

## **XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **UMA AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DO AÇUDE BRUMADO NA BACIA DO RIO DE CONTAS - BA**

*Messias Nazaré Oliveira Santos<sup>1</sup>; Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade<sup>2</sup>*

**RESUMO** – Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, os açudes são importantes elementos de aproveitamento de recursos hídricos superficiais, servindo para atenuar o desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água. O presente trabalho faz uma avaliação das disponibilidades hídricas do açude Brumado, diante de graves problemas de escassez hídrica que resultam em conflitos entre os diversos usos e usuários da água acumulada no reservatório. Para a análise do comportamento operacional do reservatório, fez-se uso do modelo AcquaNet, um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias, idealizando-se cenários de planejamento que envolvem a sazonalidade climática da região, a definição de prioridades de atendimento para as demandas do abastecimento humano, industrial e da irrigação, as exigências ambientais, observados limites físicos e operacionais do reservatório. Os resultados alcançados justificam a adoção da metodologia, permitem diagnosticar situações potencialmente limitadoras à alocação plena das demandas hídricas requeridas, podendo prover subsídios para a formulação de regras operativas para o reservatório, preservadas vazões prioritárias para o abastecimento humano.

**ABSTRACT** – In semi-arid region of northeastern Brazil, the reservoirs, although per times lacking of being operated efficiently, they are constituted in important elements of use of water resources, being to lessen the unbalance between the offer and the demand of water. The studie developed for evaluate the water availability of the Brumado reservoir, located at the upper part of the Contas river basin in the semiarid region of Bahia state, Brazil. In this region, it is observed serious problem due to the of water shortage that result in conflicts among water uses and users of the accumulated water in the Brumado reservoir. It was made an application of the software AcquaNet, based in the flow net for simulation of basins. Legal, social, ambiental requirements related to the operation of the system, the physical constraints and the hydro-climatic conditions are considered in the Brumado reservoir behavior simulation. The results justify the adoption of the methodology and serve as support decision for the provide subsidies for the formulation of one operative agreement for minimize the conflicts for the use of the water Brumado reservoir, preserved the priority for the urban water supply systems operation.

**Palavras-Chave** - Operação de reservatórios, múltiplos usos, simulação.

---

1) Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB. Rua Hermiro Costa e Silva, no. 67, Bairro Ana Lúcia, 44380-000 Cruz das Almas – BA. (77) 99667994. E-mail: messias\_pkb@hotmail.com.

2) Professor Adjunto do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC / UFRB, Rua Rui Barbosa, no. 710, 44380-000 Cruz das Almas - BA. (75) 3621 4314 / 3621 9362. E-mail: prserrano@yahoo.com.br; paulo.serrano@ufrb.edu.br.

## 1 - INTRODUÇÃO

O planeta Terra abriga um complexo sistema de organismos vivos no qual a água é elemento fundamental e insubstituível. Sem água não existe vida, sendo ela responsável pelo equilíbrio da comunidade viva, da qual nós, seres humanos, fazemos parte. A água é também insumo indispensável à produção e recurso estratégico para o desenvolvimento socioeconômico (MMA, 2006).

Na fase terrestre, o importante elemento de análise que interage com o ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica, na qual a água proveniente das chuvas, transformada em escoamento superficial, flui para os pontos mais baixos do relevo, formando cursos de água (rios), lagos e mares. Conceitua-se o termo “*águas*” como o gênero, ou seja, o bem natural como o mesmo se encontra na natureza, desvinculado de qualquer uso, incluindo aquelas que não devem ser usadas por questões ambientais; já “*recursos hídricos*” é a água destinada a usos, sendo utilizada, ou a água pelos seus usos (Pompeu, 1995, apud Lanna, 1999).

O uso dos recursos hídricos vem se intensificado nas últimas décadas com o desenvolvimento econômico do mundo moderno, tanto no que se refere ao aumento da quantidade demandada para determinada utilização, quanto no que se refere à variedade dos usos. Visando assegurar uma gestão racional e integrada dos recursos hídricos no Brasil, foi promulgada a Lei Federal nº 9.433, de 08/01/1997, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos que estabelece no seu Artigo 1, entre outros fundamentos, que: *III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.*

Desde antes da implantação dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, estiveram presentes em todo o País cenários de conflitos pelo uso dos recursos hídricos. No caso da região semi-árida do Nordeste do Brasil, são observados antigos e graves problemas de escassez hídrica. Dentro das diferentes obras hidráulicas que podem ser projetadas e construídas para alocação da água para diferentes usos, os reservatórios fluviais assumem uma grande importância na região. Estes reservatórios – os chamados *açudes* - embora por vezes carecendo de ser operados eficientemente, constituem-se em importantes elementos de aproveitamento de recursos hídricos superficiais, servindo para atenuar conflitos e o desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água. O presente trabalho faz uma avaliação das disponibilidades hídricas do reservatório Luiz Vieira (Açude Brumado), localizado na parte alta da bacia do rio de Contas - BA, pela aplicação da técnica de simulação, analisando e estabelecendo relações entre as características das afluentes ao reservatório e a sua capacidade de acumulação, estimando regras

operativas de liberação de água para atendimento das diversas demandas, verificando a sustentabilidade relativa do reservatório pela aplicação do conceito de confiabilidade. Na região de influência do reservatório, existem problemas de déficit hídrico e fortes conflitos pelo uso da água - com destaque para os conflitos entre o abastecimento urbano e a irrigação - que são decorrentes, regra geral, de uma realidade onde a demanda é muito maior que a oferta que não atende, satisfatoriamente, os diversos interesses.

## 2 – RESERVATÓRIOS

### 2.1- Conceituação

Segundo Prado (2002), os reservatórios são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, formados a partir do barramento artificial de um curso de água ou pela formação artificial de lagos, com vazões defluentes sujeitas a controle. Qualquer que seja o tamanho do reservatório ou a finalidade da água acumulada, sua principal função é a de regulador, reservando água nos períodos de excesso hídrico para seu posterior uso nos períodos de escassez. Um reservatório pode ser descrito, do ponto de vista físico, por elementos operacionais como níveis de água (NA) e volumes característicos. Na Figura 1, são esquematizados os níveis e volumes característicos de um reservatório.

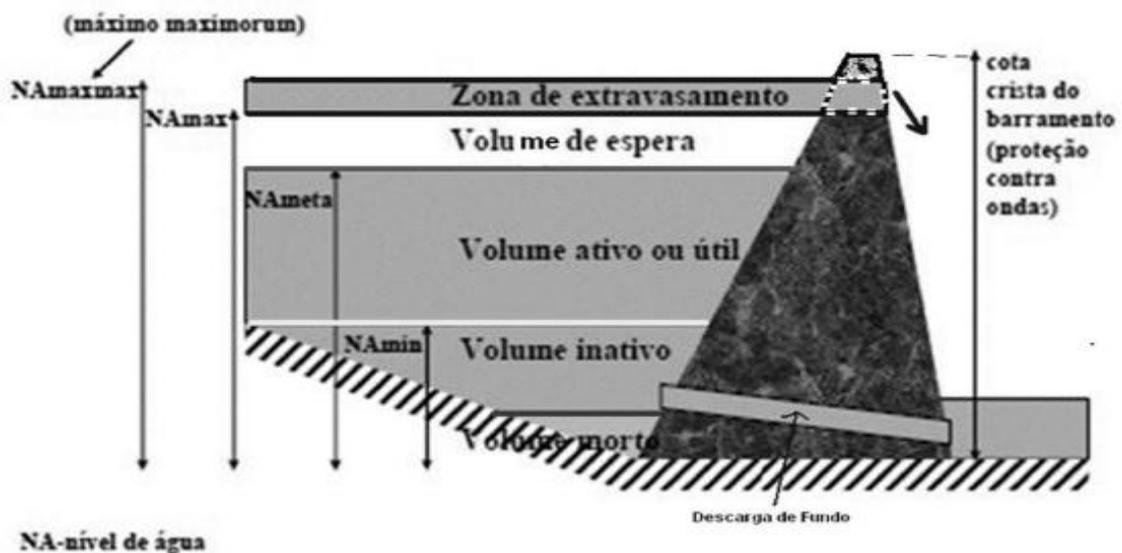


Figura 1 - Níveis e volumes característicos de um reservatório (adaptado de Andrade, 2000).

