ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE REGIÕES SEMIÁRIDAS

Maria Helena Faustino Martins de Castro[1]; Carmem Júlia Sant'Anna de Oliveira[2] & Joana Darc Freire de Medeiros[3]

RESUMO - Nos últimos anos a região semiárida brasileira vem passando por um dos piores cenários em termos de disponibilidade hídrica. Este cenário de escassez cada vez mais evidente associado ao aumento das demandas tem resultado no frequente conflito em torno dos usos da água, exigindo uma maior atenção na tomada de decisão nos processos de alocação de água. Diante deste cenário, este estudo teve como objetivo verificar a máxima demanda passível de ser alocada em reservatórios da região semiárida para diferentes garantias de atendimento sem comprometer a sustentabilidade hídrica dos açudes. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de simulação e otimização. Os resultados evidenciaram que a maioria dos reservatórios da região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte não é capaz de atender a demanda total requerida para os múltiplos usos já outorgados nem quando considerado a garantia de atendimento em 90% do tempo. Além disso, uma análise comparativa com estudos anteriores evidenciou a incerteza existente em torno da real demanda máxima passível de ser outorgada nos reservatórios da região semiárida.

ABSTRACT - In the last years, the Brazilian semiarid region has been experiencing one of the worst scenarios in terms of water availability. This scenario of increasing scarcity associated with increased demand has resulted in the frequent conflict over water uses, requiring greater care in decision making in water allocation processes. In view of this scenario, this study had as objective to verify the maximum demand that can be allocated in reservoirs in the semi-arid region for different guarantees of service without compromising the water sustainability of the reservoirs. For that, simulation and optimization techniques were used. The results showed that most of the reservoirs in the semi-arid region of the State of Rio Grande do Norte are not able to meet the total demand required for the multiple uses already granted, or when considering the guarantee of care in 90% of the time. In addition, a comparative analysis with previous studies evidenced the uncertainty surrounding the real maximum demand that can be granted in the reservoirs of the semiarid region.

Palavras-Chave – Demanda. Disponibilidade hídrica. Reservatórios

[1] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; mhelenafmc@hotmail.com

[2] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; carmem.julia.oliveira@gmail.com

[3] Professora permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; joanadarc.medeiros@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as demandas de água têm aumentado nas últimas décadas, devido ao processo de desenvolvimento econômico, ao aumento populacional e à quantificação, cada vez mais fundamentada, das necessidades ambientais. As disponibilidades hídricas, por sua vez, são limitadas pela distribuição geográfica e temporal da água, por vezes inadequada ao atendimento das demandas, além da exploração sem controle destes recursos e a frequente degradação de sua qualidade (Lopes and Freitas, 2007).

Na tentativa de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a este recurso, a Lei Federal 9.433/1997 instituiu o instrumento de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, instrumento legal de alocação de água entre os diversos usos na bacia hidrográfica (Brasil, 1997), sendo os seus critérios gerais estabelecidos na Resolução n° 16/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2001).

Na maioria dos estados brasileiros, o procedimento de alocação de água para fins de outorga baseia-se em vazões de referência e no estabelecimento de limites de utilização dessas vazões. Além de apresentar como vantagem a simplicidade de sua implementação, o uso da vazão de referência aumenta a confiabilidade de atendimento, pois diminui a ocorrência de falhas (Ribeiro, 2000). Esta garantia de atendimento ou de permanência é necessária para que os usuários possam realizar um melhor planejamento de suas atividades e investimentos em seus empreendimentos.

