RESILIÊNCIA OPERACIONAL FRENTE A EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS: EXPERIÊNCIAS EM CAPTAÇÃO E DRENAGEM DE ÁGUA

Julia Cristina Grach[(1)]
Engenheira Mecânica, Especialista em Polímeros e Compósitos. Engenheira da Ind. e Com. de Motobombas Flutuantes Rio do Sul Ltda e AFG Ind. de Materiais Reforçados Ltda.
Ana Caroline Fassina[(2)]
Engenheira Agrônoma, Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua/UDESC). Engenheira da Ind. e Com. de Motobombas Flutuantes Rio do Sul Ltda.
Débora Cristina Grach[(3)]
Engenheira Agrônoma, Especialista em Irrigação e Drenagem. Gerente de Operações e Negócios da Ind. e Com. de Motobombas Flutuantes Rio do Sul Ltda.

Endereço[(1)]**:** Rodovia SC 110, Km 193, número 263 - Bairro Margem Esquerda Urbana – Lontras – Santa Catarina – CEP: 89182-000 – Brasil – Tel:+55 (47) 3411-1500 - e-mail: juliagrach@hotmail.com

RESUMO

A crescente ocorrência de eventos hidrológicos extremos tem imposto desafios cada vez maiores à operação dos sistemas de saneamento, exigindo soluções capazes de garantir a continuidade dos serviços essenciais em condições adversas. Este trabalho analisou a aplicação de sistemas de bombeamento flutuantes em atividades de captação e drenagem de água, discutindo suas contribuições para o aumento da resiliência operacional frente a cenários de escassez e excesso hídrico. A pesquisa utilizou como estudos de caso a crise hídrica do Sistema Cantareira (2014-2015) e as enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024. Os resultados demonstraram que os sistemas possibilitaram a captação das reservas técnicas dos reservatórios em São Paulo durante o período crítico de estiagem e, posteriormente, foram empregados em ações de macrodrenagem nas áreas inundadas do Rio Grande do Sul. Conclui-se que a versatilidade, a rápida mobilização e a capacidade de adaptação desses sistemas constituem importantes fatores para o fortalecimento da resiliência operacional frente aos impactos decorrentes das mudanças climáticas e da intensificação dos eventos extremos.

PALAVRAS-CHAVE: Eventos Extremos, Resiliência Operacional, Bombeamento Flutuante.

INTRODUÇÃO

O direito à água tem se afirmado como um princípio fundamental nos discursos sobre justiça social e ambiental, sendo reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um direito humano essencial para a vida e o bem-estar humano (Santos; Souza, 2021). A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997, reconhece a água como um recurso natural limitado e estabelece que, em situações de escassez hídrica, a prioridade de uso deve ser o consumo humano e a dessedentação de animais (Brasil, 1997). A PNRH representa um marco institucional no país, ao estabelecer princípios e instrumentos de gestão, adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e reconhecer a água como um bem de domínio público, de usos múltiplos, limitado e dotado de valor econômico (Callisto et al., 2012).

Os riscos vinculados a água, sejam inundações, escassez e poluição podem aumentar de forma considerável como resultado dos impactos combinados de fatores inter-relacionados, sendo assim, todos os ganhos de eficiência e conservação são necessários para tirar melhor proveito dos recursos hídricos (OECD, 2015). A escassez hídrica é uma realidade em diversas regiões do Brasil. Esse cenário tende a ser agravado pelas mudanças climáticas, que alteram os padrões de precipitação e aumentam a frequência e a intensidade de eventos hidrológicos extremos, como secas e enchentes (Marengo et al., 2017). Essa vulnerabilidade hídrica impõe a necessidade de uma gestão integrada e adaptativa dos recursos hídricos.

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) ainda é um enorme desafio, isso pode ser explicado pelo envolvimento de vários setores da sociedade, interesses, e ainda, diversos aspectos políticos, sociais, econômicos e ambientais que dão a dimensão da complexidade para o alcance dessa integração (Mesquita, 2018). É fundamental que a gestão integrada das águas incorpore tanto a crescente frequência e intensidade dos eventos extremos quanto a mudança do clima de caráter gradual, articulando-se de forma coordenada entre as escalas municipal, estadual e federal. (Brasil, 2025).

Após os avanços alcançados pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu, em 2015, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015). Entre eles, o ODS 6 busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos. No Brasil, o alcance desse objetivo depende da capacidade de assegurar a disponibilidade hídrica e a continuidade dos serviços de abastecimento e saneamento, especialmente diante da crescente ocorrência de eventos hidrológicos extremos e das mudanças climáticas (ONU, 2015). Nesse contexto, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), criada pela Lei nº 9.984/2000, desempenha papel estratégico na implementação da PNRH e na promoção da segurança hídrica, contribuindo para o alcance das metas estabelecidas pelo ODS 6 (MMA, 2019).

