

**IV-181 – IMPACTO QUANTITATIVO DO REÚSO INDIRETO NÃO PLANEJADO DE ÁGUAS NA GARANTIA DO AÇUDE AYRES DE SOUSA, CEARÁ**

**Ronner Braga Gondim<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Especialista em Águas de Abastecimento e Residuárias pelo CEFET-CE (IFCE). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Superintendente de Sustentabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

**José Carlos de Araújo<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Hannover. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC.

**Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação e Drenagem e Doutor pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030 – Vila União - Fortaleza - CE - CEP: 60.420-280 - Brasil - Tel: (85) 3101.1897 - e-mail: [ronner.gondim@cagece.com.br](mailto:ronner.gondim@cagece.com.br).

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Agrícola, Campus do Pici, Bloco 804, Fortaleza – CEP: 60455-760 – Brasil - e-mails: [jcaraujo@ufc.br](mailto:jcaraujo@ufc.br) & [costacag@gmail.com](mailto:costacag@gmail.com).

## RESUMO

A gestão dos reservatórios do semiárido nordestino possui importância estratégica na garantia do abastecimento de água para múltiplos usos. A elevada perda de água por evaporação e infiltração na superfície dos reservatórios e na transposição de água são importantes processos que reduzem a eficiência no suprimento hídrico. Portanto, é imprescindível que os modelos de gestão sejam auxiliados por modelos hidrológicos e de alocação eficientes. Geralmente, o retorno das águas residuárias geradas pelas múltiplas demandas aos corpos hídricos são desconsiderados nos modelos, ou seja, ignora-se o reúso indireto que incrementa as vazões afluentes de reservatórios a jusante. O objetivo deste estudo é avaliar o impacto quantitativo do reúso indireto não planejado na garantia do Açude Ayres de Sousa. Foram utilizados os Modelos VYELAS (*Volume-Yield Elasticity*) para quantificação da vazão máxima outorgável; o WASA (*Water Availability in Semi-Arid Environments*) como modelo hidrológico para geração de deflúvio e o SIGA (Sistema de Informações para Gerenciamento da Alocação de Água) como ferramenta de simulação operacional dos reservatórios e de alocação de água. Comparando os resultados dos cenários com e sem reúso indireto de águas, foi possível constatar que a inclusão do reúso indireto no modelo resultou no aumento de 0,8% na garantia do Açude Ayres de Sousa, para o período analisado de 38 anos. Entretanto, a importância do reúso indireto no modelo se torna evidente ao analisar o período da seca de 2012-17, obtendo-se um incremento médio de 2,8% no período, e máximo de 10,6% no mês mais crítico. Do ponto de vista quantitativo, o reúso indireto não planejado é relevante em períodos prolongados de seca, principalmente quando os reservatórios atingem estoques críticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escassez hídrica, Modelos hidrológicos, Reúso indireto de água, Açude Ayres de Sousa.

## INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil ser um país privilegiado com relação aos seus recursos hídricos, detendo aproximadamente 14% das águas doces do planeta, possui graves problemas de diagnóstico, avaliação estratégica e gestão de seus recursos hídricos (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010; JACOBI; GRANDISOLI, 2017).

O problema da escassez hídrica é ainda maior para o semiárido brasileiro, região de aproximadamente 970.000 km<sup>2</sup>, que envolve 8 (oito) estados do Nordeste e Norte de Minas Gerais. É considerada a região mais seca do país com histórico de precipitação média anual abaixo de 750mm, sendo característico o padrão irregular de chuvas durante o ano, os rios intermitentes e o baixo escoamento superficial (BRASIL, 2006; ROCHA; SOARES, 2015).

O estado do Ceará, quase todo inserido na região semiárida, convive permanentemente com a estiagem de forma cíclica, sendo a açudagem e a transposição de água as principais estratégias adotadas de enfrentamento da seca nas últimas décadas (MOLLE, 1994; CAMPOS, 2014; CIRILO, 2015). Porém, pouco se conhece a respeito da influência do reúso indireto no estoque hídrico de reservatórios.

O reúso indireto não planejado, que é quando a água, após consumida em atividades humanas, é descarregada no meio ambiente e utilizada a jusante de maneira não intencional e não controlada, pode ter papel importante no aporte de reservatórios à jusante, principalmente em períodos de estiagem.

