



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NICOLE VALENTINI FEDRIZZI

**CAMINHOS PARA O ENFRENTAMENTO DE CRISES HÍDRICAS – ESTUDO DE
CASO DO SISTEMA DESCOBERTO, DISTRITO FEDERAL**

Porto Alegre
Dezembro, 2018

NICOLE VALENTINI FEDRIZZI

**CAMINHOS PARA O ENFRENTAMENTO DE CRISES HÍDRICAS – ESTUDO DE
CASO DO SISTEMA DESCOBERTO, DISTRITO FEDERAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DE
TÍTULO DE ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Porto Alegre
Dezembro, 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Valentini Fedrizzi, Nicole
Caminhos para o enfrentamento de crises hídricas -
Estudo de caso do Sistema Descoberto, Distrito Federal
/ Nicole Valentini Fedrizzi. -- 2018.
140 f.
Orientador: Guilherme Fernandes Marques.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Crises hídricas. 2. Sistema Descoberto, Distrito
Federal. 3. Medidas de enfrentamento. 4. WEAP. I.
Fernandes Marques, Guilherme, orient. II. Título.

NICOLE VALENTINI FEDRIZZI

**CAMINHOS PARA O ENFRENTAMENTO DE CRISES HÍDRICAS – ESTUDO DE
CASO DO SISTEMA DESCOBERTO, DISTRITO FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 07/12/2018 pela Comissão avaliadora constituída por:

Banca examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

M.Sc. Amanda Wajnberg Fadel

Prof. Dr. Rodrigo Cauduro Dias de Paiva

AGRADECIMENTOS

Durante esses anos em que estive cursando Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pude cruzar o meu caminho com o de diversas pessoas especiais, algumas delas já presentes na minha vida mesmo antes de ingressar na universidade. Agradeço, portanto, a todos aqueles que estiveram presentes, em diferentes lugares e momentos, servindo de inspiração, trocando conhecimento e contribuindo para o meu desenvolvimento pessoal e profissional durante o período de graduação. Chego nessa etapa final com sentimento de gratidão por tudo que vivenciei e reconheço o quanto vocês foram essenciais para que tudo valesse a pena.

Família, namorado, professores e professoras, professor orientador Guilherme Fernandes Marques, colegas da Profill Engenharia e Ambiente, colegas do grupo de pesquisa de Ecotecnologia e Limnologia e do grupo de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do IPH/UFRGS, funcionários da UFRGS, colegas de aula – em especial a turma de 2012–e, por fim, amigos de anos ou de meses, que moram perto ou longe, sou extremamente grata a todos vocês.

RESUMO

Os conflitos pelo uso da água são decorrentes do desequilíbrio entre a oferta e demanda deste recurso natural. Na última década, localidades como a Cidade do Cabo, o Estado de São Paulo, o sul da Califórnia e o Distrito Federal enfrentaram episódios de crise hídrica. No Distrito Federal, através da publicação da Resolução ADASA nº 15, de 16 de setembro de 2016, foi declarada situação crítica de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria. Medidas emergenciais de enfrentamento à crise foram implementadas, dentre elas: tarifa de contingência, campanhas de incentivo a redução no consumo, redução de pressão na rede, restrições aos irrigantes e sistema de rodízio de abastecimento de água. Nesse contexto, o presente trabalho buscou identificar os principais fatores associados a crises hídricas recentes e explorar os diferentes caminhos para o enfrentamento à escassez dos recursos hídricos, tendo como estudo de caso a crise hídrica no Distrito Federal. O modelo matemático computacional *Water Evaluation and Planning* (WEAP) foi utilizado para a simulação e calibração do Sistema Descoberto no período de 2008 a 2017 - cenário de referência. Ainda, através do WEAP, foram simulados cinco agrupamentos de cenários alternativos, envolvendo alterações nas medidas implementadas e a adoção de medidas de conservação e uso racional da água pelos diferentes setores usuários do Sistema Descoberto, tais quais: sistemas de irrigação mais eficientes, redução nas perdas na rede de abastecimento e sistemas de reuso e de aproveitamento de água da chuva em residências. Os resultados foram analisados em termos de volumes acumulados no reservatório e porcentagem da demanda atendida (*coverage*). Através dos resultados foi possível verificar que os esforços empregados pelos gestores e usuários de água do Distrito Federal para a implementação das medidas de enfrentamento durante o período de crise analisado puderam evitar um possível colapso do Sistema Descoberto. As medidas de conservação e uso racional da água propostas por este estudo contribuíram para manter o reservatório com maior volume acumulado e ampliaram a cobertura no atendimento por um maior intervalo de tempo. Se implementadas em conjunto, mesmo em sua configuração menos otimista, trariam melhor desempenho se comparadas com as medidas emergenciais. Embora esse resultado aponte para um potencial caminho de adaptação mais vantajoso que a implementação exclusiva de medidas emergenciais, percebe-se que seria insuficiente para resolver de forma

definitiva o problema de abastecimento nesse período, uma vez que os volumes armazenados ao fim do período crítico ainda indicariam risco para o ano seguinte e menor segurança hídrica para o sistema. Dessa forma, foi possível concluir que essas medidas deveriam estar em curso de implementação e de forma complementar à outras estratégias para permitir a adaptação do sistema a situações de escassez e a cenários futuros e ainda incertos. Por fim, ressalta -se a importância da gestão de recursos hídricos integrada e participativa com ações voltadas para o uso consciente e racional da água e para a sustentabilidade dos sistemas.

Palavras-chave: crise hídrica; escassez hídrica; Sistema Descoberto; WEAP; medidas emergenciais; conservação; uso racional.

ABSTRACT

Conflicts over water resources are a result of the imbalance between water supply and demand. During the last decade, localities as Cape Town, São Paulo, south California, and Distrito Federal have experienced water crisis episodes. At Distrito Federal - Brazil, the critical water scarcity situation at Descoberto and Santa Maria reservoirs was declared at September 2016. In order to overcome this situation, emergency measures were applied, such as: contingent tariffs, water conservation campaigns, pressure reduction in water distribution network, irrigation restrictions and water rationing. This study identifies major factors related to recent water crisis events and explores a range of possible pathways to solve water scarcity, using the case study of the Distrito Federal water crisis. The software tool Water Evaluation and Planning (WEAP) was used to simulate and calibrate the Descoberto System, during the years 2008 to 2017 – reference scenario. Moreover, by using WEAP, five groups of alternative scenarios were simulated, including changes at the aforementioned emergency measures, water conservation and rational water use by different stakeholders: more efficient irrigation systems, water losses reduction, greywater reuse, and rainwater harvesting. The results were analyzed by considering both reservoir volume and water demand coverage. The water crisis emergency measures avoided the water supply system collapse. Conservancy and rational use measures enable higher water volume accumulation and coverage during longer time. A combination of these measures, even when considering the less optimistic scenario, would result in a better system performance in comparison with emergency measures. This result implies that the implementation of the referred adaptation pathway is potentially better than the emergency measures. However, it is not enough to solve the water supply system problem during this period. The accumulated volumes at the end of the period would lead to a risk for the next year and a weak water system security. However, even with a best-case scenario which combines these measures and would eliminate the public water coverage deficits, the reservoir would reach low water levels at the end of 2017, implying a risk for the next year and a weak water system security. Thus, results show that these measures are urgent and should be in stage of implementation, being complementary to other strategies in order to allow the system adaptation to water scarcity situations and to future and unknown scenarios. The integrated water resources management, based on participatory approach and on the

development of water conservancy and rational use, is imperative to the system sustainability.

Key words: *water crisis; water scarcity; Sistema Descoberto; WEAP; emergency measures; conservation; rational use.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Princípios da governança de água.....	21
Figura 3. Sistema hierárquico de demanda de água para usos domésticos.	31
Figura 4. Crises hídricas no Brasil, espacialização e evolução temporal.	32
Figura 5. Níveis de água total das barragens do Sistema de Abastecimento de Água do Cabo Ocidental.....	34
Figura 6. Vazões anuais afluentes ao Sistema Cantareira (m ³ /s).	36
Figura 7. Pluviometria, vazões afluentes e captadas no Reservatório do Descoberto.	38
Figura 8. Exemplo de influência da pressão de um vazamento.	45
Figura 9. Sistema de rodízio implementado no Distrito Federal.	46
Figura 10. Situação de racionamento referente ao dia 02 de setembro de 2017.....	47
Figura 11. Exemplo de configuração de sistema de aproveitamento de água da chuva.....	51
Figura 12.Exemplo de configuração de sistema de reuso de águas cinzas.	51
Figura 13. Etapas de elaboração do estudo.....	56
Figura 14. Área de estudo.	57
Figura 15. Sistema Integrado do Descoberto.	60
Figura 16. Usos finais do consumo interno das Regiões Administrativas do Distrito Federal.	64
Figura 17. Consumo per capita e renda média mensal per capita por Região Administrativa abastecida pelo Descoberto.....	65
Figura 18. Localização das estações fluviométricas.	67
Figura 19. Curva cota- volume do reservatório do Descoberto.	67
Figura 20. Vazões médias mensais totais afluentes ao reservatório do Descoberto.	68
Figura 21. Consumo médio mensal de água e umidade relativa.....	74
Figura 22. Série histórica de volumes observados no reservatório do Descoberto...	75
Figura 23. <i>Data View</i>	81
Figura 24. Balanço hídrico de reservatório.....	82
Figura 25. Construção do modelo simplificado no WEAP.	83
Figura 26. Rede simplificada elaborada no WEAP.....	84
Figura 27. Resumo dos cenários alternativos.	91
Figura 28. Volume simulado e volume observado no reservatório do Descoberto....	99

Figura 29. Vazões remanescentes do reservatório Descoberto (simulação) e observadas na estação 60436000 (dados observados).....	100
Figura 30. Vazões afluentes mensais médias (m ³ /s) – 2012 a 2017.....	101
Figura 31. Porcentagem de demanda atendida - <i>Coverage</i>	103
Figura 32. Consumo <i>per capita</i> por região administrativa	105
Figura 33. População total por região administrativa	105
Figura 34. Volume morto, volume máximo e volume acumulado 2015-2017.....	107
Figura 35. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 1a e 1b, 2015-2017.....	109
Figura 36. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 1a e 1b, 2015-2017.	110
Figura 37. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2008 a 2017.	112
Figura 38. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2008 e 2017.	112
Figura 39. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2015-2017.....	113
Figura 40. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2ax e 2bx, sem sistema de rodízio, 2015-2017.	114
Figura 41. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 2ax e 2bx, sem sistema de rodízio, 2015 e 2017.	114
Figura 42. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2008 a 2017.	118
Figura 43. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2008 e 2017.	118
Figura 44. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2015 a 2017.	119
Figura 45. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2015 e 2017.	119
Figura 46. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 4a e 4b, 2015 a 2017.	122
Figura 47. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 4a e 4b, 2015 a 2017.	122

Figura 48. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2008 a 2017.	124
Figura 49. <i>Coverage</i> , para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2009 a 2017.	125
Figura 50. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2015 a 2017.	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Equações utilizadas pelo WEAP.	27
Quadro 2. Resoluções ADASA referentes à escassez hídrica no Reservatório do Descoberto.	40
Quadro 3. Percentuais a serem aplicados sobre a fatura de água (excluído o valor de esgoto) de cada usuário, de acordo com a Categoria e Faixa de Consumo, em m ³	43
Quadro 4. Métodos e sistemas de irrigação.	52
Quadro 5. Características socioeconômicas das Regiões Administrativas.	62
Quadro 6. Características físicas do Reservatório do Descoberto.	66
Quadro 7. Perdas de água na distribuição.	69
Quadro 8. Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) por RA (%).	70
Quadro 9. População total por ano, por região administrativa (habitantes).	72
Quadro 10. Consumo per capita diários por RA (L/dia.hab).	73
Quadro 11. Potencial de redução de consumo de água por faixa de renda.	76
Quadro 12. Demanda de irrigação por aspersão na bacia do Alto do Descoberto.	78
Quadro 13. Demanda de irrigação por gotejamento na bacia do Alto do Descoberto.	79
Quadro 14. Hipóteses para elaboração dos cenários alternativos (hipóteses usadas no trabalho destacadas em negrito).	88
Quadro 15. Precipitação anual média no reservatório do Descoberto (mm).	102
Quadro 16. Demandas urbanas totais anuais.	103
Quadro 17. Demanda de água atual e com implementação de medidas de conservação (Cenário 3a).	115
Quadro 18. Demanda de água atual e com implementação de medidas de conservação (Cenário 3b).	116
Quadro 19. Síntese dos resultados.	129

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos	19
3.1.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Brasil	22
3.2. Sistemas de Apoio a Decisão (SAD).....	25
3.2.1. Water Evaluation and Planning System (WEAP)	26
3.3. Panorama de Crises Hídricas no Mundo e no Brasil.....	30
3.3.1. Califórnia, Estados Unidos da América.....	33
3.3.2. Cidade do Cabo, África do Sul.....	34
3.3.3. São Paulo, Brasil	35
3.4. Crise Hídrica no Distrito Federal	37
3.4.1. Resoluções ADASA	40
3.4.2. Medidas Emergenciais.....	42
3.5. Estratégias de Conservação e Uso Racional da Água.....	49
3.5.1. Estratégias de Conservação de Água no Distrito Federal – AAC e RAC.....	53
4. MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.1. Área de Estudo	56
4.2. Levantamento de Dados	66
4.3. Construção do Modelo no WEAP.....	80
4.4. Construção dos Cenários Alternativos	87
4.4.1. Agrupamento de Cenários 1 - Alterações nas medidas de enfrentamento à crise hídrica.....	92
4.4.2. Agrupamento de Cenários 2 - Aumento na eficiência de sistemas de irrigação	93
4.4.3. Agrupamento de Cenários 3 - Implementação de medidas de conservação de água nas residências abastecidas pelo Descoberto	95
4.4.4. Agrupamento de Cenários 4 - Redução das perdas de água no Sistema Descoberto.....	96
4.4.5. Agrupamento de Cenários 5 – Aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto	97
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	99

5.1. Cenário de Referência	99
5.2 Agrupamento de Cenários 1 - Alterações nas medidas de enfrentamento à crise hídrica	107
5.3 Agrupamento de Cenários 2 - Aumento na eficiência de sistemas de irrigação	110
5.4. Agrupamento de Cenários 3 - Implementação de medidas de conservação de água nas residências abastecidas pelo Descoberto	115
5.5 Agrupamento de Cenários 4 - redução das perdas de água no Sistema Descoberto.....	120
5.6 Agrupamento de Cenários 5 – aumento da eficiência do uso de água no Sistema Descoberto.....	123
5.7. Síntese dos resultados dos Agrupamentos de Cenários propostos.....	127
5.8. Limitações do Estudo.....	130
6. CONCLUSÕES	131
7. REFERÊNCIAS.....	133

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades. No entanto, OCDE (2015a) afirma que a disponibilidade de água doce de alta qualidade é limitada e altamente variável. Projeções realizadas por OCDE (2012) mostram que 40% da população mundial vive atualmente em bacias hidrográficas sob pressão e que, até o ano de 2050, a demanda de água irá crescer em 55%.