Nesse cenário, fortalecer a resiliência dos sistemas hídricos e de saneamento torna-se fundamental para garantir a continuidade dos serviços frente à crescente ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Segundo Folke (2016), a resiliência corresponde à capacidade dos sistemas de absorver perturbações, adaptar-se, reorganizar-se e manter suas funções essenciais diante de mudanças ou eventos adversos. Essa capacidade não depende de uma única intervenção, mas da integração entre diferentes estratégias estruturais e não estruturais.

Conforme destacado por Welter et al. (2024), o fortalecimento da resiliência frente a desastres naturais requer uma abordagem integrada, envolvendo melhorias na infraestrutura hidráulica, planejamento sustentável, proteção dos corpos hídricos, conservação da cobertura vegetal e adoção de soluções de infraestrutura verde. Nesse conjunto de estratégias, os sistemas de bombeamento flutuantes configuram uma medida operacional destinada a ampliar a capacidade de resposta durante situações emergenciais de abastecimento e drenagem, complementando outras ações de adaptação e gestão do risco.

A crescente ocorrência de eventos hidrológicos extremos impõe desafios operacionais significativos aos sistemas de saneamento. Em situações de estiagem severa, a redução dos níveis dos mananciais pode inviabilizar estruturas convencionais de captação de água, enquanto eventos de inundação demandam soluções rápidas para drenagem e remoção de grandes volumes acumulados. Nesse contexto, sistemas de bombeamento flutuante têm sido empregados como alternativa operacional capaz de acompanhar variações do nível da água e permitir intervenções emergenciais em diferentes cenários hidrológicos.

Conforme mencionado pela Sabesp (2017), durante a crise hídrica que afetou o Sistema Cantareira entre 2014 e 2015, por exemplo, a captação das reservas técnicas dos reservatórios demandou a instalação de motobombas em estruturas flutuantes, evidenciando a relevância desse tipo de solução para a manutenção da segurança hídrica em situações críticas.

Embora frequentemente associadas às situações de escassez hídrica, as estruturas flutuantes de bombeamento também podem desempenhar papel relevante em eventos de excesso hídrico. As enchentes que atingiram o Rio Grande do Sul em 2024 evidenciaram a necessidade de soluções flexíveis e de rápida mobilização para auxiliar no escoamento de áreas alagadas e na recuperação de infraestruturas urbanas afetadas.

Dessa forma, a mesma tecnologia aplicada para garantir a continuidade da captação de água em períodos de estiagem pode contribuir para ações emergenciais de drenagem durante inundações, reforçando seu potencial como ferramenta de aumento da resiliência operacional dos sistemas de saneamento. Torna-se cada vez mais importante a utilização de soluções operacionais capazes de responder de forma rápida e eficiente às condições hidrológicas adversas.

Diferentemente das obras de infraestrutura, frequentemente associadas a elevados custos e longos períodos de implantação, equipamentos móveis como sistemas de bombeamento flutuantes podem ser mobilizados em curto prazo para atender situações emergenciais, permanentes ou transitórias, tanto em eventos de seca quanto de cheias.

Nesse contexto, com a intensificação das mudanças climáticas, o uso de soluções de bombeamento que contribuam para a manutenção das atividades de captação e drenagem de água, em condições hidrológicas adversas, é fundamental para o aprimoramento da resposta operacional frente a eventos extremos. A análise de experiências recentes ocorridas no Brasil permite identificar desafios operacionais, estratégias adotadas e contribuições dessas soluções para o aumento da resiliência dos sistemas hídricos.

OBJETIVO

Analisar a aplicação de sistemas de bombeamento flutuantes em atividades de captação e drenagem de água durante eventos hidrológicos extremos, discutindo suas contribuições para o aumento da resiliência operacional frente a cenários de escassez e excesso hídrico.

METODOLOGIA UTILIZADA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza qualitativa, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica e documental, com abordagem baseada em estudos de caso.

Foram analisadas publicações técnicas, livros, relatórios institucionais e documentos oficiais relacionados à gestão de recursos hídricos, mudanças climáticas, eventos hidrológicos extremos e soluções operacionais de bombeamento. Entre as principais fontes consultadas destacam-se documentos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), do Plano Clima Adaptação: Plano Temático de Recursos Hídricos (Brasil, 2025), além de publicações técnicas relacionadas à crise hídrica do Sistema Cantareira e às enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul.

