

## ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM PEQUENOS HIDROSSISTEMAS: O CASO DO HIDROSSISTEMA DE CRUZETA

**SAMIRIA MARIA OLIVEIRA DA SILVA<sup>1</sup>; SANDRA HELENA SILVA DE AQUINO<sup>2</sup>  
E FRANCISCO DE ASSIS DE SOUZA FILHO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, UFC, Russas, CE, Rua Felipe Santiago, 411, Cidade Universitária, CEP 62900-000, Brasil, samiriamaria@hotmail.com;*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Rua Ministro Joaquim Bastos, 471, Apto. 1302, Bairro de Fátima, CEP 604150-40, Brasil, sandrahsaquino@hotmail.com;*

<sup>3</sup>*Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Campus do Pici, Bloco 713, 1º andar, Centro de Tecnologia, CEP 60451-970, Brasil, aassissouzaafilho@gmail.com;*

### 1 RESUMO

Este estudo propõe um arcabouço metodológico para a avaliação do impacto das mudanças climáticas em pequenos hidrossistemas, apresentando um estudo de caso, capaz de elucidar estratégias de adaptação para as sociedades humanas que passam ou poderão passar por situações similares. Os resultados obtidos a partir da avaliação climática para o hidrossistema de Cruzeta, localizado no estado do Rio Grande do Norte, evidenciam a possibilidade de ocorrência de cenários mais secos no futuro do que o atual, observando redução nas garantias de 90% a 80%. Este fato mostra que os hidrossistemas para aumentarem sua resiliência, precisam ter estratégias de adaptação, arranjos institucionais flexíveis, gestão de conflitos e provimento de infraestrutura.

**Palavras – chave:** adaptação, risco e clima.

**SILVA, S. M. O.; AQUINO, S. H. S.; SOUZA FILHO, F. A. S.**  
**ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN SMALL HYDROSYSTEMS: THE CASE  
OF CRUZETA HYDROSYSTEM**

### 2 ABSTRACT

This study proposes a methodological framework for assessing the impact of climate change on small hydrosystems, presenting a case study, able to clarify adaptation strategies for human societies that undergo or may undergo similar situations. The results from the assessment of climate for Cruzeta hydrosystem, located in the state of Rio Grande do Norte, demonstrate the possibility of future scenarios drier than today, with 90% to 80% reduction in warranties. This fact shows that hydrosystems to increase their resilience need to have adaptation strategies, flexible institutional arrangements, conflict management and provision of infrastructure.

**Keywords:** Adaptation, risk and climate.

### 3 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas ocasionam redução ou aumento das aflúncias e dos estoques de água dos reservatórios em função da elevação da temperatura e da modificação do regime de precipitações. Este fato remete a importância de avaliar cenários climáticos enquanto alternativas de futuros possíveis com vista à definição de estratégias sustentáveis de gestão dos sistemas socioambientais, reduzindo suas vulnerabilidades e oportunizando caminhos de adaptação, tornando-o mais resilientes às transformações geradas pelas mudanças no clima.

Alguns sistemas socioambientais tendem a serem mais vulneráveis às mudanças climáticas. Isto ocorre não porque eles utilizam o recurso hídrico até sua exaustão, mas, porque há uma indissociabilidade intrínseca entre suas vidas e o uso desses recursos. Assim, qualquer evento climático extremo, como a seca ou cheia, ocasiona impactos cuja durabilidade de suas consequências pode se estender por um longo período, desestruturando economias locais e modos de vida, ocasionando e acirrando conflitos de usos, cujos expoentes conflitantes mais visíveis são grupos e ou comunidades que estão à jusante e a montante de algum corpo hídrico, destacando-se o abastecimento urbano e a irrigação.

A irrigação é uma atividade que precisa de garantia de água para sua execução, possui uso, significativamente, sensível a variações na temperatura e a outras variáveis meteorológicas, fato que a torna sensível a mudanças do clima.

O impacto do clima nos diversos usos advirá tanto das restrições da oferta como da modificação da demanda. Essa percepção permite afirmar que a avaliação dessas mudanças deve ser realizada no contexto do sistema de recursos hídricos como um todo e não apenas em suas partes de forma isolada, possibilitando uma análise ampla e integrada da complexidade contida nesse sistema, pois, conforme Ostrom (2011) “temos de aprender como dissecar e aproveitar a complexidade e não eliminá-la”.

Nesse contexto, o presente documento propõe um arcabouço metodológico para a avaliação do impacto das mudanças climáticas (aumento de temperatura e evapotranspiração) em pequenos hidrossistemas. Este arcabouço será apresentado na forma de um estudo de caso capaz de elucidar estratégias de adaptação para as comunidades que passam ou poderão passar por situações de riscos similares.

