

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DOS SERTÕES DE CRATEÚS, ESTADO DO CEARÁ

Caio Soares Rosa¹; Alan Michell Barros Alexandre²; Daniel Antônio Camelo Cid³.

RESUMO – A Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús passou por um longo período de escassez hídrica na década passada, assim como outras regiões do estado do Ceará. Os baixos valores e a intermitência das precipitações impossibilitaram o armazenamento de longo prazo para os reservatórios responsáveis pelo abastecimento urbano. O presente estudo tem como objetivo a análise do comportamento destes mananciais a partir das vazões afluentes entre 1912 e 2018 de modo a suprir as demandas observadas no ano de 2019. A capacidade dos reservatórios foi dividida em quatro zonas e foi avaliada a frequência com que os volumes simulados permanecem em cada zona, a probabilidade de mudança entre estas e o tempo de recarga uma vez que sai de uma das zonas. De modo geral, foi observado que os sistemas já se encontram sobrecarregado para o uso atuais, composto basicamente do abastecimento humano. A fragilidade destes limita qualquer aumento nas demandas, consequentemente o desenvolvimento regional nos mais variados aspectos.

ABSTRACT – The Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús has experienced a long period of water scarcity in the past decade, as have other regions in the of Ceará state. Low values and intermittent rainfall made long-term storage impossible for the reservoirs responsible for urban supply. The present study aims to analyze the behavior of these storage reservoir from the synthetic streamflow between 1912 and 2018 in order to supply the demands observed in 2019. The capacity of the reservoirs was divided into four zones and the frequency with which the simulated volumes remain in each zone, the probability of change between them and the recharge time once it leaves one of the zones. In general, it was observed that the systems are already overloaded for current use, basically composed of human supply. The fragility of these limits any increase in demands, and consequently regional development in the most varied aspects.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica, Abastecimento humano, LabSid AcquaNet.

1) Engenheiro Civil, Universidade Federal do Ceará. BR 226, km 4. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, caiorosa_@outlook.com

2) Prof. Adjunto, Universidade Federal do Ceará. BR 226, km 4. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, alanmichell@crateus.ufc.br

3) Pesquisado da FUNCEME-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Av Rui Barbosa,1246. Fortaleza-CE. daniel.cid@funceme.br

INTRODUÇÃO

O Ceará, assim como outros estados nordestinos, possui um elevado nível de vulnerabilidade em seus recursos hídricos. A última década foi marcada por um período de escassez hídricas de grandes proporções entre os anos de 2011 e 2017, deixando graves marcas na população regional, agricultura, indústria e demais atividade que demandem volumes expressivos de água.

Na Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús (RHSC), a seca foi ainda mais severa que para os demais locais do estado. O sistema de abastecimento que em 2009 contava com 99,63% da sua capacidade de armazenamento, reduziu para apenas 0,61% no ano de 2015, de acordo com Ceará (2015), tendo este como o limite crítico para a região. A solução paliativa foi encontrada no açude Araras, localizado no município de Varjota, e pertencente a bacia hidrográfica do rio Acaraú, a transposição foi realizada através de 150 km de Adutora de Montagem Rápida.

Assim, fica evidente a necessidade estudos amplos acerca do comportamento dos reservatórios da RHSC que possibilitem identificar e quantificar suas fragilidades, desenvolvimento de modelos hidrológicos detalhados para cenarização de operação, de modo a subsidiar as tomadas de decisões para a maior eficiência do sistema existente, controlando suas demandas, definindo prioridades de abastecimento e a análise da necessidade de ampliação do sistema.

O presente estudo tem como objetivo a análise da operação dos reservatórios localizados na RHSC, com enfoque aos responsáveis pelo abastecimento dos municípios de Crateús, Independência, Novo Oriente e Quiterianópolis. Para tal, foram realizadas: i) a modelagem do hidrossistema de abastecimento destes municípios com seus reservatórios, interligações e pontos de captação; ii) a simulação da operação deste para um período de 107 anos, considerando as demandas atuais; iii) a avaliação da disponibilidade hídrica nos reservatórios e a frequência de desabastecimento municipal.

ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

A Região Hidrográfica Sertão de Crateús (RHSC) é uma das 12 regiões de planejamento e implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos. A RHSC está localizada na zona centro oeste do estado do Ceará. Essa RH é formada pela parcela cearense da bacia hidrográfica do rio Poti, o qual possui sua nascente no estado Ceará e sua foz no rio Parnaíba, no estado do Piauí. Devido sua característica interestadual o rio Poti é definido como de domínio da união. Atualmente há um esforço conjunto para que o planejamento e gestão seja realizada de forma integrada entre os dois estados e a Agência Nacional de Água. O mapa da RHSC pode ser observado na Figura 1.

