

Março de 2024

Ano 10 | número 91

SITUAÇÃO ATUAL E PROJEÇÃO HIDROLÓGICA PARA O SISTEMA CANTAREIRA

Diretora do Cemaden

Regina Célia dos Santos Alvalá

Coordenador Geral de Pesquisa e Desenvolvimento

José A. Marengo

Revisor Científico

Luz Adriana Cuartas Pineda

Pesquisadores colaboradores

Elisângela Broedel

Marcelo Seluchi

Giovanni Dolif

Wanderley Mendes

Jerusa Peixoto

Elaboração

Elisângela Broedel



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Sumário Executivo

Esta edição do boletim traz um resumo da situação referente ao mês de março de 2024, e projeções hidrológicas de abril a setembro de 2024. O armazenamento dos reservatórios do Sistema Cantareira, no final de março, foi de 78% do volume útil total. Esse valor representa um aumento de 2% em relação ao final do mês anterior, um patamar ligeiramente inferior comparativamente ao mesmo período do ano de 2023 (82%). Com a situação atual de armazenamento, os reservatórios do Sistema Cantareira encontram-se na faixa de operação “Normal” (armazenamento entre 60% e 100%)¹, cuja máxima vazão de extração para o atendimento da demanda hídrica da região metropolitana de São Paulo é 33 m³/s. Em março de 2024, a média de extração para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo foi, de aproximadamente, 29 m³/s. Ressalta-se que, com o atual nível de armazenamento superior a 60%, a contribuição proveniente do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Jaguari, na bacia do rio Paraíba do Sul, para o reservatório do rio Atibainha, integrante do Sistema Cantareira permanece suspensa, de acordo a Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017.

A precipitação e a vazão registradas no Sistema Cantareira, no mês de março foram equivalentes a 100% e 67% da média histórica do mês, respectivamente. Atualmente, o Sistema Cantareira encontra-se classificado em seca hidrológica fraca, de acordo com o Índice Padronizado Bivariado Precipitação-Vazão (TSI) em ambas as escalas temporais, de 6 e 12 meses. Essa condição representa uma intensificação da seca comparativamente ao mês anterior, quando ainda estava estabelecida uma situação de normalidade na bacia.

Com relação às projeções hidrológicas a partir do modelo PDM/CEMADEN (Probability-Distributed Model/CEMADEN) (**Tabela 01**), as simulações indicam que, no cenário hipotético de precipitação na média histórica, a vazão afluente média aos reservatórios do sistema Cantareira, no próximo trimestre, de abril a junho de 2024, seria 30 m³/s, o que representa 82% da média histórica para este período. Ainda, considerando o cenário de precipitações na média histórica, o modelo hidrológico projeta um armazenamento no sistema, no final de junho, de 71%, na faixa de operação “Normal”. Para um horizonte de tempo maior, entre abril e setembro, o modelo indica vazão média de 24 m³/s, correspondente a 83% da média histórica e armazenamento no final de setembro, de 57%, na faixa de operação “Atenção”.

¹ De acordo com a Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017.

Ressalta-se que esses cenários podem ser modificados de acordo com mudanças na vazão de interligação com a bacia do rio Paraíba do Sul, bem como as extrações do Sistema a serem praticadas pelo operador, nos próximos meses.

Tabela 01. Projeções de vazões médias entre o período de abril a setembro de 2024 e volume armazenado no final de junho e de setembro de 2024, considerando cinco cenários de precipitação: 50% e 25% abaixo da média histórica, na média histórica e 25% acima da média histórica e cenário crítico. As faixas de operação do reservatório estão de acordo com a resolução conjunta da ANA/DAEE Nº 925/2017. *Nessas simulações, foi considerado o aporte proveniente da interligação do Sistema Paraíba do Sul para Sistema Cantareira, apenas quando o volume armazenado permaneceu inferior a 60% da capacidade total, de acordo com a Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017.*

	Cenários de Precipitação				
	50% abaixo da média histórica	25% abaixo da média histórica	Média histórica	25% acima da média histórica	Crítico (precipitação de 2021)
Abril a Junho/2024					
Vazão Afluente (m ³ /s)	19	23	30	35	21
Vazão Afluente (% da MLT)	52%	65%	82%	98%	58%
30/06/2024					
Volume útil - 982 hm ³ - (%)	63%	66%	71%	76%	64%
Faixa de operação	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Abril a Setembro/2024					
Vazão Afluente (m ³ /s)	13	18	24	30	17
Vazão Afluente (% da MLT)	46%	61%	83%	103%	57%
30/09/2024					
Volume útil - 982 hm ³ - (%)	42%	49%	57%	65%	47%
Faixa de operação	Atenção	Atenção	Atenção	Normal	Atenção

1. Situação atual do Sistema Cantareira

A precipitação acumulada durante os meses chuvosos de nos meses chuvosos de 2023/2024, de outubro de 2023 a março de 2024, baseado nas redes pluviométricas que cobrem as sub-bacias de captação do Sistema Cantareira (**Figura 1**), incluindo 26 pluviômetros do CEMADEN e 7 pluviômetros do DAEE/ SAISP², foi 1129 mm (1168² mm). Esse valor corresponde a 1% (5%²) acima da média histórica para a estação chuvosa, compreendida entre os meses de outubro a março (1118 mm).

No mês de março de 2024, a precipitação acumulada foi de 174 mm (184² mm), equivalente a um valor de, aproximadamente, 100% (106%²) da média histórica para este mês (174 mm) (**Figura 2**). Ainda na **Figura 2**, também é possível observar a forte variabilidade das chuvas durante o período chuvoso 2023/2024. O início da estação chuvosa 2023, por exemplo, foi marcado por altos volumes de chuva na região, cerca de 140% (145%²) acima da média histórica (123 mm). No entanto, em dezembro de 2023, pleno auge da estação chuvosa, foi registrado um grande déficit de chuva, com valor médio equivalente de apenas 38% (37%²) da média histórica para o período (205 mm).

