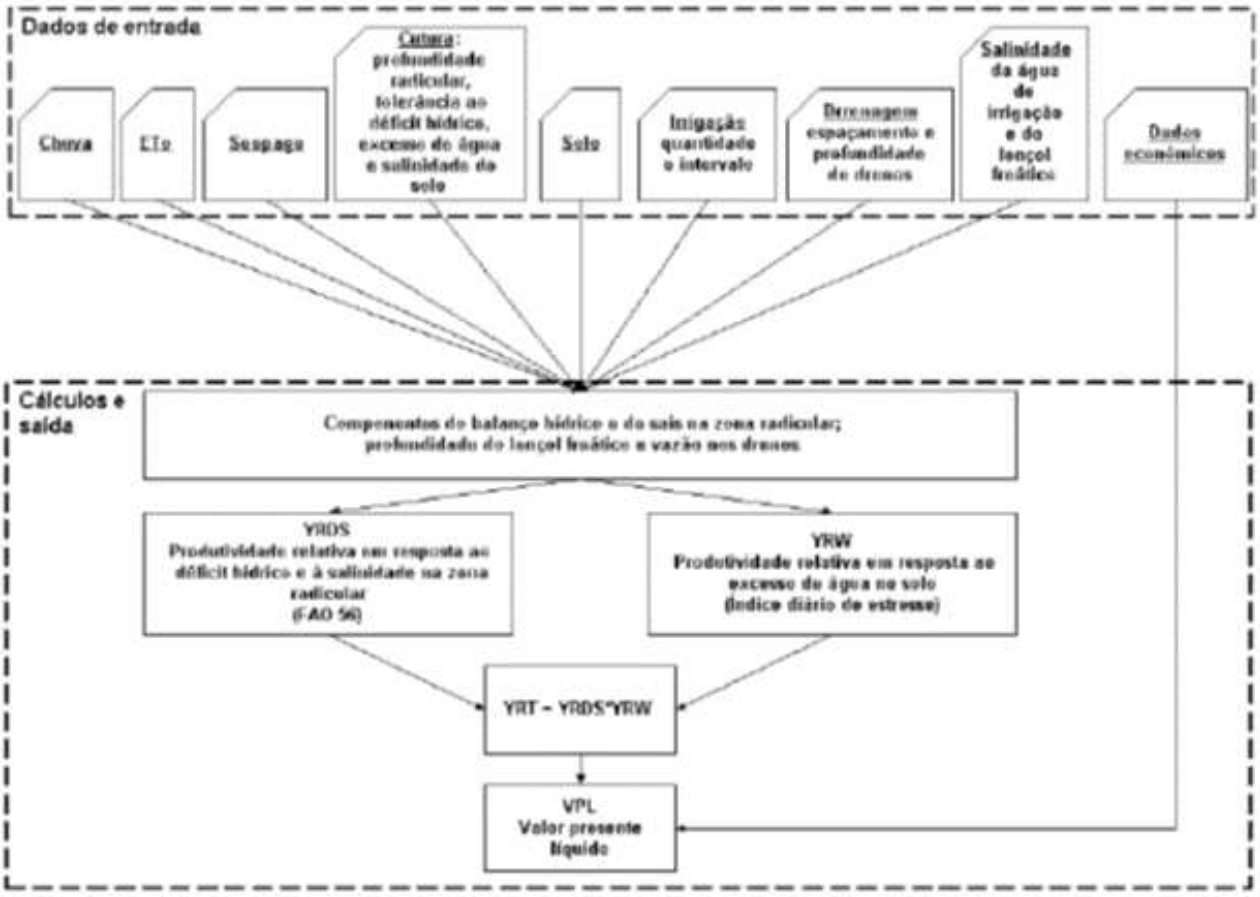
De forma geral, as simulações de demanda de água pelas culturas, feitas através da modelagem, visam melhorar a eficiência do uso da água e sua produtividade, mas acima de tudo, propõe mudanças no comportamento do usuário no que diz respeito ao uso da água, considerando que a solução para problemas de escassez e desperdício é o incentivo aos usos mais eficientes, através de recomendações para melhorar as operações práticas (XU et al., 2016; XIAO, et al. 2018).

O Modelo Computacional para Tomada de Decisão em Agricultura Irrigada (MCID) foi desenvolvido para gerar informações, a partir de diferentes práticas de manejo de irrigação e/ou configurações de sistema de drenagem; e verificar como esses fatores podem afetar a produtividade e o retorno financeiro no campo. Os pesquisadores João Carlos Ferreira Borges Júnior e Paulo Afonso Ferreira, em parceria com Camilo de Lelis Teixeira de Andrade e Bettina Hedden-Dunkhorst, desenvolveram e testaram o modelo, para que este, possa fornecer um apoio à tomada de decisão em relação ao planejamento e manejo na agricultura irrigada (BORGES JUNIOR, 2004).

Este programa pode ser aplicado em nível de parcela ou de área total, gerando informações referentes a irrigação e/ou drenagem de uma determinada área agrícola, considerando em seus cálculos, fatores como produtividade e retorno financeiro.

O MCID, leva em consideração a entrada de dados que são fatores variáveis no sistema produtivo (Figura 2). As informações geradas podem ser utilizadas principalmente em estudos de otimização e gerenciamento agrícola do cultivo.

Figura 2 - Variáveis de entrada e os dados de saída relacionados ao programa MCID



Fonte: BORGES JÚNIOR, 2004.

"O MCID foi desenvolvido em Delphi (Borland Software Corporation), sendo aplicável em nível de unidade de produção. O balanço hídrico e de sais na zona radicular, além de estimativas da profundidade do lençol freático, são conduzidos em base diária. Nas simulações procedidas com o modelo, observa-se o efeito de diferentes manejos de irrigação e configurações da rede de drenagem, os quais afetam o balanço hídrico e de sais na zona radicular e a variação da profundidade do lençol freático, sobre a produtividade da cultura, uso da água (requerimento de irrigação e perdas por percolação) e retorno financeiro" (BORGES JUNIOR et al., 2008).

Segundo Hu et al. (2016), um modelo de programação é construído o objetivo inicial de maximizar a eficiência dos benefícios econômicos, para permitir o desenvolvimento de estratégias de alocação de água. O seu objetivo secundário maximizar a equidade de alocação de água, dessa forma reduzindo as disputas pelos recursos hídrico, fornecendo escolhas e compensações relativamente flexíveis, de acordo com as preferências dos agricultores e estratégias fornecidas. Esse é o intuito de se realizar simulações dessa natureza.

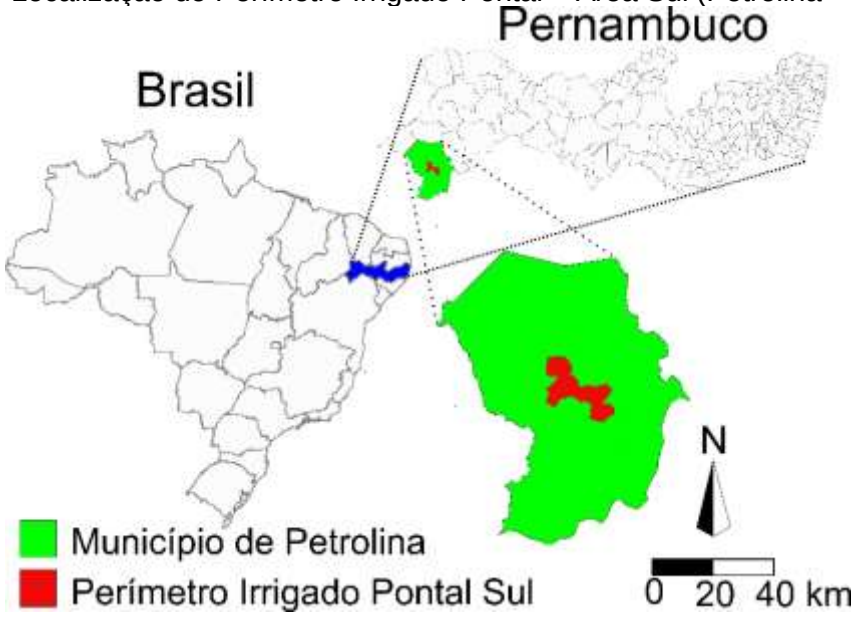
O MCID é um programa computacional em que o processamento de seus dados depende da inserção de dados de entrada (dados de evapotranspiração, precipitação, solo, coeficientes de cultivos, salinidade, sistema de irrigação entre outros). Assim como a maioria dos modelos computacionais, este programa pode ser utilizado para o planejamento agrícola visando a definição de estratégias de manejo de irrigação, e ainda configurar se necessário, um sistema de drenagem; ou como apoio a tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação, favorecendo a obtenção de informações do quando e quanto irrigar (BORGES JUNIOR et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área

O estudo foi realizado no Perímetro Irrigado Pontal Sul (situado nas coordenadas geográficas 8º55’39,66”S e 40º38’13,39”W na parte superior, e 9º07’33,20”S e 40º25’47,45”W na parte inferior, Figura 2), localizado na bacia do rio Pontal, abrangendo os municípios de Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina, no estado de Pernambuco, na região fisiográfica do Submédio São Francisco.

Figura 3 - Localização do Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul (Petrolina – PE, 2019)



A superfície irrigada, definida inicialmente para a área Sul do Projeto de irrigação Pontal, tem 3.512 hectares. Porém, desde a inicialização dos estudos para elaboração do Relatório Final de Projeto Executivo, foram feitas inúmeras alterações das áreas irrigadas, em relação ao tamanho dos lotes e volume de água a ser bombeado, entre outras características, visando reestruturar vários conceitos e critérios definidos inicialmente. Isto pode acarretar numa maior demanda de água e consequente incapacidade dos canais de suprir tal demanda. Essas alterações visavam ajustar o projeto, às condições locais existentes, semelhante aos outros perímetros de irrigação implantados na região, e aos projetos desenvolvidos pela CODEVASF (CODEVASF, 1998).

Nas Tabelas 1 e 2, são apresentadas algumas características do Perímetro Irrigado Pontal Sul, conforme constam no relatório final do projeto executivo, as quais foram utilizadas nesse estudo.

Tabela 1 - Características dos lotes do Perímetro irrigado Pontal Sul

Identificação	Tipo de lote	Nº de lotes	Área irrigável (ha)
Pontal Sul	Lotes para Pequenos Irrigantes	314	1.712 + 168*
	Lotes de Empresas	33	1.632
**Mancha nova integrada ao Pontal Sul	Lotes para Pequenos Irrigantes	16	100,21
	Lotes de Empresas	4	143,75
TOTAL			2123,96

*setores de colonização 1 e 2 (totalizando 30 lotes) integrados ao Projeto Maria Teresa.
** Após inúmeros estudos pedológicos complementares, foi inserida uma nova área irrigável ao projeto.
Fonte: Adaptado de CODEVASF (1998).

Tabela 2 - Características dos setores do Perímetro Irrigado Pontal Sul (Petrolina -PE, 2019)

Setor	Estação de Recalque (ER)	Quantidade de Lotes	Área Irrigável (ha)	Vazão (m^3/dia)
Setor 03	12	22	132	11880,00
Setor 04	13	17	102	9180,00
Setor 05	13	19	114	10260,00
Setor 06	13	18	108	9720,00
Setor 07	15	18	108	9720,00
Setor 08	16	19	114	10260,00
Setor 09	19	13	78	7470,00
Setor 10	19	14	83	7020,00
Setor 11	21	23	138	10800,00
Setor 12	21	20	120	12420,00
Setor 13	22	11	66	7020,00
Setor 14	22	13	78	5940,00
Setor 15	23	22	132	11880,00
Setor 16	24	28	163	14670,00
Setor 17	24	27	162	14580,00
Mancha Nova	58	16	100,21	9668,88
Total		300	1798,21	

Fonte: Adaptado de CODEVASF (1998).

A estação de recalque (ER), foi projetada para permitir o controle e a medição da água consumida na irrigação, e cada parcela se constitui basicamente, de tubulações e conexões em ferro galvanizado, equipamentos de controle e medição de pressão e vazão. Cada ER possui válvula de controle redutora de pressão (fixada em 35,0 m.c.a.) e limitadora de vazão, variando de 6,63 L s^{-1} para lotes com área útil de 4,95 ha, a 10,72 L s^{-1} para lotes com área útil de 8,00 ha

Vale ressaltar que devido as alterações como a inserção dos setores de Colonização 1 e 2 ao Projeto Maria Tereza, e o incremento de uma nova área identificada como mancha nova (243,96 ha), a área total do Perímetro Irrigado Pontal Sul passou a ter 3.588 hectares de superfície irrigável. Entretanto, a área foi subdividida pelos setores determinados no relatório final de projeto executivo (Tabela 2). Para este estudo foram consideradas apenas as áreas irrigadas definidas como lotes para pequenos irrigantes, considerando que as áreas empresariais podem ter um maior investimento em meios de determinação e cálculo da demanda hídrica, para suas culturas.

Além das características citadas, foram consideradas ainda a vazão de projeto do canal que abastece as ER, de 6,00 m³/s, e sua vazão máxima, de 7,80 m³/s; o

tempo de operação e o controle dos canais, modificados para volume constante em 20 horas de operação diária; e uma revisão no método de irrigação de todo o projeto, adaptando-o a realidade existente em projetos irrigados na região, ou seja, foi adotada uma solução mista para irrigação dos lotes, sendo que 66% da área utiliza irrigação localizada e 34% aspersão convencional para elaboração do projeto. Ressalta-se que as áreas dos lotes em estudo têm aproximadamente 6 hectares irrigáveis, entretanto foram estimadas as demandas em nível de setor, e dessa forma, utilizou-se a área total irrigável para cada setor. Todas essas características estão inseridas no projeto e foram determinantes para elaboração do mesmo.

3.2 Características climáticas da área de estudo

A caracterização climática (Tabela 3) da região, conforme descrito por Köppen, é do tipo BSwh', correspondente a uma região semiárida; com estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro a abril; índices de pluviosidades médias anuais inferiores a 600 mm com distribuição irregular e temperaturas médias variando entre 24 e 28° C (RAMOS et al., 2011; ARAÚJO et al., 2019; JATOBÁ et al., 2017).

Tabela 3 - Médias mensais das características climáticas para o período de 1975 – 2018, para cidade de Petrolina-PE

Meses	ET_0*	Precipitação	Temperatura		Umidade relativa do ar
			Máxima	Mínima	
	mm/dia	Mm	ºC	ºC	%
JAN	7,5	78,7	33,11	18,57	65,67
FEV	7,2	75,8	32,81	18,53	67,83
MAR	6,5	108,2	32,64	18,45	70,31
ABR	6,3	67,9	32,04	18,09	71,37
MAI	5,9	22,7	31,27	17,24	69,67
JUN	6,0	10,1	30,28	16,14	68,67
JUL	6,5	7,6	29,93	15,54	66,71
AGO	7,9	3,4	31,22	15,82	61,42
SET	9,1	4,0	32,90	16,97	57,57
OUT	9,6	10,6	34,26	18,64	56,17
NOV	9,0	38,0	34,43	19,33	58,05
DEZ	7,9	59,4	33,73	19,27	62,79

*Média diária para cada mês. Fonte: Estação Agrometeorológica de Bebedouro – Embrapa Semiárido.

Foram analisadas as séries históricas pluviométricas e os dados de evapotranspiração de referência (Figuras 4 e 5, respectivamente), da Estação Agrometeorológica de Bebedouro (próximo ao projeto Pontal Área Sul), localizada na Embrapa Semiárido, Petrolina, entre os anos de 1975 e 2018, para um melhor embasamento e análise da área de estudo.