Devido a importância de se tratar da temática de recursos hídricos no contexto global, em setembro de 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) incorporou a água e o saneamento como um dos principais objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável: “*Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos*” (ONU, 2015, p.18).

De acordo com ANA (2017), os conflitos pelo uso da água são decorrentes do desequilíbrio entre os usos e quantidade de água disponível, levando-se em consideração os aspectos de qualidade. Esse desequilíbrio pode resultar da combinação entre eventos climáticos extremos, alterações na demanda, modificações no uso e ocupação do solo e falta de investimentos em gestão e infraestruturas hídricas. Episódios críticos de crise hídrica vem ocorrendo no mundo e no Brasil. Dentre os ocorridos nos últimos dez anos pode-se citar, a nível mundial, localidades como a Califórnia e a Cidade do Cabo, e a nível nacional, São Paulo e o Distrito Federal.

As medidas de enfrentamento às situações de escassez hídrica variam conforme a realidade de cada local, não havendo uma solução única e que sirva de forma universal. Em comum, está o fato de grande parte dessas medidas serem reativas, compostas por ações emergenciais com resultados previstos para o curto prazo – baseadas em gestão de crise. Tais medidas costumam incluir a implementação de racionamento de água por sistemas de rodízio, restrições de usos nos demais setores usuários de água, suspensão de captação de água para atividades não essenciais, diminuição da pressão de água na rede de abastecimento, busca por novos mananciais de água e a implementação de tarifas bônus ou de contingência. Por vezes, as crises hídricas deixam lições, ensinamentos e impulsionam os órgãos gestores de recursos hídricos e demais autoridades locais a, então, desenvolverem planos de ações com metas de médio e longo prazo de forma

a garantir a segurança hídrica dos sistemas, melhorar os sistemas de gestão e evitar que se instalem novos episódios de crise.

Verifica-se que as crises hídricas necessitam de soluções de adaptação mais duradouras, de modo a complementar, e até substituir, em alguns casos, as soluções comuns de enfrentamento hoje empregadas de forma bastante disseminada: gestão de risco *versus* gestão de crise. Fatores relacionados com a garantia de oferta de água e gestão da demanda de água são importantes para atenuar a ocorrência de crises (ANA, 2017). Estratégias e políticas públicas voltadas à segurança hídrica no longo prazo são, conforme mencionado por WWC (2018), essenciais para proteger as populações, cidades, economias e ecossistemas de riscos relacionados com a água – secas, poluição, falta de água para consumo humano e saneamento inadequado.

Nesse contexto, o presente trabalho busca identificar os principais aspectos relacionados com as crises hídricas recentes. Além disso, objetiva investigar os caminhos para o enfrentamento à escassez dos recursos hídricos, incluindo estratégias de conservação e uso racional. A crise hídrica no Distrito Federal que atingiu o sistema de abastecimento de água do Descoberto, declarada em setembro de 2016, é o estudo de caso escolhido pelo presente estudo.

Nos próximos capítulos deste trabalho são apresentados conceitos sobre Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Após, apresentam-se noções de Sistemas de Suporte a Decisão, com o aprofundamento no funcionamento e aplicações do modelo matemático computacional *Water Evaluation and Planning System* (WEAP). O WEAP foi utilizado no presente trabalho para as simulações do Sistema Descoberto nos anos de 2008 a 2017 – cenário de referência, incluindo parte do período de crise hídrica que se encerrou no ano de 2018. Trata-se de uma ferramenta útil para a formulação de cenários correspondentes à situação atual e alternativos de uso e gestão da água.

Sequencialmente, são abordadas situações de crises hídricas no Brasil e no mundo, com destaque às crises enfrentadas pela Califórnia, Cidade do Cabo, São Paulo e, principalmente, pelo Distrito Federal. Ainda, são discutidos aspectos relacionados com estratégias de conservação e uso racional da água pelos principais setores usuários da área de estudo.

Além do cenário de referência, são elaborados cinco agrupamentos de cenários com a implementação de medidas alternativas àquelas implementadas durante a crise hídrica no Distrito Federal durante os anos de 2016 e 2017, visando a conservação e

o uso racional dos recursos, através (i) da melhoria na eficiência de sistemas de irrigação, (ii) da redução de perdas de água nas redes de distribuição e (iii) da implementação de sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de água da chuva pelas residências.

Por fim, os resultados são analisados em termos de volumes acumulados no reservatório e porcentagem da demanda atendida (*coverage*). Observando-se, dessa forma, os diferentes comportamentos e respostas do Sistema Descoberto frente à implementação de ações que visem a sustentabilidade do sistema no longo prazo e as possíveis consequências no atendimento às demandas dos usuários de água da área de estudo.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é identificar os principais fatores associados a crises hídricas recentes e explorar os diferentes caminhos para o enfrentamento à escassez dos recursos hídricos, tendo como estudo de caso a crise hídrica no Distrito Federal declarada em setembro de 2016.

Os objetivos específicos envolvem:

- Caracterizar a crise hídrica do Distrito Federal;
- Analisar o Sistema de Abastecimento de Água do Descoberto, localizado no Distrito Federal, no período de 2008 a 2017;
- Propor e avaliar cenários alternativos e hipotéticos as medidas de enfrentamento utilizadas na situação de crise hídrica do Distrito Federal, incluindo implementação de estratégias de conservação e uso racional pelos principais setores usuários de água da área de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão são abordados assuntos relacionados com a Gestão Integrada de Recursos Hídricos e aos Sistemas de Apoio à Decisão – com enfoque no *software Water Evaluation and Planning System (WEAP)*. Além disso, são tratados tópicos referentes a crises hídricas, no qual são abordados alguns exemplos do Brasil e do mundo. Por fim, detalha-se a crise hídrica enfrentada pelo Sistema Descoberto, localizado no Distrito Federal, Brasil.

3.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é um processo que promove o desenvolvimento e a gestão coordenada dos recursos hídricos e demais recursos de forma a maximizar o bem-estar econômico e social de uma forma equitativa e sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas (GWP, 2000).

As bases da Gestão Integrada de Recursos Hídricos foram desenvolvidas no início da década de noventa, na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente realizada em Dublin, na Irlanda. Nesta conferência foram formulados quatro princípios (ICWE, 1992). São eles:

- a água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente;
- o desenvolvimento e gestão da água deverão ser baseados em uma abordagem participativa, envolvendo usuários planejadores e o público em todos os níveis;
- as mulheres desempenham um papel central no fornecimento, gestão e proteção da água; e
- a água tem um valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

Ludwig et al. (2013) mencionam que um dos principais princípios da GIRH é a integração e interconexão entre diversos aspectos, tais quais: montante e jusante; qualidade e quantidade da água; necessidades econômicas e ambientais; e decisões técnicas e políticas. Pires et. al. (2016) afirmam que a gestão integrada de recursos hídricos aplica as premissas do desenvolvimento sustentável no setor de recursos hídricos. De acordo com Hooper (2006), a GIRH permite que soluções para questões

no âmbito de recursos hídricos sejam desenvolvidas incorporando-se os interesses dos usuários de água e em torno de ações que maximizem os benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Loucks e Beek (2005) sugerem que dentre os fatores que direcionam para a necessidade de uma gestão integrada de recursos hídricos estão o crescimento populacional, a mudança do uso e ocupação do solo, o crescimento econômico, a globalização, a mudança e as variações climáticas. De forma geral, o aumento populacional e o crescimento econômico aumentam a demanda de água. A mudança no uso e ocupação do solo em conjunto com a mudança climática influenciam diretamente do ciclo hidrológico e, portanto, a oferta de água. Esses fatores combinados levam a competição e conflito pelo uso do recurso hídrico.

A GIRH adequada requer a consideração tanto da demanda quanto da oferta de água, atentando a manutenção do equilíbrio entre as funções sociais, econômicas e ecológicas dos recursos hídricos de forma a abranger da melhor forma todos os seus usos. Segundo Heathcote (2009), a gestão de recursos hídricos pode ser considerada eficiente quando: permite oferta adequada e sustentável de água durante período considerável de tempo; mantém qualidade de água conforme padrões determinados por legislação e outros requisitos sociais e ecológicos; e permite o desenvolvimento econômico sustentável no curto e longo prazo. Ainda, para que seja alcançada tal eficiência, é necessária a cooperação e participação dos usuários de água.

OCDE (2015a) afirma que lidar com os desafios atuais e futuros no âmbito dos recursos hídricos requer políticas públicas robustas e adaptadas a cada território e seus sistemas jurídico, administrativo e organizacional. O desenvolvimento de uma gestão integrada de recursos hídricos que contribua para políticas públicas claras e orientadas para resultados deve estar baseado em três dimensões: eficácia, eficiência e confiança e compromisso (Figura 1).

Figura 1. Princípios da governança de água.



Fonte: OCDE (2015a).

A gestão e o planeamento integrado de recursos hídricos vêm sendo realizados de forma mais consolidada em países como Alemanha, Austrália, Singapura e, principalmente, Israel.

O Estado de Israel está localizado em uma região com escassos recursos hídricos. Desde a sua fundação, em maio de 1948, o país vem desenvolvendo políticas e tecnologias para a garantia de disponibilidade hídrica suficiente para atender a todos os seus usos.

De acordo com Siegel (2015), alguns fatos históricos importantes relacionados com a gestão de recursos hídricos no país, com a finalidade de permitir o seu desenvolvimento social e econômico e de evitar uma possível situação de escassez do recurso hídrico, são:

- Em 1966 equipamentos de irrigação por gotejamento começaram a ser vendidos no país;
- Em 1969 foi inaugurada a estação de tratamento de efluentes de *Shafdan*;
- Em 2000 sistemas de descarga duplos se tornaram obrigatórios em novas instalações prediais;

- Em 2005 a 2016 cinco grandes plantas de dessalinização foram construídas na costa mediterrânea, fornecendo a maior parcela da água para consumo humano de Israel;
- Em 2013 o governo de Israel declarou-se independente de condições climáticas para a disponibilidade de água.

Além destes fatos, Israel reutiliza 85% da água resultante do tratamento de efluentes (SIEGEL, 2015). Segundo IGUDAN (2018), a água reciclada pela estação de tratamento de efluentes de *Shafdan* é utilizada para fins agrícolas, fornecendo mais de 60% da água utilizada para irrigação no deserto de *Negev*.

Os gestores de água do Estado de Israel integram todas as possibilidades de fontes de água com a totalidade de tecnologias de conservação de água disponíveis. Desta forma, torna-se possível atingir uma eficiente gestão deste recurso natural. Para isso, Israel utiliza água proveniente de plantas de dessalinização; trata os seus efluentes utilizando-os para fins de irrigação; captura e reutiliza água da chuva; educa a população sobre a importância de ações de conservação da água; substitui e conserta as redes de distribuição a fim de evitar perdas; utiliza cobrança para incentivar o uso consciente; e fornece incentivos financeiros para implementação de tecnologias que economizam água.

No caso dos países da América Latina, Villar (2013) explica que as políticas hídricas são consideravelmente distintas entre si. No entanto, Villar (2013) referencia o estudo da OCDE (2012) realizado em treze países latino-americanos no qual se demonstrou que há pontos de convergência entre as políticas, resultantes da adoção de estratégias propostas pelo modelo da gestão integrada dos recursos hídricos. O governo central (através de agências e ministérios, por exemplo) tem um papel fundamental na gestão de águas, mesmo em países que passaram por um processo de descentralização da gestão, como Argentina, Brasil e México. Silva et.al. (2017) afirmam que o sistema de gerenciamento hídrico brasileiro é o mais moderno da América Latina, muito embora ainda enfrente limitações e desafios, destacados na próxima seção.

3.1.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Brasil

No Brasil, estados como São Paulo, Ceará e Bahia e o Distrito Federal, em função de seus problemas hídricos, foram os primeiros a desenvolver ações de

gerenciamento mediante a formulação de legislação específica estadual (SILVA et. al., 2017). Em nível federal, o marco legal referente a gestão dos recursos hídricos é a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída através da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Esta lei está baseada nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (BRASIL. Lei nº9.433, 1997, art. 1º, grifo nosso)

Ainda, a PRNH tem como objetivos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.” (BRASIL. Lei nº9.433, 1997, art. 2º)

Através Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA). A ANA é um órgão fiscalizador, regulador e executor e tem como funções, dentre outras, a implementação da PNRH, coordenação da rede hidrometeorológica nacional, definição das condições de operação de reservatórios de agentes públicos e privados, participação na elaboração e supervisão de Planos de Recursos Hídricos.

De forma a contribuir para a gestão de recursos hídricos no país, a ANA e dirigentes dos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos firmaram, no ano de 2011, o Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão). O Progestão tem por objetivo fortalecer os Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos

(SEGREHs) com o objetivo de intensificar o processo de articulação e ampliar a cooperação institucional no contexto nacional (ANA, 2016).

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídrico (SINGREH) é composto, além da ANA, pelos seguintes entes federais, estaduais e a nível de bacia hidrográfica: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; Comitês de Bacia Hidrográfica; órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos; e as Agências de Bacia.

