

PRINCIPAIS DESAFIOS E SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS E ADOTADAS PELA SABESP PARA A SEGURANÇA HÍDRICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

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.

Emerson Martins Moreira⁽³⁾

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo, Engenheiro Mecânico pelo Instituto Mauá de Engenharia e MBA em Gestão Empresarial pela Business School São Paulo. Atualmente ocupa o cargo de gerente da Divisão de Gestão e Desenvolvimento Operacional de Recursos Hídricos Metropolitanos da Sabesp.

Mara Regina Samensatto Ramos⁽⁴⁾

Engenheira Civil com especialização em Gestão Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP, mestrado em Gestão de Recursos Hídricos pelo Instituto UNESCO-IHE e MBA em Saneamento Ambiental pela Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo. Atualmente ocupa o cargo de gerente do 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 Moraes, 1619 - Pinheiros - São Paulo - SP - CEP: 05419-001 - Brasil - Tel: +55 (11) 3091-5549 - e-mail: giovanafrota@gmail.com, giovana.frota@fcth.br.

RESUMO

De acordo com a declaração ministerial do 2º Fórum Mundial da Água de 2000, Segurança Hídrica significa garantir que ecossistemas de água doce, costeira e outros relacionados sejam protegidos e melhorados; que o desenvolvimento sustentável e a estabilidade política sejam promovidos; que cada pessoa tenha acesso à água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida saudável e produtiva, e que a população vulnerável seja protegida contra os riscos relacionados à água. Este trabalho tem por objetivo apresentar os principais desafios enfrentados pela Sabesp relacionados ao tema Segurança Hídrica e também as ferramentas e soluções que a empresa vem desenvolvendo e adotando ao longo dos anos para superar os desafios em busca de proteger nosso bem mais precioso: a água.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança hídrica, Sistema de Suporte à Decisão, Região Metropolitana de São Paulo.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso escasso, de distribuição irregular na superfície terrestre e vital para a humanidade. Com o avanço da urbanização e o desenvolvimento de grandes aglomerados, o adequado gerenciamento deste recurso tornou-se fundamental para evitar a escassez hídrica.

No caso das Regiões Metropolitanas, a baixa segurança hídrica é resultado das demandas expressivas dos grandes aglomerados urbanos, além da má qualidade das águas, poluídas principalmente por esgotos domésticos lançados nos cursos hídricos sem tratamento adequado. Nessas regiões, com maior dinamismo econômico e produtivo, o desafio do abastecimento de água está relacionado com a frequente utilização de fontes hídricas interdependentes, muitas delas caracterizadas por transferências de água entre bacias, recaindo em conflitos pelo uso da água. Além disso, o aproveitamento desses mananciais se dá, usualmente, por meio de sistemas integrados, que atendem de forma simultânea e interligada várias sedes municipais, requerendo uma infraestrutura hídrica complexa do ponto de vista operacional. Essa também tem sido a solução empregada para o abastecimento da população na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) é responsável pelo abastecimento de água em 36 municípios da RMSP, a qual possui aproximadamente 21,6 milhões de habitantes, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2018, ocupando uma área de quase 8 mil quilômetros quadrados, o que resulta em uma densidade populacional altíssima, de mais de 2,7 mil habitantes por quilometro quadrado (EMPLASA). Por outro lado, a disponibilidade hídrica da RMSP é de aproximadamente 201 m³/hab./ano, extremamente baixa, comparável aos estados mais secos do Nordeste Brasileiro, como Paraíba e Pernambuco, muito por conta de que a RMSP se localiza em uma região de cabeceira de rios e constitui-se no maior aglomerado urbano do país (PORTO, 2003).

Somando-se à elevada densidade populacional e à baixa disponibilidade hídrica, temos que contabilizar a ocorrência de eventos extremos, de excesso ou escassez hídrica, para ter uma dimensão dos grandes desafios existentes para a gestão de recursos hídricos. Este cenário, que por um lado traz enormes desafios para a temática da Segurança Hídrica, por outro cria um panorama de atuação muito propício ao desenvolvimento de novas ferramentas e tecnologias visando dar subsídios claros e objetivos para auxiliar os gestores na tomada de decisão.

SISTEMAS RESPONSÁVEIS PELO ABASTECIMENTO DA RMSP

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – em sua atribuição de fornecer água potável para a RMSP, opera 7 sistemas de reservatórios – Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia (que se subdivide em Alto Cotia e Baixo Cotia), Rio Grande, São Lourenço e Rio Claro – cada qual com diferentes características, vazões afluentes, demandas, índices de qualidade, usos concorrentes, etc.

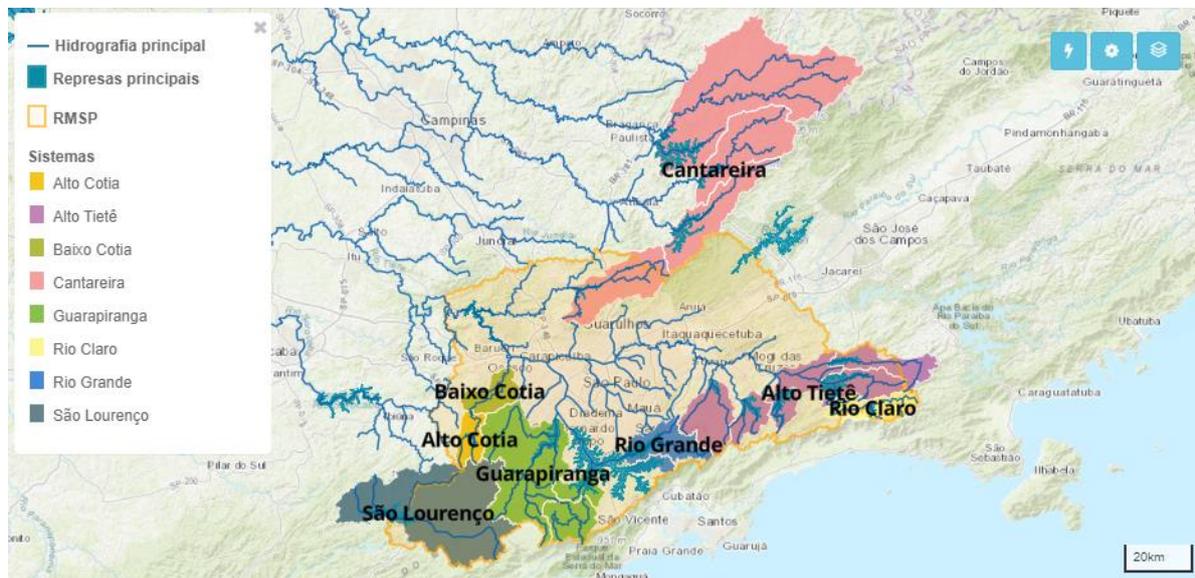


Figura 1: Sistemas que abastecem a RMSP. (Fonte: SSD Sabesp)

O suprimento de água eficiente para essa área densamente povoada e com uma baixíssima disponibilidade hídrica depende de uma gestão integrada e eficiente dos reservatórios, a qual provém de uma enorme quantidade de informações, de diferentes fontes, com diferentes intervalos temporais entre os dados, tornando o gerenciamento bastante complexo para os tomadores de decisão. Face a tal cenário, surgiu a necessidade de um Sistema de Suporte à decisão, com o objetivo principal de ajudar a operação do dia a dia, coletando todas as informações relacionadas e transformando-a em gráficos, planilhas e diversas outras soluções visuais, possibilitando uma redução considerável no tempo de resposta por entregar informações claras e importantes rapidamente.

Além disso, algumas regiões de abastecimento possuem a flexibilidade de poderem receber água de mais de um sistema de reservatórios, e isso também deve ser considerado na operação diária, especialmente em cenários de escassez hídrica.

SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

Para dar subsídios à complexa operação dos Sistemas que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo, a Sabesp possui um Sistema de Suporte à Decisão – denominado SSD Sabesp e patentado pela companhia. Tais sistemas possuem bancos de dados em que são armazenados grandes volumes de dados que, através de modelagem computacional, são transformados em informações objetivas e de mais fácil assimilação pelos usuários, através de uma interface computacional amigável. SSDs são ferramentas importantes utilizadas para deixar a coleta de informações mais fácil, simplificar processos complexos e dar suporte para a rápida tomada de decisão.

O SSD Sabesp foi desenvolvido para auxiliar os gestores na tomada de decisão, seja ela no curto ou longo prazo. Tal sistema tem como fundamento principal a coleta e manipulação de informações em tempo real, devolvendo aos gestores informações importantes e no momento em que são necessárias, em forma de gráficos, mapas, tabelas, indicadores, etc.

Os usuários regulares do SSD Sabesp são os operadores da companhia, que precisam acessar constantemente o sistema de monitoramento em tempo real (precipitação, níveis, vazões, etc.) para operar com segurança os reservatórios e prever qualquer condição não usual, de maneira a adaptar a operação a tempo de evitar quaisquer problemas. Há também diversas pessoas e instituições externas à companhia que podem acessar informações do SSD através do site da Sabesp (www.mananciais.sabesp.com.br). Tais informações são utilizadas para dar suporte a decisões ou ações por parte de diferentes tomadores de decisão (políticos, agências regulatórias, etc.), e em diferentes níveis de hierarquia. Através do site e de um aplicativo (Sabesp Mananciais RMSP, disponível nas plataformas Android e iOS) para aparelhos móveis, a Sabesp disponibiliza dados do SSD para o público geral, dando transparência à sua gestão e aproximando a população dos mananciais que a abastecem.

Neste material vamos apresentar 3 das principais ferramentas presentes no SSD Sabesp, que são fundamentais no dia a dia de operação dos sistemas e que auxiliam a empresa no adequado gerenciamento dos recursos hídricos, visando possibilitar a oferta de água na quantidade e qualidade adequadas para uma região com características tão desafiadoras.

REDE DE MONITORAMENTO

Desde o início de suas operações, em 1973, a SABESP opera uma rede de monitoramento de níveis, vazões e precipitações, que é sempre aprimorada com o avanço das tecnologias aplicadas.

Da década de 70 até o início dos anos 2000, o monitoramento dos níveis e chuvas nas barragens do Sistema Integrado Metropolitano (SIM) era realizado através de régua linimétrica, linígrafos, pluviômetros e pluviógrafos, cujo acompanhamento e operação eram de responsabilidade da equipe de operação lotada em cada barragem que realizava as leituras de precipitação e das régua às 7h00 e 17h00, diariamente.

A partir da outorga do Sistema Cantareira de 2004, iniciou-se o monitoramento através de estações telemétricas instaladas em barragens, estruturas de controle de vazão e em pontos estratégicos para a operação. Estas possuem sensores que registram níveis, seja nas represas, rios ou canais. Para o monitoramento da precipitação, são utilizados pluviômetros automáticos.

Todos os dados são coletados em intervalos de 10 minutos e, somados aos registros realizados pelas equipes de operação, são consolidados e gerenciados através do Sistema de Suporte a Decisão – SSD Sabesp, pelo corpo técnico das Divisões Operacionais e do Centro de Controle dos Mananciais – CCM, do Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos, responsável pela gestão e operação dos Recursos Hídricos do SIM.

Na busca por maior eficiência em metrologia, a SABESP vem continuamente expandindo e aperfeiçoando suas medições. Um exemplo é a rede de telemetria de mananciais, em franca expansão desde 2004.

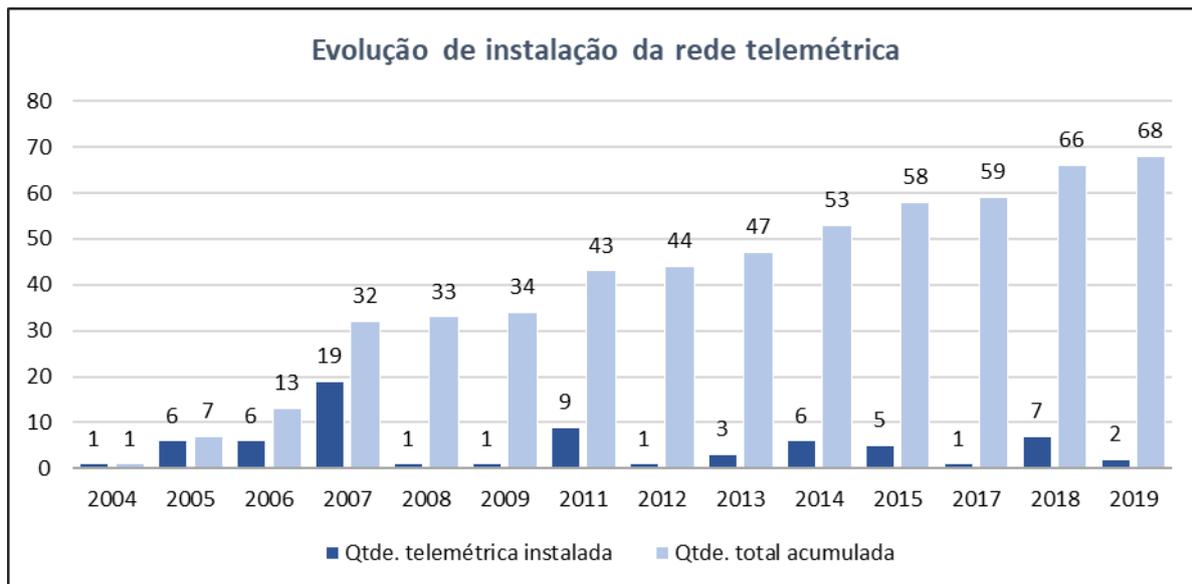


Gráfico 1: Evolução da rede telemétrica da SABESP.

O monitoramento telemétrico realizado pela SABESP utiliza os mais modernos equipamentos que existem no mercado e seguem as especificações e diretrizes de acordo com o relatório “Orientações para Instalação de Estações Hidrométricas” da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012). Além disso, a SABESP possui um plano de manutenção preventiva e corretiva executado continuamente.

Conforme descrito no manual da ANA, as estações telemétricas são dotadas de transmissão de modem celular (3G e 4G) e satélite (*Skywave Terminal Remoto*) que garantem confiabilidade na transmissão dos dados. O sensor de nível, podendo ser de pressão ou ultrassônico, utiliza tecnologia que permite exatidão mesmo trabalhando nas condições mais adversas. Quando não há o fornecimento de energia da rede elétrica, o sistema de alimentação das estações utiliza placas solares dimensionadas para o adequado funcionamento da estação com total autonomia.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994 apud GONTIJO JR, 2007), o objetivo de uma rede de dados hidrológicos é permitir que, por interpolação entre séries de dados de diferentes estações, torne-se possível determinar com suficiente precisão, para fins práticos, as características básicas dos elementos hidrológicos e meteorológicos em qualquer ponto desta região.

Em relação ao monitoramento existente, o guia de práticas hidrológicas da WMO (1994) recomenda uma densidade mínima de uma estação pluviométrica para cada 2500 km², tratando da medição de precipitação em região de montanhas. Já para medições fluviométricas, a WMO (1994) recomenda uma densidade mínima de uma estação para cada 1000 km², também considerando em regiões montanhosas.