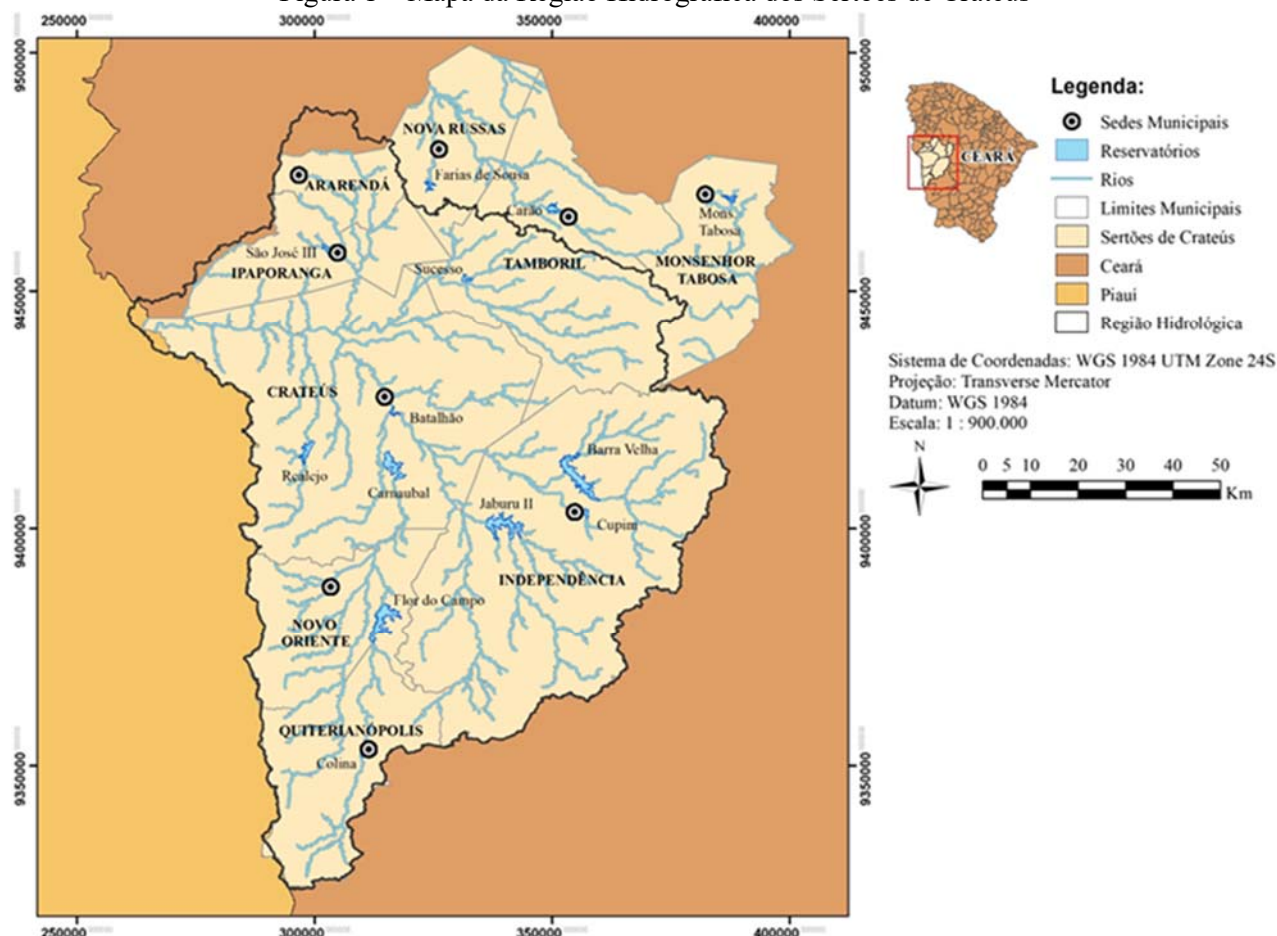
A RH possui seis sedes municipais em sua área de contribuição, no entanto foram selecionadas para o estudo: Crateús, Independência, Novo Oriente e Quiterianópolis, por serem abastecidas através de um sistema integrado de reservatórios, objeto de estudo desse trabalho. Ficaram de fora a cidade de Ipaporanga que possui um sistema isolado de abastecimento a partir do reservatório São José III e a cidade de Ararendá que não é abastecida pela RHSC. A Tabela 1 apresenta os dados populacionais, as demandas municipais para o ano de 2019, os reservatórios que as abastecem com suas respectivas capacidades máximas de acumulação.

Tabela 1 – População por município, demandas de água e reservatórios de abastecimento.

Município	População (Censo 2010)	Demanda (m ³ /s)		Reservatórios de abastecimento e capacidade de armazenamento (hm ³)
		Abastec. Humano	Outros Usos	
Crateús	72.812	0,135	0,005	Carnaubal (73,20 hm ³) e Batalhão (1,64 hm ³)
Independência	25.573	0,035	0,005	Jaburu II (101,64 hm ³), Barra Velha (99,56 hm ³) e Cupim (4,60 hm ³)
Novo Oriente	27.453	0,045	0,005	Flor do Campo (105,00 hm ³)
Quiterianópolis	19.921	0,017	0,003	Colina (4,30 hm ³)

Fonte: Dados populacionais (IPECE, 2018) e Volume dos reservatórios (COGERH, 2019).