Diante deste cenário, este trabalho objetiva verificar a máxima disponibilidade hídrica passível de ser alocada dos reservatórios da região semiárida do Rio Grande do Norte, para diferentes garantias de atendimento, sem comprometer a sustentabilidade dos açudes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em doze reservatórios da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, localizados no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

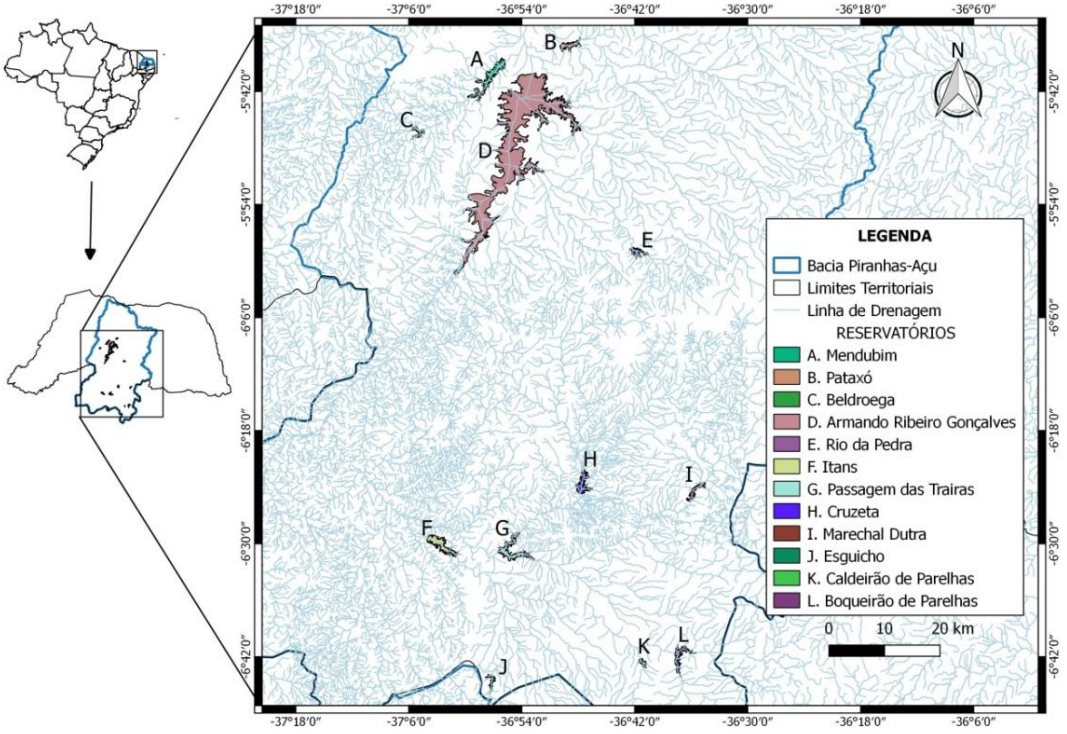

Figura 1: Localização da área de estudo

Estes reservatórios são responsáveis pelo abastecimento de mais de 40 municípios potiguares dentro e fora da bacia, somando uma demanda para atendimento dos múltiplos usos de aproximadamente 22 m^3/s. Deste valor, apenas 1,44 m^3/s, o que corresponde a menos de 6% da total requerido, são destinado para os usos prioritários, enquanto que 53% da demanda total é alocada para a irrigação (ANA, 2016) (Tabela 1).

Tabela 1: Informações dos reservatórios estudados

Reservatórios	Capacidade Máxima	Demandas (m^3/s)					
	(hm^3)	Ab. Humano	Pecuária	Irrigação	Industrial	Aquicultura	Total
Armando Ribeiro Gonçalves	2.400,00	0,860	0,060	7,259	0,119	8,420	16,718
Boqueirão de Parelhas	84,79	0,093	0,029	0,697	0,083	0,000	0,902
Itans	81,75	0,006	0,027	0,675	0,087	0,000	0,795
Mendubim	76,35	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000	0,091
Passagem das Traíras	49,70	0,038	0,022	0,676	0,013	0,003	0,752
Marechal Dutra	44,42	0,125	0,013	0,649	0,012	0,000	0,799
Esguicho	27,94	0,010	0,005	0,062	0,000	0,000	0,077
Cruzeta	23,55	0,028	0,026	0,874	0,010	0,000	0,938
Pataxó	15,02	0,028	0,012	0,016	0,004	0,000	0,060
Rio da Pedra	13,60	0,024	0,014	0,080	0,000	0,029	0,147
Caldeirão de Parelhas	9,32	0,005	0,004	0,085	0,005	0,000	0,099
Beldroega	8,06	0,001	0,007	0,080	0,000	0,000	0,088

