

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

APLICAÇÃO DO MODELO WEAP PARA A SIMULAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL

Georgenis Trigueiro Fernandes¹; José Luiz Polygacz de Nazareno² & Conceição Maria Albuquerque Alves³

Abstract: The present study presents an evaluation of the possibility of the use of WEAP model to simulate the urban water supply system of Distrito Federal, including the transportation infrastructure, interconnections in producer systems and rising on the capacity of water production, foreseen on Caesb's long term planning. The use of the model proved to be very promising, showing stability in the simulation, being perceptive the correct reading of the input data, restrictions and prioritizations imposed on the system.

Resumo: O presente estudo apresenta uma avaliação da possibilidade de uso do modelo WEAP para simulação do sistema urbano de abastecimento de água do Distrito Federal, incluindo as infraestruturas de transporte, interligações em sistemas produtores e de aumento da capacidade de produção de água, previstas no planejamento de longo prazo da Caesb. A utilização do modelo se mostrou muito promissora, apresentando estabilidade na simulação, sendo perceptível a correta leitura dos dados de entrada, restrições e priorizações impostas ao sistema.

Palavras-Chave – Sistema urbano de abastecimento de água; Sistema de apoio à decisão; WEAP.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável é a falta de acesso a serviços de abastecimento de água e saneamento melhorados (Takala, 2017), sendo que a superação desse desafio está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), particularmente no tocante ao ODS-6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

O crescimento populacional tem aumentado a demanda de água, potencializando o risco das disponibilidades naturais não serem suficientes para o suprimento dos usos, como abastecimento, irrigação, geração de energia, etc, sendo que para equilibrar o desenvolvimento social e econômico com a preservação e manutenção dos recursos naturais, faz-se necessário planejar e gerenciar integradamente os recursos disponíveis (Ferrigo *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, alterações nos regimes pluviométricos resultaram em crises hídricas de grande repercussão nacional, como a escassez registrada no Ceará em 2012, a crise de 2014 no estado de São Paulo, que teve o Sistema Cantareira como o mais impactado, e o episódio de 2016 no Distrito

1) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil. E-mail: georgenistrigueiro@gmail.com

2) Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - Caesb, Av. Sibipiruna - Lotes 13/21, CEP: 71.928-720, Águas Claras/DF, Brasil. E-mail: zehartz@gmail.com

3) Professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil. E-mail: calves@unb.br

Federal, que comprometeu principalmente os reservatórios do Descoberto e de Santa Maria. A ocorrência sucessiva desses eventos em um intervalo de tempo relativamente curto evidencia a importância da adoção de ferramentas de apoio ao planejamento de longo prazo em sistemas hídricos, com o objetivo de fortalecer a capacidade de enfrentamento frente a períodos prolongados de estiagem Nazareno, 2024).

No Distrito Federal (DF), principais normativos que determinam as diretrizes para o planejamento do atendimento dos serviços de saneamento são o Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB) concluído em 2017, o Plano Diretor de Água e Esgoto (PDAE) concluído em 2019, e o Plano de Exploração (PE) concluído em 2021, todos elaborados visando ao atendimento das legislações federais, distritais e ao contrato de concessão dos serviços de saneamento.

O Plano de Exploração (Caesb, 2021a) foi elaborado visando a garantir que as ações e investimentos da Companhia estejam alinhados com as informações e ações estabelecidas no PDSB e com o PDAE, atendendo às normas de qualidade, metas de universalização e às expectativas da população. O PE contém o planejamento para o período de 2020 a 2039.

Para o tema apresentado neste trabalho, merece destaque o Tomo III (Caesb, 2021b), o qual detalha o Plano de Expansão (PE), e contém o planejamento e detalhamento dos investimentos necessários à prestação do serviço de saneamento básico (incluindo a implantação, ampliação e interligação dos sistemas produtores de água - SPA) aos quais a Caesb compromete-se a realizar, de modo a assegurar regularidade, continuidade, eficiência e segurança.

Nesse contexto, o principal objetivo deste é modelar o sistema urbano de abastecimento de água (SAUA) do DF, de modo a avaliar a possibilidade de simulação da infraestrutura prevista no PE para o período de planejamento até 2053, testando as etapas de implantação de novas unidades de captação e tratamento, incorporando novas infraestruturas de interligação entre os sistemas produtores que não foram previstas no PDSB, mas que já se encontram em fase de implantação.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal ocupa uma área total de 5.779,999 km² (a menor unidade federativa brasileira), com uma população superior a 3 (três) milhões de pessoas e uma taxa de urbanização em torno de 94%. Apesar de estar localizado na Região Centro-Oeste, nas cabeceiras de afluentes de três dos maiores rios brasileiros: o Rio Maranhão (afluente do Rio Tocantins), o Rio Preto (afluente do São Francisco) e os rios São Bartolomeu, Descoberto e São Marcos (tributários do Rio Paraná), no DF os corpos d'água possuem pouca vazão.

