

---

## Mecanismo financeiro projetado com índices de seca como instrumento de gestão de risco em recursos hídricos

*Financial mechanism designed with drought indices as a risk management instrument in water resources*

Samiria Maria Oliveira da Silva<sup>1</sup>; Francisco de Assis de Souza Filho<sup>2</sup> e Luiz Martins de Araújo Júnior<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Doutorandos em Recursos Hídricos no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, CE, Brasil

samiriamaria@hotmail.com, lu.m.a.junior@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto II do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, CE, Brasil

assisfilho@secrel.com.br

Recebido: 17/07/14 - Revisado: 05/09/14 - Aceito: 05/12/14

---

### RESUMO

Este estudo explora a construção de um mecanismo de compensação financeira baseado em índices de seca como forma de eliminar o risco moral e a mitigar impactos resultantes de uma alocação de água ineficiente. Para isso, foi analisado um sistema com reservatório de regularização plurianual e múltiplos usos (abastecimento urbano e irrigação). O mecanismo financeiro foi projetado com base no SPI (Standardized Precipitation Index) com escala de tempo de 12 meses e no SRI (Standardized Runoff Index) com 12 e 24 meses. No intuito de obter recursos suficientes para a cobertura das compensações financeiras elaborou-se um fundo de reservas que possui parcelas de arrecadação anual realizadas pelo abastecimento humano e pelo governo. O modelo financeiro permite que as compensações sejam pagas com base unicamente no valor percebido do índice, assim, não há necessidade de estimar a perda real do usuário. As simulações realizadas mostraram que o índice SRI-24 obteve o melhor desempenho para as taxas de juros aplicadas, 0%, 2% e 3%. O instrumento proposto impede que os usuários influenciem no valor do índice e, conseqüentemente nos valores das compensações e no período de pagamento. Ele consegue compensar a transferência de risco entre setores conflitantes e gerar uma maior equidade ao sistema de recursos hídricos.

**Palavras Chave:** Risco. Transferência e Compensação

### ABSTRACT:

This study explores the construction of the index insurance in order to manage the moral hazard in water resources as well as to mitigate impacts resulting from an inefficient allocation of water. A system with a pluriannual and multiple use (urban supply and irrigation) reservoir was analyzed. The index insurance was designed based on SPI (Standardized Precipitation Index) with a time scale of 12 months and SRI (Standardized Runoff Index) with 12 and 24 months. In order to obtain sufficient resources to cover financial compensation a reserved fund was created that has annual revenues raised from human consumption and government. The index insurance model allows compensations that are paid based solely on the perceived value of the index, so that there is no need to estimate the actual loss of irrigation. The simulations showed that the SRI-24 index had the best performance for the interest rates applied, 0%, 2% and 3%. The proposed instrument can prevent opportunistic behavior of users (moral hazard) since they cannot influence the value of the index, the values of compensation and payment period. It can compensate for the risk transfer between conflicting sectors and generate greater equity in the water resource system.

**Keywords:** Risk. Transfer and compensation

## INTRODUÇÃO

A alocação da disponibilidade hídrica em diversas regiões tem sido marcada por conflito entre os diversos grupos sociais. Esses conflitos se acentuam em período de escassez hídrica, que gera, o desequilíbrio entre a oferta e a demanda. Segundo Aquino et al., (2012), as diversas situações de conflitos não emergem apenas porque o recurso está escasso, mas, sobretudo porque a sociedade é marcada por dicotomias, onde o uso dos bens seja natural ou não, nem sempre são disponibilizados a todos da mesma forma.

Com isso, o gestor de recursos hídricos enfrenta o desafio de elaborar regras para alocar água entre setores conflitantes, que nem sempre, levam a um processo de alocação equitativo e eficiente sendo necessário a busca de alternativas inovadoras para alcançar esses objetivos. Com isso, Brown e Carriquiry (2007) propôs transformar a variabilidade do espaço hidrológico no espaço financeiro através de mecanismos financeiros.

O mecanismo financeiro escolhido pelo gestor de recursos hídricos deverá se adaptar as características climáticas da área de aplicação e reduzir os problemas encontrados em instrumentos já existentes.

Neste contexto, Breustedt et al., (2008) analisaram a redução do risco climático através de contratos de seguros índice para fazendas de trigo do Cazaquistão. Skees (2008) projetou esse tipo de seguro para atender os países pobres de baixa renda onde mercados financeiros rurais e agrícolas estão em grande parte subdesenvolvidos. Brown e Carritory (2007) analisam o seguro índice como uma estratégia de gestão de risco climático para um reservatório de usos múltiplos. Leiva e Skees (2005) faz uma menção ao uso de seguros índices para cobrir risco na irrigação com base em escoamento de reservatórios.

O seguro indexado, por exemplo, faz parte de um conjunto de instrumentos de proteção contra o risco (componente da gestão de risco estratégica). Entretanto, este mecanismo quando projetado com dados de vazão e precipitação estão susceptíveis ao risco moral. Este risco está relacionado com a assimetria de informação e é consequência do comportamento oportunista dos agentes envolvidos no contrato de seguro após a execução dele.

Segundo Hellmuth (2009), o risco moral ocorre quando os usuários realizam atividades ocultas para aumentar a sua exposição ao risco. Essas atividades podem deixar o administrador do fundo de reservas expostos a níveis mais elevados de risco do que tinha sido previsto quando foram estabelecidos os juros e as compensações.

Em recursos hídricos, um exemplo desta ação seria a redução dos volumes dos reservatórios através de uma operação fraudulenta por parte dos usuários. Neste contexto, Souza Filho et al., (2013) ressaltam a necessidade de identificar incentivos econômicos, financeiros e sociais para a promoção do comportamento socialmente desejado dos usuários de água.

É importante salientar que somente através do controle de comportamentos oportunistas e dos usos por parte do Estado e da sociedade pode-se diminuir as incertezas na alocação durante um período onde o balanço hídrico for negativo, ou seja, quando não tivermos água em quantidade disponível para

todos os usos na bacia.

Deste modo, este estudo apresentará um modelo de compensação financeira baseado em índices de seca como forma de eliminar o risco moral e a mitigar impactos resultantes de uma alocação de água ineficiente. Para isso, serão utilizados como índice o SPI (Standardized Precipitation Index) e o SRI (Standardized Runoff Index) que relacionam variáveis meteorológicas e hidrológicas com funções estatísticas. O modelo será aplicado no reservatório Orós, localizado no estado do Ceará região de pronunciada escassez hídrica.

