

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

## **ESTUDO DOS IMPACTOS DO AÇUDE SANTA CRUZ NAS VAZÕES DO RIO APODI**

*Ticiano Marinho de Carvalho Studart<sup>1</sup>; José Nilson B. Campos<sup>1</sup>; Erika da Justa Teixeira Rocha<sup>2</sup>; e Renata Mendes Luna<sup>1</sup>*

**RESUMO** - Uma das principais medidas adotadas na busca de soluções para a seca em todo o Nordeste Semiárido tem sido a construção de açudes. Entretanto, a adoção desta alternativa exige uma série de avaliações relativas aos impactos dos reservatórios nas vazões naturais nas localidades à sua jusante. Este trabalho avalia os impactos da construção do Açude Santa Cruz na duração das secas hidrológicas (em meses consecutivos) no rio Apodi, no Rio Grande do Norte, através da Teoria dos Runs. No que diz respeito às vazões médias no rio Apodi, observou-se reduções de 8%, 6% e 4% nas seções do Santa Cruz, em Mossoró e a jusante da confluência do rio do Carmo. No que se refere às secas hidrológicas, há uma acentuada redução da duração dos períodos sem escoamento no rio, resultante da regularização de vazões.

**ABSTRACT** - One of the main measures adopted in pursuit of solutions to the drought throughout the Semi-arid Northeast has been the construction of dams. However, the adoption of this alternative requires a series of assessments of the impacts of natural flows in the reservoir to its downstream locations. This study evaluates the impacts of dam construction in Santa Cruz duration hydrological droughts (in consecutive months) in Apodi River, Rio Grande do Norte, through the Theory of Runs. With respect to the average flows in the river Apodi, there were reductions of 8%, 6% and 4% in the sections of Santa Cruz, Mossoró and downstream of the confluence of the Rio do Carmo. With regard to hydrological drought, there is a marked reduction in the duration of periods without runoff in river flows resulting from the regularization

**Palavras Chave** – Teoria dos runs; impactos da regularização.

---

<sup>1</sup> Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 713. Fone: (85) 3366.9770 Emails: [ticiano@ufc.br](mailto:ticiano@ufc.br); [nilson@ufc.br](mailto:nilson@ufc.br) e [renataluna@ufc.br](mailto:renataluna@ufc.br)

<sup>2</sup> Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Email: [erikadajusta@ifce.edu.br](mailto:erikadajusta@ifce.edu.br)

## 1 - INTRODUÇÃO

O conceito de seca está intimamente relacionado ao ponto de vista do observador. Embora a causa primária das secas resida na insuficiência ou na irregularidade das precipitações pluviais, existe uma seqüência de causas e efeitos na qual o efeito mais próximo de uma seca torna-se a causa de outro efeito e esse efeito passa a ser denominado também de seca. A seca hidrológica pode ser entendida como a insuficiência de águas nos rios ou reservatórios para atendimento das demandas de águas já estabelecidas em uma dada região.

Uma das principais medidas adotadas na busca de soluções para esta problemática em todo o Nordeste Semi-Árido tem sido a construção de açudes. Entretanto, a adoção desta alternativa exige uma série de avaliações relativas aos impactos dos reservatórios nas vazões naturais nas localidades à sua jusante.

Este trabalho tem como objetivo estudar os impactos hidrológicos da construção de uma barragem, nos trechos de jusante, particularmente em sua desembocadura. O estudo de caso adotado foi o da barragem Santa Cruz, que represa o rio Apodi no município de Apodi, a montante da cidade de Mossoró, no Rio Grande do Norte. As secas hidrológicas do rio Apodi e suas respectivas durações (em meses consecutivos), nas condições naturais e com a influência do Açude Santa Cruz, foram determinados através da Teoria dos Runs. O programa utilizado foi o SIMRES, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

## 2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Apodi tem uma área de 14.276 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 27% do território estadual. Situa-se no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Norte limitando-se ao norte com as faixas litorâneas de escoamento difuso e o Oceano Atlântico; ao sul com o Estado da Paraíba, a leste com a bacia hidrográfica do rio Piranhas/Açu e a oeste com o Estado do Ceará (PERH-RN, 1999).

### 2.1. Climatologia

#### 2.1.1. Regime de Chuvas

Na maior parte da bacia, as chuvas anuais médias de longo período situam-se em torno de 700 mm, havendo pequena área, nas proximidades da foz e na região a leste do trecho médio do rio do Carmo, onde descem a 600 mm. Na parte alta, a montante da localidade de Tabuleiro Grande, há

um aumento até cerca de 900 mm, com pequena área, na região alta de Martins, aonde chegam a 1.100 mm.

Para o presente trabalho foi considerado posto característico das precipitações médias mensais nos Açudes Santa Cruz e Umari o posto pluviométrico de Mossoró (537023). A escolha deste posto se dá pela sua inclusão na publicação Normais Climatológicas (1961-1990) do INMET, sendo portanto, dados confiáveis. A distribuição das precipitações mensais neste posto são as mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Precipitação mensal média na Estação Climatológica de Mossoró (considerada característica da área em estudo (mm)).