A análise foi estruturada a partir de dois contextos hidrológicos distintos: situações de escassez hídrica e situações de excesso hídrico. Como estudo de caso representativo da escassez hídrica, foi considerada a crise do Sistema Cantareira ocorrida entre 2014 e 2015. Para representar cenários de excesso hídrico, foram analisadas as enchentes que atingiram o estado do Rio Grande do Sul em 2024.

Em cada caso foram identificados os principais desafios operacionais enfrentados pelos sistemas de captação ou drenagem de água, bem como as estratégias adotadas para garantir a continuidade das operações. A partir dessa análise, buscou-se discutir as contribuições do sistema de bombeamento flutuante para o aumento da resiliência operacional frente a eventos hidrológicos extremos.

RESULTADOS OBTIDOS

Crise hídrica do Sistema Cantareira (2014-2015)

No contexto dos recursos hídricos e da infraestrutura associada, a resiliência está relacionada à capacidade dos sistemas de manter suas funções essenciais diante de eventos adversos, adaptando-se às novas condições e reorganizando seus componentes para garantir a continuidade operacional (Buschbacher, 2014).

A crise de abastecimento ocorrida na Região Metropolitana de São Paulo evidenciou a vulnerabilidade dos sistemas hídricos frente a períodos prolongados de escassez, trazendo importantes reflexões sobre a gestão dos recursos hídricos e os impactos econômicos, ambientais e sociais que reduzem a disponibilidade de água (Buckeridge; Ribeiro, 2018).

O Sistema Cantareira é formado pelas bacias dos Rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri. Os rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira e Atibainha pertencem à bacia do Rio Piracicaba, na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (UGRH 5) e o Juqueri na UGRH 6, com uma área de drenagem por volta de 2.329 Km² (SABESP, 2015)

Dados do Relatório Anual Conjuntura dos Recursos Hídricos de 2015, publicado pela ANA (2015), indicam forte queda na pluviosidade da região sudeste caracterizando um fenômeno climático extremo, onde a vazão média anual afluente aos reservatórios do Sistema Cantareira em 2014 foi de apenas 8,7 m³/s, o menor valor registrado em 84 anos de monitoramento. Esse volume correspondeu a apenas 22% da média histórica do período (39,4 m³/s) e a 40% da vazão observada em 1953, até então considerado o ano mais seco da série. Esse cenário de escassez extrema comprometeu significativamente a disponibilidade hídrica do sistema, exigindo a adoção de medidas emergenciais para garantir a continuidade do abastecimento público.

A captação de água superficial é realizada por meio de estruturas e dispositivos destinados à retirada de água de rios, reservatórios ou lagos para fins de abastecimento (Prince, 2006). As estruturas convencionais de captação são projetadas para operar dentro de faixas específicas de nível dos reservatórios. Em situações de estiagem severa a redução do volume armazenado pode levar os níveis d'água abaixo das cotas previstas para operação, comprometendo a captação e o abastecimento (CBH-AT, 2018).

Entre as alternativas implementadas no Sistema Cantareira destacaram-se a utilização das reservas técnicas dos reservatórios e a adaptação das estruturas de captação para operação em níveis inferiores aos originalmente previstos em projeto. A captação das reservas técnicas dos reservatórios Jacareí e Atibainha foi possível mediante a instalação de conjuntos motobomba flutuantes com finalidade temporária de bombeamento.

No caso destes reservatórios considera-se como reserva técnica os volumes armazenados abaixo de seus níveis mínimos operacionais e que são de captação factíveis. (SABESP, 2015) A operacionalização das reservas técnicas do Sistema Cantareira exigiu a implantação de um conjunto de intervenções emergenciais, incluindo barragens, canais, tubulações e sistemas de bombeamento flutuantes.

Executadas em curto espaço de tempo, essas estruturas permitiram a captação de volumes localizados abaixo das tomadas d'água originalmente projetadas para operação por gravidade, constituindo uma das principais medidas adotadas para manutenção do abastecimento durante o período crítico da crise hídrica (Barros, 2016).

A implantação dos conjuntos motobomba flutuantes demandou a execução de uma infraestrutura complementar para garantir sua operação contínua e segura. Além dos equipamentos de bombeamento, foram necessários sistemas de geração e distribuição de energia, inversores de frequência, adutoras de água bruta em Polietileno de Alta Densidade (PEAD), cabeamento elétrico, sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e estruturas temporárias de apoio às equipes de operação e manutenção. Cada conjunto possuía capacidade de bombeamento de até 2,0 m³/s em regime contínuo (24h), permitindo a captação das reservas técnicas durante os períodos mais críticos da estiagem.