## LOCAL DE APLICAÇÃO

Para aplicação deste estudo escolheu-se o reservatório Orós, localizado no sistema Jaguaribe-Metropolitano, estado do Ceará em virtude deste reservatório possuir a maior quantidade de dados consistentes disponíveis dentre os reservatórios desta área. Além disso, este estado é marcado por uma significativa variabilidade climática podendo ser um modelo para o semiárido brasileiro.

O reservatório Orós possui uma capacidade máxima de armazenamento de 1.940 hm<sup>3</sup>. De acordo com a Lei de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (Lei nº 14.844 de 2010), a água disponível para distribuição é de 90% do volume Q<sub>90</sub>. Com base em dados historicamente observados, este é um volume de 600 hm<sup>3</sup>/ano. Este volume é então dividido entre dois usuários, abastecimento urbano com um volume de 180 hm<sup>3</sup>/ano e irrigação com um volume demandado de 420 hm<sup>3</sup>/ano. O abastecimento urbano é composto pelo abastecimento humano, indústria, serviços e turismo.

## METODOLOGIA

Para desenvolver este estudo, inicialmente foram obtidas as disponibilidades hídricas (vazão de retirada) do reservatório para cada ano da série histórica utilizando o cenário de vazão zero na operação dele. Em seguida, a vazão de retirada foi alocada para os usuários utilizando dois modelos de alocação: rateio linear e rateio com prioridades. Com os valores das vazões atendidas em cada setor foram determinados os benefícios e a transferência de risco.

Na seqüência, elaborou-se os índices de seca ajustando uma distribuição gama de dois parâmetros para os dados de precipitação média e vazão afluyente, respectivamente. Com base nesses índices foi definida a regra de operação do mecanismo e os valores das compensações financeiras. Em seguida, foi desenvolvido um modelo de fundo de reservas para guardar os recursos necessários para o pagamento das compensações. A descrição detalhada desta metodologia é apresentada a seguir:

### **Alocação de água entre os setores usuários**

A vazão disponível para a alocação entre o abastecimento urbano e a irrigação foi determinada utilizando a estratégia de operação do reservatório com vazão zero (estratégia adotada no estado do Ceará).

No cenário de vazão zero, o sistema hídrico é simulado com vazões afluentes zero (estado mais crítico para o sistema) no período de julho a dezembro (futuro conhecido de 6 meses). Esta hipótese é aplicada devido ao comportamento de aversão ao risco do decisore os menores benefícios estão associados a ela.

Para atender a necessidade de regularização plurianual manteve-se no reservatório, a quantidade de água que satisfizesse as demandas humanas no ano seguinte, sem racionamento. A simulação foi realizada ao longo dos 18 meses seguintes a tomada de decisão seguindo o balanço hídrico descrito na equação 1:

$$V_{t+1} = V_t + I_t - E_t * A - R - S_t \quad (1)$$

em que  $I$  é a afluência,  $E$  é a evaporação,  $A$  é a área do espelho d'água,  $S$  é o vertimento (retirada de água não controlada),  $t$  é o mês e  $R$  representa a retirada controlada. As variáveis de estado do reservatório são o armazenamento ( $V$ ) e a afluência ( $I$ ).

Foram utilizados os dados de evaporação disponível no banco de dados das normais climatológicas do INMET considerando a cidade de Iguatu. Esses dados são observados em evaporímetros de pichê com distribuição mensal. Para representar a evaporação sobre o reservatório adotou-se oitenta por cento (80%) dos valores da variável evaporação média.

Os dados de afluência foram obtidos no relatório de regionalização de vazões da UFC/COGERH (2013) para o período de 1912 a 2012. Neste relatório foi utilizado o modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) para a calibração e geração de vazões, com discretização temporal mensal.

A vazão anual alocável para o sistema foi distribuída entre os dois setores usuários através de dois modelos de alocação, são eles: rateio linear e sistema de prioridades. No primeiro método, a disponibilidade hídrica foi rateada linearmente entre os usuários conforme as expressões 2 e 3.

$$Q_{u,t} = \frac{(D_u)}{(D_u) + (D_i)} * R_t \quad (2)$$

$$Q_{i,t} = \frac{(D_i)}{(D_u) + (D_i)} * R_t \quad (3)$$

onde:  $Q_{u,t}$  é a vazão urbana atendida no tempo  $t$ , em  $hm^3/ano$ ;  $Q_{i,t}$  corresponde a vazão atendida do setor de irrigação a no tempo  $t$ , em  $hm^3/ano$ ;  $R_t$  é a vazão alocável do sistema no tempo  $t$ , em  $hm^3/ano$ ;  $D_u$  representa a demanda urbana ( $180 hm^3/ano$ ); e,  $D_i$  é a demanda da irrigação ( $420 hm^3/ano$ );

O método de Prioridades caracteriza-se pela escolha prioritária de um setor em detrimento de outros setores e de um segundo setor em detrimento dos restantes e assim por diante. Neste caso, leva-se em consideração a Lei Estadual de Recursos Hídricos que expressa o seguinte como fundamento: "... em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais". Desta forma, a prioridade legal é do setor urbano em detrimento da irrigação em épocas de escassez. Para este método tem - se as seguintes condições:

$$Q_{u,t} = \text{mínimo} (R_t; D_u); \quad (4)$$

$$Q_{i,t} = \text{mínimo} (R_t - D_u; D_i); \quad (5)$$

### Transferência de risco

A transferência de risco entre os usuários foi avaliada através da diferença dos benefícios alcançados por cada setor nos dois métodos de rateio das disponibilidades hídricas, conforme apresentado nas equações a seguir:

$$\Delta B = B_k^{RL} - B_k^{PR} \quad (6)$$

$$TR = \Delta B_u - \Delta B_i \quad (7)$$

em que:  $B_k^{RL}$  é o benefício obtido pelo método do rateio linear;  $B_k^{PR}$  é o benefício obtido pelo método de prioridades;  $k$  é cada um dos setores usuários de água; é a diferença de benefícios entre os dois métodos de rateio de disponibilidade hídrica; e,  $TR$  é o risco transferido.

A diferença de benefício entre os usuários define os recursos financeiros que um setor estaria satisfeito em receber e que o outro setor estaria disposto a desprender. Ou seja, as perdas de um setor e os ganhos do outro setor.

Os benefícios foram calculados através das funções proposto por Souza Filho e Brown (2009) que tem como base a elasticidade-preço da demanda. Estas funções estão expostas nas expressões 8 e 9:

$$B_{i,t} = \frac{-0,137 * Q_{i,t}^2 + 79,51 * Q_{i,t}}{1000} \quad (8)$$

$$B_{u,t} = (-4,75 * (\frac{Q_{u,t}}{12})^{-0,818} + 2,17) * 12 \quad (9)$$

em que:

- $B_{i,t}$  – função benefício da irrigação em milhões de reais;
- $B_{u,t}$  – função benefício do abastecimento urbano em milhões de reais;
- $Q_{i,t}$  – vazão atendida da irrigação, em  $hm^3/ano$ ;
- $Q_{u,t}$  - vazão atendida do setor de abastecimento urbano, em  $hm^3/ano$ .