Esse documento está estruturado em sete seções. A primeira seção trata de uma discussão teórica sobre a relação entre mudanças climáticas e processos de adaptação. Na segunda seção é feita uma caracterização de um pequeno sistema que é o local de aplicação do presente estudo. Na terceira seção é apresentada a metodologia de avaliação dos impactos das mudanças climáticas do hidrossistema de Cruzeta, com foco na irrigação por se tratar do usuário mais expressivo do referido hidrossistema. Esta seção está subdividida em três partes: (i) cenário atual; (ii) cenário futuro; (iii) oferta e balanço hídrico do hidrossistema. Na seção seguinte são apresentados os resultados tanto para o cenário atual como para o futuro, revelando cenário mais seco que o atual devido às previsões climáticas acenarem para um agravamento da situação atual. Na sexta seção são feitas recomendações de estratégias de adaptação do ponto de vista socioinstitucional e operacional com vistas a sustentabilidade desse e de outros hidrossistemas semelhantes. Finalmente, são apresentadas algumas conclusões.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de avaliação dos impactos do aumento das mudanças do clima (temperatura e evapotranspiração) no hidrossistema de Cruzeta teve ênfase na irrigação devido à este setor ser o maior usuário de água desta área.

O estudo possibilitou uma análise consistente desses impactos uma vez que o sistema foi avaliado de forma ampla e integrado permitindo o desenvolvimento de estratégias de adaptação. Para isso, foram elaborados dois cenários de análise: um atual e outro futuro. Neste foi utilizado os cenários de emissões B1 e A2 utilizando os modelos BCM2 (Noruega), INCM3 (Rússia) e MIMR (Japão) de circulação global.

### 4.1 Caracterização do hidrossistema de Cruzeta

O local de aplicação do presente estudo é o hidrossistema Cruzeta, o qual é composto pelo único reservatório da cidade, o município de Cruzeta - RN, o Perímetro Irrigado que se localiza à jusante do reservatório e uma Irrigação difusa que se encontra à montante dele.

A construção do reservatório Cruzeta foi finalizada em 1929, pelo barramento do Riacho São José no ponto de coordenadas geográficas 06°24'43"S e 36°47'24"W. A bacia hidrográfica ao qual está inserido faz parte dos domínios da sub-bacia do rio Piancó localizada na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.

O município de Cruzeta está localizado no estado do Rio Grande do Norte e se distancia aproximadamente 220 km da capital Natal. Este município está inserido no Território do Seridó e se caracteriza por ser o segundo município deste território com maior número de estabelecimentos de uso de irrigação (223 estabelecimentos). Ele possui uma população total de 7.967 habitantes (IBGE, 2010), sendo que desse total, 6.521 habitantes vivem na área urbana, evidenciando um forte processo de urbanização da cidade.

O reservatório Cruzeta é a única fonte de abastecimento deste hidrossistema. Ele foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1929, com capacidade de acumulação de 35 milhões de metros cúbicos. Atualmente, ele encontra-se assoreado em função de problemas ambientais da região, alguns desses ocasionados, principalmente, pela atividade da pecuária tendo uma redução da sua capacidade para 23,5 milhões de metros cúbicos.

A irrigação difusa está localizada nas vazantes do reservatório Cruzeta. A Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte realizou um levantamento no ano de 2012 e estimou que a área ocupada por esta irrigação é de 52,25 ha.

O perímetro irrigado de Cruzeta, localizado na cidade de Cruzeta, compõe um primeiro grupo de perímetros de irrigação de colonos familiares em solo aluvionar, sendo a irrigação praticada em áreas próximas de rios. As obras para sua implantação foram iniciadas em 1970, mas somente seis anos depois foram assentadas as famílias no perímetro irrigado de Cruzeta, cujo sistema de irrigação adotado é infiltração por sulco desde a sua constituição.

Esse perímetro possui uma superfície irrigável de 124,1ha, mas, apenas 105ha estão em produção. A produção inicial do perímetro concentrou-se no cultivo da cebola, tomate, feijão e banana. No entanto, o tomate configurou-se como o carro chefe em termos de produção e de geração de renda, sendo o mesmo produzido em sua totalidade para o mercado externo no período de 1979 a 2009.

No período de 1989 a 1992 houve racionamento de água na cidade, por conseguinte os irrigantes tiveram que se adaptar à essa nova realidade. No ano de 1993 as atividades foram totalmente paralisadas, quando o açude Cruzeta secou por completo. O período de 1997 a 2003

foi marcado por um novo corte no abastecimento de água para o Perímetro. No ano seguinte, a situação foi normalizada. Mas no final de 2005 um vereador impetrou uma ação para desligamento da água ao perímetro para evitar o risco de não abastecimento da cidade”. Com as chuvas de 2006, o DNOCS conseguiu a liberação do fornecimento de água e os irrigantes voltaram às suas atividades no Perímetro (RIGARE, 2010).

