

FATORES DE CONVERSÃO DE VAZÕES REGULARIZADAS COM DIFERENTES GARANTIAS

Dyego Galdino Barcelos¹; José Nilson B. Campos²; Ticiano Marinho de Carvalho Studart¹

Luiz Sérgio Vasconcelos do Nascimento³

RESUMO – A vazão regularizada por um reservatório é função direta da garantia que se pretende para o suprimento de água. Muitas vezes se conhece a vazão regularizada com uma determinada garantia e se deseja estimá-la para uma outra garantia. O presente artigo apresenta uma matriz de conversão que relacionam as vazões regularizadas com garantias de 80%, 85%, 90% e 95% entre si, nas escalas anual e mensal. Apresenta-se também fatores que relacionam vazões de mesma garantia para diferentes escala de tempo (mensal e anual). Os estudos foram realizados com uma amostra de 32 reservatórios, todos localizados no Vale do rio Jaguaribe, no Estado do Ceará. As vazões foram determinadas para no estado de equilíbrio do reservatório. As relações foram obtidas aplicando-se simulação de Monte Carlo, com o uso do programa SIMRES. Os resultados mostraram uma excelente correlação entre as vazões regularizadas com diferentes garantias, com coeficiente de determinação (r^2) superiores a 0,99.

ABSTRACT – The reservoir yield is directly dependant on the reliability level. Most of the times one knows reservoir yield associated to one reliability level and wants to estimate it with another one. The present paper presents one conversion matrix relating the reservoir yield estimated with 80%, 85% 90% and 95% reliability level, in annual and monthly scales. Factors that relate reservoir yield of same reliability level for different scale of time (monthly and annual) was presented. The study was developed using a sample of 32 reservoirs located in Jaguaribe valley, in Ceará State. The equations were determined to steady and transient states of the storage process. The simulations on the steady state were made using Monte Carlo simulation, with the software SIMRES. The results showed an excellent correlation among the reservoir yields using distinct reliability level, with coefficient of determination (r^2) bigger than 0.99.

Palavras-chave – Vazão Regularizada; reservatórios, simulação de Monte Carlo.

¹ Aluno do Curso de Engenharia Civil e Bolsista de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq – Universidade Federal do Ceará. E-mais: [dyegogaldino@hotmail.com](mailto:djegogaldino@hotmail.com)

³ Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos/USP – Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos, São Paulo – Brasil – CEP: 13.566-590 – Fone (16) 3373.9550. – e-mail: lsergio@sc.usp.br

² Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60.451-970, Fone: (85) 288.9623, Fax: (85) 288.9627. E-mails: ticiano@ufc.br e nilson@ufc.br

INTRODUÇÃO

A estimativa da vazão regularizada por um reservatório é fortemente influenciada pelo regime hidrológico do rio, pela extensão da série histórica dos deflúvios anuais, pelas características climáticas locais, pelas condições iniciais do reservatório adotadas na simulação e, principalmente, pelo nível de garantia proposto. Segundo Studart (2000), para um dado um reservatório, com regimes climático e hidrológico fixos, a vazão regularizada no estado de equilíbrio passa a ser uma função apenas do nível de garantia adotado, que representa a probabilidade do reservatório dispor a vazão regularizada Q_G sem restrição.

Diante desta problemática, a questão da outorga deverá ser submetida a estudos com o intuito de se determinar a real capacidade de regularização de seus reservatórios. Assim, surge a seguinte indagação: que nível de garantia deve ser adotado para obter a vazão regularizada desejada? Ou ainda, qual valor de vazão um reservatório poderia dispor com uma garantia pré-fixada? Obviamente, sabe-se que quanto maior o nível de garantia, menor será a vazão regularizada, sujeita a uma menor probabilidade de falhas. Contudo, que percentual de vazão regularizada se perderia ou ganharia no processo de troca de garantia de regularização?

No Ceará, o Decreto Estadual nº 23.067/94 estipula que “o valor máximo outorgável nos rios cearenses deverá ser de 9/10 da vazão regularizável, com 90% de garantia”. Todavia, muitos argumentam e defendem que, para determinados fins, sejam adotados níveis de garantias diferenciados.