Estação	Entidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Mossoró	INMET	59,2	106,0	151,0	195,0	112,5	51,0	42,0	10,0	6,5	2,3	3,0	25,7	2077,6

Fonte: INMET(1990)

### 2.1.2. Evaporação

Segundo o PERH-RN (1999), existem 25 estações climatológicas no Estado do Rio Grande do Norte, mas apenas 11 estão em operação. Observa-se que, entre as estações consideradas como de regular a ótimo estado pelo PERH-RN, apenas uma se localiza na bacia em estudo - a localizada no município de Mossoró.

A maioria das estações climatológicas citadas pertence ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia e à SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Os dados das estações pertencentes ao INMET estão disponíveis nas Normais Climatológicas (INMET, 1990), relativas ao período 1961-1990. Os valores de evaporação são referentes a medições com o tubo Piché. A evaporação anual média observada foi de 2.077 mm (tubo Piché) distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Evaporação mensal média na Estação Climatológica de Mossoró (considerada característica da área em estudo (mm)).

Estação	Entidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Mossoró	INMET	188,3	145,3	110,0	103,6	101,7	125,0	159,3	214,7	244,3	235,0	231,5	218,9	2077,6

Fonte: INMET(1990)

Sendo assim, verifica-se que a bacia de contribuição do Açude Santa Cruz (e do Açude Umari) caracteriza-se por altas taxas de evaporação, o que acarreta perdas significativas das reservas acumuladas e contribuem para o déficit hídrico na bacia.

## 2.2. Os reservatórios superficiais da bacia do rio Apodi-Mossoró

Na bacia do rio Apodi foram cadastrados pelo PERH-RN 618 açudes, totalizando um volume de acumulação de 469,7 hm<sup>3</sup> de água. Isto corresponde, respectivamente, a 27,4% e 10,7% dos totais de açudes e volumes acumulados do Estado.

Os açudes com capacidade de acumulação superior a 10 hm<sup>3</sup> estão indicados no Tabela 3 com suas respectivas localização e capacidade de acumulação.

Tabela 3 - Açudes com capacidade de acumulação superior a 10 milhões de m<sup>3</sup>.

Açude	Município	Capacidade (hm <sup>3</sup> )
Apanha-Peixe	Caraúbas	10
Bonito II	São Miguel	10,8
Do Brejo	Olho d'Água do Borges	17,0
Lucrecia	Lucrecia	27,3
Marcelino Vieira	Marcelino Vieira	11,2
Pau dos Ferros	Pau dos Ferros	54,8
Rodeador	Umarizal	17,0
Santa Cruz do Apodi (*)	Apodi	560,0
Santo Antônio das Caraúbas	Caraúbas	11,1
Umari (*)	Upanema	184,6

(\*) Em construção.

### 2.2.1. O Açude Santa Cruz

A barragem de Santa Cruz está localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, no município de Apodi Barra o rio Apodi, controlando uma área de 4.411 km<sup>2</sup>, e forma um reservatório com capacidade máxima de 560hm<sup>3</sup> (PERH-RN, 1999). As curvas cota x volume do reservatório é observada na Tabela 4.

### 2.2.2. O Açude Umari

A barragem Umari represa o rio do Carmo, principal afluente da margem direita do rio Apodi, em local que dista, aproximadamente, 10 km da cidade de Upanema, no último boqueirão barrável ao longo do rio e resultará na formação de um lago que exercerá as funções de regularização das águas do rio a ser barrado e o amortecimento de suas cheias.

Tabela 4 - Curvas Cota (m) x Volume (hm<sup>3</sup>) dos Açude Santa Cruz e Umari.

<b>Açude Santa Cruz</b>		<b>Açude Umari</b>	
H (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )	H (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )
55,0	0	45,0	0
63,5	15	50,0	3
66,9	30	60,0	19
71,2	60	65,0	55
74,2	90	70,0	235
76,5	120	72,0	297
88,1	300	75,0	390
98,0	553	-	-
105,0	756	-	-

Fonte: PERH-RN (1999)

### 3 - METODOLOGIA

Nesta etapa buscou-se identificar os dados fluviométricos disponíveis nas seções de controle (rio Apodi no Açude Santa Cruz, rio Apodi em Mossoró e rio Apodi na confluência com o rio do Carmo, seu afluente pela margem direita), consolidar estes dados e caracterizar o regime fluvial do rio Apodi nas seções de controle.

#### 3.1. Dados Fluviométricos Disponíveis

O PERH determinou, pela aplicação de modelo chuva-deflúvio “Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation” - SSARR, desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers, as séries fluviométricas naturais de longo período (1936-1989) em cinco postos fluviométricos da bacia. Os postos analisados e seus respectivos deflúvios médios encontram-se disponíveis na Tabela 5.

Tabela 5 - Postos fluviométricos analisados pelo PERH na bacia do rio Apodi.

Rio	Posto	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)
Apodi	Pau dos Ferros	2.073	6,70
Apodi	Santa Cruz	4.411	12,85
Apodi	Pedra de Abelha	6.622	15,64
Apodi	Mossoró	9.571	17,60
Carmo	Upanema	1.621	3,71

Fonte: PERH-RN (1999)

### 3.2. As seções de análise

A representação esquemática do sistema hidrográfico em análise, com as seções de controle pode ser observado na Figura 1.