A prestação dos serviços de saneamento no DF fica a cargo da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), e de acordo com dados relativos ao ano de 2024, a Companhia produz aproximadamente 22.744.167 m³/mês de água, volume captado tanto em mananciais subterrâneos quanto superficiais, sendo constituídos de 3 reservatórios de acumulação, 28 captações superficiais (CAPs), 165 poços (EPOs), 19 elevatórias de água bruta (EABs); 17 elevatórias de água tratada (EATs), 12 estações de tratamento de água (ETAs), responsáveis por captar, bombear, tratar, reservar e distribuir água para abastecer a população (Caesb, 2025).

A população do DF está distribuída em 35 Regiões Administrativas (RAs), cujos limites físicos definem a competência de atuação governamental para a descentralização administrativa e a coordenação parte dos serviços públicos. Os limites das RAs são apresentados na Figura 1.

Sistema Produtor de Água (SPA) do DF pode ser dividido em grandes sistemas produtores: Terto/Santa Maria, Lago Paranoá, Descoberto, Corumbá, Brazlândia, Sobradinho/Planaltina e São

Sebastião. Estes sistemas são interligados por adutoras que permitem a transferência de água tratada entre eles, viabilizando o atendimento de determinadas RAs com base em decisões operacionais de curto prazo, sem regras específicas previamente estabelecidas. Nazareno e Alves (2025) estudaram o papel dessas transferências de água entre sistemas e concluíram que elas funcionam como fontes complementares de abastecimento e não são suficientes, isoladamente, para suprir integralmente a demanda de nenhuma RA. Dada a interconexão existente entre algumas RAs, existe a possibilidade de atendimento por mais de um SPA, sendo que essa escolha implica diferentes impactos nos custos operacionais. As áreas de abrangência atualmente operadas são apresentadas na Figura 2.

