68 – MODELO DE OPERAÇÃO OTIMIZADA PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA A PARTIR DE UM SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

Giovana Bevilacqua Frota[(1)]
Engenheira Civil formada pela USP, atua na Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
João Félix de Luca Lino[(2)]
Engenheiro Civil, Sanitarista e Ambiental com especialização em Recursos Hídricos pelo IFCE/ANA e mestrado em Hidráulica e Hidrologia pela UFSC. Atua no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da Sabesp. Tem experiência em monitoramento e modelagem hidrológica, projetos de esgotamento sanitário e de abastecimento de água, modelagem hidráulica e análise de transientes hidráulicos.
Cristiano de Pádua Milagres Oliveira[(3)]
Engenheiro Civil com mestrado em Recursos Hídricos pela USP, atualmente é gerente e responsável técnico da 4 Elementos Engenharia.
Rafael Miranda[(4)]
Engenheiro Eletricista formado pela FESP, especialização em Tecnologia da Informação pela FIAP, em Gestão Pública Municipal pela UNIRIO e MBA em Gestão Empresarial na FIA. Atua no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da Sabesp.
Carlos Toshio Wada[(5)]
Engenheiro Civil com pós-graduação em Meio Ambiente e Sociedade pela Escola de Sociologia e Política de São Paulo, atua no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da Sabesp.

Endereço[(1)]**:** Av. Pedroso de Morais, 1619 - Pinheiros - São Paulo - SP - CEP: 05419-001 - Brasil - Tel: +55 (11) 3091-5549 - e-mail: giovanafrota@gmail.com, giovana.frota@fcth.br.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo mostrar a importância de modelos de otimização da alocação de água para atender às demandas da população frente a cenários de precipitações, vazões, disponibilidade e consumo variáveis no tempo. São apresentadas algumas simulações realizadas no Modelo de Análise da Operação Ótima, parte componente do MIGRH integrado ao Sistema de Suporte à Decisão – SSD, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), assim como análises críticas dos resultados obtidos. Os dados aqui apresentados são meramente ilustrativos.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de Otimização, Sistema de Suporte à Decisão, Produção de Água.

INTRODUÇÃO

O avanço da urbanização e a formação de grandes conglomerados urbanos traz como consequência um aumento significativo das demandas de água para consumo e, uma vez que a distribuição da água na superfície do planeta não se dá de maneira regular, a cada dia se torna mais importante desenvolver maneiras eficientes de gerir a oferta de água (Collischonn e Dornelles, 2013; Tucci, 2016).

Um dos métodos mais adotados para possibilitar a oferta regular de água são os reservatórios de armazenamento, utilizados para fazer frente aos períodos em que a vazão do corpo d'água não é suficiente para atender às demandas de consumo, e seu uso vem crescendo com o passar dos anos. Porém, o armazenamento por si só não é suficiente, havendo a necessidade também de utilizar os recursos hídricos de maneira eficiente, de forma a minimizar os riscos de escassez (Collischonn e Dornelles, 2013; Tucci, 2016).

Face ao exposto, a SABESP possui um sistema de suporte à decisão, SSD, no qual um dos principais componentes é o Modelo de Análise da Operação Ótima para seus Sistemas Produtores e respectivos reservatórios, que pode ter como objetivo uma certa vazão de produção de água para distribuição ou uma meta de armazenamento considerando os volumes de cada reservatório e em cada Sistema Produtor.

Neste trabalho, serão apresentadas algumas simulações e os resultados obtidos com o uso do referido modelo. Para o desenvolvimento das simulações será criado um sistema fictício, denominado Sistema Equivalente, com regras e limites estabelecidos apenas para fins de desenvolvimento deste trabalho.

A seguir são apresentadas algumas características do Sistema Equivalente e na ***Figura 1*** é possível observar um esquema geral do mesmo.