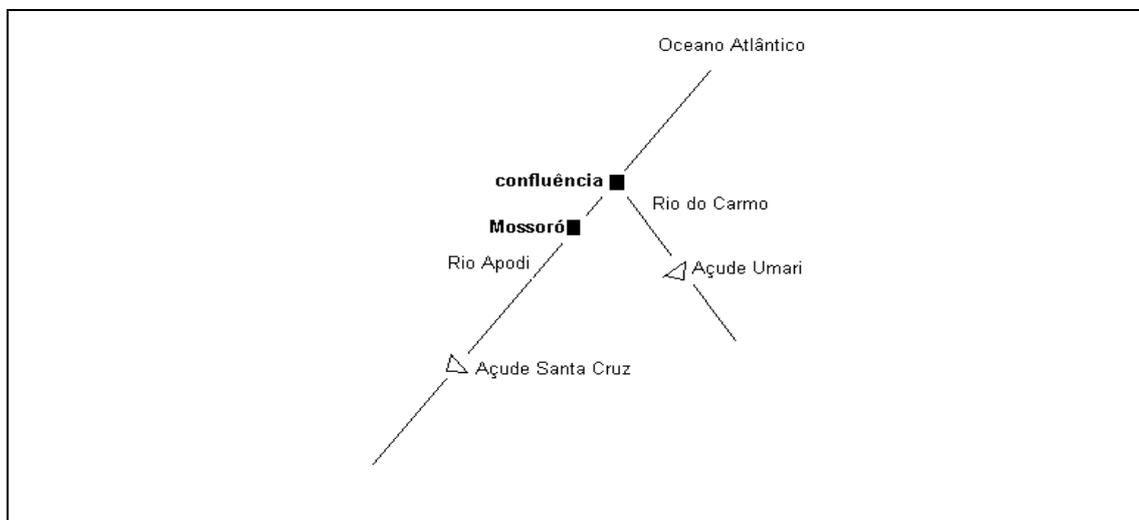


Figura 1- Representação hidrográfica do sistema hidrográfico da área de estudo.

A seção de estudo consiste na confluência dos rio Apodi e Carmo. Entretanto, por completitude do trabalho, optou-se por caracterizar o regime hidrológico do rio Apodi nas seguintes seções :

- Rio Apodi em Açude Santa Cruz (sem considerar o Açude)
- Rio Apodi em Mossoró
- Rio Apodi na confluência com o rio do Carmo

Para determinar-se a contribuição do rio do Carmo na sua foz ou seja, na confluência com o rio Apodi, deve-se considerar:

- Rio do Carmo em Upanema
- Rio do Carmo em sua foz (considerando-se a barragem Umari controlando parte de sua área)
- Rio Apodi em Santa Cruz
- Rio Apodi em Mossoró

Os deflúvios naturais do rio Apodi na seção do Açude Santa Cruz possuem as seguintes características: vazão média é 12,9 m<sup>3</sup>/s e o coeficiente de variação dos deflúvios médios anuais é 1,1. Os dados são os constantes no PERH (1999).

Os deflúvios naturais do rio Apodi em Mossoró têm vazão média é 17,6 m<sup>3</sup>/s e o coeficiente de variação dos deflúvios médios anuais é igual a 1,2. Os dados são os constantes no PERH (1999).

Os deflúvios naturais do rio do Carmo em Upanema têm vazão média é 3,7 m<sup>3</sup>/s e o coeficiente de variação dos deflúvios médios anuais é igual a 1,3. Os dados são os constantes no PERH (1999).

O Rio do Carmo na sua foz (confluência com o rio Apodi) não existem dados fluviométricos. Para gerar uma série de vazões simula-se o açude Umari, o qual controla uma área de 1.621 km<sup>2</sup>, e soma-se seus vertimentos às vazões naturais da área de drenagem não controlada, correspondente à 3.848 km<sup>2</sup>. As vazões na área livre são calculadas em função das vazões em Upanema, fazendo-se uma correspondência de áreas. O programa utilizado foi o SIMRES, desenvolvido no departamento de Eng<sup>a</sup> Hidráulica e Ambiental da UFC, e encontra-se detalhado no capítulo subsequente.

Os deflúvios naturais do rio do Carmo em sua foz (com o Açude Umari a sua montante) apresentam vazão média é 6,6 m<sup>3</sup>/s e o coeficiente de variação dos deflúvios médios anuais igual a 1,6. Os dados são os constantes no PERH (1999).

O rio Apodi na confluência com o rio do Carmo, nesta seção de estudo também não existem dados fluviométricos. A metodologia a ser seguida é somar as vazões naturais em Mossoró (dados do (PERH) com as vazões do rio do Carmo sem sua foz, conforme determinado no item anterior. O programa utilizado foi o SIMRES, desenvolvido no departamento de Eng<sup>a</sup> Hidráulica e Ambiental da UFC, e encontra-se detalhado no capítulo subsequente.

Os deflúvios naturais do rio Apodi na confluência com o rio do Carmo são caracterizados pela vazão média é 24,2 m<sup>3</sup>/s e o coeficiente de variação dos deflúvios médios anuais é igual 1,3.