### Mecanismo de Compensação Financeira

O modelo proposto possui como gatilho de acionamento um índice de seca que estabelecem o estado de seca do sistema sobre os quais as compensações devem ser feitas.

### Gatilhos de acionamento e regra de operação

Índices de seca são normalmente utilizados na monitorização e identificação das secas em várias escalas temporais. Neste estudo, foram elaborados dois índices no intuito de veri-

ficar o impacto da seca na acumulação do reservatório: o índice normalizado de precipitação (Standardized Precipitation Index - SPI) desenvolvido por McKee et al., (1993, 1995) e o índice normalizado de escoamento (Standardized Runoff Index - SRI) elaborado por Shukla e Wood (2008).

O SRI é um complemento útil do SPI para retratar os aspectos hidrológicos da seca, pois, ele incorpora processos que determinam defasagens sazonais na influência do clima na vazão e, assim, carrega implicitamente variáveis do clima como a evaporação em seu cálculo (SHUKLA; WOOD, 2008).

Para o cálculo do SPI e do SRI, em uma escala de tempo escolhida, ajusta-se uma distribuição de probabilidade para os valores de entrada (precipitação média, vazão afluente e temperatura, respectivamente) depois estima-se os valores da distribuição de probabilidade correspondente e converte os valores de probabilidade acumulada obtidos que correspondem à variável normal reduzida.

A distribuição de probabilidade utilizada no ajuste dos dados foi a gama dois parâmetros, definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0, \tag{10}$$

em que  $\alpha > 0$  é o parâmetros de forma,  $\beta > 0$  o parâmetro de escala,  $x$  é a variável aleatória em estudo. A função gama está descrita pela equação 11.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \tag{11}$$

A distribuição gama, conforme exposto na equação (10), só está definida para  $x > 0$ , logo quando um dado mês apresenta valores nulos, faz-se necessário o uso de uma transformação da distribuição de probabilidade acumulada, dada por:

$$F(x) = q + (1 - q)G(x), \tag{12}$$

onde  $G(x)$  é uma função gama incompleta, que é a função de distribuição estimada a partir dos valores não nulos da série de dados utilizada e  $q$  a probabilidade de zeros na amostra. Com isso, o SRI e o SPI são definidos como:

$$\text{Índice} = \varphi^{-1}[F(x)] \tag{13}$$

em que  $\varphi$  a função de distribuição normal reduzida.

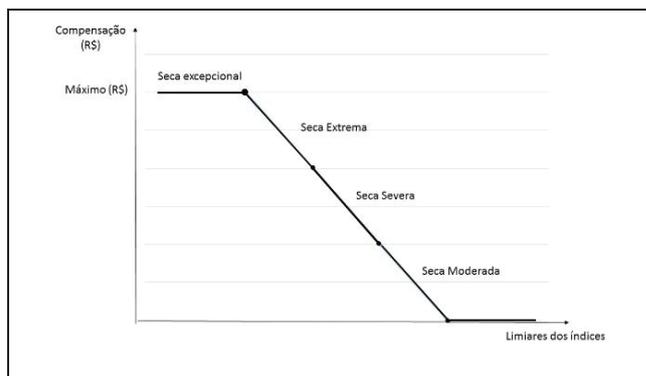
O SPI será apresentado para a escala temporal de 12 meses enquanto que, o SRI para 12 e 24 meses. As escalas de tempo utilizada para o cálculo do índice estão diretamente relacionadas com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades e sobre os recursos hídricos em geral. Esses índices são adimensionais e seus limiares estão expostos na Tabela 1.

**Tabela 1 – Limiares dos índices com as devidas classificações e estados de seca**

Limiares do SPI e do SRI	Estado de Seca
$> -0,79$	Normal
$-0,80$ a $-1,29$	Seca Moderada
$-1,30$ a $-1,59$	Seca Severa
$-1,60$ a $-1,99$	Seca Extrema
$\leq -2,00$	Seca Excepcional

Fonte: Adaptado de Cunha (2008)

Com isso, mecanismo financeiro segue a regra de operação apresentada na Figura 1, isto é, quando índice alertar que o reservatório encontra-se no estado de seca excepcional tem-se o pagamento da compensação máxima e, se ele não indicar nenhum estado de seca, não tem-se compensação.



**Figura 1 – Regra de operação do mecanismo de compensação financeira**

Fonte: Elaboração própria

A compensação financeira foi obtida com base na diferença de benefícios calculada na seção anterior, conforme exposto na Tabela 2.

**Tabela 2 – Valores das compensações financeira**

Gatilhos (SPI e SRI)	Compensação (R\$)
Normal	0,00
Seca Moderada	Med $\Delta B_i$
Seca Severa	Md $\Delta B_i$
Seca Extrema	Q75 $\Delta B_i$
Seca Excepcional	Max $\Delta B_i$

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 2 tem-se que:

Med $\Delta B(i)$  corresponde ao valor médio da série de  $\Delta B(i)$ ;

Md $\Delta B(i)$  representa a mediana da série de  $\Delta B(i)$ ;

$Q75\Delta B(i)$  é o terceiro quartil da série de  $\Delta B(i)$ ;  
 $Max\Delta B(i)$  significa o valor máximo da série de  $\Delta B(i)$ .

### Fundo de reservas

O fundo de reservas foi construído com o objetivo de guardar recursos financeiros suficientes para realizar o pagamento das compensações. Ele foi simulado conforme a formulação matemática a seguir que é uma adaptação do fundo para risco hidrológico proposto por Righetto (2005):

$$F_t = F_{t-1} + AT + J_t - C_{t-1} \quad (14)$$

em que,

- $F_t$  = Valor acumulado no ano t em R\$
- $F_{t-1}$  = Valor acumulado no ano anterior em R\$;
- $AT$  = Arrecadação total em R\$;
- $J_t$  = Juros em R\$
- $C_{t-1}$  = Compensação paga no ano anterior em R\$.

O valor do juros foi estimada de acordo com a expressão 15 na qual  $d$  é a taxa de juros adotada em percentual.

$$J_t = F_{t-1} \times d \quad ; \quad (15)$$

O valor que deve ser obtido para a arrecadação total foi determinado conforme a formulação 16:

$$AT = \frac{CM_s}{n} \quad , \quad (16)$$

em que,  $n$  é o período de tempo de simulação do seguro índice (101 anos) e  $CM_s$  o representa o custo médio da seca que foi obtido pela razão do montante total de compensação financeira pela quantidade de compensações pagas.