Os entes do Distrito Federal (DF), por exemplo, incluem: o Conselho Distrital de Recursos Hídricos (CRH-DF); a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA); e os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) CBH do Lago Paranoá, CBH Afluentes do Rio Preto e CBH Afluentes do Rio Maranhão.

Apesar do reconhecido avanço na gestão de recursos hídricos no Brasil, de acordo com OCDE (2015b), existem algumas lacunas no SINGREH que dificultam a implementação efetiva de tal gestão. Tais lacunas são identificadas nos âmbitos administrativo, político, de financiamento, de capacitação, de objetivo, de responsabilidade e de informação.

No campo administrativo está a incompatibilidade entre os limites administrativos de municípios e estados com os limites hidrográficos. Dessa forma, ocorrem falhas resultantes de falta de cooperação, participação e transparência no processo de gestão. Os comitês de bacia deveriam atuar para eliminar tal lacuna administrativas, porém ainda enfrentam dificuldades.

No campo político, existe a fragmentação das tarefas relacionadas com a água entre os ministérios, órgãos públicos federais e autoridades locais e regionais. Essa situação pode resultar em incoerências entre as necessidades políticas. A gestão de água é realizada pela lógica da gestão de crise e não de riscos. Ainda, destacam-se a fragmentação entre recursos hídricos e desenvolvimento territorial, assim como entre o setor de recursos hídricos e os setores de saneamento, energia, agricultura e licenciamento ambiental.

A lacuna de financiamento, por sua vez, ocorre em função da diferença entre as receitas subnacionais e os investimentos no setor de recursos hídricos. Há uma interdependência entre as autoridades subnacionais e o governo central, o que dificulta a alocação de recursos financeiros. A cobrança, instrumento da PNRH, onde

existe, é baixa e raramente se baseia em estudos de acessibilidade ou de avaliação de impacto o que impede seu uso para promoção do uso racional da água e indicação de escassez.

No caso da capacitação, a lacuna está na insuficiência de especialização técnica e de infraestrutura para formulação e implementação de políticas de recursos hídricos. A lacuna de objetivo ocorre em função dos objetivos divergentes entre os diferentes níveis de governo que comprometem os objetivos de longo prazo das políticas de recursos hídricos.

Em termos de responsabilidade, há situações de falta de transparência e abrangência na elaboração das políticas de recursos hídricos. Por fim, a lacuna de informação ocorre em função da falta de informação acessível e de boa qualidade ou de compatibilização dessas informações entre os diferentes atores envolvidos na gestão.

3.2. Sistemas de Apoio a Decisão (SAD)

Quintella (2003) relata que uma das interpretações mais amplas de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) é a de que este é uma ferramenta computacional utilizada para apoiar decisões humanas. De forma complementar, Silva (2008) menciona que o Sistema de Apoio à Decisão é projetado de modo que os usuários possam trocar suposições, fazer perguntas e incluir dados, trabalhando diretamente com eles de maneira interativa. Sistemas de Apoio a Decisão, tais como modelos matemáticos computacionais que simulem situações de oferta e demanda, são utilizados de forma a auxiliar os processos envolvidos na Gestão Integrada de Recursos Hídricos.

De acordo com Loucks e Beek (2005), modelos de sistemas reais são representações simplificadas. A qualidade de uma modelagem computacional de sistemas reais depende do conhecimento do software pelo usuário, recursos financeiros, tempo disponível e o entendimento do usuário do sistema real e do processo de tomada de decisão.

Os componentes de um modelo são os dados de entrada, característica do sistema, equações, condições iniciais e de contorno e os dados de saída. Os modelos podem representar de forma estruturada e ordenada as interdependências e interações entre os diferentes processos e usuários de água. Além disso, permitem a avaliação das consequências de implementação de infraestruturas hídricas

alternativas, de políticas de operação e alocação de água, e diferentes cenários futuros – oferta, demanda, tecnologia, custos, e aspectos sociais e políticos.

Embora a gestão de recursos hídricos não seja restrita a modelos matemáticos, estes são uma importante parte de processos de tomada de decisão. Estes processos devem ter caráter participativo, no qual os atores envolvidos cooperam para a elaboração de soluções e na qual os *trade-offs* são levados em consideração. Loucks e Beek (2005) destacam, ainda, que modelos matemáticos computacionais processam informações, no entanto não processam decisões. As decisões são feitas pelos gestores.

Alguns dos modelos usados para a simulação de sistemas hídricos são: AQUATOOL, RIBASIM, MIKE – BASIN e WEAP. Neste estudo, utilizou-se o modelo *Water Evaluation and Planning System* (WEAP), devido as escalas temporal e espacial, os objetivos deste estudo, assim como a sua aplicação satisfatória em trabalhos prévios abordados a seguir.

3.2.1. Water Evaluation and Planning System (WEAP)

O *Water Evaluation and Planning System* (WEAP) é um modelo matemático desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute* (SEI) que utiliza abordagem integrada para a modelagem de sistemas hídricos, incorporando questões de qualidade e quantidade de água e preservação de ecossistemas.

Segundo SEI (2015), este modelo é de fácil compreensão e permite uma representação simples e direta dos sistemas com o objetivo de auxiliar os gestores de recursos hídricos no processo de planejamento. Como um banco de dados, o WEAP disponibiliza um sistema para manutenção de informações de oferta e demanda. Como uma ferramenta de prognóstico, o WEAP simula a demanda e oferta de água, vazões, armazenamento e geração, tratamento e descarga de contaminantes. Como uma ferramenta de análise de implementação de políticas, o WEAP avalia uma gama de alternativas de gestão e desenvolvimento, levando em consideração os usos múltiplos e competitivos pelos recursos hídricos.

O WEAP representa os processos relevantes da bacia, através do qual é possível reproduzir a situação atual e construir cenários alternativos para simular o comportamento da bacia. De acordo com Heathcote (2009), a formulação de cenários alternativos pelo usuário costuma incluir a identificação dos principais fatores que

contribuem para a situação em estudo e a identificação de pelo menos uma medida alternativa de gestão que contemple as seguintes categorias:

- manutenção da situação atual – *status quo*;
- adoção de medidas estruturais e/ou tecnológicas; e
- adoção de medidas não estruturais.

Essas medidas podem ser analisadas individualmente, levando-se em consideração diferentes graus de implementação. Dessa forma, podem ser simulados cenários ideais (resultam no melhor efeito possível) e cenários nos quais os efeitos de implementação estão em maior conformidade com a realidade. Ainda, essas medidas podem ser combinadas entre si.

Em cada simulação, o WEAP calcula o balanço de massa para cada nó e linha do sistema em cada passo de tempo. Segundo Oliveira (2018), um programa linear padrão é usado para resolver um conjunto de equações simultâneas e, portanto, o problema de alocação de água, cujo objetivo é maximizar a satisfação da demanda, sem prejuízo do fornecimento de prioridades, preferências de locais de demandas, balanços de massa e outras restrições.

As entradas e saídas de água em cada nó são calculadas em passo de tempo mensal e os fluxos são considerados como de ocorrência instantânea. Além disso, toda a água que entra no sistema em um mês permanece acumulada em aquíferos, reservatórios ou bacias ou então deixa o sistema no final do mês (SEI, 2015). Algumas das principais equações utilizadas pelos algoritmos do WEAP e de interesse para este estudo podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1. Equações utilizadas pelo WEAP.

Parâmetro	Equação	Observação
Balanço de massa	$\sum entrada = \sum saida + \Delta V$	O somatório dos fluxos de entrada em cada nó equivale à adição do somatório dos fluxos de saída (incluindo consumo e perdas) com a variação na quantidade de água armazenada em reservatórios ou aquíferos.

Parâmetro	Equação	Observação
Demanda para consumo anual de água	$D_{anual\ n\acute{o}} = \sum Ativ. \times Consumo\ por\ un.\ de\ ativ.$	A demanda anual em um nó é equivalente ao somatório do produto entre a atividade e o consumo por unidade de atividade. Atividade pode ser o número de habitantes de uma localidade, número de irrigantes, número de indústrias.
Demanda total anual requerida de água	$D_{requerida\ mensal\ n\acute{o}} = D_{mensal\ n\acute{o}} \times (1 - reuso)_{n\acute{o}} \times (1 - economias)_{n\acute{o}} \div (1 - perdas)_{n\acute{o}}$	A demanda mensal requerida é o que vai ser de fato retirada das fontes de água e inclui a demanda para consumo, reuso, economias de água e perdas em um nó.
Fluxo de água nas linhas de distribuição de água	$Q_{saida\ linha} = Q_{entrada\ linha} - Q_{perdas\ linha}$	Em uma linha de distribuição de água a partir de determinada fonte para um nó de demanda, o fluxo de saída da linha é equivalente ao fluxo de entrada menos as perdas ao longo da linha.
Fluxo de água nos nós de demanda	$Q_{entrada\ n\acute{o}} = \sum_{Fontes} Q_{saida\ linhas,\ n\acute{o}}$	O fluxo de água que entra no nó de demanda corresponde ao somatório dos fluxos de saída das linhas de distribuição que levam água da fonte de água ao nó de demanda.
Porcentagem de demanda atendida (coverage)	$Coverage = \frac{\sum Q_{entrada\ n\acute{o}}}{D_{requerida}}$	A porcentagem de demanda atendida é equivalente ao somatório dos fluxos de entrada ao nó de demanda dividido pela demanda total requerida. Coverage deve ser igual ou menor do que 100%.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como vantagem deste modelo, tem-se a sua adaptação aos dados disponíveis. SEI (2015) explica que os passos de tempos utilizados para a entrada de dados pelo WEAP podem ser diários, semanais, mensais ou anuais. Essa flexibilidade reflete na possibilidade de o WEAP ser aplicado para uma ampla faixa de escalas temporais. O modelo apresenta a possibilidade de integração com outros modelos, tais quais: QUAL2K, MODFLOW, MODPATH, PEST, Excel e GAMS. Dentre as limitações do WEAP elencadas por Oliveira (2018), citam-se: a estrutura do *software* não é aberta para o usuário, *software* não gratuito e não possui a abordagem *Open Modeling Interface* (OPenMI).

Algumas aplicações relevantes deste modelo são identificadas no Brasil e no mundo. O WEAP foi empregado em conjunto com o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) por Winter et. al. (2017) para simular a demanda e oferta regional de água para irrigação na região de *Yolo County*, localizada na bacia hidrográfica do rio Sacramento, na Califórnia. Através do uso do WEAP-DSSAT foi possível explorar situações envolvendo disponibilidade hídrica futura limitada, otimização no sistema de irrigação e estratégias para melhorar a resiliência em situações de escassez hídrica.

Vieira e Solis (2017) utilizaram o WEAP para calcular o índice de sustentabilidade (considerando resiliência, vulnerabilidade, confiabilidade e *déficits* máximos) dos recursos hídricos na bacia do rio Verde Grande, localizado em Minas Gerais. O modelo foi, portanto, utilizado para comparar a demanda e oferta de água para os diferentes usos na bacia através de três cenários de disponibilidade hídrica. De forma similar, Arranz e McCartney (2007) fizeram uso das ferramentas do WEAP para simular, através da construção de cenários, os impactos nas demandas e ofertas de água na bacia hidrográfica do rio *Olifants*, na África do Sul, no ano de 2025.

Fraga et. al. (2016) empregaram o WEAP em conjunto com um modelo de programação dinâmica e o *General Algebraic Modeling System* (GAMS) com a finalidade de fornecer uma estrutura integrada para otimizar a expansão dos sistemas de oferta de água, utilizando programação dinâmica e combinando otimizações de curto e longo prazo utilizando programação quadrática. Nesse caso, o WEAP foi utilizado como modelo de simulação de recursos hídricos, a fim de determinar a disponibilidade e demanda de água na bacia do rio Gravataí, Região Metropolitana de Porto Alegre.

Linsen e Rodrigues (2010), fizeram o uso do WEAP para investigar a importância da contabilização do balanço hídrico em processos de tomada de decisão envolvendo a construção de novas barragens de água para fins de irrigação na bacia hidrográfica do rio Preto, no Distrito Federal. Nesse estudo, o WEAP se mostrou como importante suporte ao processo de tomada de decisão, integrando os usuários e as informações institucionais com dados técnicos.

Por fim, destaca-se que o WEAP foi utilizado como ferramenta em outros estudos para a simulação da bacia do Descoberto. Oliveira (2018), por exemplo, calibrou o WEAP para seis subbacias da bacia do Alto Descoberto, na tentativa de incorporar os diferentes aspectos que interferem na vazão da bacia. Neste estudo, o WEAP se mostrou útil na modelagem realizada, tendo sido considerado uma ferramenta importante no auxílio a tomada de decisão em processos de gerenciamento integrado de recursos hídricos no Distrito Federal.

Jorge (2017) utilizou o WEAP para avaliar a efetividade das medidas de racionamento adotadas durante a crise hídrica no Distrito Federal. Neste trabalho, foram elaborados cenários com variações hidrológicas e alternativas temporais de adoção de medidas de racionamento com o objetivo de avaliar a segurança hídrica do sistema Descoberto.