Como objetivo de auxiliar os tomadores de decisão, bem como os planejadores de recursos hídricos, o presente artigo apresenta fatores de converção que relacionam as vazões regularizadas com garantias de 80%, 85%, 90% e 95% entre si nas escala mensal e anual. Desta forma, pode-se estimar a porcentagem de perda ou ganho nos valores da vazão quando se altera o nível garantia ou a discretização temporal adotadas na simulação da operação dos reservatórios.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente estudo selecionou-se uma amostra composta de 32 reservatórios localizados no estado do Ceará, pertencentes ao vale do rio Jaguaribe, com capacidades variando de 6,43 hm³ a 4.450,00 hm³.

Tabela 1. Características dos 32 reservatórios estudados.

Nº	Reservatório	Deflúvio Médio	CV	Capacidade (hm ³)	Altura Máxima (m)
		Anual (hm ³ /ano)			
1	Arneiroz	100,89	1,62	190,00	23,27

Tabela 1. (continuação) Características dos 32 reservatórios estudados.

Nº	Reservatório	Deflúvio Médio		CV	Capacidade (hm ³)	Altura Máxima (m)
		Anual (hm ³ /ano)				
4	Bastiões	69,45		1,45	136,70	32,00
5	Boa Viagem	28,88		1,38	47,00	25,00
6	Broco	4,59		1,45	17,60	14,00
7	Canafístula	5,91		1,90	13,12	11,00
8	Canoas	19,31		1,49	69,25	43,00
9	Castanhão	1 463,50		1,41	4 450,00	45,00
10	Cipoada	32,25		1,55	17,25	11,00
11	Ema	9,65		1,90	10,39	12,50
12	Farias Brito	42,50		1,45	197,60	49,60
13	Favelas	32,38		1,61	30,00	14,00
14	Goiata	75,68		0,58	51,90	25,00
15	Ingazeiro	11,57		1,25	11,32	16,00
16	Joquim Távora	16,13		1,90	23,66	14,00
17	Lima Campos	24,78		1,11	64,30	12,30
18	Munquem	54,52		1,45	47,64	21,82
19	Olho D'água	5,49		1,46	21,00	22,82
20	Orós	1 029,05		1,41	1 956,26	37,50
21	Pedras Brancas	158,50		1,55	434,05	27,00
22	Poço da Pedra	46,09		1,51	50,00	22,00
23	Pombas	10,11		1,44	17,58	12,06
24	Puiu	37,41		1,62	24,50	13,00
25	Riacho dos Tanques	3,09		1,35	12,78	12,00
26	Rivaldo de Carvalho	12,34		1,45	6,43	7,56
27	São José II	13,88		1,52	29,15	17,00
28	Tomas Osterne	6,34		1,32	28,10	25,00
29	Trapiá II	15,03		1,20	18,19	24,00
30	Trici	25,74		1,58	16,50	16,50
31	Trussu	73,28		1,29	263,00	32,00
32	Varzea do Boi	55,34		1,61	53,00	13,00

FONTE: COGERH (1999)

Para realizar a operação de simulação dos reservatórios e, desta forma, obter as vazões regularizadas para as garantias de 80%, 85%, 90% e 95%, utilizou-se o software SIMRES®, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Foram consideradas como séries históricas de vazão afluente a cada reservatório as séries de deflúvios constantes no Plano de Gerenciamento de Águas do Rio Jaguaribe (COGERH, 1999), obtidas pelo modelo chuva x deflúvio MODHAC (LANNA e SCHWATZBACH, 1988). As vazões regularizadas foram obtidas a partir de séries sintéticas, modeladas a partir da geração 5000 valores de vazões anuais, serialmente independentes, seguindo uma distribuição de probabilidade Gama II e

com mesmas características estatísticas da série histórica. Munidos das vazões anuais, estas foram desagregadas pelo método dos fragmentos pois, segundo Araújo (1991), esse método produz bons resultados para rios intermitentes do Semi-Árido Nordeste. Os vazões regularizadas obtidas estão apresentadas na tabela a seguir (Tabela 2).

Tabela 2. Vazões regularizadas, em hm^3/ano , obtidas pela simulação dos reservatórios utilizando as séries sintéticas.