## RESULTADOS

### Alocação de água e transferência de risco

As retiradas para cada setor usuário utilizando os dois métodos de alocação das disponibilidades hídricas (rateio linear e rateio com prioridade) no cenário de vazão zero estão apresentadas na Figura 2.

Nesta figura observa-se que no sistema de prioridades a irrigação apresenta maiores falhas apresentando 51 anos em que a oferta de água foi completamente reduzida a fim de fornecer a água para o abastecimento urbano, do total de 101 anos de simulação. Neste caso, um grande déficit na oferta de água para o setor supracitado levaria a um custo social e econômico muito alto por isso, é necessário reduzir ou mitigar este risco, o que pode ser realizado com o uso de instrumentos econômicos e financeiros.

As funções benéficas utilizadas indicam que a partir de 290  $hm^3$ /ano do setor de irrigação começa a ter o benefício marginal negativo, ou seja, os benefícios diminuem com o aumento da vazão e, até 32  $hm^3$ /ano o setor urbano possui benefício negativo. Por isso, o estudo considera benefício zero para vazões até 32  $hm^3$ /ano para o setor urbano; e o benefício máximo para vazões acima de 290  $hm^3$ /ano.

Os benefícios obtidos por cada setor podem ser visualizados na Figura 3. Percebe-se que com o sistema de prioridade, o abastecimento urbano é exposto a menores variações anuais nos seus benefícios. Este setor atingiu um rendimento máximo de R\$ 25.521.617 no cenário de rateio de prioridade enquanto que, a irrigação alcançou apenas R\$ 12.135.800 para o mesmo cenário.

A transferência de risco entre os setores foi analisada comparando a variação dos benefícios obtidos por meio dos métodos de rateio (Tabela 3). Assim, tem-se que a irrigação perdeu 3,50 milhões de reais e o abastecimento urbano ganhou 715.076 reais. Estes valores são explicados pela transferência

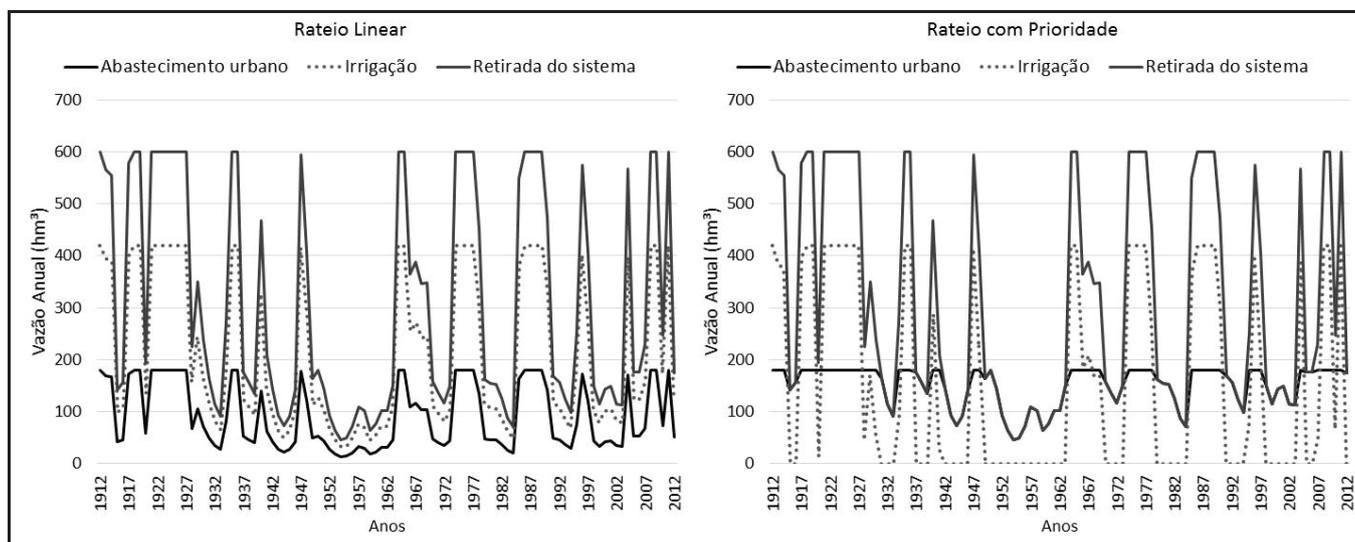


Figura 2 – Vazão anual de retirada do reservatório Orós ( $hm^3$ )

Fonte: Elaboração própria

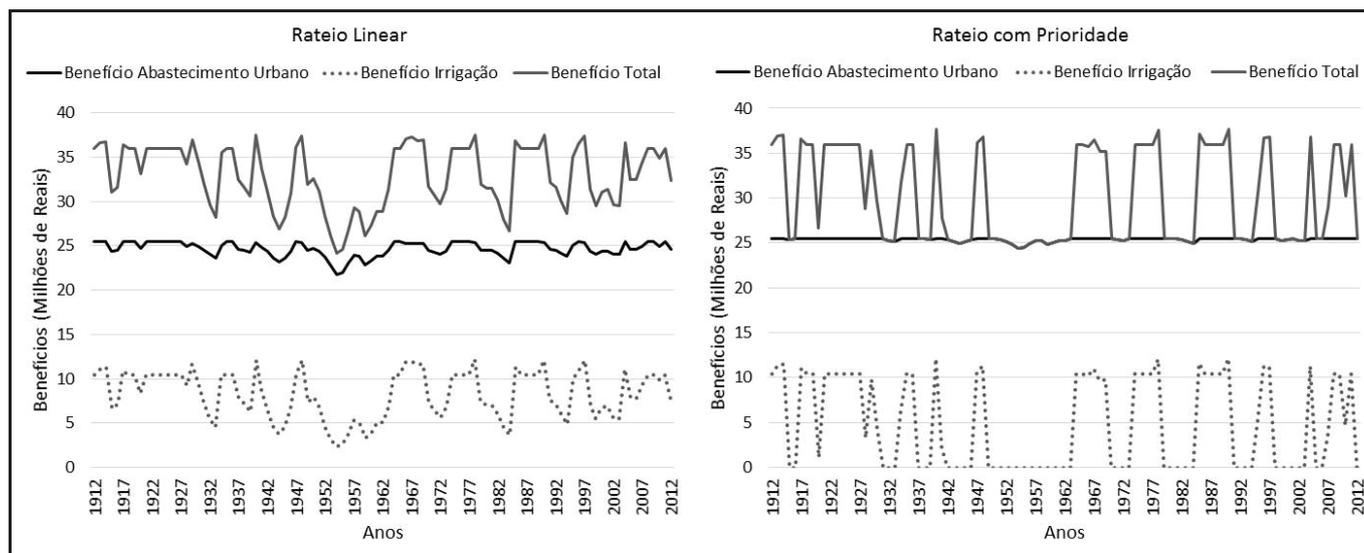


Figura 3 – Benefício anual dos setores usuários de água (Milhões de Reais)

Fonte: Elaboração própria

volumétrica realizada do setor de irrigação para o setor prioritário (em média 59 hm<sup>3</sup>).