Figura 4 - Série histórica (1975 a 2018) da precipitação pluvial anual em Petrolina – PE

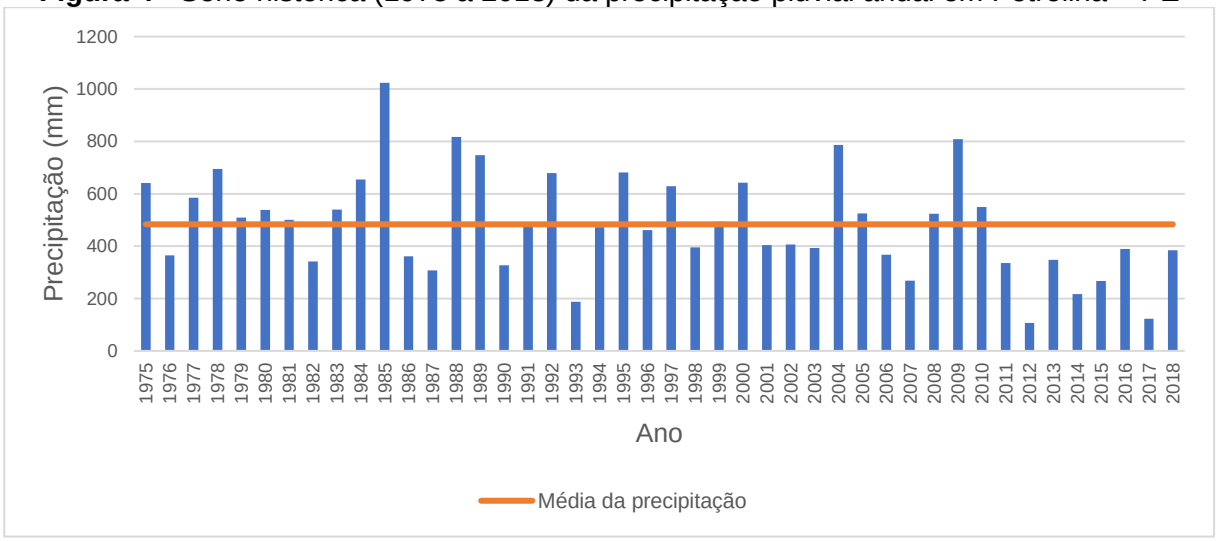
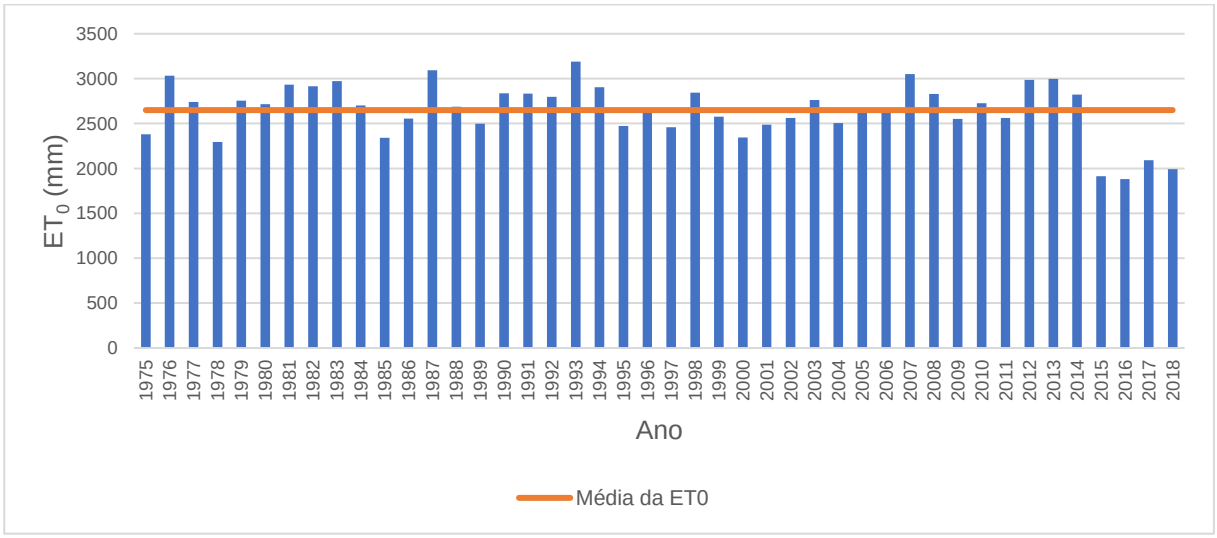


Figura 5 - Série histórica (1975 a 2018) da evapotranspiração de referência anual em Petrolina – PE



3.2.1 Índice de Anomalias de Chuvas

A partir dos dados de precipitação adquiridos, o Índice de Anomalias de Chuvas (IAC) foi calculado para analisar a frequência e intensidade dos anos secos e chuvosos na área. Este índice considera a classificação dos valores de precipitação, para calcular as anomalias, considerando-as positivas ou negativas. Desta forma, dependendo do valor calculado o regime pode ser classificado desde extremamente seco a extremamente chuvoso, o que ajuda a monitorar e definir anos de seca ou chuva de leve a excessiva (HÄNSEL et al., 2016).

O IAC é de grande valia no que diz respeito ao monitoramento do regime pluviométrico, para o planejamento agrícola de áreas irrigadas. O índice é calculado pelas equações 1 e 2, e classificado de acordo com os parâmetros da Tabela 4.

$$IAC_{positivo} = 3 * \left[\frac{(N-N_1)}{(M-N_1)}\right] \qquad \text{Equação 1}$$

$$IAC_{negativo} = -3 * \left[\frac{(N-N_1)}{(X-N_1)}\right] \qquad \text{Equação 2}$$

Em que:

N = precipitação observada do ano em que será gerado o IAC (mm);

N_1 = precipitação média anual da série histórica (mm);

M = média das dez maiores precipitações anuais da seria histórica (mm) e

X = média das dez menores precipitações anuais da seria histórica (mm).

Obs: O IAC positivo ou negativo é definido pela condição, tal que, se a precipitação avaliada for maior que a média anual da série histórica, utiliza-se a fórmula do IAC positivo; se a precipitação avaliada for menor que a média anual da série histórica, utiliza-se a fórmula do IAC negativo.

A classificação foi feita conforme os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação do Índice de Anomalias de Chuvas

	Faixa do IAC	Classe de intensidade
Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	> 4	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito Úmido
	0 a 2	Úmido
	-2 a 0	Seco
	-4 a -2	Muito Seco
	< -4	Extremamente Seco

Fonte: adaptado de Alves et al. (2016) e Hänsel et al. (2016).

3.3 Determinação dos cenários

A geração dos cenários, foi feita considerando a variabilidade temporal e espacial dos lotes. A variabilidade temporal (estudo do comportamento das variáveis climáticas), fornece embasamento para estudos que considerem as alterações climáticas nas diferentes regiões do mundo, sendo necessária para destacar os períodos com maior escassez hídrica ou maior necessidade de água em áreas agrícolas. Enquanto, para a variabilidade espacial, considerou-se a área dos lotes (setores) e seus principais usos (culturas), a demanda de cada setor ao longo do ano, a disponibilidade de água ofertada pelo perímetro e a melhor alocação de acordo com os cálculos de demanda.

Foi considerado para efeito de cálculo, a lâmina máxima diária disponível que a estação de recalque (ER) em questão pode suprir e a lâmina média exigida em cada mês para os diferentes cenários. Foram escolhidas sete culturas (acerola, banana, caju, coco, goiaba, manga e uva) e definidos sete cenários de exploração agrícola (Tabela 5) utilizados para os cálculos de demanda hídrica.

Tabela 5 - Culturas e porcentagem de área ocupada no Perímetro Irrigado Pontal Sul

Cenários	Culturas	Porcentagem de área ocupada (%)	Critério
1	Acerola	4,7	Porcentagem de área e culturas utilizadas no perímetro irrigado Nilo Coelho
	Caju	5,2	
	Goiaba	8,0	
	Banana	8,2	
	Coco	11,1	
	Uva	23,5	
	Manga	39,3	
2	Acerola	33,3	Culturas com maior demanda
	Banana	33,3	
	Goiaba	33,4	
3	Banana	16,66	Sugeridas no relatório final de projeto executivo do Pontal – Área Sul
	Coco	16,67	
	Goiaba	16,67	
	Manga	33,33	
	Uva	16,67	
4	Manga	67,00	Culturas de maior destaque na região (proporcional ao perímetro irrigado Nilo Coelho)
	Uva	33,00	
5	Banana	33,33	***
	Coco	33,33	
	Manga	33,34	
6	Banana	33,33	***
	Coco	33,33	
	Uva	33,34	
7	Acerola	33,33	***
	Goiaba	33,33	
	Uva	33,34	

*** Áreas definidas pelo autor.

Os cenários foram determinados considerando alguns fatores, como utilização de culturas perenes e anuais (banana). Além disso, foram determinantes os dados obtidos a respeito das culturas mais cultivadas na região de Petrolina, com base nas porcentagens de área ocupada pelas mesmas no perímetro irrigado Nilo Coelho. Foram consideradas ainda as culturas sugeridas pelo relatório final de projeto executivo de construção do perímetro irrigado Pontal – Área Sul.

3.4 Cálculo da demanda hídrica por setor de irrigação

Para determinação da demanda hídrica do projeto, foram feitos dois cálculos. O primeiro (identificado como “dados do projeto”) considerou os valores descritos no

Relatório Final de Projeto Executivo para elaboração do Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul (Tabela 1 e Tabela 2), além dos dados climáticos da região, utilizados no projeto (detalhados no subitem 3.4.1).

O segundo cálculo (identificado com dados estimados), utilizou dados pesquisados na literatura, obtidos na Estação Agrometeorológica de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina – PE, mas as fórmulas para o cálculo da ETc e volume de água foram semelhantes (detalhados nos subitens 3.4.1 e 3.4.2).

Todos os procedimentos aqui utilizados, foram trabalhados em planilhas do Excel@ para que fosse possível gerar gráficos, os quais serviram de suporte, para a tomada de decisão sobre a melhor alocação e distribuição das culturas, no perímetro irrigado.

Os cálculos adotados, consideram que o irrigante pode ocupar toda a área irrigável do lote, e que o sistema fornece água para máxima demanda. Esta última foi determinada em nível de setor (ER), devido à disponibilização de água ser proveniente de diferentes estações de recalque, atendendo cada área com vazões diferentes (Tabela 6). Vale ressaltar que para efeito de dimensionamento dos sistemas do Projeto Pontal – Área Sul, não foi considerada a contribuição da chuva, com o intuito de garantir o fornecimento de água em períodos secos, e também devido à irregularidade da precipitação pluvial (alta intensidade em um curto período de tempo) que acontece na região.

Tabela 6 - Vazão e lâmina máxima diária de cada estação de recalque (ER) do Perímetro Irrigado Pontal Sul

ER	Setor	Vazão unitária (L s^{-1} ha^{-1})	Lâmina máxima diária (mm*)	Vazão máxima diária (m^3 dia^{-1}**)
12	Setor 3	1,35	9,72	12830,40
13	Setor 4	1,37	9,84	31877,28
	Setor 5	1,37	9,86	
	Setor 6	1,36	9,79	
15	Setor 7	1,37	9,86	10653,12
16	Setor 8	1,35	9,75	11162,88
19	Setor 10	1,37	9,86	15881,04
	Setor 9	1,35	9,72	
21	Setor 12	1,34	9,65	25164,00
	Setor 11	1,34	9,65	
22	Setor 14	1,35	9,72	14204,16
	Setor 13	1,37	9,84	
23	Setor 15	1,37	9,86	12830,40
24	Setor 16	1,36	9,79	31356,00
	Setor 17	1,37	9,86	
58	Mancha Nova	1,35	9,75	9668,26

* Volume de água máxima permitida pelo bombeamento dividido pela área.
** O dia foi considerado com 72.000 segundos, correspondente a 20 horas de bombeamento do sistema parcelar. Fonte: Adaptado de CODEVASF (1998).

Visando calcular as demandas de forma semelhante ao elaborado no Relatório Final de Projeto Executivo, foram considerados os parâmetros conforme descritos a seguir:

- Eficiência de aplicação de água para irrigação localizada: de 80% para cálculo do projeto, e de 90% para os dados deste estudo (a irrigação localizada ocupando 66% da área);
- Eficiência de aplicação de água para irrigação por aspersão: de 65% para cálculo do projeto, e de 80% para os dados deste estudo (a irrigação por aspersão ocupando 34% da área);
- Coeficiente de localização (kl): foi considerado o Percentual de área molhada de 50%, esse valor pode variar de acordo com a porcentagem de área molhada ou de sombreamento, entretanto como não foi definido o espaçamento das culturas foi adotado o valor de 50% de área molhada (P), com isso o foi determinada pela equação segundo Keller e Bliesner (1990): $kl = 0,1\ (P)^{0,5}$, e utilizado kl=0,71;

- Início do ciclo produtivo das culturas: no primeiro dia do ano (1 de janeiro) para simulação;
- Duração dos estádios fenológicos: em certas situações foram ajustadas para que a simulação permanecesse no período de um ano.

Outras considerações são apresentadas nos subitens a seguir.

3.4.1 Dados do Projeto

Para o primeiro método de determinação da demanda (dados do projeto), foram utilizados como descritos no Relatório Final do Projeto Executivo para elaboração do Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul. Dessa forma pode-se representar o que foi determinado no projeto, para posterior comparação com os dados pesquisados (subitem 3.4.2). Os dados de evapotranspiração de referência (ET_0, mm) descritos no projeto (Tabela 7), foram estimados pelo método de Hargreaves. Esses valores, foram adotados para elaboração, dimensionamento e determinação da demanda hídrica do projeto Pontal – Área Sul.

Tabela 7 - Evapotranspiração de referência (ET_0, mm) pelo método de Hargreaves adotada para elaboração e dimensionamento do projeto Pontal - Área Sul

Mês	**ET_0 adotada (mm)**	
	Mensal	Diária
Janeiro	200,74	6,48
Fevereiro	165,75	5,92
Março	166,84	5,38
Abril	141,38	4,71
Maio	134,70	4,35
Junho	124,55	4,15
Julho	138,69	4,47
Agosto	166,29	5,36
Setembro	194,17	6,47
Outubro	227,88	7,35
Novembro	219,80	7,33
Dezembro	215,57	6,95

Fonte: Adaptado de CODEVASF (1998).

Autores como Alencar et al. (2015), afirmam que na ausência de dados como

radiação solar à superfície, umidade relativa e velocidade do vento, o uso da equação de Hargreaves é uma alternativa para a estimativa da evapotranspiração, pois utilizam basicamente dados de temperatura do ar, que ficam disponíveis na maioria das estações meteorológicas. O que justifica o uso desta equação para o cálculo da evapotranspiração e posteriormente demanda hídrica informada no projeto Pontal – Área Sul. Visto é que muitos produtores podem não ter acesso a dados diários de ET_0.

De posse dos dados anteriores, a determinação da demanda foi baseada nas equações a seguir. Após determinação da ET_0 acumulada para os meses do ano, foi determinada a evapotranspiração da cultura (ETc) a partir da equação 3.

$$ETc = kc\ ET_0\ kl \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

ETc – evapotranspiração da cultura (mm $mês^{-1}$);

kc – é o coeficiente da cultura;

kl – coeficiente de localização, adotado 0,71 (Keller e Bliesner, 1990);

ET_0 – é a evapotranspiração de referência (mm $mês^{-1}$).

Posteriormente, foi determinada a lâmina bruta (LB, equação 4), simulada para todo os meses do ano, considerando a eficiência de aplicação especificada pelo projeto.

$$LB = ETc / Ea \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

LB – Lâmina bruta (mm $mês^{-1}$);

ETc – evapotranspiração da cultura (mm $mês^{-1}$);

Ea = Eficiência de aplicação (decimal).

O resultado obtido de LB foi multiplicado pela respectiva área do setor a ser irrigado para determinação da demanda hídrica do setor. Posteriormente os dados foram convertidos para lâmina média diária (mm) para melhor visualização e entendimento.

3.4.2 Dados estimados

Para determinação da necessidade hídrica das culturas, foi utilizada a equação 3, descrita por Allen et al. (1998) considerando também o coeficiente de localização, onde os valores da evapotranspiração da cultura (ETc) foram calculados pela multiplicação do coeficiente de cultura (kc) pela evapotranspiração de referência (ET_0) e pelo coeficiente de localização (kl), após a estimativa da ETc esta foi considerada como a demanda hídrica da cultura e posteriormente a soma das demandas das culturas foram somadas e determinada assim a demanda de cada setor (cenário).

A evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO56 foi obtida da Estação Agrometeorológica de Bebedouro, pertencente a Embrapa Semiárido, próxima ao perímetro irrigado Pontal Sul, assim como os dados de precipitação entre outros (Tabela 3). Este método padrão, é o mais utilizado em projetos de irrigação, com aplicações em uma ampla gama de condições e climas, sendo, portanto, uma estimativa de extrema importância no que diz respeito a gestão dos recursos hídricos (ALLEN et al. 1998; AGHDASI, 2010).

Esta metodologia, foi empregada devido a aproximação da evapotranspiração local e por seus resultados serem melhores estimados, em comparação aos demais métodos, baseado em processos físicos, que unem fatores fisiológicos e aerodinâmicos na estimativa (ALLEN et al. 1998).

Os dados para determinação da ET_0 foram medidos diariamente na estação, que é composta por Datalogger CR10X - Campbell Scientific (depois trocado para CR800, também da Campbell Scientific); sensor de temperatura e umidade relativa do ar HMP45C - Vaisala, Inc (este posteriormente trocado para CS215 - Campbell Scientific); radiômetro LI-200 – LI COR; anemômetro 03002 Young - Campbell Scientific; e pluviômetro CS700 – Campbell Scientific. Apenas o saldo de radiação foi estimado.

Os coeficientes de cultura (kc) foram adotados para cada uma das estudadas, com base nas características locais (Tabela 8), considerando ainda todos os estádios de crescimento, obtidos por meio de levantamento bibliográfico, em estudos locais ou de regiões próximas. Os valores de kc variam durante diferentes estádios de crescimento, o que é fator determinante na obtenção dos limites superiores e inferiores para a demanda de água (CHENGLONG e PING, 2017).

Tabela 8 - Duração dos estádios fenológicos e kc para diferentes culturas utilizadas na simulação dos cenários

Culturas	Fases de desenvolvimento***	kc	Duração (dias)	Referência
Banana**	I	0,70 - 0,80	120	Bassoi et al. 2004 e Ide e Silva, 2017.
	II	0,90 - 0,95	90	
	III	1,10	120	
	IV	1,00	60	
Goiaba	I	0,35	96	Teixeira et al., 2003.
	II	0,56	153	
	III	1,04	102	
	IV	1,12	66	
Manga (dias após a floração)	I	0,49	30	Silva et al., 2001.
	II	0,71	35	
	III	0,85	50	
	IV	0,83	45	
Uva de mesa	I	0,6	20	Gondim et al., 2007.
	II	0,7	40	
	III	1,15	40	
	IV	0,65	17	
Acerola	I	0,73	30	Gondim et al., 2007.
	II	0,88	30	
	III	1,00	60	
	IV	1,39	60	
Coco*	Ano todo	1,00	365	Miranda & Gomes 2006.
Caju*	Ano todo	0,65	365	Gondim et al., 2007.

*Considerado o maior kc, para simulação de período crítico.
**Fez-se necessário reduzir o número de dias na duração de cada fase de desenvolvimento, para que todas as culturas se enquadrassem no período de 365 dias (1 ano).
*** Foi divido em 4 fases, para representar as fases: Inicial, desenvolvimento, reprodutiva e maturação ao longo do ciclo, como demonstrado no boletim 56 da FAO.

3.5 Uso do Modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem (MCID)

O modelo MCID é recomendado na elaboração de estudos, para planejamento do projeto de irrigação, visando buscar diferentes estratégias de manejo e suas configurações. Além disso, também pode ser empregado na tomada de decisão (quando e quanto irrigar).

Com base nos dados, foram realizadas simulações, buscando obter informações para o auxílio à tomada de decisão sobre qual cultura a ser empregada,

melhor período, estimativa do volume de água, com base na demanda de evapotranspiração e na cultura. Também foi avaliada a capacidade operacional do perímetro irrigado a respeito da disponibilidade de água para cada setor irrigado, evidenciando ainda possíveis restrições quanto a disponibilidade de água no perímetro irrigado.

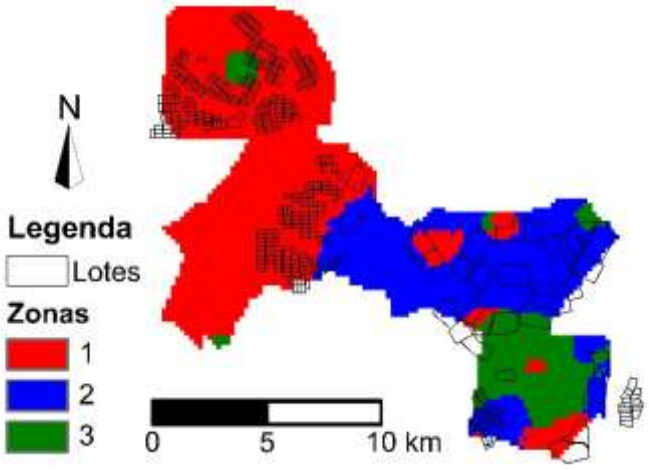
Os dados de entrada foram formatados em arquivos textos, criados a partir de planilhas eletrônicas para posterior processamento pelo programa, e a saída dos resultados, por formulários do programa ou arquivos de resultados. Nas simulações executadas pelo modelo, são necessários dados de precipitação, evapotranspiração, sípege (ou seepage, “refere-se às infiltrações de origens distintas, como canais, áreas altas irrigadas e lagos, que se manifestam em áreas mais baixas, podendo alcançar a superfície” Borges Junior, et al., 2008), profundidade radicular, tolerância ao déficit hídrico, tolerância ao excesso de água, tolerância a salinidade, solo, irrigação (quantidade e intervalo), drenagem (espaçamento e profundidade de drenos), dados econômicos e salinidade da água de irrigação e do lençol freático.

Entretanto, para estimativa deste trabalho, foram excluídos dados que envolvem drenagem e tolerância a déficit e a salinidade, além dos dados econômicos, pois o intuito aqui é utilizar o programa para estimar a demanda das culturas na área em questão, e comparar com os dados anteriores.

3.5.1 Características de solo da área de estudo

Os dados que foram utilizados para caracterização do solo (granulometria, densidade, porosidade, curva de retenção de água no solo, água disponível, infiltração de água no solo, uso e cobertura do solo) do perímetro irrigado, foram obtidos em trabalhos anteriores, realizados por Ramos (2012), Lima (2016) e Correia (2016), que foram disponibilizados para essa pesquisa (Figura 6). Como complemento, foram realizadas coletas de informações e pesquisas bibliográficas junto a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), responsável pela elaboração e administração do perímetro.

Figura 6 - Delimitação das zonas homogêneas de solo e localização dos lotes no Perímetro Irrigado Pontal – Área Sul



De acordo com Lima (2016), as zonas homogêneas foram definidas por meio da análise geoestatística e multivariada de agrupamento fuzzy c-means, utilizando atributos físicos do solo (frações areia, silte, argila, densidade do solo, porosidade total) e velocidade de infiltração básica de água no solo do perímetro irrigado Pontal – Área Sul. Dessa forma, para este estudo, foi utilizado a zona de manejo definida como C1 que utilizou todos os atributos citados para sua geração (características físicas, Tabela 9), a qual foi definida em três zonas de manejo Zona 1, Zona 2 e Zona 3 (Figura 6).

Tabela 9 - Características de solo para cada zona de manejo

Zona	Areia	Silte	Argila	Porosidade Total (%)	Densidade do Solo (g/cm^3)	Textura
	kg kg^{-1}					
Zona 1	0,7486	0,1439	0,1076	44,66	1,4247	Franco-arenoso
Zona 2	0,6924	0,1849	0,1227	42,95	1,4682	Franco-arenoso
Zona 3	0,6125	0,2138	0,1738	46,38	1,3711	Franco

Obs: Profundidade de coleta das amostras (40 cm).

Estes dados foram necessários para a utilização do programa MCID, que estima seus valores de demanda utilizando dados de clima, cultura e solo. Nos cálculos foram utilizados apenas os valores da Zona 1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Climática e Índice de Anomalias de Chuva (IAC)

Diante da análise da série histórica (Figuras 4 e 5), também relatada por Lopes et al. (2015), é possível perceber que a região do Pontal Sul em Petrolina – PE apresenta baixa disponibilidade hídrica, com reduzidos índices pluviais e altas taxas de evapotranspiração, o que implica na necessidade da irrigação nos cultivos agrícolas dessa região.

Com a finalidade de embasar a discussão, e justificar a ausência (em parte) dos dados de precipitação, foi realizada a classificação e análise do índice de anomalias de chuvas (IAC) para a cidade de Petrolina – PE. Isto demonstra que o planejamento voltado para áreas irrigadas em regiões áridas e semiáridas, necessitam aliar as estimativas de evapotranspiração a ausência de precipitações ou a reduzida quantidade destas, principalmente devido à inconsistência de períodos chuvosos e da necessidade ininterrupta de água pelas plantas.

Lacerda et al. (2016), relataram que algumas áreas do Semiárido são vulneráveis à ocorrência de eventos extremos do clima, tais como secas severas e chuvas intensas. Esses pesquisadores descreveram a provável redução de até 20% da precipitação até o ano de 2040. Este fato corrobora com os dados aqui avaliados, pois de acordo com o histórico climático da região para o período de 1975 até 2018, constatou-se que a média anual de chuva para o município de Petrolina – PE foi de 484,16 mm, com períodos chuvosos (acima da média), e um ano demasiadamente chuvoso - 1985 (1023,5 mm). Na maior parte dos anos, ocorreram períodos secos, sendo a menor precipitação medida no ano de 2012 (107,2 mm). Vale ressaltar que os valores de precipitação, estão reduzindo gradativamente na região, nos últimos 10 anos (2009 – 2018), em 8 anos foram abaixo da média.

Autores como Ramos et al. (2011) e Araújo et al. (2019), relataram períodos de seca prolongada na cidade de Petrolina e médias de precipitação abaixo de 600 mm. Farias (2014) e Alves et al. (2016) também relataram alterações no regime pluviométrico do município, apontando a grande interferência de fenômenos que afetam diretamente a precipitação na região do Nordeste do Brasil, dentre os quais são citados o Dipolo do Atlântico (aquecimento/resfriamento do Atlântico Norte/Sul) e anomalias no oceano Pacífico associados aos fenômenos *El Niño/La Niña*.

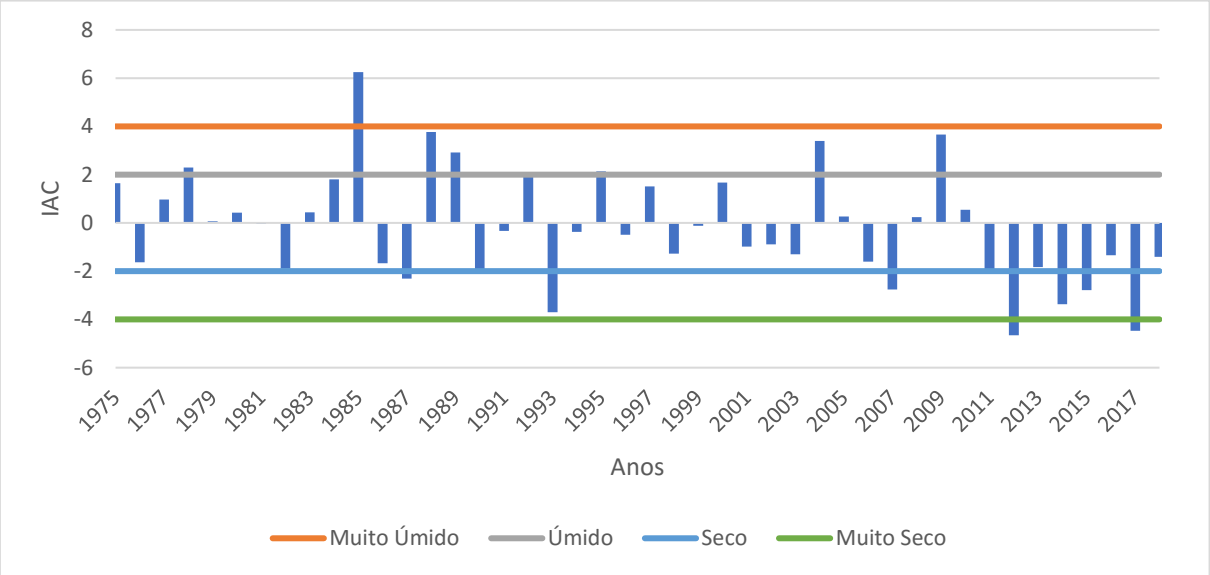
Silva et al. (2015b) afirmaram que há grande variação da precipitação para a cidade de Petrolina, e elevadas demandas de água requeridas pelas culturas, pois, as mesmas não são supridas adequadamente pela precipitação. Ainda é possível verificar a elevada temperatura do ar e períodos de insolação, fatores que podem favorecer ao aumento da demanda evapotranspirativa da região.

Os resultados da análise do índice de anomalias de chuvas para cada mês no período estudado (1975 – 2018), estão descritos na Tabela 10, e para o mesmo período porém em escala anual na Figura 7.

Tabela 10 - Quantificação dos meses de ocorrência do IAC respectivo a qualificação para cada mês no período estudado (1975 – 2018), na cidade de Petrolina – PE

Classificação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Extremamente seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muito seco	16	10	11	13	18	17	15	21	27	27	18	12
Seco	13	19	15	9	10	13	16	9	8	5	6	17
Úmido	11	14	14	22	16	14	13	14	9	12	20	14
Muito úmido	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Extremamente úmido	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 7 - Classificação do IAC anual no período estudado (1975 – 2018), para cidade de Petrolina – PE



Na Figura 7, os valores que estiverem acima da linha “Muito Úmido” foram caracterizados como extremamente úmido; os valores entre as linhas “Muito Úmido” e “Úmido” foram caracterizados como muito úmido; os valores entre as linhas “Úmido”

e o eixo X (valor zero) foram caracterizados como úmido; os valores que estiverem entre o eixo X (valor zero) e linha “Seco” foram caracterizados como seco; os valores entre as linhas “Seco” e o “Muito Seco” foram caracterizados como muito seco e os valores que estiverem acima da linha “Muito Seco” foram caracterizados como extremamente seco.

Na análise do IAC os valores positivos representam anos úmidos, muito úmidos e extremamente úmidos e valores negativos representam os anos secos, muito secos e extremamente seco, com diferentes graus de intensidade.

Considerando o IAC para cada mês, nesta série pode-se observar apenas no mês de abril, que a ocorrência dos períodos secos e úmidos foram iguais dentro da série histórica (50% de períodos secos; variando de extremamente seco a seco; e 50% de período úmidos; variando de extremamente úmido a úmido). Para o restante dos meses do ano, todos apresentaram maiores períodos secos, sem nenhum caso de mês extremamente seco e apenas um caso de mês extremamente úmido (janeiro de 2004, IAC de 4,80).

Ainda por meio desses valores, é possível identificar que o período chuvoso na região fica compreendido de dezembro a março, o que corrobora com os estudos de Bastiaanssen et al. (2001), Lopes et al. (2015), Ramos et al. (2011), Araújo et al., (2019), esses autores observaram que neste período, se concentram os maiores índices de precipitação, e com isso, as maiores classificações de períodos úmidos e muito úmidos.

Já a partir da análise do IAC das médias anuais (Figura 6), 56% dos anos (25 anos) foram classificados como períodos secos (índices negativos, de extremamente seco a seco) e 44% (19 anos) úmidos (índices positivos, de extremamente úmido a úmido). Pôde-se perceber ainda um ano extremamente úmido (1985, IAC 6,25) e a alternância de períodos úmidos e secos, entretanto a partir do ano de 2011 até 2018, os anos foram classificados como períodos secos, podendo destacar ainda que nesses últimos anos, dois foram classificados como extremamente seco (2012 e 2017, IAC de -4,65 e -4 respectivamente), o que corrobora com Farias (2014), que relatou em seu estudo do IAC para cidade de Petrolina – PE resultados semelhantes aos aqui apresentados, sendo o ano de 1985 o mais chuvoso e 2012 o mais seco.

Jatobá et al. (2017) e Queiroz et al. (2018), relataram em seus estudos, que o Nordeste brasileiro apresenta tendências estatísticas de redução da precipitação, em localidades como a região semiárida, acréscimos de temperatura e diminuição da

precipitação ao longo dos anos, podendo justificar o decréscimo do regime pluvial nos últimos 10 anos percebidos neste trabalho, agravando ainda mais os baixos índices pluviométricos característicos da região.