Figura 1 – Mapa da Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús



Fonte: Elaboração própria

Operação integrada de reservatórios

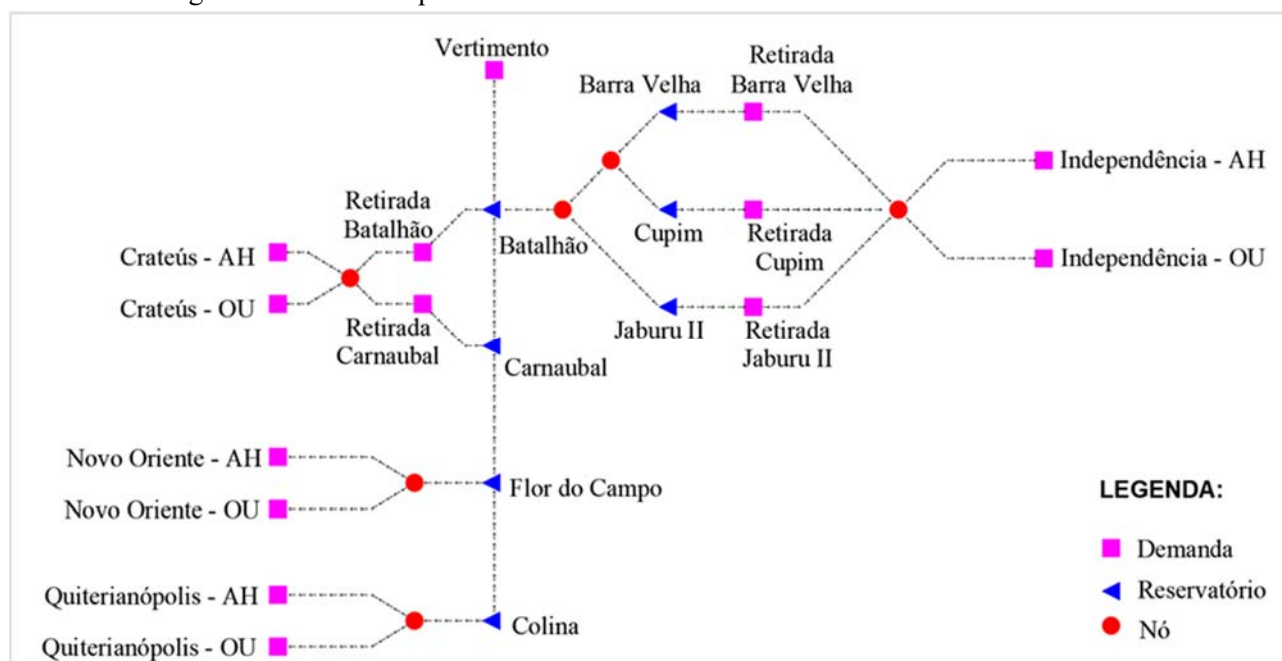
A operação de reservatórios consiste na determinação, de forma ordenada, do armazenamento e liberação de recursos, de modo a suprir cada um dos diversos usos a ele relacionado (Cid, 2019). Nesse estudo foram utilizadas as ferramentas do software LabSid AcquaNet 2013, modelo de rede de fluxos, para simulação da operação dos reservatórios e suas bacias hidrográficas, mais especificamente o módulo de alocação de água em simulação contínua, como suporte a decisão.

Para a modelagem desse modelo são necessários os dados referentes: i) aos reservatórios, dados como curva cota-área-volume, os volumes máximo, mínimo e o volume inicial do reservatório, além dos valores de evaporação mensal e a série de vazão natural afluyente; ii) aos canais, rios ou adutoras, responsáveis pelo deslocamento do recurso, os dados de capacidade máxima, mínima e de seu coeficiente de perda; iii) nós que representam as retiradas no local de demanda, a série de demandas ao longo do tempo e possíveis séries de vazão natural do local. Com esses dados é possível iniciar o processo de cálculos do software.

O software possui diversas saídas de resultados, que são divididas em quatro grandes classes de resultados: os referentes aos reservatórios, as demandas, aos nós de passagem e aos links, que servem como interligações entre os reservatórios e as demandas, ou entre outros reservatórios, podendo ser atribuídas as características em casos de rios ou adutoras. Para os reservatórios é possível obter os resultados de volumes acumulados ao longo do tempo, as vazões de entrada e saída do reservatório e o volume de água evaporado. Em termos de demandas é possível avaliar os volumes necessários e os déficits nas mesmas, assim como as vazões de entrada e saída destes elementos. Para os elementos de nós de passagem e de links é possível avaliar as séries de vazões que estão passando por estes elementos.

O hidrossistema montado para a parcela da RHSC em estudo, a partir do software LabSid AcquaNet 2013 pode ser observado na Figura 2. O esquema foi feito de forma a reproduzir as demandas de Abastecimento Humano (AH) e Outros Usos (OU) para cada município, para isso, foram utilizados nós e nos casos em que existe mais de um reservatório no município que pode abastecê-lo, foram criadas demandas de retirada, essas demandas tem como função escolher o reservatório no qual será retirado prioritariamente o volume para abastecimento, assim como permitir o fracionamento da retirada.

Figura 2 - Modelo esquemático do sistema de reservatórios dos Sertões de Crateús.