Atualmente, o Perímetro está emancipado, sendo gerido pela Associação dos Colonos do Perímetro Irrigado Cruzeta – APICRUZ. Nessa área residem 41 famílias que cultivam lotes, sendo que 83% delas moram nessas Vilas, 4% moram no lote e 13% habita fora do perímetro (RIGARE, 2010). Os seus principais problemas são a recuperação da infraestrutura de uso comum, os resíduos sólidos, o lançamento de efluente da cidade de Cruzeta no rio, a falta de hidrometração, a não conclusão do processo de titulação dos lotes e a falta de assistência técnica.

De modo geral, no hidrossistema de Cruzeta, cujo foco é a irrigação, o perímetro da cidade configura-se como maior expoente desse tipo de uso, a seguir é apresentada a metodologia de avaliação dos impactos das mudanças climáticas no referido hidrossistema.

## 4.2 Cenário atual

Neste item foi avaliada a demanda e oferta hídrica do hidrossistema de Cruzeta para as suas condições atuais. A demanda hídrica da irrigação foi obtida a partir da determinação da evapotranspiração das culturas (ETc) que foi calculada através do produto da evapotranspiração potencial (ETP) pelo coeficiente de cultura (Kc).

Os valores médios de Kc foram provenientes do banco de dados FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998). A ETP foi calculada pelo método de Hargreaves por meio do Sistema de Estimativa de Evapotranspiração (SEVAP) da Universidade Federal de Campina Grande (SILVA *et al.*, 2005) sendo desprezado a precipitação ocorrida na região devido à utilização de precipitação média introduzir viés úmido nos períodos secos sob análise. A alta variabilidade do regime pluviométrico impõe que este viés seja pronunciado na região.

Com isso, a demanda da irrigação foi estimada para cada cultura a partir da equação 1.

$$Dem Irr = \frac{ETC \times A}{\eta} \quad (1)$$

Em que  $\eta$  é a eficiência de aplicação do método de irrigação obtida no órgão gestor do perímetro e A é a área de uma determinada cultura.

Enquanto que, a demanda hídrica do município de Cruzeta foi estimada a partir da série histórica de retiradas do açude de Cruzeta.

A oferta hídrica atual foi avaliada por meio dos dados de vazões afluentes e das retiradas do reservatório de Cruzeta bem como, da evaporação do lago obtida do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio grande do Norte (SERHIDRO, 1998).

## 4.3 Cenário Futuro

No cenário futuro foram estimadas as demandas e ofertas hídricas para o século XXI. As projeções da demanda hídrica foram determinadas com base nos dados de ETP futura de Cruzeta que foi analisada através dos cenários de emissões A2 e B1 de mudanças climáticas para o período de 2041 a 2070 (século XXI) conforme os modelos de climáticos globais BCM2 (Noruega), INCM3 (Rússia) e MIMR (Japão).

A ETP dos modelos foi corrigida pelo Método Delta de BCM2 (Noruega), INCM3 (Rússia) e MIMR (Japão).

A ETP dos modelos foi corrigida pelo Método Delta (Equação 2). Ele foi descrito por Gellens e Roulin (1998) e calcula a variação percentual da ETP do modelo de mudança climática e aplica este percentual na ETP observada.

$$ETP_{CORR} = (1 + \Delta\%ETP_{MOD}) \cdot ETP_{OBS} \quad (2)$$

Em que,  $E_{CORR}$  é o valor da evaporação corrigida para o século XXI,  $E_{OBS}$  é a evaporação observada para o século XX e  $\Delta\%ETP_{MOD}$  é a variação percentual na evapotranspiração do século XXI com relação ao XX.

Com isto, a demanda de água no perímetro de irrigação foi calculada através Equação 3 de forma similar ao realizado pela Equação 1.

$$Dem\ Irr\ XXI = \frac{ETP_{CORR} \cdot K_C \cdot A}{\eta} \quad (3)$$

As vazões afluentes ao reservatório de Cruzeta para os cenários de Mudança Climática foram obtidas a partir da regionalização por desagregação espacial das vazões anuais afluentes ao reservatório Assu (representante a bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu). Isto porque a escala da bacia do Cruzeta é muito pequena com relação às informações climáticas disponíveis no estudo hidrológico, não havendo a disponibilidade *downscaling* dos modelos climáticos para a região.

Vale ressaltar que o reservatório de Assu está localizado na mesma bacia hidrográfica do reservatório de Cruzeta, tem os mesmos sistemas produtores de chuva e possui um posto fluviométrico localizado a jusante deste reservatório.

Com isso, as vazões de Cruzeta foram obtidas a partir da desagregação das vazões de Assu da forma como se segue: (i) Calculou-se a curva de probabilidade não excedência para a série de vazões históricas de Cruzeta; (ii) Calculou-se a curva de probabilidade não excedência para a série de vazões dos modelos climáticos para o século XX em Assu; (iii) Para cada ano simulado pelo modelo em Assu ( $Q_{Assu}$ ), calculou-se a probabilidade de não excedência ( $p$ ); (iv) Calculou-se qual a vazão em Cruzeta ( $Q_{Cruz}$ ) tem probabilidade de não excedência igual a  $p$ . Esta é a vazão desagregada (corrigida) para Cruzeta.