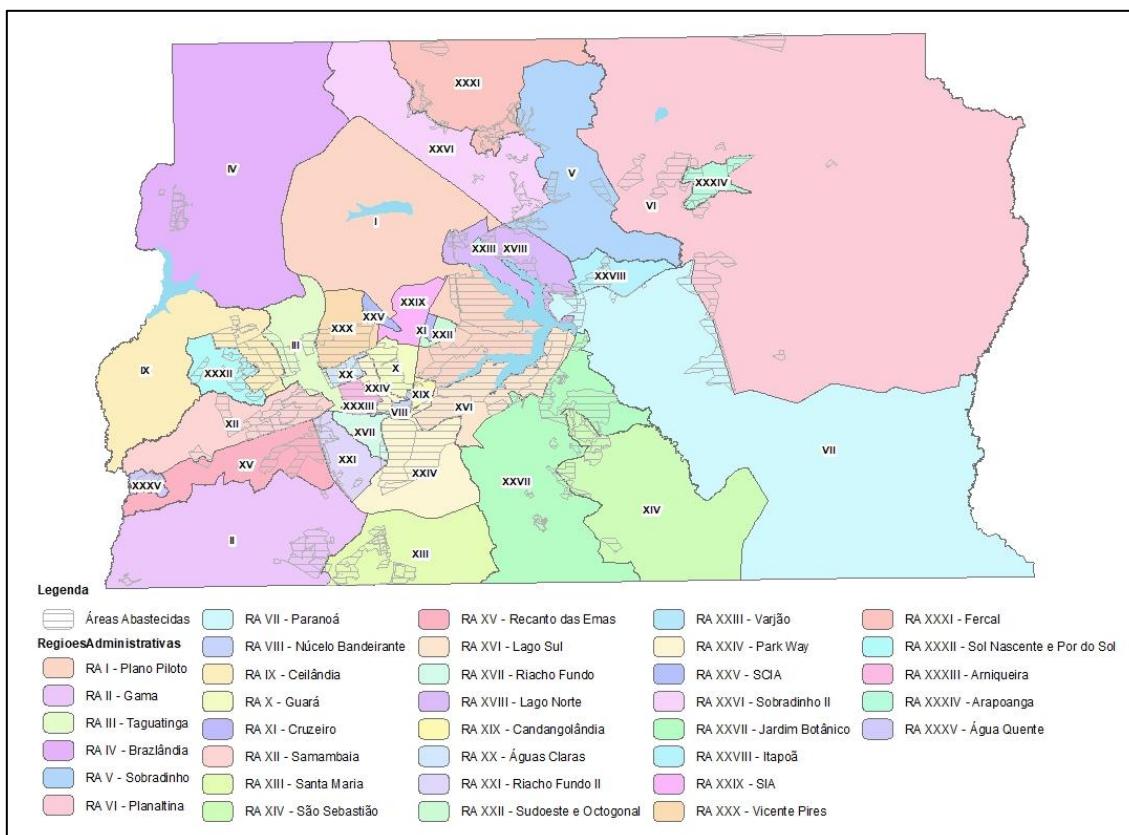


Figura 1 - Limite das Regiões Administrativas

3. METODOLOGIA

Modelo WEAP

No presente trabalho, optou-se pela utilização do sistema Water Evaluation And Planning System (WEAP) desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute, para a construção de um modelo do SAUA, de modo a avaliar a possibilidade de simulação da infraestrutura prevista no PE para o período de planejamento até 2053, testando as etapas de implantação de novas unidades de captação e tratamento, incorporando novas infraestruturas de interligação entre os sistemas produtores que não foram previstas no PDSB, mas que já se encontram em fase de implantação. Além disso, o modelo possui a capacidade em atuar como um sistema de suporte à decisão, permitindo a modelagem dos sistemas hídricos em conjunto com a definição de regras operacionais para as

infraestruturas que fazem uso dos recursos hídricos, como reservatórios, captações superficiais, interligações e áreas de consumo. O funcionamento é baseado no balanço hídrico entre a disponibilidade e a demanda de recursos hídricos, viabilizando uma análise abrangente de diferentes cenários a serem definidos pelos operadores.

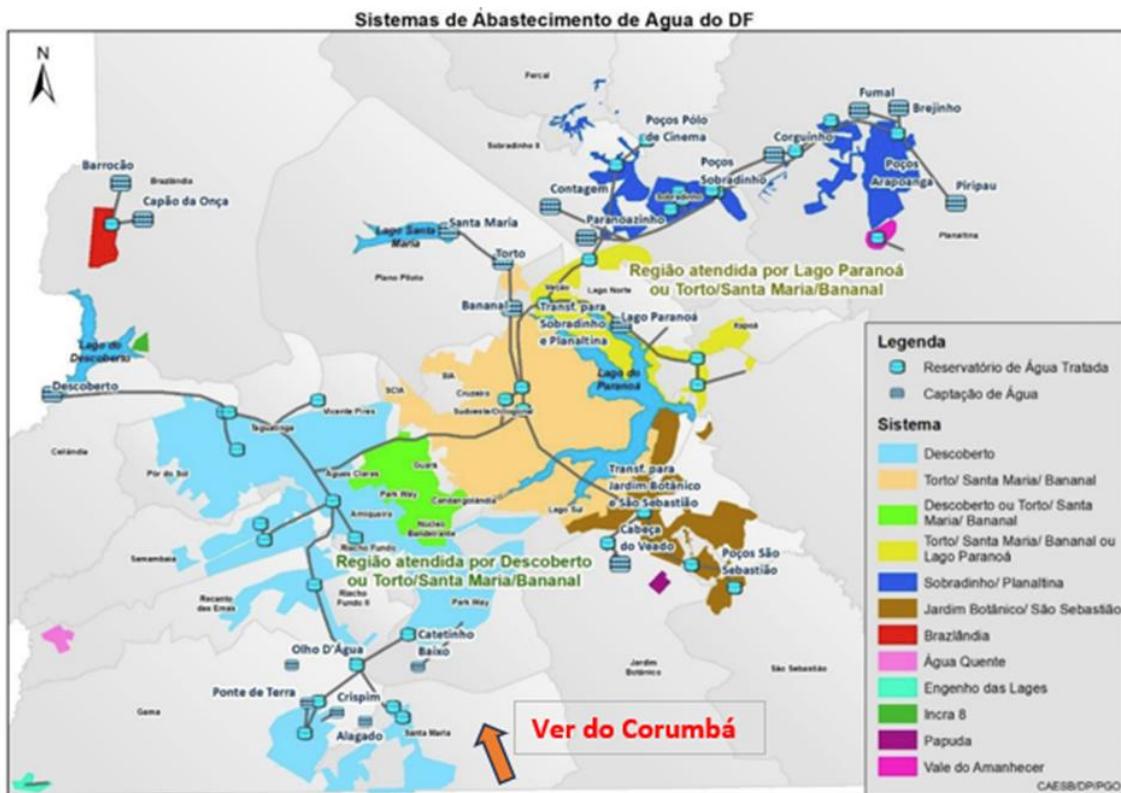


Figura 2 - Área de abrangência dos principais sistemas produtores de água do DF

Fonte: Caesb, 2023a.

Um fator importante para o presente trabalho, é que o WEAP permite definir a topologia do sistema a ser analisado, possibilitando o estabelecimento de nós e links de transmissão. Podendo se definir os nós como sendo as captações, interligações ou pontos de demanda. Os links de transmissão são linhas que conectam a disponibilidade com a demanda, podendo representar a função das unidades de transporte de água, como as adutoras.