3.3. Panorama de crises hídricas no mundo e no Brasil

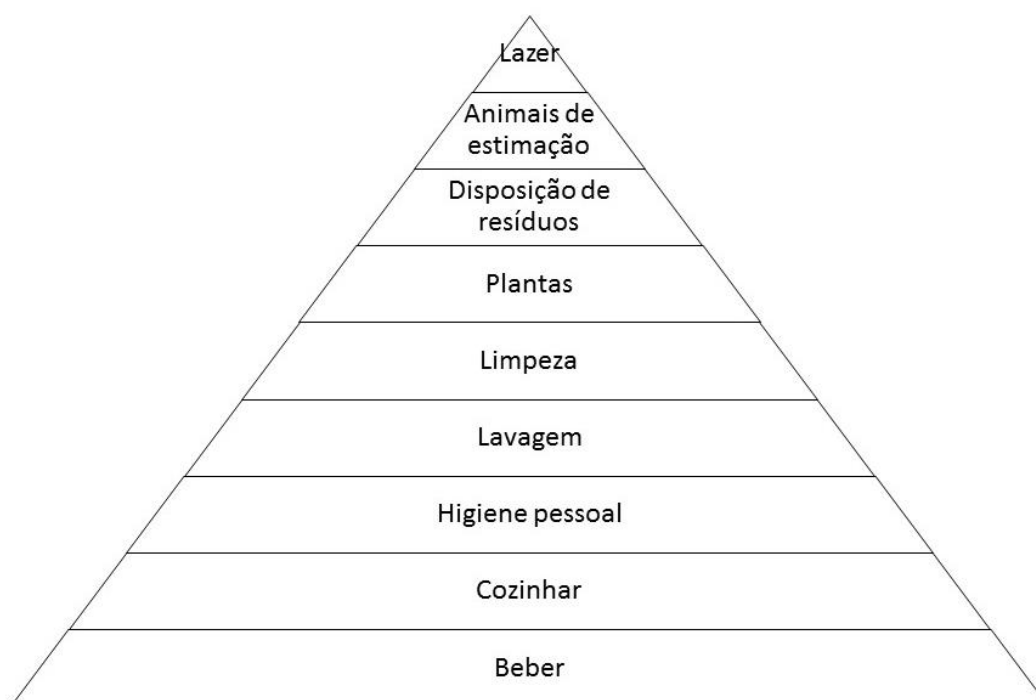
A relação entre a demanda de água e disponibilidade hídrica oferece uma visão do nível de comprometimento quantitativo dos recursos hídricos em uma determinada região e serve de suporte à gestão.

A população mundial não possui as mesmas necessidades de uso da água, tais necessidades podem variar culturalmente. Ainda, HOU (2018) menciona a existência de determinados fatores que influenciam no consumo per capita de água. São eles: clima – o consumo é influenciado pelas variações de temperatura e de precipitação; desenvolvimento econômico – quanto maior a renda, maior o consumo de água; tamanho e estrutura de cada residência; e a utilização de medidas de conservação de água – relacionada com conscientização ambiental da população e incentivo governamental para a implementação.

Heathcote (2009) afirma que a demanda de água varia conforme localização geográfica e usos finais. Em geral, países como Canadá e Estados Unidos lideram

com os maiores volumes de consumo doméstico de água. Em contraste, países com pouco acesso à água, como países localizados no continente africano, podem apresentar consumo diário per capita de água inferior a 10 litros. Na Figura 2 observa-se a estrutura hierárquica dos usos finais para fins domésticos, baseada na Hierarquia de Necessidades de Maslow (Pirâmide de Maslow).

Figura 2. Sistema hierárquico de demanda de água para usos domésticos.



Fonte: Adaptado de HOU, 2018.

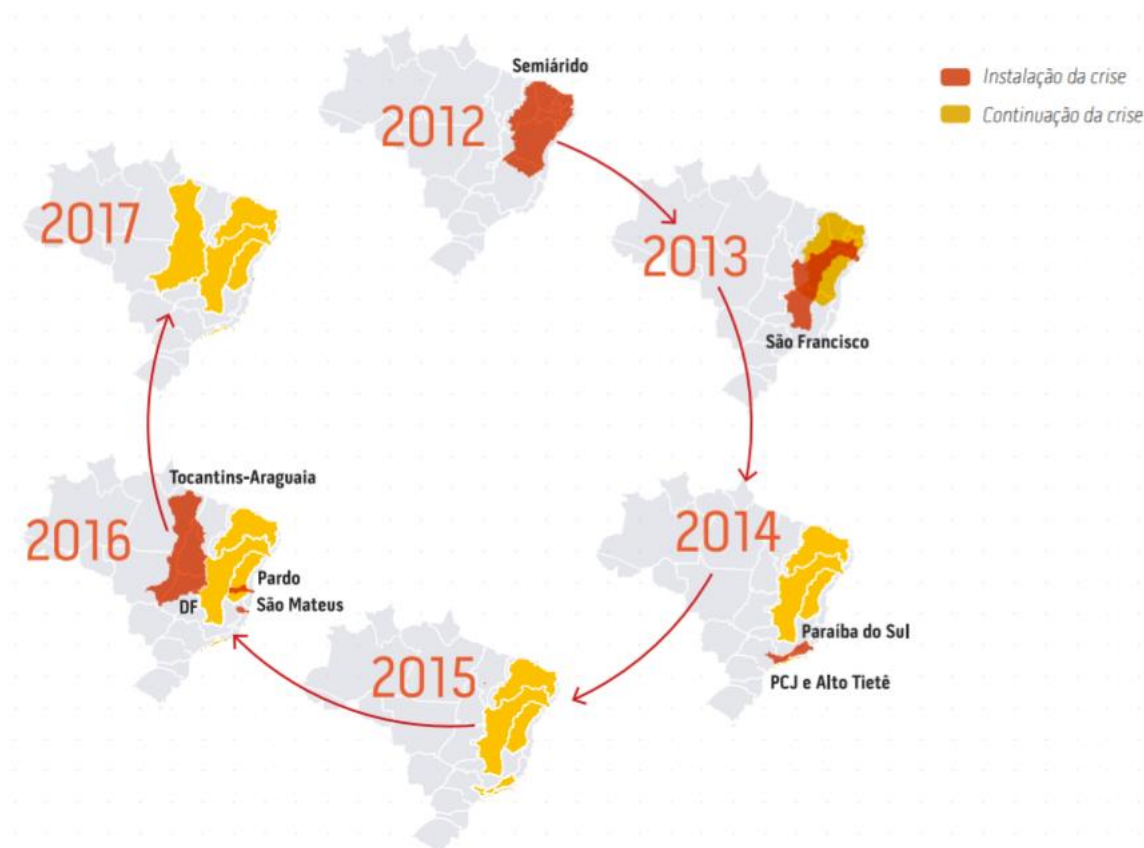
As atividades antrópicas tendem a estar baseadas em uma gama de condições usuais ou normais da disponibilidade hídrica. A baixa disponibilidade hídrica, seja por limitações na quantidade ou na qualidade, trazem impactos sociais, ambientais e econômicos, eventualmente levando a conflitos entre usuários. Atividades antrópicas dependentes de fontes de água que não se adaptarem a estas condições serão prejudicadas (LOUCKS e BEEK, 2005).

De acordo com Siegel (2015), existem diversas tendências consideradas como as principais causas das crises hídricas mundiais, muitas das quais já ocorrem há anos. As cinco principais são: o crescimento populacional, a ascensão da classe média, mudança climática, poluição da água e perdas nos sistemas de abastecimento de água. No entanto, Siegel (2015) afirma que estas podem ser superadas com o

apoio dos setores públicos e privados, conhecimento técnico e recursos financeiros disponíveis. Ainda, conforme Bezerra e Cheung (2013), a ausência de gestão eficaz de saneamento, associada às estruturas físicas deterioradas e o padrão cultural de consumo de água serão fatores que resultarão em acesso inadequado à água pela população e conflitos de uso.

Nos municípios brasileiros, de acordo com ANA (2017) a alta vulnerabilidade resultante de um balanço hídrico desfavorável, associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica e períodos de precipitações abaixo da média, podem agravar a situação de escassez e resultar em períodos de crise hídrica. A espacialização e evolução temporal dos eventos de crise hídrica no Brasil podem ser visualizadas na Figura 3. Destaca-se a crise hídrica do Distrito Federal com início no ano de 2016 e continuação em 2017 e a permanente crise no nordeste brasileiro nestes anos.

Figura 3. Crises hídricas no Brasil, espacialização e evolução temporal.



Fonte: ANA (2017)

Em diversas bacias hidrográficas, é necessária a ocorrência de uma situação de crise hídrica para que a sociedade e o poder público atentem à demanda de água

e possíveis mecanismos para promover a sua redução. Poucos são os exemplos de órgãos gestores de recursos hídricos que promovem programas de conservação de água de forma intensiva e voluntária (HEATHCOTE, 2009).

Os resultados apresentados pela OCDE (2015) mostram que não há uma solução universal para todos os tipos de desafios no âmbito dos recursos hídricos. As soluções propostas devem ser adaptadas aos contextos e especificidades territoriais.

WELCH (2018) discute as causas e consequências da crise hídrica na Cidade do Cabo e elenca algumas localidades que foram ou são afetadas por eventos de crise hídrica no mundo. Dentre elas estão: Cidade do México, São Paulo, Melbourne, Jacarta, sul da Califórnia, diversas cidades na Índia, Somália e Arábia Saudita.

A seguir, são abordados, de forma sucinta, fatos relevantes relacionados a situações de crises hídricas enfrentadas pelo estado da Califórnia, pela Cidade do Cabo e pela cidade de São Paulo.

3.3.1. Califórnia, Estados Unidos da América

Segundo Greene (2018), a agricultura domina a vida econômica e social das comunidades rurais do Vale de São Joaquim e outros distritos de irrigação localizados na Califórnia. O Vale de São Joaquim, por exemplo, é um grande centro agrícola, no qual são produzidas as maiores quantidades de pêssegos, uvas, laranjas, vegetais, amêndoas e pistaches dos Estados Unidos da América (EUA).

Com início no ano de 2012, a Califórnia enfrentou por cinco anos subsequentes a mais severa seca dos últimos anos (GRIFFIN, 2014). Durante a seca, alocações superficiais de água foram drasticamente cortadas. De acordo com Greene (2018), alguns distritos de irrigação receberam 0% do volume de água que deveriam receber.

Siegel (2015) menciona que conforme as restrições ao consumo de água aumentam, diminui-se a área plantada e elevam-se os preços dos produtos agrícolas. Medellín-Azuara et. al. (2016) estima que 4700 vagas de empregos no setor agrícola foram perdidas no ano de 2016.

Não apenas a agricultura, mas também os sistemas de abastecimento público de água sofreram as consequências dos anos de seca. Neste caso, é possível perceber as consequências da escassez de água nonexo água – alimentos e a ligação entre a segurança hídrica e segurança alimentar.

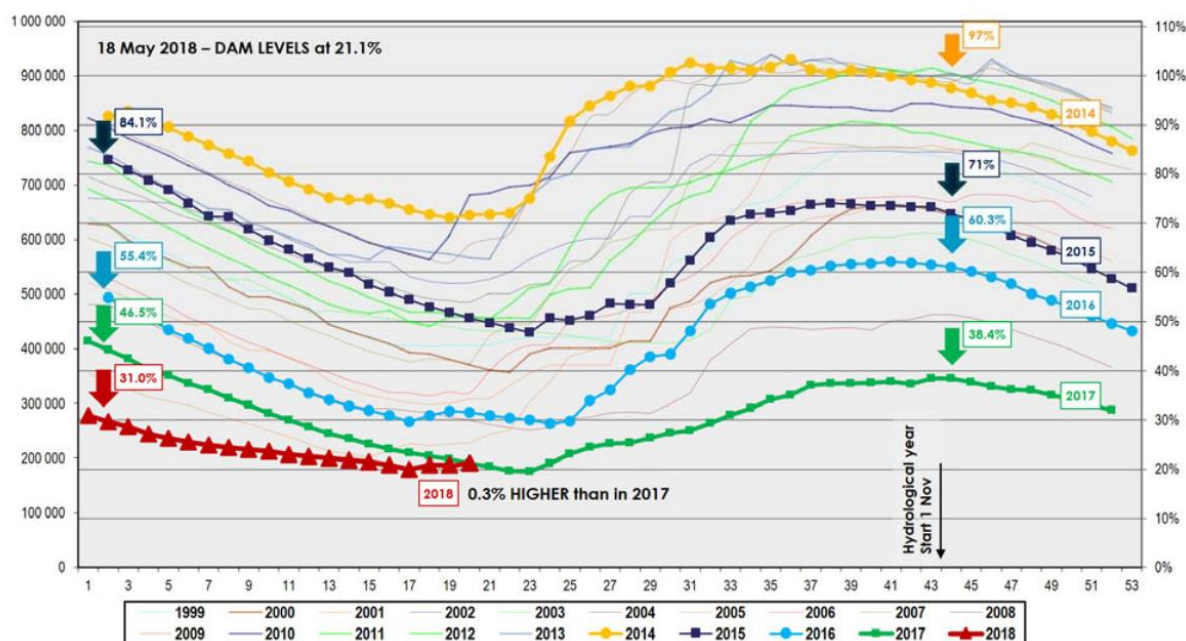
3.3.2. Cidade do Cabo, África do Sul

Segundo o *Water and Sanitation Department City of Cape Town* (2018), o Sistema de Abastecimento de Água do Cabo Ocidental é responsável pelo abastecimento público da Cidade do Cabo e de atividades agrícolas. Este sistema é, em grande parte, dependente da precipitação.

No primeiro semestre do ano de 2018, a Cidade do Cabo esteve em risco de se tornar a primeira metrópole sem água no mundo. A principal causa atribuída para a crise hídrica na capital sul africana foi a baixa pluviosidade - três anos de chuvas escassas.

A partir da Figura 4 é possível observar a alteração nos níveis de água dos reservatórios do sistema com o passar dos anos. Os níveis que alcançavam o valor de 97% no mês de novembro do ano de 2014, atingiram 38,4% no mesmo mês em 2017.

Figura 4. Níveis de água total das barragens do Sistema de Abastecimento de Água do Cabo Ocidental.



Fonte: *Water and Sanitation Department City of Cape Town* (2018)

No mês de janeiro de 2018 foi prevista a ocorrência do “Dia Zero” no mês de abril de 2018. Neste dia o reservatório atingiria 13,5% da sua capacidade de armazenamento e estava previsto o corte de abastecimento não essencial de água

(*Water and Sanitation Department City of Cape Town*, 2018). No entanto, em função do sucesso das ações emergenciais implementadas, o “Dia Zero” foi adiado e, até então, não foi colocado em prática.

A situação de crise levou o governo a limitar o consumo diário per capita a 87 litros e, em fevereiro de 2018, no auge da crise, a 50 litros. A demanda de água na Cidade do Cabo é em grande parte devido ao uso doméstico – representando 64% do consumo total. Portanto, o conserto de vazamentos de água em cada propriedade, o uso de água potável apenas para usos básicos, evitar dar a descarga no banheiro e coletar água do chuveiro, da banheira e da pia para reutilização em lavagem de banheiro, jardim e carros estão entre as orientações dadas aos habitantes da capital durante o período de escassez. Além disso, o uso de água para irrigar jardins, encher piscinas e lavar carros foi proibido (WELCH, 2018).