Na resolução conjunta ANEEL/ANA nº 3 de 10 de agosto de 2010, seu artigo 2º, parágrafo 3º, propõe que uma área de drenagem entre 501 km² e 5.000 km² deve conter no mínimo 3 estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico. A soma total da área de drenagem de todos os sistemas do SIM possui por volta de 5.464 km² e a SABESP opera uma rede com 64 estações pluviométricas e 75 fluviométricas. Portanto, verifica-se a existência de uma estação pluviométrica a cada 85 km² (Tabela 1) e uma estação fluviométrica a cada 73 km² (Tabela 2), situação que supera inúmeras vezes o recomendado pela WMO e pela resolução conjunta ANEEL/ANA.

Tabela 1: Densidade atual da rede pluviométrica da SABESP nos Sistemas Produtores da RMSP.

SISTEMA	ÁREA DA BACIA [km ²]	QUANTIDADE DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	DENSIDADE SABESP [km ² /estação]	REFERÊNCIA RECOMENDADA [Densidade de estação]
Cantareira	2.303	17 ¹	135	1 a cada 2.500 km ² (WMO, 2008) 3 entre 501 e 5.000 km ² (RC ANEEL/ANA n° 3 de 10/08/10)
Alto Tietê	919	19	48	
Guarapiranga	631	10	63	
Rio Grande	182	4	45	
Cotia	234	5	47	
Rio Claro	245	5	49	
São Lourenço	950	7	136	
Total	5.464	64	85	

¹ Estação Cabuçu incluída no Sistema Cantareira.

Tabela 2: Densidade atual da rede fluviométrica da SABESP nos Sistemas Produtores da RMSP.

SISTEMA	ÁREA DA BACIA [km ²]	QUANTIDADE DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	DENSIDADE SABESP [km ² /estação]	REFERÊNCIA RECOMENDADA [Densidade de estação]
Cantareira	2.303	22 ¹	105	1 a cada 1.000 km ² (WMO, 2008) 3 entre 501 e 5.000 km ² (RC ANEEL/ANA n° 3 de 10/08/10)
Alto Tietê	919	20	46	
Guarapiranga	631	9	70	
Rio Grande	182	4	45	
Cotia	234	6	39	
Rio Claro	245	7	35	
São Lourenço	950	7	136	
Total	5.464	75	73	

¹ Estação Cabuçu incluída no Sistema Cantareira.

Hoje todos os dados coletados pelos medidores de chuva e nível são transmitidos por meio de rede de telefonia celular, que utiliza a tecnologia GSM/GPRS, ou por meio de satélite, para uma unidade remota de armazenamento que faz a imediata transmissão dos dados para o Sistema de Suporte a Decisões – SSD Sabesp. O acesso às informações pode ser realizado em tempo real de qualquer lugar onde esteja disponível um ponto de Internet. Parte desses dados é enviada de forma automática à ANA, disponibilizando em tempo real informações através do sistema da Agência. A tecnologia pode ser facilmente adaptada para realizar a comunicação de forma automática com sistemas de outros órgãos e agências de bacia.

A rede telemétrica possui grande confiabilidade quanto à coleta e à transmissão, considerando que aproximadamente 99% dos dados são gravados em seus servidores (Gráfico 2). Dos mais de 843 mil registros entre nível e precipitação transmitidos mensalmente, o índice de erro ou falha é menor que 0,5%.

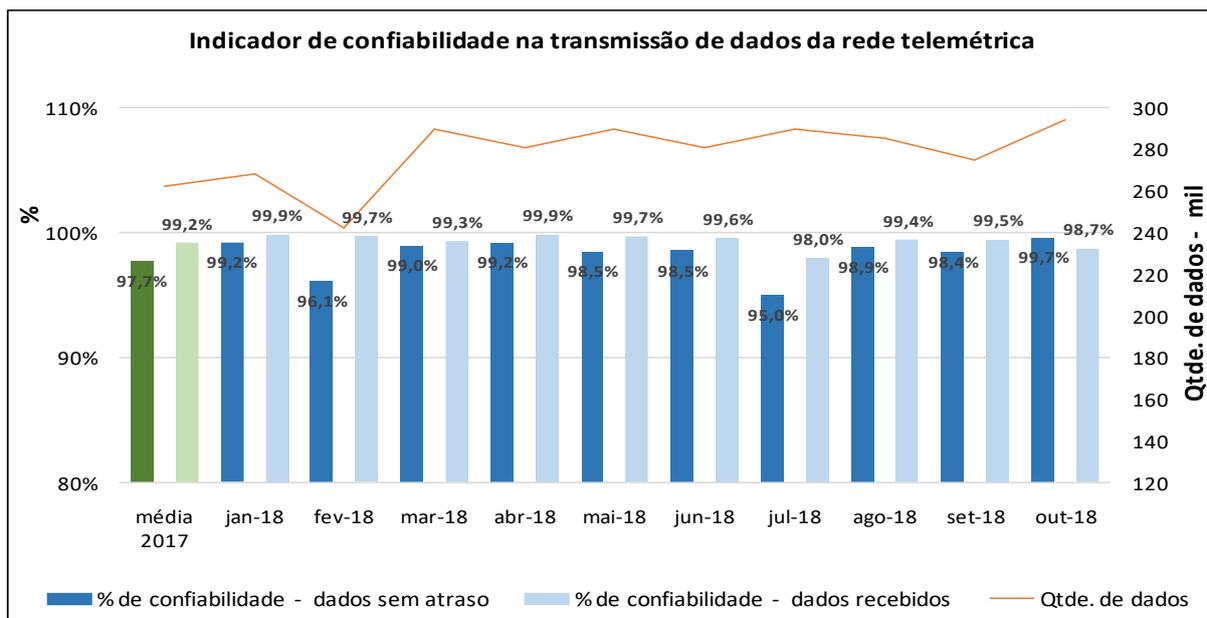


Gráfico 2: Confiabilidade mensal (entre janeiro e outubro de 2018) na transmissão de dados da rede telemétrica da SABESP instalados nos Sistemas Produtores da RMSP. (Fonte: Sabesp)



Figura 2: Posto telemétrico (pluviômetro) da Sabesp.



Figura 3: Esquema para coleta e transmissão dos dados das estações telemétricas da SABESP.

ÍNDICES E INDICADORES

A gestão e o gerenciamento de recursos hídricos baseiam-se em uma enorme quantidade de dados brutos, que, através de um tratamento adequado e objetivo, se transformam em informações úteis e claras, que dão suporte à tomada de decisão.

Na área de recursos hídricos, o papel dos índices e indicadores é converter dados brutos em informações simples, graficamente apresentáveis, de rápida interpretação e entendimento, e facilmente comparáveis entre períodos ou bases diversas.

Ao longo dos anos, a Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – vem buscando na literatura nacional e internacional, índices e indicadores que tenham aplicabilidade em recursos hídricos e que possam ser utilizados com base nas informações de que a Companhia dispõe. Atualmente, os mais utilizados são: IDH, SPI & DM e o ISH.