O WEAP maximiza a satisfação de atendimento entre pontos de demanda, enchimento de reservatórios, vazões especificadas pelo usuário e energia hidrelétrica. Estes são resolvidos simultaneamente e estão sujeitos às prioridades de demanda, priorização de atendimento, balanço de massa e restrições impostas (Nazareno, 2024).

No presente estudo, adotou-se o passo de simulação mensal.

Dados Utilizados

Os dados hidrológicos dos mananciais utilizados foram obtidos nos documentos elaborados pela Caesb e contemplam a reavaliação das disponibilidades hídricas dos reservatórios e captações a fio d'água (Caesb, 2015; Caesb, 2020; Caesb, 2024a; Caesb, 2024b), sendo utilizado as vazões mensais de referência (Q90) dos mananciais, evaporação e precipitação nos reservatórios. No DF,

para abastecimento público, é possível captar até 90% da vazão Q90, sendo esse considerado o valor máximo captável, salvo se o valor outorgado for mais restritivo.

No modelo foram adotadas condições específicas para cada um dos 4 reservatórios de acumulação utilizados no presente estudo. Estas condições são importantes, pois definem a disponibilidade hídrica dos mananciais para atendimento às demandas das simulações. Para cada reservatório, foram utilizadas as relações entre as cotas altimétricas e o volume de reservação, para definição das cotas e volumes operacionais e consequente da capacidade máxima de reservação e volume morto, há o controle do volume do respectivo manancial ao passo de tempo em que a simulação se desenvolve. Utilizou-se as relações Cota x Volume apresentadas por Giacomazzo (2020).

Para a capacidade instalada das unidades operacionais (UOs) integrantes do SAA, foi utilizada a Vazão Nominal de Projeto.

Demanda

Foram utilizadas as projeções de crescimento populacional para cada RA para o período de 2020 a 2053 apresentado por Caesb (2024a). Esse estudo apresenta as curvas de crescimento populacional por RAs, possibilitando a melhor regionalização dos vetores de crescimento populacional do DF, e consequentemente do consumo futuro de água. Um fator importante do estudo CAESB (2024^a) é que a população do DF atingirá seu máximo no ano de 2042, sendo que a partir do ano de 2043 prevê-se a ocorrência de taxas de crescimento negativas.

Atualmente a Caesb fornece parte da água consumida no município goiano do Novo Gama, e em Águas Lindas de Goiás opera os serviços de abastecimento de água e esgotamento em consórcio com a Saneago, estando previsto a interligação deste último município ao Sistema Descoberto. Encontra-se em fase de implantação uma derivação da AAT.VLG.010, a qual possibilitará o abastecimento do Novo Gama e Valparaíso de Goiás com água do sistema Corumbá. Para o cálculo da demanda desses 3 municípios, foram utilizados os dados da contagem populacional dos setores censitários do Censo 2022, e aplicados a taxa de crescimento populacional para o estado do Goiás, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2024). Esse procedimento foi adotado, visto que o Instituto divulgou as taxas de crescimento para as unidades da federação, sem a divulgação dos dados desagregados para os municípios.

No cálculo da demanda, foram mantidos nas “metas” os mesmos indicadores de “atendimento” e de “perdas de água”, utilizados no PE, sendo mantidos durante todo o período de estudo os índices de atendimento à população em 99%, sendo modificados os índices das perdas inicialmente propostos no PE, readequando-os à realidade atual, sem perder de vista os objetivos traçados para o final de plano. A Tabela 1 apresenta os percentuais de perda de água utilizados no presente estudo.

Tabela 1 - Percentuais de perda de água utilizados no presente estudo

Ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
% Perdas	35%	35%	33%	33%	32%	31%	30%	30%	28%	28%	26%	26%
Ano	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
% Perdas	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Ano	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053		
% Perdas	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%		

Fonte: Adaptado de Caesb (2021b).

Adotou-se os parâmetros provenientes do PDAE (Caesb, 2019), para os consumos per capita de água próprios para cada RA. Para as RAs criadas a partir do ano de 2019, as quais citamos: Água Quente, Arapoanga, Arniqueiras, Sol Nascente e Por do Sol, devido à similaridade de consumo, adotou-se respectivamente os per capita das seguintes RAs: Recanto das Emas, Planaltina, Vicente Pires e Ceilândia. Para os municípios goianos de Águas Lindas, Novo Gama e Valparaíso de Goiás, foram utilizados os dados do SINISA (2024).

O WEAP necessita de duas variáveis para calcular a demanda, sendo a primeira a quantidade de habitantes e a segunda a taxa de uso da água que no presente estudo definimos como o produto do consumo per capita pelo índice de perdas para cada RA ou município. Os dados de população, o consumo per capita e as perdas foram obtidos em valores anuais, dessa forma, foi necessário realizar a interpolação dos valores para a obtenção de valores mensais para adequação ao passo de utilização do modelo.