Conforme o *Water and Sanitation Department City of Cape Town* (2018), as estratégias estudadas para superar a crise e garantir a segurança hídrica no curto e longo prazo incluíram: administração da água existente nas barragens; gerir a diminuição de demandas o máximo possível; e a futura utilização de água proveniente de outras fontes (aquíferos, reuso e dessalinização).

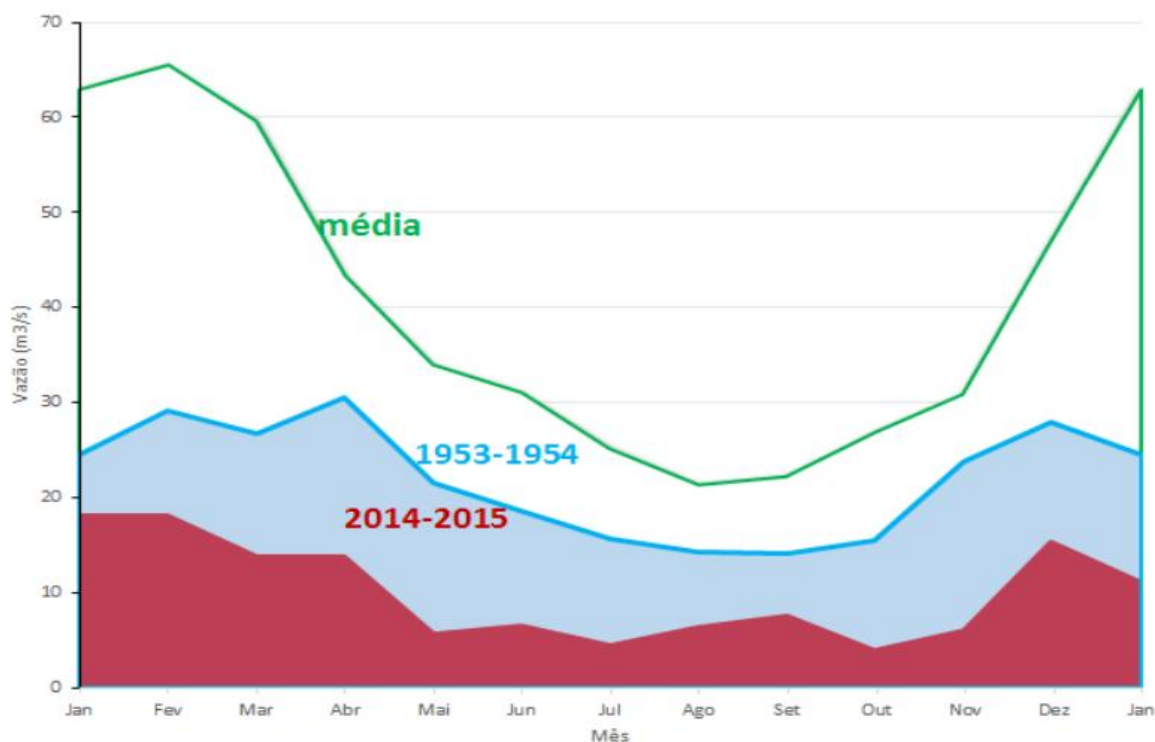
3.3.3. São Paulo, Brasil

O Sistema Cantareira é responsável pelo abastecimento de água de cerca de 8,8 milhões de habitantes residentes na Região Metropolitana de São Paulo e em municípios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ). De acordo com informações obtidas através da Sala de Situação da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), o Sistema Cantareira é o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), produzindo 33 m³/s. Para produzir essa quantidade de água, o Sistema faz a transposição entre duas bacias hidrográficas, importando água da Bacia do Rio Piracicaba para a Bacia do Alto Tietê.

A última crise hídrica que afetou este sistema e os sistemas do rio Paraíba do Sul teve início em 2014 e se estendeu até março de 2016. Marengo et. al. (2015) consideram a combinação de baixos índices pluviométricos nos verões de 2013-2014 e 2014-2015, o grande crescimento de demanda de água, o ineficiente gerenciamento de recursos hídricos e a ausência de uso racional de água pelos usuários como principais causas da crise.

Através da Figura 5 é possível observar as mudanças significativas nas vazões afluentes ao Sistema Cantareira ao comparar as vazões médias afluentes calculadas para a série de dados de 1930 a 2014 (linha verde) com as vazões afluentes em anos de baixa pluviosidade como 1953-1954 (linha azul) e 2014-2015 (linha vermelha).

Figura 5. Vazões anuais afluentes ao Sistema Cantareira (m^3/s).



Fonte: SABESP (2015).

De acordo com SABESP (2015), foram adotadas medidas estratégicas para o enfrentamento da crise que resultaram na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo – de $71 \text{ m}^3/\text{s}$ em janeiro de 2014 para $50 \text{ m}^3/\text{s}$ em fevereiro de 2015. O Sistema Cantareira recebeu maior atenção, sendo que sua contribuição para o abastecimento da metrópole apresentou queda de 56% na produção de água – de $33 \text{ m}^3/\text{s}$ no início da crise para $14 \text{ m}^3/\text{s}$, em março de 2015.

As principais medidas adotadas para o enfrentamento da crise hídrica na cidade de São Paulo foram: medidas estratégicas para contenção da crise - Programa de Bônus e Tarifa de Contingência; transferência de água tratada de outros sistemas produtores; e a intensificação do Programa de Combate às Perdas. O rodízio de abastecimento de água foi avaliado como uma medida a ser adotada pela SABESP,

no entanto, a companhia evitou sua implementação em função dos malefícios à população e transtornos operacionais (SABESP, 2015).

SABESP (2015) destaca que a redução de pressões nas redes de distribuição, com o objetivo de minimizar as perdas físicas de água, se mostrou a ação mais eficiente no enfrentamento da crise hídrica, sendo responsável pela redução no Sistema Cantareira, de 7,3 m³/s em março de 2015, o equivalente a 41% da economia obtida nesse Sistema. Além disso, a transferência de água de outros sistemas e o Programa de Bônus contribuíram com 36% e 20%, respectivamente, para a economia de retirada de água do Cantareira.

Os impactos da crise hídrica, conforme abordado por Marengo et. al. (2015), foram sentidos tanto social quanto economicamente pela população – alterações no volume disponível para consumo humano, influência nas atividades turísticas e de lazer. Além disso, a crise afetou diretamente os setores elétrico, agrícola e industrial da região sudeste do país.

A SABESP, por sua vez, sofreu consequências financeiras da crise. Além dos investimentos emergenciais e custos com energia elétrica, a companhia deixou de lucrar em função da diminuição do consumo de água pela população. O balanço da companhia apontou queda de 53% nos lucros em 2014. Em 2013, a SABESP teve 1,9 bilhão de reais de lucro líquido, enquanto que lucrou 843 milhões de reais em 2014. No mercado financeiro, os papéis da empresa sofreram desvalorização de 35,7% em relação a 2013, e o valor de mercado da companhia caiu de 18,1 bilhões de reais para 12,9 bilhões em 2015 (LOPES, 2016).

Além da crise hídrica enfrentada em São Paulo, pode se listar localidades como Belo Horizonte, Fortaleza e o Distrito Federal que já enfrentaram escassez do recurso. A crise hídrica do Distrito Federal será abordada de forma mais detalhada no próximo capítulo.

3.4. Crise hídrica no Distrito Federal

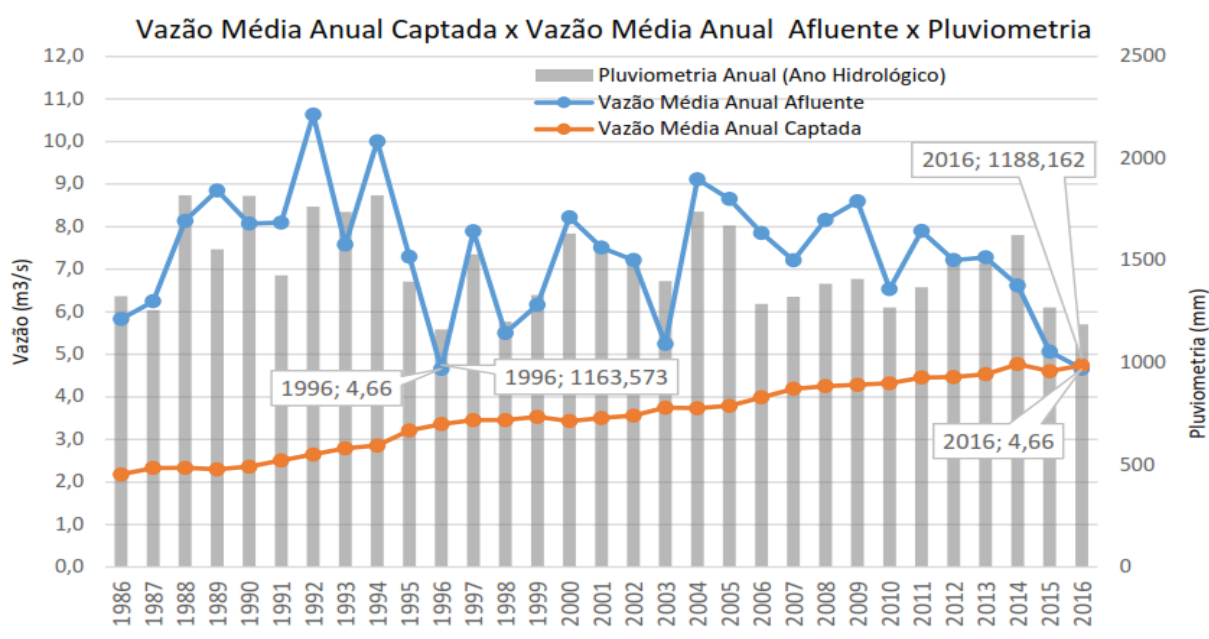
No segundo semestre do ano de 2016, a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) declarou situação crítica de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria, através da publicação da Resolução ADASA nº 15, de 16 de setembro de 2016.

A combinação de chuvas abaixo da média histórica e altas temperaturas com ocupação desordenada do solo, captações clandestinas, aumento da população e ausência de obras estruturantes impactaram diretamente o sistema de abastecimento de Brasília, atingindo principalmente os reservatórios do Descoberto e de Santa Maria. Estes fornecem o equivalente a 89,3% do total de água tratada, representando 81,7% da população atendida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (BRASÍLIA, 2017).

Ainda, segundo CODEPLAN (2018), pesquisadores apontam como causas da crise hídrica do Distrito Federal algumas questões locais, tais quais a destruição de nascentes, impermeabilização do solo, sedimentação de canais e consumo elevado. Outros pesquisadores consideram, por sua vez, aspectos globais, tais como a mudança climática e o fenômeno “*El Niño*”.

Através da Figura 6 é possível visualizar a diminuição na pluviometria anual média na Bacia do Alto do Descoberto nos anos de 2015 e 2016. Ainda, observa-se a significativa diminuição nas vazões afluentes nos últimos 3 anos da série e a crescente vazão média anual captada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) em toda a série temporal.

Figura 6. Pluviometria, vazões afluentes e captadas no Reservatório do Descoberto.



Fonte: Plano de Enfrentamento a Crise Hídrica (Brasília, 2017).

A complexidade da situação crítica dos sistemas de abastecimento impulsionou os órgãos gestores de recursos hídricos do Distrito Federal a desenvolverem e implementarem medidas diversas para o atenuar os efeitos da crise já instalada. Importantes medidas emergenciais de gestão de oferta e demanda de água para, principalmente, fins de abastecimento humano e irrigação foram implementadas—abordadas em maior detalhe no Item 3.4.2.

Além disso, houve campanhas de incentivo a redução no consumo, aumento em ações de fiscalização da qualidade e quantidade de água e foram recomendadas medidas de uso racional da água aos estabelecimentos de lava-jato e postos de combustíveis, foram suspensas as permissões para perfurações de poços artesianos e cisternas e as permissões para captação de água por caminhão pipa. Com relação às perdas na rede de distribuição, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) realizou reparos e substituiu redes antigas a fins de evitar desperdícios de grandes volumes de água.

Segundo BRASÍLIA (2017), em função do contexto complexo de escassez hídrica do Distrito Federal, criou-se o Comitê Técnico de Enfrentamento à Crise Hídrica para a identificação de riscos e possíveis estratégias de respostas à situação emergencial. O Comitê desenvolveu, dentre as fases do planejamento estratégico, a matriz SWOT – identificando forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do aparelho do estado. Os principais pontos levantados e que possuem maior importância para o presente estudo são:

- Forças: domínio sobre as tecnologias aplicadas;
- Fraquezas: alto índice de perdas de água e fragilidade na infraestrutura;
- Oportunidades: aplicação de tecnologias poupadoras de água, criação de cultura consciente de recursos hídricos, aperfeiçoamento da comunicação e educação sobre o uso da água e a definição de políticas alternativas para o uso da água;
- Ameaças: crescimento populacional do Distrito Federal acima da média nacional, retração na produção de alimentos e geração de empregos e o crescimento do uso clandestino da água.

A partir da identificação desses e demais fatores da matriz SWOT, foi possível traçar objetivos e planejar ações em seis grupos temáticos: fiscalização, infraestrutura, comunicação, educação, regulação e socioeconomia, o que resultou no Plano Integrado de Enfrentamento da Crise Hídrica do Distrito Federal (BRASÍLIA, 2017).

Neste plano não estão presentes apenas ações emergenciais e de implementação imediata, como também importantes iniciativas de médio e longo prazo visando a manutenção e conservação dos recursos hídricos no Distrito Federal. Dentre estas ações encontram-se: fiscalizar o uso de recursos hídricos; reestabelecer área com ocupação irregular; converter sistemas de irrigação convencional para sistemas poupadores; interligação do Sistema Torto – Santa Maria ao Descoberto; controlar a captação no reservatório do Descoberto; e sensibilizar e informar estudantes e professores com relação ao uso e conservação de recursos hídricos.