### 2.2- Reservatórios de múltiplos usos

Os usos múltiplos de reservatórios, segundo Cruz e Fabrizz (1995, apud Vilas Boas), “são planos de aproveitamento de recursos hídricos projetados e operados para atender dois ou mais propósitos”, dentre os quais ser citados: usos urbanos e rurais (abastecimento doméstico, dessedentação de animais, uso industrial e comercial; irrigação); geração de energia; regularização de vazões; controle de cheias; navegação, recreação; aquíicultura, etc. A implantação de

reservatórios, entretanto, provoca a modificação dos ecossistemas naturais, devido à grande dimensão dessas obras e à mudança do uso do solo em seu entorno e alteração no regime de vazão do rio, durante a sua construção e após o início da operação.

### 2.3 - Operação de reservatórios e medida de desempenho

O problema da análise e operação de reservatórios pode ser resumido pela necessidade da determinação da capacidade de acumulação para atender uma determinada demanda ou a definição de regras operativas de liberação de água para certos níveis de acumulação, que podem variar no tempo, com certo grau de confiabilidade desejado (Simonovic, 1992, apud Andrade, 2000). O planejamento e a operação de reservatórios requisitam o uso de modelos específicos baseados, regra geral, nas técnicas de análise de sistemas de recursos hídricos, envolvendo no balanço hídrico todos os componentes relacionados ao sistema em estudo. Reservatórios de múltiplos usos podem ser estudados no planejamento e operação via modelos de simulação, podendo ser analisados, também, pelo uso de modelos de otimização (Andrade, 2000).

Para avaliar os resultados da operação de reservatórios pode ser adotado, entre outros, um índice de confiabilidade para cada uso da água de um reservatório, onde é possível definir um nível desejável de atendimento de uma demanda  $X_0$ , que precisa ser especificado, o qual que irá permitir a identificação de valores satisfatórios e não satisfatórios para a variável em consideração. Seja uma série de tempo de uma variável  $X_t$ ,  $t = 1, \dots, N$ , que define o desempenho de um reservatório, para atender um dos usos da água ( $X_0$ ) de um reservatório. Então, uma falha é observada quando  $X_t < X_0$ . Chamando de “n” o número de intervalos de tempo (hora, dia, mês, etc.) onde  $X_t < X_0$ , e  $d_j$  um período onde ocorreram falhas, como ilustrado ilustrados na Figura 2, a confiabilidade (C) do sistema pode ser expressa como se define na Equação 1.

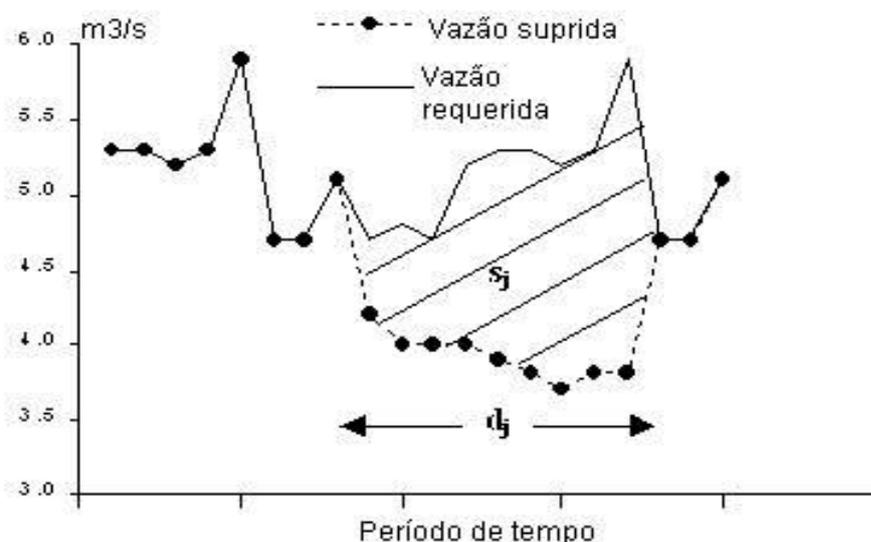


Figura 2 – Definição de um período de falhas  
(Fonte: adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg, apud Andrade, 2006)

Com base nas considerações anteriores, observada a figura 1, a confiabilidade C do sistema pode ser expressa como:

$$C = P\{X_t \leq X_0\} = 1 - \frac{n}{N} \quad (1)$$

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo trata da avaliação das disponibilidades hídricas do Açude Luis Vieira (ou Brumado), localizado no rio Brumado, na parte alta da bacia hidrográfica do rio de Contas, que integra a chamada *Região de Planejamento e Gestão das Águas Bacia do Rio de Contas (RPGA - VIII)*, conforme Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (2005). A Figura 3 ilustra a posição da RPGA VIII - Bacia do Rio de Contas no domínio das RPGAs do Estado da Bahia.

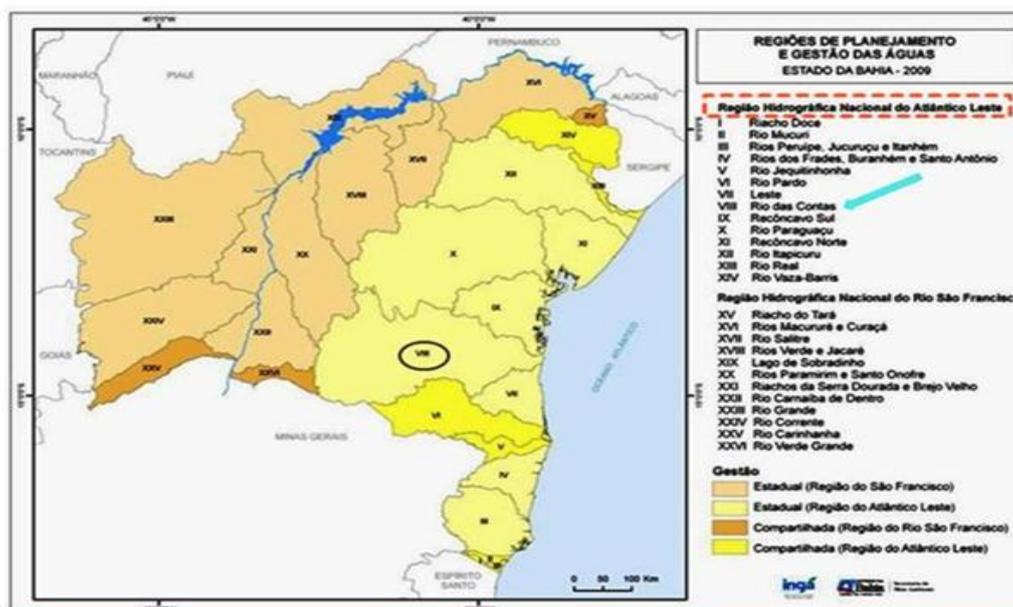


Figura 2- Regiões de Planejamento e Gestão das Águas do Estado da Bahia (Fonte: PERH – BA, 2005)

#### 3.1 – Características gerais da área de estudo

Segundo classificação nacional, baseada no método Thornthwaite, o clima da área é definido como sub-úmido seco, mesotérmico. A precipitação média anual é de 756 mm, com período chuvoso entre os meses de outubro a maio; a temperatura média anual fica em 21,3°C; a pluviometria média anual na bacia do açude Luiz Vieira é da ordem de 653 mm, segundo dados do projeto. Os principais mananciais de superfície da área de estudo, todos de regime intermitente, são o Rio Brumado e seus afluentes Rio Taquari e Rio do Paulo, sendo que este último tem como seus principais formadores o Rio Quatis, Rio Poções e córrego Salobro.