A infraestrutura de captação das reservas técnicas dos reservatórios Jacareí e Atibainha foi concebida para operar com motobomba flutuantes, distribuídos em três pontos de captação: 12 conjuntos no Emboque do Túnel 7, 10 conjuntos na captação Jacareí II e 15 conjuntos na captação Atibainha (SABESP, 2017).

A distribuição dos conjuntos foi definida em função das características operacionais de cada ponto de captação e da infraestrutura complementar necessária para viabilizar a utilização das reservas técnicas. Ao final das intervenções, a infraestrutura implantada passou a contar com os 37 conjuntos motobomba flutuantes, acompanhados de sistemas de geração de energia, inversores de frequência, painéis elétricos e adutoras em PEAD necessários à operação contínua do sistema (Basílio, 2015).

Figura 1: Localização das reservas técnicas do Sistema Cantareira



Fonte: SABESP (2017).

Figura 2: Captação da reserva técnica na Represa Jacareí e Jacareí II



Fonte: SABESP (2017).

Figura 3: Captação da reserva técnica na Represa Atibainha



Fonte: SABESP (2017).

A experiência do Sistema Cantareira demonstrou que a manutenção do abastecimento durante eventos hidrológicos extremos depende não apenas da disponibilidade hídrica dos mananciais, mas também da capacidade de adaptação da infraestrutura existente. A implantação das captações da reserva técnica evidenciou a importância de soluções capazes de operar em condições não previstas originalmente em projeto, contribuindo para o aumento da resiliência operacional dos sistemas de abastecimento.

A decisão de utilizar as reservas técnicas do Sistema Cantareira foi motivada pela constatação de que uma parcela significativa da água ainda disponível se encontrava armazenada abaixo dos níveis mínimos operacionais dos reservatórios. Segundo Silvestre (2017) aproximadamente um terço do volume disponível do sistema estava localizado nas reservas técnicas dos reservatórios Jaguari/Jacareí e Atibainha, representando cerca de 130 milhões de m³ de água.

A adoção dos sistemas de bombeamento flutuantes no Sistema Cantareira não decorreu de uma solução previamente estabelecida para situações de escassez hídrica dessa magnitude. Conforme adaptado de Silvestre (2017), a alternativa surgiu a partir da avaliação de experiências de bombeamento realizadas no estado do Ceará. Os equipamentos utilizados, fabricados em Santa Catarina, eram originalmente empregados em aplicações de irrigação e drenagem, e foram adaptados às necessidades do sistema de abastecimento, permitindo a captação dos volumes armazenados nas reservas técnicas em um curto espaço de tempo. A solução representou um importante processo de inovação operacional frente aos desafios impostos pela crise hídrica.

Enchentes no Rio Grande do Sul em 2024

Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou uma das maiores catástrofes hidrológicas de sua história recente. Chuvas intensas e persistentes provocaram a elevação dos níveis dos rios, rompimento de estruturas de contenção, alagamentos generalizados e impactos significativos sobre a infraestrutura urbana e os sistemas de saneamento. Diversos municípios tiveram seus sistemas de drenagem e abastecimento comprometidos, exigindo a adoção de medidas emergenciais para mitigação dos danos e restabelecimento dos serviços essenciais.

Segundo Silveira, Subira e Nascimento (2025), o evento superou a histórica cheia de 1941 em Porto Alegre, quando o rio Guaíba atingiu 4,76 metros, com o nível do rio alcançando 5,35 metros em maio de 2024. As consequências foram devastadoras, com 15.778 km² de área afetada e 572.781 pessoas desalojadas.

Diante da magnitude do evento, diferentes instituições públicas e privadas mobilizaram recursos para apoiar as ações emergenciais no estado. Entre as medidas adotadas, destacaram-se a disponibilização de conjuntos motobombas flutuantes utilizados anteriormente nas operações de captação da reserva técnica do Sistema Cantareira, bem como o envio de equipes técnicas especializadas para apoiar as atividades de drenagem e remoção de água das áreas inundadas.

Figura 4: Inundação na região central de Porto Alegre durante as enchentes de 2024. À esquerda, casa de bombas do sistema de drenagem urbana que ficou inutilizada.



Fonte: IPH/UFRGS (2024).