Fonte: Elaboração própria

As séries de vazões mensais afluentes aos reservatórios entre os anos de 1912 e 2018 foram obtidas a partir do estudo realizado por Rosa (2019), através do modelo SMAP mensal. Os dados de evaporação dos reservatórios fazem parte do Banco de Dados Meteorológicos – BPMET (INMET, 2019). Os dados referentes as Fichas Técnicas do Reservatórios, como a capacidade máxima de armazenamento, as curvas cota-área-volume e demais dados como as demandas municipais foram obtidas através da Companhia de Gestão do Recursos Hídricos (COGERH, 2019). Alguns destes dados já foram apresentados na Tabela 1.

CENÁRIO DE ABASTECIMENTO E METODOLOGIA DE ANÁLISE

As análises do abastecimento municipal foram realizadas a partir da operação dos reservatórios no período entre os anos de 1912 e 2018, utilizando as demandas do ano de 2019 de abastecimento humano (AH) e outros usos (OU) como constante para o período de simulação.

O município de Crateús é abastecido pelos reservatórios Carnaubal e Batalhão, no estudo analisou-se 3 cenários de abastecimento. O Cenário 1 (C1) consiste no suprimento de 100% das demandas municipais pelo reservatório Carnaubal. O Cenário (C2) apresenta uma composição dos dois reservatórios como mananciais, onde o Carnaubal é responsável pelo suprimento de 75% das demandas e o Batalhão responsável pelos 25% restantes. No Cenário (C3) o reservatório Batalhão só é acionado como manancial em casos de impossibilidade total ou parcial do abastecimento da cidade pelo açude Carnaubal.

O município de Independência conta com três reservatórios em seu território, a saber: Barra Velha, Cupim e Jaburu II. O açude Barra Velha é o principal manancial do município e em tese responsável pelo suprimento de 100% das demandas, o reservatório Cupim, devido sua proximidade

da sede municipal, é o primeiro reservatório a ser utilizado como apoio no abastecimento da cidade, sendo acionado quando o Barra Velha sozinho não consegue satisfazer a totalidade das demandas de Independência. Desta forma não há uma demanda fixa a ser captada no reservatório Cupim. No entanto, ele possui uma pequena capacidade de armazenamento, o que nem sempre permite preencher totalmente as falhas do Barra Velha.

Apesar do reservatório Jaburu II ter a maior capacidade de armazenamento do município, a sua distância da sede municipal faz com que sua disponibilidade hídrica para o abastecimento urbano seja utilizada somente em casos extremos, onde os reservatórios Barra Velha e Cupim não consigam suprir todas as demandas. Desta forma, no cenário de abastecimento não foi estabelecida uma demanda fixa para o Jaburu II.

O município de Novo Oriente e Quiterianópolis possuem apenas uma fonte de abastecimento, realizada pelos reservatórios Flor do Campo e Colina, respectivamente, portanto representando apenas uma possibilidade de suprimento das demandas.

A capacidade dos reservatórios de suprir as demandas municipais são avaliadas pela quantidade de vezes e o período de tempo que este se encontra com volumes diferentes zero, ou seja, sem desabastecimento. A operação dos reservatórios é analisada pelos volumes mensais contidos nos mesmos no período simulado, além da quantidade de tempo que esses volumes permanecem entre as subseções percentuais de acumulação nas quais os reservatórios são divididos, a partir de diferentes níveis de referência. Também é analisado o tempo que o reservatório leva para recuperar o volume uma vez que sai de uma faixa e a quantidade de vezes que o volume acumulado muda de nível.

Os volumes de referência utilizados foram 15%, 50% e 85% da capacidade máxima do reservatório, por tanto o reservatório é subdividido em quatro níveis de acumulação, são eles: N1 - nível entre o intervalo de 100 a 85% do volume do reservatório, N2 – entre 85 e 50%, N3 – entre 50 e 15%, e o N4 – entre 15 e 0%. O N1 pode ser considerado como um nível seguro de armazenamento, os níveis N2 e N3 como os níveis mais comuns para reservatórios com boa capacidade de suprimento das demandas, e N4 é o nível crítico, onde as demandas correm risco elevado de não serem supridas no período subsequente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados de acordo com os cenários de abastecimento, os volumes obtidos na operação dos reservatórios no período simulado (2012 a 2018), e a frequência de falha do sistema no suprimento das demandas municipais.