Reservatório	Vazão Regularizada (garantia anual)				Vazão Regularizada (garantia mensal)			
	80%	85%	90%	95%	80%	85%	90%	95%
Arneiroz	34,80	30,40	25,70	20,80	50,20	42,60	35,00	26,60
Atalho II	24,00	21,60	17,90	14,20	32,40	27,80	22,90	17,60
Aurora	171,90	157,40	139,80	119,40	220,40	197,70	174,10	144,10
Bastiões	33,90	30,90	26,90	22,30	46,60	40,50	34,60	27,70
Boa Viagem	62,90	62,70	62,70	62,60	85,50	73,10	72,30	63,30
Broco	0,80	0,60	0,30	0,10	1,70	1,30	0,90	0,50
Canafístula	1,00	0,70	0,40	0,10	1,80	1,30	0,90	0,50
Canoas	10,60	9,40	8,30	6,80	14,30	12,50	10,60	8,40
Castanhão	904,10	817,20	725,40	610,90	1175,20	1038,30	897,70	735,70
Cipoadá	4,50	3,80	3,10	2,30	7,80	6,50	5,20	3,60
Ema	1,50	1,20	0,90	0,60	2,60	2,10	1,60	1,00
Farias Brito	30,90	28,20	25,50	22,20	38,60	34,70	30,40	25,50
Favelas	4,90	4,00	3,00	2,00	8,80	7,00	5,30	3,40
Gojata	51,00	48,10	45,20	40,70	68,30	62,60	56,80	49,80
Ingazeiro	4,50	4,10	3,60	3,10	6,60	5,80	4,90	3,90
Joquim Távora	2,90	2,30	1,60	1,00	4,80	3,80	2,80	1,70
Lima Campos	12,50	11,30	9,80	7,90	18,30	15,90	13,50	10,70
Munquem	17,50	15,80	13,80	11,50	25,90	22,30	18,70	14,70
Olho D'água	3,30	2,90	2,60	2,20	4,20	3,70	3,20	2,60
Orós	429,10	375,70	327,70	268,40	597,30	516,10	433,70	341,50
Pedras Brancas	63,20	56,10	46,60	36,50	92,50	78,70	64,50	48,60
Poço da Pedra	17,80	14,80	11,80	8,50	17,80	14,80	11,80	8,50
Pombas	2,70	2,20	1,80	1,20	4,40	3,70	2,90	1,90
Puiu	6,50	5,80	4,90	3,80	10,30	8,80	7,10	5,30
Riacho dos Tanques	0,80	0,70	0,50	0,30	1,50	1,20	0,90	0,60
Rivaldo de Carvalho	1,00	0,70	0,40	0,20	2,30	1,70	1,20	0,60
São José II	4,90	4,30	3,60	2,80	7,30	6,20	5,10	3,80
Tomas Osterne	3,90	3,60	3,10	2,60	5,20	4,60	4,00	3,20
Trapiá II	6,70	6,10	5,30	4,40	9,80	8,60	7,30	5,70
Trici	3,30	2,70	2,20	1,40	6,00	4,90	3,70	2,50
Trussu	48,10	43,90	38,60	31,90	62,50	55,60	48,20	39,00
Varzea do Boi	8,00	6,50	4,70	2,90	14,90	11,70	8,80	5,50

Conversão das garantias

Para permitir a conversão de vazões regularizadas de diferentes garantias foram estabelecidas equações lineares do tipo $Q_{G1} = a.Q_{G2}$, em que Q_{G1} representa a vazão regularizada no estado de equilíbrio com Garanti G_1 e “a” representa o coeficiente linear da reta de regressão, denominado neste trabalho de fator de conversão.

RESULTADOS

As equações obtidas, com os respectivos fatores de conversão, são apresentadas na Tabela 3. Os valores dos coeficientes de correlação variaram de 0,9980 a 0,9999, o que mostra um ótimo ajuste entre as vazões regularizadas obtidas no estado de equilíbrio para diferentes garantias.

Tabela 3. Equações obtidas a partir da plotagem dos gráficos e seus respectivos coeficientes de determinação.