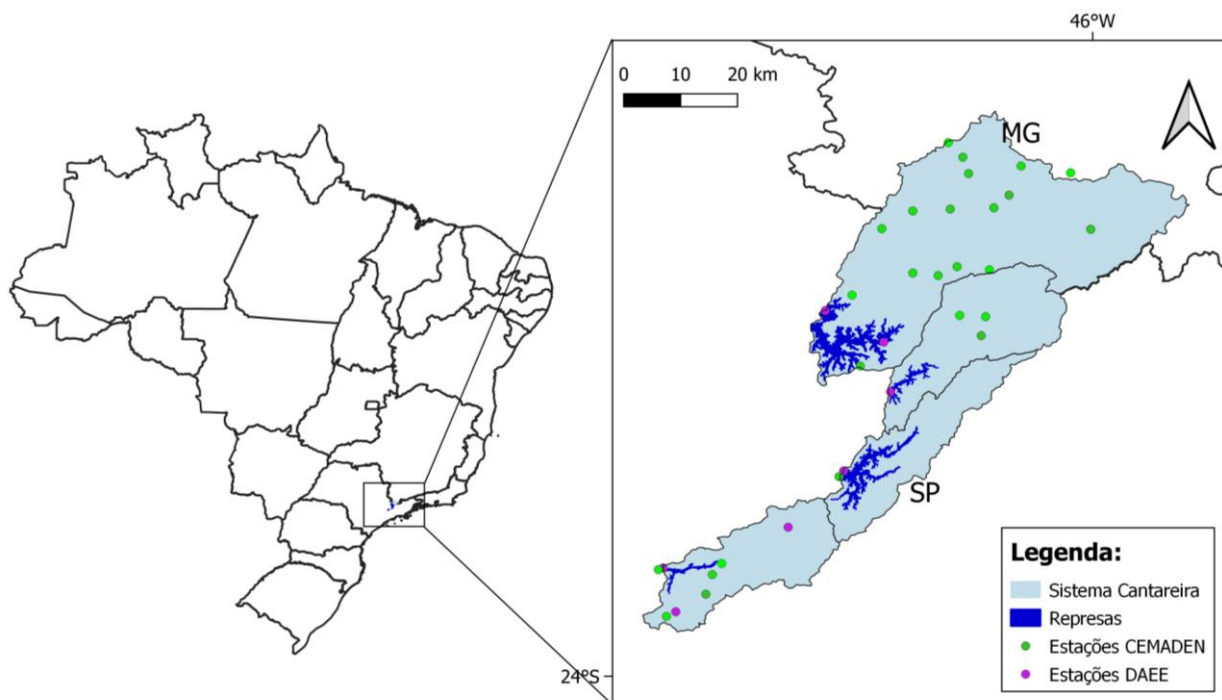


Figura 1: Mapa de localização das sub-bacias de captação do Sistema Cantareira incluindo Jaguari-Jacaré, Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro (contornos em preto), juntamente com a localização dos pluviômetros operantes nesta região, sendo 21 do CEMADEN (pontos verdes) e 7 do DAEE/ SAISP (pontos magentas).

² DAEE / SAISP: Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo / Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo.

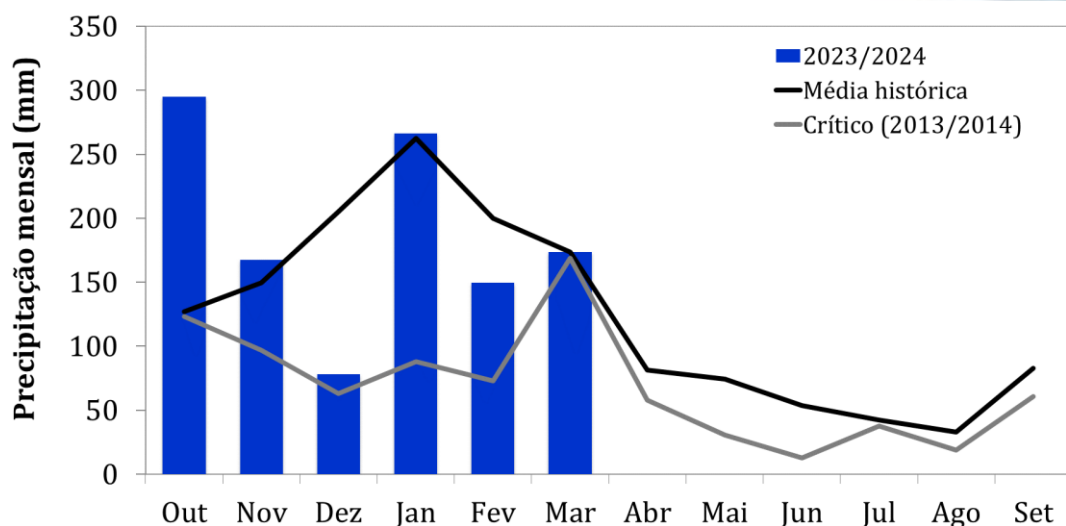


Figura 2. Precipitação mensal na bacia do Sistema Cantareira, em mm, de acordo com os dados do CEMADEN, entre outubro de 2023 e março de 2024 (barras em azul). Ano hidrológico: outubro – setembro. As linhas em preto e cinza representam, respectivamente, a precipitação média histórica (1983-2023) e a precipitação crítica do histórico, compreendida entre outubro de 2013 a setembro de 2014.