Construção do Modelo Conceitual do Sistema de Abastecimento de Água

A partir da representação real da integração entre os sistemas Figura 2, foi elaborado o modelo conceitual da interligação entre os SPAs para ser aplicado no WEAP, contendo ainda as expansões previstas para aumento da capacidade de produção de água, e interligações futuras entre os sistemas. A Figura 3 apresenta o modelo do SAA construído no WEAP.

As captações dos reservatórios são limitadas pelas vazões de seus afluentes, suas capacidades de reservação, pela capacidade de vazão nominal de suas respectivas EABs, AABs ou ETAs. A fim de representar as limitações das unidades operacionais (UO), seja pela vazão outorgada ou limitação operacional, as EABs e ETAS foram representadas como reservatórios com reservação nula, fixando a vazão de saída a capacidade nominal da UO, ou pelo valor outorgado (escolhendo sempre o valor mais restritivo). Assim, não há reservação da água excedente a cada passo de tempo, disponibilizando apenas a água possível. À medida que as demandas de consumo de água aumentam, a transferência é ampliada, respeitando-se as restrições de capacidade de transmissão da infraestrutura e da capacidade de produção de água (limitadas pela disponibilidade hídrica dos mananciais, outorgas e capacidade instalada). Essa abordagem foi uma forma de contornar o software que não possuiu uma identificação própria para ETA, além de solucionar o problema das ETAs que são abastecidas por mais de um manancial. O mesmo conceito de reservatórios com reservação nula foi utilizado para as derivações em adutoras e EPOs. As AABs e AATs, foram representadas por links de interligação, sendo limitadas pelo sentido e por sua vazão nominal.

Para as UOs que estão em fase de implantação (AAT.TAQ.030 e SAT.GAM.010) ou com seu início de operação previsto dentro do período de simulação (etapas de ampliação do SPA Paranoá Norte, e implantação e etapas de ampliação do SPA Paranoá Sul), essas foram inseridas no modelo, mantendo sua vazão nominal zerada até o ano previsto para início de operação.

A representação do modelo buscou integrar os SPAs que não forem autossuficientes no abastecimento de água, com outros que apresentam alguma folga. Promovendo com isso o remanejamento de vazões excedentes para suprimento do déficit existente entre os pontos de demanda específicos, a fim de possibilitar a identificação de datas limites para as ampliações ou melhorias caso as demandas não sejam atendidas, bem como implantação de novas unidades de produção. O remanejamento de vazões entre os SPAs tem o propósito de resolver o problema de déficit de curto e de médio prazo, possibilitando a prorrogar os investimentos no sistema produtor.