Torna-se cada vez mais importante que os recursos hídricos, tanto de fontes naturais quanto de reúso de águas, sejam melhor gerenciados para enfrentar os problemas de escassez hídrica e de piora de qualidade. Para isso, cada vez mais, ferramentas computacionais avançadas têm sido adotadas para simulação e otimização de sistemas hídricos.

Foi objeto deste estudo a mensuração do impacto quantitativo do reúso indireto não planejado de águas no Açude Ayres de Sousa, localizado em Sobral, Ceará, proveniente das águas residuárias de usos à montante. Para isso, foi adotado o *WASA - Water Availability in Semi-Arid Environments*, modelo hidrológico para geração de vazões afluentes; o *VYELAS - Volume-Yield Elasticity*, modelo estocástico de planejamento de recursos hídricos para determinação de garantias em função das vazões de retirada, e o *SIGA - Sistema e Informações para Gerenciamento da Alocação de Água*, modelo de simulação de alocação de água para avaliação operacional do reservatório, considerando um tempo de simulação de 38 (trinta e oito) anos (1980-2017).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia da pesquisa consistiu inicialmente na caracterização do sistema hídrico do Açude Ayres de Sousa, com informações de localização, população, hidrografia, reservatórios, clima, geologia, hidrogeologia, relevo, solo, vegetação, saneamento básico, agricultura e pecuária. Essa caracterização geral permitiu uma melhor compreensão das variáveis mais relevantes do estudo.

O Açude Ayres de Sousa, com capacidade atual de 96,8 hm<sup>3</sup>, está localizado na cidade de Sobral-CE. O reservatório, construído em 1936, é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 80% do município de Sobral, dos distritos de Jaibaras e Aprazível e de comunidades circunvizinhas. Também fornece água para o perímetro irrigado homônimo, polos de piscicultura e dessedentação de animais. É um dos reservatórios utilizados para a perenização do Rio Acaraú (COGERH, 2010).

A bacia hidrográfica do Açude Ayres de Sousa possui uma área de drenagem de 1.102 km<sup>2</sup>, englobando os municípios de Graça, Pacujá, Mucambo, Reriutaba e Sobral. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', com predominância de clima semiárido. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 820 mm, com alta variabilidade temporal e espacial e 90% das chuvas se concentrando entre janeiro e maio (COGERH, 2010).

O açude Ayres de Sousa conta com um reforço hídrico do Açude Taquara, com capacidade de 274 hm<sup>3</sup>, construído em 2012 alguns quilômetros a montante, operando em regime de dependência, ou seja, aumenta a vazão de liberação quando o açude Ayres de Sousa estiver com volume reduzido.

A partir da caracterização da área de estudo, foi elaborado um SIG (Sistema de Informação Geográfica) com as principais informações fisiográficas da bacia, utilizando o Software QGIS versão 2.18, para auxiliar na montagem da rede de fluxo no SIGA.

A etapa seguinte consistiu na construção gráfica do sistema hídrico do Açude Ayres de Sousa no Software SIGA (Sistema e Informações para Gerenciamento da Alocação de Água), desenvolvido pela FUNCEME, composto basicamente de reservatórios (fontes), links (rios, canais e tubulações), e demandas (população a ser abastecida, polos industriais, perímetros irrigados e demandas difusas). A partir da rede desenhada, procedeu-se com a obtenção de dados de entrada requeridos pelo SIGA, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Principais dados de entrada do SIGA e suas fontes**