Nóbrega e Santiago (2014), apresentaram resultados do IAC para cidades do estado de Pernambuco (Caruaru e Serra Talhada), onde o regime pluviométrico foi influenciado por anomalias relacionadas ao *El Niño*. Houve redução dos valores de precipitação para essas cidades, assim como verificado nesta pesquisa, o que ressalta a necessidade de estudos climáticos e planejamento de áreas irrigadas para suprir totalmente a necessidade de água para as culturas.

A avaliação dos parâmetros climáticos é um importante aliado do planejamento agrícola e da caracterização do clima local, pois este fator está intimamente ligado no âmbito da tomada de decisão, para o uso adequado da água em áreas irrigadas. O aprofundamento em dados climáticos favorece a adequação do sistema de irrigação, ajuda na definição da melhor época de semeadura, plantio ou colheita da cultura a ser implantada e, não menos importante, garante uma estimativa adequada da quantidade de água demandada, o que pode garantir o fornecimento de água às culturas (SILVA JUNIOR et al., 2018). Thevs et al. (2014) e Davijani et al. (2016), apontam a necessidade de estudos aprofundados e estimativas mais detalhadas dos parâmetros climáticos, consequentemente da ET_0, por diferentes metodologias, como por exemplo o balanço hídrico e a estimativa via satélite.

4.2 Cenários Agrícolas

Os cenários foram testados para avaliar as demandas de água no perímetro em estudo, visando verificar a capacidade operacional do projeto e a possibilidade de adequação para implantação das culturas, sem problemas futuros relacionados a ineficiência do planejamento agrícola. Em cada um dos cenários, foram analisados os parâmetros mais significativos do ponto de vista das atividades agrícolas, a evapotranspiração, o coeficiente de cultivo, a área produtiva e a capacidade de fornecimento de água pelo perímetro irrigado.

Foi simulada a demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, considerando as suas diferentes estações de recalque no perímetro (Figuras 8 a 17).