### **3.3. Aplicação da Teoria dos Runs**

A metodologia utilizada para avaliar os impactos da construção do Açude Santa Cruz no rio Apodi nas seções é a da Teoria dos Runs. Em termos gerais um *run* é definido como uma sequência de observações de um mesmo tipo precedida e sucedida por uma ou mais observações de um tipo diferente. Os *runs* de uma sequência contínua de uma variável aleatória pode ser definida de várias maneiras. A Figura 5 representa a série da variável contínua  $X_t$ . Selecionando-se uma valor arbitrário  $x_0$  (doravante denominado de “nível de truncamento”), a série é interceptada em muitos pontos e a relação da constante  $x_0$  em relação aos da valores  $x_t$  servem de base para as várias definições de runs.

Várias são as definições de runs encontradas na literatura. Neste trabalho adotaremos a definição de run como a distância entre cruzamento inferior e superior sucessivos – o  $\tau_6$  da Figura 5, que é, na verdade, a duração da seca hidrológica, considerando um certo nível de truncamento  $X_0$ . Será computado, ao longo do eixo  $X_0$ , o número de meses em que a vazão da seção em análise é inferior à uma certa vazão estipulada.

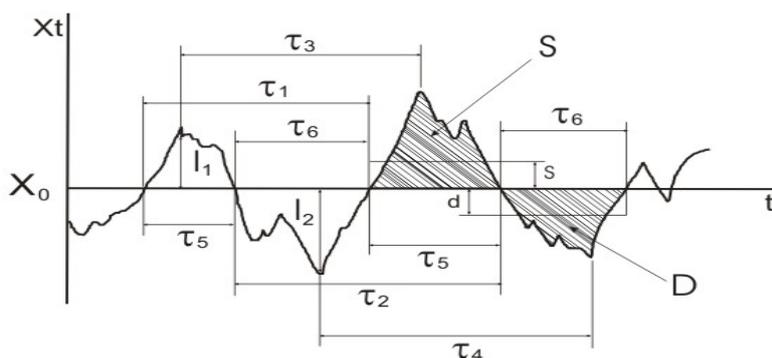


Figura 2. Representação de uma série contínua da variável  $X_t$  servindo como base para várias definições dos runs  
(Fonte: Yevjevich, 1972)

### 3.4. Operação Simulada dos Açudes Santa Cruz e Umari

O impacto da regularização do Açude Santa Cruz nas vazões do rio Apodi é feita a partir da sua operação simulada. O Açude Umari também há que ser simulado, no sentido de se determinar seus impactos nas vazões da foz do rio do Carmo, afluente do rio Apodi em uma das seções de análise. Os estudos foram desenvolvidos através da equação do balanço hídrico, tomando por base as seguintes premissas:

- a unidade de tempo é um mês;
- a retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- a contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

#### 3.4.1. A equação do balanço hídrico de um reservatório

A determinação do comportamento do reservatório é feito pela equação de seu balanço hídrico, que consiste em igualar as entradas e saídas do reservatório como se segue:

$$dV/dt = E - S \quad (1)$$

onde  $dV/dt$  é a variação do volume ao longo do tempo,  $E$  o resultado de todas as entradas no sistema e  $S$  o resultado de todas as saídas.

As entradas são compostas dos deflúvios afluentes e das precipitações diretas sobre o espelho d'água do reservatório; as retiradas, por sua vez, são formadas pelas evaporações e pelas retiradas. A equação do balanço hídrico usada neste modelo é dada por:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i - R_i - S_i \quad (2)$$

onde:

- $V_{i+1}$  e  $V_i$  = representam os volumes de água estocados no reservatório no início dos meses  $i+1$  e  $i$  respectivamente;
- $P_i$  = precipitação média sobre o espelho de água do açude durante o mês  $i$ ;
- $E_i$  = lâmina média evaporada da superfície do lago durante o mês  $i$ ;
- $A_{i+1}$  e  $A_i$  = representam as áreas do lago do reservatório no início dos meses  $i+1$  e  $i$  respectivamente;
- $I_i$  = volumes afluentes ao reservatório durante o mês  $i$ ;
- $M_i$  = retirada do reservatório durante o mês  $i$ ;
- $S_i$  = volume sangrado do reservatório.

Considerando-se que o reservatório está com um volume inicial  $V_0$ , simular-se-á, para uma garantia  $G$ , o reservatório a nível mensal para a respectiva série histórica de vazões durante  $H$  anos, onde  $H$  é a extensão da série histórica. Inicialmente considera-se a retirada  $M$ :

$$M = \min (K/2, \mu/2) \quad (3)$$

Ao final de cada ano é calculado se o volume anual armazenado é suficiente para atender a demanda (igual a retirada  $M$ ); se não for, é considerado que naquele ano ocorreu uma falha.

A regra de operação é definida por:

$$V_{i+1} = 0, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \leq 0 \quad (4)$$

$$V_{i+1} = (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i), \text{ se } 0 < (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) < k \quad (5)$$

$$V_{i+1} = k, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \geq k \quad (6)$$

No final dos  $H$  anos é verificado se a retirada  $M$  assumida inicialmente corresponde à frequência de falhas pretendida. Caso seja superior, diminui-se a retirada, caso contrário, eleva-se a retirada e simula-se novamente o comportamento do reservatório para  $H$  anos e assim sucessivamente até que a retirada correspondente a uma frequência de falhas pretendida seja encontrada.