- **IDH – Índice de Disponibilidade Hídrica**

O IDH – Índice de Disponibilidade Hídrica –, é representado pelo Índice de Disponibilidade Hídrica Mananciais IDH_M e pelo Índice de Disponibilidade Hídrica Água Tratada IDH_{AT} , os quais são determinados pelas Equações 1 e 2 a seguir.

$$IDH_M = V_{OPER} / (T * Pop) \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

V_{OPER} : Volume operacional [m^3];

T: Tempo [anos];

Pop: População abastecida [nº de habitantes];

O IDH_M é expresso em [$m^3/hab*ano$]

$$IDH_{AT} = (V_{MÉD_PROD} * T) / Pop \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$Q_{MÉD_PROD}$: Vazão média produzida na ETA [m^3/s]

T: Conversão para a escala de tempo desejada;
Pop: População abastecida [nº de habitantes];
O IDH_{AT} é usualmente expresso em $[m^3/hab*ano]$;

Como pode ser observado nas Equação 1, o índice de Disponibilidade Hídrica Mananciais – IDH_M – apresenta a relação teórica entre o montante total de água disponível de um determinado sistema produtor, por habitante, por ano. O volume total de água disponível é calculado através da soma das vazões naturais médias, vazões transferidas para o sistema, e o volume médio acumulado inicialmente no sistema, em um horizonte de tempo anual. Já conforme a Equação 2, O Índice de Disponibilidade Hídrica – Água Tratada (IDH_{AT}), expressa a relação entre a vazão média produzida por um sistema, em sua respectiva Estação de Tratamento de Água (ETA), disponível para consumo da população (por habitante), em um determinado período. Este índice foi desenvolvido para balizar a produção de água da companhia e, assim, apoiar na avaliação da disponibilidade de água, a nível de planejamento.

O acompanhamento dos Índices de Disponibilidade Hídrica ao longo do tempo pode ser observado no Gráfico 3, a seguir.

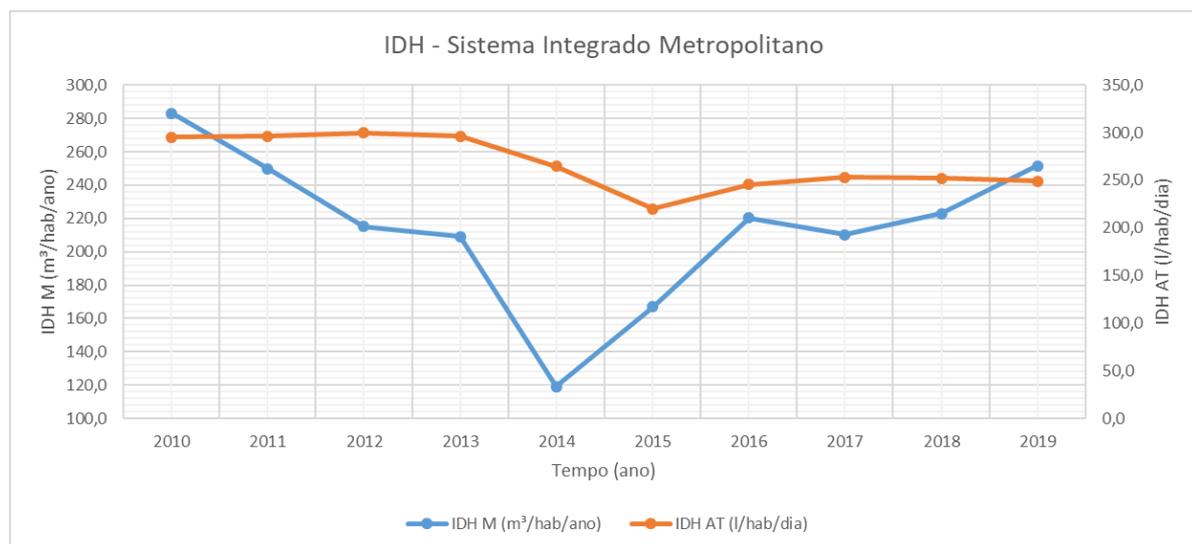


Gráfico 3: Índices de Disponibilidade Hídrica (IDH), Mananciais e Água Tratada, para o Sistema Integrado Metropolitano, de janeiro/2009 a dezembro/2019. (Fonte: SSD Sabesp)

No Gráfico 3, é possível observar que no período de 2013-2015, o qual contempla uma das principais crises hídricas da região, tanto o IDH_M quanto o IDH_{AT} apresentaram seus menores valores, de $120 m^3/hab./ano$ e de $220 L/hab./dia$, respectivamente.

A mudança de patamar usual observado para o IDH_{AT} pré-crise e pós-crise, em torno de $300 L/hab./dia$ para em torno de $250 L/hab./dia$, ocorreu principalmente em decorrência das medidas de aumento da eficiência no abastecimento público implementadas durante a crise hídrica, tais como a redução de perdas por vazamento nas redes através da redução da pressão nos horários de menor consumo e a mudança dos hábitos de consumo da população, reduzindo o consumo médio de $160 L/hab./dia$ (pré-crise) para $123 L/hab./dia$, em 2018 e que se manteve após a crise. (FARO et al., 2019; BRAGA e KELMAN, 2016)

- **SPI – Índice de Precipitação Padronizado – e DM – Magnitude da Seca.**

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) (do acrônimo em inglês *Standardized Precipitation Index*), é um índice meteorológico comumente utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excesso de chuva (KEYANTASH e DRACUP, 2002). O SPI foi desenvolvido por McKee et al. (1993), e é baseado somente em dados de precipitação mensal. Derivado do SPI, o DM (Magnitude da Seca, do inglês *Drought Magnitude*) é um indicador que estima a magnitude da seca, considerando a sua persistência e intensidade acumulada. O SPI é dado em limiares (observar legenda do Gráfico 4), que correspondem ao número de desvios-padrão que a precipitação observada se afasta da média. A precipitação utilizada no cálculo do SPI

pode ser agregada em períodos de i meses. Normalmente, utilizam-se períodos de precipitação média de 3, 6, 12, 24 ou 48 meses (MCKEE et al., 1993). O SPI é utilizado por instituições e órgãos de pesquisa e monitoramento tanto no cenário nacional quanto internacional, destacando-se o americano WRCC (*Western Regional Climate Center*), e brasileiro CPTEC/INPE. (FARO et al., 2019)

O acompanhamento do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) (Gráfico 4) permitiu a mensuração da severidade dos eventos secos e chuvosos que ocorreram na região nos últimos 20 anos de observações. (FARO et al. 2019)

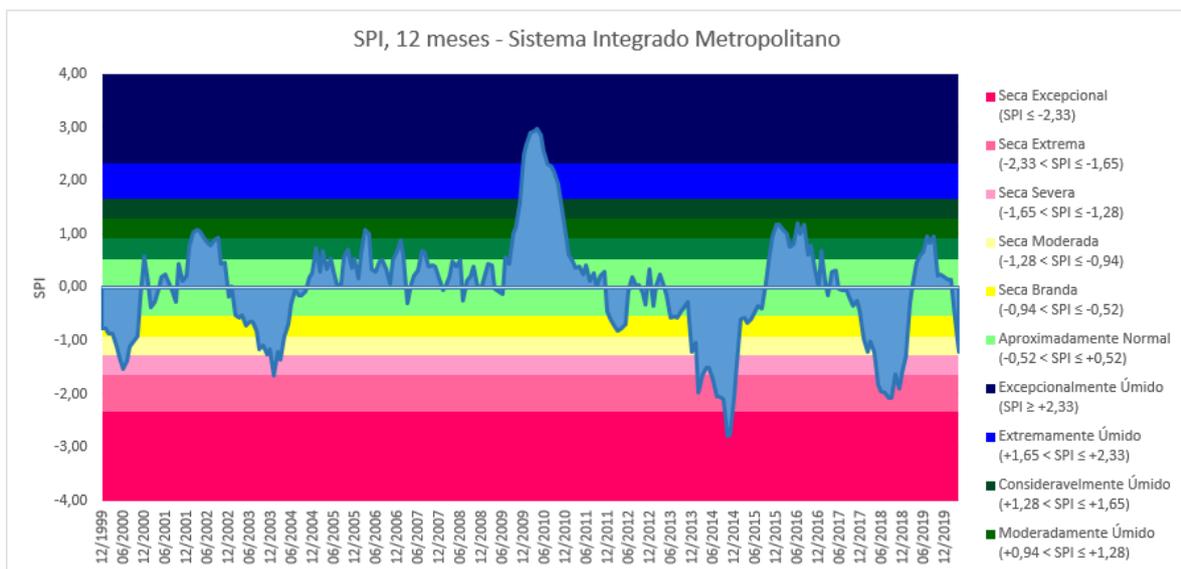


Gráfico 4: Índice de Precipitação Padronizada (SPI), com média móvel de 12 meses, para o Sistema Integrado Metropolitano, de janeiro/1999 a abril/2020. (Adaptado de FARO et al., 2019)