- O sistema conta com 1 reservatório, denominado RES;
- Volume total inicial de 113 hm^3, 100% de volume operacional armazenado;
- Existência de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) com uma demanda pré-determinada para a produção de água;
- Possibilidade de entrada de água no reservatório a partir da transferência do Ponto 1 (P1) para o RES; e
- Possibilidade de saída de água do reservatório a partir da transferência do RES para Ponto 2 (P2).

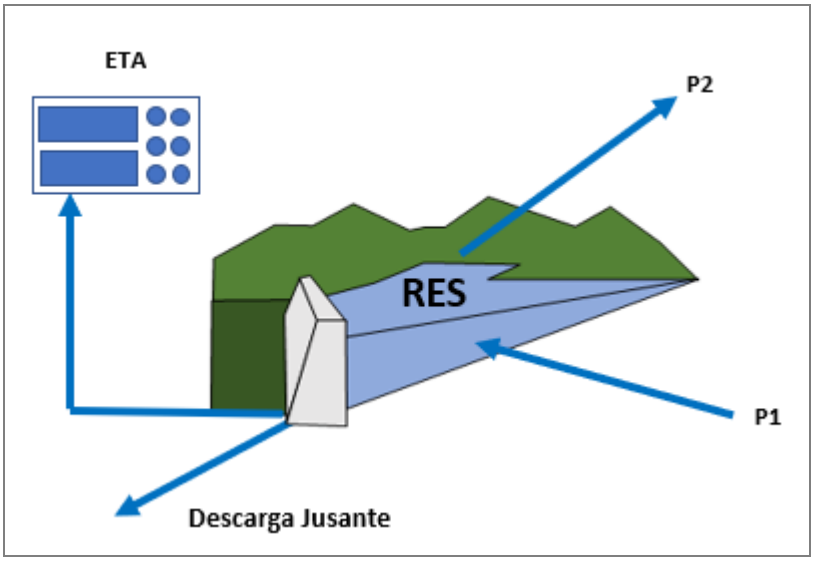

Figura 1: Croqui do Sistema Equivalente.

MODELO

O Modelo de Análise da Operação Ótima traduz as necessidades e as especificidades de cada Sistema Produtor, respeitando regras de outorga, limites das estruturas e restrições existentes, e também possibilita a definição de dados de entrada de acordo com as necessidades do usuário. A simulação é realizada para um período de 24 meses (a partir do mês anterior), considerando os dados atuais dos sistemas, os cenários e as restrições estabelecidas pelo usuário.

Para o desenvolvimento das simulações, serão considerados três cenários de vazões naturais afluentes: 1) a projeção esperada, que considera no cálculo o percentual da vazão natural observada nos últimos 12 meses em relação à média histórica; 2) a média histórica; e 3) a mínima histórica. A simulação foi realizada para no mês de março de 2019, com os dados iniciais referentes ao mês anterior (fevereiro/2019).

Para os três cenários simulados, a probabilidade de ocorrência, tendo como referência os dados históricos, está apresentada na ***Tabela 1***.

A priorização definida para os cálculos no modelo foi o atendimento das vazões de produção de água, com o objetivo de ofertar uma vazão pré-determinada na ETA. O modelo definirá, com base nas condições iniciais, nos cenários e nas definições pré-estabelecidos, a alocação de água que otimizará o armazenamento com o objetivo de tentar atender a produção definida como meta, considerando o volume útil armazenado inicial (em fevereiro/2019) de 100 % no Sistema Equivalente.

Tabela 1: Probabilidade de ocorrência dos cenários analisados.

CENÁRIO	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA
Projeção Esperada	0,9 %
Média Histórica	34,8 %
Mínima Histórica	0,4 %

Para a simulação inicial foram utilizados as restrições e os limites descritos nas tabelas a seguir.

Tabela 2: Limites de Vazão.

ESTRUTURA	METAS DE TRANSFERÊNCIA [m³/s]
RES para P2	1,5
P1 para RES	4,0

A meta de produção estabelecida foi de 10,0 m³/s na ETA.