Garantias (anual x anual)	Equação	R²	Garantias (mensal x mensal)	Equação	R²
80 x 85	$y = 0,8996x$	0,9998	80 x 85	$y = 0,8798x$	0,9999
80 x 90	$y = 0,7964x$	0,9992	80 x 90	$y = 0,7571x$	0,9993
80 x 95	$y = 0,6683x$	0,9977	80 x 95	$y = 0,616x$	0,998
85 x 80	$y = 1,1114x$	0,9998	85 x 80	$y = 1,1365x$	0,9999
85 x 90	$y = 0,8854x$	0,9998	85 x 90	$y = 0,8607x$	0,9997
85 x 95	$y = 0,7432x$	0,9989	85 x 95	$y = 0,7004x$	0,9988
90 x 80	$y = 1,2548x$	0,9992	90 x 80	$y = 1,320x$	0,9993
90 x 85	$y = 1,1292x$	0,9998	90 x 85	$y = 1,1615x$	0,9997
90 x 95	$y = 0,8396x$	0,9996	90 x 95	$y = 0,814x$	0,9996
95 x 80	$y = 1,4934x$	0,9977	95 x 80	$y = 1,6204x$	0,9980
95 x 85	$y = 1,3442x$	0,9989	95 x 85	$y = 1,4261x$	0,9987
95 x 95	$y = 1,1907x$	0,9996	95 x 95	$y = 1,2281x$	0,9996
Garantias (anual x mensal)	Equação	R²	Garantias (mensal x anual)	Equação	R²
80 x 80	$y = 1,3168x$	0,9991	80 x 80	$y = 0,7588x$	0,9991
85 x 85	$y = 1,2876x$	0,9988	85 x 85	$y = 0,7759x$	0,9989
90 x 90	$y = 1,2519x$	0,9992	90 x 90	$y = 0,7982x$	0,9992
95 x 95	$y = 1,2138x$	0,9992	95 x 95	$y = 0,8233x$	0,9992

A Figura 1 ilustra a equação que relaciona as vazões regularizadas com garantias anuais de 80% e 85%.

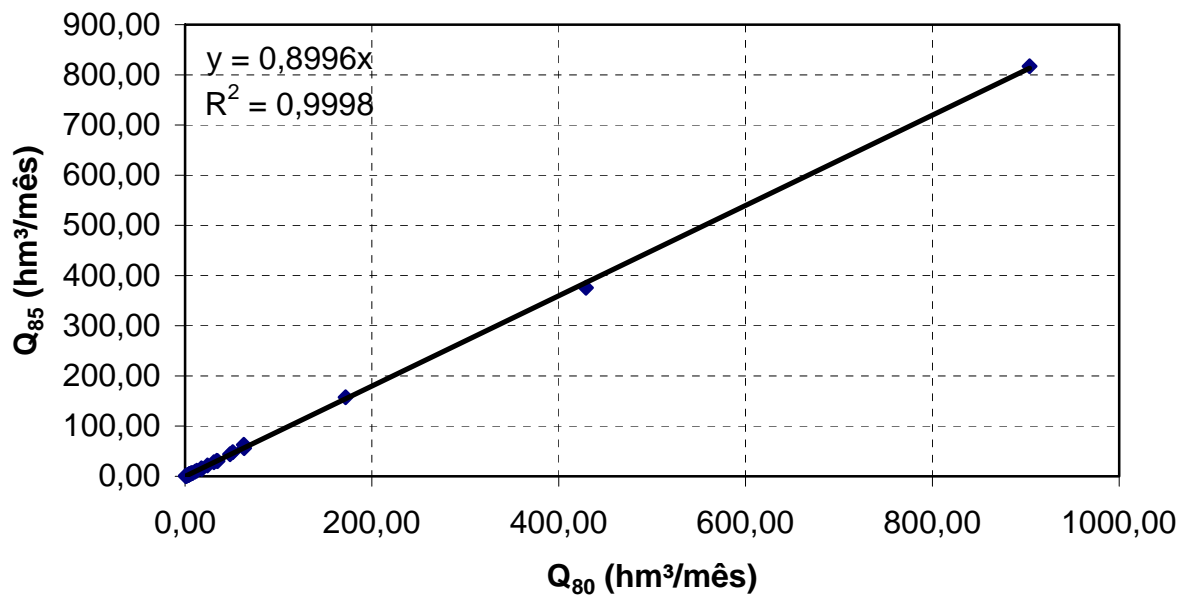


Figura 1 – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação, com série sintética, dos reservatórios utilizando-se G=85% anual e G=80% anual.