#### 4.4 Oferta e Balanço hídrico do Hidrossistema

O reservatório Cruzeta atende duas outras demandas além do perímetro irrigado, desta forma, a análise das garantias de abastecimento foi realizada com base no hidrossistema.

A disponibilidade hídrica para os diversos fins é condicionada pela regra de operação do sistema de reservatórios. Desta forma, para avaliar a garantia de frequência de falha anual (número de anos com falha de abastecimento/total de anos) da oferta foi realizado o balanço hídrico do hidrossistema tendo como base as curvas de regularização do reservatório Cruzeta.

A regularização do reservatório para vários níveis de garantia foi obtida através da curva cota-área-volume do reservatório. Esta curva foi construída da batimetria realizada em 2010 pelo Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN) em parceria com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).

Da mesma forma, utilizando a série de vazões mensais dos modelos, a evaporação média mensal dos modelos e demais informações topográficas do reservatório foi realizada o cálculo da regularização do reservatório para diferentes garantias simulando os três modelos de

mudança climática nos cenários A2 e B1. Este cálculo se baseou em uma simulação na escala mensal.

Para isso, utilizou-se o método dos fragmentos (Svanidze, 1980), o qual consiste na identificação de percentuais mensais dos volumes anuais escoados. Assim, foi definida uma fração ideal para cada mês deste volume, que pode variar com o total anual escoado. A equação 4 mostra como se dá o cálculo dos fragmentos.

$$FQ_{i,j} = \frac{VM_{i,j}}{VTA_j} \quad (4)$$

Onde  $FQ_{i,j}$  é a vazão no mês  $i$  para um ano hidrológico do tipo  $j$  (seco=1; normal=2; úmido=3);  $VM_{i,j}$  é o volume mensal do mês  $i$  em ano hidrológico do tipo  $j$ ;  $VTA_j$  é o volume anual escoado em ano hidrológico do tipo  $j$ .

Com estes fragmentos desagregou-se cada ano da série de vazões anuais dos modelos para vazões mensais.

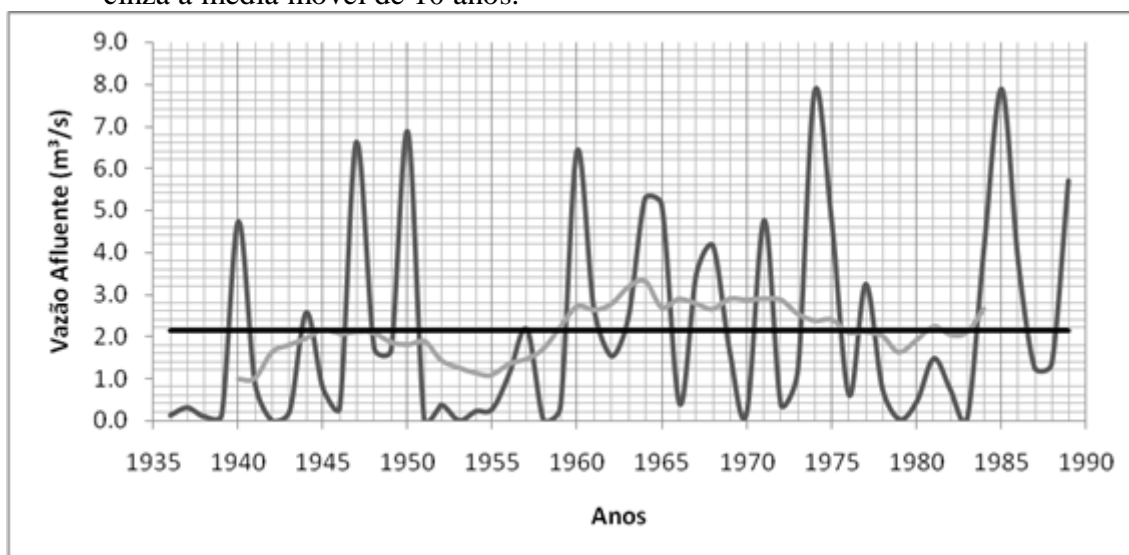
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Oferta e Demanda hídrica

A oferta hídrica do hidrossistema tem como principal manancial o reservatório Cruzeta que possui uma bacia hidrográfica com área de drenagem de 1.019,9 km<sup>2</sup>.

O reservatório Cruzeta apresenta as afluições concentradas nos meses de janeiro a junho com vazão zero a partir desse mês. Possui uma vazão média anual afluente de 2,13m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> com coeficiente de variação de 1,08. O comportamento das vazões apresenta uma grande variabilidade temporal com ocorrência de períodos de seca (Figura 1).

**Figura 1.** Vazão média anual afluente do reservatório de Cruzeta (1935 – 1990) em preto e em cinza a média móvel de 10 anos.