Na sequência, serão analisados os resultados obtidos nos três cenários de simulação realizados, considerando o volume operacional mensal do sistema equivalente e a produção de água na ETA.

RESULTADOS

O Índice de Autonomia de Abastecimento (IAA) representa o número de meses que o reservatório é capaz de operar acima de um limite mínimo a partir de um volume pré-estabelecido, com base no cenário e nas restrições da simulação, considerando o horizonte em análise, neste caso, 24 meses a partir de março de 2019. A tabela a seguir apresenta o IAA para os três cenários simulados considerando um volume mínimo armazenado de 20%.

Tabela 3: Índice de Autonomia de Abastecimento (vazão meta de 10,0 m³/s).

CENÁRIO	ÍNDICE DE AUTONOMIA DE ABASTECIMENTO - IAA
Projeção Esperada	8 meses
Média Histórica	>= 24 meses
Mínima Histórica	5 meses

A ***Figura 2*** e a ***Figura 3*** mostram os resultados das simulações para os três cenários adotados considerando a produção meta na ETA de 10,0 m³/s.

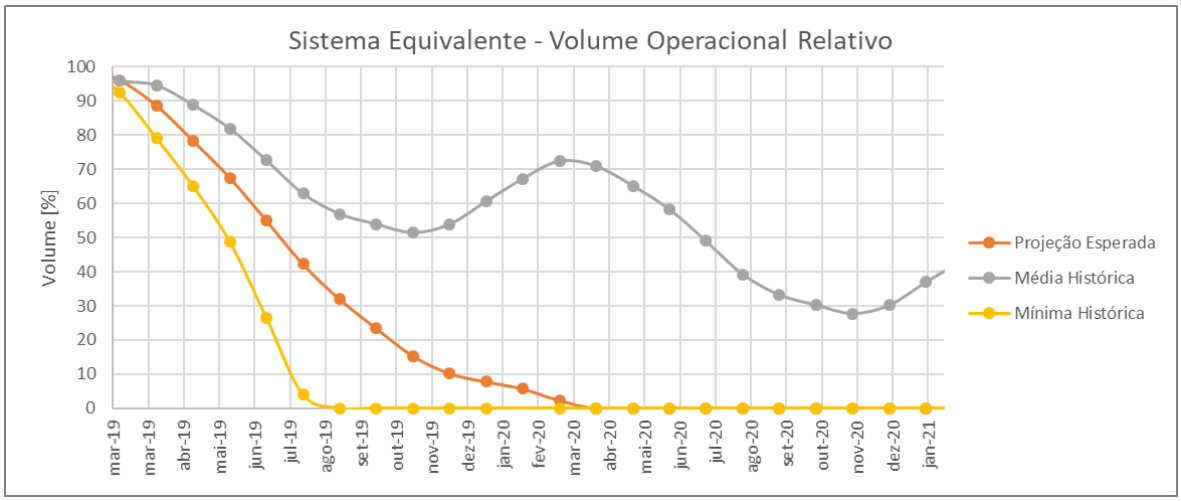

Figura 2: Volumes Operacionais Relativos resultantes para o Sistema Equivalente.