A disponibilização pela Sabesp dos equipamentos utilizados durante a crise hídrica de 2014 foi uma medida fundamental para as ações de drenagem emergencial. Segundo Silveira, Subira e Nascimento (2025), os equipamentos foram adaptados para realizar a macrodrenagem da água acumulada nos bairros Rio Branco e Mathias Velho, em Canoas. Ao longo de 20 dias de operação intensiva, foram removidos aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos de água, contribuindo de forma decisiva para a recuperação das áreas que permaneciam inundadas.

Figura 5: Resultado do rebaixamento do nível de água da cidade após a operação das motobombas flutuantes (antes x depois)



Fonte: Silveira, Subira e Nascimento (2025)

A experiência acumulada durante a crise hídrica de 2014 foi fundamental para a rápida tomada de decisão e implementação da solução em 2024, 10 anos depois. “Os resultados obtidos demonstraram não apenas a eficácia da medida, mas também a importância do reaproveitamento de tecnologias, equipamentos e conhecimentos técnicos em situações emergenciais” (Silveira; Subira; Nascimento, 2025).

A utilização desses equipamentos evidenciou a versatilidade dos sistemas de bombeamento flutuantes, originalmente empregados para captação de água em condições de escassez hídrica e posteriormente adaptados para operações de macrodrenagem em cenários de inundação. A experiência acumulada ao longo da crise hídrica de 2014-2015 contribuiu para a rápida mobilização e implementação das soluções adotadas durante as enchentes de 2024.

Embora motivados por eventos hidrológicos de natureza oposta, os casos do Sistema Cantareira e das enchentes do Rio Grande do Sul evidenciam a relevância de soluções capazes de serem rapidamente mobilizadas e adaptadas às condições locais, contribuindo para a continuidade dos serviços essenciais em situações extremas.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os estudos de caso analisados demonstram que a resiliência operacional dos sistemas de saneamento está diretamente relacionada à capacidade de adaptação frente a condições hidrológicas extremas. Tanto na crise hídrica do Sistema Cantareira, em 2014, quanto nas enchentes que atingiram o Rio Grande do Sul, em 2024, a continuidade dos serviços essenciais dependeu da adoção de soluções capazes de responder rapidamente a cenários não previstos nas condições normais de operação.

Embora os eventos analisados apresentem características hidrológicas opostas, ambos evidenciaram limitações da infraestrutura convencional. No Sistema Cantareira, a redução dos níveis dos reservatórios comprometeu as estruturas de captação originalmente projetadas para operar por gravidade, enquanto nas enchentes do Rio Grande do Sul o grande volume de água acumulado superou a capacidade dos sistemas de drenagem existentes. Em ambos os casos, a utilização de sistemas de bombeamento flutuantes permitiu a adaptação das operações às condições impostas pelo evento extremo.

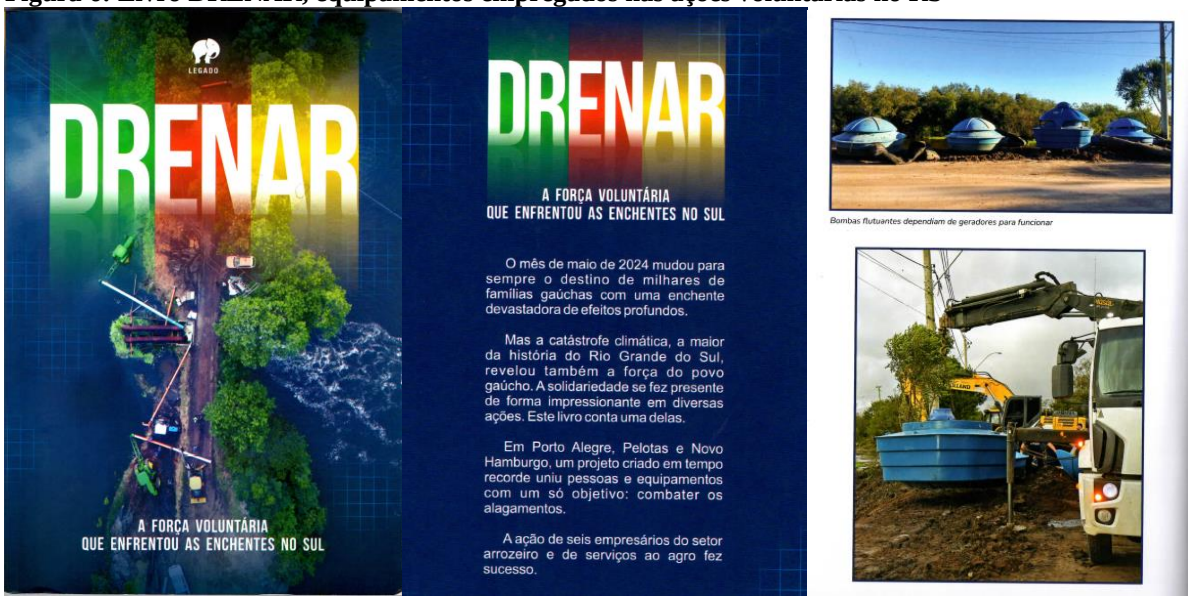
No Sistema Cantareira, os conjuntos motobomba flutuantes foram dimensionados para garantir a continuidade do abastecimento público, operando de forma contínua, com capacidade individual de até 2,0 m³/s (Silvestre, 2017). Com a implantação dos 37 conjuntos, a solução implantada representou uma capacidade instalada de bombeamento de até 74 m³/s para captação das reservas técnicas dos reservatórios, permitindo a utilização do volume morto durante o período crítico da estiagem. Nas enchentes do Rio Grande do Sul sabe-se que foram removidos cerca de 30 milhões de m³ de água, evidenciando a elevada capacidade operacional da solução e sua efetividade na redução do tempo de recuperação das áreas afetadas.