A média de vazão afluente aos reservatórios do Sistema Cantareira (Sistema Equivalente + Paiva Castro), nos meses chuvosos de 2023/2024, entre outubro de 2023 e março de 2024, de acordo com dados da SABESP³ e da ANA⁴ foi, de aproximadamente, 39 m³/s. Esse valor corresponde a, aproximadamente, 80% da média histórica para a estação chuvosa (49 m³/s). Para o mesmo período, a extração total média dos reservatórios foi 33 m³/s, enquanto a média de extração de água do Sistema Cantareira para o elevatório Santa Inês (Qesi), que abastece a região metropolitana de São Paulo, foi 28 m³/s.

No mês chuvoso correspondente a março de 2024, a média de vazão afluente registrada foi, de aproximadamente, 39 m³/s (**Figura 4**), o que representa, cerca de 67% da média mensal histórica (59 m³/s). O Sistema Cantareira encontra-se classificado em condição de seca hidrológica fraca, de acordo com o Índice Padronizado Bivariado Precipitação-Vazão (TSI) para as escalas temporais de 6 e 12 meses (TSI-6 = -0,55; TSI-12 = -0,64) (**Figura 3a e 3b**). Ainda de acordo com o TSI, a atual condição no Sistema Cantareira representa uma intensificação da seca com relação ao mês anterior, quando ainda era observada uma situação de normalidade em relação a seca hidrológica. Embora uma condição de normalidade tenha prevalecido na bacia entre março de 2023 a fevereiro de 2024, ressalta-se que, o Sistema Cantareira enfrentou condições de seca

³ SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo/Situação dos Mananciais.

⁴ ANA: Agência Nacional de Águas.

hidrológica crítica desde o início de 2012, variando de fraca a excepcional (à exceção dos meses entre maio e 2016 e maio de 2017).

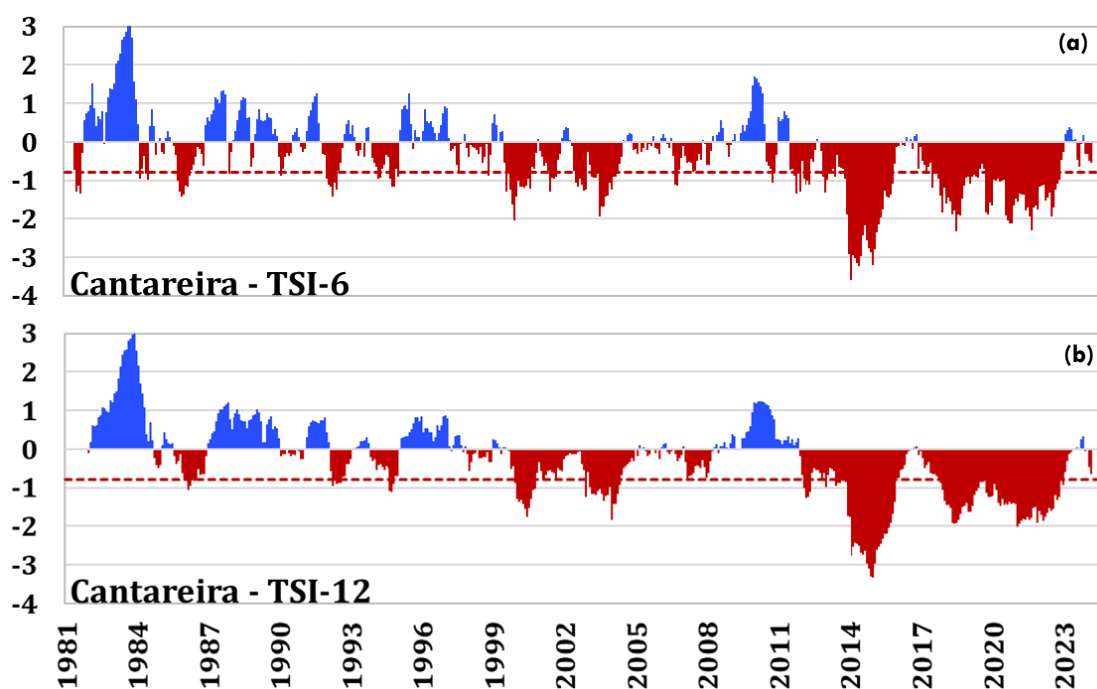


Figura 3. Índice Padronizado Bivariado Precipitação-Vazão (TSI) para o Sistema Cantareira, nas escalas temporais de 6 e 12 meses, entre janeiro de 1981 a março de 2024. A linha vermelha pontilhada indica o limiar entre uma condição de seca hidrológica fraca e moderada à excepcional.

Adicionalmente, em março de 2024, Qesi foi de, aproximadamente, $29 \text{ m}^3/\text{s}$, e a vazão de jusante (Qjus), que contribui com as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Região do PCJ), foi de, aproximadamente, $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Juntas, estas duas vazões representam a extração total do sistema Cantareira, que foi de, aproximadamente, $32 \text{ m}^3/\text{s}$. Neste mês, o aporte proveniente da interligação com o Sistema Paraíba do Sul para o reservatório Atibainha, manteve-se desativado, uma vez que, o armazenamento foi superior a 60% da capacidade total (em acordo com a Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017). Ressalta-se que, a interligação foi suspensa em 27 de dezembro de 2022, quando o volume registrado nos reservatórios do Sistema Cantareira era de 39% da capacidade total.