Município de Crateús

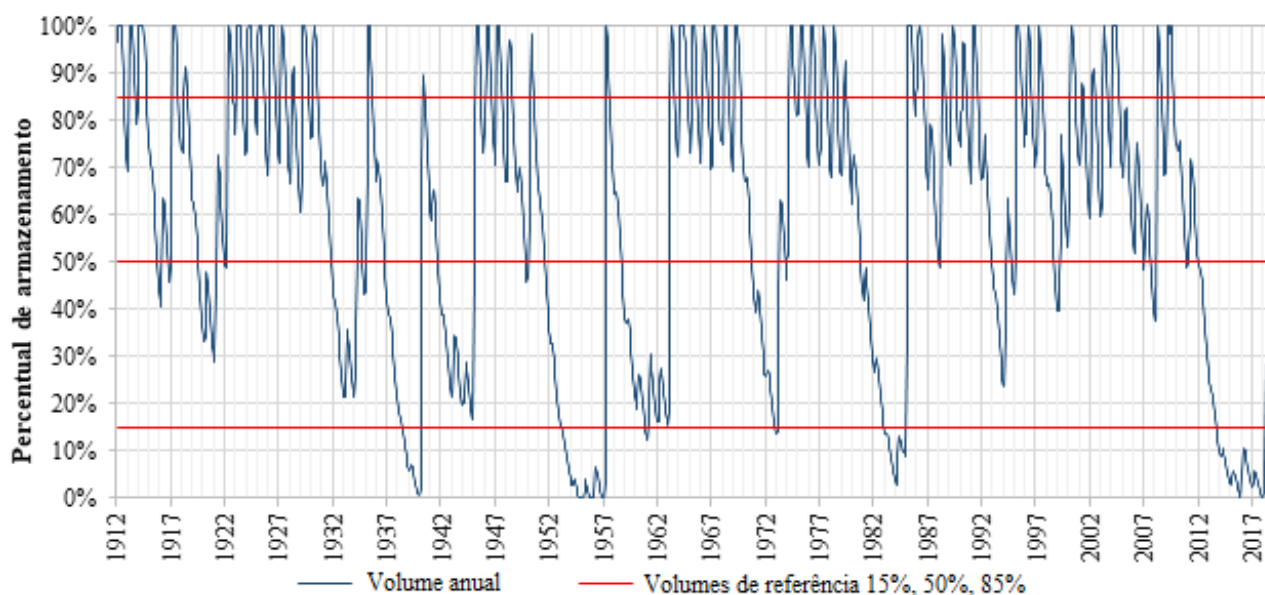
Cenário 1

No cenário 1 (C1) o município de Crateús é abastecido exclusivamente pelo reservatório Carnaubal, suprimindo assim as demandas de 0,135 m³/s para o abastecimento humano e 0,005 m³/s para outros usos. A variação do volume no reservatório Carnaubal no período simulado é apresentada na Figura 2.

A capacidade máxima de acumulação do reservatório Carnaubal é de 73,20 hm³, portanto os volumes de referência para determinação dos diferentes níveis o subdividem são de 62,22 hm³ para o limite de 85%, 36,60 hm³ para 50% e 10,98 para 15%.

Na Figura 2 são observados quatro períodos críticos, onde os volumes armazenados se encontram abaixo do limite de 15% da capacidade máxima, entre os anos de 1938 e 1940, 1953 e 1957, 1983 e 1985, e de 2013 a 2018. O sistema chega a colapsar em 6 oportunidade. Essa configuração de abastecimento com um único manancial força o sistema as piores condições para o suprimento das demandas municipais.

Figura 2 – Volume simulados do açude Carnaubal para o cenário C1



Fonte: Elaboração própria

A Tabela 1 apresenta a quantidade de meses e a frequência que os volumes simulados permanecem em cada um dos níveis (A), e a frequência que esses volumes mudam de nível no mês subsequente (B) para o Cenário 1.

Tabela 1 – Caracterização dos volumes armazenados do açude Carnaubal para o cenário C1

(A) Frequência dos volumes nos níveis

Intervalo	Quantidade de meses	Percentual
Nível 1	301	23,44
Nível 2	485	37,77
Nível 3	321	25,00
Nível 4	177	13,79

(B) Frequência de transição entre os níveis

Tempo	Mês i+1				
	Nível	N1	N2	N3	N4
Mês i	N1	19,47	3,89	0,00	0,00
	N2	3,66	32,32	1,71	0,00
	N3	0,16	1,40	22,66	0,78
	N4	0,08	0,00	0,62	13,08

Fonte: Elaboração própria

Observa-se na Tabela 1 (A) que o reservatório Carnaubal permanece um total de 61,21% do tempo com volumes superiores a 50% da capacidade do reservatório e 13% do tempo com valores considerados críticos, ou seja, abaixo de 15% do volume total. Na Tabela 1 (B) são apresentados valores percentuais muito baixos de recarga brusca do volume, ocorrendo em apenas 0,08% do tempo para mudança entre o N1 e N4, e de 0,16% entre o N1 e N3. De acordo, com a simulação efetuada o reservatório necessita em média de 23,59 meses para retornar a volumes superiores a 85%, 19,97 meses para o volume de 50% e 19,95 meses para 15%.

Cenário 2

No cenário 2 (C2) o município de Crateús é abastecido pela combinação dos dois reservatórios localizados no município. O açude Carnaubal é responsável pelo abastecimento de 75% da demanda da cidade, equivalente a uma vazão de 0,105 m³/s, o açude Batalhão supre os outros 25% da demanda, equivalente a 0,035 m³/s. Esse é o cenário mais comumente utilizado pela companhia de abastecimento na região.