O rio Brumado encontra-se barrado na cidade de Rio de Contas, para formar o açude Luiz Vieira, com área de drenagem definida em 234 km<sup>2</sup>. No período em que se dispõe de dados (1940 a 1951), registra-se no rio Brumado uma vazão média de 1,48 m<sup>3</sup>/s. Não se dispõe de dados de vazão

observadas do rio do Paulo e do rio Taquari. A Figura 3 mostra uma composição de imagens de satélite do açude Brumado, com a delimitação da sua bacia hidrográfica.

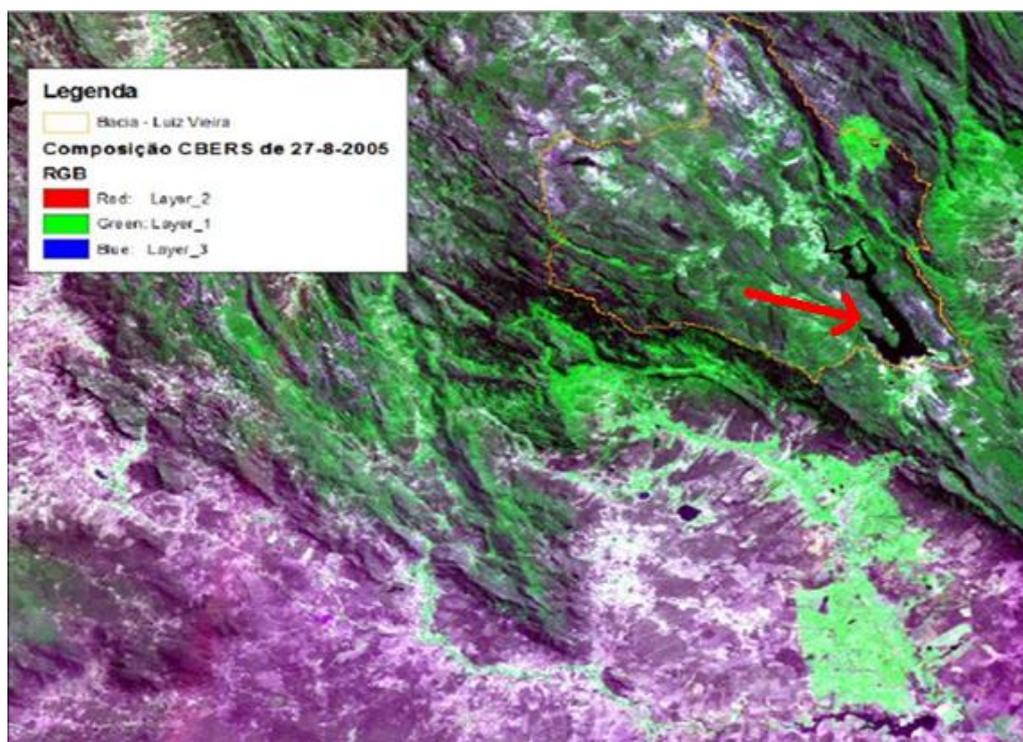


Figura 3- Bacia hidrográfica do açude Luiz Vieira (adaptado de Collischonn, 2010)

Do ponto de vista hidrogeológico, a área se apresenta sob dois domínios associados: o embasamento cristalino e os metassedimentos da Chapada Diamantina, respectivamente (Geohidro, 1993). O relevo se evidencia por elevações residuais, correspondentes aos restos de flancos de dobras antigas, regidas pela tectônica e pela litologia formada por metassedimentos, com encostas íngremes e topos aguçados, com afloramentos rochosos e blocos desagregados. A vegetação dominante sobre estes modelados é do tipo Cerrado. A rede pluviométrica da sub-bacia do Rio Brumado é considerada pequena, contando-se apenas seis (6) postos pluviométricos, estando dois (2) deles em operação. O Quadro 1 identifica os postos pluviométricos da região de estudo.

Quadro 1- Postos Pluviométricos (Fonte: Hidroweb, ANA)

Código	Nome da estação	Município	Entidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1341002	Barragem do Brumado	Rio de Contas	SUDENE	-13:34:05	-41:49:01	950
1341011	Rio de Contas	Rio de Contas	DNOCS	-13:34:00	-41:49:00	1002
1341012	Dom Basílio (Iborocaim)	Dom Basílio	SUDENE	-13:42:32	-41:46:32	307
1341016	Rio de Contas	Rio de Contas	ANA	-13:34:00	-41:49:00	1002
1341028	Barragem de Brumado	Rio de Contas	RFFSA	-13:31:00	-41:51:00	950
1341047	Livramento	Livramento	ANA	-13:38:36	-41:51:32	-

Próximo ao reservatório Luiz Vieira existe um ponto de medição de vazão, a estação Rio de Contas – código nacional 52120000, cujo responsável é a ANA, atualmente desativada, embora tenha operado de 1939 a 1963, com um longo período de falhas entre 1952 e 1962. Não se tem disponível na região de interesse, postos climatológicos. Segundo informação obtida no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em tempos passados foram instrumentadas em Rio de Contas medições de evaporação, em Tanque Classe A, cuja série de valores médios mensais está sendo utilizada neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1- Evaporação média mensal na região de estudo (Fonte: DNOCS)

Evaporação média (mm)											
Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Out.	Nov	Dez
198	176	173	153	136	118	126	154	169	190	178	186

### 3.2 – O açude Luiz Vieira (Brumado)

O açude Luiz Vieira está localizado no município de Rio de Contas / BA, a cerca de 400 km de Salvador. Sua construção foi iniciada em 1977 e concluída em 1983, com a finalidade inicial de atender ao Distrito de Irrigação do Brumado – DIB, mantido pelo DNOCS. A barragem tem por coordenadas 13°34' de Latitude Sul e 41°49' de Longitude Oeste. A sua bacia hidrográfica considera uma área de 256 km<sup>2</sup>.

O volume de acumulação é de 105.000.000 m<sup>3</sup> (na cota 1.026m) e a vazão regularizada é de 1,38 m<sup>3</sup>/s (com 90% de garantia). De início, o açude se destinava a garantir o abastecimento d'água para uma área irrigada de 5.000 ha, além de favorecer o desenvolvimento da pesca no lago, e mais 200 ha de um antigo sistema de irrigação tradicional, que operava no vale. A Figura 4 ilustra a posição do açude em relação à cidade de Rio de Contas, que dista da barragem cerca de 4 km.

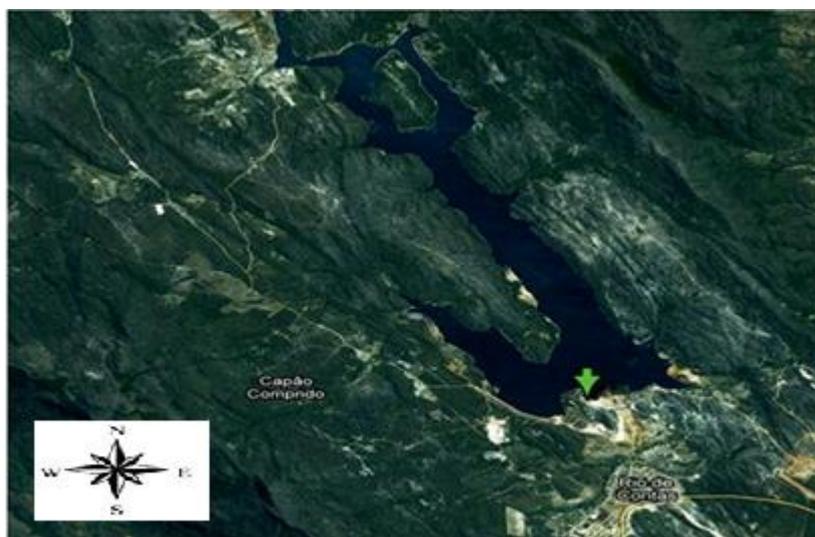


Figura 4- Localização do Açude Luiz Vieira (Fonte: Google Maps)



irrigantes e demais usuários. Conforme reunião de alocação de água realizada pelo DNOCS em junho de 2011, as demandas se apresentam conforme Quadro 3.