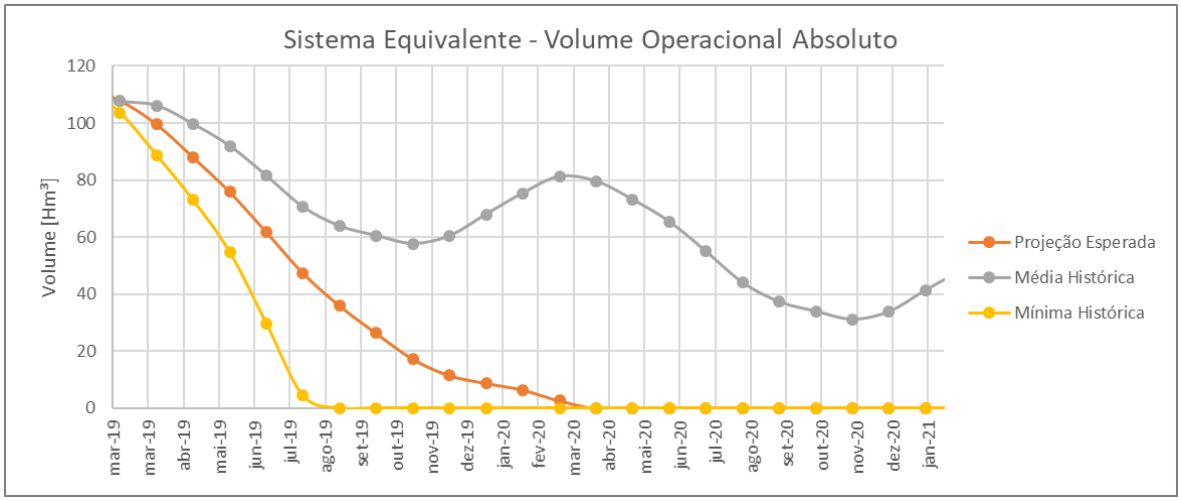

Figura 3: Volumes Operacionais Absolutos resultantes para o Sistema Equivalente.

Na ***Figura 2*** e na ***Figura 3***, pode-se observar a variação nos volumes operacionais armazenados para o sistema equivalente. É possível notar que o cenário Média Histórica é o que possibilita o maior armazenamento (volume médio previsto para os 24 meses = 67,2 hm^3 ou 59,9%) e o cenário Mínima Histórica, por outro lado, representa os menores valores de armazenamento mensal (volume médio previsto para os 24 meses = 18,7 hm^3 ou 16,7%). Já o cenário Projeção Esperada apresentou volume médio previsto de 28,1 hm^3 ou 25,0%. Também é possível notar, nas mesmas figuras, que, nos cenários Mínima Histórica e Projeção Esperada, os volumes se esgotam antes do prazo final das simulações (24 meses).

A ***Figura 4*** apresenta a Produção do Sistema Equivalente por cenário de análise, apresentando os valores-meta, a produção e as falhas ocorridas no período, que se traduzem pela incapacidade do sistema em atender a meta de demanda estabelecida.

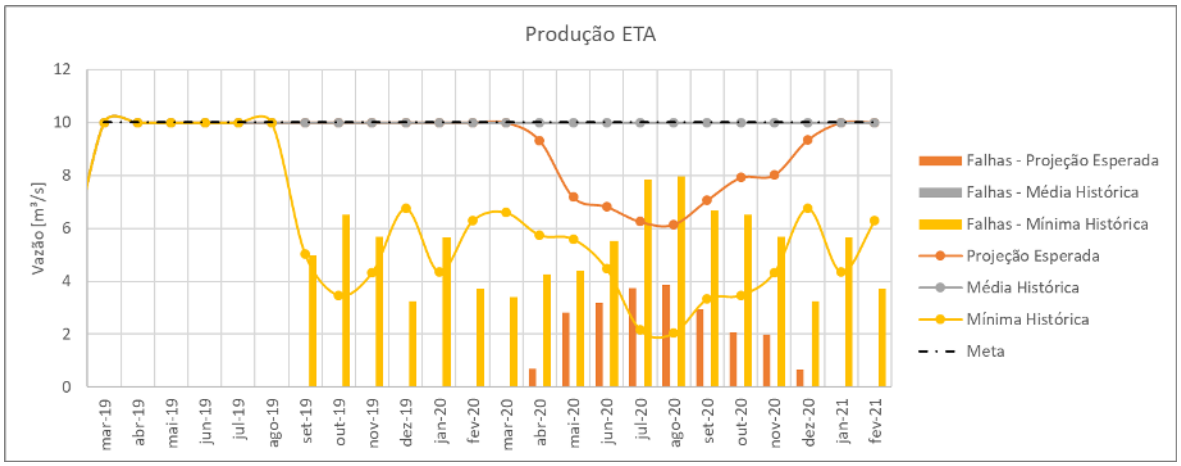

Figura 4: Produção do Sistema Equivalente por cenário.