Analisando exclusivamente o reservatório Carnaubal no C2 não são observadas variações significativas quando comparadas aos valores no C1. A diferença de tempo que o Carnaubal permanece com volumes superiores a 50% é ínfima entre o C1 e C2, com valores de 61,21% e

62,69%, respectivamente. Para os volumes abaixo de 15% a variação é de 13,00% para C1 e 12,23% para C2. Também não são verificadas grandes variações na ordem de grandeza da frequência que as mudanças bruscas de recarga acontecem, permanecendo com valores baixos para C2, com 0,31% do tempo entre N1 e N4, e 0,70% entre N1 para N3. Há uma queda no tempo médio que o reservatório leva para retornar aos volumes acima de 85% de 23,59 meses no C1 para 17,42 meses C2, uma diferença pequena em relação ao número de meses simulados. Para o C2 o tempo médio para o volume de 50% é de 19,14 meses. Para os volumes de 15% há uma elevação no tempo de 19,95 meses para C1 e 26,5 meses para C2, devido a diminuição da frequência de permanência na zona crítica, mesmo que em pequenas proporções.

O reservatório Batalhão possui uma capacidade máxima de acumulação de 1,64 hm³, portanto os volumes de referência para os diferentes níveis do reservatório são de 1,39 hm³ para o limite de 85%, 0,82 hm³ para 50% e 0,25 hm³ para 15%. No C2 o Batalhão esvazia totalmente somente nos anos de 1954, 1993 e 2013. O reservatório fica abaixo do volume de 15% por pequenos períodos de tempo, somando 23 ocasiões, espaçadas de forma semelhante no período de simulação. Apenas o período entre 2013 e 2014 apresenta dois anos seguidos com situação crítica.

No C2 o Batalhão permanece em 72,23% do tempo com volumes acima da faixa de 50%, deste período em 52,57% do tempo o volume se apresenta acima da faixa dos 85%. Em apenas 6,62% do tempo o reservatório se encontra com volumes inferiores a 15%, o tempo médio de recarga para esse limite é de 3,61 meses. Para os volumes de 50% e 85% os tempos médios de recarga são de 4,37 e 5,99 meses, respectivamente. A probabilidade de recarga brusca é muito baixa, com valores observados de 0,08% entre o N1 e N4 e de 1,01% para N1 e N3. Observa-se que as transições ocorrem em sua maioria para o nível imediatamente seguinte.

Cenário 3

No cenário 3 (C3) o município de Crateús é abastecido prioritariamente pelo reservatório Carnaubal, ou seja, a semelhante a situação proposta no C1, no entanto, a disponibilidade hídrica armazenada no reservatório Batalhão pode ser acionada em casos de impossibilidade parcial ou total do abastecimento de Crateús pelo Carnaubal. Nesse caso o reservatório Batalhão não possui uma vazão fixa de retirada.

A variabilidade do armazenamento do açude Carnaubal já foi apresentada no cenário 1, neste tópico será analisada a performance do reservatório Batalhão quando acionado para suprir as falhas de abastecimento no Carnaubal.

No C3 o Batalhão possui valores abaixo do volume de 15% em curtas passagens nos anos de 1939, 2013 e 2018. Períodos com sequência mensal maiores são observados entre os anos de 1954 a 1957 e 2015 a 2016. Para os anos de 1939 e entre 1954 a 1957 o açude Carnaubal ficou completamente vazio ou com valores bem próximos a zero, valores inferiores a 15% de capacidade foram verificados entre os anos de 2013 e 2018. Percebe-se que os períodos de menores volumes observados no Batalhão coincidem com os períodos críticos apresentados no Carnaubal, mostrando a necessidade do abastecimento em conjunto.

Para o período de simulação do cenário 3, o reservatório Batalhão permanece em 90,97% do tempo com volumes superiores a 50% de sua capacidade, sendo que em 61,45% do tempo ele apresenta valores acima de 85%. Volumes inferiores a 15% foram observados em apenas 1,09% do tempo. O Batalhão possui uma grande variação de volume em curto período de tempo devido sua pequena capacidade de armazenamento relacionada a uma grande bacia de contribuição, a maior área entre os reservatórios estudados. O tempo médio para retornar a volumes superiores a 85% é de 5,2 meses, o tempo referente a volumes de 50% e 15%, são em média de 3,19 e 2,85 meses, respectivamente. Assim como nos cenários anteriores a probabilidade recarga brusca do sistema é muito baixa.

O abastecimento do município de Crateús

A operação dos reservatórios resultou em três períodos de desabastecimento total ou parcial no município de Crateús, para o Cenário 1 e dois períodos para os Cenários 2 e 3. Esses períodos foram identificados basicamente entre os anos de 1954 e 1957 e os anos de 2015 a 2017 para os três cenários de abastecimento. O município apresenta desabastecimento parcial em 0,31% do tempo no Cenário 1 e 0,23% nos Cenários 2 e 3. O desabastecimento total ocorre em 0,08% do tempo para o Cenário 1 e é inexistente nos Cenários 2 e 3.

Município de Independência

O cenário de abastecimento de Independência utilizado nesse estudo, consiste na operação utilizada atualmente pelos órgãos responsáveis no município, onde o suprimento das demandas é realizado basicamente pelo reservatório Barra Velha. O reservatório Cupim só é acionado em caso de falha no abastecimento devido as limitações do reservatório Barra Velha. Se mesmo com o auxílio dos recursos do Cupim as demandas da cidade não forem supridas é realizada a captação das águas do reservatório Jaburu II.