Quadro 2- Volume de demanda ideal de cada usuário do Açude Luiz Vieira  
(Fonte: DNOCS, Dezembro de 2011)

ALOCAÇÃO DE ÁGUA AÇUDE LUIZ VIEIRA												
Volumes (m³)												
Mês	Ribeirinhos Dom Basílio	Vazão (m³/s)	Bloco I	Vazão (m³/s)	Bloco II	Vazão (m³/s)	Bloco III	Vazão (m³/s)	Vazão ecológica	Vazão (m³/s)	Volume Total	Vazão (m³/s)
jan/12	1.279.192	0,478	2.105.191	0,786	1.526.690	0,570	4.269.244	1,594	160704	0,060	9.341.024	3,49
fev/12	1.404.430	0,524	2.750.330	1,027	2.106.832	0,787	4.597.648	1,717	160704	0,060	11.019.948	4,56
mar/12	1.218.960	0,455	2.445.833	0,913	1.799.524	0,672	3.440.820	1,285	150336	0,056	9.055.476	3,38
abr/12	1.324.733	0,495	2.920.103	1,090	2.228.967	0,832	4.072.202	1,520	160704	0,060	10.706.713	4,13
mai/12	1.238.058	0,462	2.546.602	0,951	2.068.418	0,772	3.940.841	1,471	155520	0,058	9.949.443	3,71
jun/12	1.131.183	0,422	2.037.281	0,761	1.893.095	0,707	3.612.437	1,349	160704	0,060	8.834.703	3,41
jul/11	1.526.824	0,570	2.152.289	0,804	1.846.802	0,690	3.432.345	1,281	233280	0,087	9.191.543	3,43
ago/11	1.620.110	0,605	2.512.647	0,938	1.969.430	0,735	3.743.799	1,398	241056	0,090	10.087.046	3,77
set/11	1.922.830	0,718	3.157.786	1,179	2.473.237	0,923	4.663.328	1,741	241056	0,090	12.458.242	4,81
out/11	1.923.472	0,718	3.105.211	1,159	2.467.327	0,921	5.021.394	1,875	155520	0,058	12.672.929	4,73
nov/11	1.691.082	0,631	2.750.330	1,027	2.152.632	0,804	5.254.454	1,962	160704	0,060	12.009.206	4,63
dez/11	975.370	0,364	1.577.250	0,589	1.093.307	0,408	3.241.659	1,210	155520	0,058	7.043.109	2,63
MÉDIA	1.438.020	0,537	2.505.071	0,935	1.968.855	0,735	4.107.514	1,534	177.984	0,066		

Quadro 3- Volume de demanda atual de cada usuário do Açude Luiz Vieira  
(Fonte: DNOCS, Janeiro de 2012)

ALOCAÇÃO DE ÁGUA AÇUDE LUIZ VIEIRA												
Volumes (m³)												
Mês	Ribeirinhos Dom Basílio	Vazão (m³/s)	Bloco I	Vazão (m³/s)	Bloco II	Vazão (m³/s)	Bloco III	Vazão (m³/s)	Vazão ecológica	Vazão (m³/s)	Volume Total	Vazão (m³/s)
jan/12	307.006	0,115	505.246	0,189	366.405	0,137	1.024.619	0,383	160704	0,060	2.363.981	0,88
fev/12	280.886	0,105	550.066	0,205	421.366	0,157	919.530	0,343	160704	0,060	2.332.553	0,96
mar/12	243.792	0,091	489.167	0,183	359.905	0,134	688.164	0,257	150336	0,056	1.931.365	0,72
abr/12	264.947	0,099	584.021	0,218	445.793	0,166	814.440	0,304	160704	0,060	2.269.906	0,88
mai/12	247.612	0,092	509.320	0,190	413.684	0,154	788.168	0,294	155520	0,058	2.114.305	0,79
jun/12	226.237	0,084	407.456	0,152	378.619	0,141	722.487	0,270	160704	0,060	1.895.504	0,73
jul/11	916.094	0,342	1.291.374	0,482	1.108.081	0,414	2.059.407	0,769	233280	0,087	5.608.238	2,09
ago/11	972.066	0,363	1.507.588	0,563	1.181.658	0,441	2.246.279	0,839	241056	0,090	6.148.649	2,30
set/11	1.153.698	0,431	1.894.672	0,707	1.483.942	0,554	2.797.997	1,045	241056	0,090	7.571.368	2,92
out/11	769.389	0,287	1.242.084	0,464	986.931	0,368	2.008.558	0,750	155520	0,058	5.162.484	1,93
nov/11	473.503	0,177	770.092	0,288	602.737	0,225	1.471.247	0,549	160704	0,060	3.478.284	1,34
dez/11	234.089	0,087	378.540	0,141	262.394	0,098	777.998	0,290	155520	0,058	1.808.542	0,68
MÉDIA	507.443	0,189	844.136	0,315	667.626	0,249	1.359.908	0,508	177.984	0,066		

Observado os Quadros 2 e 3, na coluna “Ribeirinhos Dom Basílio” está o volume de água destinado a irrigação de 700 hectares de terra dos produtores rurais localizados às margens do rio Brumado, no município de Livramento de Nossa Senhora – BA, e o volume de água que contribui com a irrigação de 1.500 hectares de terra no município de Dom Basílio – BA, áreas localizadas às margens do rio Brumado.

Segundo o DNOCS, os volumes de água para abastecimento humano captados pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A - EMBASA, estariam incluídos na coluna chamada “Vazão Ecológica” dos Quadros 2 e 3, assim como o volume destinado a permanência de uma vazão do rio Brumado. O Quadro 4 mostra a distribuição destas vazões.

Quadro 4- Distribuição da Vazão Ecológica, em m<sup>3</sup>/ano  
(Fonte: DNOCS, Janeiro de 2012)

<b>Distribuição da Vazão Ecológica</b>	
<b>Demanda</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Abastecimento Rio de Contas	344.372
Abastecimento Livramento	1.207.762
Permanência do Rio	583.674

### 3.3.2 – Demandas do abastecimento público

Em que pese as informações do DNOCS (Quadro 4), foram utilizadas no estudo as demandas médias operadas pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento - EMBASA, conforme obtidas junto ao seu Departamento de Desenvolvimento Operacional (DT), da Superintendência de Operação Sul (SO/DS), conforme descritas no Quadro 5.

Quadro 5- Demandas de Abastecimento Público  
(Fonte: Embasa – SO/DS – DT/TS/TSD; Janeiro, 2012)

<b>Mês</b>	<b>Abastecimento Rio de Contas</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Abastecimento Livramento</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
jan/12	30.825	0,012	116.195	0,043
fev/12	31.584	0,012	107.520	0,040
mar/12	31.607	0,012	106.506	0,040
abr/12	31.280	0,012	101.406	0,038
mai/12	29.760	0,011	100.625	0,038
jun/12	26.671	0,010	99.285	0,037
jul/11	25.116	0,009	108.815	0,041
ago/11	24.510	0,009	120.995	0,045
set/11	23.175	0,009	127.119	0,047
out/11	23.527	0,009	119.739	0,045
nov/11	20.759	0,008	97.190	0,036
dez/11	22.271	0,008	115.526	0,043
<b>Média</b>	<b>26.757</b>	<b>0,010</b>	<b>110.077</b>	<b>0,041</b>

## 3.4 – Estruturação da metodologia

### 3.4.1 – O modelo AcquaNet

Para a análise do comportamento operacional do reservatório, fez-se uso do modelo AcquaNet, um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, idealizando-se para o estudo cenários de planejamento que envolvem aspectos como o da sazonalidade climática, da definição de prioridades de atendimento para as demandas do abastecimento humano, industrial e da irrigação, e de exigências ambientais, observados os limites físicos e operacionais do reservatório. O AcquaNet, constituído por módulos, é um modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos. No presente trabalho foi mobilizado apenas os recursos do módulo de alocação de água do AcquaNet, que pode fornecer subsídios para gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas.