Em relação à meta definida de produção, no cenário Média Histórica não é possível observar falhas na produção ao longo dos 24 meses de simulação, ou seja, em todos os meses foi possível atender à produção meta com a vazão natural afluente definida. Já para o cenário Mínima Histórica é possível identificar falhas de produção – que se traduzem na produção insuficiente de água para atendimento da demanda – em 18 dos 24 meses simulados, sendo que a maior falha foi de 8,0 m³/s (em agosto/2020). Finalmente, no cenário Projeção Esperada, é possível identificar falhas em 9 dos 24 meses simulados, sendo a maior falha de 3,9 m³/s (em agosto/2020).

A importância das simulações em modelos de otimização conforme apresentado neste trabalho se traduz na tomada de decisão no dia a dia dos gestores de grandes sistemas de produção de água. Face às variações climáticas, de consumo e do uso e ocupação das bacias, ocorrem mudanças significativas nas demandas e na capacidade de produção de água dos sistemas e tais modelos permitem estimar situações futuras com base em cenários pré-definidos pelo usuário. Os resultados simulados permitem que o gestor tenha maior embasamento na busca pelo equilíbrio na relação produção x consumo, de maneira a reduzir o risco de escassez hídrica nos sistemas.

Em um cenário crítico, com vazões naturais afluentes reduzidas, por exemplo, o gestor poderia tomar a decisão de reduzir a produção ou alterar as vazões de transferências entre reservatórios de maneira a permitir um número maior de meses de autonomia do sistema.

A seguir são apresentados os resultados de uma nova simulação considerando agora uma meta de produção de água na ETA com uma vazão de 6,0 m³/s, e os mesmos cenários de vazão natural utilizados nas simulações anteriores (Projeção Esperada, Média Histórica e Mínima Histórica).

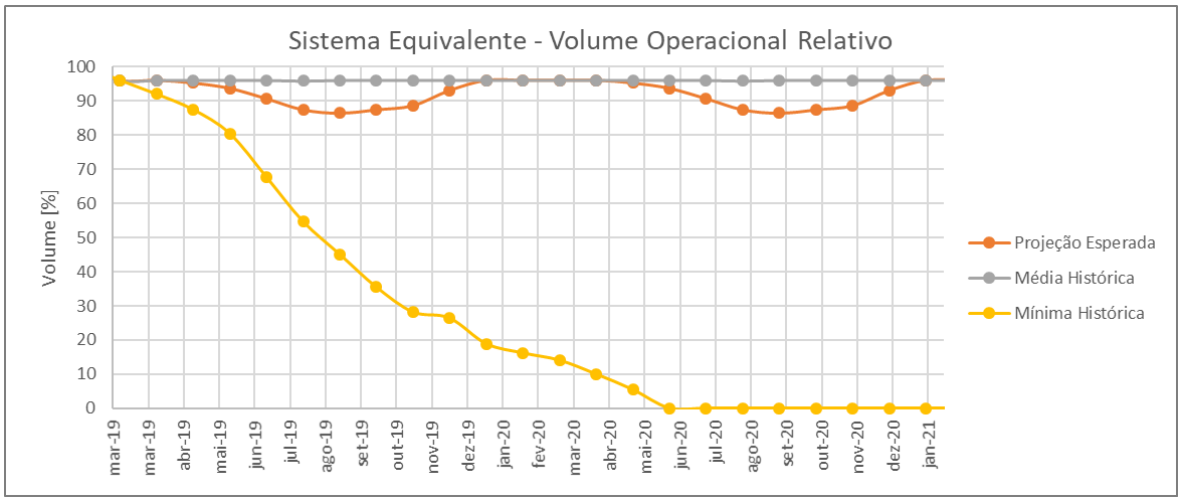

Figura 5: Volumes Operacionais Relativos resultantes para o Sistema Equivalente.