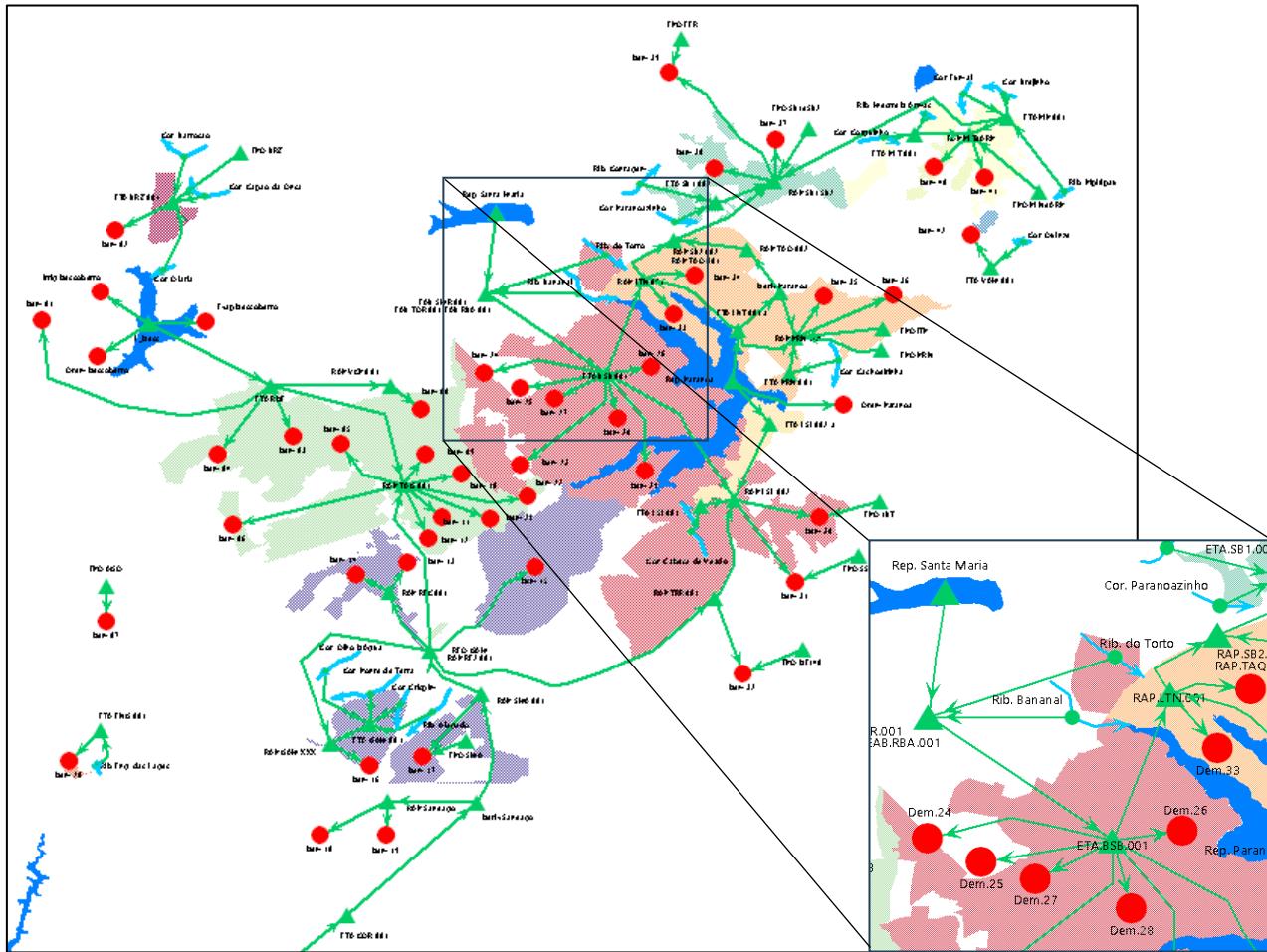


Figura 3 - Representação simplificada do SAA do DF no WEAP

Priorização de Uso dos Mananciais e Atendimento as Demandas de Água

O WEAP permite priorizar o uso de mananciais, reservatórios e usos da infraestrutura instalada, bem como de atendimento às demandas de água. Para isso o modelo solicita atribuição de valores que variam de 1 a 99 para cada link de transmissão ou nó (ETA, EAB, EAT ou demanda), sendo 1 a maior prioridade de atendimento e 99 a menor prioridade de atendimento.

Na simulação deste trabalho, foram priorizados os usos dos mananciais que possuem captação a fio d'água e poços, dada a impossibilidade de acumular o volume excedente ao necessário para a captação, bem como, por estarem próximos ao centro de consumo, diminuindo a necessidade de uso de energia elétrica para transporte, além de diminuir o uso de água dos reservatórios permitindo que esses acumulem água para o período de estiagem. O segundo nível de prioridade de uso foi dado aos reservatórios localizados dentro do DF (Descoberto, Santa Maria e Lago Paranoá), devido ao fato de estarem próximos ao centro de consumo, diminuindo a necessidade de uso de energia elétrica para transporte. O terceiro nível de prioridade de uso foi dado ao reservatório do Corumbá, visto que esse manancial é o mais distante e com maior desnível geométrico a ser vencido, buscando assim utilizar esse manancial somente para a complementação do volume de água necessário para atendimento as demandas. Caso a ETA receba mais de uma captação, foram priorizadas as captações que operam por gravidade, recebendo a priorização de segunda ordem, os mananciais que necessitam de recalque.

No caso das demandas, todas receberam prioridade de atendimento nível um.

4. RESULTADOS

Os resultados preliminares do modelo aparentam ser promissores, apesar que a priorização de uso dos mananciais apresentadas no presente trabalho podem divergir das priorizações já realizadas pela Caesb durante a operação dos sistemas.

Avaliando os resultados emitidos pelo modelo, verifica-se que os reservatórios passaram por ciclos de deflúvio e enchimento, demonstrando a leitura correta da relação cota X volume e armazenamento do volume excedente no período chuvoso. Além disso, nenhum dos reservatórios apresentou cotas muito superiores a cota de vertimento, bem como, não apresentou cotas superiores as das ombreiras das barragens. Como exemplo, a Figura 4 apresenta a cota do reservatório do Descoberto para o período simulado.