Figura 8 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 12

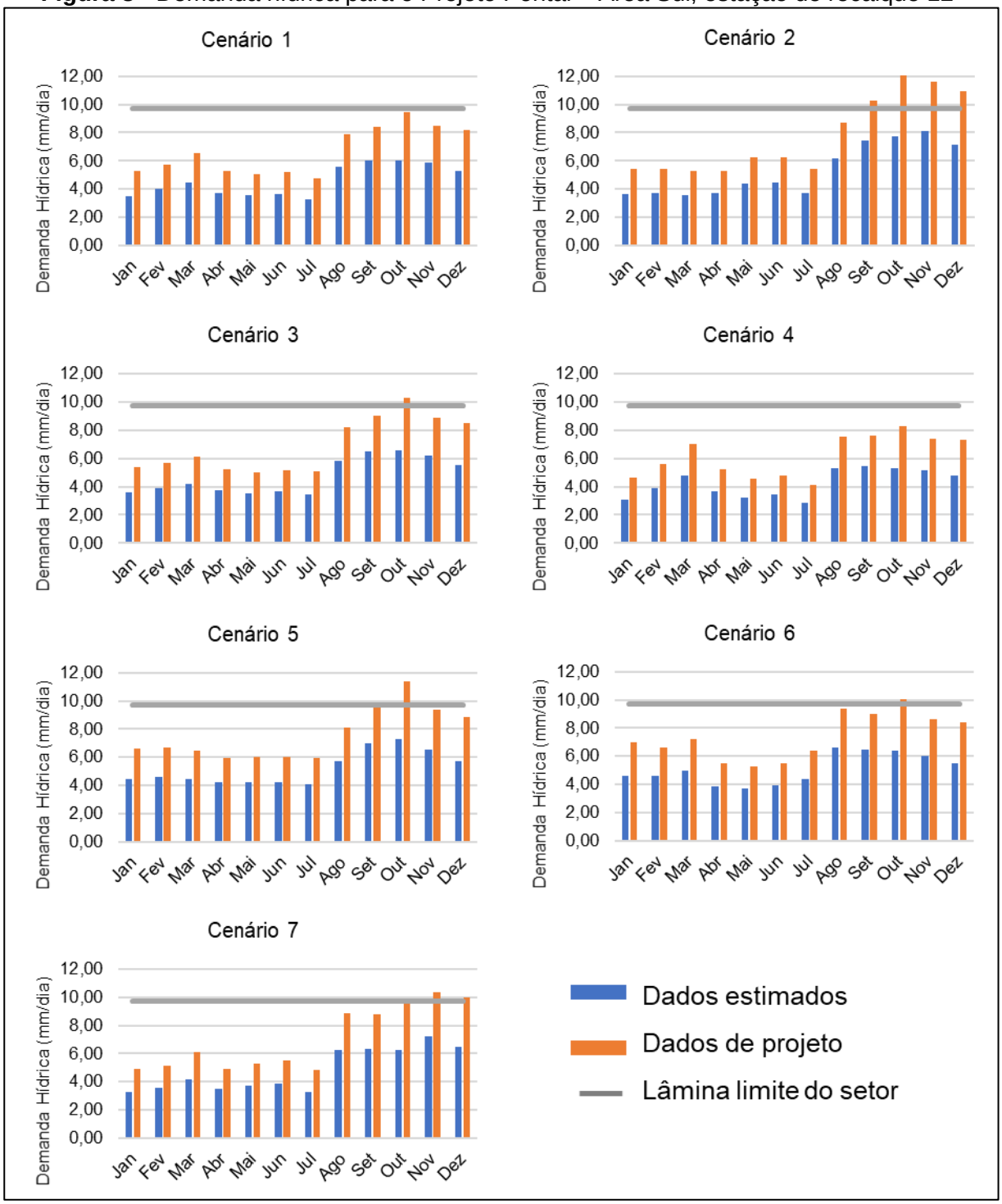


Figura 9 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 13

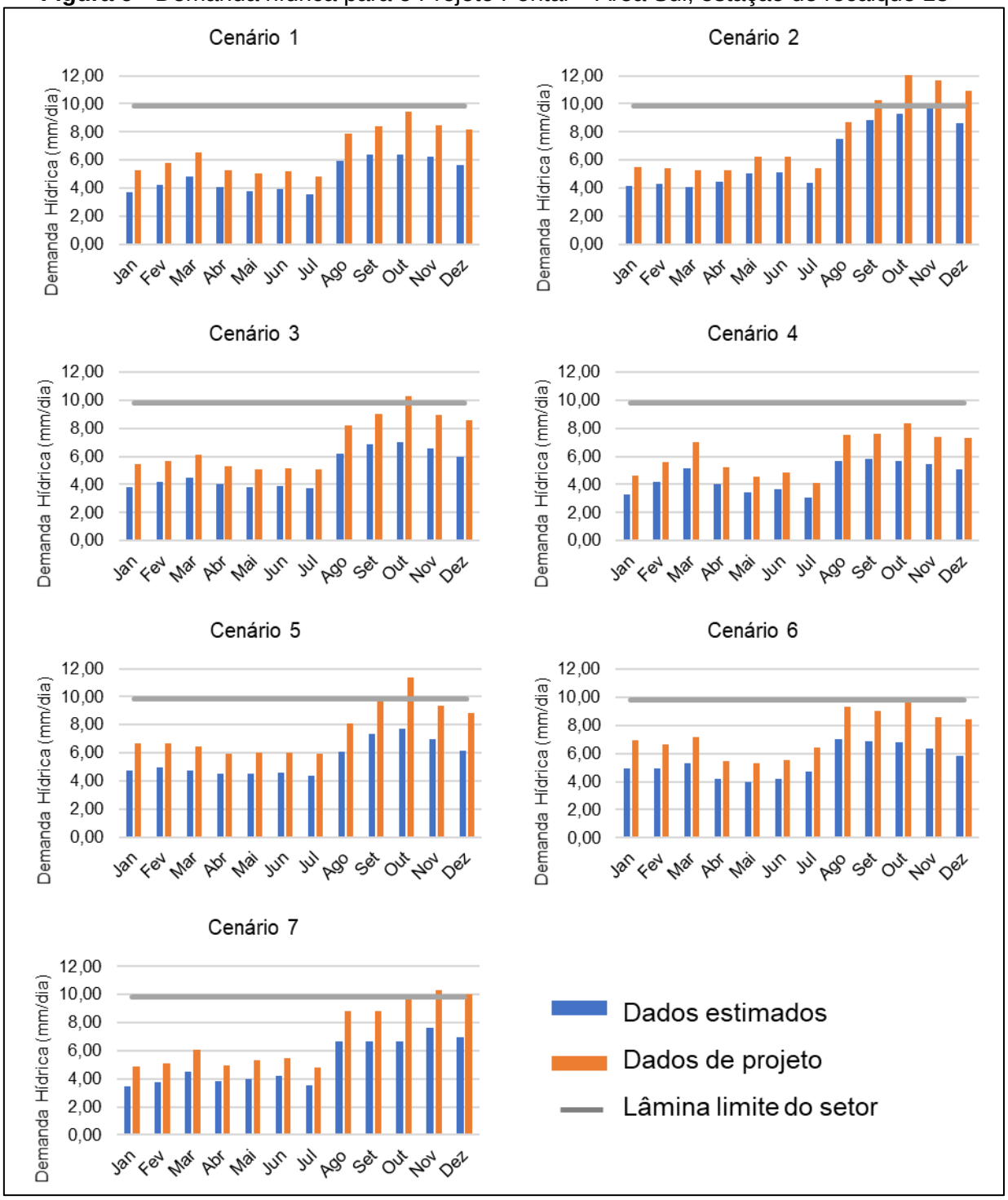


Figura 10 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 15

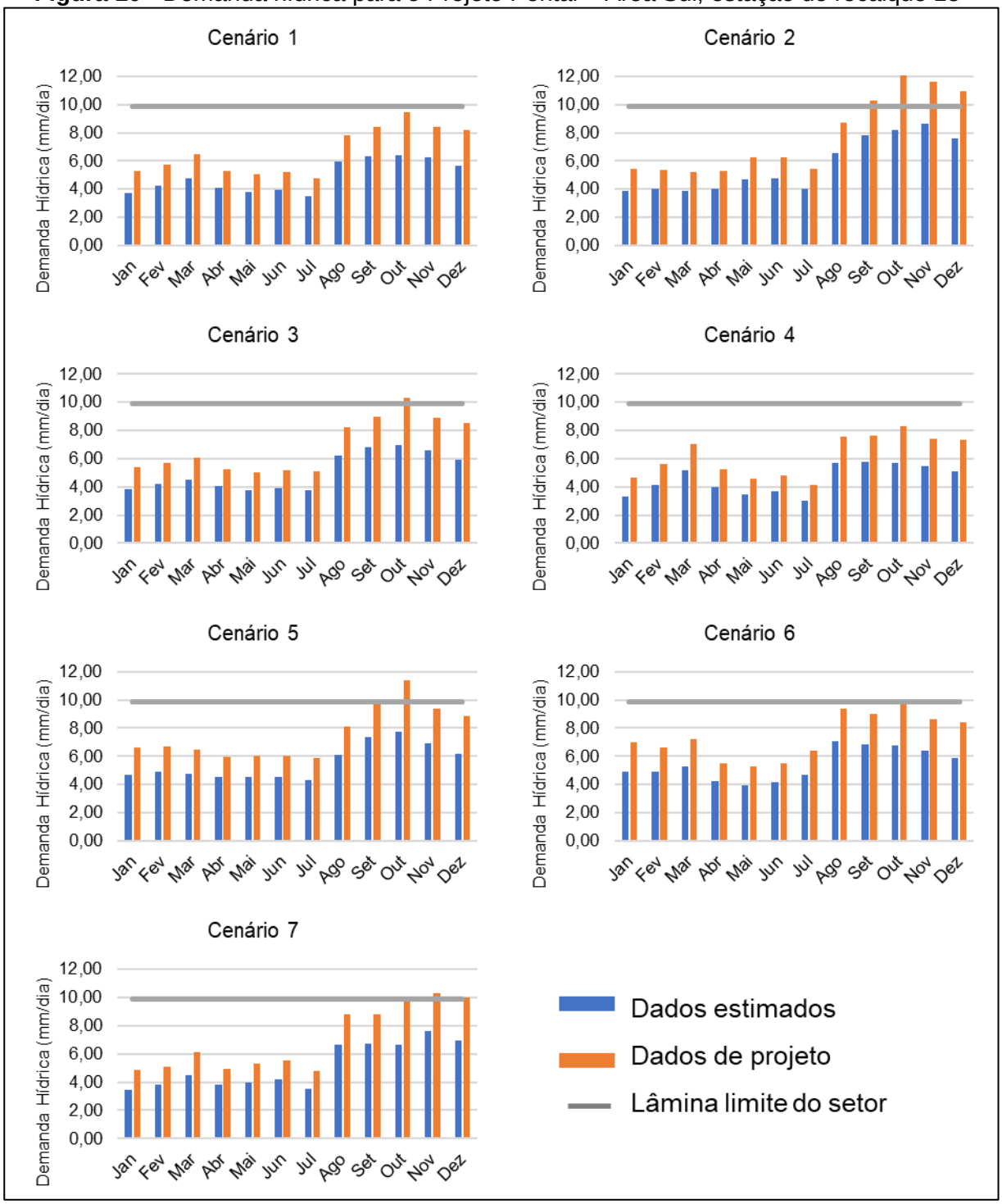


Figura 11 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 16

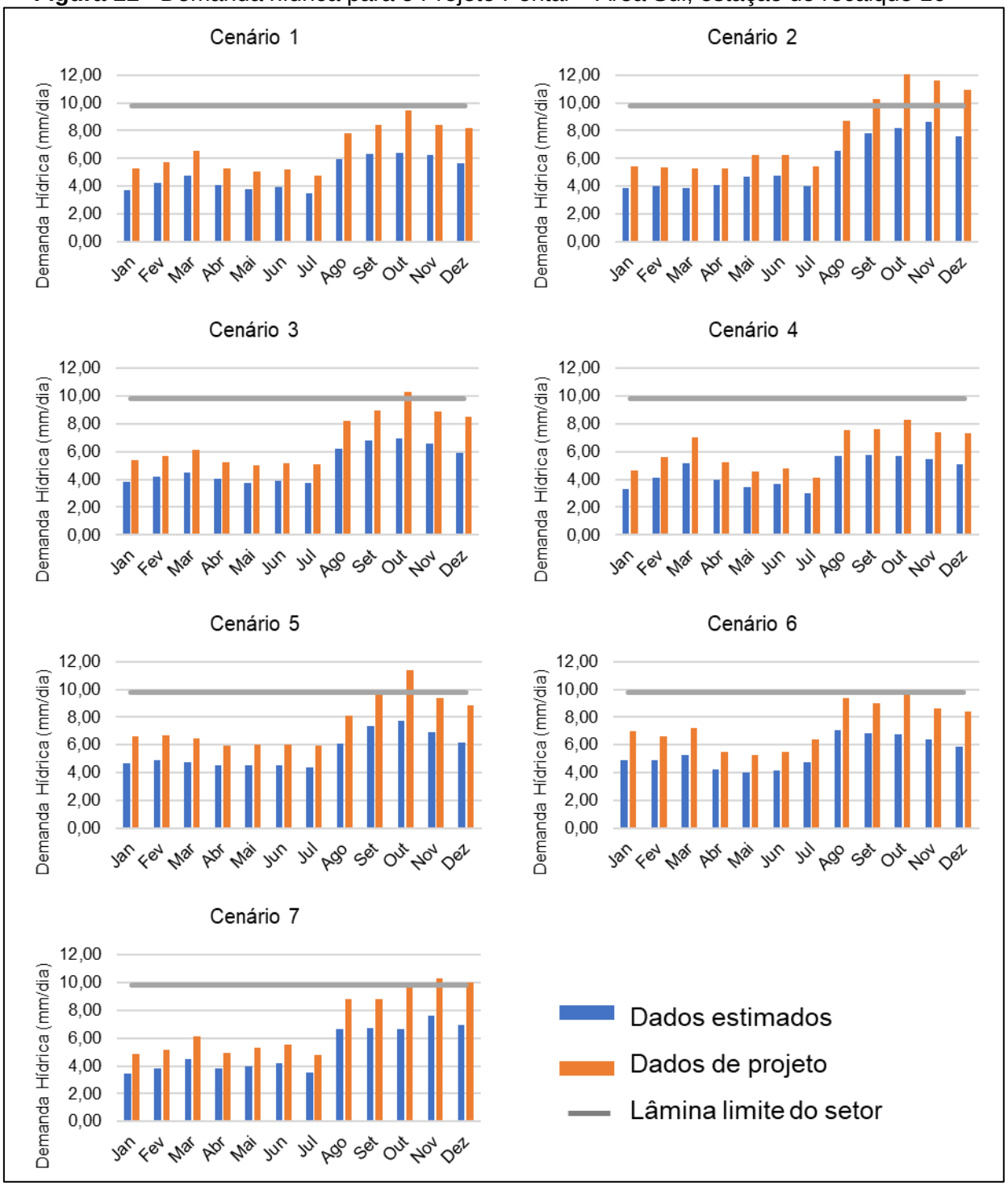


Figura 12 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 19

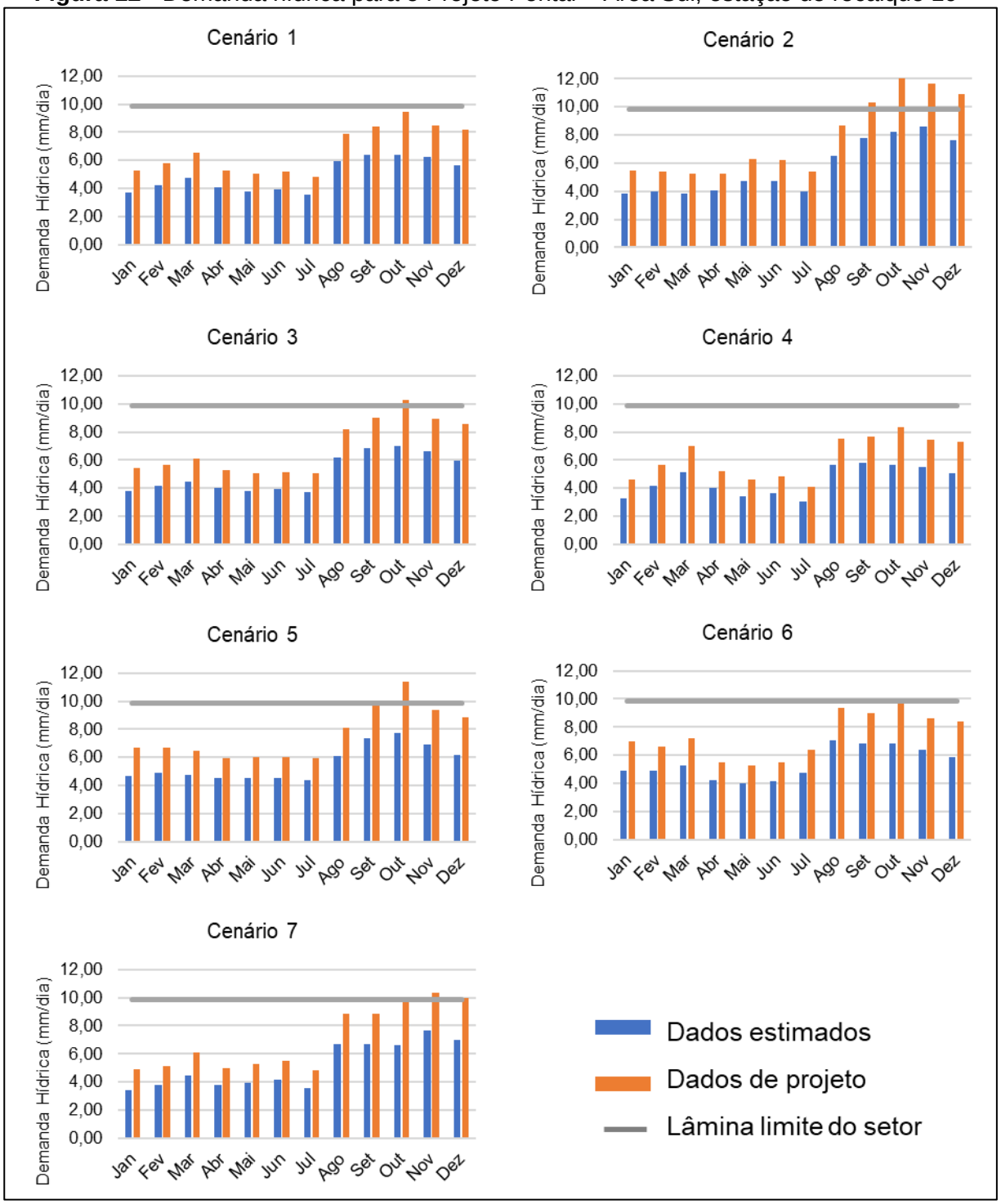


Figura 13 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 21

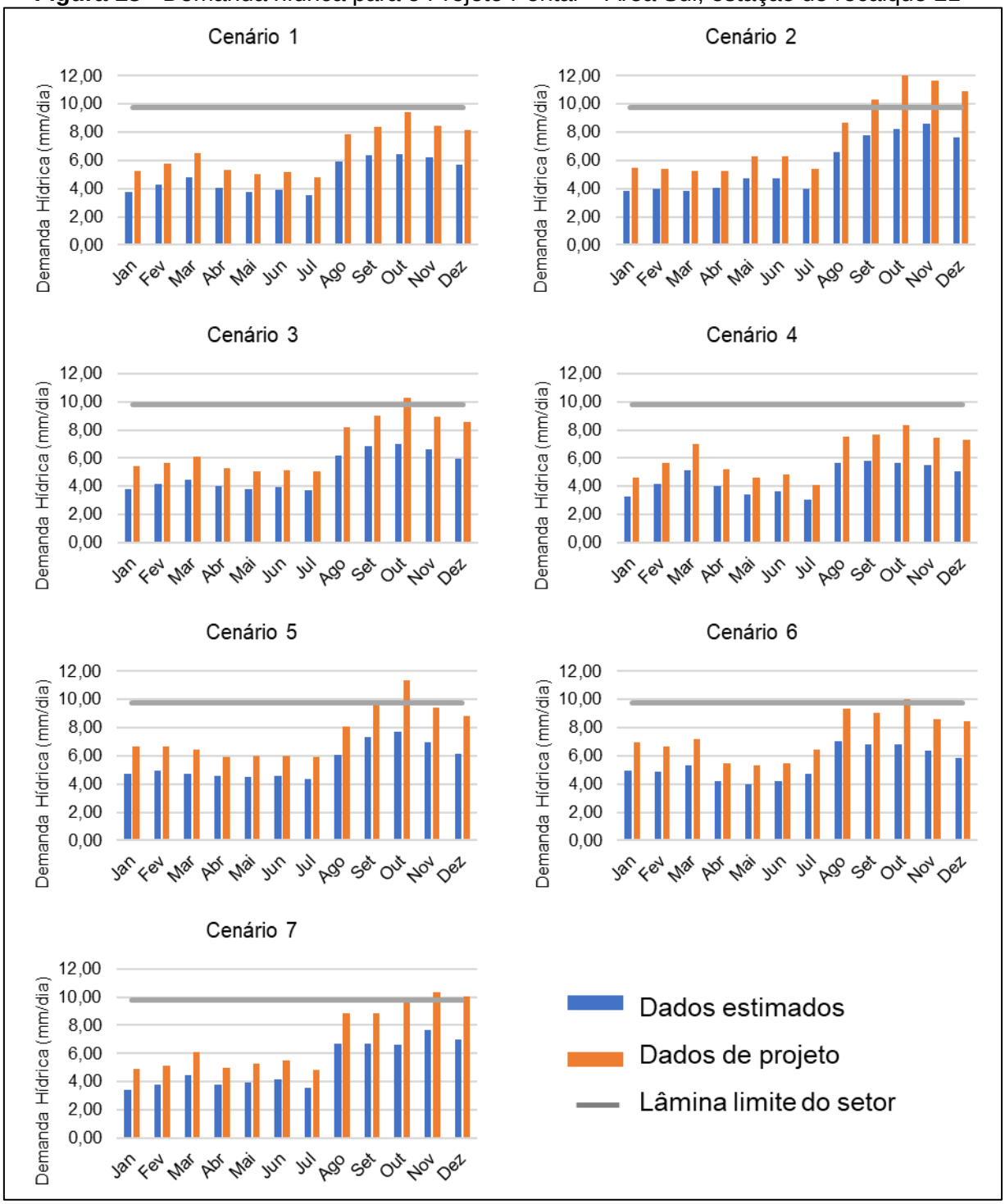


Figura 14 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 22

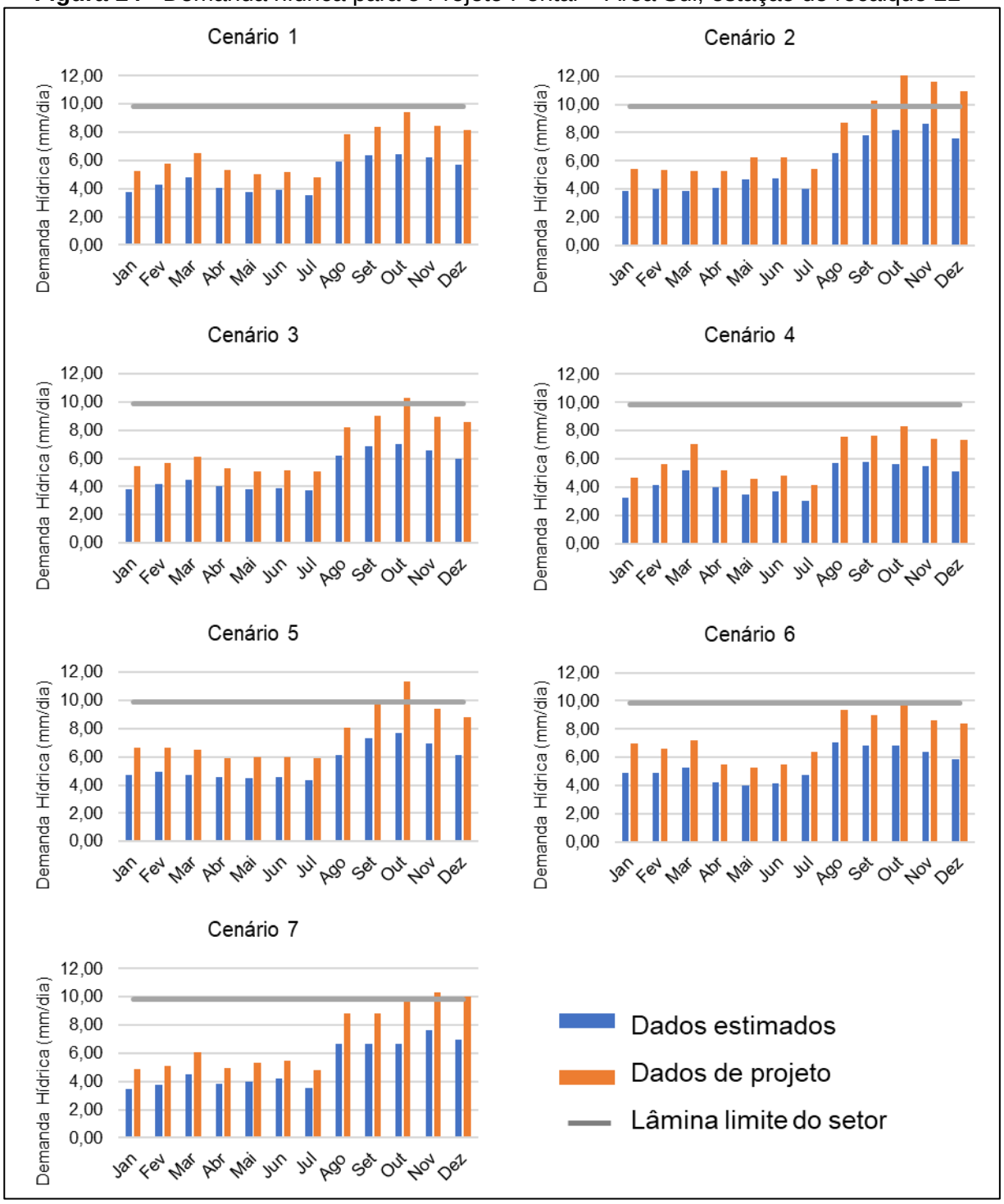


Figura 15 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 23

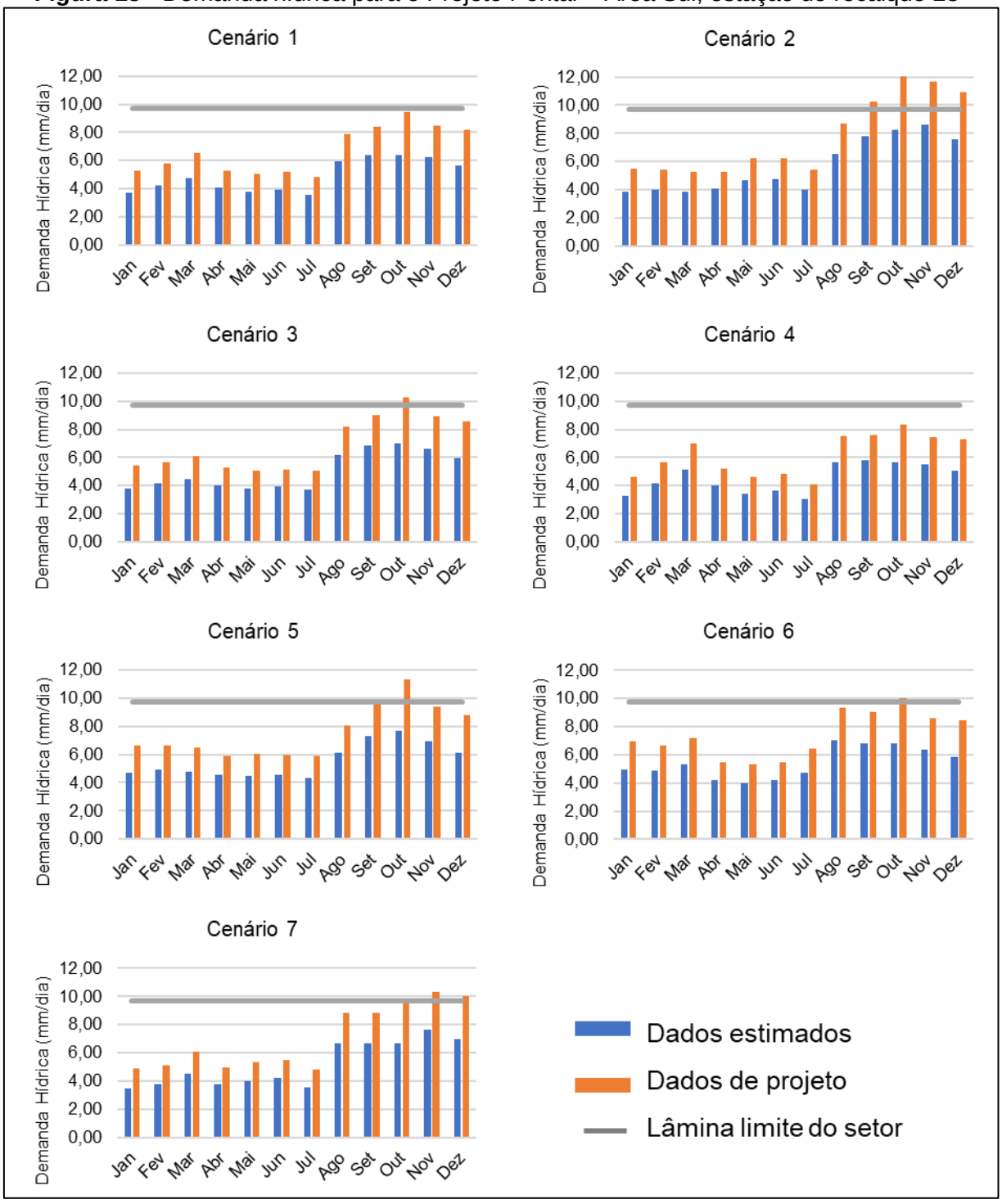


Figura 16 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 24

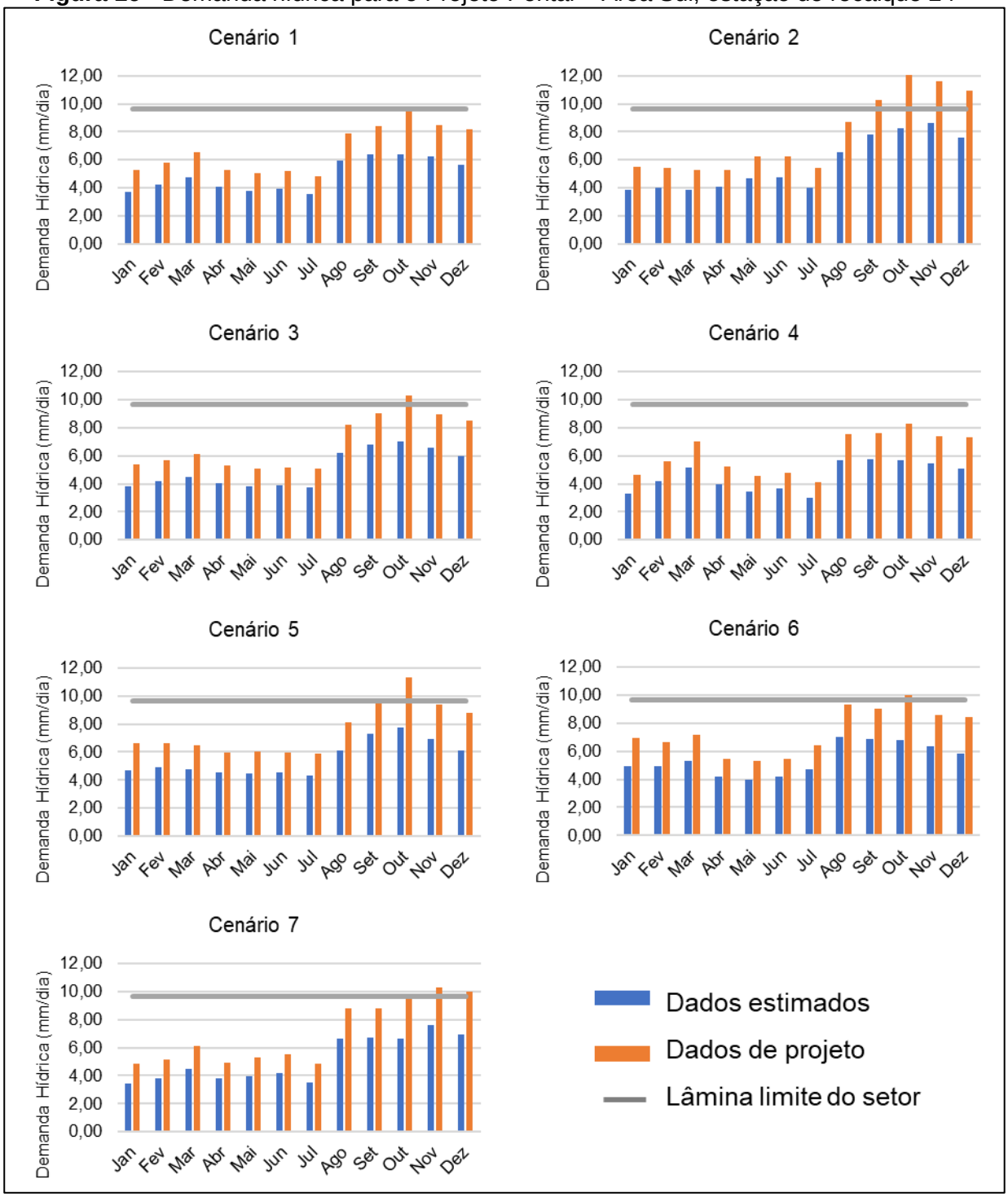
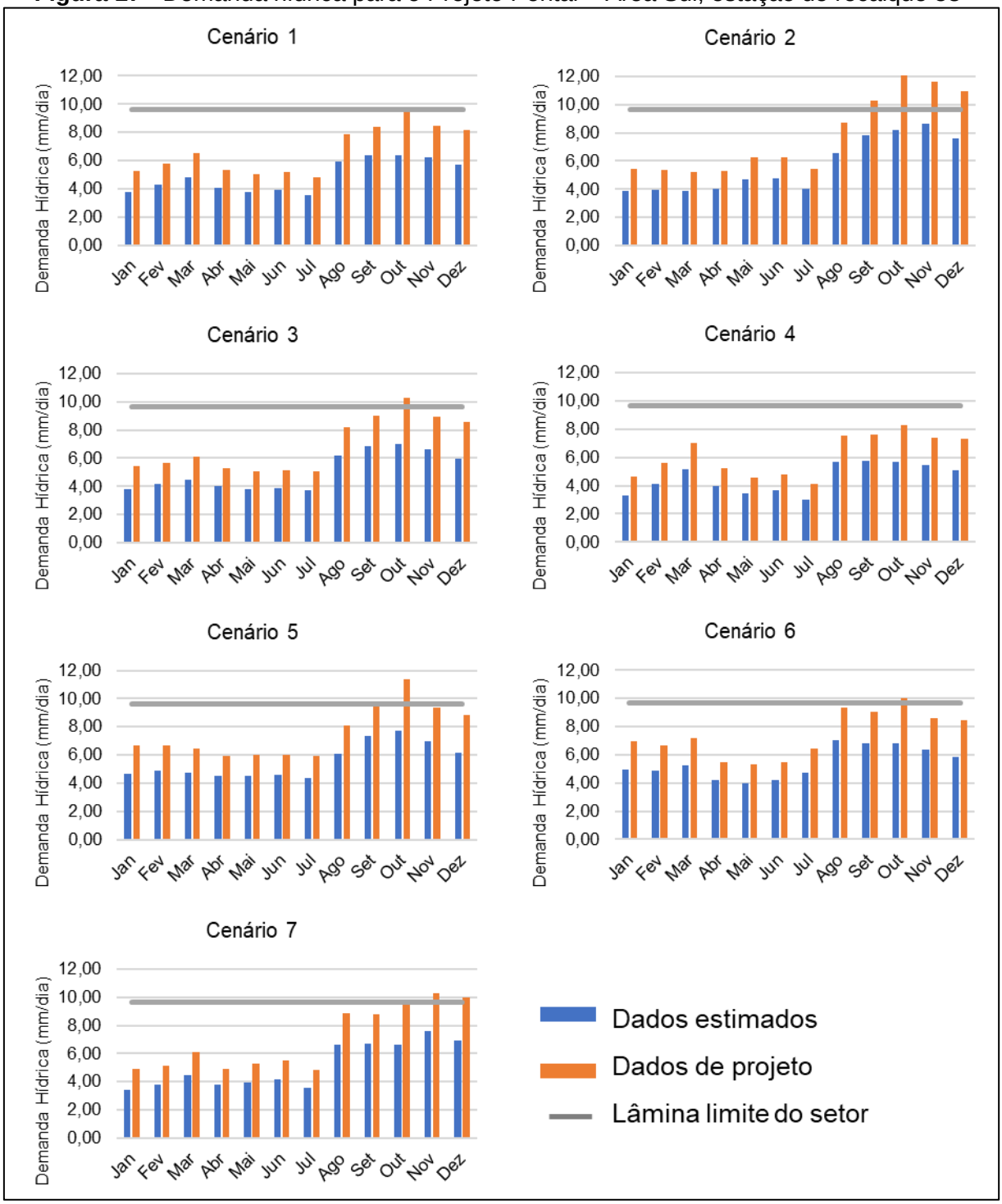


Figura 17 - Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 58



Diante da avaliação dos cenários, verificou-se que para os dados estimados, as lâminas em todos os cenários foram inferiores a lâmina limite do setor, podendo assim concluir que as lâminas foram superestimadas na elaboração do projeto. Dessa forma, é possível aumentar a área irrigada na região, devido a lâmina excedente conduzida pelos canais.

Como citado anteriormente, as lâminas de projetos foram superestimadas, assim foi possível perceber que nos cenários 1 e 4, a lâmina disponibilizada pelo projeto atende perfeitamente as necessidades, entretanto a demanda dos cenários 2, 3, 5, 6 e 7, foram maiores que as lâminas disponíveis, resultando assim em demandas hídricas maiores que a capacidade de fornecimento do sistema.

Os maiores problemas da estimativa com base no relatório básico de execução do Projeto Pontal, são verificados entre os meses de agosto a dezembro, ocasionados principalmente pelo aumento da evapotranspiração, configurando esse período como o que apresentam as maiores médias anuais de evapotranspiração, acarretando nos problemas diagnosticados de demanda. Para Bastiaanssen et al. (2001) esses problemas estão relacionados principalmente pela ausência de nuvens na região, ocasionando no elevado potencial de evapotranspiração.

Cruz et al. (2016) também relataram em seus estudos, utilizando o sistema S@I para cálculo de demanda hídrica e alocação de água em perímetros irrigados, que o sistema de canais do distrito de irrigação do baixo Acaraú (DIBAU), não consegue atender a demanda estimada pelo sistema, visto que o referido distrito restringe o volume de água disponibilizado aos lotes, devido aos problemas relacionados a escassez hídrica na região. Este resultado corrobora com os resultados aqui obtidos, destacando a necessidade de estimativas de demanda para uma melhor distribuição das culturas a serem implantadas, evitando assim, problemas com a restrição hídrica as culturas.

Pesquisas relacionadas à demanda hídrica geralmente são exclusos do planejamento de irrigação por muitos produtores, por não terem acesso aos estudos e tecnologias de fácil interpretação. Silva et al. (2015a) e Silva et al. (2017), também relataram a necessidade de estudos relacionados à demanda hídrica no projeto Pontal – Área Sul, pois evidenciaram preocupação com a busca do manejo mais adequado para utilização dos recursos hídricos disponíveis, aproveitando assim ao máximo o potencial agrícola da região.

Verificou-se que, independente da área do setor e vazão correspondente, os problemas ocorreram nos mesmos cenários, sendo então necessária uma revisão e um estudo mais detalhado das culturas a serem adotas. Porém, se a implantação das áreas irrigadas for baseada em estudos preliminares adequados, isto favorecerá o melhor planejamento do sistema de irrigação e o adequado fornecimento de água. A tomada de decisão e alocação adequada dos recursos hídricos, acima de tudo,

necessita de uma avaliação anterior, que envolva todos os possíveis problemas a serem enfrentados futuramente, como por exemplo, a escassez hídrica de determinada região.