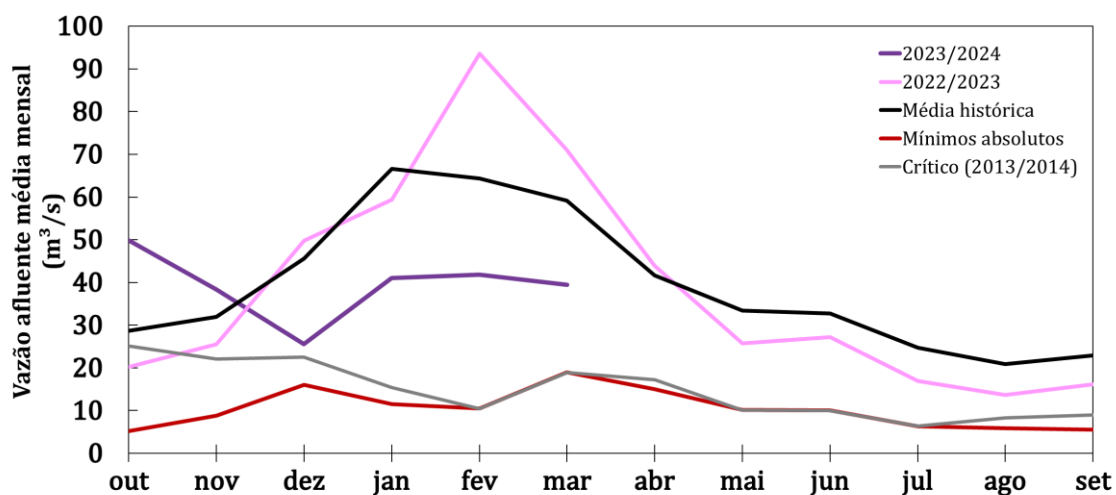


Figura 4. Vazão afluente (em m³/s) do Sistema Cantareira (Sistema Equivalente + Paiva Castro). As linhas preta e vermelha correspondem, respectivamente, às vazões médias mensais históricas e mínimas mensais históricas para o período 1981 - 2023. As linhas cinza, magenta e roxa correspondem, respectivamente às vazões médias mensais: de outubro de 2013 a setembro de 2014, representando o período crítico do histórico; outubro de 2022 a setembro de 2023; e de outubro de 2023 a março de 2024. Fonte dos dados: SABESP.

A evolução do nível diário de armazenamento no Sistema Cantareira, entre os anos de 2014 e 2024, considerando o volume útil e as cotas do volume morto⁵ são exibidas na **Figura 5**. O Sistema operou no dia 31 de março de 2024 com, aproximadamente, 78% do volume útil total (982 hm³), na faixa de operação “Normal” (nível de armazenamento entre 60% e 100%), de acordo com o estabelecido pela Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017. O volume atual no Sistema Cantareira caracteriza um aumento de 2% em relação ao final do mês anterior, porém, um patamar ligeiramente inferior comparativamente ao mesmo período do ano de 2023 (82%, também na faixa de operação “Normal”). Adicionalmente, representa uma condição melhor ao apresentado no período pré-crise, em março de 2013 (62%, na faixa de operação “Normal”), como pode ser observado na **Figura 6**.

⁵ Volume morto refere-se ao volume de água armazenado abaixo da cota de tomada de água por gravidade e, portanto, para sua utilização é necessário o bombeamento.

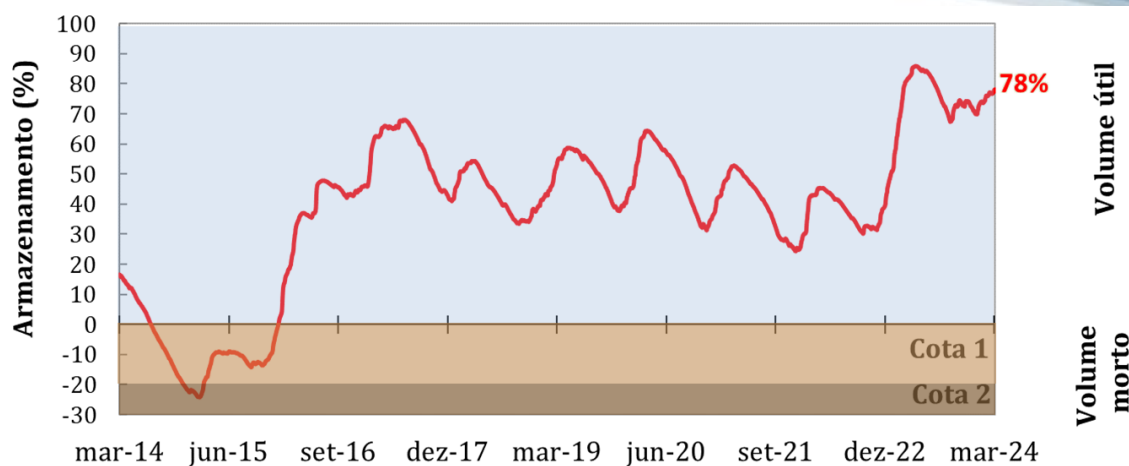


Figura 5. Evolução diária do nível de armazenamento (%) do Sistema Cantareira entre o período de março de 2014 a março de 2024. Área em azul corresponde ao volume útil do reservatório (982 hm³), em marrom claro à primeira cota do volume morto (182,5 hm³) e em marrom escuro à segunda cota do volume morto (105 hm³). Fonte dos dados: SABESP.