A priori poderia se pensar que a alta correlação se deu por influência dos reservatórios Aurora, Castanhão e Orós que, com suas capacidades de regularização elevadas forçavam a reta de regressão. Ao excluir estes reservatórios observou-se que o ajuste ainda apresentou uma boa correlação (ver figura 2).

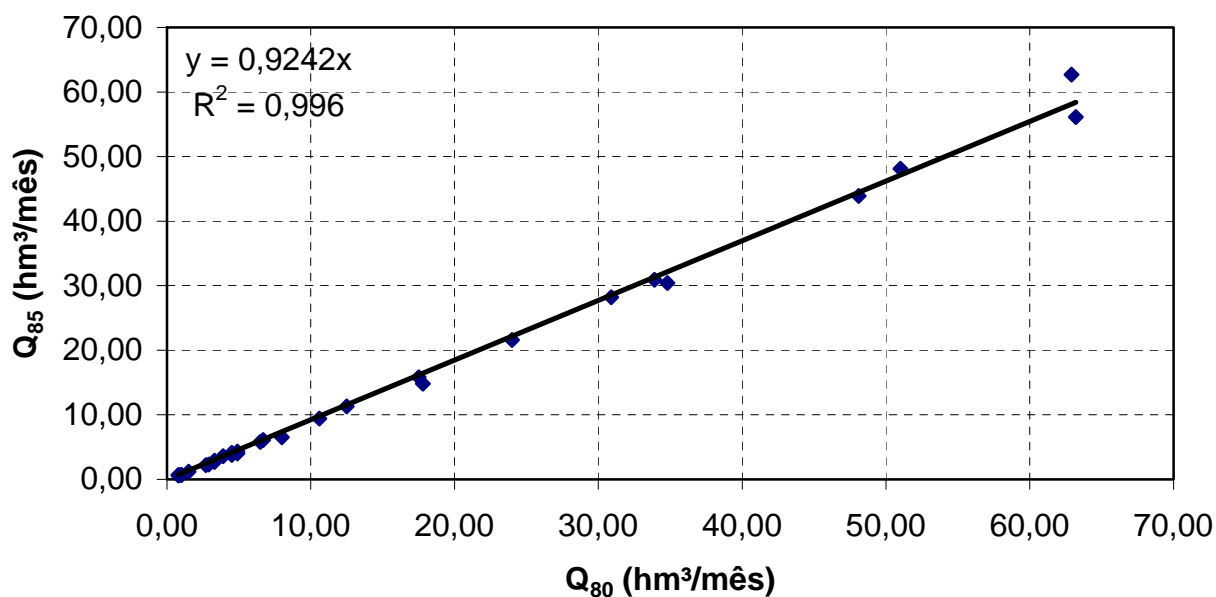


Figura 2 – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação, com série sintética, dos reservatórios utilizando-se G=85% anual e G=80% anual sem os reservatórios Aurora, Castanhão e Orós.

A partir das equações obtidas foi formada uma matriz de conversão entre níveis de garantias distintos em mesma escala de simulação e entre níveis de garantias iguais, porém com escalas de simulações diferentes (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Matrizes de conversão entre níveis de garantia distintos, com mesma escala de simulação.

Garantias	Fator de conversão - anual x anual (vazões)				Garantias	Fator de conversão - mensal x mensal (vazões)			
	80	85	90	95		80	85	90	95
80	1	0,8996	0,7964	0,6683	80	1	0,8798	0,7571	0,616
85	1,1114	1	0,8854	0,7432	85	1,1365	1	0,8607	0,7004
90	1,2548	1,1292	1	0,8396	90	1,32	1,1615	1	0,814
95	1,4934	1,3442	1,1907	1	95	1,6204	1,4261	1,2281	1

Tabela 5. Matrizes de conversão entre níveis de garantia iguais, com escala de simulação diferente.

Garantias	Fator de conversão - anual x mensal (vazões)	Garantias	Fator de conversão - mensal x anual (vazões)
80	1,3168	80	0,7588
85	1,2876	85	0,7759
90	1,2519	90	0,7982
95	1,2138	95	0,8283

Para ilustrar a aplicação da matriz acima exposta, toma como exemplo a conversão de uma vazão regularizada com garantia **80% anual** para uma vazão regularizada de garantia **95% mensal**. Transforma-se, primeiramente, a vazão regularizada com Garantia 80% anual em 95% anual, usando o fator de multiplicação 0,6683. Uma vez transformado o nível de garantia, converte-se a vazão de 95% anual para 95% mensal usando-se o fator 1,2519. (Ver Figura 2).