Assim como nos estudos de Gondim et al. (2007) e Assad (2016), o entendimento desta situação possibilita a escolha de uma alternativa que conduza ao melhor resultado, tanto de produção, quanto para uso adequado da água, e um perfeito funcionamento do setor irrigado, principalmente em regiões onde o abastecimento de água já está sendo comprometido, o que pode evitar épocas de restrição hídrica ou casos de limitação do fornecimento da água, como relatado anteriormente por Cruz et al. (2016).

Vale ressaltar ainda, que os cenários que apresentaram problemas quanto a disponibilidade, são os que mais se assemelham a situações reais dos lotes para pequenos irrigantes (6 ha) na região, os quais utilizam poucas culturas (em torno de 3 culturas) e requerem alta demanda de água para completar os respectivos ciclos produtivos.

Autores como Córcoles et al. (2010), Katerji et al. (2013) e Xiao et al. (2018), em diferentes estudos, mas com a temática de gerenciamento e manejo adequado da água, apontaram que mesmo com as inovações tecnológicas que envolvem os sistemas de irrigação atuais, o principal problema é a taxa de aceitação a novas tecnologias e métodos, visto que muitos já têm uma metodologia de trabalho estabelecida e ficam receosos em mudar.

Davijani et al. (2016) destacam ainda, que o uso de alta tecnologia é necessário, porém o emprego destes pode ser visto como demasiadamente caro, mas o uso de métodos menos onerosos pode alcançar bons resultados, basta um estudo que caracterize bem a área agrícola. Katerji et al. (2013) relatam que dentre as possibilidades para melhorar a utilização adequada da água, o emprego de sistemas de irrigação localizada, que apresentam melhor eficiência, possibilita uma redução significativa na quantidade de água a ser aplicada para atender as demandas das culturas, quando comparadas aos sistemas de irrigação por aspersão.

Córcoles et al. (2010) demonstraram em seus estudos, que houve uma redução da quantidade de água empregada por sistemas de irrigação em associações de usuários de água (unidades parcelares), ressaltando, assim como neste estudo, que o planejamento dos sistemas é uma prática essencial para melhorar a gestão de água

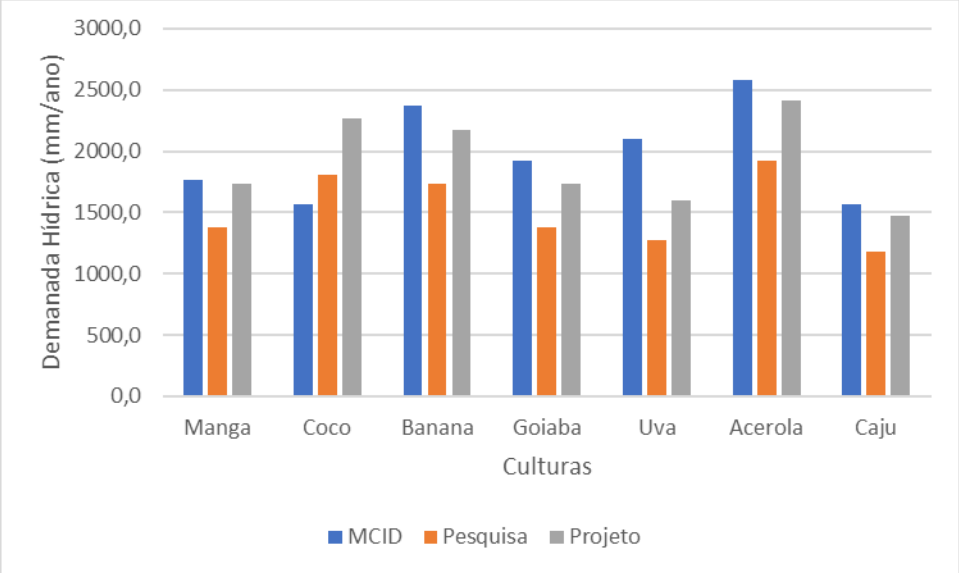
e energia, juntamente com outros custos de produção, servindo ainda como indicadores de desempenho quando áreas irrigadas são comparadas.

4.3 Demanda estimada pelo MCID

Como forma de estimar e comparar com os valores de demanda anteriormente citados, foi utilizado o programa MCID com o objetivo de determinar a demanda hídrica das culturas ao longo do ano (ciclo produtivo).

Foram estimadas as demandas para todas as culturas estudadas, com os respectivos valores de kc utilizados na estimativa anterior, além da realização de cálculos com as datas alternativas, modificando apenas o período de cultivo. Estes valores são apresentados na Figura 18, para o período de um ano.

Figura 18 - Demanda Hídrica (mm/ano) para todas as culturas estudadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este trabalho apresenta valores de demanda hídrica superiores a outros trabalhos (BASSOI, et al., 2004; GONDIM et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015; SILVA, et al., 2015a; SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2016), nos quais foram realizadas as irrigações, e medido a quantidade de água aplicada a cada cultura. Entretanto vale ressaltar que os trabalhos citados foram feitos a campo, de certa forma fizeram uso da precipitação em determinadas épocas e que na maioria dos casos, consideraram

apenas o ciclo produtivo, não contabilizando os valores de precipitação total e da quantidade de água aplicada em períodos entre safras, reduzindo assim a demanda líquida para cada cultura.

Em nível de planejamento, este trabalho buscou avaliar a capacidade de fornecimento de água pelo perímetro irrigado, apresentando valores de demanda exigidas pelas culturas e assim fornecer subsídio para a elaboração, implementação e adequação de sistemas de irrigação no perímetro, que atendam a demanda requerida pelas culturas, independentemente de ser um ano seco ou chuvoso.

Gondim et al. (2007) apresentaram a necessidade hídrica liquida (mm) para algumas culturas, de 1.663 para acerola, 1.565 para banana, 1.017 para o caju, 1.565 para o coco, 990 para a goiaba, 1.111 para a manga e 1.378 para uva de mesa, utilizando kc de regiões semiáridas. Santos et al. (2016) apresentaram valores que variam entre 939 e 1.975 mm ano, para o cultivo da banana em Guanambi – Bahia, também em região semiárida. Já Oliveira et al. (2015), observaram uma demanda de 1.490 mm/ano para goiaba e 1.208 mm/ano para a manga, também em região semiárida (Ceará).

Silva et al. (2016), relataram que para o cultivo da mangueira em Petrolina – PE, a evapotranspiração da cultura (demanda requerida) para o respectivo ciclo de cultivo (durante o ano de 2008), foi menor que a média de dados observados, o que enfatiza ainda mais, a variabilidade existente na condução das culturas na região, a necessidade de conhecimento das características climáticas locais e de observar o coeficiente de cultivo específico.

Para a bananeira, da variedade Pacovan na cidade de Petrolina, Bassoi et al. (2004) e Silva et al. (2015a) relataram a variação na demanda hídrica, em função do kc e da época de cultivo, sendo o valor médio apresentado de 3,63 e 6,05 mm/dia, respectivamente.

Ferreira et al. (2006) comparou o MCID com o programa CROPWAT para as condições do Projeto Jaíba, MG, utilizando culturas perenes e anuais e obtiveram resultados satisfatórios, em relação aos valores estimados de produtividade e evapotranspiração real, concluindo que este modelo, possui grande potencialidade como uma ferramenta de apoio à decisão em projetos irrigados. Tavares et al. (2011) apontaram em seus estudos, que com a utilização do MCID, foi possível obter planos ótimos de cultivo, para os diferentes padrões de demanda hídrica, dos cultivos testados.

Deve ser ressaltado que o programa MCID leva em consideração tipo de solo e sua capacidade de armazenamento, profundidade para o armazenamento de água no solo e fatores de correção da área ocupada pela planta. Ressaltando ainda, que as estimativas aqui apresentadas foram para o período de um ano em produção, considerando inclusive períodos de descanso da cultura (entre safras), já nos muitos trabalhos revisados na literatura, os valores de demanda apresentados são apenas para 1 ciclo produtivo, não considerando os 365 dias do ano.

Cada ano apresenta demanda evapotranspirativa diferente, o que influencia diretamente nas variações do requerimento hídrico das culturas. Ide e Silva (2017), relataram estudos de demanda de diferentes culturas, em diferentes localidades da região semiárida nordestina, com a série histórica dos dados climáticos entre janeiro de 1995 a dezembro de 2014.

Os mesmos autores, perceberam diferentes demandas para a mesma cultura nas diferentes localidades. No caso da banana, no segundo ano produtivo, foi observada uma demanda média de 1.161 mm na comunidade Captação em Cabrobó – PE e 865 mm na comunidade Porteiras em Custódia – PE. Isso corrobora com a variabilidade dos valores de demanda, demonstrando que cada localidade tem sua exigência hídrica, suas características climáticas e variações dos valores de kc, reafirmando a necessidade de estudos específicos em cada área de implantação da fruticultura irrigada.

DAS et al. (2015) buscaram em seus estudos, desenvolver modelos, para alocar de maneira ideal recursos hídricos disponíveis, de forma a atender à demanda de água para irrigação de cultivo existentes na bacia do rio Mahanadi, no leste da Índia. Tais modelos, foram gerados para aprimorar a capacidade de tomada de decisão afim de melhorar o planejamento de safras e o gerenciamento de recursos hídricos nos diferentes cenários em que pode ser simulado, utilizando o balanço de águas superficiais e subterrâneas, além de modelos de evapotranspiração.

Já Vazifedoust et al. (2007), foram mais adiante, não só simularam como validaram os dados e estratégias fornecidas pelo modelo utilizado. O modelo utilizado é o SWAP (Solo-Água-Atmosfera-Planta) como base, calibrado e validado em diferentes culturas no Distrito de Borkhar, Irã (região semiárida). Foram utilizados os componentes do balanço hídrico, como transpiração, evapotranspiração, irrigação entre outros. Segundo estes autores, o estudo proporcionou confiança para analisar a produtividade da água sob condições atuais, nos campos dos agricultores

selecionados no Distrito de irrigação de Borkhar, usando a quantidade de água simulada pelo modelo, favoreceram as produções agrícolas e consequentemente reduziram a quantidade de água utilizada, mostrando a importância da estimativa da demanda de água em campo.

A criação de modelos computacionais onde é possível estimar dados e cenários, é uma alternativa para o desenvolvimento de regiões agrícolas, principalmente em localidades com pouca disponibilidade de água. A alternativa apresentada para estimativas e simulações, baseada no balanço hídrico e na demanda evapotranspirativa, são as mais testadas devido a sua maior influência no desenvolvimento das culturas.

Vazifedoust et al. (2007), conseguiram mostrar ainda que a produtividade de suas culturas, mesmo utilizando uma menor quantidade de água, foram rentáveis tanto quanto o cultivo normalmente utilizado, corroborando com a hipótese que a simulação com modelos testados e validados em áreas agrícolas, é a alternativa para manutenção, ou ainda incremento da produção, reduzindo a quantidade de água utilizada, evitando assim, problemas futuros com alocação de água.

4.4 Estratégia de alocação

Além da avaliação do fator climático e da utilização de um sistema de irrigação eficiente, outro fator de extrema relevância, que pode ser manipulado/alterado para correção dos problemas encontrados, é a escolha adequada da época cultivo para as diferentes culturas. Desta forma, um estudo adequado sobre o comportamento da cultura em relação ao clima, pode favorecer o desenvolvimento de uma determinada espécie vegetal, além de reduzir ou eliminar problemas de altas demandas e baixa disponibilidade hídrica, conforme pôde ser observado nas Figuras 7 a 17.

Como alternativa para as elevadas demandas apresentadas, a escolha do cenário (culturas) e a alteração de kc é uma proposta real e, de certa forma, imediata para solução do problema. Usando o kc alternativo (Tabela 11), foi possível reduzir valores de demanda das culturas (Figura 19), em algumas épocas de alta demanda e com base nos cenários agrícolas, foi possível verificar também, que o perímetro irrigado consegue fornecer a demanda exigida em condições adversas e de máxima

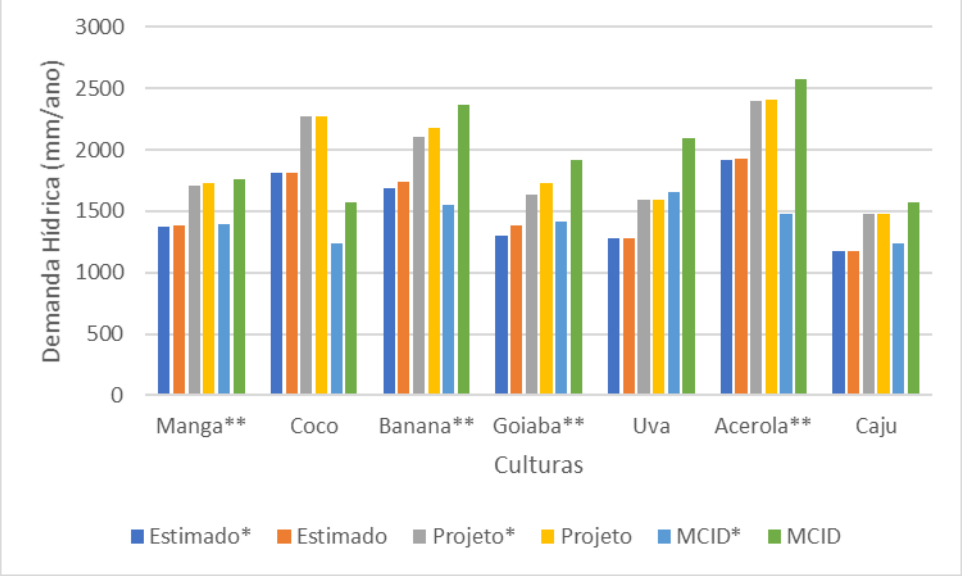
necessidade. Essa alteração foi adequada para que o perímetro irrigado possa garantir o fornecimento de água, não impedindo a alteração e escolha de outras proporções e culturas.

Tabela 11 - Épocas alternativas para cultivo e kc

Culturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Manga*	0,85	0,83	0,83	0,49	0,71	0,85	0,85	0,83	0,83	0,49	0,71	0,85
Coco	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Banana*	0,80	0,95	0,95	0,95	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80
Goiaba*	1,04	1,04	1,12	1,12	0,35	0,35	0,35	0,56	0,56	0,56	0,56	1,04
Uva	0,60	0,70	1,15	0,65	0,50	0,60	0,70	1,15	0,65	0,50	0,60	0,70
Acerola*	1,39	1,39	0,73	0,88	1,00	1,00	1,39	1,39	0,73	0,88	1,00	1,00
Caju	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

* Culturas que tiveram o kc e suas datas de poda (início do ciclo produtivo) alterado.

Figura 19 - Demandas Hídricas anuais estimadas após alteração de kc e épocas de cultivo



*Estimativas com kc alterado. **Culturas com kc alterado

Na Figura 19, são apresentados os valores de demanda para as culturas antes e após alteração dos valores de kc. A alteração do kc (época de cultivo) é uma das soluções empregadas nos cálculos de demanda, devido a utilização do kc mais elevado em épocas de menor evapotranspiração. Dessa forma, os problemas percebidos nos cenários agrícolas apresentados, foram corrigidos e não haveria problemas futuros de não atendimento da demanda de água pelo perímetro irrigado.

Em relação aos cenários, é válida a estratégia apresentada, pois os mesmos não resultaram em problemas com a capacidade de fornecimento de água pelo perímetro irrigado. Caso sejam adotadas as estratégias de alteração do início dos

ciclos produtivos das culturas, consequentemente a demanda (Figuras 18) nos meses mais críticos será atendida, resolvendo assim possíveis problemas.

A alteração do kc proporcionou reduções das demandas, considerando os mesmos cálculos e dados climáticos. Mesmo com as reduções na demanda requerida pelas culturas, os valores aqui descritos são inferiores aos relatados na literatura (SILVA, et al., 2001; GONDIM et al., 2007; SILVA et al., 2015b; OLIVEIRA et al., 2015; SANTOS et al., 2016). Isto se deve a vários fatores como metodologia de cálculo, utilização de diferentes valores de kc e principalmente devido aos valores de evapotranspiração da série climática utilizada.

Silva et al. (2015b) verificaram valores de aproximadamente 1.900, 1.100 e 900 mm para as culturas da banana, manga e uva, respectivamente, e uma evapotranspiração de referência média de 2.070 mm anuais, diferindo dos valores encontrados nesse trabalho, os quais para a banana os valores aqui obtidos, foram inferiores para manga e superiores para uva. Este fato, pode ser explicado pelo aumento da média da evapotranspiração (para 2.649,50 mm anuais), observada no período estudado (1975 a 2018).

Silva et al. (2015a) e Silva et al. (2016) apontam que o conhecimento das épocas de maior ET_0, das fases fenológicas e seus respectivos kc, pode favorecer a produtividade e reduzir a utilização dos recursos hídricos. Silva et al. (2016) afirmaram ainda, que a informação primordial para o planejamento adequado do uso da água é o estudo da evapotranspiração da cultura.

A escolha adequada da época para poda já é uma técnica muito utilizada na região de Petrolina – PE, para modificar o desenvolvimento natural da planta e induzir alguns princípios fisiológicos fundamentais, como reduzir o crescimento vegetativo em excesso, o que reduz também a quantidade de frutos, uma vez que seu excesso, pode reduzir sua qualidade. Assim, este manejo aliado à época adequada de cultivo, e ao fornecimento adequado de água, podem favorecer uma boa produtividade, em aspectos qualitativos e quantitativos (SANTOS, 2016).

Souza (2019), relatou um período de estiagem na cidade de Floresta – PE no ano de 2012, assim como apontado neste estudo e classificado com base no cálculo do IAC como um ano seco, isso ocasionou em elevadas demandas hídricas para cultivos da região (2.098 mm ano^{-1} para a cultura do coco e 2.413 mm ano^{-1} para a cultura da banana). Este fato, salienta que a determinação de períodos secos em

determinada região, pode antecipar a elaboração de estratégias de manejo, reduzindo possíveis perdas produtivas.

Um projeto inadequado para uma área irrigada, localizada em regiões áridas e semiáridas, é apontado por Freitas et al. (2008), como uma das causas de baixas produtividades, devido ao emprego inadequado de água às culturas, ocasionando em estresses, reduzindo assim o potencial agrícola dessas áreas.

A estimativa da necessidade hídrica na etapa de implantação de uma área irrigada, é fundamental para o dimensionamento adequado de tubulações hidráulicas e a determinação do volume de água necessário para suprir tal demanda. Diante disso, caso não seja possível alterar a época de cultivo, o planejamento e a possível criação de reservatórios para as épocas de maior exigência hídrica, são alternativas viáveis para a condução das culturas e sucesso nas produções dos pequenos produtores rurais, em épocas de alta demanda hídrica (SILVA et al., 2016).

Xie et al. (2018) em trabalho semelhante, onde foi desenvolvido um modelo para estudo da alocação adequada de água na cidade de Jining (China), observaram e destacaram as várias incertezas que existem nos diferentes parâmetros envolvidos no sistema solo – planta – atmosfera e suas inter-relações, como o processo da chuva, a água disponível e condições de terra cultivadas e as complexidades na irrigação e da determinação das necessidades de água das culturas. Todas essas incertezas, podem intensificar os requerimentos e possíveis conflitos pelo uso da água, entre a agricultura e demais setores usuários. Portanto, é desejável um planejamento eficaz para o gerenciamento de recursos hídricos agrícolas, incorporando incertezas em uma estrutura geral de otimização regional da irrigação, e da utilização de terras agrícolas.

Silva et al. (2015c), relataram que a adoção de sistemas de irrigação mais eficientes, pode acarretar numa redução da quantidade de água ofertada as culturas, o que implica no favorecimento do crescimento das áreas agrícolas, ou até mesmo, na economia de água e energia na propriedade.

As variações de ET_0 e consequentemente ETc, estão relacionadas diretamente com a exigência hídrica das culturas. Dessa forma, segundo Araújo et al. (2019) estas variáveis são dependentes de fatores meteorológicos, dentre eles é possível citar, umidade do ar, velocidade do vento, temperatura do ar e radiação solar, os quais são alterados de acordo com as características da região, como cobertura superficial, tipo de vegetação, localização geográfica, fotoperíodo, e disponibilidade de água, afetando o planejamento da demanda de água da lavoura e o uso da água na agricultura.

Fica evidente, de acordo com os cenários, as estratégias, as considerações de dados médios e simplificações adotadas nas estimativas de demanda de água, que poderá haver divergência entre os valores reais (fornecido pela Perímetro Irrigado Pontal Sul) e os estimados. Segundo Ide e Silva (2017), essa percepção é inevitável devido, principalmente, as características locais de cultivo, condições climáticas da região e dos métodos de cálculos utilizados.

Autores com Vazifedoust et al. (2007) e Davijani et al. (2016), observaram a ligação entre o gerenciamento e alocação dos recursos hídricos, com os benefícios gerados, para os setores agrícola e industrial em regiões áridas do Irã, tanto no que diz respeito a melhoria dos sistemas de cultivo (implementação de estratégias de cultivo, como a aplicação do déficit hídrico) quanto na geração de empregos pelos setores. Dessa forma, tal estudo corrobora com o aqui discutido, onde a alocação de água intrasetorial em regiões de importância agrícola e econômica, é essencial para a redução no uso, e para o desenvolvimento como um todo, da região.

Thevs et al. (2014), avaliaram o consumo de água de diferentes culturas na bacia do rio Tarim (China) e a quantidade de água (cota) destinada a agricultura ao longo do mesmo. Os autores perceberam diferentes necessidades dos irrigantes, onde foi possível entender a dinâmica do uso, que para os usuários a jusante a cota era insuficiente e a montante do local de pesquisa era mais que o necessário. Assim, estes autores propuseram além de estimativas mais atuais do consumo, o uso de estratégias adequadas a cada cultura e a aplicação de regras para os sistemas de uso da água para irrigação.

Para determinar a melhor alocação, se faz necessário estudos de otimização nos cálculos de demanda hídrica, seja determinando a necessidade das culturas, ou baseada em modelos mais complexos, envolvendo a dinâmica espaço-tempo de modelos matemáticos. Entretanto, todos tem um objetivo em comum, buscar a praticidade e eficiência da otimização e alocação de água em regiões com problemas relacionado a baixa disponibilidade hídrica (XU et al., 2016).

5 CONCLUSÕES

1- Com base nos cenários e nas estimativas de demanda, utilizando dados mais atuais, percebeu-se que o Relatório Final de Projeto Executivo do Pontal – Área

Sul, superestimou a demanda hídrica das culturas estudadas. E ainda, não conseguiu suprir a demanda calculada por este mesmo relatório.

2- O período crítico na região foi entre os meses de agosto até dezembro, devido aos altos índices de evapotranspiração, que em conjunto com o kc respectivo de cada cultura, exigiram demandas que ultrapassaram a capacidade de fornecimento dos canais de irrigação do perímetro irrigado Pontal – Área Sul.
3- Os cenários 2, 3, 5, 6 e 7 apresentaram problemas relacionados ao fornecimento de água pelo perímetro. Quando simulados, os cenários apresentaram elevadas demandas evapotranspirativas, necessitando, portanto, de uma revisão e alteração no planejamento dessas áreas.
4- Com o uso do MCID e das estimativas, foi possível definir quais culturas são as mais indicadas (dentre as apresentadas) para cada cenário e sistema de cultivo, servindo como base para apoiar a decisão e o planejamento agrícola, resultando assim, na adequada condução das culturas no perímetro irrigado.
5- O uso de sistema de Irrigação Localizada (Microaspersão e Gotejamento), com seus coeficientes de correção e a mudança do período produtivo, são estratégias viáveis e necessárias para adequação do planejamento agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHDASI, F. Crop water requirement assessment and annual planning of water allocation. **Doctoral thesis**. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), 2010.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015.

ALLEN R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. **Revista Pensar Acadêmico**, 14(1), 37-47. 2016.

ARAÚJO, L. M; TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H. Evapotranspiration and biomass modelling in the Pontal Sul Irrigation Scheme. **International Journal of Remote Sensing**, 41:6, 2326-2338. 2019. DOI:10.1080/01431161.2019.1688416

ASSAD, E. D. **Eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global.** 2016. (Relatório de pesquisa).

BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. D. C.; LIMA FILHO, J. M. P.; SILVA, E. E. G. D.; RAMOS, C. M. C.; SEDIYAMA, G. C. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II-Water consumption, crop coefficient, and physiologycal behavior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 464-467, 2004.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; BRITO, R. A. L.; BOS, M. G.; SOUZA, R. A.; CAVALCANTI, E. B.; BAKKER, M. M. Low cost satellite data for monthly irrigation performance monitoring: benchmarks from Nilo Coelho, Brazil. **Irrigation and Drainage systems**, v. 15, n. 1, p. 53-79, 2001.

BERHE, F. T.; MELESSE, A. M.; HAILU, D.; SILESHI, Y. MODSIM-based water allocation modeling of Awash River Basin, Ethiopia. **Catena**, v. 109, p. 118-128, 2013.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 9 ed., 2019.

BORGES JÚNIOR, J. C. F. **Modelo computacional para tomada de decisão em agricultura irrigada**. Tese Doutorado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2004.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 3/1-11, 2008.

BRANCO, D. K. S.; BARROS, E. S. Impactos da ferrovia transnordestina na exportação de uva do Vale Submédio São Francisco. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 48, n. 1, p. 31-45, 2017.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm>. Acesso em:19 mar. 2020.

CARVALHO, H. F. D. S.; MOURA, M. S.; SILVA, T. G.; RODRIGUES, C. T. Controlling factors of ‘Caatinga’and sugarcane evapotranspiration in the Sub-middle

São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22(4), 225-230. 2018.

CASTRO, C. N. A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao Desenvolvimento. **Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** (IPEA), 2012.

CHENGLONG, Z.; PING, G. A generalized fuzzy credibility-constrained linear fractional programming approach for optimal irrigation water allocation under uncertainty. **Journal of Hydrology**, Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing, China, 2017.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Relatório Final de Projeto Executivo realizado para implantação do Projeto Pontal – Área Sul. **Ministério da Integração Nacional**. Relatório. Dezembro, 1998.

CODEVASF - **Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.** Disponível em http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/pontal. Acesso em 26/09/2017.

CÓRCOLES, J. I.; JUAN, J. A.; ORTEGA, J. F.; TARJUELO, J. M.; MORENO, M. A. Management evaluation of water users associations using benchmarking techniques. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 1-11, 2010.

CORREIA, J. S. **Uso da terra e infiltração de água no solo no perímetro de irrigação Pontal Sul**. Tese Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P. Space-time distribution of rainfall anomaly index (RAI) for the Salgado Basin, Ceará State-Brazil. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 3, p. 627, 2017.

CRUZ, J. S.; SOUZA, E. C.; SARAIVA, K. R.; BELTRÃO JÚNIOR, J. A.; MENEZES, B. R. Q.; CAMARGO, D. C. Utilização do sistema s@ i como ferramenta administrativa no uso da alocação de água no distrito de irrigação do baixo acaraú–dibau. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**-RBAI, v. 10, n. 2, p. 468-476, 2016.

DAS, B.; SINGH, A.; PANDA, S. N.; YASUDA, H. Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. **Land Use Policy**, v. 42, p. 527-537, 2015.

DAVIJANI, M. H.; BANIHABIB, M. E.; ANVAR, A. N.; HASHEMI, S. R. Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 430-438, 2016. 10.1016/j.jhydrol.2015.12.025

FARIAS, M. P. Índices de seca meteorológica para a microrregião de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA. 2014. **Monografia** (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

FERREIRA, P. A.; BORGES JÚNIOR, J. C.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. D. L. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte II: Testes e aplicação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 783-791, 2006.

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. Demanda de irrigação da cultura da banana na bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 343-350, 2008.

GONDIM, R. S.; ARAÚJO, R. C. P.; TEIXEIRA, A. S. Indicadores de decisão para alocação da água de irrigação no baixo jaguaribe, Ceará. **In:** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 17. 2007. SÃO PAULO. Anais... São Paulo, 2007.

HÄNSEL, S.; SCHUCKNECHT, A.; MATSCHULLAT, J. The Modified Rainfall Anomaly Index (mRAI)—is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics. **Theoretical and applied climatology**, 123(3-4), 827-844. 2016.

HASSAN-ESFAHANI, L.; TORRES-RUA, A.; MCKEE, M. Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. **Agricultural Water Management**, v. 153, p. 42-50, 2015.

HU, Z.; CHEN, Y.; YAO, L.; WEI, C.; LI, C. Optimal allocation of regional water resources: From a perspective of equity–efficiency tradeoff. **Resources, Conservation and Recycling**, 109, 102-113. 2016. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.02.001

IDE, A. K.; SILVA, C. L. Demanda de água para irrigação das comunidades rurais associadas ao projeto de integração do rio São Francisco. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v. 25, n. 3, p. 249-260, 2017.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; GALVÍNCIO, J. D. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.10, n.01, p. 136-149, 2017.

JULIÃO, C. C. B.; BRANCO, D. K. S.; LIMA, J. E. Exportação de uva no Vale do São Francisco: uma análise a partir de vetores autorregressivos. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 48, n. 2, p. 75-83, 2017.

KANG, S.; HAO, X.; DU, T.; TONG, L.; SU, X.; LU, H.; LIA, X.; HUOA, Z.; LIA, S.; DING, R. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 5-17, 2017.

KATERJI, N.; CAMPI, P.; MASTRORILLI, M. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, v. 130, p. 14-26, 2013.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 649p. 1990.

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. D. C. M.; LOPES, G. M. B.; ASSAD, E. D. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, 31, 132-141. 2016.

LEVIDOW, L.; ZACCARIA, D.; MAIA, R.; VIVAS, E.; TODOROVIC, M.; SCARDIGNO, A. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 84-94, 2014.

LI, X., ZHANG, X., NIU, J., TONG, L., KANG, S., DU, T., LI, SIEN; DING, R. Irrigation water productivity is more influenced by agronomic practice factors than by climatic factors in Hexi Corridor, Northwest China. **Scientific Reports**, v. 6, p. 37971, 2016.

LIMA, G. S. **Caracterização físico-hídrica do solo do perímetro irrigado pontal sul por funções de pedotransferência**. Tese Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

LOPES, I.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELO, J. M. M. Análise da precipitação na estação da embrapa semiarido, projeto bebedouro Petrolina/PE, através da técnica de quantis. **In:** II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido, 2015, Campina Grande-PB. Anais II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido, 2015. v. 1.

MEDEIROS, R. M.; NUNES, J. C.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 310-318, 2018.

MIRANDA, F. R.; GOMES, A. R. M. **Manejo da Irrigação do Coqueiro-anão. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2006 (Circular Técnica).

MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOCHOLÍ-ARCE, M.; SALA-GARRIDO, R. A management and optimisation model for water supply planning in water deficit areas. **Journal of hydrology**, v. 515, p. 139-146, 2014.

MOROTE, Á. F.; OLCINA, J.; HERNÁNDEZ, M. The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in Semi-Arid Regions: South-Eastern Spain. Water, v. 11, n. 1, p. 93, 2019.

MOURA, M.S.; BRANDÃO, E.O.; SOARES, J.M.; DONOSO, C.; SILVA, T. D.; SOUZA, L. Exigência térmica e caracterização fenológica da videira syrah no vale do rio são francisco. **In:** Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju, SE.

Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia "Efeito das Mudanças Climáticas na Agricultura", 2007. v. XV.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 13, n. 1, p. 107-118, 2014.

OLIVEIRA, E. V.; ARRAES, F. D. D.; TORRES, W. L. V.; DE SOUZA, S. A.;DE LAVOR VIEIRA, W. Desempenho de sistemas de irrigação por microaspersão e estimativa da demanda hídrica para diferentes fruteiras no município de Iguatu-CE. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 40-46, 2015.

OLIVEIRA, S. C.; AMARAL, R. C.; ALMEIDA, K. C. D. B.; PINTO, C. C. Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 711-721, 2017.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, M. J.; SOUZA, C. A. A. Procedimento metodológico para análise da distribuição da chuva e extrato do balanço hídrico no semiárido: estudo de caso. **Scientia Plena**, 14(3). 2018.

RAMOS, C.M.C.; SILVA, A.F.; SARTORI, A.A.C.; ZIMBACK, C.R.L.; BASSOI, L.H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.15, n.9, p.959–965, 2011.

RAMOS, C. M. C. Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na Bacia do Rio Pontal, Pernambuco. **Tese Doutorado** - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

REIS, C. R. N.; GUÉNEAU, S. Atuação do Estado no sistema agroalimentar: da construção à manutenção da fruticultura irrigada para exportação do Vale do São Francisco. **Seminário internacional**. O Estado e o sistema agroalimentar. Contradições e crise dos novos modelos de apropriação da terra e do trabalho no contexto internacional: o caso do Brasil. Novembro, Recife, 2017.

ROOY, M. P. A. V. Rainfall Anomally Index Independent of Time and Space, **NOTOS**. 1965.

ROZENSTEIN, O.; HAYMANN, N.; KAPLAN, G.; TANNY, J. Estimating cotton water consumption using a time series of Sentinel-2 imagery. **Agricultural Water Management**, v. 207, p. 44-52, 2018.

SANTOS, M. R. D.; DONATO, S. L.; LOURENÇO, L. L.; SILVA, T. S.; COELHO FILHO, M. A. Irrigation management strategy for Prata-type banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 9, p. 817-822, 2016.

SANTOS, O. N. A. **Irrigação e tipos de poda no cultivo de pinhão-manso em Piracicaba, SP**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2016.

SILVA JUNIOR, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, I. P. F.; REIS, L. S.; TEIXEIRA, A. H. C. Estabelecimento dos meses mais críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico/ Stablishment of critical months to irrigated agriculture from a water balance study. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 12, n. 2, p. 122-131, 2018.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. É.; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of environmental analysis and progress**, 2(4), 377-384. 2017.

SILVA, E.R.A.C.; MORAIS, Y.C.B.; SILVA, J.C.; GALVÍNCIO, J.D. Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.08, n.03. 921-937, 2015a. DOI: 10.26848/rbgf.v8.3.p921-937

SILVA, F. B.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; VIEIRA, N. P. A.; ROSA, D. R. Q. Consumo de água de culturas cultivadas em perímetros irrigados na bacia do São Francisco: relações de equivalência e influência na produção de energia elétrica. **In:** Inovagri International Meeting, 2015, Fortaleza, CE. Inovagri International Meeting, 2015b. v. III.

SILVA, G. S.; FIGUEIREDO, L. E. N.; MORAES, M. M. G. A. Curvas de demanda pelos recursos hídricos dos principais usos consuntivos no submédio da bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 36, p. 45-59, 2015c. DOI: 10.5327/Z2176-947820151004

SILVA, J. S.; CAMPECHE, L. F. D. S. M.; BARBOSA, D. F.; LIRA, R. M.; BARNABÉ, J. M. C.; SOUZA, D. H. S. Estimativa da evapotranspiração da cultura da mangueira no Vale do São Francisco| Estimation of the mango crop evapotranspiration in the São Francisco Valley. **Revista Geama**, v. 1, n. 2, p. 128-140, 2016.

SILVA, V. D. P.; AZEVEDO, P. V. D.; SILVA, B. B. D.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. D. C.; SOARES, J. M.; SILVA, J. A. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 456-462, 2001. DOI: 10.1590/S1415-43662001000300015

SINGH, A. Simulation–optimization modeling for conjunctive water use management. **Agricultural Water Management**, v. 141, p. 23-29, 2014. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.04.003

SOBEL, T. F.; COSTA, E.F. Estimando taxas de adoção de tecnologias poupadoras de água na fruticultura irrigada do Vale do São Francisco: o caso dos pequenos agricultores. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 36, n. 1, p. 121-146, 2005.

SOUZA, E. G. F. Prognóstico da demanda hídrica do açude Barra do Juá e Riacho do Navio, em Floresta - PE, frente à transposição do Rio São Francisco. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Alagoas. 2019.

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 103-112, 2003.
TAVARES, B. S.; BORGES JÚNIOR, J. C.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R.; DANTAS NETO, J. Análise de risco e otimização de recursos hídricos e retorno financeiro em nível de fazenda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 338-346, 2011.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; REIS, V. D. S.; DA SILVA, T. G. F.; FERREIRA, M.; MAIA, J. L. T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura** (Impresso), v. 25, p. 457-460, 2003. DOI: 10.1590/S0100-29452003000300024

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSSEN, W. G.; AHMAD, M. U. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. **Agricultural and forest meteorology**, 149(3-4), 462-476.2009. DOI: 10.1016/j.agrformet.2008.09.016

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; DA SILVA, G. B. S. Indicadores de balanço hídrico através de imagens Modis e dados climáticos no polo agrícola Petrolina/Juazeiro. In: **Embrapa Monitoramento por Satélite-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13. Aracaju. 2016.

THEVS, N.; PENG, H.; ROZI, A.; ZERBE, S.; ABDUSALIH, N. Water allocation and water consumption of irrigated agriculture and natural vegetation in the Aksu-Tarim river basin, Xinjiang, China. **Journal of Arid Environments**, v. 112, p. 87-97, 2015. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.05.028

TOMAZETTI, T.C.; ROSSAROLLA, M.D.; ZEIST, A.R.; GIACOBBO, C.L.; WELTER, L.J.; ALBERTO, C. M. Fenologia e acúmulo térmico em videiras viníferas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 50(11), 1033-1041, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001100006

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, 2000.

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAM, J. C.; FEDDES, R. A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural water management**, 95(2), 89-102. 2007. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.09.007

XIAO, Y.; FANG, L.; HIPEL, K. W. Agent-based modeling approach to investigating the impact of water demand management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 3, p. 04018006, 2018. DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000907

XIE, Y. L.; XIA, D. X.; JI, L.; HUANG, G. H. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. **Ecological indicators**, v. 92, p. 301-311, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.026

XU, J.; MA, N.; LV, C. Dynamic equilibrium strategy for drought emergency temporary water transfer and allocation management. **Journal of Hydrology**, v. 539, p. 700-722, 2016. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.02.055