Evolução do volume armazenado no Sistema Cantareira (2010-2024)

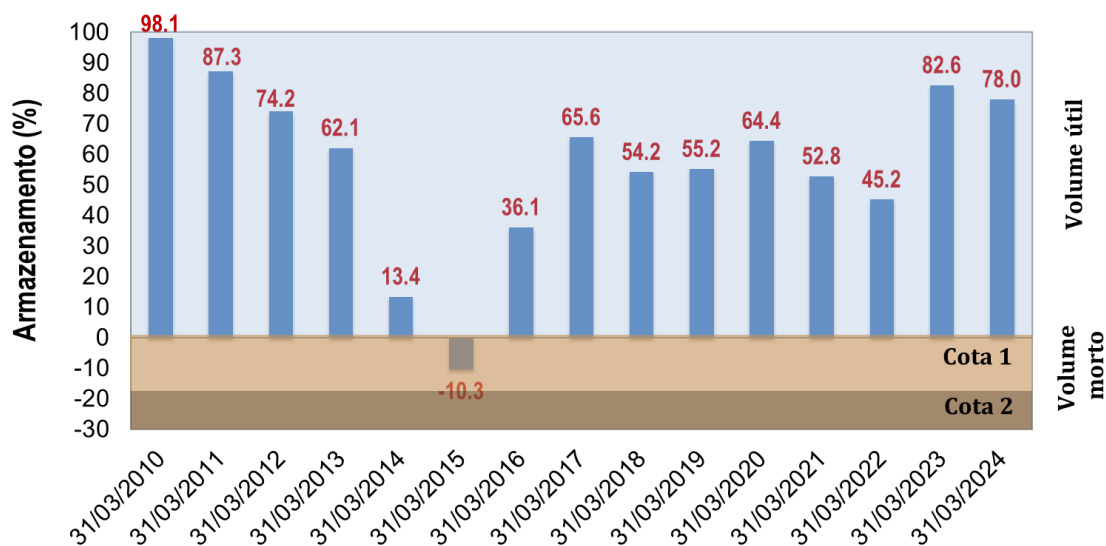


Figura 6. Evolução do volume armazenado (%) nos reservatórios do Sistema Cantareira para o final do mês de março, dos anos de 2010 a 2024.

2. Previsão de chuva para o Sistema Cantareira

A região da bacia de captação do Sistema Cantareira já se encontra no período de transição entre a estação chuvosa e a estação seca, onde as chuvas se tornam menos abundantes e frequentes. Em particular, para os próximos 10 dias (**Figura 7**) as previsões baseadas no modelo GENS/NOAA (50x50 km) apontam ocorrência de algumas precipitações na bacia, com volumes totais que estarão, provavelmente, próximos dos valores médios da época. A tendência para a segunda

semana (**Figura 8**), também aponta a ocorrência de chuvas com volumes totais próximos à média histórica.

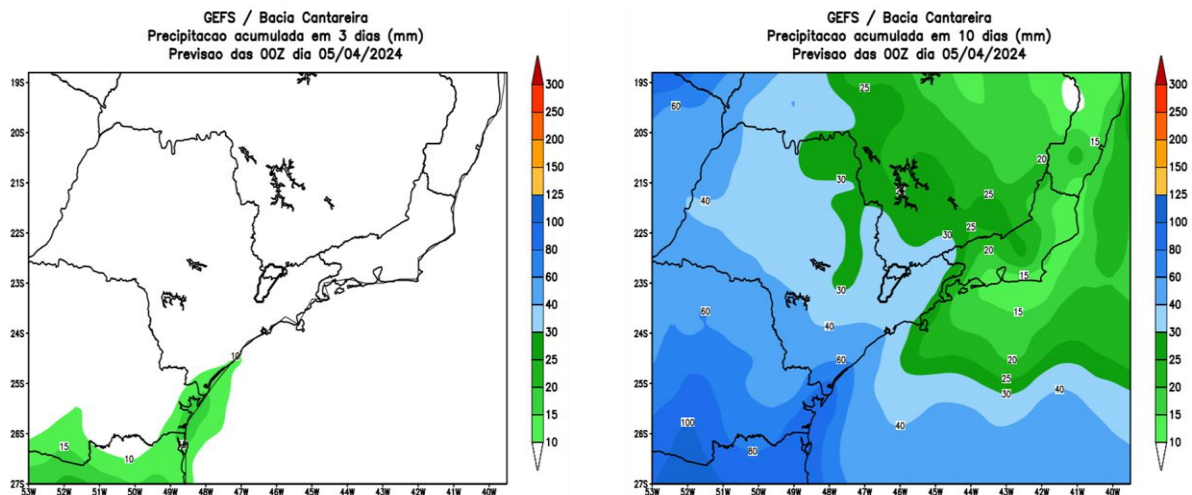


Figura 7. Previsão de precipitação acumulada em milímetros (mm) nos próximos 3 (esquerda) e 10 (direita) dias para a bacia de captação do Sistema Cantareira, segundo a previsão do modelo numérico GENS/NOAA. A área da bacia de captação do Sistema Cantareira é indicada no centro da figura com linha preta espessa.