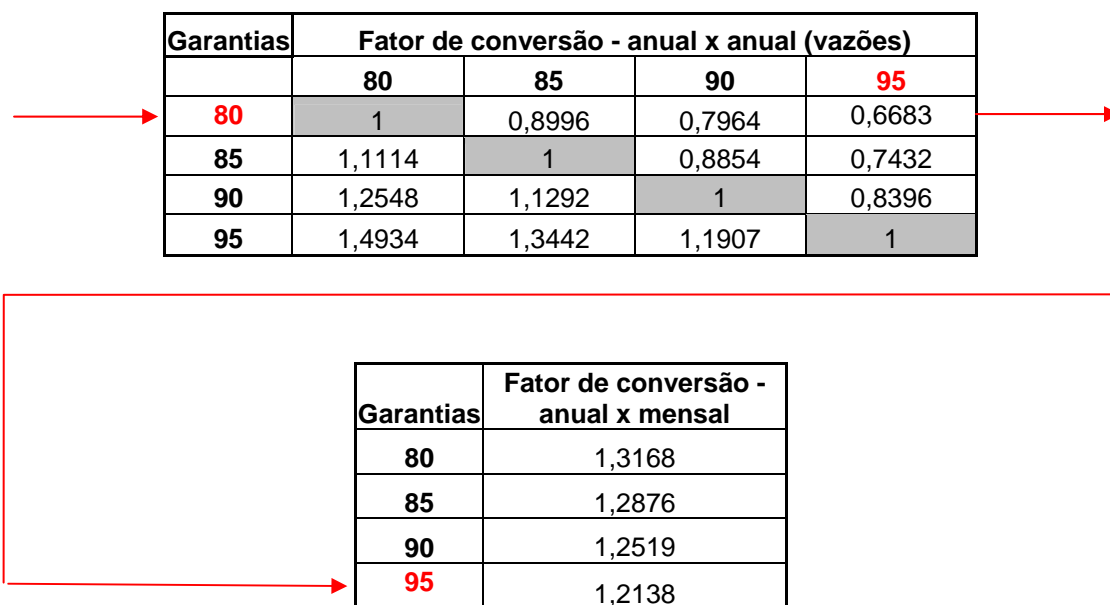


Figura 3 – Transformação da vazão regularizada com 85% de garantia anual para 95% de garantia mensal.

CONCLUSÕES

O artigo mostrou que há uma excelente correlação entre as vazões regularizadas de diferentes níveis de garantia. Assim, foi possível obter um conjunto de equações lineares que permitem estimar a vazão regularizada de um determinado nível de garantia, em escala de tempo mensal ou anual, a partir da vazão regularizada de uma outra garantia na mesma, ou outra, escala de tempo. Os coeficientes de correlação obtidos variaram de 0,9980 a 0,9999, o que mostra que a hipótese de relação linear é comprovada pelos resultados obtidos.

Os resultados são válidos para as condições da amostra, ou seja, rios intermitentes, vazões em estado de equilíbrios, coeficiente de variação dos deflúvios variando de 0,58 a 1,90. Porém, considerando-se os elevados valores do coeficiente de correlação, é de esperar que relações semelhantes possam ser obtidas para outras realidades hidrológicas que devem ser alvo de estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a) Dissertações e Teses

STUDART, T.M.C. 2000. *Análise de Incertezas na Determinação de Vazões Regularizadas em Climas Semi-Áridos*. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. Tese de Doutorado.

ARAÚJO, J.K. (1991). *Método dos Fragmentos Aplicado a Rios Intermitentes: Avaliação dos Erros Introduzidos no Cálculo da Disponibilidade de Reservatórios*. Fortaleza, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará (Dissertação de Mestrado).

b) Softwares

LANNA, P.A. and SCHWATZBACH, M. (1988): *MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

c) Plano de Recursos Hídricos

COGERH (1999). *Plano de Gerenciamento das águas da Bacia do rio Jaguaribe*. Engesoft Consultoria, Fortaleza, Ceará.