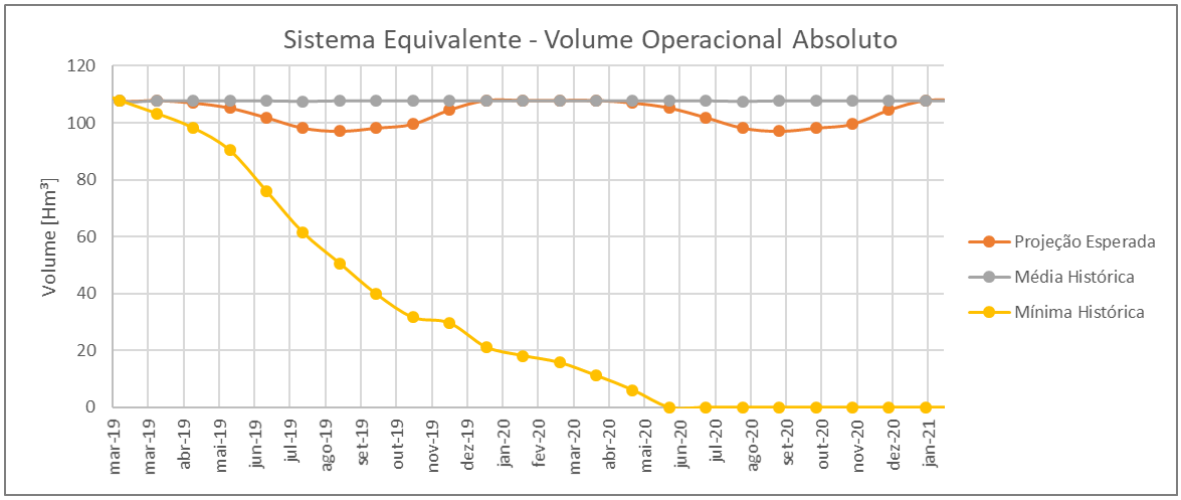

Figura 6: Volumes Operacionais Absolutos resultantes para o Sistema Equivalente.

Na ***Figura 5*** e na ***Figura 6***, pode-se observar a variação nos volumes operacionais armazenados para o sistema equivalente, de acordo com os cenários de simulação. Da mesma forma, como observado na simulação anterior, nota-se que o cenário Média Histórica é o que possibilita o maior armazenamento (volume médio previsto para os 24 meses = 108,0 hm^3 ou 96,2 %), e o cenário Mínima Histórica, por outro lado, representa os menores valores de armazenamento mensal (volume médio previsto para os 24 meses = 34,9 hm^3 ou 31,1 %). Já o cenário Projeção Esperada apresentou volume médio previsto de 103,9 hm^3 ou 92,6 %.

Comparando as duas simulações, incluindo cada um dos seis cenários (3 cenários de cada simulação), percebe-se que a diminuição na meta de vazões produzidas na ETA (de 10,0 m³/s para 6,0 m³/s), melhora a condição de armazenamento para todos os cenários simulados.