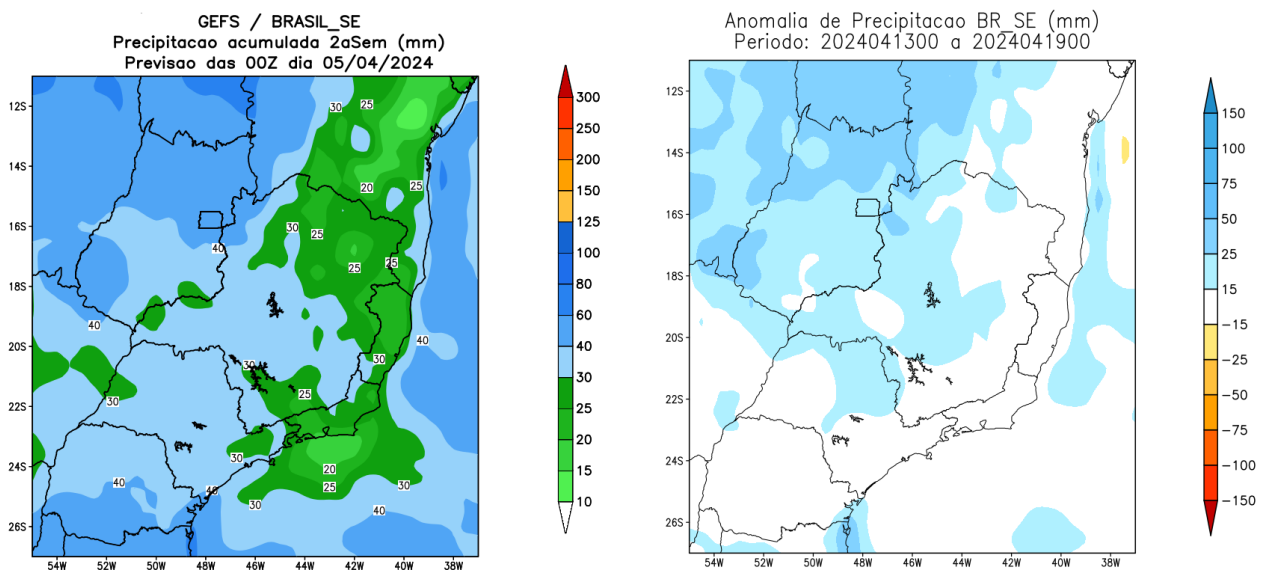


Figura 8. Previsão de precipitação em milímetros (mm) acumulados (esquerda) e sua respectiva anomalia em relação aos valores climatológicos (direita) para a segunda semana de acordo com o modelo numérico GENS/NOAA.

3. Previsão de vazão afluente para os próximos dias

Na **Figura 9** (superior) são apresentadas as precipitações diárias observadas (26 de março a 04 de abril de 2024) e previstas (05 a 14 de abril de 2024) dos 31 membros de previsão de precipitação e a média destes, cuja soma totaliza 30 mm. A **Figura 9** (inferior) exhibe as vazões

diárias observadas e previstas a partir dos 31 membros de previsão de chuva, assim como a média destes, para o mesmo período. A previsão da vazão média, de acordo com o modelo hidrológico PDM/CEMADEN (Probability-Distributed Model/CEMADEN), para os próximos 10 dias será de, aproximadamente, 24 m³/s. Esse patamar de vazão é inferior à vazão média histórica para o mês de abril (42 m³/s), de acordo com a SABESP, como pode ser observado pela linha pontilhada preta da **Figura 9** (inferior).

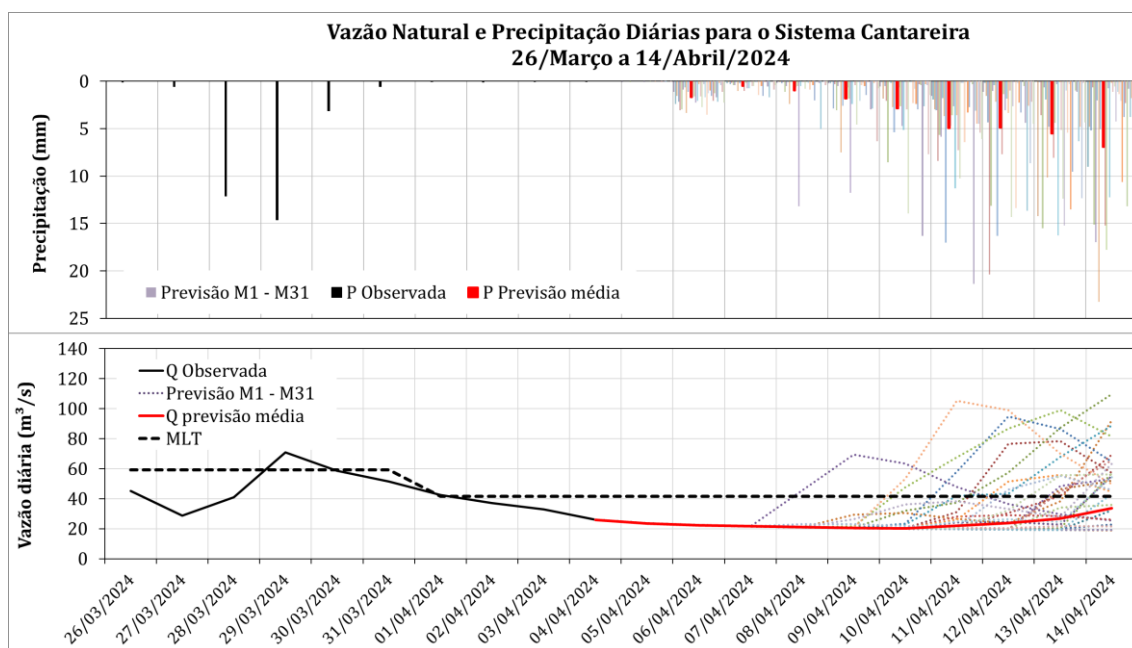


Figura 9. Valores diários de Precipitação (P) e Vazão (Q) para a bacia de captação do Sistema Cantareira. Na figura superior as barras pretas correspondem à precipitação média espacial, as barras coloridas representam os 31 membros de previsão do modelo numérico GENS/NOAA (50x50 km) e as barras vermelhas representam a média destes membros de previsão. Na figura inferior as linhas pretas contínuas e pontilhadas representam a vazão diária observada e a vazão média histórica ou Média de Longo Termo (MLT), respectivamente. Adicionalmente, as linhas coloridas correspondem aos 31 membros de previsão de vazão e a linha vermelha corresponde à média destes membros.

4. Projeções de vazão afluente para os próximos meses

A **Figura 10** apresenta as médias mensais de vazão afluente observada e, na sequência, projeções de vazão usando a média dos membros de previsão (05 a 14 de abril de 2024, **Figura 9**) e, a partir do dia 15 de abril foram considerados cinco cenários hipotéticos de precipitação: média histórica (1981-2023), 25% acima da média, 25% e 50% abaixo da média histórica e cenário crítico (abril a setembro de 2021).