Açude Barra Velha

O reservatório Barra Velha possui uma capacidade máxima de acumulação de 99,56 hm³, portanto os volumes de referência para determinação dos diferentes níveis aos quais o reservatório é subdividido são de 84,63 hm³ para o limite de 85%, 49,78 hm³ para 50% e 14,93 para 15%. A demanda a ser suprida por esse reservatório consiste na demanda integral da cidade de Independência para o ano de 2019, sendo 0,035 m³/s para o abastecimento humano e 0,005 m³/s para outros usos.

No período simulado o reservatório apresentou-se em situação crítica um grande número de ocasiões. Cabe destaque os períodos entre os anos de 1952 a 1957 e os anos de 2013 a 2018, devido ao grande número de meses com volumes muito baixos e em sua maioria iguais a zero. O Barra Velha permanece apenas 26,71% do tempo com volumes acima de 50% da capacidade do reservatório, e destes apenas 7,09% estão acima 85%. Para valores abaixo de 15% o sistema permanece nesse nível em 30,14% do tempo, com tempo médio de recargas de 18,09 meses. Para os volumes de 50% e 85% se observa um tempo médio de recarga de 33,62 e 59,22 meses, respectivamente. A probabilidade de recarga brusca é nula entre os níveis N1 e N4, e N1 e N3.

Açude Cupim

O açude Cupim não possui uma demanda fixa, considerando que este só é acionado nos casos em que o Açude Barra Velha consegue abastecer o município. Devido sua pequena capacidade de armazenamento ele permanece muito tempo com baixos valores de volume, isso pode ocorrer de forma natural devido as grandes perdas por evaporação e variabilidade do regime das vazões afluentes. Cabe mencionar que diferente do açude Batalhão que também possui pequena capacidade de armazenamento, o Cupim possui uma bacia hidrográfica compatível com seu volume. O Cupim possui uma capacidade máxima de acumulação de 4,60 hm³, com volumes de referência de 3,91 hm³ para o limite de 85%, 2,30 hm³ para 50% e 0,69 para 15%.

Longos períodos de criticidade caracterizam esse reservatório, pois este permanece nessa faixa em 54,9% do tempo, e em apenas 15,73% do tempo se encontra acima de 50% do reservatório. O tempo médio para se recuperar de volumes abaixo de 85% é de 81,93 meses, de 67,13 meses para 50% e 19,01 meses para 15%. Os períodos críticos, com volume chegando a zero, são observados entre 1954 e 1957, e 2013 a 2018 coincidindo com o período crítico do açude Barra velha.

Açude Jaburu II

O açude Jaburu II, assim como o Cupim não possui uma demanda fixa, considerando que este é acionado apenas em casos extremos que o açude Barra Velha somado ao Cupim não conseguem abastecer a cidade de Independência. O Jaburu II possui uma capacidade máxima de acumulação de

101,64 hm³, com volumes de referência de 86,39 hm³ para o limite de 85%, 50,82 hm³ para 50% e 86,39 para 15%.

Apesar de sua grande dimensão, o maior do município, ele permanece muito tempo com volumes abaixo do crítico, o período entre os anos de 1952 a 1957, e 2013 a 2018, corresponde ao período que os demais reservatórios do município também se mostraram em situação de estresse hídrico. O reservatório permanece apenas 10,05% acima do volume referente a 50% de sua capacidade e em 62,85% do tempo se encontra em volumes abaixo de 15%. Os tempos de recuperação dos volumes ainda são mais altas que as observadas no reservatório Cupim, com 146,28 meses para o volume de 85%, 113,76 meses para 50% e 30,56 meses para 15%. A probabilidade de recarga brusca é nula entre N1 e N4, e N1 e N3.

O abastecimento do município de Independência

Para o município de Independência, a operação de reservatórios resultou em três períodos de desabastecimento total ou parcial, de 1953 a 1956, no ano de 1983 e de 2013 a 2017, onde ocorreram 18 eventos de desabastecimento. As falhas nas demandas correspondem em 1,4% do tempo para o desabastecimento parcial e de 0,47% do período simulado para um desabastecimento total.

Município de Novo Oriente

O município de Novo Oriente é abastecido exclusivamente pelo reservatório Flor do Campo, por tanto responsável por suprir integralmente a demanda para abastecimento humano de 0,045 m³/s e de 0,005 m³/s para outros usos, tendo como base ano de 2019. O Flor do Campo possui uma capacidade máxima de acumulação de 105,00 hm³, com os volumes de referência de 89,25 hm³ para o limite de 85%, 52,50 hm³ para 50% e 15,75 para 15%.

Apesar de sua grande dimensão, reservatório passa grande parte do período abaixo do volume de referência de 15%, sendo os períodos de 1954 a 1957, 1959 a 1963, 1980 a 1985 e 2013 a 2018 os períodos mais críticos por apresentarem volume nulo.

O reservatório permanece apenas 13,86% do tempo acima do volume referente a 50% da sua capacidade e em 49,84% do tempo se encontra em volumes abaixo de 15%. O tempo de recarga é em média de 52,39 meses para retornar a volumes superiores a 85%, 59,31 meses para o volume inferior a 50%, 37,53 meses para níveis abaixo de 15%. A probabilidade de recarga brusca é nula entre os níveis N1 e N4, e de apenas 0,08% entre N1 e N3.