A comparação entre os casos também evidencia diferenças quanto ao tempo de resposta. No Sistema Cantareira, as obras da Reserva Técnica I foram planejadas e executadas em aproximadamente três meses, enquanto a Reserva Técnica II foi implantada em cerca de cinco meses (Basílio, 2015). No Rio Grande do Sul, por sua vez, os equipamentos foram mobilizados para atendimento emergencial de um desastre hidrológico de grande magnitude e, em aproximadamente 20 dias de operação intensiva, possibilitaram a retirada do volume necessário para acelerar a drenagem das áreas inundadas, conforme relatado por Silveira, Subira e Nascimento (2025). A rapidez de mobilização constitui uma das principais vantagens desses sistemas, que podem ser instalados e colocados em operação em curto prazo, diferentemente de outras obras de infraestrutura que demandam elevados investimentos e extensos períodos de implantação

Embora não tenham sido identificados dados públicos padronizados que permitam comparar os custos de implantação e operação entre os dois estudos de caso, observa-se que ambos privilegiaram soluções passíveis de rápida mobilização em detrimento da implantação de novas estruturas permanentes durante a emergência. Essa característica reduz o tempo de resposta frente aos eventos extremos e amplia a capacidade operacional dos sistemas existentes, evidenciando uma relação favorável entre agilidade de implementação e manutenção da continuidade dos serviços essenciais.

Outro aspecto relevante registrado no Rio Grande do Sul, foi a mobilização espontânea de equipamentos e operadores já atuantes em outros setores produtivos, como do setor agrícola, especialmente rizicultores, que disponibilizaram equipamentos similares, utilizados em suas atividades, para auxiliar nas operações emergenciais de drenagem urbana. A participação voluntária desses produtores ampliou a capacidade de resposta às inundações e contribuiu para a mitigação do desastre. A importância dessa mobilização foi registrada no livro "DRENAR: A força voluntária que enfrentou as enchentes no Sul (2025)".

Figura 6: Livro DRENAR, equipamentos empregados nas ações voluntárias no RS



Fonte: Digitalizado pelas autoras a partir do livro DRENAR (2025).

Além dos aspectos tecnológicos e operacionais, os casos analisados evidenciam a importância da articulação entre diferentes setores para o enfrentamento de eventos hidrológicos extremos. A mobilização conjunta de companhias de saneamento, órgãos públicos, empresas privadas e produtores rurais demonstrou que a ampliação da capacidade de resposta nem sempre depende exclusivamente da implantação de novas infraestruturas, mas também da integração e coordenação dos recursos já disponíveis. A experiência observada durante as enchentes de 2024 reforça que a cooperação multissetorial pode desempenhar papel decisivo na mitigação dos impactos e na recuperação das áreas afetadas

Os resultados também evidenciam a importância do aprendizado institucional e da reutilização de tecnologias já consolidadas. A experiência adquirida durante a crise hídrica contribuiu para a implementação das ações de macrodrenagem realizadas nas enchentes, demonstrando que conhecimentos técnicos acumulados em eventos anteriores podem ampliar a capacidade de resposta frente a novos desafios. Nesse contexto, observa-se que a resiliência operacional não depende exclusivamente da disponibilidade de infraestrutura, mas também da capacidade de adaptação, inovação e mobilização dos recursos técnicos disponíveis.