3.4.1. Resoluções ADASA

A ADASA é responsável por definir e fiscalizar as condições de operação dos reservatórios do Distrito Federal, tendo em vista a garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos, em articulação com os órgãos ou entidades competentes. No Quadro 2 estão listadas, cronologicamente, as principais resoluções publicadas pela ADASA até o momento de desenvolvimento do presente estudo, referentes ao Sistema Descoberto, durante o período de Crise Hídrica do Distrito Federal.

Quadro 2. Resoluções ADASA referentes à escassez hídrica no Reservatório do Descoberto.

Instrumento normativo	Ementa
Resolução nº 013, de 15 de agosto de 2016. (Revogada pela Resolução ADASA nº 03/2018)	Estabelece os volumes de referência e ações de contenção em situações críticas de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria, visando assegurar os usos prioritários dos recursos hídricos.
Resolução nº 015, de 16 de setembro de 2016. (Alterada pela Resolução ADASA nº 15/2018)	Declarar a Situação Crítica de Escassez Hídrica nos Reservatórios do Descoberto e de Santa Maria.
Resolução nº 17, de 07 de outubro de 2016.	Estabelece a Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências.
Resolução nº 20, de 07 de novembro de 2016.	Declara o estado de restrição de uso dos recursos hídricos, estabelece o regime de racionamento do serviço de abastecimento de água nas localidades atendidas pelos reservatórios do Descoberto e Santa Maria.

Instrumento normativo	Ementa
Resolução nº 01, de 15 de fevereiro de 2017. (Revogada pela Resolução ADASA nº 9/2017)	Limitar a Vazão Captada pela CAESB no Descoberto.
Resolução nº 08, de 15 maio de 2017.	Suspende a cobrança da Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências.
Resolução nº 09, de 15 maio de 2017.	Estabelece curva de acompanhamento do volume útil do reservatório do Descoberto para o ano de 2017, visando à manutenção dos usos prioritários dos recursos hídricos.
Resolução nº 23, de 17 outubro de 2017. (Revogada pela Resolução ADASA nº 03/2018)	Estabelece as medidas de restrição à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal-CAESB na captação de água no reservatório do Descoberto, e aos irrigantes, nos principais rios afluentes do reservatório do Descoberto, e dá outras providências.
Resolução nº 26, de 07 dezembro de 2017. (Revogada pela Resolução ADASA nº 03/2018)	Estabelece curva de acompanhamento de metas estabelecidas para o reservatório do Descoberto durante o período hidrológico chuvoso 2017/2018.
Resolução nº 3, de 5 de março de 2018. (Revogada pelas Resoluções ADASA nº 08/2018 e nº 12/2018)	Estabelece curvas de referência para o acompanhamento do volume útil dos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria para o ano 2018, e dá providências.
Resolução nº 08, de 15 maio de 2017.	Suspende a cobrança da Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências.
Resolução nº 13, de 06 de junho de 2018.	Revoga as Resoluções ADASA nº 20/2016 e 21/2017, e estabelece procedimentos complementares, a serem observados pela Concessionária, para o atendimento das Resoluções ADASA nº 8/2018 e 12/2018 e dá outras providências.
Resolução nº 15, de 25 de junho de 2018.	Regulariza o processo de concessão de outorga de direito de uso de recursos hídricos a montante do reservatório do Descoberto e dá outras providências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.2. Medidas Emergenciais

Conforme citado anteriormente, em função dos baixos níveis dos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria e da possibilidade de não atendimento das demandas de água, foram implementadas medidas emergenciais para o enfrentamento da crise hídrica instalada no Distrito Federal durante o período de 2016 a 2018.

Dentre tais medidas, está a implementação da Tarifa de Contingência. Além disso, a ADASA, através da publicação da Resolução ADASA nº 20, de 07 de novembro de 2016, autorizou a CAESB a realizar as seguintes medidas nos Sistemas Descoberto e Torto- Santa Maria: redução de pressão na rede, rodízio de abastecimento, paralização parcial do abastecimento e campanhas de incentivo à redução do consumo de água.

A partir do final do ano de 2017, começaram a ser postas em operação importantes obras de captação com a finalidade de aumentar a oferta de água para abastecimento público no Distrito Federal e garantir maior segurança hídrica para os sistemas de abastecimento no curto, médio e longo prazo. Dentre estas obras estão a captação de água do Lago Paranoá e a transferência de água do sistema Torto-Santa Maria para o Descoberto, que antes existia apenas no sentido Descoberto – Torto-Santa Maria. Segundo BRASÍLIA (2017), foi elaborado o Plano de Captação Emergencial de Água no Lago Paranoá com o objetivo de reforçar o abastecimento público de água nas regiões atendidas pelo Descoberto. A captação máxima do Sistema Produtor de Água Paranoá é de 2,8 m³/s, sendo a captação emergencial equivalente a 0,7 m³/s.

No entanto, em função do período selecionado para a simulação do modelo WEAP (abordado no Capítulo 4) abranger somente o período de crise de 2016 a 2017, nesta revisão bibliográfica são detalhadas apenas as principais medidas de enfrentamento implementadas em tal período, tais quais: tarifa de contingência, redução de pressão na rede e rodízio de abastecimento.

- Tarifa de Contingência

Através da Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016, foi estabelecida a Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Segundo o Artigo 3º dessa resolução:

“A unidade usuária cujo consumo mensal de água ultrapasse 10 m³ fica sujeita à Tarifa de Contingência.

§ 1º Estão sujeitos à tarifa de contingência todas as unidades usuárias, ressalvados os seguintes casos:

I . unidades usuárias de todas as categorias, com consumo igual ou inferior a 10 m³ (consumo mínimo);

II . unidades usuárias que prestam serviço de caráter essencial, como os hospitais, hemocentros, centros de diálise, prontos-socorros, casas de saúde e estabelecimentos de internação coletiva.” (Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016, art. 3º)

Ainda, segundo o Artigo 5º, com relação aos valores cobrados:

“O mecanismo tarifário de contingência será a aplicação de um percentual adicional sobre a fatura correspondente ao serviço de abastecimento de água de cada unidade, de acordo com os percentuais dispostos no Anexo I desta Resolução, conforme a categoria da unidade usuária e considerando as tarifas vigentes.” (Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016, art. 5º)

Quadro 3. Percentuais a serem aplicados sobre a fatura de água (excluído o valor de esgoto) de cada usuário, de acordo com a Categoria e Faixa de Consumo, em m³.

Categoria	Faixa de Consumo	Percentual
Residencial Normal	1 a 10	0%
	11 a 15	40%
	16 a 25	
	26 a 35	
	36 a 50	
	Igual ou Maior que 51	
Residencial Popular	1 a 10	0%
	11 a 15	20%
	16 a 25	
	26 a 35	
	36 a 50	
	Igual ou Maior que 51	
Comercial, Industrial e Público	1 a 10	0%
	Igual ou Maior que 11	20%

Fonte: Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016

E, quanto a implementação dessa tarifa, segundo o Artigo 8º:

“A tarifa de contingência entrará em vigor após o reservatório do Descoberto ou de Santa Maria atingir 25% (vinte e cinco por cento) ou menos do volume útil.” ((Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016, art. 8º)

Em 06 de dezembro de 2016, a cobrança relativa à Tarifa de Contingência foi suspensa por determinação da 3ª Vara de Fazenda Pública do Distrito Federal. Porém, em 22 de dezembro de 2016, a cobrança foi retomada e, por fim, a cobrança da Tarifa de Contingência foi suspensa através da Resolução ADASA nº 08, de 15 de maio de 2017.

Por meio de resoluções publicadas nos anos de 2017 e 2018, a ADASA autorizou a CAESB a acessar os recursos oriundos as cobranças das Tarifas de Contingência para aplicação em diferentes finalidades. Tais finalidades incluem: o aumento na capacidade de produção de água; investimentos em implantação de subsistemas e em obras interligação de sistemas de abastecimento de água do Distrito Federal; aquisição de materiais, tais como tubulações e medidores de vazão; e custos operacionais adicionais de comunicação/informação e sensibilização.

- Redução de pressão na rede

Dentre as ações voltadas para a gestão eficiente de perdas, o controle de pressão é uma das alternativas mais eficientes para a diminuição de água perdida por vazamentos (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

A pressão excessiva de água na rede não aumenta apenas o volume perdido pelos vazamentos (Figura 7), como também contribui para o aumento no número de quebras das tubulações. Em termos de pressões mínimas, há um valor limite a ser utilizado pelas operadoras de serviços de abastecimento de água, de forma que a água chegue nos pontos de consumo com carga hidráulica o suficiente para vencer as perdas nas instalações prediais. Segundo a NBR 12218/1994, a pressão dinâmica mínima é de 10 mca.

Figura 7. Exemplo de influência da pressão de um vazamento.



Fonte: Brothers e Lambert (2010)

No período de crise, a CAESB intensificou a diminuição de pressão nos sistemas, atingindo valores inferiores a 10 mca em alguns períodos do dia - normalmente de 7 às 19h - voltando às condições normais de abastecimento à noite. Desta forma, procurou-se garantir água suficiente para o enchimento de caixas d'água residenciais. No Sistema Descoberto, a implementação do plano de redução de pressões teve início em 23 de novembro de 2016.

Essa medida teve como objetivo induzir a redução do consumo, preservar a infraestrutura de abastecimento e minimizar o risco de esgotamento dos reservatórios. Com a sua implementação, a CAESB previu uma redução de consumo na faixa de 3% a 5% (CAESB, 2018a).

- Rodízio de Abastecimento de Água

Segundo CAESB (2018a), mesmo após o início das medidas redução de pressão, foi necessária a implementação do rodízio do abastecimento de água nas localidades atendidas pelo reservatório do Descoberto. Tal medida foi implementada em função de os níveis do reservatório terem atingido o Estado de Restrição (abaixo de 20%) e de a sua recuperação ter sido prejudicada pela ausência de chuvas e pelo baixo volume de água afluente.

As populações das regiões administrativas abastecidas pelo Descoberto conviveram com o racionamento de água em sistema de rodízio, autorizado pela ADASA e implementado pela CAESB, durante 17 meses – com início em 16 de janeiro de 2017 e término em 15 de junho de 2018.

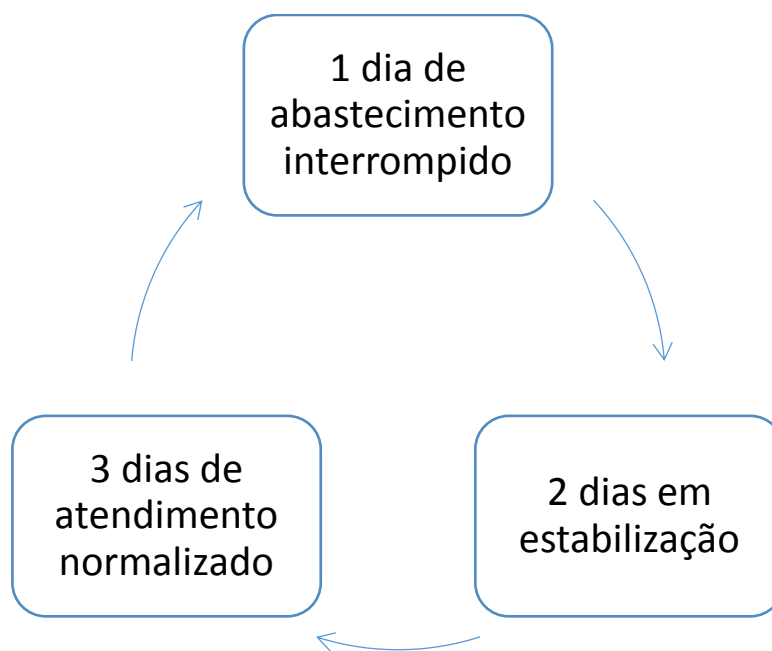
Segundo SABESP (2015), os rodízios de abastecimentos são interrupções planejadas de fornecimento de água à população, baseadas em regras que alternam

períodos com e sem abastecimento, objetivando diminuir a vazão disponibilizada pela população e, por consequência, a vazão de retirada do manancial.

No Distrito Federal, o rodízio funcionou em ciclos de seis dias, sendo um dia sem água, dois dias em fase de estabilização e três com abastecimento normalizado (Figura 8). Enquanto uma região estava sem água, outras estavam em fase de estabilização e outras com atendimento normalizado. O ciclo de seis dias permitiu que o dia de interrupção não ocorresse no mesmo dia da semana para cada localidade.

A interrupção em áreas específicas ocorria durante 24 horas. Nos dois dias seguintes à interrupção, a localidade encontrava-se em situação de estabilização do sistema de abastecimento. O abastecimento de água, após interrompido, não retorna de imediato. O retorno era realizado de forma gradativa para que não houvesse danos às estruturas físicas, o que agravaria ainda mais a situação (CAESB, 2018b.)