As chuvas que notadamente ocorreram acima das médias históricas entre os anos de 2009 e 2010 resultaram no período em que o SPI apresentou seu valor mais elevado (SPI = 2,9; em abril/2010), indicando a situação de evento “extremamente úmido”. Por outro lado, os eventos atrelados à Crise Hídrica de 2014-2015 resultaram na ocorrência do período mais crítico em termo de ausência de chuvas na região, sendo qualificado como um período de “seca excepcional”. O auge deste evento ocorreu em outubro/2014, com SPI = -2,7. (FARO et al., 2019)

O evento mais crítico em termos de Magnitude da Seca ocorreu durante os anos de 2014 e 2015 (Gráfico 5). Neste período, o DM do Sistema Integrado Metropolitano atingiu, em agosto/2015, o valor máximo de 27,8 meses de persistência da seca, ou seja, por um período maior que 2 anos, que culminou nesta data, as chuvas apresentaram-se abaixo dos valores históricos “normais”. Esta condição de escassez só foi atenuada pelas chuvas que começaram a ocorrer acima das médias históricas nos meses que se seguiram. (FARO et al., 2019)

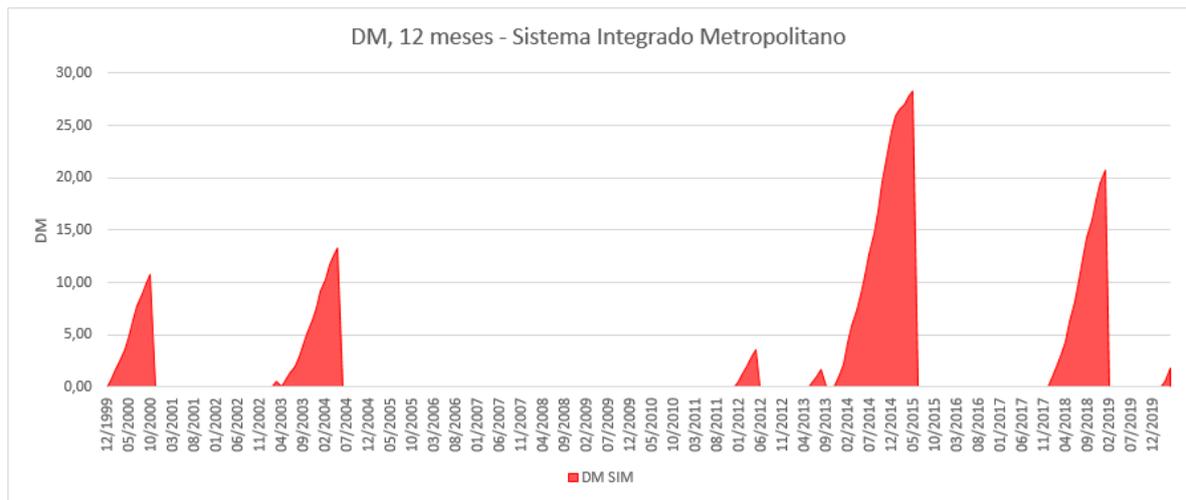


Gráfico 5: Magnitude da Seca (DM), com média móvel de 12 meses, para o Sistema Integrado Metropolitano, de janeiro/1999 a abril/2020. (Adaptado de FARO et al., 2019)

- **ISH – Índice de Segurança Hídrica**

O Índice de Segurança Hídrica (ISH) é um indicador utilizado para o acompanhamento da situação do volume armazenado no sistema. Ele determina o quão próximo (ou distante) o volume operacional do sistema, em um determinado mês, encontra-se das metas pré-definidas para aquele mês.

$$ISH = V_{OPER} / V_{META}$$

equação (3)

Sendo:

V_{OPER} : Volume operacional armazenado no sistema [%];

V_{META} : Volume meta definido para o mês em análise [%];

As metas do indicador são calculadas com base no histórico mensal do sistema avaliado, considerando as médias históricas de volume no início dos períodos secos (março) e chuvosos (setembro), nos anos em que houve pleno atendimento de demandas. Para este índice foram definidas três faixas de avaliação, elencadas a seguir.

Faixas de avaliação do ISH (expressam a condição mensal do sistema)

$ISH < 0,40$ – Crítico;

$0,40 \leq ISH < 0,70$ – Atenção;

$ISH \geq 0,70$ – Satisfatório.

O Gráfico 6 apresenta o acompanhamento do Índice de Segurança Hídrica ao longo dos últimos 10 anos e demonstra a relação entre os valores mais baixos deste índice com períodos de baixas precipitações. No período apresentado, ISH figurou na faixa “crítica” de maio/2014 a dezembro/2015 e o valor mais baixo do ISH (-0,04) foi observado em novembro/2014. O valor negativo do índice ocorreu devido à entrada do Sistema Cantareira na reserva técnica durante a Crise de 2014-2015. (FARO et al., 2019)

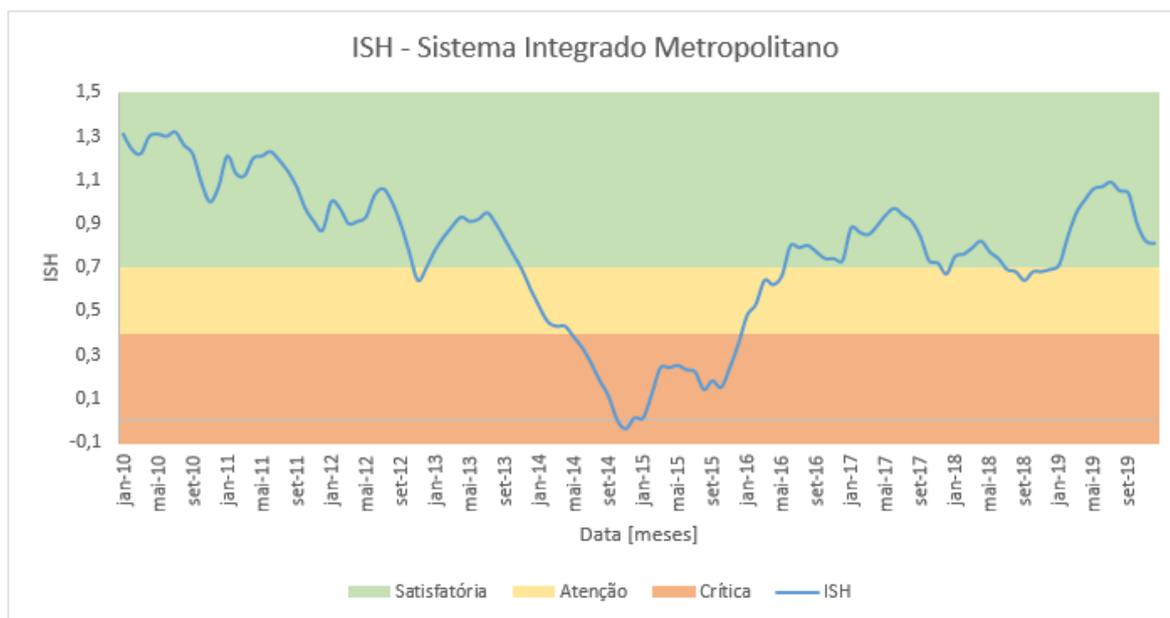


Gráfico 6: Índice de Segurança Hídrica (ISH) para o Sistema Integrado Metropolitano, de janeiro/2009 a dezembro/2019. (Fonte: SSD Sabesp)