Apesar da elevada flexibilidade operacional demonstrada nos estudos de caso, a utilização de sistemas de bombeamento flutuantes depende da implantação de infraestrutura complementar e de condições operacionais compatíveis com a magnitude da intervenção. No Sistema Cantareira, por exemplo, a operação demandou sistemas de geração e distribuição de energia, geradores, inversores de frequência, quadros elétricos, reservatórios de combustível, adutoras, cabeamento e estruturas de apoio às equipes de operação e manutenção (Sabesp, 2017).

Além da infraestrutura física, a continuidade operacional depende da disponibilidade de equipes técnicas capacitadas, peças de reposição e planejamento das atividades de manutenção. Sob o ponto de vista ambiental, aspectos relacionados ao armazenamento de combustíveis, ao gerenciamento de resíduos e ao atendimento das exigências ambientais também devem ser considerados durante a implantação e operação desses sistemas. Ressalta-se, entretanto, que tais requisitos não constituem limitações exclusivas dos sistemas de bombeamento flutuantes, sendo comuns à implantação de sistemas de bombeamento de grande porte, temporários ou permanentes.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos de caso analisados evidenciam que eventos hidrológicos extremos representam desafios significativos para a operação dos sistemas de saneamento, exigindo soluções capazes de garantir a continuidade dos serviços essenciais mesmo em condições adversas.

A experiência do Sistema Cantareira demonstrou que sistemas de bombeamento flutuantes podem viabilizar a captação de volumes localizados abaixo dos níveis mínimos operacionais dos reservatórios, contribuindo para a manutenção do abastecimento durante períodos severos de escassez hídrica. De forma complementar, as enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024 evidenciaram a aplicação da mesma tecnologia em operações de macrodrenagem, auxiliando na remoção de grandes volumes de água acumulada em áreas urbanas inundadas.

Os resultados obtidos demonstram que uma tecnologia originalmente utilizada em aplicações de irrigação e drenagem pôde ser adaptada para atender demandas críticas de abastecimento e, posteriormente, reutilizada em ações de drenagem urbana, evidenciando sua versatilidade operacional frente a diferentes cenários hidrológicos extremos.

Além dos aspectos tecnológicos, os casos analisados demonstram que a resiliência operacional depende da capacidade de adaptação, da mobilização rápida de recursos e da articulação entre diferentes setores da sociedade. A atuação conjunta de companhias de saneamento, órgãos públicos, empresas e produtores rurais evidenciou que a cooperação multissetorial pode ampliar significativamente a capacidade de resposta frente a situações de crise.

Recomenda-se que gestores e operadores de sistemas de saneamento incorporem em seus planos de contingência soluções de bombeamento de rápida mobilização, bem como estratégias de cooperação institucional que favoreçam o compartilhamento de recursos, conhecimentos e capacidades operacionais. Os casos analisados demonstram que os sistemas de bombeamento flutuantes constituem uma importante medida operacional para ampliar a capacidade de resposta durante eventos hidrológicos extremos. Entretanto, sua efetividade é potencializada quando integrada a um conjunto mais amplo de estratégias de resiliência hídrica, envolvendo planejamento, infraestrutura, gestão e coordenação institucional.

Em um contexto de crescente frequência e intensidade dos eventos hidrológicos extremos, fortalecer a resiliência dos sistemas dependerá não apenas da infraestrutura disponível, mas também da capacidade de adaptação, da integração entre diferentes estratégias e da cooperação entre os diversos atores envolvidos na gestão da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2015*. Brasília, DF: ANA, 2015. 103 p. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/65829. Acesso em: 03 jun. 2026.

2. BARROS, L. A. de A. *Repercussões da crise hídrica sobre a operação Sistema Cantareira*. São Paulo: Engenho, 2016. ISBN 978-85-88006-08-9.

3. BASILIO, J. C. *EEAB Rio Grande - Taiaçupeba: Superando o desafio.* São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Superintendência de Manutenção Estratégica – MM, 2015. Apresentação técnica disponibilizada pelo Instituto de Engenharia. Disponível em: https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot210315.pdf. Acesso em: 28 jul. 2026.

4. BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1.º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989.* Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 03 jun. 2026.

5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Plano Clima Adaptação: plano temático de recursos hídricos.* Brasília, DF: MMA; MCTI; ANA, 2025. 98 p. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/planotematico-recursos-hidricos.pdf. Acesso em: 02 jun. 2026.

6. BUCKERIDGE, M; RIBEIRO, W, C. (org.). *Livro branco da água: a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015*: origens, impactos e soluções. 1. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018. 175 p. Disponível em: http://www.iea.usp.br/publicacoes/books/livro-branco-da-agua. Acesso em: 25 maio 2026.