Figura 8. Sistema de rodízio implementado no Distrito Federal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

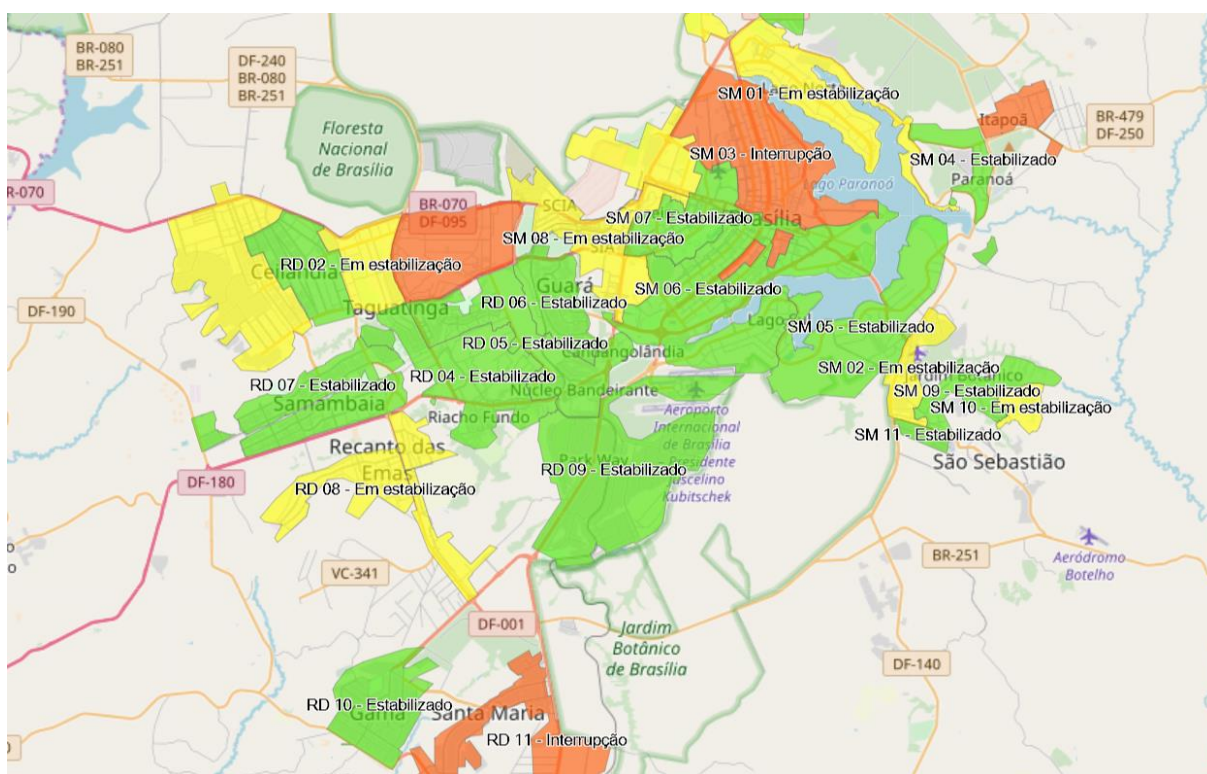
A população residente nas regiões afetadas pelo racionamento, tanto do Sistema Descoberto como do Torto - Santa Maria, possuía acesso por meio de plataforma digital ao plano de racionamento. Na Figura 9 pode ser visualizado o exemplo do plano de racionamento referente ao dia dois de setembro de 2017. Percebe-se que, nesta data específica, as regiões em vermelho estavam em

interrupção do abastecimento, as regiões em amarelo em situação de estabilização e as regiões em verde com o abastecimento normalizado.

É importante destacar que hospitais, hemocentros, centros de diálise, centros de internação coletiva e presídios não estiveram submetidos ao racionamento (BRASÍLIA, 2017). Além destes, a Esplanada dos Ministérios, abastecida pelo Sistema Torto-Santa Maria, também não entrou no plano de racionamento (CORREIO BRAZILIENSE, 2017).

A vazão média mensal retirada pela CAESB foi limitada em 3,5 m³/s através da Resolução nº 01, de 15 de fevereiro de 2017. Em outubro do mesmo ano essa vazão foi ainda mais limitada, atingindo 3,1 m³/s. Em março de 2018, o limite aumentou para 3,3 m³/s. No mês de junho, por fim, a CAESB foi autorizada a captar até 4,3 m³/s.

Figura 9. Situação de racionamento referente ao dia 02 de setembro de 2017.



Fonte: CAESB (2018b)

Em outubro de 2017, através da Resolução nº 23, de 17 de outubro de 2017, a ADASA permitia que as interrupções no abastecimento de água pudessem atingir o limite máximo de dois dias (48h). No entanto, esta medida não entrou em vigência.

Segundo SABESP (2015), as desvantagens da implementação da medida de rodízio de água incluem: riscos sanitários, aumento dos riscos de vazamento nas

redes pós período de rodízio, necessidade de criação de contingência para os serviços essenciais, risco de regiões mais altas e distantes ficarem sem água pelo eventual descontrole da operação do rodízio.

Durante o período de crise, foram também implementadas restrições aos irrigantes localizados à montante do reservatório do Descoberto. De acordo com CODEPLAN (2018), o setor de agricultura sofreu consequências negativas da crise hídrica, apresentando queda de 70% na produção e de 30% na área plantada.

Segundo SALLES (2016), a ADASA promoveu, desde junho de 2016, a alocação de água com os produtores rurais do Distrito Federal e, em alguns pontos específicos, fez um acordo com estes para reduzir pela metade a vazão utilizada, fazendo com que chegasse mais água nos pontos de captação da CAESB. Além disso, de acordo com BRASÍLIA (2017), foram planejadas ações com o objetivo de aplicação de novas tecnologias poupadoras de água, revitalização de canais, campanhas educativas de uso racional dos recursos hídricos.

Em maio de 2017, limitações aos irrigantes foram adotadas visando a manutenção de vazões afluentes mínimas ao reservatório. No mês de outubro de 2017, os irrigantes dos principais afluentes do reservatório do Descoberto: rio Descoberto, córrego Chapadinha, córrego Olaria, córrego Capão Comprido, ribeirão Rodeador e ribeirão das Pedras, foram determinados a suspender as captações de água superficial nos dias pares. Em dezembro, a restrição incluiu que as captações poderiam ocorrer apenas entre as 6h e 9h dos dias ímpares. Em março, essa restrição foi flexibilizada, podendo ser captada água diariamente nesta mesma faixa de horários. Essas restrições foram publicadas pela ADASA por meio das resoluções listadas previamente no Quadro 2.

Os esforços conjuntos para a elaboração e implementação de medidas emergenciais adequadas para vencer a situação crítica de escassez hídrica instalada podem apresentar resultados satisfatórios e que contribuam positivamente para recuperação dos sistemas, tal como ocorreu no Distrito Federal. Verifica-se, porém, que episódios de crises hídricas necessitam de soluções de adaptação mais duradouras, a fim de evitar que se instalem novamente futuras situações de escassez e de modo a complementar, e até mesmo substituir, em alguns casos, as soluções comuns de enfrentamento hoje empregadas. Dando espaço, dessa forma, para a elaboração de ações voltadas à gestão de risco ao invés de apenas gestão de crise.

De acordo com ANA (2017), a integração de sistemas produtores de água para o abastecimento público de água é estratégica, em função de diminuir a dependência de um único manancial e de resultar em maior flexibilidade operacional e segurança no atendimento das demandas. Além disso, o reuso e dessalinização de água do mar são citados como alternativas de enfrentamento a situações de crise hídrica no Brasil.

Jorge (2017) afirma que mais importante que a busca por outras fontes de água para a garantia da segurança hídrica no Distrito Federal está o incentivo às medidas de redução voluntária do consumo. Essa redução pode ocorrer através de ações de reutilização e reaproveitamento, além do investimento em sistemas eficientes de drenagem de águas pluviais, combate a perdas no sistema de abastecimento e preservação da qualidade de água nos mananciais. O Governo do Distrito Federal (DF) sustenta que as crises hídricas do DF e de outras partes do Brasil apontam para o uso racional e sustentável da água como uma política permanente (BRASÍLIA, 2017).

3.5. Estratégias de conservação e uso racional de água

De forma sucinta, Vickers (2001) define as estratégias de conservação como ferramentas e práticas que resultam no uso mais eficiente da água. ANA, FIESP & SINDUSCON (2005) definem os termos água cinza, água de reuso, água pluvial na edificação e aproveitamento de água pluvial da seguinte forma:

“Água cinza: efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, ou seja, o esgoto gerado pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha em residências, escritórios comerciais, escolas etc.

Água de reuso: água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização.

Água pluvial na edificação: água que provém diretamente da chuva, captada após o escoamento por áreas de cobertura, telhados ou grandes superfícies impermeáveis

Aproveitamento de água pluvial: uso da água de chuva para finalidades específicas, como lavagem de áreas externas, alimentação de bacias sanitárias, lavagem de veículos, entre outros” (ANA, FIESP & SINDUSCON, 2005, p. 15)

Lazzarova et. al. (2001) afirmam que as melhorias na eficiência dos usos das águas e a redução de perdas na rede de distribuição de água são as formas que demandam os menores custos para resolver a questão de escassez hídrica. Além

disso, o reuso de água implica na conscientização do valor social e ambiental da água, diminuindo sua retirada de mananciais e diminuindo a geração de efluentes.

Segundo Hafner (2007), os volumes de água provenientes de fontes alternativas como o reuso de águas cinzas e aproveitamento de água da chuva costumam ser expressivos e podem ser utilizados para o suprimento da demanda de diversas atividades, principalmente não potáveis, já que os usos potáveis, geralmente, sofrem com a dificuldade na aceitação pública e devido às características de qualidade da água e custo de tratamento da mesma.

O reuso de águas para usos urbanos não potáveis - irrigação de jardins, fontes, limpeza de estradas, lavagem de carros, descarga sanitária e controle de incêndio - se desenvolveu rapidamente e se tornou ferramenta essencial nas políticas de gestão integrada de recursos hídricos em áreas urbanas dos Estados Unidos da América e no Japão (LAZZAROVA et. al., 2001)

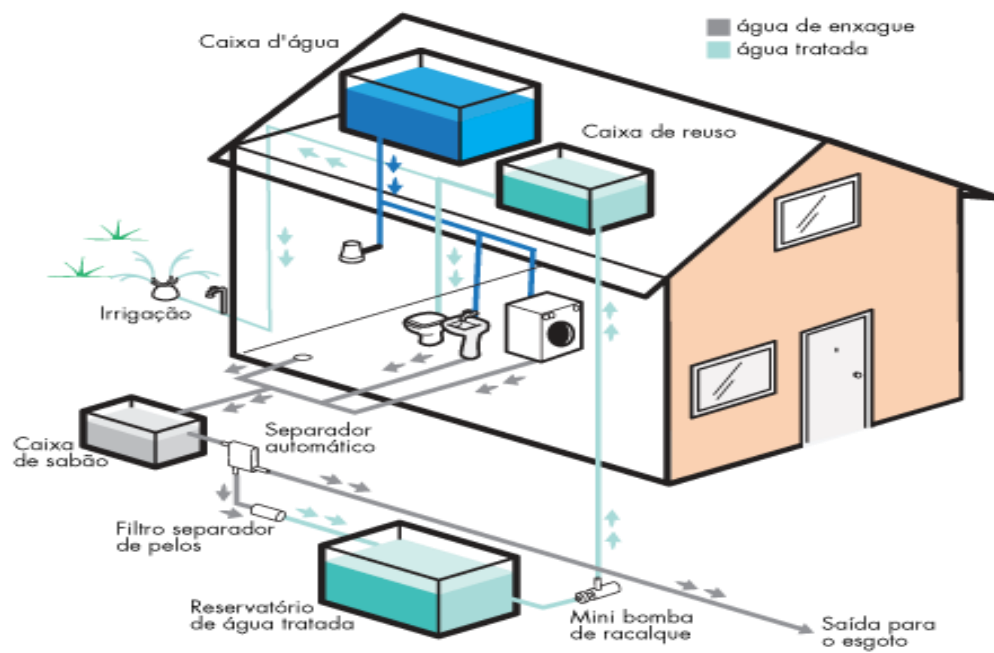
Através da Figura 10 e da Figura 11 é possível visualizar exemplos de configurações de sistemas de aproveitamento de águas da chuva e de reuso de águas cinzas em residências. .

Figura 10. Exemplo de configuração de sistema de aproveitamento de água da chuva.



Fonte: Ecycle, 2018.

Figura 11. Exemplo de configuração de sistema de reuso de águas cinzas.



Fonte: Acquacontroll, 2018.

No setor agrícola, considerando a ocorrência de situações de escassez hídrica, a irrigação se torna essencial para garantir a produtividade e rentabilidade dos produtores rurais. Dessa forma, utilizar determinadas técnicas de manejo da irrigação que possibilitem a redução do uso da água, atenuação da lixiviação de produtos químicos e diminuição dos gastos de energia sem afetar a produção é de fundamental importância para uma boa safra (CAMARGO, 2016).

Testezlaf (2017) menciona que a irrigação é uma tecnologia essencial para a produção de bens agrícolas e que a sua adoção depende da disponibilidade hídrica de cada região. Os benefícios de se utilizar a técnica de irrigação incluem: garantia de produção e redução de quebras de safra em função das necessidades hídricas; aumento da produtividade de culturas; melhoria na qualidade do produto final; redução de mecanização. No entanto, a utilização de irrigação pode impactar de forma significativa os recursos hídricos, em função da quantidade de água retirada. Essa quantidade está, dentre outros aspectos, relacionada com a eficiência do método utilizado.

Os quatro métodos de irrigação elencados por Testezlaf (2017) são a aspersão, superfície, localizada e subsuperfície. Cada um destes métodos pode ser implementado por diferentes sistemas, os quais estão listados no Quadro 4. O planejamento de um sistema de irrigação deve considerar a topografia, as culturas a serem plantadas, o solo, a água disponível, o clima, a fonte de energia disponível e as disposições legais, institucionais e políticas.

Quadro 4. Métodos e sistemas de irrigação.

Método	Funcionamento	Sistemas
Superfície	Utilização da superfície do solo para aplicação de água por gravidade	Sulcos Inundação
Aspersão	Aplicação de água sobre a folhagem e acima do solo	Convencional Mecanizada (Pivô e Central)
Localizada	Aplicação de água em área limitada da superfície do solo	Gotejamento Microaspersão
Subsuperfície	Aplicação de água abaixo da superfície do solo e no volume das raízes	Gotejamento Subterrâneo Elevação do Lençol Freático Mesas de subirrigação

Fonte: Adaptado de Testezlaf (2017).

A eficiência de aplicação de água em cada método refere-se à relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor. Se a eficiência for baixa haverá a necessidade de se aplicar um volume maior para compensar as perdas, significando um desperdício de água e energia (EMBRAPA, 2005). Coelho et al (2005) afirmam que no caso de irrigação por aspersão, os sistemas convencionais de alta pressão apresentam eficiência entre 50% e 60%. Por outro lado, o gotejamento subsuperficial é o de maior eficiência e pode atingir valores acima de 90%.

Conforme Marques et. al. (2005), a adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes aumenta a porcentagem de água aplicada que é de fato utilizada para atingir as necessidades agronômicas. Porém, isso implica em maiores investimentos. Camargo (2016) explica que o manejo de irrigação tem por finalidade o estabelecimento de técnicas que possibilitem a conservação de água e energia, sem reduzir a produtividade.