- **IOD – Índice Oferta - Demanda**

O Índice Oferta Demanda apresenta a relação entre a oferta – que se traduz pelo volume reservado de água no último dia de mês, traduzido em termos de vazão reservada (volume distribuído no tempo determinado), somado à vazão disponível total (teórica) possível de ser transferida externamente para o sistema subtraído da vazão realizada transferida externamente para o sistema – e a demanda – que é representada pela vazão média mensal produzida nas Estações de Tratamento de Água. O índice foi criado pela Sabesp, como forma de interpretar a disponibilidade hídrica do sistema face à demanda da produção e é adimensional.

$$\text{IOD}_{\text{GLOBAL}} = (Q_{\text{RESERVAÇÃO}} + Q_{\text{DISPONÍVEL}} - Q_{\text{TRANSFERIDO}}) / Q_{\text{PRODUÇÃO}} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

$Q_{\text{RESERVAÇÃO}}$: Vazão “reservada” no sistema avaliado (m^3/s);

$Q_{\text{DISPONÍVEL}}$: Vazão disponível total (teórica) possível de ser transferida externamente para o sistema (m^3/s);

$Q_{\text{TRANSFERIDO}}$: Vazão realizada transferida externamente para o sistema;

$Q_{\text{PRODUÇÃO}}$: Vazão produzida na ETA (m^3/s).

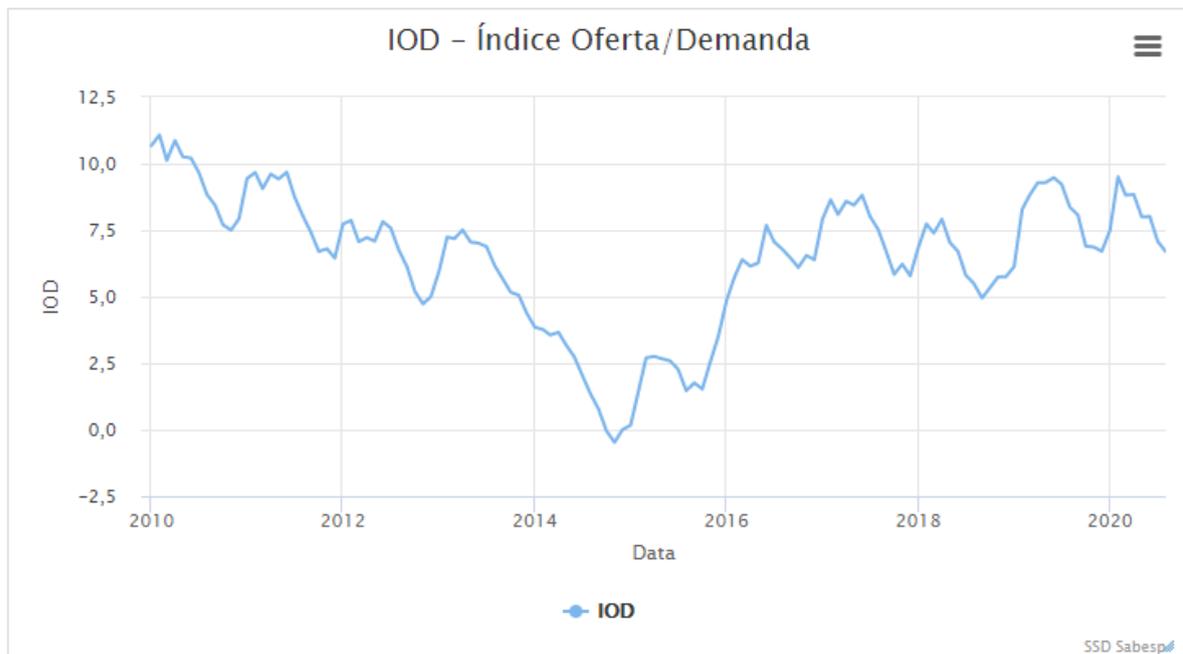


Gráfico 7: Índice Oferta Demanda (IOD) para o Sistema Integrado Metropolitano, de janeiro/2010 a agosto/2020. (Fonte: SSD Sabesp)

Conforme pode ser observado no Gráfico 7, o Índice Oferta-Demanda atingiu seus valores mais baixos com a evolução da crise hídrica (2013-2014).

MODELOS

Um modelo matemático é uma representação simplificada da realidade que busca auxiliar os usuários na compreensão dos inúmeros e complexos processos presentes naquela situação real. No ramo de recursos hídricos, modelos estão sendo cada vez mais empregados com o objetivo de tentar prever as consequências futuras no ciclo hidrológico decorrentes das mudanças no uso e cobertura dos solos, no regime pluviométrico da região, nas demandas, entre outros.

Para a Sabesp, entender as mudanças que estão ocorrendo no ambiente e que impactam as vazões afluentes aos reservatórios é fundamental para balizar a operação dos sistemas no longo prazo. Com tal finalidade em mente, a Companhia desenvolveu alguns modelos ao longo dos anos, que compõem o MIGRH – Modelo Integrado de Gestão de Recursos Hídricos –, uma família de modelos que foram desenvolvidos ao longo dos anos visando dar suporte às operações hídricas da Companhia e que são parte integrante do Sistema de Suporte à Decisão – SSD Sabesp. Entre os modelos em uso atualmente, pode-se destacar o Modelo de Análise da Operação Ótima, que é um modelo estratégico com foco no longo prazo – horizonte de simulação de 24 meses. O desenvolvimento do modelo de Análise da Operação Ótima teve como base o software de rede de fluxo Acquanet, desenvolvido pela USP e disponibilizado gratuitamente. Tal software é empregado para estimativas de vazão regularizada em reservatórios ou em cascatas de reservatórios (ANA, 2013). O *software* AcquaNet inclusive foi vencedor do Prêmio ANA 2010 na categoria Pesquisa e Inovação Tecnológica, e vem sendo utilizado em estudo de gerenciamento de recursos hídricos desde 1998 (Tercini e Mello, 2018).

O modelo de Análise da Operação Ótima é um modelo determinístico que possui como dados de entrada séries de vazões afluentes, demandas, limites operacionais, situação atual de volume armazenado no sistema, entre outros.

De acordo com Sampaio e Dias (2014), atualmente é possível prever o tempo com dias de antecedência da ordem de uma semana com índices de acerto altos. Em algumas situações tem sido possível prever mudanças significativas no tempo com cerca de 10 a 15 dias de antecedência. No entanto, ainda é impossível fazer uma previsão precisa de quando se inicia e das características exatas de uma estação chuvosa ou da ocorrência,

frequência e duração de veranicos com meses de antecedência. Tal limitação deve-se principalmente à natureza caótica da atmosfera. Na prática, os serviços meteorológicos mais avançados não conseguem fornecer previsões de tempo com taxas de acerto úteis para prazos maiores do que seis ou sete dias, e, somente em situações excepcionais, é que a previsibilidade se estende a 10-15 dias.

No caso do Brasil, especificamente em relação à região sudeste, a previsibilidade climática é muito baixa, apresentando menor confiabilidade devido à menor dependência com relação ao estado dos oceanos e à grande variedade e variabilidade dos sistemas meteorológicos que atingem a região (Sampaio e Dias, 2014).