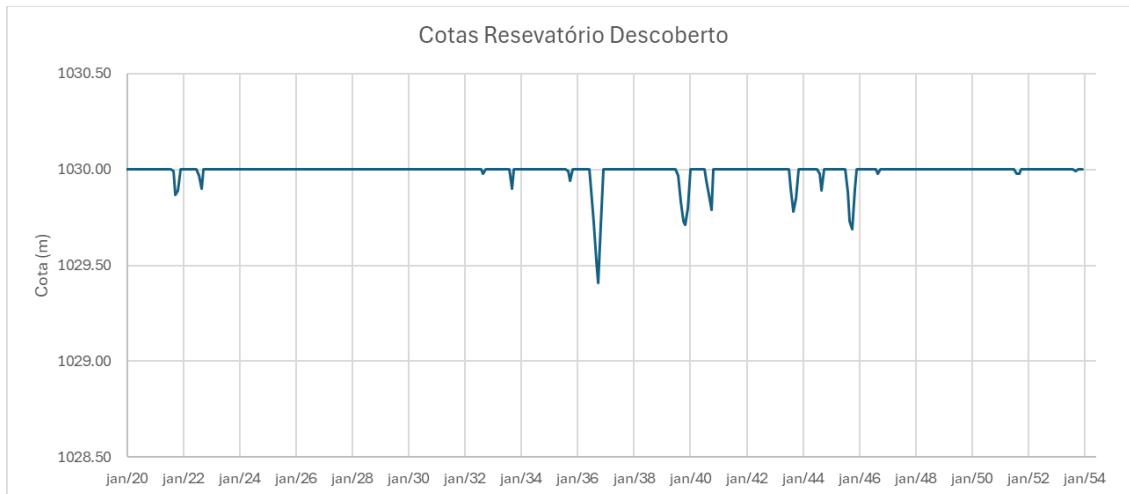


Figura 4 - Cotas do reservatório do Descoberto para o período simulado

Outros elementos avaliados foram as ETAs, essas UOs obedeceram às restrições de vazão impostas, seja pelas outorgas ou pela limitação da capacidade instalada, mesmo as ETAs que são abastecidas por mais de uma captação. A título de exemplo, a Figura 5 apresenta as entradas e saídas da ETA Pipiripau (ETA.PIP.001) que possui vazão nominal de projeto de 600l/s, a qual recebe água bruta de 3 mananciais, Fumal, Brejinho e Pipiripau. Verifica-se que as entradas e saídas são iguais, atendendo a restrição da representação de um reservatório cuja capacidade de armazenamento é nula. Além disso, essa ETA recebe água somente de captações a fio d'água, que no período de estiagem são mais impactadas pela redução de vazão deixando a ETA com capacidade ociosa.

Outro item importante de ser observado, foi a demanda total de água no SAUA. É possível verificar na Figura 6 o aumento da demanda provocada pela entrada de novas localidades para abastecimento, bem como as reduções de demandas provocadas pelas ações planejadas para redução de perdas. Além disso, observa-se a estabilização da curva de demanda entre os anos de 2044 e 2046, ocasionada pela estabilização da população do DF, com seu declínio e consequentemente a redução da demanda.

Entende-se que o modelo apresentou uma simplificação aceitável da realidade, necessitando ainda de avaliação estatística quando as falhas de abastecimento as demandas.