Fonte: ANA, 2016

A bacia hidrográfica, na qual estão inseridos os reservatórios analisados, é caracterizada pelo clima do tipo semiárido, com precipitação anual variando de 500 a 700 mm, evaporação média Piché de 2.338 mm/ano e a evapotranspiração, segundo os métodos de Hargreaves e Penman-Monteith, da ordem, respectivamente, de 1.620 mm/ano e 1.786 mm/ano (ANA, 2016).

Além disso, apresenta chuvas concentradas em poucos meses do ano e um padrão de forte variabilidade interanual, caracterizado pela alternância entre anos de pluviosidade acima da média, regular e anos consecutivos de valores abaixo da média, que resultam numa rede hidrográfica com rios intermitente, baixa disponibilidade hídrica e ocorrência de secas prolongadas (ANA, 2016).

2.2 Simulação e Otimização

Visando alcançar o objetivo proposto, foram utilizadas na metodologia as técnicas de simulação e otimização. A metodologia foi aplicada individualmente para os doze reservatórios analisados e seus dados de entrada referem-se à série histórica de 1962 a 2009, o que corresponde a 48 anos de dados.

2.2.1 Simulação

Para efetuar as simulações dos reservatórios estudados, em termos quantitativos, foi realizado o balanço hídrico mensal, dado por:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - D(t) - E(t) - V(t) \quad (1)$$

Sendo S(t+1) o volume do reservatório no final do mês t; S(t) o volume do reservatório no mês anterior; Q(t) o volume afluente ao reservatório no mês t; D(t) o volume efluente total do reservatório para atender as demandas, incluindo os usuários a jusante do reservatório no mês t; E(t) o volume evaporado no mês t, já descontado da chuva direta sobre o reservatório e V(t) o volume vertido no mês t.

Os valores armazenados S(t+1) foram limitados inferiormente pelo volume morto ($S_{Mín}$), indicando que abaixo deste volume teríamos falha no atendimento das demandas; e superiormente

pelo volume máximo ($S_{Máx}$), indicando que acima deste valor ocorre vertimento da água. Isto introduziu as seguintes inequações:

$$S(t+1) \leq S_{Máx} \quad (2)$$

$$S(t+1) \geq S_{Mín} \quad (3)$$

Ressalta-se que os dados de vazões naturais afluentes ao reservatório, evaporação e precipitação foram retirados do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Piancó Piranhas-Açu, elaborado pela Agencia Nacional de Águas no ano de 2016, correspondente à série histórica de 1962 a 2009. Os dados referentes à curva Cota-Área-Volume (CAV), volume máximo e mínimo de cada reservatório foram retirados da ficha técnica dos açudes disponibilizada pela Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH/RN, 2018).

2.2.2 Otimização

A fim de verificar a máxima demanda passível der ser atendida, com diferentes garantias, e garantindo a sustentabilidade hídrica dos reservatórios em termos quantitativos, foi considerada a seguinte função objetivo no modelo:

$$FO = min\left\{\sum_{t=1}^{N}[D(t) - R(t)]\right\} \quad (4)$$

Esta função (Equação 4) procurou minimizar a diferença entre a demanda existente e a vazão passível de ser outorgada, considerando apenas o aspecto quantitativo, sendo t o período de tempo analisado, N o horizonte da operação, D(t) o volume de água requerido para atendimento de todas as demandas no tempo t e R(t) o volume de água disponível para ser alocado no tempo t.