### 3.4.2. A simulação dos reservatórios Santa Cruz e Umari utilizando o programa SIMRES

A simulação dos açudes Santa Cruz (no rio Apodi) e Umari (no rio do Carmo) foi feita utilizando o módulo SIMULAÇÃO do programa SIMRES, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Este módulo executa a simulação do reservatório, resolvendo a equação de seu balanço hídrico. Este módulo utiliza dois arquivos de dados:

- Arquivo dos deflúvios mensais afluentes ao reservatório – este arquivo é apresentado em um formato denominado TAPE3.DAT.

- Arquivo de dados gerais – este arquivo, cujo formato é denominado de TAPE2.DAT informa as características gerais do reservatório e os procedimentos da simulação.

### *3.4.3. Dados de entrada do simres para os açudes santa cruz (rio apodi) e umari (rio do carmo)*

São descritos nos itens a seguir os dados utilizados para a formação dos arquivos de entrada do SIMRES.

#### *3.4.3.1. Dados do TAPE3.DAT*

A simulação do Açude Santa Cruz utiliza como TAPE3.DAT a série de vazões medidas pelo PERH em Santa Cruz. O Açude Umari, por sua vez, utiliza os dados de vazões medidas pelo PERH em Upanema.

#### *3.4.3.2. Dados do TAPE2.DAT*

Foram adotados os seguintes dados, correspondentes aos dados gerais do reservatório e das simulações:

- Garantia – 90% (ambos os reservatórios).
- Horizonte de Planejamento – 54 anos (ambos os reservatórios).
- Curvas Cota x Volume - os dados da curva cota x volume dos açudes Santa Cruz e Umari.
- Capacidade do Reservatório - 560 hm<sup>3</sup> (Santa Cruz) e 292,8 hm<sup>3</sup> (Umari).
- Volume Inicial - os reservatórios foram considerados com metade de suas capacidades.
- Evaporação líquida do lago (Evaporação – Precipitação) – os dados de evaporação líquida e dos coeficientes de distribuição das evaporações utilizados nas simulações do reservatório estão na Tabela 6 (ambos os reservatórios usaram dados da estação de Mossoró).

Tabela 6 - Evaporação Líquida Anual (Ei - Pi) e Coeficientes de Distribuição das Evaporações (ei) dos Açudes Santa Cruz e Umari (considerando a estação evaporimétrica e o posto pluviométrico de Mossoró como representativos da área).

	Evaporação												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
Ei (Piché)	188,3	145,3	110,0	103,6	101,7	125,0	159,3	214,7	244,3	235,0	231,5	218,9	2077,6
Pi	59,2	106,0	151,0	195,1	112,5	51,6	42,9	10,0	6,5	2,3	3,0	25,7	765,8
Ei-Pi	129,1	39,3	-41,0	-91,5	-10,8	73,4	116,4	204,7	237,8	232,7	228,5	193,2	1311,8
ei=(Ei-Pi)/ soma(Ei-Pi)	0,10	0,03	-0,03	-0,07	-0,01	0,06	0,09	0,16	0,18	0,18	0,17	0,15	1,0

## 4 - RESULTADOS

Inicialmente foram analisadas as séries de vazões naturais nas seções Santa Cruz e Mossoró. Utilizando-se a teoria dos runs optou-se por cinco níveis de truncamento: (1) vazão média, (2) ½ vazão média, (3) ¼ vazão média, (4) vazão nula e (5) nível de truncamento especial. Para o cálculo dos níveis de truncamento são consideradas as vazões nas seções de estudo sem a construção do Açude Santa Cruz.

É computado o número de episódios de secas hidrológicas e sua extensão máxima (em meses), para cada nível de truncamento, nas seções de análise, considerando as seguintes hipóteses (1) sem o Açude Santa Cruz e (2) com o Açude Santa Cruz.

### 4.1. Seção 1- Rio Apodi em Santa Cruz

Na seção Açude Santa Cruz foi computada a vazão média (sem o Açude Santa Cruz) como sendo igual a 12,9 m³/s. Os níveis de corte são, portanto: 12,9 m³/s, 6,43 m³/s, 3,21 m³/s, vazão nula e para nível de corte a ser escolhido, a vazão contínua que seria regularizada pelo Açude Santa Cruz, após sua construção, ou seja, 5,56 m³/s. Os resultados estão na Tabela 7.

As vazões na Seção 1- Santa Cruz, após a construção do açude são formadas pela soma das vazões regularizadas pelo açude e suas sangrias. Observa-se que a redução na vazão média no rio Apodi, na Seção Santa Cruz, em virtude da construção do reservatório, é pequena, cerca de 8%.

Não obstante a pequena redução em termos de vazão média, os episódios de secas hidrológicas (considerando-se nível de truncamento igual a vazão regularizável pelo Açude Santa Cruz) são reduzidos drasticamente: sem a intervenção do açude o número de secas hidrológicas (para este nível) passam de 508 para 354, sendo a duração máxima da seca reduzida de quase 2 anos para apenas 3 meses. Considerando o número de episódios de vazões nulas, estes passam de 61 para nenhum.