Em uma previsão sazonal não se pode prever em qual dia uma localidade irá experimentar chuva, tempestades, temperaturas extremas ou passagens de sistemas frontais. No entanto, pode-se encontrar eficácia na previsão de desvios, anomalias, no comportamento sazonal dos elementos do tempo. A chuva total, por exemplo, pode ser prevista como sendo de maior ou menor intensidade do que a média histórica climatológica (Sampaio e Dias, 2014). Dessa forma, apesar de as previsões numéricas de tempo com prazos maiores do que 10 a 15 dias não trazerem resultados precisos em termos diários, elas são bastante úteis para demonstrar valores acumulados e sua tendência em relação à média durante o período analisado.

Como consequência da limitação temporal inerente aos modelos de previsão disponíveis, foi preciso buscar maneiras alternativas à tradicional metodologia chuva-vazão para criar cenários de vazões afluentes aos reservatórios. Em função da vasta disponibilidade de séries de vazões mensais afluentes nos dados telemétricos da Sabesp, foram criados cenários de 24 meses vazão com base em tal histórico, como por exemplo cenário de vazão média mensal, cenário de vazão mínima mensal, e também alguns cenários com base em anos críticos, tais como o triênio 2013-2015.

Em relação aos limites das estruturas e relações de capacidade, o modelo conta com restrições e curvas características já implementadas, e, de tal maneira, com a exceção de alguma restrição nova, o usuário não precisa se preocupar, pois os resultados obtidos já estarão baseados em tais dados operacionais.

Já quando se fala sobre outorgas e as limitações e valores impostos, estes já estão considerados no modelo. Porém, cabe ressaltar que, caso o usuário deseje fazer uma simulação sem considerar tais regras, basta selecionar tal opção disponível nas configurações iniciais.

Pode-se afirmar com segurança que os modelos matemáticos trouxeram à Sabesp um enorme ganho de tempo nas análises e simulações realizadas no dia a dia. Por trazer diversas regras e restrições já totalmente implementadas, os cenários de vazões podem ser fácil e rapidamente alterados, gerando uma diversidade de cenários de operação resultantes, em um curto espaço de tempo. Tal ganho é fundamental em vista de que quando trata-se de abastecimento público, as decisões precisam ser tomadas de maneira rápida e eficiente.

Nas figuras a seguir são apresentadas algumas telas do modelo de Análise da Operação Ótima. Optou-se por apresentar figuras referentes à modelagem do sistema Rio Grande.

A Figura 4 apresenta um ano hidrológico (outubro a setembro), em que o fundo em azul representa o período úmido e o fundo em laranja representa o período seco, com séries de dados médios históricos de chuva e vazão natural, em comparação com séries observadas para o presente ano de dados de chuva e vazão natural.

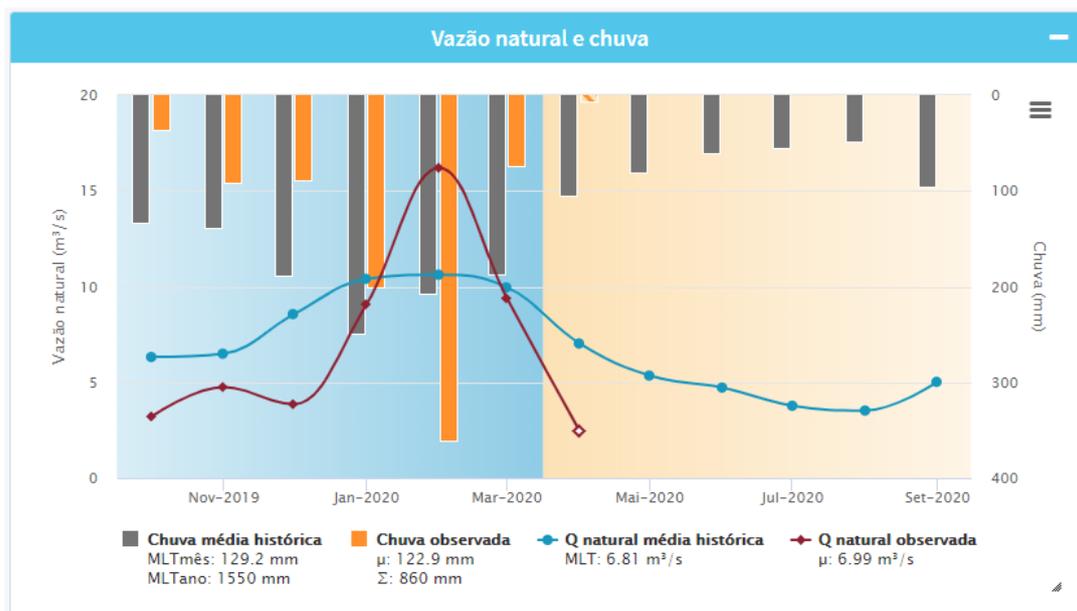


Figura 4: Comparação entre dados observados de vazão natural e chuva e respectivas médias históricas. (Fonte: SSD Sabesp – em abril/2020)

Já a Figura 5 apresenta o local para seleção do(s) cenário(s) de vazões naturais que o usuário deseja utilizar como entrada no modelo.

Cenários de vazão			
Cenário	Triênio	Coeficiente Multiplicador	
		Rio Grande	Simular
Projeção Esperada		1,384	<input checked="" type="checkbox"/>
Média Histórica		1,000	<input type="checkbox"/>
Mínima Histórica		1,000	<input type="checkbox"/>
Período	1952/1953/1954	1,000	<input type="checkbox"/>
Período	1953/1954/1955	1,000	<input type="checkbox"/>
Período	2013/2014/2015	1,000	<input type="checkbox"/>
Período	2014/2015/2016	1,000	<input type="checkbox"/>
Período	2016/2017/2018	1,000	<input type="checkbox"/>

Figura 5: Cenários de simulação disponíveis (Fonte: SSD Sabesp).

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam locais para a inclusão de regras ou restrições a serem respeitadas pelo modelo nas simulações. Algumas células já vêm com valores padrão propostos, porém, o usuário pode alterá-los para adequar a simulação a condições ou necessidades específicas que queira representar.

Descargas a Jusante - Mínimas (m ³ /s)		
Represa	Período Seco	Período Úmido
Reservatório Rio Pequeno	0,00	0,00
Ribeirão da Estiva	0,10	0,10

Descargas a Jusante - Máximas (m ³ /s)		
Componente	Período Seco	Período Úmido
Reservatório Rio Grande	21,00	21,00
AT-27	4,00	4,00

Figura 6: Restrições operativas (Fonte: SSD Sabesp).

Capacidades - Transferências, Bombeamentos e Tratamentos		
Bombeamento	Capacidade (m ³ /s)	Volume Anual (hm ³)
Reversão Rio Grande	4,00	
Reversão Rio Pequeno	7,20	126,20

Tratamento	Capacidade (m ³ /s)
ETA Rio Grande	5,00
ETA Ribeirão da Estiva	0,15

Figura 7: Limites das estruturas (Fonte: SSD Sabesp).

Após a execução da simulação, o modelo entrega alguns resultados, todos em forma de gráfico. A Figura 8 apresenta um desses gráficos, com 12 meses de período observado e 24 meses de simulação futura, com base nos dados de entrada inseridos pelo usuário. As séries apresentadas estão descritas a seguir.

- Vazões naturais;
- Demandas consuntivas da bacia;
- Transferências de entrada de água no sistema;
- Transferências de saídas de água do sistema para outras bacias;
- Afluências, que representam a soma das vazões naturais com as transferências de entrada;
- Defluências, que representam a soma das descargas das barragens que compõem o sistema, das transferências de saída, da evaporação e das demandas consuntivas da bacia;
- Superávits e Déficits que representam a diferença entre as séries de Afluências e Defluências.