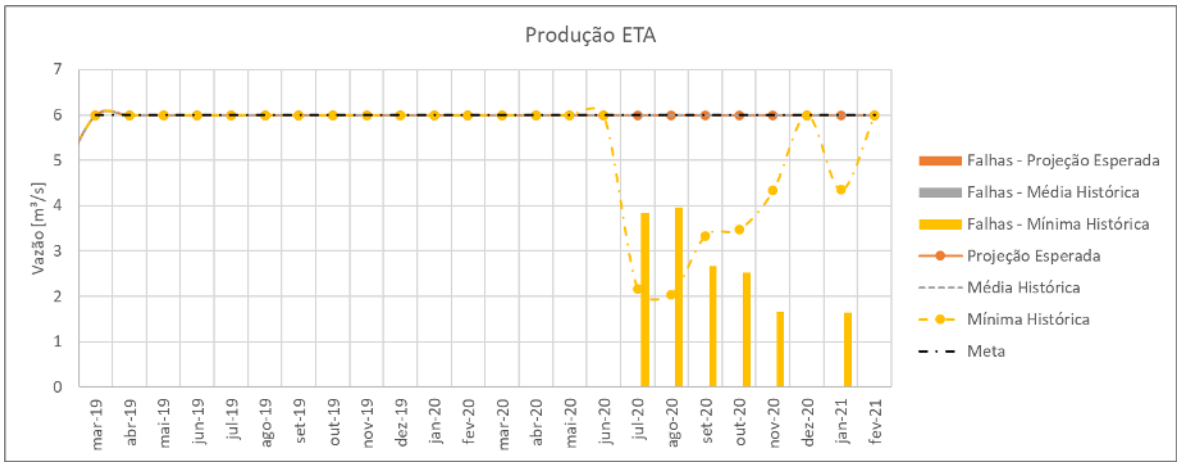

Figura 7: Produção do Sistema Equivalente por cenário.

Por outro lado, mesmo com a redução na meta de produção, para o cenário Mínima Histórica ainda é possível identificar falhas de produção – que se traduzem por produção de água insuficiente para atendimento da demanda – em 6 dos 24 meses simulados, conforme ***Figura 7***. Nesta simulação, a maior falha foi de 4,0 m³/s (agosto/2020), mesmo que os resultados sejam melhores do que aqueles obtidos na primeira simulação, quando a meta de produção era maior (10,0 m^3/s) e ocorriam maiores falhas na produção, com valores que chegaram a 8,0 m^3/s e em 18 dos 24 meses. Já para o cenário Projeção Esperada, quando na primeira simulação foi possível identificar falhas em 9 dos 24 meses simulados (sendo a maior falha de 3,9 m³/s), na atual simulação, com menor meta de produção, não foram observadas falhas na produção ao longo de período analisado. Para o cenário Média Histórica, assim como ocorrido no cenário Projeção Esperada, não foi possível observar falhas na produção ao longo dos 24 meses de simulação, ou seja, em todos os meses foi possível atender à produção meta com a vazão afluente definida.

A tabela a seguir apresenta o IAA com a nova meta de produção (6,0 m³/s) para os três cenários simulados, considerando um volume mínimo armazenado de 20%.

Tabela 4: Índice de Autonomia de Abastecimento (vazão meta de 6,0 m³/s).

CENÁRIO	ÍNDICE DE AUTONOMIA DE ABASTECIMENTO - IAA
Projeção Esperada	>= 24 meses
Média Histórica	>= 24 meses
Mínima Histórica	10 meses

Por outro lado, ao invés de reduzir o valor meta de produção na ETA, poderíamos fechar a transferência de RES para P1 (saída de água do reservatório), de maneira a tentar reduzir o número de falhas obtidas na primeira simulação.

A seguir são apresentadas algumas tabelas comparativas dos resultados nas duas simulações apresentadas e de uma terceira simulação realizada. Esta terceira simulação será apresentada de maneira simplificada, a título de exemplo, apenas nas tabelas comparativas. Tal simulação desconsiderou a transferência do RES para P2 (saída de água do reservatório) e utilizou os demais parâmetros e regras similares aos da primeira simulação (produção meta na ETA de 10,0 m³/s).

Tabela 5: Resumo das Simulações Realizadas.

PARÂMETROS ADOTADOS	SIMULAÇÃO 1	SIMULAÇÃO 2	SIMULAÇÃO 3
Meta produção ETA [m³/s]	10,0	6,0	10,0
Transferência P1 para RES [m³/s]	4,0	4,0	4,0
Transferência RES para P2 [m³/s]	1,5	1,5	0,0

Tabela 6: Tabela Comparativa 1.