Tabela 7 - Número de episódios e extensão máxima da seca hidrológica na seção 1 Açude Santa Cruz antes e depois da construção do Açude Santa Cruz.

		sem Açude Santa Cruz		com Açude Santa Cruz	
		Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)
Níveis de Truncamento	< 12,9 m <sup>3</sup> /s	550	34	599	81
	< 6,43 m <sup>3</sup> /s	518	32	594	81
	< 3,21 m <sup>3</sup> /s	477	22	7	3
	< 5,56 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>90</sub> )	508	23	354	4
	= 0	61	5	0	0
Vazão média (μ)		12,9m <sup>3</sup> /s		11,9m <sup>3</sup> /s	
Redução na vazão média (μ)				8%	

#### 4.2. Seção 2 - Rio Apodi em Mossoró

Na Seção 2, em Mossoró foi computada a vazão média (sem o Açude Santa Cruz a sua montante) como sendo igual a 17,6 m<sup>3</sup>/s. Os níveis de corte são, portanto: 17,6 m<sup>3</sup>/s, 8,8 m<sup>3</sup>/s, 4,4 m<sup>3</sup>/s, vazão nula e, para nível de corte a ser escolhido, 1/8 da vazão média anual, já que não existe reservatório nesta seção.

As vazões nesta seção, após a construção do Açude Santa Cruz, foram computadas considerando-se três cenários: (1) como sendo o somatório de 100% das vazões regularizadas pelo reservatório, de suas sangrias e das vazões resultantes da área de drenagem não controlada; (2) como sendo o somatório de 10% das vazões regularizadas pelo reservatório, de suas sangrias e das vazões resultantes da área de drenagem não controlada e, a pior situação, (3) como sendo somente o somatório das sangrias do reservatório Santa Cruz e das vazões resultantes da área de drenagem não controlada. No cenário 3, a vazão regularizada pelo Açude Santa Cruz é aproveitada integralmente nos trechos a montante de Mossoró. As vazões da área livre foram calculadas, por relação entre as vazões médias nas seções Santa Cruz e Mossoró, sendo iguais a 27% das vazões da área total da seção Mossoró (incluindo área da seção Santa Cruz). Uma vez que o único diferencial entre os cenários descritos é o percentual de vazão regularizada que aflui à seção de jusante, suas denominações serão: (1) 100% Q<sub>90</sub>, (2) 10% Q<sub>90</sub> e (3) 0% Q<sub>90</sub> (Tabela 8).

Tabela 8 - Número de episódios e extensão máxima da seca hidrológica na Seção 2 - Mossoró antes e depois da construção do Açude Santa Cruz

		Sem o Açude Santa Cruz		Com o Açude Santa Cruz					
				100% Q <sub>90</sub>		10% Q <sub>90</sub>		0% Q <sub>90</sub>	
		Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	Nº de episódios
Níveis de Truncamento	< 17,6 m <sup>3</sup> /s	547	34	580	47	590	59	590	59
	< 8,8 m <sup>3</sup> /s	508	24	526	33	568	47	572	47
	< 4,4 m <sup>3</sup> /s	461	11	7	3	537	34	541	34
	< 2,2 m <sup>3</sup> /s	405	10	5	3	485	23	501	24
	= 0	16	3	0	0	0	0	18	3
Vazão média (μ)		17,6m <sup>3</sup> /s		16,6m <sup>3</sup> /s		11,7m <sup>3</sup> /s		11,1m <sup>3</sup> /s	
Redução na vazão média (μ)				6%		34%		37%	

#### 4.3. Seção 3 - Rio Apodi na confluência do rio do Carmo

Nesta seção devem ser somadas as vazões do rio Apodi, em Mossoró, àquelas provenientes do rio do Carmo. Neste caso, há que se considerar a presença do Açude Umari controlando parte da área de drenagem da bacia do rio do Carmo. As vazões do rio Apodi em Mossoró, sem considerar o Açude Santa Cruz, é de 17,6m<sup>3</sup>/s. Na foz do rio do Carmo as vazões médias são 6,6 m<sup>3</sup>/s. A metodologia seguida foi simular o Açude Umari, que controla uma área de 1.621 km<sup>2</sup>, e somar sua sangrias às vazões naturais da área de drenagem não controlada, correspondente à 3.848 km<sup>2</sup>. As vazões na área livre são calculadas em função das vazões em Upanema, fazendo-se uma correspondência de áreas.

- Rio Apodi na confluência com o rio do Carmo (considerando apenas 24 dos 648 meses)

Na confluência dos dois rios, portanto, a vazão média do rio Apodi (sem a Açude Santa Cruz a sua montante) é igual a 24,2 m<sup>3</sup>/s. Os níveis de truncamento para os runs são, portanto: 24,2 m<sup>3</sup>/s, 12,1 m<sup>3</sup>/s, 6,05 m<sup>3</sup>/s, vazão nula e para nível de corte a ser escolhido, 1/8 da vazão média anual (3,03 m<sup>3</sup>/s), já que não existe reservatório nesta seção (Figura 3).