7. BUSCHBACHER, R. *A teoria da resiliência e os sistemas socioecológicos*: como se preparar para um futuro imprevisível? Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Brasília, n. 9, p. 11-24, 2014.

8. CALLISTO, M.; CASTRO, D.; MORAIS, L.; HUGHES, F. M.; KIMURA, A.; ALVES, R.; FREITAS, V.; GAGLIARDI, L.; GUIMARÃES, L. C.; GUTIERREZ, M. A.; LIGEIRO, R.; MIRANDA, R. F.; RESENDE, F.; SALES, S. C. M. *Gestão eficiente de bacias hidrográficas no Brasil:* dificuldades e perspectivas de soluções. Natureza & Conservação, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1-4, 2012. DOI: https://doi.org/10.4322/natcon.2012.001.

9. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT). *Nota técnica sobre o atendimento aos artigos 6º e 12 da Resolução Conjunta ANA/DAEE n.º 926/2017*. Anexo à Deliberação CBH-AT n.º 59, de 5 set. 2018. São Paulo: CBH-AT, 2018. Disponível em: https://comiteat.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/Delibera%C3%A7%C3%A3o-CBH-AT-59-de-05.09.2018-Aprova-a-Nota-T%C3%A9cnica-sobre-as-condicionantes-dos-artigos-6%C2%B0-e-12-da-Resol-conj-ANA.DAEE-926.2017.pdf . Acesso em: 03 jun. 2026.

10. DRENAR: *A força voluntária que enfrentou as enchentes no Sul.* Porto Alegre: Editora Legado, 2025.

11. FOLKE, Carl. *Resilience (Republication).* Ecology and Society, v. 21, n. 4, art. 44, 2016. DOI: https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444.

12. INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (IPH). PAIVA, Rafael. *Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil*. Nota técnica. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024.

13. MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, W. R.; THONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R. *Climate change in Brazil: a review of impacts and adaptation strategies.* Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p. 215-227, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863220008.

14. MESQUITA, L. F. *Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos.* Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 45, p. 56-80, 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280.

15. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Política Nacional de Recursos Hídricos*: avanços e desafios. Brasília, DF: MMA, 2019.

16. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Transformando nosso mundo:* a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel. Acesso em: 02 jun. 2026.

17. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). *Governança dos recursos hídricos no Brasil*. Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264238169-pt.

18. PRINCE, A. de *A. Captação de água de superfície.* In: HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (org.). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

19. SABESP. CHESS*: Crise hídrica, estratégia e soluções da Sabesp para a Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: SABESP, 2015. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf. Acesso em: 03 jun. 2026.

20. SABESP. Relatório técnico em atendimento ao artigo 12 da Resolução Conjunta ANA/DAEE n.º 926, de 29 de maio de 2017: *Plano de adaptação das infraestruturas dos reservatórios para eventual operação com níveis abaixo do mínimo operacional*. São Paulo: SABESP, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/documentos-relacionados-2017/relatorio-art-12-29nov17-doc-79231-2017.pdf/view. Acesso em: 03 jun. 2026.

21. SANTOS, R. F. dos; SOUZA, A. de O. *A água como direito humano fundamental no século XXI:* percalços e desafios. Revista GeoPantanal, Corumbá, n. 30, p. 180-198, jan./jun. 2021. Disponível em: https://periodicos.ufms.br/index.php/revgeo/article/view/12621/9585. Acesso em: 01 jun. 2026.

22. SILVEIRA, C.; SUBIRA, D.; NASCIMENTO, H. C. *Macrodrenagem contingencial urbana: eficiência na implementação ágil de infraestrutura adaptada com uso de bombas flutuantes* – estudo de caso Canoas/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 33., 2025, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2025. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/33cbesa/542_tema_ix.pdf. Acesso em: 03 jun. 2026.

23. SILVESTRE, B; S. *Legados da crise hídrica: contribuições para a governança da água na Macrometrópole Paulista*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA-USP), 2017. Disponível em: https://www.iea.usp.br/publicacoes/ebooks/legados-da-crise-hidrica. Acesso em: 6 jun. 2026.

24. WELTER, C. V. N.; DUBOU, G.; SILVEIRA, A. O.; BICHUETI, R. S. *Planejamento urbano e infraestrutura verde para o enfrentamento às enchentes:* o caso de Porto Alegre, gerando questões para o futuro da cidade. Revista Brasileira de Gestão e Inovação, v. 11, n. 4, 2024. Disponível em: https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/RBGI/article/view/13073. Acesso em: 29 jul. 2026