IAA – Índice de Autonomia de Abastecimento [meses]			
SIMULAÇÃO	Mínima Histórica	Projeção Esperada	Média Histórica
Simulação 1	5	8	>= 24
Simulação 2	10	>= 24	>= 24
Simulação 3	6	16	>= 24

Tabela 7: Tabela Comparativa 2.

Volume Operacional Relativo/Absoluto Médio			
SIMULAÇÃO	Mínima Histórica	Projeção Esperada	Média Histórica
Simulação 1	16,7 %/18,7 hm³	25,0 %/28,1 hm³	59,9 %/67,2 hm³
Simulação 2	31,1 %/34,9 hm³	92,6 %/103,9 hm³	96,2 %/108 hm³
Simulação 3	19,0 %/21,3 hm³	41,3 %/46,6 hm³	87,5 %/98,2 hm³

Tabela 8: Tabela Comparativa 3.

Número de Falhas de Produção – Maior Falha obtida			
SIMULAÇÃO	Mínima Histórica	Projeção Esperada	Média Histórica
Simulação 1	18 falhas – 8,0 m³/s	9 falhas – 3,9 m³/s	-
Simulação 2	6 falhas – 4,0 m³/s	-	-
Simulação 3	17 falhas – 8,0 m³/s	3 falhas – 2,0 m³/s	-

Como pode ser observado nas tabelas acima, os melhores resultados foram obtidos na simulação 2, em que o valor meta a ser produzido na ETA foi de 6,0 m³/s, porém, em uma situação real, nem sempre o gestor tem a opção de reduzir a produção, pois tal iniciativa afeta diretamente a população atendida e pode causar diversos transtornos operacionais na distribuição de água. Desta maneira, a alteração nas transferências realizadas ou mesmo uma conjugação das duas iniciativas podem ser alternativas mais interessantes do ponto de vista social, além de se tratar de situações nas quais já ocorrem melhorias na produção de água do sistema.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Percebe-se, a partir dos resultados deste trabalho, a importância do uso de modelos de otimização da alocação de água para auxiliar o gestor na tomada de decisão. Nas simulações apresentadas, o gestor poderia optar por reduzir a produção na ETA de maneira a possibilitar um maior índice de autonomia do abastecimento, postergando um cenário de escassez hídrica, ou decidir manter a produção alta, mas reduzir o valor que está sendo transferido para o P2 (saída de água do reservatório), que, no caso analisado não é tão eficiente quanto a redução da produção na ETA, mas já resulta em alguma melhora nos resultados. Uma terceira alternativa ao gestor é não fazer alteração nenhuma, aceitando o risco da escassez hídrica num horizonte mais curto.

O modelo de otimização utilizado realiza as simulações com base em diversos cenários determinados a partir de eventos passados. Uma melhoria que poderia ser implementada futuramente, de maneira a trazer resultados mais consistentes com período em análise, é a incorporação de cenários baseados em previsões climáticas no modelo de simulação. Porém, uma vez que a qualidade dos resultados obtidos depende da qualidade dos dados de entrada, é preciso buscar modelos de previsão capazes de fornecer dados consistentes, o que se torna ainda mais complicado quando analisamos horizontes mais longos.

Em face do exposto, conclui-se que, com o uso de modelos hidrológicos de otimização, torna-se mais simples e dinâmica a tarefa de simular cenários e estimar riscos, variando as condições de contorno e os valores das variáveis envolvidas. Decisões que antes eram tomadas principalmente com base na sensibilidade e experiência dos gestores, hoje contam também com o suporte técnico de modelos de suporte à decisão, que fornecem

subsídios teóricos e um grande potencial de análise de diferentes cenários, auxiliando na busca pelas melhores decisões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre – RS, 336p. (Coleção ABRH). 2013.
2. TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora UFRGS, Porto Alegre – RS, 943p. 1995.