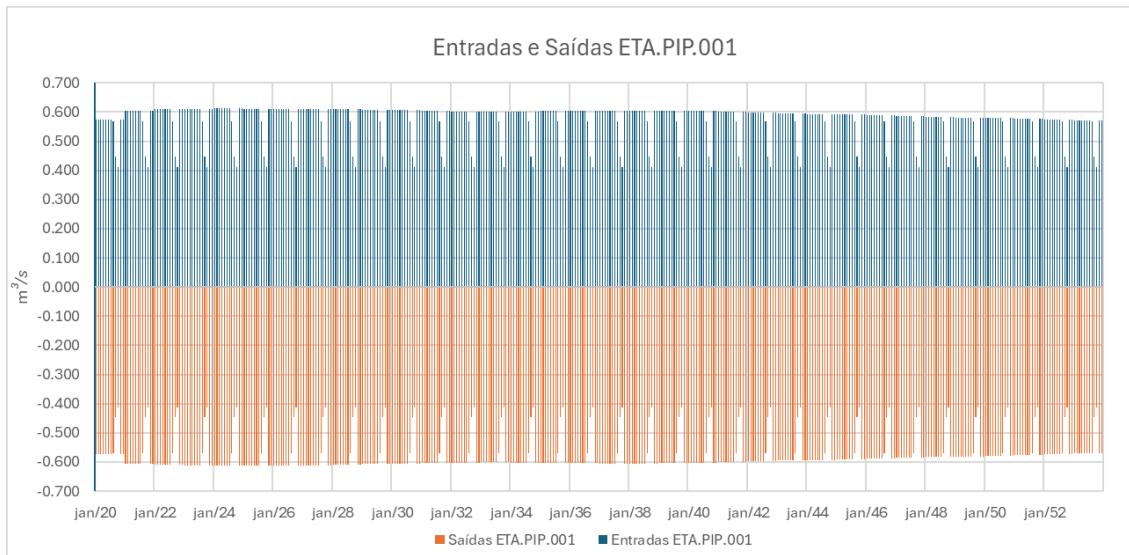


Figura 5 - Entradas e Saídas da ETA.PIP.001

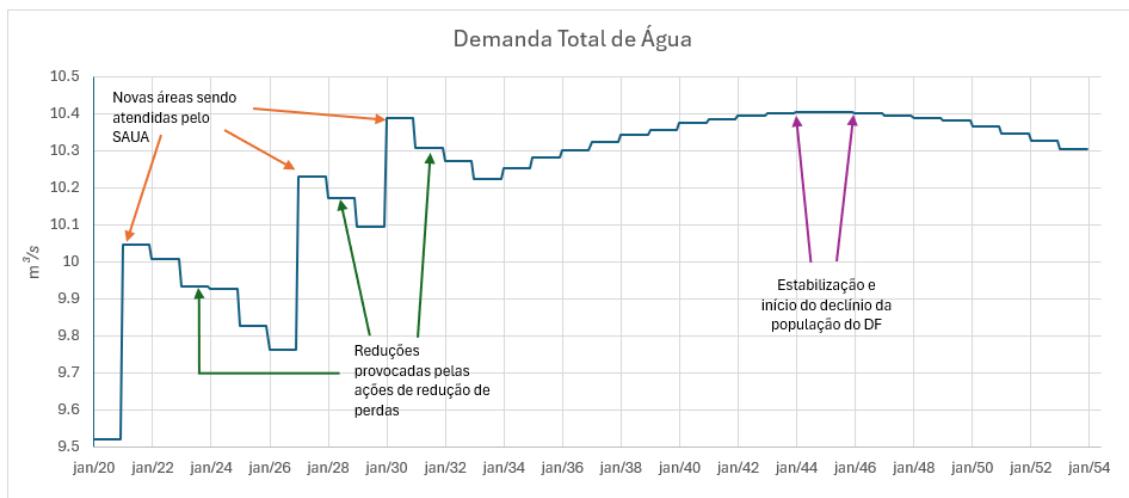


Figura 6 - Curva de demanda total de água para abastecimento

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAESB pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS

- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2015). Balanço Hídrico do Reservatório do Rio Descoberto. Brasília, DF, 45 p.
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2019). Plano de Diretor de Água e Esgotos do Distrito Federal (PDAE-DF). Brasília, DF, 294p
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2020). Relatório Técnico PRHR – 009/2020: Reavaliação das Disponibilidades Hídricas das Captações a Fio d'Água da Caesb. Brasília, DF, 108 p.

- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2021a). Plano de Exploração de Serviços da Caesb”. *Volume 1 Tomo 1/6*. Brasília, DF, 18p
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2021b). Plano de Exploração de Serviços da Caesb. *Volume 1 Tomo 3/6*. Brasília, DF, 97p
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2024a). Relatório Técnico EPRC – 001/2024: Balanço Hídrico do Sistema de Abastecimento de Água do Distrito Federal no ano de 2024, contemplando o período entre os anos 2023 e 2053. Brasília, DF, 108 p.
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2024b). Balanço Hídrico do Lago Paranoá. Brasília, DF, 31 p.
- Caesb, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2025). Relatório da Administração 2024. Brasília, DF, 98 p.
- Giacomazzo, A. P. (2020). Análise de Portfólios de Planejamento e Gestão do Sistema de Abastecimento Urbano do Distrito Federal no Contexto de Incertezas Profundas. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM – 233/2020, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 176p.
- FERRIGO, S.; MINOTI, R.T.; KOIDE, S. (2015).” Aplicação do modelo SWAT na estimativa do balanço hídrico do Lago Descoberto (DF) e na previsão da cota ao final de um período seco” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov. 2015, 8p.
- Höllermann, B. Giertz, S. Diekkrüger, B. (2010). “*Benin 2025—Balancing Future Water Availability and Demand Using the WEAP ‘Water Evaluation and Planning’ System*”. In: Water Resour Manage, 24 3591-3613.
- IBGE (2024). Projeções da população: Brasil e unidades da federação: notas metodológicas 01/2024: estimativas e projeções: revisão 2024. Rio de Janeiro, RJ, 48p.
- Nazareno, J. L. P. D. (2024). Análise de alternativas de integração do Sistema Corumbá ao Sistema Produtor de Água do Distrito Federal em meio a incertezas profundas e climáticas. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PPGTARH. DM – 274/2024, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168p.
- NAZARENO, J. L. P. & ALVES, C. M. A. (2025). “*A procedure for urban water supply system planning under climate variability and deep uncertainty conditions*”. Brazilian Journal of Water Resources, Porto Alegre, v. 30, e8, 2025.
- Sieber, J. (2006). “*WEAP Water Evaluation and Planning System*”. In: International Congress on Environmental Modelling and Software. 397.
- SINISA. (2024). Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água SINISA 2024 ano de referência 2023. [Relatório]. Brasília: Ministério das Cidades.
- TAKALA, A. (2017). “*Understanding sustainable development in Finnish water supply and sanitation services*”. International Journal of Sustainable Built Environment, 6, 501–512.