Tabela 3 – Benefícios anuais médios para os setores de irrigação e abastecimento urbano (R\$)

Setores	Benefício médio anual (R\$)		
	Rateio Linear	Rateio com prioridade	Δ
Irrigação	8.255.498	4.751.253	3.504.245
Abastecimento Urbano	24.684.321	25.399.397	715.076

Fonte: Elaboração própria

Os valores expostos acima comprovam a necessidade de desenvolver um instrumento de compensação financeira uma vez que o setor que transferiu garantias hídricas perdeu os benefícios gerados pelo recurso transferido e outro setor aumentou sua garantia e seus ganhos com o uso da água. Além disso, o setor urbano é composto pelo abastecimento humano (setor prioritário de acordo com Lei Nacional de Recursos Hídricos) e outros setores econômicos (indústria, serviços e turismo) que estão na mesma categoria de prioridade da irrigação segunda a mesma legislação.

A redução da garantia hídrica no setor de irrigação pode ocasionar a desestruturação do processo produtivo e do modo de vida das famílias que são dependentes da existência e uso deste para alcançar o desenvolvimento social e econômico bem como, podem gerar conflitos intersetorial e interregional ou tornar-se mais acirrados.

### Mecanismo de Compensação Financeira

A compensação financeira foi calculada para cada limite com base na diferença dos benefícios alcançados pelo setor da irrigação. O valor máximo da compensação foi estimado em 7.950.714 reais (Tabela 4).

A simulação dos anos de acionamento do mecanismo financeiro para dois índices está apresentada na Figura 4. Observando esta figura tem-se que para um período de 101 anos, o mecanismo foi ativado 18, 19 e 22 vezes para os índices SPI-12, SRI-12 e SRI-24, respectivamente.

Tabela 4 –Valores das compensações financeiras (R\$)

Gatilhos (SPI, SRI)	Compensação (R\$)	
Normal	Q25PerIrri	0
Seca Moderada	MedPerIrri	3.504.245
Seca Severa	MdPerrIrr	4.131.165
Seca Extrema	Q75PerdIrr	6.626.802
Seca Excepcional	MaxPerdIrr	7.950.714

Fonte: Elaboração própria

A severidade da seca tem influência direta nos montantes pagos das compensações. A seca excepcional, de maior severidade, foi registrada apenas com o SPI-12 enquanto que, seca moderada obteve a maior recorrência para os três índices (Tabela 5).

O montante total de compensação financeira no período de 101 anos obteve o menor valor para o SRI-12 (Tabela 6). Este índice também alcançou a menor média.

Os índices de seca evitam que este mecanismo sofra

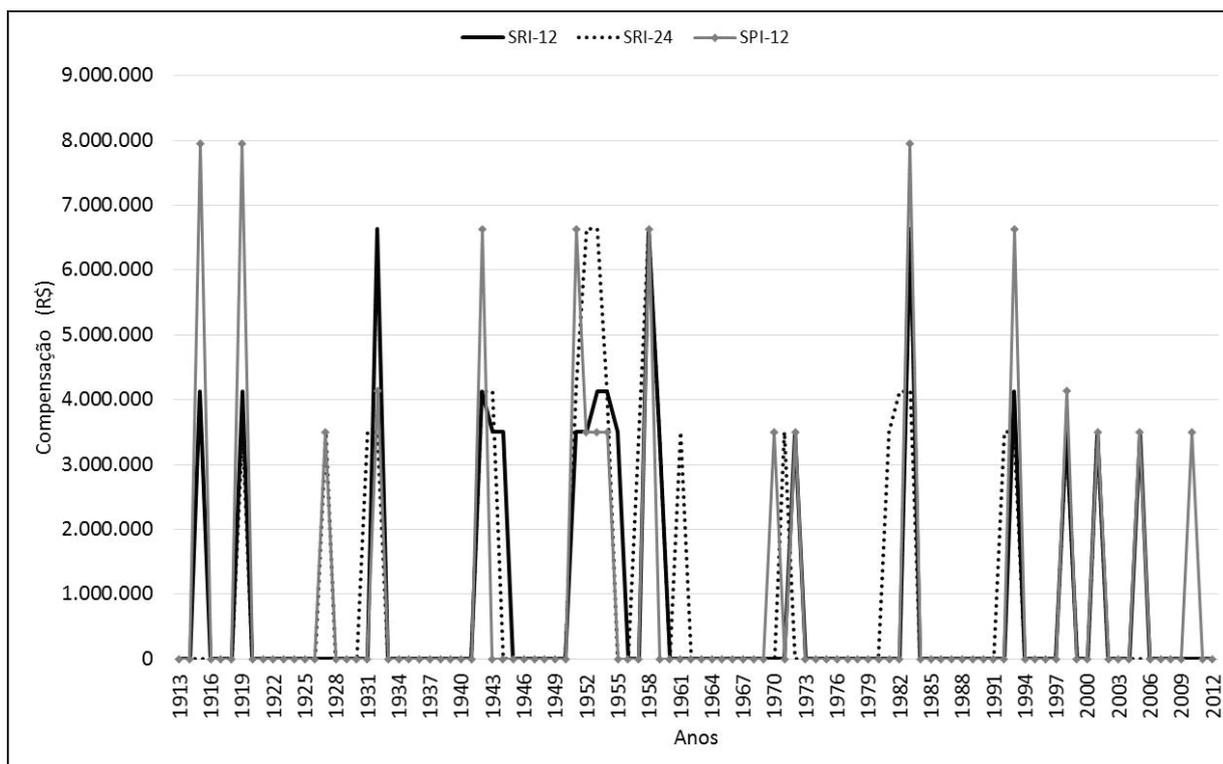


Figura 4 – Simulação do acionamento do mecanismo financeiro com os gatilhos SPI-12, SRI-12 e SRI-24 e valor da compensação anual (R\$)

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5 – Número de secas ocorridas conforme os índice utilizado e severidade da seca