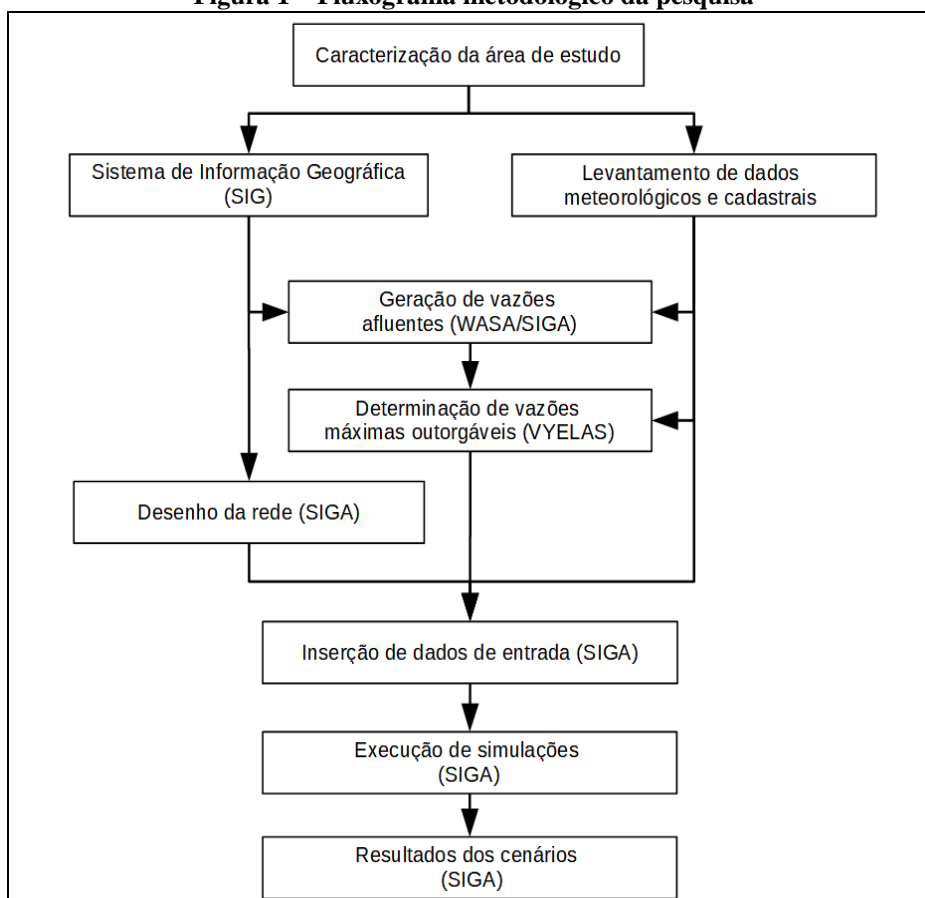
Fonte	Período	Dados de entrada
FUNCEME	01/01/1980 a 31/08/2017	Série diária de vazões afluentes gerada pelo modelo WASA e de precipitações
INMET	01/01/1980 a 31/08/2017	Série diária de evaporação
COGERH	2011 a 2017	Curva cota-área-volume (CAV), volumes mínimos, máximos e iniciais (01/01/2018) dos reservatórios, vazões de retirada praticadas pela COGERH e demandas de água bruta (abastecimento humano, perímetros irrigados, indústrias)
CAGECE/ SAAE	2010, 2016	Dados de demandas de abastecimento humano, consumo <i>per capita</i> de água, perdas no tratamento e distribuição
Própria	-	Vazão máxima outorgável (90% do $Q_{90}$ ), estimativa de perda em trânsito estimada, série de evaporação ajustada (com preenchimento de falhas)

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Optou-se por utilizar a modalidade de simulação do SIGA, considerando limite de vazão a ser retirada de 90% do  $Q_{90}$ , conforme Decreto nº 31.076/2012 que regulamenta a lei nº14.844/2010 do Estado do Ceará. A Vazão  $Q_{90}$  foi determinada pelo modelo estocástico VYELAS (*Volume-Yield Elasticity*), desenvolvido por De Araújo, Güntner e Bronstert (2006).

Para um melhor entendimento das etapas da pesquisa, o estudo foi estruturado conforme fluxograma apresentado na Figura 1.

**Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As simulações operacionais foram executadas em dois cenários diferentes para mensuração dos impactos quantitativos na garantia do reservatório:

- Cenário 1: Simulações operacionais sem considerar o reúso indireto não planejado;
- Cenário 2: Simulações operacionais considerando o reúso indireto não planejado.

As vazões afluentes do Açude Ayres de Sousa foram geradas com o apoio da FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, utilizando, além de dados meteorológicos, informações de sub-bacias, unidades de paisagem, vegetação, elevação e componentes do terreno em ambiente GIS.