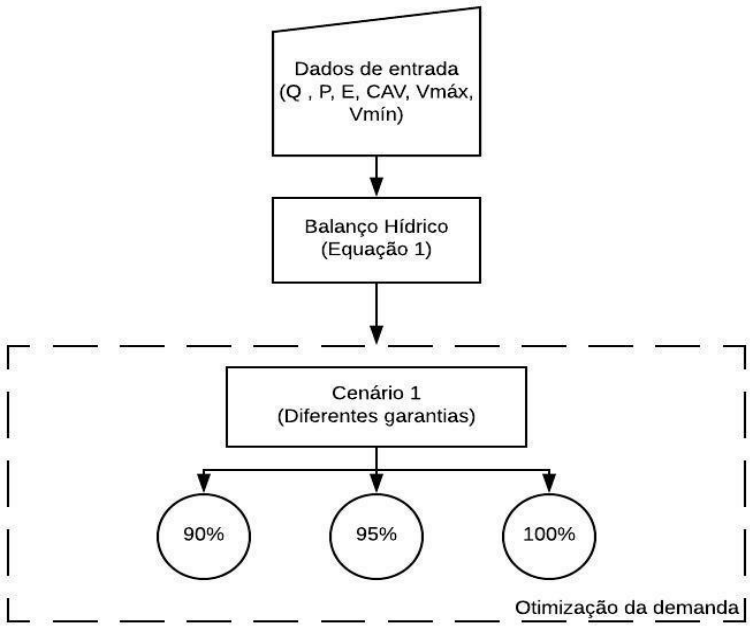

Figura 2: Estrutura da metodologia proposta para diferentes garantias de atendimento

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram que apenas a Armando Ribeiro Gonçalves, Mendubim e Esguicho são capazes atender todos os usos requeridos com 100% de garantia. Os reservatórios Marechal Dutra, Cruzeta, Pataxó, Rio da Pedra e Beldroega apresentaram vazão alocada igual a zero para esta garantia de atendimento (Tabela 2).

Com a redução da garantia para 95%, todos os reservatório apresentaram possibilidade de alocação de água, e apenas Rio da Pedra continuou com vazão regularizada igual a zero.

Para o atendimento dos múltiplos usos com 90% de garantia, como é feito atualmente no Estado do Rio Grande do Norte, os resultados mostraram que os reservatórios Armando Ribeiro Gonçalves, Mendubim, Passagem das Traíras, Esguicho e Pataxó apresentaram valores outorgáveis superiores aos requeridos atualmente. Estes valores variaram de 1,39 (Pataxó) a 6,00 (Esguicho) vezes a mais que a demanda requerida. Os demais reservatórios, com exceção de Rio da Pedra que não se mostrou capaz de regularizar vazão, embora não tenham apresentado valores de demandas suficientes para o atendimento dos múltiplos usos requeridos atualmente, apresentaram valores outorgáveis suficientes para atendimento dos usos prioritários e parcialmente os demais usos.

Os resultados comprovaram, portanto, que a maioria dos reservatórios da região semiárida (~60%) não é capaz de atender a demanda requerida, sendo o maior déficit hídrico verificado nos açudes Cruzeta (0,8 m^3/s) e Marechal Dutra (0,6 m^3/s), os quais apresentaram demandas sete e quatro vezes superiores ao máximo passível de alocação, respectivamente.

Tabela 2: Disponibilidade hídrica dos reservatórios para diferentes garantias de atendimento

Reservatórios	Demanda máxima outorgável (m^3/s)			Demanda Requerida (m^3/s)
	100% de Garantia	95% de Garantia	90% de Garantia	
Armando Ribeiro	18,990	25,040	30,800	16,718
Boqueirão de Parelhas	0,140	0,300	0,390	0,902
Itans	0,440	0,600	0,700	0,795
Mendubim	0,180	0,330	0,420	0,091
Passagem das Traíras	0,370	0,730	1,050	0,752
Marechal Dutra	0,000	0,025	0,200	0,799
Esguicho	0,180	0,350	0,450	0,077
Cruzeta	0,000	0,037	0,140	0,938
Pataxó	0,000	0,060	0,150	0,060
Rio da Pedra	0,000	0,000	0,000	0,147
Caldeirão de Parelhas	0,001	0,016	0,027	0,099
Beldroega	0,000	0,030	0,050	0,088

Ressalta-se, entretanto, que o cálculo da demanda máxima passível de ser alocada depende de variáveis que na sua grande maioria apresentam incertezas associadas à sua estimativa. Isto tem resultado em diferentes valores de disponibilidade hídrica passíveis de serem outorgadas, a depender da metodologia utilizada na geração dos dados de entrada da simulação.