Estado de seca	Número de ocorrências		
	SPI-12	SRI-12	SRI-24
Moderada	9	10	13
Severa	2	6	6
Extrema	4	3	3
Excepcional	3	0	0
Total	18	19	22

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 – Montante total e médio da compensação financeira para o SPI-12, SRI-12 e SRI-24 no período de 1912 a 2012

Compensação	SPI-12	SRI-12	SRI-24
Média (R\$)	910.808	804.747	901.300
Total (R\$)	90.130.000	79.670.000	90.170.000

Fonte: Elaboração própria

com o risco moral uma vez que o usuário não pode influenciar no valor do índice e, conseqüentemente nos valores das compensações e no período de pagamento. Entretanto, quando se trata de verificar o estado de seca em um reservatório plurianual, o SPI e o SRI podem apresentar dois problemas: falso alarme e probabilidade de detecção. No primeiro, os índices alertam para o estado de seca, mas ela não é apresentada pelo reservatório devido a ele transportar água no tempo. Assim, o falso alarme

mostra os eventos de seca que na verdade não se materializaram no reservatório. No segundo, estes índices podem caracterizar o estado normal e o reservatório encontrar-se em estado de seca devido ao tempo necessário para que ele atinja um dado nível de volume.

### Fundo de Reservas

O fundo de reservas foi simulado para as taxas de juros de 0%, 2% e 3%.

Devido a transferência de risco ocorrer do abastecimento urbano para a irrigação decidiu-se que a arrecadação total seria paga pelo setor de abastecimento urbano devido à preferência na utilização do recurso hídrico em épocas de escassez e pelo governo por uma questão de justiça social. Assim, tem-se:

$$AT = AP_{urb} + AP_{gov} \quad (17)$$

na qual,  $AP_{urb}$  corresponde a parcela de arrecadação do Setor Urbano e  $AP_{gov}$  representa a parcela de arrecadação do Governo.

A parcela de arrecadação máxima que o setor urbano poderia pagar foi calculada pelo percentual que o ganho do setor urbano ( $\Delta B_u$ ) representa sobre o total de compensação:

$$Máximo de AP_{urb}(\%) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \Delta B_u}{\sum_{i=1}^n \text{Compensações}} \right) \times 100 \quad (18)$$

em que,  $i$  corresponde ao número de anos.

Com isso, o percentual da parcela máxima anual de arrecadação que o abastecimento urbano deve repassar para o pagamento das compensações foi de 80% para o SPI-12 e SRI-24 e 91% para o SRI-12. Contudo neste estudo será considerado um percentual de arrecadação de 60% para o abastecimento urbano e 40% para o governo. Estes percentuais correspondem aos valores financeiros apresentados na Tabela 7 que devem ser pagos anualmente.

**Tabela 7 – Arrecadação total e parcelas da arrecadação do abastecimento urbano e governo (R\$/ano)**

Compensação	SPI-12	SRI-12	SRI-24
AT (R\$)	892.376,24	788.811,88	892.772,28
$AP_{urb}$ (R\$)	535.425,74	473.287,13	535.663,37
$AP_{gov}$ (R\$)	356.950,50	315.524,75	357.108,91

Fonte: Elaboração própria

Vale ressaltar que o mecanismo financeiro poderia ser financiado por todos os agentes sociais envolvidos na alocação,

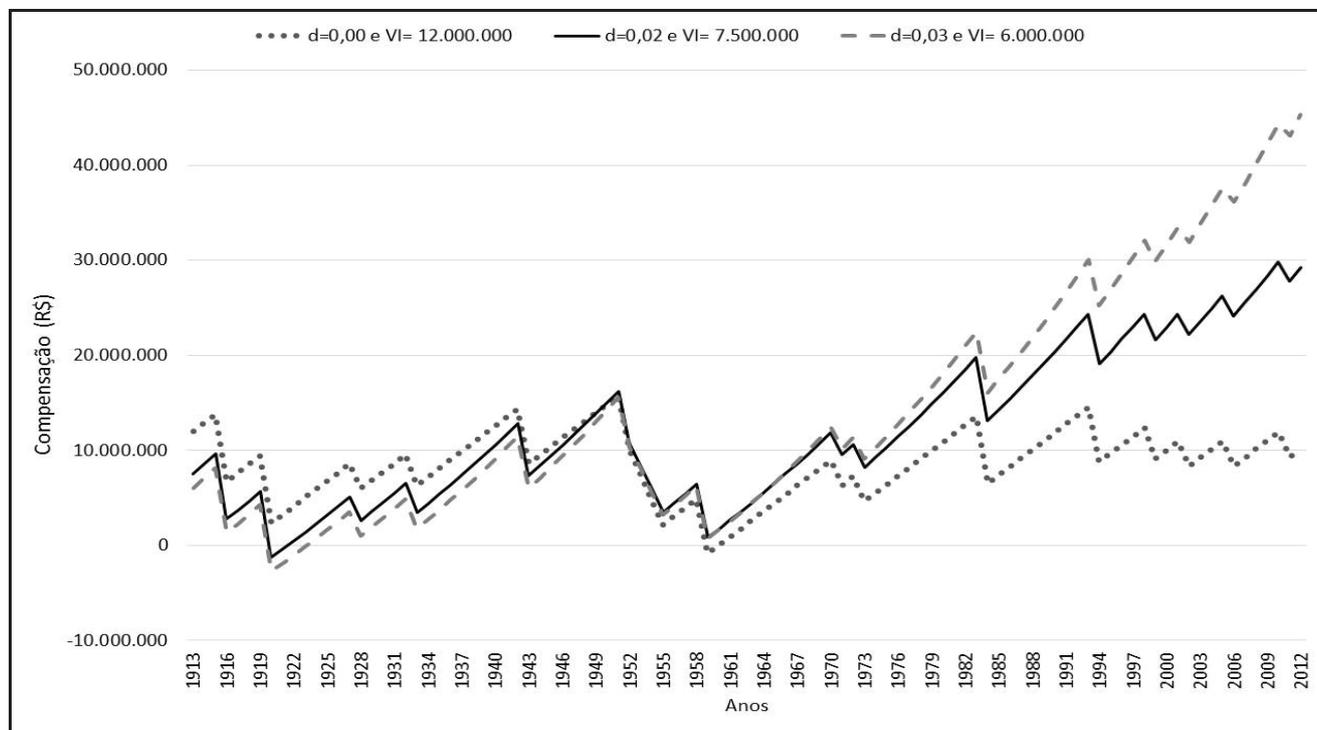
isto é, irrigação, abastecimento e governo. Esta é uma decisão política.

Foram simulados cenários com diferentes valores iniciais para o fundo financeiro de forma que tivesse recursos suficientes para pagar as indenizações e não tivesse acúmulo excessivo de capital.

Considerando a taxa de juros de 0%, 2% e 3% os menores valores iniciais que o fundo de reservas utilizando o SPI-12 pode ter para garantir a cobertura das compensações são R\$ 12.000.000, R\$ 7.500.000 e R\$ 6.000.000, respectivamente (Figura 5). No caso do SRI-12 foram encontrados os valores de R\$ 16.000.000, R\$ 6.000.000 e R\$ 4.000.000 (Figura 6). Enquanto que, para o SRI-24 tem-se R\$ 11.500.000, R\$ 3.000.000 e R\$ 100.000 (Figura 7).

Analisando as simulações realizadas constata-se que o índice que obteve o melhor desempenho no fundo de reserva para as três taxas de juros foi o SRI-24. Além disso, este índice incorpora a defasagem sazonal da influência do clima na vazão.

O fundo de reservas e as parcelas de arrecadação pagas pelo abastecimento urbano e pelo governo garantem a sustentabilidade financeira e uma boa capacidade de adaptação ao sistema.



**Figura 5 – Simulação do fundo de reserva para o SPI-12 com taxas de juros ( $d$ ) de 0%, 2% e 3% e valores iniciais ( $VI$ ) correspondendo a R\$ 12.000.000, R\$ 7.500.000 e R\$ 6.000.000**

Fonte: Elaboração própria

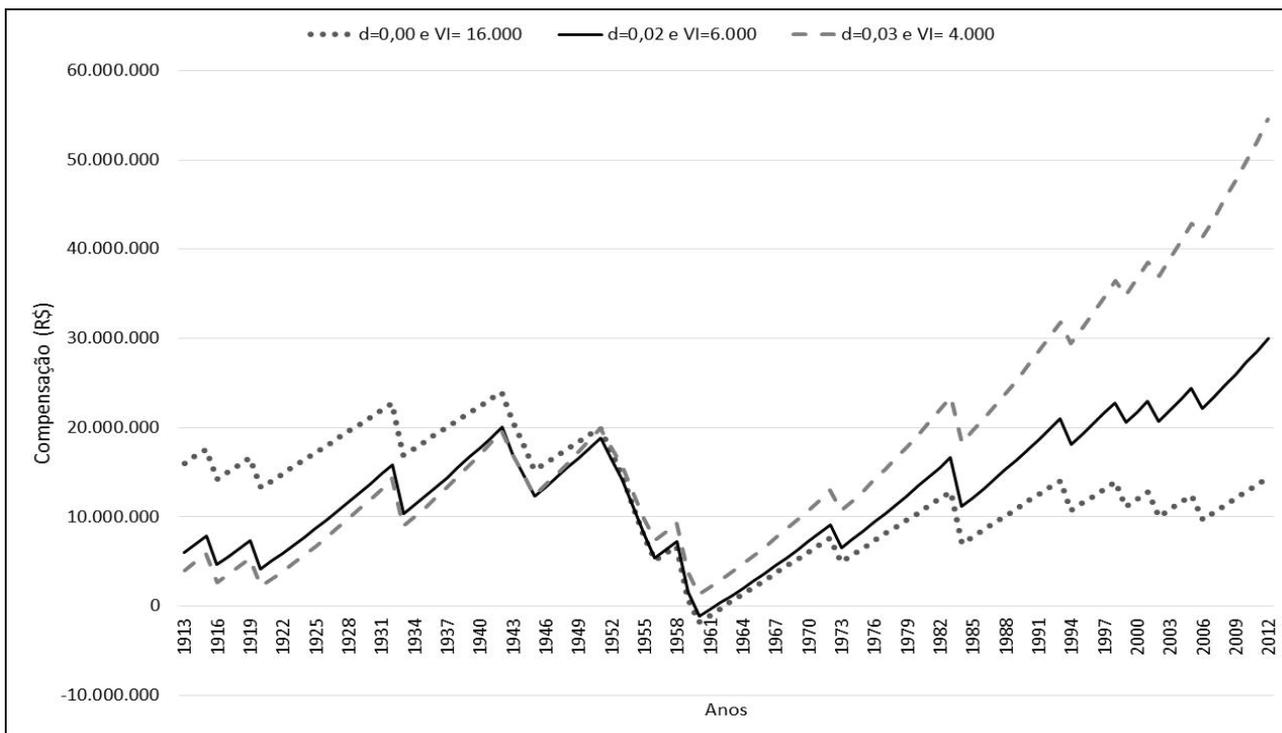


Figura 6 – Simulação do fundo de reserva para o SRI-12 com taxas de juros (d) de 0%, 2% e 3% e valores iniciais (VI) para correspondendo a R\$ 16.000.000, R\$ 6.000.000 e R\$ 4.000.000  
 Fonte: Elaboração própria

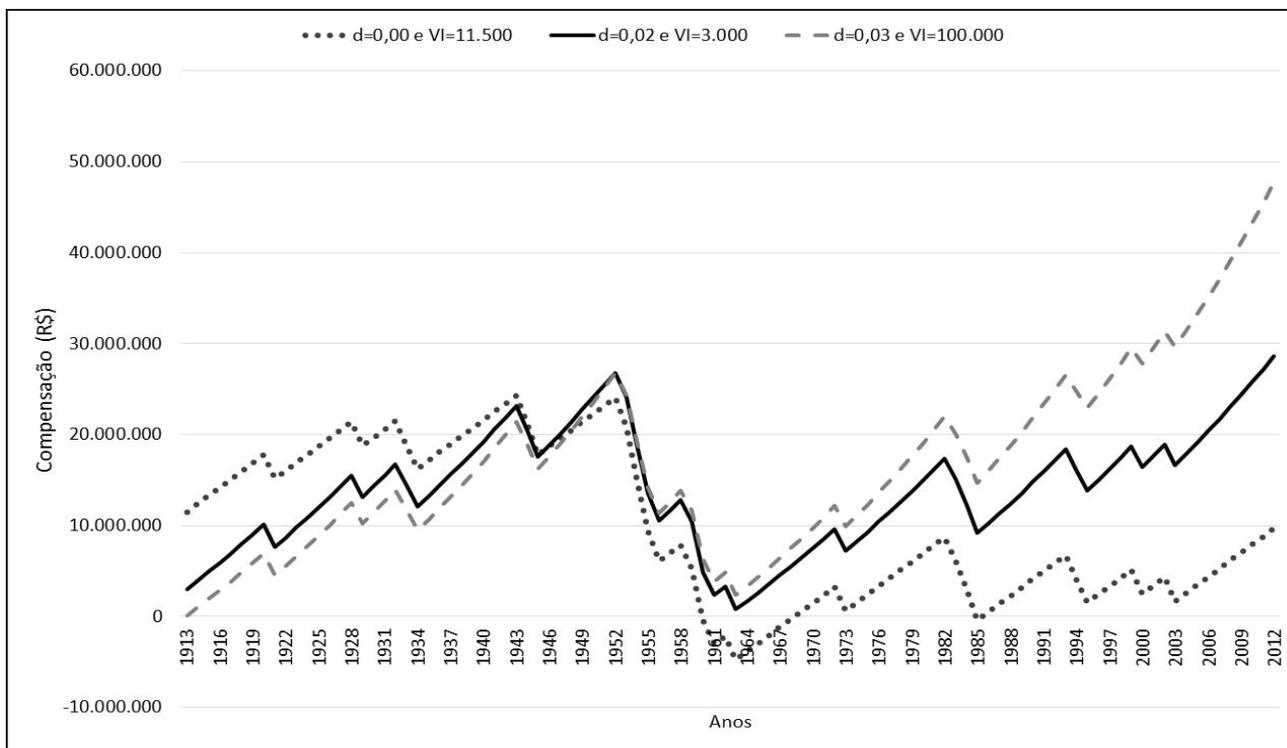


Figura 7 – Simulação do fundo de reserva para o SRI-24 com taxas de juros (d) de 0%, 2% e 3% e valores iniciais correspondendo a (VI) de R\$ 11.500.000, R\$ 3.000.000 e R\$ 100.000  
 Fonte: Elaboração própria

## CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS

A transferência de risco existente entre os dois usuários de água mostra que a incorporação de um mecanismo financeiro no sistema de recurso hídrico é chave para garantir a eficiência, a flexibilidade e a sustentabilidade deste sistema.

Com o estudo verificou-se que o setor de abastecimento urbano obtém os maiores benefícios além de garantia hídrica enquanto que, o setor de irrigação apresenta perdas em seu rendimento e falhas no atendimento de sua demanda. Este fato pode acirrar conflitos entre usos além de, demonstrar que em longo prazo esse tipo de sistema é insustentável e ineficiente uma vez que a irrigação encontra-se na mesma categoria de prioridade de outros setores econômicos segundo a Lei Nacional de Recursos Hídricos.

Deste modo, o pagamento da compensação em um período de seca devido a maior garantia (prioridade) de outros usos opera no sentido de uma maior equidade e eficiência nos sistemas hídricos. Ela foi obtida para cada estado de seca do reservatório tendo seu valor igual ao máximo de perda de benefício do setor menos prioritário.

O instrumento proposto consegue compensar a transferência de risco entre setores conflitantes, impedir comportamentos oportunistas dos usuários (risco moral) através dos índices utilizados no designe do mecanismo bem como, reduzir a sensibilidade da sociedade aos eventos de seca que historicamente impõem restrições ao desenvolvimento social e econômico. Assim, ele é uma opção viável tanto para os gestores de recursos hídricos que terão maior flexibilidade nas suas decisões quanto para os usuários menos prioritários do processo de alocação de água.

Este trabalho também abre discussão para alguns aspectos de complementação da pesquisa em trabalhos futuros. Assim, sugere-se (i) a articulação de mecanismos financeiros com outros instrumentos de gestão, como a cobrança pelo uso da água e a outorga, (ii) o desenvolvimento de estudos sobre a administração do fundo de reservas de forma a evitar a utilização dos recursos financeiros deste fundo para outros fins e (iii) a implantação e institucionalização de sistemas de fiscalização e punição para garantir a eficácia do direito de uso e a eficiência do mecanismo de compensação financeira em região onde ele for implantado.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e a CAPES pelo auxílio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, S. H. S.; SILVA, S. M. O.; SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A. S. Conflitos e incertezas no processo de alocação de água. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, XI., 2012, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABRH, Regional da Paraíba, 2012. p. 1-14.

BREUSTEDT, G.; BOKUSHEVA, R.; HEIDELBACH, O. Evaluating the Potential of Index Insurance Schemes to Reduce Crop Yield Risk in an Arid Region. *Journal of Agricultural Economics*, v. 59, p. 312–328. doi: 10.1111/j.1477-9552.2007.00152.x. 2008.

BROWN, C.; CARRIQUIRY, M. Managing hydroclimatological risk to water supply with option contracts and reservoir index insurance. *Water Resources Research*, v. 43, W11423, doi: 10.1029/2007WR006093, 2007.

CUNHA, R. L. A. *Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas*. 2008. 147f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

HELLMUTH, M. E.; OSGOOD, D. E.; HESS, U.; MOORHEAD, A.; BHOJWANI, H; (eds). Index insurance, development and disaster management: Prospects for development and disaster management. *Climate and Society* no. 2. International Research Institute for Climate and Society (IRI), Columbia University, New York, USA. 2009.

LEIVA, A. J.; SKESS, J. R. Managing Irrigation Risk with Inflow-Based Derivatives: The Case of Rio Mayo Irrigation District in Sonora, Mexico. *American Agricultural Economics Association, Annual Meeting*, Providence, Rhode Island, p. 24–27, 2005.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: 8th Conference on Applied Climatology. *American Meteorological Society*, Boston, p. 179-184, 1993.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9th. *American Meteorological Society*, Boston, 1995. p. 233-236.

RIGHETTO, J. M. *Modelo de seguro para riscos hidrológicos no contexto de manejo integrado de bacias hidrográficas*. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SHUKLA, S.; WOOD, A. W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, v. 35, L02405, doi:10.1029/2007GL032487. 2008.

SKESS, J. R. Innovations in Index Insurance for the Poor in Lower Income Countries. *Agricultural and Resource Economics Review*, v. 37, n.1, p. 1-15, 2008.

SOUZA FILHO, F. A.; BROWN, C. M. Performance of water policy reforms under scarcity conditions: a case study in Northeast Brazil, *Water Policy*, v.11, p.553-568, doi: 10.2166/wp.2009.141.2009.

SOUZA FILHO, F. A.; PORTO, R. L. L.; SILVA, S. M. O.; BECCO, J. E. Sistema de fiscalização e punição para a garantia do direito de uso da água em hidrossistemas. In: SOUZA FILHO, F. A.; CAMPOS, J. N. B.; AQUINO, S. H. S. (Org). *Gerenciamento de Recursos Hídricos no Semiárido*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, v. 1, 2013. p. 365-378.

UFC/COGERH. *Relatório dos Estudos de regionalização de parâmetros de modelo hidrológico chuva-vazão, para as bacias totais e incrementais dos reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos*. Convênio UFC/COGERH/FCPC, Fortaleza, 2013, 24p.