Os modelos VYELAS e SIGA exigem a alimentação de diversos parâmetros e dados de entrada, principalmente àqueles relacionados à vazão, volume, fatores de forma, dados dimensionais e operacionais do reservatório, precipitação, evaporação, demanda hídrica, limites de retirada, perda em trânsito, coeficientes de retorno e regras de priorização. Os dados de entrada utilizados pelos dois modelos estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Dados utilizados pelos modelos VYELAS e SIGA para o Açude Ayres de Sousa**

Dado	Modelo	Valor
Vazão afluente média anual (hm <sup>3</sup> /ano)	VYELAS	193,91
Coefficiente de variação anual afluente	VYELAS	0,850
Fator de forma do reservatório	VYELAS	6109
Evaporação no período seco (m/ano)	VYELAS	1,80
Capacidade do reservatório (hm <sup>3</sup> )	VYELAS	96,80
Volume mínimo operacional (hm <sup>3</sup> )	VYELAS	7,42
Volume inicial no primeiro ano (hm <sup>3</sup> )	VYELAS	49,03
No de passos de vazão regularizada	VYELAS	1000
Vazão regularizada mínima (hm <sup>3</sup> /ano)	VYELAS	0,01
Vazão regularizada máxima (hm <sup>3</sup> /ano)	VYELAS	60,00
Nº de simulações do procedimento estocástico	VYELAS	10000
Vazão de retirada (m <sup>3</sup> /s)	SIGA	1,10
Precipitação diária (mm)	SIGA	série
Evaporação diária (mm)	SIGA	série
Curva Cota-Área-Volume (CAV)	SIGA	pontos (X,Y)
Vazões afluentes (WASA) (m <sup>3</sup> /s)	SIGA	série
Regra de liberação	SIGA	constante
Demanda de abastecimento humano (L/s)	SIGA	420,90
Demanda difusa (L/s)	SIGA	55,00
Demanda de irrigação (L/s)	SIGA	110,00
Demanda industrial (L/s)	SIGA	20,50
Demanda de perenização do Rio Acaraú (L/s)	SIGA	315,60
Vazão de perda em trânsito	SIGA	178,00
Taxa de perda em trânsito em rio (%/km)	SIGA	1,18
Priorização das demandas	SIGA	Adaptado da PERH <sup>(1)</sup>
Coefficiente de retorno – Abastecimento Humano	SIGA	0,80
Coefficiente de retorno – Demanda Difusa	SIGA	0,50
Coefficiente de retorno – Demanda Industrial	SIGA	0,80
Coefficiente de retorno – Demanda de Irrigação	SIGA	0,20

<sup>(1)</sup> PERH – Política Estadual de Recursos Hídricos.

## RESULTADOS

Utilizando o VYELAS, foi possível obter a vazão com garantia de 90% (Q<sub>90</sub>) do açude Ayres de Sousa, de 1,50 m<sup>3</sup>/s. Portanto, a vazão máxima outorgável (90% do Q<sub>90</sub>), para este reservatório, é de 1,35 m<sup>3</sup>/s, valor acima da vazão de retirada praticada de 1,1 m<sup>3</sup>/s. Portanto, a vazão liberada atual atende à legislação estadual cearense.

Com base na vazão de retirada de 1,1 m<sup>3</sup>/s, a garantia determinada pelo SIGA foi de 97,4%, sem considerar o efeito do reúso indireto não planejado. Analisando individualmente cada demanda, de acordo com as regras de priorização definidas, o nível de atendimento das demandas variou de 97,4 a 98,5%, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Nível de atendimento individual das demandas**

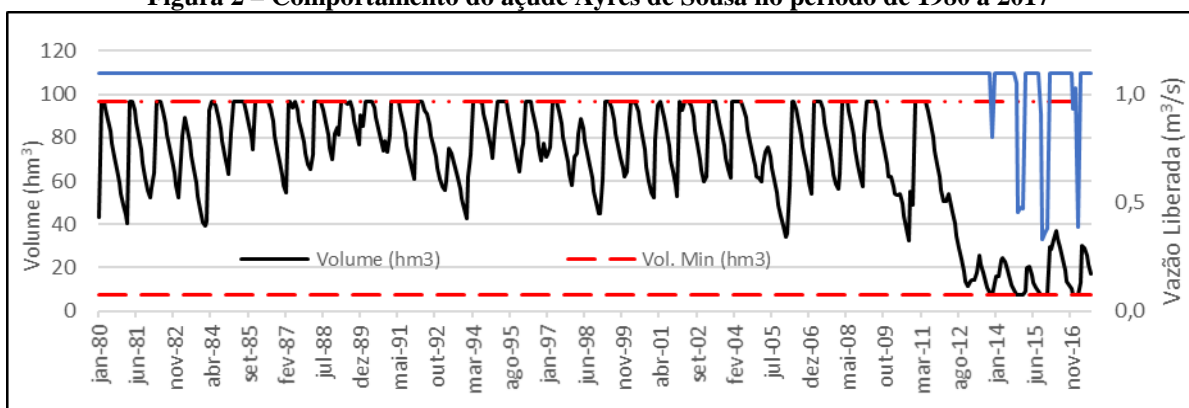
Açude / Rio Acaraú	Vazão liberada (L/s)	Demanda total (L/s)	Demanda detalhada (L/s)		Eventos de sucesso	Eventos de falha	Nível de atendimento (%)
Ayres de Sousa	1.100	1.100	Abastecimento Humano	420,9	443	9	98,0
			Demanda difusa	55,0	445	7	98,5
			Demanda de irrigação	110,0	440	12	97,4
			Demanda industrial	20,5	442	10	97,8
			Perenização de rio	315,6	-	-	-
			Perda em trânsito	178,0	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As falhas no abastecimento para demanda de irrigação e industrial já era esperado pelo fato de serem demandas menos prioritárias em relação as de abastecimento humano e difusas, que também inclui o abastecimento de pequenas comunidades.