As simulações indicam que, no cenário de chuva na média histórica, a vazão afluente média no próximo trimestre, de abril a junho de 2024, seria em torno de 30 m³/s, o que representa 82%

da média histórica para este período. Adicionalmente, para os cenários de precipitações 25% e 50% abaixo da média histórica, as simulações projetam vazões da ordem de 23 m³/s (65%) e 19 m³/s (52%), respectivamente. Além disso, no cenário de precipitação crítica, ocorrido em 2021, o modelo hidrológico aponta vazão média de 21 m³/s, correspondente a 58% da média do período. Por outro lado, em um cenário de chuvas mais otimista, 25% acima da média histórica, o modelo indica vazão média de 35 m³/s, equivalente a 98% da média histórica deste período. Um resumo de tais valores também podem ser visualizado na **Tabela 1**.

Considerando um horizonte de tempo maior, correspondente aos meses secos de 2024, de abril a setembro, de acordo com as projeções, para o cenário de chuva na média histórica, a vazão afluente seria em torno de 24 m³/s, o que representa 83% da média histórica para este período. Nos cenários de precipitações 25% e 50% abaixo da média histórica, as simulações apontam projeções de vazões da ordem de 18 m³/s (61%) e 13 m³/s (46%) da média, respectivamente. Em um cenário de chuvas 25% acima da média histórica, o modelo indica vazão média de 30 m³/s, caracterizando um valor de 3% acima da média histórica deste período.

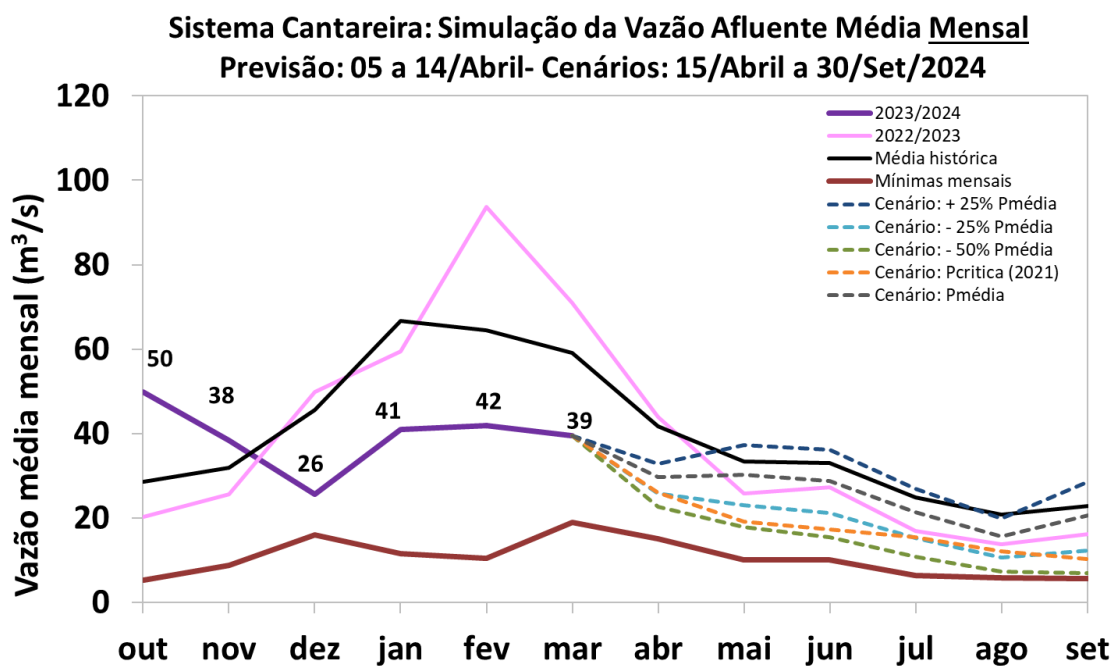


Figura 10. Histórico (linhas contínuas) e simulação de vazão média mensal (em m³/s) afluente ao Sistema Cantareira (linhas tracejadas) considerando a previsão e cinco cenários de precipitação: 50% (verde) e 25% abaixo da média histórica (azul claro); na média histórica (cinza) e 25% acima da média histórica (azul escuro) e cenário crítico (laranja). As linhas espessas representam as vazões médias mensais observadas, de acordo com a SABESP: média histórica (preto); mínimos mensais (marrom); série de outubro de 2022 a setembro de 2023 (magenta); e série de outubro de 2023 a março de 2024 (roxo).

5. Projeções de armazenamento para os próximos meses

A **Figura 11** apresenta as projeções da evolução do volume útil armazenado nos reservatórios do Sistema Cantareira utilizando: (i) previsão e projeções de vazão afluyente da **Figura 9** e **Figura 10**, respectivamente; (ii) vazão de extração para a estação elevatória Santa Inês (Q esi) de acordo com as regras condicionais estabelecidas pela Resolução conjunta ANA/DAEE Nº 925/2017 (foram aplicados valores médios entre as faixas); (iii) aporte médio de 5,13 m³/s proveniente da interligação entre o Sistema Paraíba do Sul e o reservatório Atibainha, apenas para períodos com o volume armazenado inferior a 60% da capacidade total e; (iv) vazão defluente (Q jusante) para as bacias do PCJ (rios Piracicaba, Capivari e Jundiá) de 7,0 m³/s e 3,2 m³/s para estação seca e chuvosa, respectivamente, valores médios referentes ao período de 2022/2023.