### 3.4.2 – Dados de Entrada do Modelo

Os dados de entrada requeridos para rodar o modelo AcquaNet no modo de alocação de água, para a simulação contínua e usando a opção de cálculo calibração, dividem-se basicamente em dois tipos: dados de reservatório, vazões afluentes e dados demandas.

#### 3.4.2.1-Dados do Reservatório

- **Volumes Máximo, Mínimo e Inicial:** estes dados correspondem aos limites de armazenamento superior e inferior do reservatório ( $V_{\text{máximo}}$ ,  $V_{\text{mínimo}}$ ), respectivamente. O volume inicial e as capacidades operacionais de armazenamento foram estabelecidos com base nos dados de projeto, considerando os níveis mínimo e máximo as cotas 992,15m e 1.026m, respectivamente, com um volume mínimo operacional de 15,750 hm<sup>3</sup> e máximo de 105 hm<sup>3</sup>.
- **Cota x Área x Volume:** os dados de cota x área x volume do reservatório considerados no modelo (Tabela 2) foram obtidos da sua “Ficha Técnica”, cotejando-se também dados do monitoramento operacional efetuado pelo DNOCS para o período 01/01/1990 a 21/10/2011.

Tabela 2- Cota x Área x Volume do Reservatório Luiz Vieira  
(Fonte: DNOCS)

Cota (m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )
990,00	0	0	1.017,21	741,97	64,39
992,15	706,50	15,75	1.018,08	746,93	67,42
996,12	708,80	37,96	1.019,24	749,71	71,97
998,71	709,98	38,26	1.019,95	752,02	74,86
1.001,36	712,40	38,93	1.020,75	754,68	79,09
1.004,60	715,89	40,40	1.021,92	759,18	83,98
1.007,38	719,48	42,70	1.023,99	764,80	94,48
1.008,85	723,81	44,36	1.024,92	770,51	99,58
1.010,10	725,91	46,13	1.025,82	774,10	105,50
1.012,47	730,36	50,84	1.027,80	781,39	119,09
1.014,67	737,24	56,20	1.028,49	782,05	123,67
1.015,62	738,35	59,22	1.029,04	783,67	128,18
1.016,52	739,87	61,90	1.029,93	785,50	134,57

- **Vazões afluentes ao reservatório**

Não se dispõe de dados fluviométricos (em séries longas e confiáveis) na área de interesse do estudo. Por isso, adotou-se trabalhar com uma série de vazões geradas a partir do modelo chuva-vazão CN-3S (Curve Number 3 Step), conforme consta do trabalho de Colisschonn (2010). A série gerada, a partir de dados de chuva de estações pluviométricas existentes na região de influência do reservatório Luiz Vieira (Quadro 3) compreende um período de 51 anos (1939 a 1990).

- **Taxas de Evaporação**

Para se ter a evaporação potencial da superfície líquida do reservatório, a partir dos dados medidos pelo Tanque Classe A (Tabela 1), corrigiu-se esse dados medidos pelo coeficiente de tanque (Kt). Vários autores estabeleceram para a região Nordeste do Brasil um coeficiente médio Kt

variando entre 0,7 e 1,0, sendo o valor mais provável situado entre 0,8 e 0,85 (Gomes, 1999, apud Andrade, 2000). Para o reservatório Luiz Vieira foi adotado um  $K_t = 0,80$ , para determinação da evaporação potencial mensal, obtendo-se as lâminas como se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3- Evaporação Potencial Mensal, utilizando o fator de correção pra Tanque Classe A

Evaporação Potencial (m)											
Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Out.	Nov	Dez
0,158	0,140	0,138	0,122	0,108	0,09	0,100	0,123	0,135	0,152	0,142	0,148

- **Volumes Meta**

O volume meta corresponde a uma fração do volume máximo que indica o volume que o tomador de decisão tem como meta em cada um dos reservatórios nos diversos meses de análise. Para este estudo foram adotados dois critérios: i) o volume meta estipulado em 100% do volume máximo ( $105\text{hm}^3$ ), critério que, já comentado por Aragão (2008), procura retratar as regras conservadoras na operação da maioria dos reservatórios do Nordeste; ii) o volume meta estipulado em 15% do volume máximo (equivalente a  $15,75\text{hm}^3$ ), ou seja o volume mínimo operacional situado na cota 992,15m, correspondente à cota superior da tomada d'água.

### 3.4.2.2 - Dados de Demanda

Foram utilizadas duas séries de demandas hídricas no sistema: a série de demandas ideais (Quadro 2), e a série de demandas atuais (Quadro 3), mantendo-se as demandas do abastecimento humano como definidas no Quadro 5.

### 3.5 - Cenários de planejamento

Foram idealizados oito (8) cenários baseados na variação de demandas, entre as atuais e as ideais, em um período climatológico normal e uma série reduzida de quatro anos (1960 a 1963), caracterizada como de seca, e por fim na definição dos volumes metas máximo (100% do  $V_{\text{max}}$ ) e mínimo (15% do  $V_{\text{max}}$ ). O Quadro 6 descreve os cenários de simulação idealizados.

Quadro 6 - Cenários de Simulação de Demandas Hídricas

CENÁRIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS			
<b>CENÁRIO 1 (C1)</b>	Foram consideradas as demandas ideais para o período climático normal, com volume meta máximo.	<b>CENÁRIO 5 (C5)</b>	Foram consideradas as demandas ideais para o período climático normal, com volume meta mínimo.
<b>CENÁRIO 2 (C2)</b>	Foram consideradas as demandas atuais para o período climático normal, com volume meta máximo.	<b>CENÁRIO 6 (C6)</b>	Foram consideradas as demandas atuais para o período climático normal, com volume meta mínimo.
<b>CENÁRIO 3 (C3)</b>	Foram consideradas as demandas ideais para o período climático seco, com volume meta máximo.	<b>CENÁRIO 7 (C7)</b>	Foram consideradas as demandas ideais para o período climático seco, com volume meta mínimo.
<b>CENÁRIO 4 (C4)</b>	Foram consideradas as demandas atuais para o período climático seco, com volume meta máximo.	<b>CENÁRIO 8 (C8)</b>	Foram consideradas as demandas atuais para o período climático seco, com volume meta mínimo.

### 3.6 - Prioridades de Atendimento

Foram adotadas as prioridades de atendimento às demandas e volume meta dos reservatórios sabendo-se que o menor número de prioridade indica o uso hídrico que será primeiramente atendido. Dependendo das prioridades de um sistema específico, o excesso de água pode fluir por elos que não pertencem ao caminho natural da água na bacia. Para evitar este fato recomenda-se colocar uma “*Demanda Artificial*” no fim da rede para receber todo o excesso de água, denominada Dreno, que deve ter uma demanda muito grande para poder receber todo o excesso e uma prioridade muito pequena (adotada P= 99), para não competir com as demandas reais do sistema. A hierarquia de atendimento às demandas hídricas de cada cenário está especificada no Quadro 7.

Quadro 7- Esquema de Prioridade para alocação de água pelo Acquanet

<i>Demandas / Reservatórios</i>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>
<b>1. Demandas</b>	<i>Prioridades</i>							
Vazão Ecológica	15	15	15	15	15	15	15	15
Abastecimento Humano	30	30	30	30	30	30	30	30
Irrigação	60	60	60	60	60	60	60	60
Dreno (Demanda Final)	99	99	99	99	99	99	99	99
<b>2. Reservatórios (Volumes Meta)</b>	<i>Prioridades</i>							
Luiz Vieira	50	50	50	50	50	50	50	50

### 3.7 – Tipologia do sistema para o Modelo Acquanet

A tipologia do sistema hídrico usada no AcquaNet está exposta na Figura 6. Os “Nós” e “Arcos” da rede de fluxo no sistema hídrico do Acquanet, são descritos respectivamente nos Quadros 8 e 9.