Estas diferenças foram evidenciadas quando confrontados os valores outorgáveis apresentados no Plano Estadual de Recurso Hídricos do Rio Grande do Norte (PERH/RN), no Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) e no Plano de Recursos Hídricos da bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu (PRH –PPA)(Tabela 3).

Tabela 3: Disponibilidade hídrica dos reservatórios em diferentes estudos

	Demanda máxima outorgável com 90% de garantia (m³/s)			
Reservatórios	Pesquisa	PRH da Bacia do Rio-Piancó-Piranhas-Açu	PISF	PERH/RN
Armando Ribeiro	30,800	22,210	19,240	28,060
Boqueirão de Parelhas	0,390	0,300	0,380	0,060
Itans	0,700	0,360	0,510	0,220
Mendubim	0,420	0,330	SEM DADO	0,220
Passagem das Traíras	1,050	0,690	SEM DADO	0,450
Marechal Dutra	0,200	0,080	0,260	0,130
Esguicho	0,450	0,170	SEM DADO	SEM DADO
Cruzeta	0,140	0,080	0,250	0,100
Pataxó	0,150	0,120	SEM DADO	SEM DADO
Rio da Pedra	0,000	0,010	0,040	0,006
Caldeirão de Parelhas	0,027	0,020	0,070	0,003
Beldroega	0,050	0,030	SEM DADO	SEM DADO

Uma análise comparativa entre os dados do Plano da Bacia (PRH-PPA), elaborado mais recentemente, e do Plano Estadual (PERH/RN), elaborado em 1998, por exemplo, nos permitiu verificar que houve um aumento na disponibilidade hídrica em 50% dos reservatórios analisados. Este aumento chegou a atingir, em termos percentuais, 500% em Boqueirão de Parelhas, 670% em Caldeirão de Parelhas e 165% em Itans, o que implica em diferenças consideráveis nas demandas passíveis de serem outorgadas no processo de alocação de água.

O resultado disto é a dúvida da real disponibilidade hídrica dos reservatórios, o que acaba induzindo o gestor a tomar decisões que podem, por um lado, sobrecarregar os recursos hídricos, autorizando o uso da água quando já não se é mais possível alocar, ou, por outro lado, restringir a liberação de outorgas, inviabilizando atividades, por acreditar que o reservatório já se encontra no seu limite de valor outorgável de acordo com os estudos oficiais da bacia ou do Estado.

4. CONCLUSÃO

A maioria dos reservatórios localizados na região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte apresentam demandas requeridas superiores à disponibilidade hídrica dos açudes, o que corrobora para o frequente cenário de escassez hídrica vivenciada na região.

Embora a maioria dos reservatórios não apresente disponibilidade hídrica para o atendimento da demanda total requerida em 90% do tempo, eles apresentam vazões suficientes para garantir o atendimento dos usos prioritários.

As incertezas associadas às variáveis de entrada no cálculo da disponibilidade hídrica dos reservatórios geram dúvidas quanto ao real valor passível de ser outorgado para atendimento dos múltiplos usos sem comprometer a sustentabilidade hídrica dos açudes.

5. REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piancó Piranhas-Açu.** Resumo Executivo. ANA, 2016

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 16 de 08 de maio de 2001. **Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.** Disponível em: < http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 20 fev.2018.

BRASIL. Lei nº 9. 433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm> Acesso em: 10 jan. 2018.

Lopes, A.V., Freitas, M.A. de S., 2007. **A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos : experiências brasileiras**. Rega 4, 5–28.

Ribeiro M. M. R. (2000). **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água**: simulação de um caso. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre – RS, 200p.

SEMARH/RN – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. **Situação volumétrica de reservatórios do Rio Grande do Norte.** Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/>. Acessado em: 20 mar.2018.