A série de vazões afluentes ao reservatório Cruzeta apresenta uma grande variabilidade de vazões na escala decadal. Observa-se na Figura 1 que a vazão média de 10 anos variou de

1,0 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> até 3,2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Esta pronunciada variabilidade concentra as falhas impondo duração de falhas mais significativas. Os períodos críticos mais severos na série são a década de 1950 e a primeira metade da década de 1980.

Tendo como base a eficiência de aplicação do sistema de infiltração por sulcos de 40%, o perímetro possui uma demanda hídrica de 0,18 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para área plantada e de 0,21 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para área irrigável (124,1 ha). Do total da área plantada, a cultura temporária necessita de 0,16 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e a cultura perene demanda 0,012 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Tabela 1).

A cidade de Cruzeta demanda um volume de 0,70 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Para o período de junho de 2010, o consumo per capita foi de 225 L/hab.dia. Este valor caracteriza um consumo de água elevado o que pode ser consequência da ausência de hidrometração.

**Tabela 1.** Demanda hídrica atual das culturas temporárias e perenes do perímetro de Irrigação de Cruzeta (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

Culturas temporárias	Área (ha)	Kc médio	Demanda hídrica
Tomate	0,8	1,20	0,0016
Milho Grão	22,5	1,15	0,0406
Feijão	40,3	1,10	0,0697
Capim Elefante	13,7	1,00	0,0260
Macaxeira	4,4	0,95	0,0067
Culturas diversas	8,4	1,00	0,0133
Melão	1,3	1,00	0,0019
Sorgo Forragem	5,6	1,00	0,0089
Sub -Total	97		0,1683
Culturas perenes	Área (ha)	Kc médio	Demanda hídrica
Banana	0,7	0,85	0,0010
Goiaba	3,8	1,15	0,0070
Acerola	1,5	0,85	0,0019
Mamão Formosa	1,5	1,00	0,0022
Manga	0,5	1,00	0,0006
Sub - Total	8		0,0130
Perímetro			0,1813

Estimando-se o coeficiente de cultura (Kc) médio para culturas forrageiras igual a um (1) calculou-se a demanda hídrica da irrigação difusa de 0,033 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Esta área tem os maiores consumos de água nos meses de outubro, novembro e dezembro.

Para avaliar a oferta hídrica futura foi realizado o ajuste das vazões de Cruzeta para o século XX e XXI e os resultados são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Vazões de Cruzeta para os séculos XX e XXI ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Cenários		Média	Desvio Padrão	CV (%)
	Observação	2,13	2,31	1,08
SEC XX	BCM2	2,17	3,23	1,49
	INCM3	2,16	3,29	1,52
	MIMR	2,14	2,54	1,19
SEC XXI - Cenário A2	BCM2	1,84	1,97	1,07
	INCM3	1,41	2,37	1,68
	MIMR	1,18	1,93	1,64
SEC XXI - Cenário B1	BCM2	1,38	1,29	0,94
	INCM3	0,75	0,64	0,86
	MIMR	0,8	0,58	0,73

CV-Coeficiente de Variação

Verificou-se na Tabela 2 que a média do modelo e da observação são praticamente a mesma, mostrando que a correção de escala funcionou bem para a média.

Os coeficientes de variação dos modelos foram maiores que os da observação, o que significa que o ajuste da variabilidade não teve o mesmo sucesso da média. Em função deste fato irá se comparar os resultados do modelo obtidos para o século XXI com os resultados dos modelos obtidos para o século XX.

A comparação dos resultados dos modelos no século XXI e século XX para os dois cenários apresentaram redução na vazão afluente ao reservatório Cruzeta. Os Cenários B1 caracterizaram-se pela diminuição na variabilidade das vazões e os cenários A2 pelo aumento nesta variabilidade (exceto QBCM2).

A ETP futura de Cruzeta foi analisada através dos cenários A2 e B1 de mudanças climáticas para o período de 2041 a 2070 conforme os modelos BCM2, INCM3 e MIMR. Para representar as condições do século XX selecionou-se o período de 1971 a 2000.

Após obtenção da ETP futura avaliou-se o impacto das mudanças climáticas na demanda do perímetro de irrigação (Tabela 3) e da irrigação difusa. Nesta análise manteve-se constante a área irrigada e a eficiência de irrigação de forma a avaliar as variações na demanda devida exclusivamente o efeito da mudança climática.

**Tabela 3.** Demanda hídrica futura do perímetro de Irrigação de Cruzeta.

Cenários	Demanda do Perímetro irrigado ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )		
	Irrigação por sulcos	Sistema de gotejamento	
Século XX	BCM2	0,176	0,090
	INCM3	0,176	0,090
	MIMR	0,177	0,090
Século XXI - A2	BCM2	0,254	0,130
	INCM3	0,279	0,133
	MIMR	0,279	0,142
Século XXI - B1	BCM2	0,254	0,129
	INCM3	0,257	0,131
	MIMR	0,274	0,140



Considerando que no futuro ocorra uma modificação do método de irrigação de sulco para gotejamento, assim como das culturas a serem irrigadas e que a eficiência estimada para o sistema de irrigação (uso comum e parcelar) aumente para 75% estimou-se a demanda do perímetro após esta mudança de tecnologia (Tabela 3).