Foi possível obter ainda pelo SIGA o comportamento do reservatório ao longo dos 38 anos de estudo (1980-2017), conforme apresentado na Figura 2.

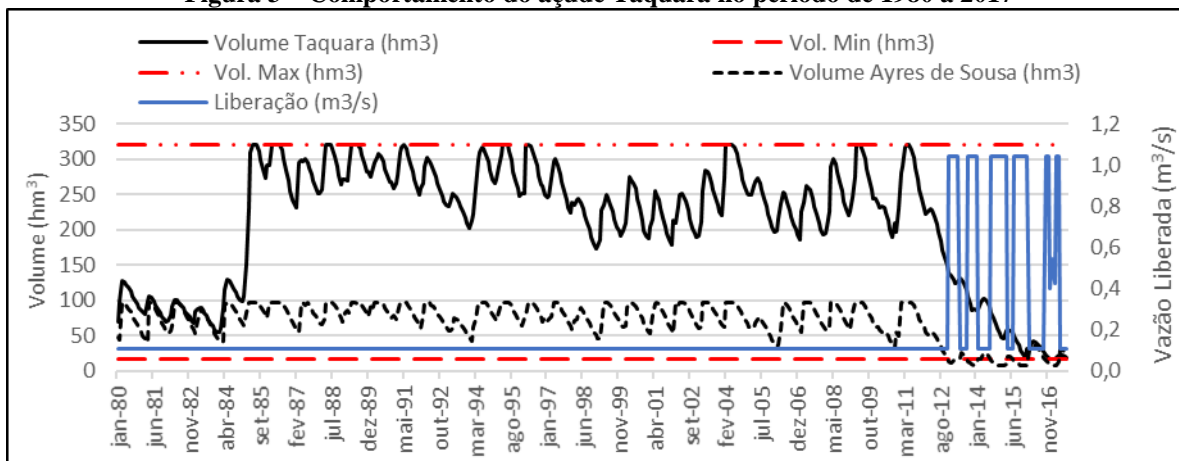
**Figura 2 – Comportamento do açude Ayres de Sousa no período de 1980 a 2017**



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

O comportamento do Açude Ayres de Sousa é compatível com sua garantia calculada em 97,4%. Ficou demonstrado ainda na simulação que mesmo com o reforço hídrico proveniente do açude Taquara, o açude Ayres de Sousa falhou na liberação da vazão de 1,1 m<sup>3</sup>/s no período de 2012 a 2017, resultante da estiagem prolongada. O comportamento do açude Taquara está apresentado na Figura 3.