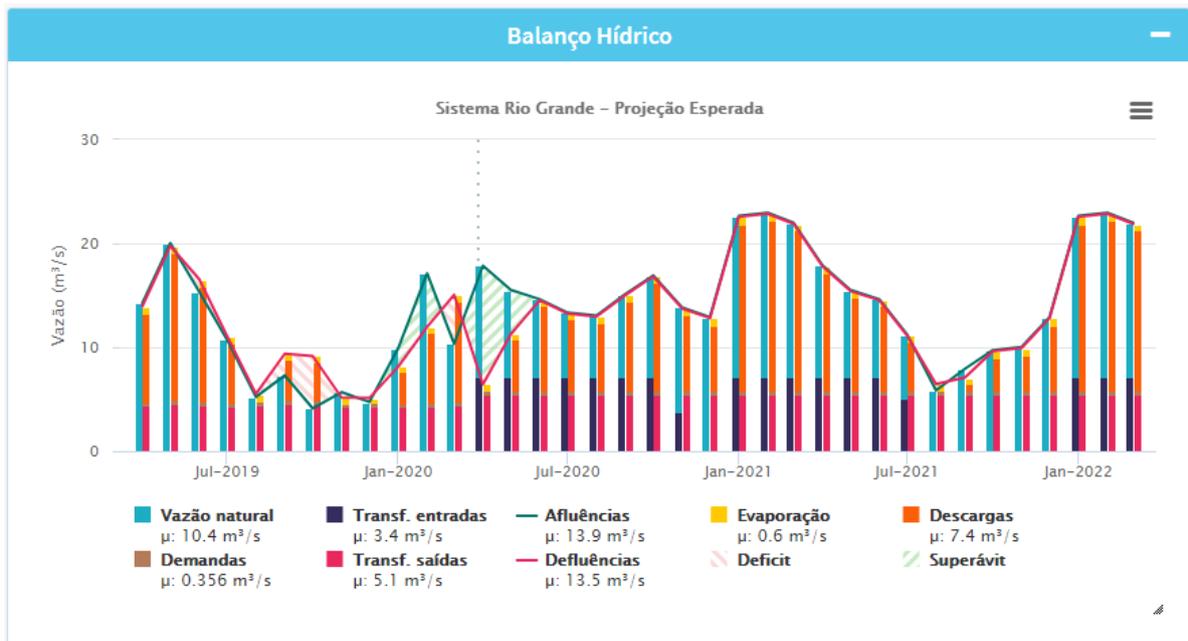


Figura 8: Exemplo de gráfico de resultados (Fonte: SSD Sabesp).

APLICABILIDADE DAS FERRAMENTAS CITADAS NO ÂMBITO DA SEGURANÇA HÍDRICA

Cada ferramenta apresentada neste material teve seu desenvolvimento vinculado ao atendimento de uma necessidade da Sabesp, que atua sempre buscando aprimorar sua gestão e o seu gerenciamento dos recursos hídricos sob sua responsabilidade, visando a uma maior segurança hídrica.

Por exemplo, o desenvolvimento de uma robusta rede de monitoramento telemétrico e os seus constantes aprimoramentos e modernização derivam do interesse da Companhia em melhorar seu entendimento dos processos que ocorrem até a chegada das vazões aos reservatórios. Tal fato é fundamental para o gerenciamento dos mananciais, pois quanto melhor o entendimento do que ocorre na bacia hidrográfica a montante, mais fácil será prever eventuais conflitos, modificações nas afluências e até variações nas características do fluxo e atuar preventivamente na busca de soluções.

Os Índices e Indicadores são resultantes de pesquisas extensas e constantes na bibliografia nacional e internacional em busca das melhores práticas traduzidas em termos de indicadores matemáticos. Muitas vezes é difícil extrair informações de maneira rápida e conclusiva quando se trabalha com grandes séries de informações. Os índices e indicadores são ferramentas que atuam para traduzir grandes volumes de dados em informações simples e de rápida leitura e interpretação, para apoiar a tomada de decisão, e que são muito utilizadas no dia a dia da tomada de decisão em todos os níveis hierárquicos da Companhia.

Por fim, temos os modelos de simulação. O ciclo hidrológico que se desenvolve até a chegada da água no reservatório de abastecimento é composto por diversos processos complexos. Os modelos matemáticos são ferramentas fundamentais para tentar traduzir matematicamente alguns processos que ocorrem no mundo real, e que precisam ser melhor compreendidos e visualizados, de maneira a possibilitar um entendimento dos cenários futuros que podem ocorrer.

CONCLUSÃO

Gestão e gerenciamento de recursos hídricos é a área de conhecimento relacionada a um dos mais importantes recursos naturais. Desde a geração de energia elétrica até o controle de doenças, a água é fundamental para a existência e o desenvolvimento da humanidade e, como um recurso escasso, é importante que seu uso se dê com responsabilidade e inteligência, para evitar a escassez.

As ferramentas abordadas neste material mostram como a Sabesp está constantemente buscando novas tecnologias, metodologias e meios que a auxiliem na gestão efetiva dos recursos hídricos sob sua responsabilidade. Face ao enorme desafio que a companhia enfrenta diariamente de abastecer a Região Metropolitana de São Paulo com uma água de qualidade e na quantidade adequada, a Sabesp se mune das ferramentas e tecnologias disponíveis para cumprir seu papel com responsabilidade técnica e eficiência.

Além da busca de novas ferramentas, outro investimento importante da Companhia é o aprimoramento contínuo das ferramentas já em uso. Todo esse investimento técnico na melhoria contínua dos sistemas e ferramentas tem como principal objetivo garantir a segurança hídrica de seus mananciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA, Agência Nacional de Águas; ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Conjunta nº 03. Brasília, DF. 2010.
2. ANA, Agência Nacional de Águas. Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas/Agência Nacional de Águas. Brasília-DF: ANA/SGH, 2012.
3. ANA, Agência Nacional de Águas. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília, 2013. 252p.
4. BRAGA, B.; KELMAN, J. *Facing the challenge of extreme climate: the case of Metropolitan São Paulo. Water Policy*, v. 18, n. S2, p. 52-69, 2016.
5. FARO, G.T.C. et al. Integração de Índices e Indicadores a Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIII, 2019, Foz do Iguaçu-PR.
6. GONTIJO JR, W.C. Avaliação e redimensionamento de redes para o monitoramento fluviométrico utilizando o método *Sharp* e o conceito de entropia. 2007. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-103/2007. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 190p.
7. KEYANTASH, J.; DRACUP, J. A. *The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 83, n. 8, p. 1167-1180, 2002.
8. MCKEE, T. B. et al. *The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, MA: American Meteorological Society, v. 17, n. 22, p. 179-183, 1993.
9. PORTO, M. Recursos hídricos e saneamento na Região Metropolitana de São Paulo: um desafio do tamanho da cidade. In: Serie Água Brasil. Banco Mundial, 2003.
10. REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. EMPLASA. Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>>. Acesso em: 06 de maio de 2020.
11. SAMPAIO, G.; DIAS, P.L.S. (2014). Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. Revista USP, (103), 41-54.
12. TERCINI, J.R.B.; MELLO JR, A.V. Cenarização da disponibilidade hídrica versus demanda de água utilizando o *software* Acquanet: estudo de caso bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. In: XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste - ABRH. 2018. Maceió.
13. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. *Guide to Hydrological Practices: Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications*. 5a ed. Genebra: World Meteorological Organization, 1994. Vol I. Publicação WMO nº 168. p. 259-287.
14. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. *Guide to Hydrological Practices: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. 6a ed. Genebra: World Meteorological Organization, 2008. Vol I. Publicação WMO nº 168.