O abastecimento do município de Novo Oriente

Para o município de Novo Oriente, a operação de reservatórios resultou em cinco períodos de desabastecimento total ou parcial, com um total de 109 eventos de desabastecimento. Os períodos de desabastecimento total ocorreram entre os anos de 1938 a 1939, 1954 a 1957, 1959 a 1961, 1982 a 1984, e 2014 a 2017, os demais períodos contam com desabastecimento parcial do município. O desabastecimento parcial do município ocorre em 8,49% do tempo e 5,3% de desabastecimento total, demonstrando a fragilidade do sistema de abastecimento.

Município de Quiterianópolis

O açude Colina abastece o município de Quiterianópolis em sua integralidade. A vazão demandada é de 0,02 m³/s. O reservatório possui uma capacidade de acumulação de 4,30 hm³, com volumes de referência de 3,66 hm³ para o limite de 85%, 2,15 hm³ para 50% e 0,65 para 15%.

Os períodos mais críticos são de 1953 a 1957 e 2012 a 2015 por apresentarem volume nulo ou bem próximo do esvaziamento. No entanto, reservatório conta uma divisão de volumes bastante igualitária em termos de tempo, permanecendo entre 23% e 29% do tempo em cada um dos 4 níveis. O tempo de recuperação também é bastante semelhante variando entre 13 e 15 meses entre os volumes limites. A probabilidade de recarga brusca é de 0,31% entre N1 e N4, e de 0,70% entre N1 e N3.

O abastecimento do município de Quiterianópolis

A operação do Colina resultou em dez períodos de desabastecimento total ou parcial de Quiterianópolis, com um total de 109 eventos de desabastecimento total ou parcial nos anos de 1920, 1932, 1938 a 1939, 1942, 1953 a 1956, 1959 a 1962, 1971 a 1972, 1982 a 1984, 2003 e de 2012 a 2018. O desabastecimento parcial do município ocorre em 10,67% do tempo e 7,94% de desabastecimento total, demonstrando a fragilidade do sistema de abastecimento.

CONCLUSÃO

O estudo teve como enfoque a análise da operação dos reservatórios da Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús com vistas ao suprimento as demandas das cidades de Crateús, Independência, Novo Oriente e Quiterianópolis. A simulação foi realizada entre os anos de 1912 e 2018 utilizando o software LabSid AcquaNet. As demandas municipais foram consideradas constantes utilizando com referência o ano de 2019.

Com exceção dos reservatórios Carnaubal e Batalhão, que abastecem a cidade de Crateús, os demais reservatórios passam longos períodos abaixo da faixa crítica de 15% de sua capacidade máxima de acumulação. Entre os reservatórios que apresentaram maiores estresse hídricos estão: o açude Flor do Campo, manancial de Novo Oriente, com 49,84% do tempo na faixa crítica; o açude Colina, manancial de Quiterianópolis, com 23,13%; o açude Barra Velha, principal manancial de Independência, com 30,14% do tempo. Os reservatórios Cupim e Jaburu II são mananciais de apoio da cidade de Independência, acionados quando o Barra Velha apresenta falhas no abastecimento, desta forma, apesar de não possuírem demandas fixas, ambos apresentaram grandes períodos de tempo abaixo do nível crítico, com valores 54,91% do tempo para o Cupim e 62,85% para o Jaburu II. O percentual de desabastecimento parcial do município de Crateús não superou 0,31%. Para Independência o valor foi de 1,4%, Novo Oriente 8,49% e Quiterianópolis 10,67%.

Portanto, conclui-se que os sistemas já se encontram sobrecarregado para o uso atuais, que consistem basicamente em abastecimento humano, já apresentando falhas. Fica demonstrada a fragilidade dos sistemas e a impossibilidade de qualquer aumento nas demandas. Nestes termos, pode-se afirmar que a indisponibilidade hídrica ou sua limitação se torna um fator limitante para o desenvolvimento regional nos mais variados aspectos.

REFERENCIAS

- CEARÁ, G.E. (2015). *“Plano estadual de convivência com a seca ações emergenciais e estruturantes”*. Fortaleza, 2015.
- CID, D.A.C.; SOUZA FILHO, F.A.; SILVEIRA, C.S.; SILVA, S.M.O. (2019). *“Análise da Segurança da Água em Cenários de Mudanças Climáticas: O Caso de Fortaleza”*. p. 715-724. In: SOUZA-FILHO et al. (Coord.). ADAPTA - Gestão adaptativa do risco climático de seca. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2019.
- COGERH (2019). *“Ficha Técnica dos Açudes”*. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dos-acudes/>. Acesso em: 02/07/2019.
- INMET (2019). *“Banco de Dados Meteorológicos”*. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 02/07/2019.
- IPECE (2018). *“Perfil Municipal 2017”*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Fortaleza.
- ROSA, C.S. (2019). *“Operação de reservatórios do sistema de abastecimento dos municípios da Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús”*. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2019.