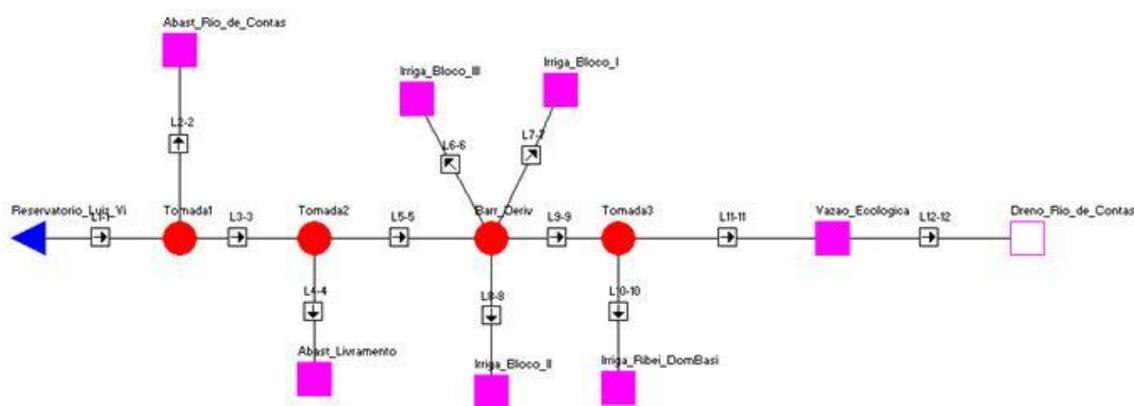


Figura 6- Tipologia do Sistema Hídrico

Quadro 8- Descrição dos Nós da rede de fluxo do sistema hídrico no Aquanet

Nó	Tipo	Nome do Nó (Destinação)	V <sub>max</sub> (hm <sup>3</sup> )	V <sub>min</sub> (hm <sup>3</sup> )	Demandas (m <sup>3</sup> /s)	
					C1;C3;C5;C7	C2;C4;C6;C8;
1	Reservatório	Luiz Vieira	105,00	15,75	-	-
2	Pto. Passagem	Tomada1	-	-	-	-
3	Demanda	Abast_Rio_de_Contas	-	-	0,010	0,010
4	Pto. Passagem	Tomada2	-	-	-	-
5	Demanda	Abast_Livramento	-	-	0,041	0,041
6	Pto. Passagem	Barr_Deriv	-	-	-	-
7	Demanda	Irriga_Bloco_I	-	-	0,935	0,315
8	Demanda	Irriga_Bloco_II	-	-	0,735	0,249
9	Demanda	Irriga_Bloco_III	-	-	1,534	0,508
10	Pto. Passagem	Tomada3	-	-	-	-
11	Demanda	Irriga_Ribeir_DomBasi	-	-	0,537	0,189
12	Demanda	Vazao_Ecologica	-	-	0,096	0,018
13	Demanda	Dreno_Rio_de_Contas	-	-	300	300

Quadro 9- Descrição dos Arcos da rede de fluxo do sistema hídrico no Aquanet

Arco	Nome do Arco / Correspondência Física	Limites (m <sup>3</sup> /s)			
		C1;C3;C5;C7		C2;C4;C6;C8	
		MAX	MIN	MAX	MIN
1	Trecho a jusante do reservatório até a Tomada 1	300,00	0,00	300,00	0,00
2	Adutora de Captação para o Abast. de Rio de Contas	0,01	0,00	0,01	0,00
3	Trecho do rio entre as Tomadas 1 e 2	300,00	0,00	300,00	0,00
4	Adutora de Captação para o Abast. de Livramento	0,05	0,00	0,05	0,00
5	Trecho do rio entre a Tomada 2 e a Bar. de Derivação	300,00	0,00	300,00	0,00
6	Adutora de Captação para o Bloco de Irrigação III	1,55	0,00	0,51	0,00
7	Adutora de Captação para o Bloco de Irrigação I	0,94	0,00	0,32	0,00
8	Adutora de Captação para o Bloco de Irrigação II	0,74	0,00	0,25	0,00
9	Trecho do rio entre a Bar. de Derivação e a Tomada 3	300,00	0,00	300,00	0,00
10	Adutora de Captação para Irrig. Ribeirinhos/Dom Basílio	0,54	0,00	0,19	0,00
11	Trecho do rio até a Demanda Fictícia Vazão Ecológica	300,00	0,00	300,00	0,00
12	Trecho do rio Brumado até o Dreno Rio de Contas	300,00	0,00	300,00	0,00

Todos os dados de entrada foram colocados no modelo Acquanet e, assim, os oito cenários foram simulados, procurando-se verificar principalmente o desempenho do reservatório para alocação de água entre os múltiplos usos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo de simulação na operação do reservatório Luiz Vieira gerou um grande volume de resultados numéricos. Destes resultados, os mais significativos foram selecionados e estão apresentados sob a forma de gráficos, tabelas e planilhas.

### 4.1 - Desempenho do Reservatório

#### 4.1.1-Volume Alocado e Vazão Efluente

A Tabela 4 apresenta os volumes totais alocados do reservatório, o volume final e a garantia de atendimento das demandas, para os 612 meses analisados nos cenários de período climatológico

normal (C1, C2, C5, e C6), e 48 meses analisados nos cenários de período climatológico seco (C3, C4, C7, C8).

Tabela 4- Volume Alocado, Demanda Hídrica, Volume do Dreno e Garantia de Atendimento

Desempenho do Reservatório				
Cenários	Volume alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Hídrica Total (hm <sup>3</sup> )	Volume Dreno (hm <sup>3</sup> )	Garantia *
CENÁRIO 1	2.436,38	6.049,11	148,96	38%
CENÁRIO 2**	2.441,92	2.115,07	823,76	76%
CENÁRIO 3	116,93	474,44	0,00	24%
CENÁRIO 4	117,44	165,89	17,03	60%
CENÁRIO 5	2.574,92	6.049,11	227,73	39%
CENÁRIO 6**	2.581,30	2.115,07	935,40	78%
CENÁRIO 7	207,49	474,44	80,40	27%
CENÁRIO 8	207,83	165,89	104,56	62%

(\*) Na garantia de atendimento foi calculada a relação de todas as demandas hídricas pelo volume alocado do reservatório, com exceção do Dreno, por ter sido levado em conta uma demanda altíssima, que em momento algum seria totalmente atendida. (\*\*) O volume alocado está superior a demanda hídrica por está somada ao volume dreno.

Observou-se que em nenhum dos cenários o reservatório Luiz Vieira garantiu totalmente o atendimento às demandas, isso ocorrendo porque a vazão média demandada é superior à vazão regularizada pelo reservatório em todos os cenários, agravando-se nos cenários de simulação para demandas ideais, C1, C3, C5 e C7. As Figuras 7 e 8 mostram as curvas de permanência da vazão regularizada pelo reservatório e a vazão demandada, para volumes meta estipulados, máximo e mínimo, e períodos climatológicos normal e seco, respectivamente.

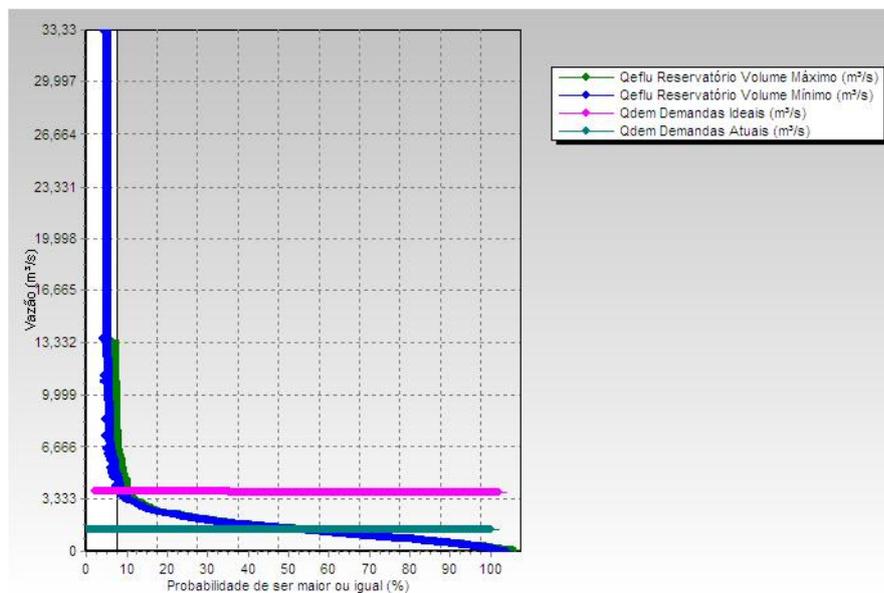


Figura 7- Curvas de permanência da vazão regularizada e da vazão demandada para o período normal

Nota-se que a vazão efluente do reservatório com volume meta estipulado como volume mínimo, parte de um valor bem acima do que a vazão regularizada do reservatório com volume

meta igual ao volume máximo, isso acontece somente nos primeiros anos da simulação, em que o reservatório permite a liberação de água para abastecimento total das demandas.