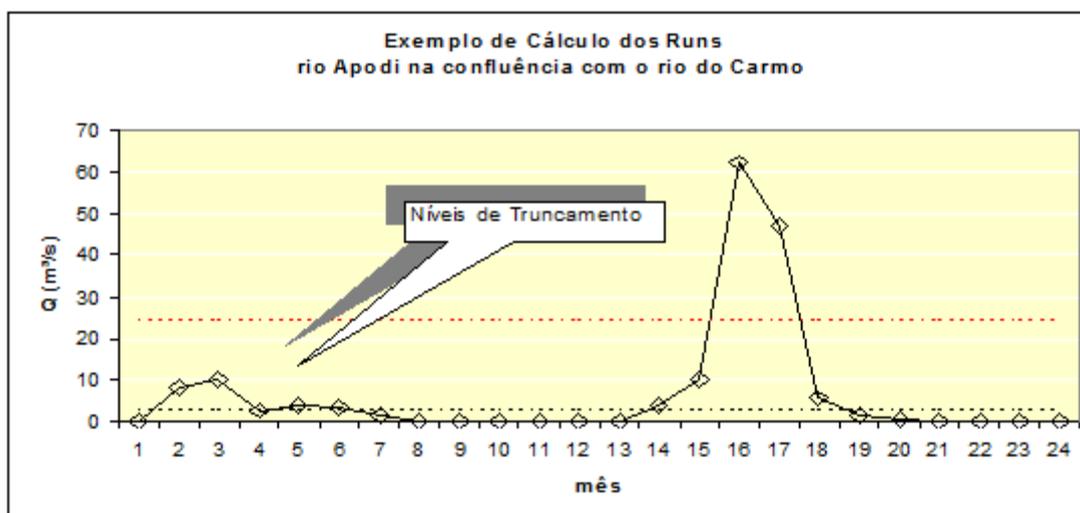


Figura 3 - Exemplo do cálculo de runs (vários níveis de truncamento) para a Seção 3.

A Tabela 9 e as figuras 4 e 5 mostram os episódios de seca hidrológica, para cada nível de truncamento, para a Seção 3.

Tabela 9 - Número de episódios e extensão máxima da seca hidrológica na seção 3 rio Apodi na confluência com o rio do Carmo antes e depois da construção do Açude Santa Cruz.

		Sem o Açude Santa Cruz		Com o Açude Santa Cruz					
				100% Q <sub>90</sub>		10% Q <sub>90</sub>		0% Q <sub>90</sub>	
		Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	T <sub>max</sub> (meses)	Nº de episódios	Nº de episódios
Níveis de Truncamento	< 24,2 m <sup>3</sup> /s	544	34	565	46	577	46	577	46
	< 12,1 m <sup>3</sup> /s	509	24	525	34	548	34	552	35
	< 6,05 m <sup>3</sup> /s	469	22	333	9	515	23	516	23
	< 3,03 m <sup>3</sup> /s	413	10	6	3	469	22	481	23
	= 0	14	3	0	0	0	0	15	3
Vazão média (μ)		24,2m <sup>3</sup> /s		23,2m <sup>3</sup> /s		18,3m <sup>3</sup> /s		17,7m <sup>3</sup> /s	
Redução na vazão média (μ)				4%		24%		27%	

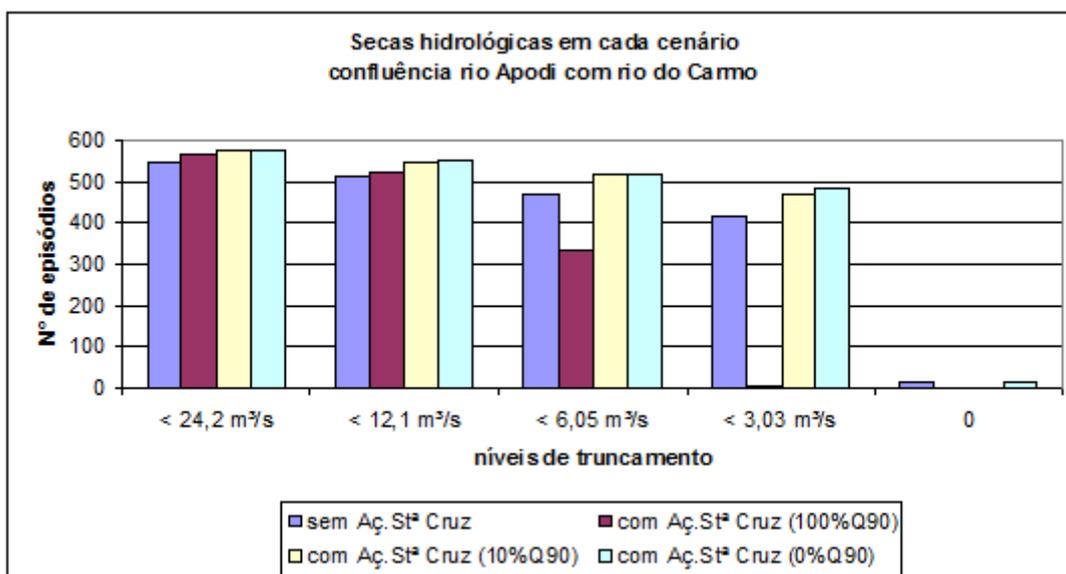


Figura 4 - Número de episódios de secas hidrológicas na Seção 3 do rio Apodi., para cinco níveis de truncamento e quatro cenários de vazões afluentes