Pode-se verificar na tabela 03 que o modelo MIMR no cenário A2 apresentou os maiores valores de demanda para o sistema de irrigação por sulcos. Contudo, estima-se que após a mudança de tecnologia a demanda do perímetro no século XXI tenha uma redução de 50%. Vale ressaltar que esta mudança aumenta de forma relativa e absoluta à demanda de água para a agricultura perene. Com isso, as garantias de abastecimento do perímetro precisariam ser elevadas visto que, a agricultura perene necessita de água mesmo em anos secos para manter os cultivares vivos.

Godim et al. (2011) afirmaram que as mudanças climáticas ocasionariam um aumento na demanda hídrica de culturas perenes na região do Jaguaribe, estado do Ceará, de 27,50% e 25,24% para os cenários A2 e B2. Eles previram que as mudanças climáticas são uma fonte de incremento na demanda de água.

Díaz et al. (2007) estimaram um aumento na média da demanda hídrica na bacia de Gualdalquivir, para 2050, em torno de 19% e 16% para os cenários A2 e B2, respectivamente. Segundo eles, esse aumento foi causado sobretudo pela redução da precipitação na época de plantio e elástico da estação de irrigação.

No caso da irrigação difusa, as maiores demandas também foram registradas para o modelo MIMR, porém para o cenário B1 (Tabela 3).

## **5.2 Balanço hídrico do Hidrossistema e Estratégias de Adaptação**

Verificou-se que o setor mais vulnerável do hidrossistema é o perímetro irrigado. Desta forma, neste item foi realizado o balanço hídrico do hidrossistema com o intuito de avaliar vazão regularizada e a garantia de abastecimento do perímetro de irrigação (Tabela 4).

**Tabela 4.** Vazão regularizada ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) do reservatório Cruzeta para vários níveis de garantia.

Garantia	Século									
	Atual	Século XXI-A2			Século XXI-B1					
	BCM2	INCM3	MIMR	BCM2	INCM3	MIMR	BCM2	INCM3	MIMR	
0,1	8,65	11,37	9,89	13,26	9,85	7,83	7,48	9,11	5,31	5,17
0,15	4,81	7,02	6,14	7,97	6,83	4,46	4,01	6,39	3,76	3,99
0,2	3,58	4,95	4,3	4,47	4,61	3,16	2,66	4,2	2,68	2,97
0,25	2,71	3,79	3,11	3,22	3,74	2,21	1,76	3,07	2,13	2,4
0,3	2,03	2,71	2,5	2,68	2,72	1,83	1,4	2,56	1,71	1,88
0,35	1,71	1,94	1,91	1,92	2,17	1,43	0,97	1,92	1,35	1,5
0,4	1,42	1,8	1,54	1,51	1,89	1,11	0,78	1,63	1,1	1,25
0,45	1,15	1,41	1,39	1,25	1,45	0,91	0,67	1,41	0,92	1,09
0,5	0,97	1,14	1,11	1,09	1,32	0,74	0,54	1,12	0,85	0,94
0,55	0,87	0,96	0,96	0,89	1,1	0,63	0,43	0,93	0,72	0,84
0,6	0,74	0,88	0,85	0,77	0,91	0,5	0,33	0,87	0,62	0,72
0,65	0,62	0,74	0,74	0,65	0,81	0,37	0,25	0,73	0,55	0,66
0,7	0,53	0,59	0,62	0,5	0,73	0,29	0,19	0,63	0,44	0,56
0,75	0,43	0,38	0,5	0,36	0,6	0,21	0,14	0,46	0,31	0,44
0,8	0,32	0,25	0,39	0,28	0,48	0,15	0,1	0,34	0,24	0,33
0,85	0,25	0,16	0,3	0,19	0,37	0,11	0,07	0,22	0,17	0,26
<b>0,9</b>	<b>0,17</b>	<b>0,09</b>	<b>0,19</b>	<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,18</b>
0,95	0,1	0,04	0,08	0,07	0,16	0,02	0,01	0,07	0,06	0,12

A vazão regularizada é a vazão fornecida anualmente por um reservatório para o suprimento de uma demanda com determinada garantia. Se um reservatório, por exemplo, possui uma vazão regularizada Q85 significa que ele possui disponibilidade de retirada desta vazão em 85% dos anos. O conceito de vazão regularizada pode ser estendido à disponibilidade mensal de um reservatório atender a certa demanda. Assim, a Q85 mensal seria a vazão associada a um reservatório, de tal forma que em 85% dos meses houve o atendimento da vazão especificada.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da vazão regularizada de Cruzeta para os modelos climáticos e para o período atual. Observou-se que a garantia de abastecimento no cenário atual é de aproximadamente 85%. No entanto, a garantia ótima pode ser diferente para diversos sistemas, por este motivo a garantia de 90% não é necessariamente o volume alocável que levará a máxima eficiência do hidrossistema.