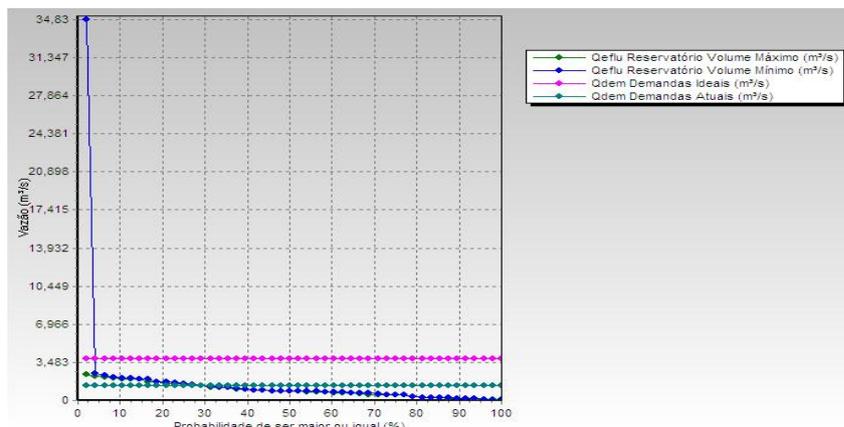


Figura 8- Curvas de permanência da vazão regularizada e da vazão demandada para o período seco

#### 4.1.2-Vertimentos e Esvaziamentos

Em todos os cenários simulados não houve vertimentos e nem esvaziamento (colapso do reservatório), por conta dos volumes metas estabelecidos.

#### 4.1.3-Evaporação

As perdas por evaporação do reservatório foram analisadas e comparadas entre os cenários simulados com volume meta igual ao volume máximo (C1, C2, C3, C4) e os cenários simulados com volume meta igual ao volume mínimo (C5, C6, C7, C8), pois refletem no conceito que quanto maior o volume acumulado, maior o espelho d'água, e conseqüentemente maiores perdas por evaporação. O volume evaporado total para os cenários de operação com volume máximo foi de 617,07 hm<sup>3</sup>, com média mensal de 0,39 m<sup>3</sup>/s, enquanto o volume total evaporado para os cenários com volume mínimo foi de 562,37 hm<sup>3</sup> com média mensal de 0,35 m<sup>3</sup>/s.

### 4.2- Atendimento às Demandas

#### 4.2.1-Abastecimento Público e Vazão Ecológica

A Tabela 5 descreve o resumo de atendimento das demandas de abastecimento público e da vazão ecológica para os 612 meses analisados nos cenários de período climatológico normal (C1, C2, C5, e C6), e 48 meses analisados nos cenários de período climatológico seco (C3, C4, C7, C8).

Tabela 5- Atendimento às demandas de Abastecimento Público e Vazão Ecológica

Cenários	Atendimento às Demandas					
	Abastecimento Rio de Contas		Abastecimento Livramento		Vazão Ecológica	
	Tempo abaixo da demanda necessária (meses)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )	Tempo abaixo da demanda necessária (meses)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )	Tempo abaixo da demanda necessária (meses)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )
C1	0	0,00	0	0,00	0	0,00
C2	0	0,00	0	0,00	0	0,00
C3	0	0,00	0	0,00	0	0,00
C4	0	0,00	0	0,00	0	0,00
C5	6	0,29	6	1,10	4	0,26
C6	6	0,29	6	1,10	4	0,26
C7	2	0,05	1	0,21	1	0,05
C8	2	0,05	1	0,21	1	0,05

Pela Tabela 5 observa-se que os cenários em que o volume meta foi definido como o volume máximo, as demandas de abastecimento dos municípios de Rio de Contas e Livramento, assim como a vazão ecológica, não sofrem falhas no atendimento, mesmo no período seco. Já os cenários em que a meta foi o volume mínimo, ocorreram falhas para o período climatológico normal no abastecimento público (2,12%) e na vazão ecológica (0,98%). Para o período seco ocorrem falhas no abastecimento público (6,25%) e vazão ecológica (2,08%). A Figura 9 ilustra as situações para os cenários 5 e 6.

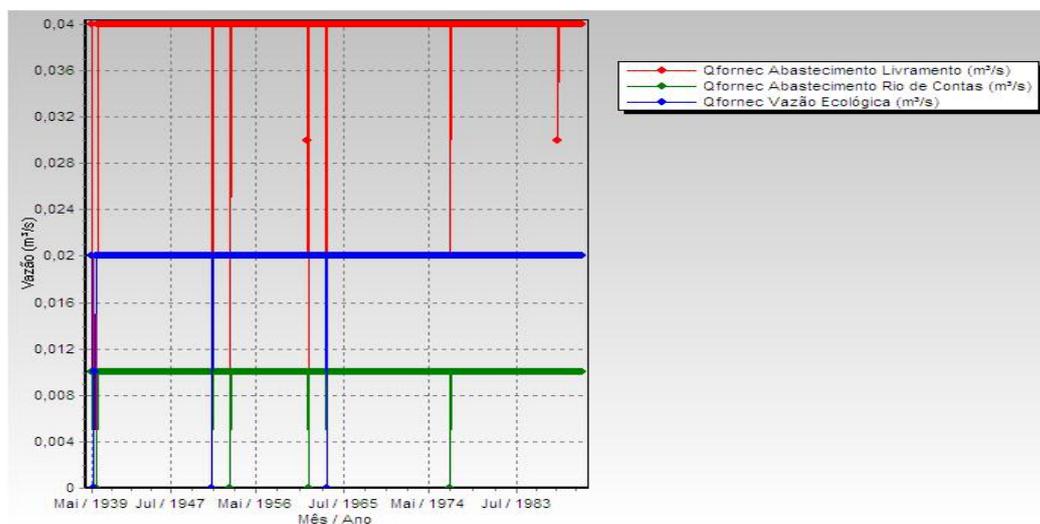


Figura 9- Vazões fornecidas pelo reservatório ao longo dos anos de simulação para o abastecimento público e vazão ecológica para os cenários 5 e 6

#### 4.2.2-Atendimento às demandas da irrigação

Por terem a mesma prioridade, as demandas do Bloco I, Bloco II, Bloco III e Ribeirinhos/Dom Basílio foram analisadas como um todo. A Tabela 6 descreve o resumo de atendimento das demandas de irrigação, para os 612 meses analisados nos cenários de período climatológico normal (C1, C2, C5, e C6), e 48 meses analisados nos cenários de período climatológico seco (C3, C4, C7, C8).

Tabela 6- Atendimento às demandas de irrigação

Atendimento às Demandas de Irrigação				
Cenários	Tempo abaixo da demanda (meses)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Fornecida (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Média Demandada (m <sup>3</sup> /s)
C1	204	3.813,93	1,37	3,74
C2	11	503,81	0,95	1,26
C3	48	362,48	0,87	3,74
C4	11	66,38	0,74	1,26
C5	204	3.751,68	1,41	3,74
C6	11	474,03	0,97	1,26
C7	47	351,86	0,95	3,74
C8	11	63,77	0,76	1,26

Por terem prioridade menor no sistema, com exceção do dreno, as demandas de irrigação contabilizaram os maiores déficits, principalmente nos cenários como demandas ideais. As vazões médias fornecidas se mostraram em todo caso inferiores às vazões demandadas.