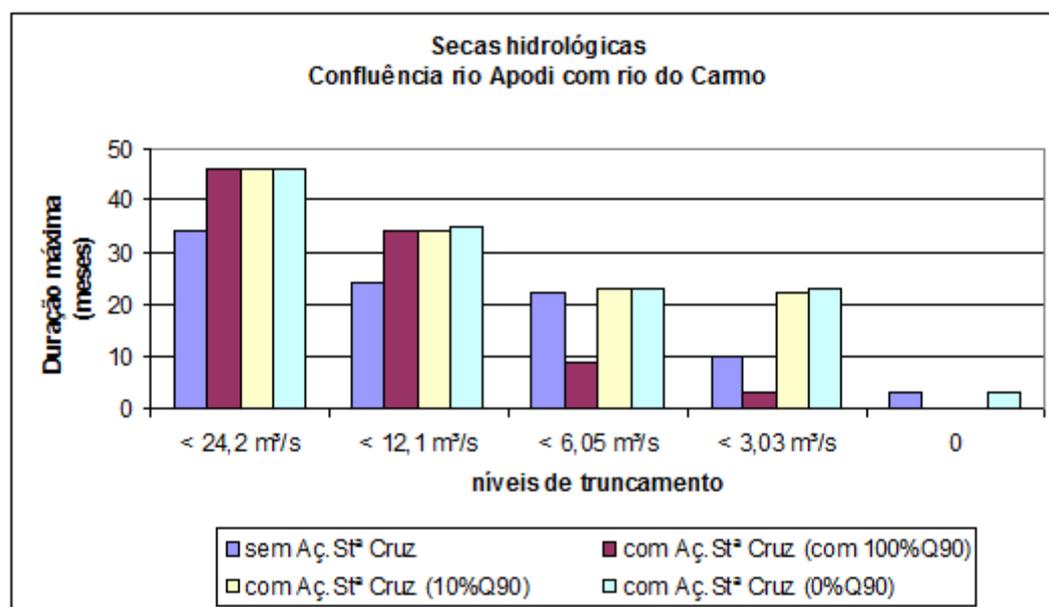


Figura 5 - Duração máxima das secas hidrológicas na Seção 3 do rio Apodi., para cinco níveis de truncamento e quatro cenários de vazões afluentes

## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo avaliou os impactos hidrológicos da construção do Açude Santa Cruz nas vazões do rio Apodi em três seções do rio: no local da barragem Santa Cruz, em Mossoró e na confluência do rio Apodi com o rio do Carmo. Os impactos foram avaliados em duas óticas: a quantitativa na qual foram analisadas as modificações nas secas hidrológicas e nas vazões médias escoadas; a ótica

qualitativa que analisou os impactos na morfologia fluvial e da zona costeira e também os impactos decorrentes dos usos das vazões regularizadas.

Inicialmente foram analisadas as séries de vazões naturais nas três seções, utilizando-se a teoria dos runs. Optou-se por cinco níveis de truncamento: (1) vazão média, (2) metade da vazão média, (3) um quarto da vazão média, (4) vazão nula e (5) nível de truncamento especial. Para o cálculo dos níveis de truncamento foram consideradas as vazões nas seções de estudo antes da construção do Açude Santa Cruz.

Foram computados: a redução da vazão média (em m<sup>3</sup>/s), o número de episódios de secas hidrológicas e suas extensão máxima (em meses), para cada nível de truncamento, nas seções de análise, considerando as seguintes hipóteses (1) sem o Açude Santa Cruz e (2) com o Açude Santa Cruz.

No que diz respeito às vazões médias no rio Apodi, observaram-se reduções de 8%, 6% e 4% nas seções do Santa Cruz, em Mossoró e a jusante da confluência do rio do Carmo. No que se refere às secas hidrológicas, há uma acentuada redução da duração dos períodos sem escoamento no rio, resultante da regularização de vazões.

Em resumo, a metodologia empregada permitiu avaliar que os impactos diretos hidrológicos, decorrentes da construção do Açude Santa Cruz, na redução de vazões no rio Apodi, não são significativos, chegando a apenas 4% na região próxima ao estuário. Há também um grande redução nos valores da duração do período sem escoamento, que passa de dois anos para cerca de três meses.

## **BIBLIOGRAFIA**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL (2000). Inventário das Estações Fluviométricas e Pluviométricas do Brasil. (formato digital)

CAMPOS, J.N.B., STUDART, T.M.C., MARTINZ, D. e COELHO, L. (1999) – SIMRES – Um Modelo Computacional para Simulação de Reservatórios. Fortaleza. Ceará.

DYER, K.R., GONG, W.K., ONG, J.E., (1992) The cross sectional salt balance in a tropical estuary during a lunar tide and a discharge event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 34

FUNDAÇÃO IDEC (1991). Açudes públicos do Rio Grande do Norte: Características físicas e técnicas. Natal, RN.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (1990). Normais Climatológicas (1961 a 1990). Brasília, DF, 1990.

MOLLE, F. e CADIER, E. (1989) – Manual de Pequenos Açudes. SUDENE/ORSTOM. Recife.  
RIO GRANDE DO NORTE (1999) - Plano Estadual de Recursos Hídricos. Secretaria de Recursos Hídricos.

SIEGLE, E., SCHETTINI, A F., KLEIN, A H.F., TOLDO Jr, E.E.,(1998) Mecanismos de Transporte de Sedimentos em Suspensão no estuário do Rio Camboriú, Balneário camboriú, Santa Catarina. In: II Encontro de Engenharia de Sedimentos .Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Belo Horizonte

SUDENE (1990). Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste - Rio Grande do Norte. Recife, PE.  
YEVJEVICH,V. (1972). *Stochastic Processes in Hydrology*.Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado.