

**ADAPTA
GESTÃO ADAPTATIVA DO RISCO CLIMÁTICO DE SECA**

© 2019 Copyright by **Autores**
Impresso no Brasil / Printed in Brazil

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Diagramação eletrônica
Expressão Gráfica

Capa
Larri Pereira

Impressão e Acabamento
Expressão Gráfica e Editora
Rua João Cordeiro, 1285 - Aldeota - Fortaleza - Ceará
CEP: 60110-300 - Tel.: (085) 3464-2222
E-mail: arte@expressaografica.com.br

Ficha Catalográfica

*Biblioteca: Perpétua Socorro Tavares Guimarães
CRB 3/801-98*

ADAPTA: Gestão adaptativa do risco climático de seca / organizado por Francisco de Assis de Souza Filho, Samiria Maria Oliveira da Silva, Rosa Maria Formiga-Johnsson, et al.- Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora 2019.

996 p.
ISBN: 978-85-420-1386-3

1. Bacias hidrográficas 2. Seca- gestão proativa 3. Recursos hídricos- Gestão
I. Souza Filho, Francisco de Assis II. Silva, Samiria Maria Oliveira da
III. Formiga-Johnsson, Rosa Maria IV. Título

CDD: 551

Organizadores

Francisco de Assis de Souza Filho, Samiria Maria Oliveira da Silva,
Rosa Maria Formiga-Johnsson, Donald Robert Nelson,
Alexandra Nauditt e Lars Ribbe

Autores

Alexandra Nauditt
Ályson Brayner Sousa Estácio
Amanda Vieira e Silva
Ana Paula Vasconcellos da Silva
Anderson Fernandes Pessoa
André Gonçalo dos Santos
André Luis de Paula Marques
Antônio Duarte Marcos Junior
Artur Holanda Souza
Assis Junior de Souza
Carla Beatriz Costa de Araújo
Cleiton da Silva Silveira
Cydney Seigerman
Daniel Antônio Camelo Cid
Daniel Metzke
Daniele Costa da Silva
Donald Robert Nelson
Eduardo Felício Barbosa
Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins
Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior
Francisco de Assis de Souza Filho
Francisco Wellington Ribeiro
Gabriel Santos Motta
Gabriela de Azevedo Reis
Guilherme de Alencar Barreto
Hamish Hann
Jéssica Barbosa dos Santos
Joschka Thurner
José Edson Falcão de Farias Júnior
José Marcelo Rodrigues Pereira
José Micael Ferreira da Costa
Jose Nilson B. Campos
Karine Machado Campos Fontenele
Kerstin Stahl
Laís Lima Ambrosio
Larissa Ferreira da Costa
Larissa Zaira Rafael Rolim
Lars Ribbe
Louise Caroline Peixoto Xavier
Luiz Martins de Araújo Júnior
Marcilio Caetano de Oliveira
Marco Aurélio Holanda de Castro
Maria Clara de Lima Sousa
Maria Lidiana Ferreira Osmundo,
Mario Held
Martin Obermaier
Meyre Sayuri Sakamoto
Natalia Barbosa Ribeiro
Nathalia de Almeida Vasconcelos
Renan Vieira Rocha
Renata Locarno Frota
Renato de Oliveira Fernandes
Rodrigo Werner
Rogério Barbosa Soares
Rosa Maria Formiga-Johnsson
Rubens Sonsol Gondim
Samiria Maria de Oliveira da Silva
Samuellson Lopes Cabral
Shelly Biesel
Sandra Helena Silva de Aquino
Silvrano Adonias Dantas Neto
Taís Maria Nunes Carvalho
Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes
Thaís Antero de Oliveira
Ticiania M. de Carvalho Studart
Tyhago Aragão Dias
Victor Costa Porto
Wesley de Souza Fernandes
Witalo de Lima Paiva

AGRICULTURA IRRIGADA E MEDIDAS ADAPTATIVAS PARA O ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

*Rubens Sonsol Gondim
Cleiton da Silva Silveira
Francisco de Assis de Souza Filho
Francisco Vasconcelos Jr*

1. INTRODUÇÃO

A demanda hídrica está em constante incremento devido ao aumento populacional e desenvolvimento econômico. Temperaturas mais elevadas causam maior demanda para evapotranspiração das plantas e a tendência seria em direção a um incremento da demanda de água para irrigação. Desta forma, mudança climática é outra fonte de pressão de incremento para demanda de água. De fato, os impactos das mudanças climáticas nas vazões e recarga de aquíferos variam regionalmente e entre cenários. Mudanças climáticas podem substancialmente afetar a retirada de água para irrigação, a qual depende de como a evaporação e precipitação irão se comportar (IPCC, 2001).

A demanda de água para agricultura, particularmente para irrigação, é considerada mais sensível à mudança climática que as demandas industrial e municipal. Há dois efeitos potenciais: uma mudança do clima em escala de parcela irrigada pode alterar a necessidade e época de irrigação. Secas prolongadas podem levar ao aumento de demandas, mas também podem ser reduzidas se a precipitação e conseqüentemente a umidade do solo aumentar (IPCC, 2001).

A agricultura irrigada influencia diretamente na disponibilidade da água para compartilhamento numa bacia hidrográfica, especialmente numa região onde essa atividade é intensiva. O conhecimento local sobre o assunto permitirá o desenvolvimento de políticas para reduzir impactos e vulnerabilidades. Perdas sociais, econômicas e ambientais causadas por planejamento deficiente e ausência de critérios de decisão para definir medidas de mitigação e adaptação tornariam a equidade de acesso e sustentabilidade do uso da água, incertos.

A continuidade do comportamento atual do usuário de água para a agricultura e do padrão de gestão de recursos hídricos pode não ser sustentável num futuro próximo. Mudanças climáticas e aumento de demanda por alimentos têm pressionado a demanda por água de irrigação.

Atualmente compreende-se que esse aumento de demanda de água para irrigação associado à pressão de demanda por alimentos e respectivo incremento de área irrigada, associado com o causado pelas mudanças climáticas compõem as principais *forçantes* no aumento de demanda por água a considerar. Neste caso,

políticas com medidas adaptativas devem ser implementadas para o alcance da segurança hídrica.

Reconhece-se assim, que o aumento na eficiência de uso da água de irrigação é capaz de exercer importante papel na adaptação num futuro com maior demanda hídrica para a agricultura. Desta forma, tecnologias para otimização do uso da água de irrigação devem ser adotadas em nível de campo, assim como o aperfeiçoamento na gestão dos recursos hídricos.

O objetivo deste capítulo é analisar os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade e demanda hídrica para a agricultura irrigada e identificar medidas adaptativas, visando à sustentabilidade hídrica e agrícola.

2. PRINCIPAIS FORÇANTES DE DEMANDA DE ÁGUA PARA AGRICULTURA IRRIGADA

Baseando-se no processo de difusão entre duas partes de um sistema com concentrações diferentes, que tendem ao equilíbrio, seu ajuste depende da magnitude da diferença entre as concentrações, usualmente chamada de *forçante* (Jørgesen & Bendricchio, 2001). A principal *forçante* das mudanças climáticas de natureza antropogênica é o aumento da concentração de gases de efeito estufa.

Mudanças climáticas referem-se a um conjunto de alterações no estado do clima que tanto podem ser identificadas por mudanças nas médias como na sua variabilidade e que persistem por um período extenso, tipicamente décadas ou mais. Podem ocorrer devido a processos internos e, ou, *forçantes* externas. Algumas influências externas, tais como: radiação solar e vulcanismo ocorrem naturalmente e contribuem para a variabilidade total natural do sistema climático.

Mudanças externas, como composição da atmosfera que se intensificaram com a revolução industrial, são resultantes das atividades humanas (antropogênicas). Hegerl et al. (2007) chamam atenção para o entendimento de que resultam de *forçantes* externas antropogênicas e diferenciam das naturais e como podem ser distinguidas das mudanças e variabilidade natural que resultam de processos internos do sistema climático.

A abordagem no contexto do sistema de recursos hídricos numa bacia hidrográfica pode ser dividida em cinco partes: *i. forçantes*, tais como: crescimento populacional, crescimento econômico e mudanças climáticas que atuam sobre; *ii. pressões*: atividades ou poluentes resultantes da influência das forçantes. Essas pressões causam alterações no; *iii. estado do sistema de recursos hídricos*: expresso em termos de indicadores que quantificam uma mudança; *iv. impactos*: que podem induzir a uma; *v. resposta* por parte da gestão de recursos hídricos, na forma de medidas políticas ou intervenções técnicas (Aerts & Droogers, 2004).

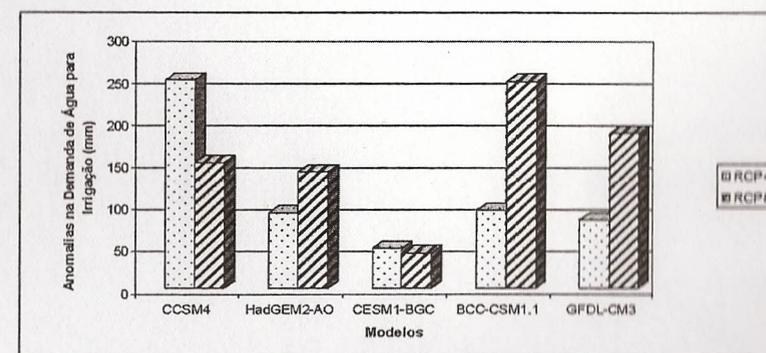
Evapotranspiração mais elevada causada por temperaturas mais altas devido às mudanças climáticas afeta a demanda de água pelas culturas agrícolas. Por

outro lado, a vazão de água que flui para os reservatórios e conseqüentemente a disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada e outros usuários dependem da chuva. Desta forma, mudanças climáticas e demanda por alimentos podem ser consideradas importantes *forçantes* para conflitos entre usuários de água, devido ao aumento das necessidades hídricas pela agricultura irrigada.

Atualmente compreende-se que o aumento de demanda de água para irrigação associado à pressão de demanda por alimentos e respectivo incremento de área irrigada, assim como as mudanças climáticas são as principais *forçantes* de aumento de demanda de água para irrigação.

A demanda de água para irrigação na bacia do Jaguaribe, Ceará, para o período de 2025 a 2055 em relação à climatologia de 1971 a 2000 (Figura 1) é projetada aumentar por diferentes modelos (Flato et al., 2013) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 5º Relatório (*Assessment Report - AR5*), conhecido como *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Os modelos aplicados tiveram vieses corrigidos e em seguida foram selecionados por uma avaliação sazonal da precipitação (Gondim et al., 2018).

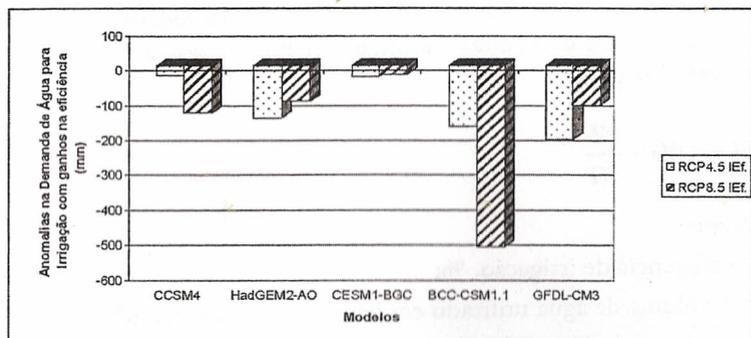
Figura 1. Anomalias de demanda de água para irrigação projetada para 2025 a 2055 em relação à climatologia de 1971 a 2000, conforme modelos de mudanças climáticas selecionados.



Por outro lado, a análise de sensibilidade da demanda hídrica para irrigação ao aumento da eficiência de aplicação, especialmente para sistemas com baixa eficiência, é superior aos incrementos de demanda projetados pelos efeitos das mudanças climáticas. Esse tipo de resposta indica que a eficiência dos sistemas é um importante fator operacional a ser considerado em estratégias de adaptação para a agricultura irrigada (Maia et al., 2016).

Quando se aplica cenário de melhoria de eficiência de irrigação, observam-se reduções na demanda de água para a agricultura, em magnitude capaz de compensar os aumentos por mudanças climáticas (Figura 2).

Figura 2 - Anomalias de demanda de água para irrigação projetada para 2025 a 2055 em relação à climatologia de 1971 a 2000, conforme modelos de mudanças climáticas, considerando ganhos na eficiência de irrigação.

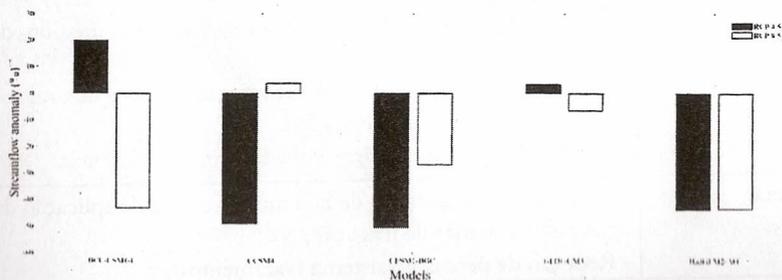


Convém lembrar que o volume de água perdido por percolação profunda ou escoamento superficial permanecem na bacia, cabendo modelagem em escala de bacia para conhecimento de seu tempo de retorno em região semiárida, o que não acontece com as perdas por evaporação.

2.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Estudo de mudanças climáticas na bacia do Jaguaribe, Ceará, com relação à disponibilidade hídrica, modelos selecionados por avaliação sazonal da precipitação para o Estado projetam, na maioria, anomalias negativas de captação de água pela barragem do Castanhão para o período de 2025 a 2055, em relação à climatologia de 1971 a 2000, cenários RCP4.5 e RCP 8.5 (Cubash et al., 2013), conforme disposto na Figura 3 (Gondim et al., 2018), sinalizando ser mais provável, menor disponibilidade de água no futuro.

Figura 3. Anomalias de vazão afluente na barragem do Castanhão, projetada para 2025 a 2055, em relação à climatologia de 1971 a 2000, conforme modelos de mudanças climáticas do CMIP5 selecionados por avaliação sazonal da precipitação.



3. MEDIDAS ADAPTATIVAS PARA O FUTURO DA AGRICULTURA IRRIGADA

Estudos sobre mudanças climáticas e demanda de água para a agricultura têm sido efetuados globalmente. Alguns, simultaneamente com aumento da área irrigada resultante do aumento de demanda por alimentos. Maeda et al. (2011) reportaram a tendência de expansão da agricultura irrigada e expectativa de agravar problemas de escassez hídrica.

A adaptação vem recebendo atenção dos elaboradores de políticas como um mecanismo para lidar com mitigação dos impactos. Aerts & Droogers, (2004) sugerem os seguintes passos para envolver o público interessado com papel central no processo:

- é a gestão de recursos hídricos, tanto em nível de bacia, como em nível local (parcela irrigada) que lida com a implementação de medidas adaptativas para lidar com condições climáticas alteradas;
- medidas adaptativas na bacia devem permitir a avaliação de estratégias potenciais, na base de um conjunto de critérios ou indicadores (de estado e de decisão) que se relacionam com os objetivos e metas das políticas locais;
- a fim de se identificar todos os indicadores relevantes e capturar o potencial de adaptação, deve-se permitir a participação ativa do público envolvido (*stakeholders*).

No contexto das mudanças climáticas, a principal pressão no aumento de demanda de água para agricultura irrigada a considerar é a expansão das áreas irrigadas (Mainuddin et al., 2015) e ganhos na eficiência de irrigação é capaz de compensar incrementos projetados na demanda hídrica, conforme relatado por Gondim et al., (2018). Neste caso, políticas adaptativas devem ser implementadas para o alcance da segurança hídrica, considerando-se a otimização da eficiência no uso da água.

3.1. CONSTRUINDO A EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO:

3.1.1. Revisão conceitual:

O volume de água captado de uma fonte hídrica para a irrigação, em geral é superior às necessidades hídricas da cultura. Isso se deve às perdas que ocorrem durante a condução e a aplicação da água na irrigação, bem como às perdas de água que ocorrem no campo durante e após a irrigação.

Segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos, 69% da água no Brasil têm utilização na agricultura irrigada, com eficiência média de 64%, ou seja, 36%

da água derivada para a irrigação no País constituem-se em perdas por condução e por distribuição nas infraestruturas hidráulicas, provocando um grande desperdício no uso da água pela agricultura. Apesar das novas tecnologias, modernos equipamentos e técnicos especializados, o Brasil tem avançado lentamente nas questões do manejo da irrigação e do uso racional da água (BRASIL, 2006).

Para Westhoek et al. (2006), uma *visão construída* considera o futuro que se deseja buscar ou alternativamente o que queremos evitar de qualquer maneira (no nosso caso, o colapso de água para a agricultura). Uma *orientação estratégica* questiona quais alternativas, em papéis específicos, precisam ser preparadas; o que fazer se tal direção é errada ou muito arriscada, contemplando-se o ponto de vista do ator. Consideram-se então, *otimização de políticas, visão construída e orientação estratégica*.

O conceito clássico de eficiência de irrigação (E_f) é definido como a relação entre o volume de água utilizada pelas plantas (evapotranspiração líquida) e o volume de água aplicado. Quando grandes volumes de água são percolados ou sofrem escoamento superficial, a eficiência de irrigação (E_f) será baixa, mesmo que uma parte da água seja utilizada por outros irrigantes. Desta forma, o conceito clássico falha ao ignorar o potencial de reuso de volumes de retornos da irrigação. (Keller et al., 1996).

Segundo Howell (2001), a água captada para irrigação dentro de uma bacia está sujeita basicamente a três tipos de perdas:

- i. perdas de água por evaporação em canais, na trajetória das gotas entre o emissor e o solo e no próprio solo durante e após as irrigações;
- ii. perdas por infiltração durante a condução da água em canais e por percolação abaixo da zona radicular da cultura durante e após a irrigação. Em alguns casos essas perdas podem ser recuperadas por canais de drenagem e a água reutilizada à jusante na bacia;
- iii. perdas relacionadas à água de drenagem, quando essa se torna tão poluída ou salinizada que não pode mais ser reutilizada para irrigação ou consumo humano e industrial.

Segundo Miranda (2006), em virtude dos diferentes tipos de perdas que ocorrem desde a captação da água na fonte hídrica até sua utilização pela cultura, após a irrigação, várias definições de eficiências e uniformidades podem ser utilizadas para avaliar a irrigação, tais como eficiência de condução, de aplicação, de armazenamento e de irrigação. A escolha de qual eficiência será avaliada vai depender dos objetivos da avaliação e de qual sistema se deseja avaliar.

O volume de água utilizado em benefício da cultura inclui os volumes de água necessários para repor a evapotranspiração da cultura, para a aplicação de fertilizantes e pesticidas e para o controle da salinidade do solo através da lixiviação de sais. As perdas de água por percolação profunda, escoamento superficial, evaporação e arrastamento de gotas pelo vento tendem a reduzir a eficiência de irrigação (Miranda, (2006)).

3.1.2. Eficiência de irrigação

A irrigação pode ser realizada com diversos objetivos, além de repor a evapotranspiração da cultura, tais como o controle da salinidade, a aplicação de fertilizantes, o controle de plantas daninhas por inundação, etc. A eficiência de irrigação é definida por:

$$E_i = 100 \times \frac{V_b}{V_i}$$

Em que:

E_i = eficiência de irrigação, %;

V_b = volume de água utilizado em benefício da cultura, m^3 ;

V_i = volume de água aplicado na irrigação, m^3 .

3.2. POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS:

A eficiência de irrigação afeta a quantidade de água utilizada para irrigar determinado campo, envolvendo a quantidade de água perdida por percolação abaixo da zona radicular, por escoamento superficial e por evaporação. Também, a uniformidade e a produtividade da cultura e a quantidade de água que pode retornar para fontes hídricas de superfície (lagoas, rios, ou aquíferos subterrâneos) e que pode ser reutilizada por outros usuários da bacia.

Diversas ações de diferentes naturezas podem ser propostas para o alcance do aumento da eficiência elevar a eficiência de irrigação:

| | |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| De campo | - Práticas para aumento da retenção hídrica (armazenamento no solo); - Melhoria na precisão de quanto e quando irrigar; - Monitoramento da umidade disponível no solo (utilização de sensores de umidade); - Conhecimento das necessidades hídricas das culturas irrigadas. |
| Técnico-Administrativas | - Ampliação do monitoramento climático e disponibilização de dados (evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith/FAO); - Conhecimento da capacidade de armazenamento dos solos e divulgação da umidade disponível; - Política de recursos hídricos voltada para eco-eficiência. |
| De sistemas | - Avaliação e manutenção de boa uniformidade de aplicação da água pelos sistemas de irrigação; - Redução de perdas no sistema (vazamentos). |

3.2.1. Eficiência na composição da cobrança pelo uso da água

Em estudo sobre demanda hídrica pela agricultura irrigada e mudanças climáticas, Gondim (2009) conclui que, apesar das mudanças climáticas impactarem no aumento de demanda de água para irrigação, a análise de sensibilidade indica que essa demanda é mais sensível à eficiência final de irrigação que aos efeitos das mudanças climáticas, revelando-se como uma importante medida adaptativa a ser considerada. A capacitação dos irrigantes e adequação dos sistemas de irrigação poderão, desta forma, desempenhar importante papel na prevenção de escassez de água.

Uma política de recursos hídricos é capaz de influenciar o comportamento dos agricultores em relação ao uso da água e eficiência de irrigação. Os diferentes instrumentos de uma política de recursos hídricos são: cobrança, racionamento e incentivos. Existe uma relação entre uso de água por unidade de área e investimento de capital em eficiência de irrigação.

Medellín-Azuara et al. (2012) analisaram os resultados da aplicação desses mecanismos no estado da Califórnia, Estados Unidos e concluíram:

- i. **cobrança:** quando se dobra o preço da água para irrigação, a redução no uso é de apenas 17,7%; uma política de cobrança pode reduzir o consumo de água, mas impondo um alto custo aos produtores;
- ii. **racionamento:** um racionamento de 20% implica numa redução de uso da água efetiva de apenas 7,5%;
- iii. **racionamento associado a incentivos no custo do capital:** um subsídio de 50% no custo do capital foi capaz de aumentar o investimento em 44% e aumentar o uso efetivo da água em 16% como resultado do capital investido, bem como aumentar 5,6% o valor bruto da produção, como resultado da migração para culturas de altas produtividades e valor da produção; houve aumento na produtividade agrícola da água (produtividade física/água aplicada). Este fato sustenta a tese de que esforços na conservação da água na agricultura não necessariamente resultam em redução no uso de água.

Mamitimim et al. (2015), em estudo na bacia do rio Tarim, China, ao analisar as respostas dos irrigantes, indagando como reagiriam a um aumento de 100% na tarifa de água, obtiveram as seguintes percentagens aproximadas de escolhas:

- ✓ perfurar um poço (30%);
- ✓ nada, apenas pagar o preço cobrado (25%);
- ✓ mudança no padrão de cultivo (culturas com maior retorno financeiro por unidade de água) (8%);

- ✓ otimizar práticas de manejo na propriedade (5%);
- ✓ adotar melhores tecnologias de irrigação (32%).

Consideraram que estes resultados demonstram que uma política de tarifação de água de irrigação isoladamente tem pouco resultado no aumento da eficiência de uso da água.

Gallego-Ayala (2012) alerta que políticas de tarifação de água para irrigação são aplicadas exaustivamente, em termos de recuperação financeira, ambiental e recuperação de investimento. Poderá ameaçar a sustentabilidade da agricultura irrigada, tendo-se em mente que irá reduzir a produtividade econômica das fazendas e socialmente reduzir geração de emprego rural. Propõe uma abordagem multi metodológica para fundamentar na seleção de alternativas na tarifação de água para irrigação e obter uma solução mais comprometida com critérios socioeconômicos e ambientais em conflito. O sistema composto de tarifação de água de irrigação é baseado por:

- ✓ unidade de área irrigada (ha);
- ✓ tarifação volumétrica (m³), baseado no volume de água utilizado;
- ✓ combinação das duas partes acima, o qual aplica uma tarifa fixa baseada na área plantada e uma tarifa volumétrica.

Quatro níveis tarifários foram gerados, combinando-se 2 tarifas por unidade de área e duas volumétricas. A aplicação envolveu classificação de tipologia de produtores, considerando-se a heterogeneidade tecnológica, a fim de agregar grupos homogêneos para análise de *clusters*, os quais consideram o binário *combinação de culturas-tecnologia de irrigação adotada*.

Os melhores resultados obtidos no consumo de água de irrigação por Gallego-Ayala (2012), a partir de 19 simulações, utilizando 12 indicadores de otimização, foram obtidos a partir dos métodos *tarifação volumétrica e tarifa combinada*. Este resultado nos leva a optar por não propor aplicação do método *unidade de área irrigada* sozinho.

É importante se ter em mente que a *tarifação volumétrica* para cobrança pelo uso da água de irrigação requer modificações nas áreas irrigadas e no controle por parte do Governo (uso de hidrômetros individuais nas áreas irrigadas para medição do consumo de água), os quais geram custos adicionais (de transação e controle) para os irrigantes e administração pública responsável pela implementação. Gallego-Ayala (2012) recomenda a aplicação da tarifação localmente, em nível de distrito de irrigação ao invés de bacia hidrográfica.

Ohab-Yazdi & Ahmadi. (2016), ao estudarem a bacia do rio Zayandehrood, Irã, propõem uma política de tarifação de água de irrigação combinada com incentivos, a fim de alcançar o objetivo de aumento na eficiência do uso da água. Os incentivos são direcionados para tecnologia de irrigação. Estes não devem ser concedidos sem acompanhamento de uma política de tarifação de água.

Segundo Ohab-Yazdi & Ahmadi. (2016), o preço da água deve ser determinado, baseando-se no custo de suprimento (como limite inferior para tarifação), no valor econômico da água (como limite superior para tarifação) e na elasticidade de demanda (como a demanda muda com tarifação e indica a reação dos consumidores) e uma parcela das receitas poderia ser alocada na melhoria da eficiência de irrigação. Os resultados demonstraram aumento de 40% nos benefícios da alocação da água e ótima combinação de culturas. Também foi demonstrado que os incentivos (custos) para melhoria da eficiência de irrigação tornam-se iguais às receitas da tarifação de água, a partir do 4º ano de implementação, quando as receitas da cobrança pelo uso da água superam os incentivos com ganho de 13% na eficiência do uso de água pelo setor de irrigação com redução de consumo.

3.2.2. Forma de aplicação

Baseando-se nas lições aprendidas e experiências registradas na literatura especializada é possível sugerir um modelo que contemple a eficiência do uso da água no valor da cobrança.

A fim de se obter uma mudança efetiva no comportamento dos irrigantes, resultando num impacto adequadamente balanceado nos aspectos socioeconômicos e ambientais desejáveis, pode ser proposto modelo que resulte em melhoria na eficiência de uso, contemplando tanto a tarifação da água como incentivos para adoção de tecnologias para melhoria da eficiência.

Grafon et al. (2018) propõem condições para a integração bem sucedida da ciência com políticas públicas para que prevaleça o interesse público e mitigue o uso ou alocação inadequados, voltados para o objetivo de incentivar os irrigantes a manterem a produção agrícola com menor extração de água:

1. contabilidade física da água deve ser desenvolvida a partir da escala de propriedade rural para bacia;
2. reduções no consumo de água são alcançáveis por reduções em extração;
3. elaboradores de políticas devem contabilizar incertezas para que se assegurem retornos desejáveis;
4. entendimento de fluxos a montante e a jusante é necessário para que subsídios não ultrapassem os benefícios, considerando-se mudanças na qualidade da água;
5. avaliação dos efeitos das políticas no comportamento dos irrigantes.

3.3. TECNOLOGIAS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO:

Reconhece-se que o aumento na eficiência de uso da água de irrigação é capaz de exercer importante papel na adaptação em um futuro com maior demanda hídrica para a agricultura. Desta forma, alternativas de tecnologias para otimização do uso da água de irrigação merecem ser elencadas:

- i. adoção preferencial pela irrigação localizada, por gotejamento ou microaspersão, bem como avaliação da uniformidade de aplicação da água periodicamente, realizando a manutenção preventiva do sistema para reparos de possíveis vazamentos ou entupimentos visando o alcance de uma alta uniformidade de distribuição;
- ii. desenvolvimento e adoção pelos produtores, de aplicativos para dispositivos móveis visando a disseminação da informação da evapotranspiração de referência em tempo real e controle do tempo de irrigação capaz de suprir as necessidades hídricas dos cultivos;
- iii. aplicação de condicionadores de solos, tais como biocarvão ou hidrogel para aumento da retenção hídrica na zona radicular. Os hidrogéis são polímeros hidroabsorventes que retêm água no solo, conforme Sarvas et al. (2007). Já o biocarvão é um material carbonizado de uma combustão incompleta de material orgânico. Esses materiais têm sido aplicados com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo, mitigar os efeitos das mudanças climáticas, através do aumento de sequestro de carbono no solo, redução das emissões de gases de efeito estufa e aumento da capacidade de retenção de água (Karhu et al., 2011);
- iv. aplicação de cobertura morta, plantio direto na palha ou *mulch* branco para reduzir perdas por evaporação, as quais não retornam para a bacia;
- v. utilização de sensores de umidade no solo. Indicam a tensão em que a umidade está retida no solo, dando ideia do nível de água disponível para as plantas e indicação do momento e quanto irrigar.

4. CONCLUSÃO

As mudanças climáticas causadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa, juntamente com aumento da demanda por alimentos tendem a aumentar a demanda de água para a agricultura irrigada. O aumento da eficiência dos sistemas de irrigação, em níveis possíveis para cada método é capaz de compensar os aumentos projetados pelas mudanças climáticas. O aumento da eficiência de irrigação pode ser construído através de políticas públicas adequadas, estratégias de gestão de recursos hídricos e adoção de tecnologias desenvolvidas com esse objetivo. Dentre as perdas de água por irrigação, devem-se focar as por evaporação, as quais não retornam para a bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. Adaptation for regional water management In: Climate Change in Contrasting River Basins – adaptation strategies for water, food and environment. AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. eds. Cambridge: CABI Publishing. p. 1-24, 2004.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1. Brasília: MMA, 2006. 281p.
- CUBASCH UD, WUEBBLES D, CHEN MC, FACCHINI D, FRAME N, MAHOWALD, J-G WINTHER (2013) Introduction. In: Climate Change (2013) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, D Qin G-K, Plattner M, Tignor SK, Allen J, Boschung A, Nauels Y, Xia V, Bex and PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- FLATO, GJ, MAROTZKE B, ABIODUN P, BRACONNOT SC, CHOU W, COLLINS P, COX F, DRIOUECH S, EMORI V, EYRING C, FOREST P, GLECKLER E, GUILYARDI C, JAKOB V, KATTSOV C, REASON M, RUMMUKAINEN (2013) Evaluation of Climate Models. In: Climate Change (2013) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, D Qin G-K, Plattner M, Tignor SK, Allen J, Boschung A, Nauels Y, Xia V, Bex and PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- GRAFON, R.Q.; WILLIAMS, J.; PERRY, C.J.; MOLLE, F.; RINGLER, C.; STEDUTO, P.; UDALL, B.; WHEELER, S.A.; WANG, Y.; GARRICK, G.; ALLEN, R.G. The paradox of irrigation efficiency – Higher efficiency rarely reduces water consumption. *Science*, v.361, n.6404, p. 748-750, 2018.
- GALLEGO-AYALA, J. Selecting irrigation water pricing alternatives using a multi-methodological approach. *Mathematical and Computer Modelling*, v.55, p. 861-883, 2012.
- GONDIM, R. S. **Mudanças climáticas e impactos na demanda de água para irrigação na bacia do Jaguaribe**. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.
- GONDIM, R. S.; SILVEIRA, CLEITON ; DE SOUZA FILHO, FRANCISCO ; VASCONCELOS, FRANCISCO ; CID, DANIEL . Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semi-arid Brazil. *Environmental Earth Sciences* (INTERNET), v. 77, p. 550, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7723-9>

- HEGERL,G.C.; ZWIERS,F.W.; BRACONNOT,P; GILLETT,N.P.; LUO,Y.; MARENGO ORSINI, J.A.; NICHOLLS, N.; PENNER, J.E.; STOTT,PA. 2007: Understanding and Attributing Climate Change. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING,M.; CHEN, Z.; MARQUIS,M.; AV-ERYT, K.B.; TIGNOR M.; MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 663 – 745, 2007.
- HOWELL, T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, v. 94, p. 281-289, 2001.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. McCARTH, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, A.N.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Eds.). Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: University Press, U.K. 2001. 217 p.
- JØRGENSEN, S.E.; BENDORICCHIO, G. Ecological processes In: Fundamentals of ecological modeling. Oxford: Elsevier Science Ltda. 530 p. 2001.
- KARHU K.; TUOMAS M.; IRINA B.; KRISTIINA R. (2011) Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140(1-2): 309-313.
- KELLER, A.; KELLER, J.; SECKLER, D. **Integrated water resources systems: theory and policy implications**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 1996. 15 p.
- MAEDA EE, PELLIKKA PKE., CLARK BJE, SILJANDER M (2011) Prospective changes in irrigation water requirements caused by agricultural expansion and climate changes in the eastern arc mountains of Kenya. *Journal of Environmental Management* doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.005
- MAIA, A. de H, N. ; GONDIM, R. S. ; CASTRO, M.A.H. de . Sensibilidade da demanda de água para irrigação a mudanças climáticas e fatores operacionais dos sistemas de produção. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente*, v. 1, p. 1-26, 2016.
- MAMITIMIN, Y.; FEIKE, T.; SEIFERT, I.; DOLUSCHITZ, R. Irrigation in the Tarim Basin, China: farmers' response to changes in water pricing practices. *Environmental Earth Science*, v. 73, p. 559-569, 2015.
- MEDELIÍN-AZUARA, J.; HOWITT, R. E. HAROU, J. J. Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural Water Management*, v. 108, p. 73-82, 2012.

MIRANDA, F. R. de. Eficiência de uso da água na irrigação localizada In Gestão Sustentável no Jaguaribe, Ceará. ROSA, M. de .F; FEIGUEIREDO, M. C. B. de, GONDIM, R. S.(Eds.). Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 404 p., 2006.

OHAB-YAZDI, S. A.; AHMADI, A. Design and evaluation of irrigation water pricing policies for enhanced water use efficiency. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 3, p. 1101-1110, 2016.

SARVAS M.; PAVLENDÁ P.; TAKÁCOVÁ E. (2007) Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. **Journal of Forest Science** 53(5):204-209.

WESTHOEK, H.J.; van den BERG, M.; BAKKES, J.A. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 7-20, 2006.

ESTUDO DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DO PROJETO MALHA D'ÁGUA

*Alyson Brayner Sousa Estácio
Francisco de Assis de Souza Filho*

1. INTRODUÇÃO

O estado do Ceará sofre historicamente os efeitos diretos e indiretos de longos períodos de estiagem. Segundo Campos (2006) “[o estado] caracteriza-se por um clima adverso e um regime hidrológico marcado por rios intermitentes”, o que impõe um balanço hídrico desfavorável. Tal condição de restrição hídrica limita o acesso das populações à água e impõe barreiras ao desenvolvimento do estado.

Em razão disso, o poder público tem, ao longo das décadas e em suas diferentes esferas, lançado mão de projetos que visam minimizar os efeitos da seca (CAMPOS, 2006). Nesse sentido, o Governo do Estado do Ceará tem idealizado o Projeto Malha d'Água, visando assegurar o abastecimento das populações cearenses e permitir melhor gestão dos usos da água.

Projeto de iniciativa do Governo do Estado do Ceará e idealizado pela Secretaria de Recursos Hídricos, o Malha d'Água consiste do redesenho da rede de adutoras e dos mananciais que abastecem as cidades do estado, concentrando a responsabilidade pelo abastecimento aos reservatórios de maior porte de cada sub-região.

Os Sistemas Adutores definidos em projeto e os mananciais de alimentação devem assegurar o abastecimento humano nas cidades, que na maioria das vezes captam água diretamente dos cursos d'água ou de reservatórios de menor porte.

Com horizonte de projeto para o ano de 2041, o Malha d'Água teve sua concepção iniciada em 2016, estando atualmente definidos os sistemas adutores, com os respectivos mananciais de captação e as municipalidades abastecidas por cada sistema.

Os mananciais de captação estabelecidos para cada sistema adutor correspondem em cada caso a um ou mais reservatórios de grande porte já existentes ou em planejamento, ou ainda a canais, como o Eixão das Águas, abastecido pelo Açude Castanhão, ou trechos já executados do Cinturão das Águas, que deve receber aporte da Transposição Rio São Francisco.

Ao procurar atender à demanda de abastecimento de uma população de projeto de mais de 6 milhões de pessoas, o Malha d'Água abrange todas as regiões do estado, como pode ser observado no mapa (Figura 1), onde estão representados os 39 sistemas de adutoras concebidos com os respectivos mananciais (reservatórios ou canais).