**Figura 3 – Comportamento do açude Taquara no período de 1980 a 2017**

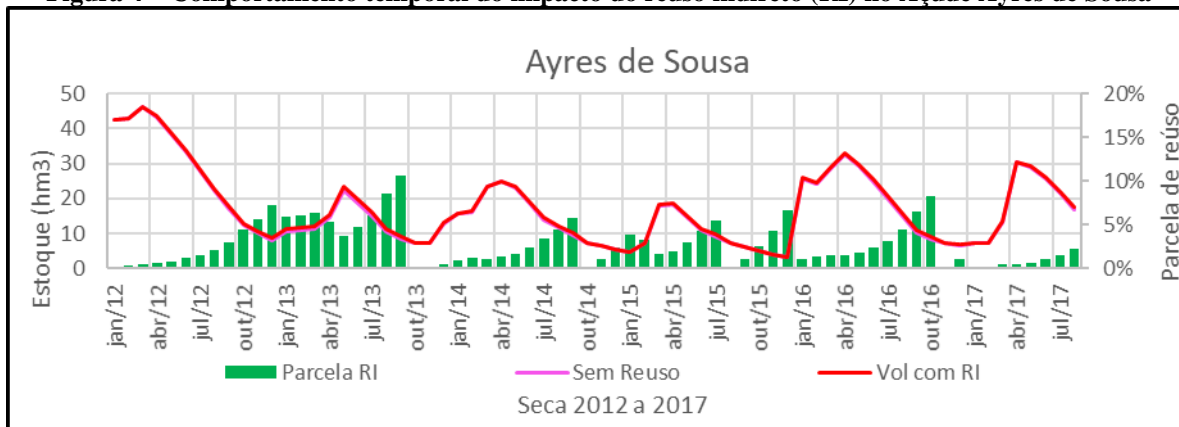


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Considerando as águas residuárias afluentes ao açude Ayres de Sousa, o reúso indireto não planejado elevou a garantia do reservatório, de 97,4 para 98,2%, correspondendo em um aumento de 0,8% no período analisado de 38 anos (1980-2017).

O impacto do reúso indireto também foi verificado para o último período de seca de 2012 a 2017, com o intuito de avaliar a sua parcela de contribuição no estoque mensal do açude, obtendo-se um incremento médio de 2,8% no período, e um incremento máximo de 10,6% no mês mais crítico. Constata-se, portanto, que a parcela de reúso indireto se torna relevante nos períodos de estiagem. O impacto do reúso indireto no tempo pode ser melhor demonstrado na Figura 4.

**Figura 4 – Comportamento temporal do impacto do reúso indireto (RI) no Açude Ayres de Sousa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os impactos percentuais determinados poderão ser diferentes para outros reservatórios, em função da existência ou não de municípios à montante do açude, porte do reservatório e magnitude das vazões naturais afluentes em decorrência da sua área de drenagem.

## CONCLUSÕES

A vazão de liberação praticada pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) de 1,1 m<sup>3</sup>/s para o açude Ayres de Sousa atende ao limite outorgável de 1,35 m<sup>3</sup>/s (90% do Q<sub>90</sub>), conforme Decreto nº 31.076/2012 do Estado do Ceará.

Os níveis de atendimento aos demandantes (abastecimento humano, irrigação, difusa e industrial) são elevados, superiores a 97%. Como esperado, o modelo cumpriu as regras de priorização, minimizando os eventos de falha para as demandas prioritárias (abastecimento humano e demanda difusa).



Foi possível constatar na simulação que, mesmo com reforço hídrico do açude Taquara, o açude Ayres de Sousa falhou na liberação de 1,1 m<sup>3</sup>/s no período de seca prolongada de 2012 a 2017.

O aumento da garantia do reservatório em decorrência do reúso indireto não planejado foi de 0,8%. O baixo incremento de garantia é explicado pelo fato de as vazões incrementais de reúso indireto serem muito pequenas em relação às vazões afluentes naturais, ao se analisar um período longo de 38 (trinta e oito) anos.

O impacto do reúso indireto se torna relevante ao se analisar a janela temporal de seca entre 2012 a 2017, obtendo-se um incremento máximo de 10,6% no açude Ayres de Sousa para o mês mais crítico. Portanto, nos períodos de estiagem, o reúso indireto pode ter papel importante no aporte de reservatórios em situações de crise hídrica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço o apoio dos Professores José Carlos Araújo e Carlos Alexandre Gomes Costa, e das entidades UFC, FUNCEME, COGERH, CAGECE, HIDROSED e CNPq.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B (Orgs.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. 224 p.
2. BRASIL. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 09 mar. 2006.
3. CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 65–88, 2014.
4. CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, v. 106, p. 45–48, 2015.
5. COGERH. **Inventário Ambiental do Açude Ayres de Sousa: Relatório – Fatores condicionantes da qualidade das águas**. Fortaleza, 2010. 48 p.
6. DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 51, n. 1, p. 157–170, 2006.
7. JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. **Água e Sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções**. 1ª. ed. São Paulo: IEE-USP e Reconnectta, 2017. 110 p.
8. MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, 1994. 193 p.
9. ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, [s. l.], v. 112, p. 72–91, 2015.