Considerando um cenário hipotético de precipitação na média histórica, por exemplo, as projeções indicam que, os reservatórios estariam no final do próximo trimestre, junho de 2024, na faixa de operação “Normal” (armazenamento entre 60% e 100%), com 71% do seu volume útil. Para os cenários de precipitação 25% e 50% abaixo da média, os reservatórios chegariam ao final de junho, com 66% e 63% do volume útil, respectivamente, também na faixa de operação “Normal”. Por fim, para o cenário de precipitações mais otimista, 25% acima da média, as simulações apontam um volume armazenado, no final de junho, de 76% da capacidade total (**Tabela 01**). Ressalta-se que, em todos os cenários hipotéticos de precipitação, o volume armazenado nos reservatórios do Sistema Cantareira, no final de junho de 2024, estaria classificado na faixa de operação “Normal”.

No entanto, considerando um horizonte de tempo maior, para o cenário hipotético de precipitação na média histórica, as projeções indicam que, os reservatórios estariam no final do horizonte de projeções (setembro de 2024), na faixa de operação “Atenção” (armazenamento entre 40% e 60%), com 57% do seu volume útil. Nos cenários de precipitação 25% e 50% abaixo da média, os reservatórios permaneceriam, ao final de setembro de 2024, na faixa de operação “Atenção”, com 49% e 42% do volume útil, respectivamente. Adicionalmente, para o cenário de precipitação crítica, igual ao ocorrido em e 2021, o volume projetado pelo modelo hidrológico no final de setembro de 2024 é de 47% da capacidade total do sistema, na faixa de operação “Atenção”. Apenas para o cenário de chuvas mais otimista, 25% acima da média histórica, que os reservatórios se manteriam até o final do horizonte de projeções na faixa de operação “Normal”, alcançando um valor de 65% da capacidade total, em 30 de setembro.

Salienta-se que, se chover 25% acima da média histórica, entre abril e setembro de 2024, o volume armazenado no Sistema Cantareira, no final do horizonte de projeção, alcançaria um patamar ligeiramente inferior ao registado no mesmo período de 2023 (67%).

É importante destacar que, esses cenários podem ser modificados de acordo com mudanças na vazão de interligação com a bacia do Rio Paraíba do Sul, bem como as extrações do Sistema a serem praticadas pelo operador, nos próximos meses.

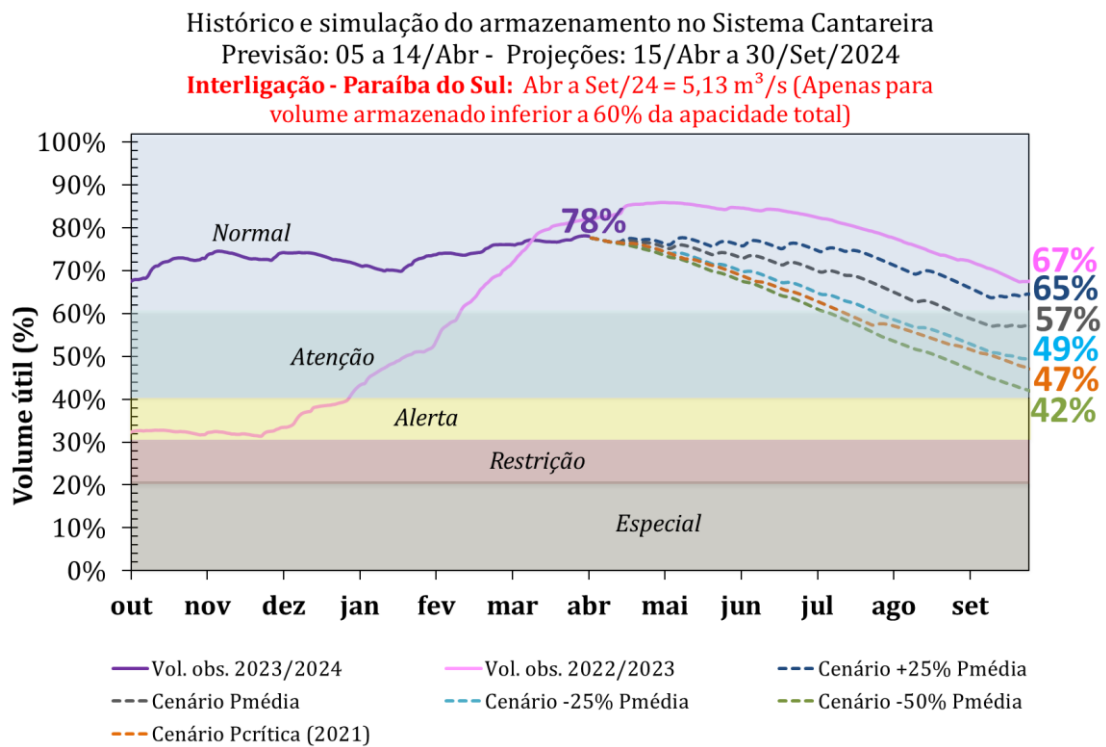


Figura 11. Projeções de armazenamento do Sistema Cantareira (linhas tracejadas) para cinco cenários de precipitação: 50% (verde) e 25% (azul claro) abaixo da média histórica, na média histórica (cinza) e 25% acima da média histórica (azul escuro) e cenário crítico (laranja). Nessas simulações foi considerada uma vazão de aporte da interligação com a bacia do rio Paraíba do Sul de 5,13 m³/s, entre abril e setembro de 2024, apenas para quando o volume armazenado se manteve inferior a 60% da capacidade total. A linha magenta mostra a evolução do armazenamento observado do Sistema Cantareira de outubro de 2022 a setembro de 2023 e a linha roxa no período outubro de 2023 a março de 2024. As faixas coloridas referem-se às faixas de operação do reservatório de acordo com a resolução conjunta da ANA/DAEE Nº 925/2017.