O resultado para a garantia de 90% mostra uma redução da disponibilidade hídrica para os modelos INCM3 e MIMR e aumento na vazão regularizada para o modelo BCM2. Observa-se que o modelo BCM2 tem uma redução nas vazões regularizadas para garantias mais baixas e aumento para garantias mais altas. Os outros modelos têm a vazão regularizada reduzida para todas as garantias.

Os valores apresentados mostram a enorme incerteza existente no processo de alocação de água e a necessidade de desenvolvimento de mecanismos de gestão de risco.

Nesse mesmo contexto, Hopmans e Maurer (2008) verificaram que existe uma grande incerteza no abastecimento futuro da agricultura irrigada no oeste de São Joaquim, Califórnia - USA devido à grande variação observada em cenários de mudanças climáticas. Eles calcularam que em 2011 o abastecimento poderia variar de um aumento de 10% até uma redução de 30% em comparação com condições atuais.

Os resultados obtidos a partir da avaliação climática para o hidrossistema de Cruzeta evidenciam a possibilidade de ocorrência de cenários mais secos no futuro do que o atual, observando que as garantias reduziram de 90% a 80% podendo o Perímetro Irrigado não ter sua demanda atendida.

Ao evidenciar um aumento do déficit na oferta concernente a disponibilidade hídrica, percebeu-se que a inexistência de estratégias de adaptação às mudanças climáticas ocasionará impactos negativos capazes de desestruturar modos de vida, de produção, comprometendo o desenvolvimento e manutenção das economias locais.

Além disso, a redução das garantias implicará no aumento da diferença entre a oferta e demanda de recursos hídricos. Essa diferença já está posta devido a sua localização no semiárido brasileiro, o qual se caracteriza pela ocorrência de significativa variabilidade climática, a qual impõe riscos capazes de limitar o desenvolvimento de lugares.

Aliado a uma redução das afluências e dos volumes do reservatório de Cruzeta, que já se encontra assoreado, há, ainda, o acirramento de conflitos pelo uso da água, os quais precisam ser tratados de forma transparente, com a utilização de mecanismos de participação social e de aparato jurídico-institucional para que, de fato, a água torne-se um bem de uso comum, reconhecendo as diferenças, prioridades, sem que isso seja uma apropriação que implique em aumento da desigualdade social de acesso a esse recurso. Mas que os custos e benefícios possam ser distribuídos com base na equidade social e que as regras em uso desse recurso natural sejam aceitas e compartilhadas pelos diversos usuários e agentes sociais de gestão de recursos hídricos.

Este fato mostra que é necessário desenvolver estratégias de adaptação a fim de minimizar os impactos das mudanças climáticas no perímetro estudado e aumentar a resiliência dos mesmos. Com isso, esse estudo elenca estratégias integradas com vistas a uma gestão adaptativa e a sustentabilidade do sistema (Quadro 1).

**Quadro 1.** Estratégias de adaptação às mudanças do clima.

Estratégias de adaptação	
Sócio institucionais	Operacionais
Adoção de políticas públicas que incorporem instrumentos regulatórios, econômicos, financeiros, tecnológicos e educacionais, capazes de estimular o uso racional da água na bacia.	Implementação de um sistema de informação unificado para toda a bacia relativo a dados de disponibilidade hídrica, precipitação e demanda, com a possibilidade de acesso pelos atores.
Elaboração e definição de um arcabouço jurídico-político-institucional para tratar das regras de uso da água e os possíveis conflitos que poderão advir em função do não cumprimento das mesmas.	Estímulo ao desenvolvimento de ações integradas dos setores de meteorologia e de recursos hídricos.
Inserção da gestão participativa no processo de alocação na bacia do Piranhas-Açu bem como, a definição de mecanismos para a gestão de conflitos.	Uso de modelos de simulação de redes de fluxo, ou de outra natureza, adotando hidrossistemas interligados e não reservatórios isolados.
Elaboração e disponibilização de informações confiáveis aos atores da situação de ação sejam eles instituições, indivíduos ou membros do poder público.	Atualização sistemática do cadastro de usuários de recursos hídricos.
Compartilhamento pelos atores do significado das regras em uso.	Provisionamento e recuperação de infraestruturas físicas com vistas à redução das vulnerabilidades.
Capacitação das equipes dos órgãos gestores de recursos hídricos nos estados para uso das ferramentas hidrológicas e de sistemas de suporte à decisão.	Uso de tecnologias para gestão de recursos hídricos, tais como modelagem para previsão de tempo e Clima, hidrológica e modelos para simulação e operação de sistemas hídricos.
Elaboração de planejamento da gestão dos recursos hídricos com base na cenarização das mudanças climáticas (Incertezas).	Incorporação das previsões climáticas nas estratégias de alocação de água.
Incentivo e estruturação da fiscalização dos usos, com a ampliação dos recursos humanos responsáveis por tal atividade a fim de que os acordos sejam garantidos.	Realização de uma avaliação do barramento do ponto de vista da segurança e implantação de hidrômetros.
Conclusão do processo de titulação do Perímetro Irrigado para que o sentimento de pertença e o cuidado com o lugar e tudo que o compõe seja efetivo.	Ampliação da rede de monitoramento da bacia do rio Piranhas - Açu, com a definição de seções de controle e acompanhamento da alocação.