De todos os cenários testados, o mais favorável ao atendimento de todas as demandas requisitadas do Açude Luiz Vieira foi o cenário 2, logicamente por se tratar de uma condição favorável ao desempenho operacional do reservatório, mantendo o volume máximo, apto a atender todas as demandas, implicando em menores déficits. A Figura 10 mostra a Curva de Permanência entre as vazões fornecidas e demandadas no cenário 2.

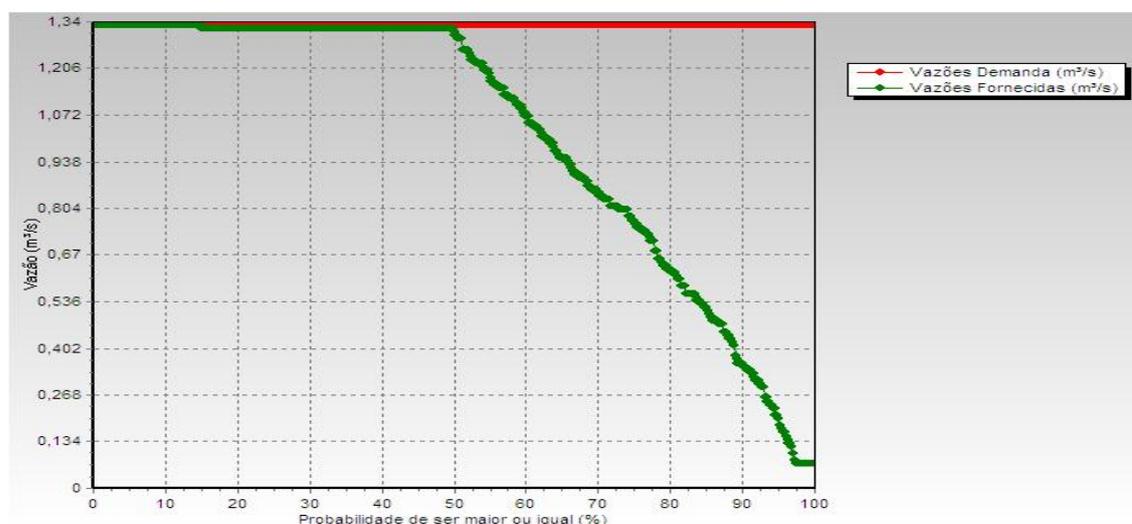


Figura 10- Curva de Permanência entre as vazões fornecidas e demandadas no cenário 2.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram quantificados os volumes alocados pelo reservatório, a garantia de atendimento às demandas hídricas, os déficits hídricos correspondentes às demandas não atendidas, as vazões efluentes do reservatório e as perdas por evaporação. Em época de secas, a exemplo do que foi testado, é crítica a situação nos pontos de demandas de irrigação sustentadas pelo reservatório Luiz Vieira, chegando a haver falha de até 77% (Cenário 3), para o caso do perímetro chamado de Bloco III, que é o maior em área potencialmente irrigável (2.553 ha). Pelos resultados, deduz-se que

reservatório Luiz Vieira não tem capacidade de atender, plenamente, as demandas da irrigação, visto as falhas registradas em todos os cenários, pelo o que se conclui que as negociações para alocação da água devem ser mantidas, sob pena de colapso hídrico do reservatório.

Com relação ao modelo utilizado, vale comentar que modelos de rede de fluxo são extremamente rápidos, mas apresentam limitações, posto que simulam apenas sistemas lineares. Este tipo de modelo, baseado em prioridades rígidas, faz com que haja variações bruscas mês a mês no nível das águas dos reservatórios da rede, ora visando atingir o volume meta, permitindo que os reservatórios permaneçam na sua cota máxima, ora permitindo que os reservatórios liberem água para todos os usos do sistema, fazendo com que as alocações sofram com essas variações.

Como sugestão para outros trabalhos, pode-se sugerir: testar o desempenho do reservatório para o caso onde se considere a possibilidade de redução de possíveis perdas nos sistemas de irrigação dos perímetros, nos sistemas de produção e distribuição de água para o abastecimento público (que incorporam perdas da ordem de 35% a 40%, na média anual); testar o modelo de simulação mediante estudos de otimização que envolva os tipos de cultura cultivadas nos blocos irrigados, suas reais demandas hídricas, em busca de uma maior eficiência na alocação das águas do reservatório.

Apesar das limitações encontradas na utilização do modelo, a metodologia utilizada neste trabalho para a avaliação da disponibilidade hídrica do açude Luiz Vieira mostrou resultados importantes, os quais poderão subsidiar regras de operação e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos daquele reservatório.

## **AGRADECIMENTOS**

Pelo apoio concedido, os autores agradecem ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), ao DNOCS e a EMBASA pelas informações cedidas para execução deste trabalho.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ANDRADE, P. R. G. S. A complexa conexão entre sustentabilidade, conflitos e gestão de recursos hídricos: evidências de um estudo de caso. In Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza. 2010.
- ANDRADE, P. R.G. S. de. (2006). Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe, PE. Campina Grande: UFCG. Tese de Doutorado. 227 p.
- ARAGÃO, T. G. Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2008. 139p.

- BAHIA. Lei nº 10.432 de 20 de Dezembro de 2006 Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicação DOE, 21/12/2006.
- BRANDÃO, J. L. B. Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos / São Paulo, 2004. 160p.
- BRASIL. Lei Nº 9433/1997 - "Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989." - Data da legislação: 08/01/1997 - Publicação DOU, de 09/01/1997.
- BRAVO, J. M.; COLLISHONN, W.; PILAR, J. V.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2006) Operação de um reservatório com múltiplos usos com base na previsão de curto prazo de vazão. Programa de pós-graduação em recursos hídricos e saneamento ambiental. IPH/UFRGS. Porto Alegre – RS.
- CASTRO, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos ambientais de reservatórios e perspectivas de usos múltiplos –Revista Brasileira de Energia / Vol. 4 Nº 1, 2007.
- COLLISHONN, B.; SILVA, L. M. C. Sistema de Apoio à Alocação de Água Negociada – SRHNE/ABRH, 2010.
- DNOCS, Açude Brumado. <  
<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20da%20Bahia/brumado.htm>> Acesso em (22/08/11).
- DNOCS, Perímetro Irrigado de Brumado. <  
[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/ba/brumado.htm](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ba/brumado.htm)> Acesso em (22/08/11).
- GEOHIDRO. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio de Contas, 1993.
- GEOTÉCNICA. Estudo de Viabilidade de Irrigação do Rio Brumado, 1962.
- LABADIE, J. W., AZEVEDO, L. G. T., PORTO, R. L. L. (1999). Programa MODSIM: Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas - Manual do Usuário e Estudos de Casos. LabSid - EP - USP. [disponível via Internet em: <http://www.phd.poli.usp.br/labsid>].
- LANNA, A. E. L. (1997). Introdução. In: TÉCNICAS quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre. Editora da Universidade / UFRGS – ABRH, p.15-41.
- LANNA, A. E. L. (1997). Introdução. In: TÉCNICAS quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre. Editora da Universidade / UFRGS – ABRH, p.15-41.
- LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. (2002) Capacidade de Reservatórios – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.
- PORTO, R. L. L., AZEVEDO, L. G. T. (1997). Sistemas de suporte a decisões aplicadas a problemas de recursos hídricos. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Editora da Universidade / UFRGS - ABRH. Porto Alegre.
- ROBERTO, A. N. Modelos de Rede de Fluxo para alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica / São Paulo, 2002.
- São Paulo. Acquanet – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos: Manual do Usuário. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão – Labsid / Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- TUCCI, C. E. M. et. al. 1993. Hidrologia: Ciência Aplicação. vol. 4. 1ª 20d. Editora da UFRGS/ABRH/EDUSP, Porto Alegre – RS. 943p.