## 6 CONCLUSÕES

As reflexões apresentadas ao longo desse trabalho revelam que a inserção da informação climática na operação e simulação de um hidrossistema é chave para a determinação da disponibilidade hídrica e a análise de incertezas associada à variabilidade destas disponibilidades.

O estudo apontou uma redução das garantias para a área de estudo. Constatou-se que para o perímetro de Cruzeta no cenário A2 as garantias diminuem significativamente, deslocando-se de uma faixa de 85% - 90% para uma faixa de 65% - 75% no sistema de irrigação por sulcos e de 65% - 70% com o método de gotejamento. Enquanto que, no cenário B1, a garantia é de 75% - 80% no sistema de irrigação por sulcos e 80% - 85% com o sistema de gotejamento.

Esses dados apontam que a busca da adaptação e resiliência do hidrossistema de Cruzeta não pode prescindir de uma referência local na governança da água e nem mesmo deixar de considerar as mundaças impostas pela variabilidade climática ao longo do tempo, tornando necessário, o uso de um sistema de monitoramento capaz de fornecer séries históricas sempre atualizadas.

Dessa forma, as análises possibilitam um olhar acurado para a realidade atual, mas também para o que há de vir em termos de cenários probabilísticos, oportunizando recomendações de estratégias no âmbito da sustentabilidade desse e de outros hidrossistemas semelhantes.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998, 318 p.

AREOSA, J. **O risco no âmbito da teoria social**. In: VI Congresso Português de Sociologia, *Anais...*, Lisboa, 2008, p.2-16.

BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S. AND J.P. PALUTIKOF. **Climate Change and Water**. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2008, 210 p.

DÍAZ, J. A. R.; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W.; CAMACHO, E. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. **Regional Environmental Change**, Berlin, v.7, p.149-159, 2007.

FISHER, A. C.; HANEMANN, W. M.; ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. **Climate change and agriculture reconsidered**. Berkeley: University of California at Berkeley, 2009. 29p.

GELLENS, D.; ROULIN, E. Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. **Journal of Hydrology**, Connecticut, USA, v. 210, n 1-4, p. 242-258, 1998.

GIDDENS, A. **O mundo na era da globalização**. Lisboa: Presença, 4ª ed., 2000, 65p.

GODIM, R. S.; CATRO, M. A. H. de.; TEIXEIRA, A. S.; EVANGELISTA, S. R. M. Impacto das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 594 – 600, 2011.

HOPMANS, J. W.; MAURER, E. P. Impact of Climate Change on Irrigation Water Availability, Crop Water Requirements and Soil Salinity in the SJV, CA. **Series Technical Completion Reports**, Oakland: University of California Water Resources Center, UC, 2008, 18p.

HOWELL, T. A. Global climate change effects on irrigation requirements for the central great plains. In: **Proceedings of the 21st Annual Central Plains Irrigation Conference**, 2009, Colby, Kansas, *Anais...*, Colby: Central Plains Irrigation, p. 25 – 39, 2009.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Fortaleza, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em: 18.12.2011.

IPCC-TGICA: **General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and adaptation Assessment**. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, Helsinki: Finnish Environment Institute, 66 pp, 2007.

OSTROM, E. **Rules, Games and Common-pool Resources**. Org: Elionor Ostrom, Roy Gardner & James Walker. Michigan: The University Of Michigan Press, 377p. 1991

PIDGEON, N., FISCHHOFF, B. The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks. **Nature Climate Change**, Shanghai, v. 1, n. 1, p. 35 – 41, 2011.

RIGARE. **Relatório Final Tomo I**. Consultoria Especializada para Elaboração de Projetos Executivos de Irrigação Localizada do Perímetro Irrigado de Cruzeta, no Rio Grande do Norte, Natal, 2010, 40p.

SVANIDZE, G. G. Mathematical Modeling of Hydrologic Series (for Hydroelectric and Water Resources Computations). **Water Resources Publications**, Fort Collins, Colorado, 1980.  
SERHIDRO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte**. Natal: SERHIDRO/HIDROSERVICE, 1998.

STERN, N. The economics of climate change. **The American Economic Review**, Washington D.C , v. 98 n. 2, p. 1 – 37, 2008.