3.5.1. Estratégias de Conservação de Água no Distrito Federal – AAC e RAC

Em março de 2017, foi publicado o Relatório Técnico de Reuso no Distrito Federal – Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade ambiental e econômica para o aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal, elaborado pelo Grupo de Pesquisa Água e Ambiente Construído da Universidade de Brasília (UNB) em convênio com a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA).

Este estudo teve como enfoque os sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (AAC) e Reuso de Águas Cinzas (RAC) descentralizados, a nível da edificação, e desconsidera sistemas centralizados de grande escala – estações de tratamento para abastecimento público. De acordo com ADASA/UNB (2017), se essas medidas de conservações são implementadas em larga escala, podem promover reduções significativas na demanda urbana e, por consequência, na exploração de recursos hídricos.

Uma das principais conclusões desse estudo é que características topológicas, renda familiar e comportamento de usuários afetam os padrões de consumo

doméstico de água e, portanto, devem ser consideradas em previsões de demanda de água, no dimensionamento e avaliação de estratégias conservadoras de água.

Além disso, observou-se que sistemas AAC e RAC são facilmente instaláveis em novas edificações. No caso de edificações existentes, verificou-se que sistemas isolados exigem pequenas modificações na rede hidráulica existente em pontos externos. Ainda, há casos em que a adaptação predial para utilização de água pluvial em descarga sanitária não exige grandes esforços. No entanto, para o RAC é necessário avaliar as diferentes composições hidráulicas existentes.

Os resultados foram analisados em termos de renda, nível de renda familiar, comportamento e tipologia residencial, resultando em economias de até 43% em residências de alta renda, 27% em residências de renda média, e de, aproximadamente, 7% em residências de renda média-baixa e baixa. Demais contribuições desse estudo mostram, ainda, que a redução de exploração de recursos hídricos pode atingir 5.566.000 m³/ano e 10.686.000 m³/ano se esses sistemas forem aplicados em residências de renda alta e média, respectivamente. Esses volumes de redução representam 7,7% e 14,8% do volume útil do reservatório do Descoberto, respectivamente. Essas economias geram redução nas despesas da CAESB em exploração de fontes de água e em tratamento de efluente domésticos.

O aproveitamento de água das chuvas e o reuso de águas cinzas é abordado no Plano Distrital de Saneamento Básico do Distrito Federal (PDSM). Segundo o PDSM (ADASA, 2017a), visando a preservação dos recursos hídricos para uso futuro, as Regiões Administrativas com maior consumo *per capita* devem incorporar iniciativas para redução do consumo e conservação de água. ADASA/UNB (2017) conclui que, em geral, apesar de terem sido encontradas soluções ótimas para os diferentes tipos de residência e renda, observou-se que o aproveitamento de águas pluviais e de reuso de águas cinzas são viáveis em edificações de elevado consumo de água.

No início de 2018, foi publicada no Distrito Federal a Lei nº 6065, de 09 de janeiro de 2018, que institui a Política de Incentivo ao Reaproveitamento da Água da Chuva no Distrito Federal. Essa lei prevê a promoção, pelo Poder Público, de campanhas educativas e de incentivos fiscais para residências e prédios comerciais que tenham sistemas de captação e reaproveitamento de água da chuva.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa para a realização deste trabalho foi a definição do escopo e área de estudo. Para isso, foram levantados os municípios brasileiros que enfrentaram crises hídricas nos últimos anos. A crise do Distrito Federal foi escolhida em função de ter sido recente, da sua abrangência e da disponibilidade de dados sobre o Sistema Descoberto. A partir de então, foi elaborada a revisão bibliográfica.

Para que se pudesse construir o modelo através da interface do WEAP, foram consultados os manuais e tutoriais disponibilizados pelo *Stockholm Environment Institute* (SEI). Parte dos dados secundários foi, primeiramente, solicitada à ADASA. Após, foram coletados os demais dados através de outras plataformas, por publicações realizadas por órgãos públicos e privados e por estudos prévios da região do Descoberto.

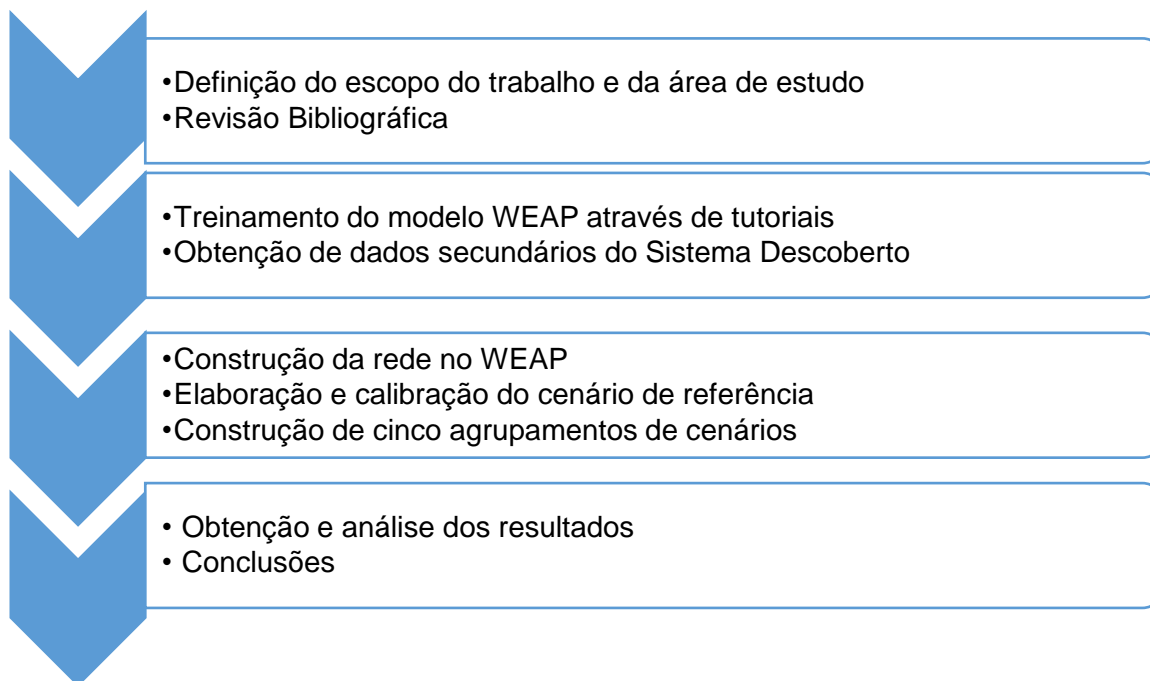
De posse desses dados e com o conhecimento adquirido sobre o estudo de caso e sobre o WEAP, foi possível realizar a formulação do modelo, através da construção da rede na interface gráfica, da inserção de dados de forma adequada, da construção do cenário de referência – cenário que corresponde à real situação do sistema no período simulado de 2008 a 2017 - e sua calibração e da elaboração dos cenários alternativos.

Foram elaborados cinco agrupamentos de cenários alternativos com a implementação de medidas alternativas àquelas implementadas durante a crise hídrica no Distrito Federal, visando a conservação e o uso racional dos recursos hídricos. O objetivo da elaboração destes cenários é a análise dos diferentes comportamentos do Sistema Descoberto frente à implementação de ações que visem a sustentabilidade do sistema no longo prazo e as possíveis consequências no atendimento às demandas dos diferentes usuários de água.

O agrupamento de cenários 1 contempla a alteração nas medidas emergenciais de enfrentamento implementadas durante a crise. O segundo agrupamento envolve a aplicação de métodos mais eficientes em relação ao consumo de água pelo setor agrícola. O agrupamento 3 refere-se a implementação de sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de água das chuvas pela população urbana abastecida pelo Sistema Descoberto. O quarto agrupamento é construído visando a diminuição de perdas de água no sistema de abastecimento. Por fim, o agrupamento 5 é resultado de uma combinação entre os cenários dos agrupamentos anteriores.

A partir dessas etapas, foi possível obter os resultados e desenvolver as conclusões do presente estudo. Estas etapas podem ser visualizadas, de forma resumida, na Figura 12.

Figura 12. Etapas de elaboração do estudo.

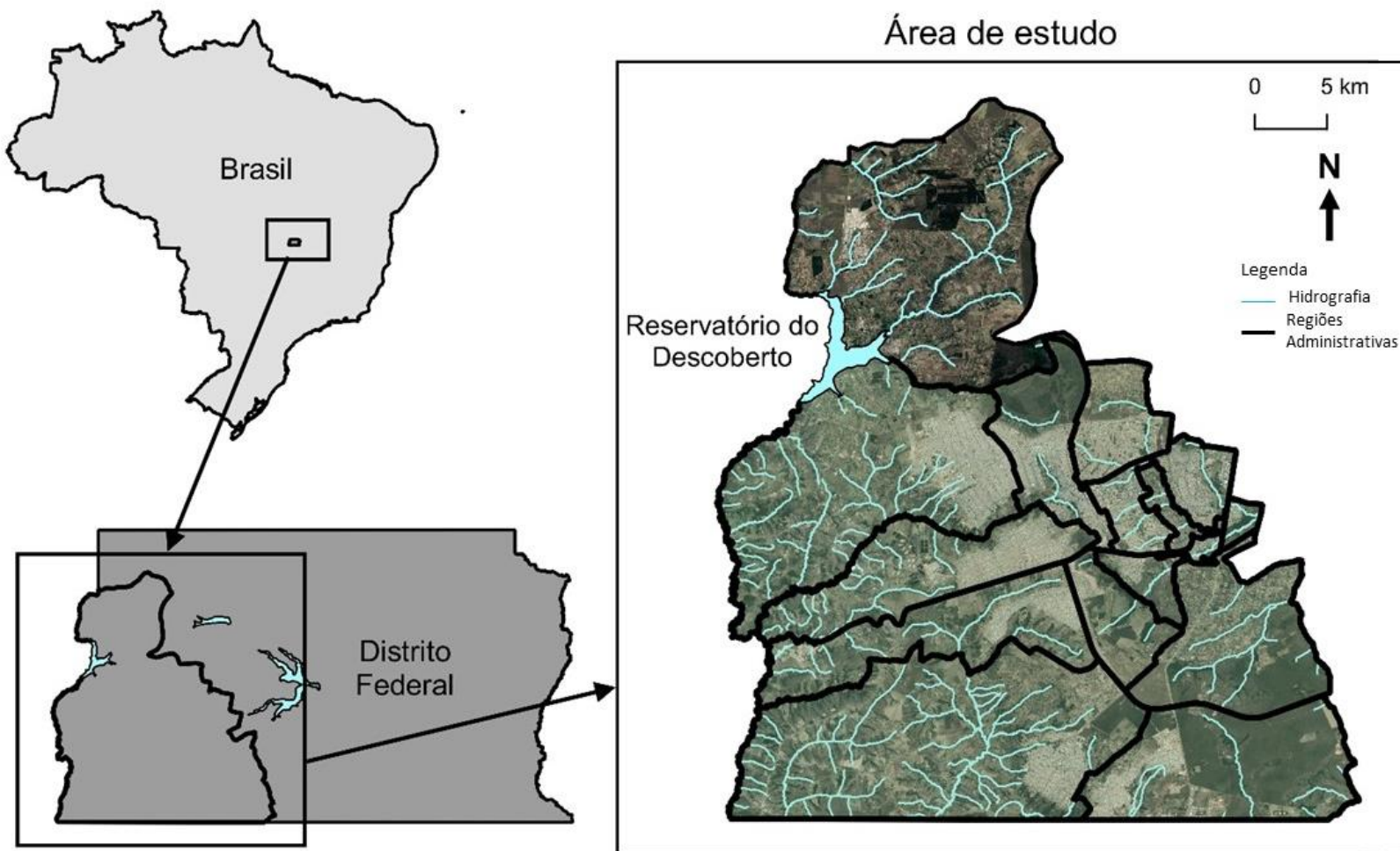


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho inclui o Sistema de Captação e Abastecimento de Água do Descoberto (reservatório do Descoberto, rede de distribuição e regiões administrativas atendidas localizadas a jusante do reservatório), localizado na porção oeste do Distrito Federal e a bacia hidrográfica do Alto Descoberto (Unidades Hidrográficas do Alto do rio Descoberto, Ribeirão das Pedras e do Rodeador), localizada na porção norte do rio Descoberto e a montante do reservatório Descoberto, dentro dos limites do Distrito Federal. A localização e limites da área de estudo podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13. Área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Bacia do Alto Descoberto possui área de drenagem de aproximadamente 432 km² e o mais importante curso d'água é o rio Descoberto. Os principais cursos d'água que drenam para o reservatório do Descoberto são o rio Descoberto e os córregos Rodeador, Ribeirão das Pedras, Olaria e Chapadinha.

Segundo o mapeamento de uso e ocupação do solo realizado por ADASA/UNESCO (2017), a porção norte da bacia do rio Descoberto apresenta maiores parcelas de sua área ocupada por cerrado nativo e por agricultura – oleicultura e fruticultura, respectivamente.

De acordo com o Estudo Técnico sobre Demanda do Recurso Hídrico na Bacia do Alto Descoberto elaborado pela ADASA em cooperação com a UNESCO no ano de 2017, a irrigação na bacia do Descoberto é, principalmente, para manutenção de hortaliças e frutíferas. O método de irrigação utilizado é aspersão (ADASA/UNESCO, 2017).

Segundo Cardoso (2002), a irrigação é um importante fator na sustentabilidade da agricultura do Distrito Federal em função das condições climáticas. No período de seca, a irrigação é uma prática essencial. Já nos períodos chuvosos, esta é utilizada como um complemento a fim de aumentar a produtividade das culturas. As hortaliças, por exemplo, são irrigadas durante todo o ano.

A jusante destes afluentes e áreas irrigadas, está localizado o Reservatório do Descoberto. A barragem do tipo concreto gravidade do rio Descoberto foi inaugurada em 1974 com a finalidade de reservação de água para abastecimento público (Corrêa et. al., 2002). O reservatório possui área de 17 km² e um volume útil de aproximadamente 72,2 milhões de metros cúbicos.

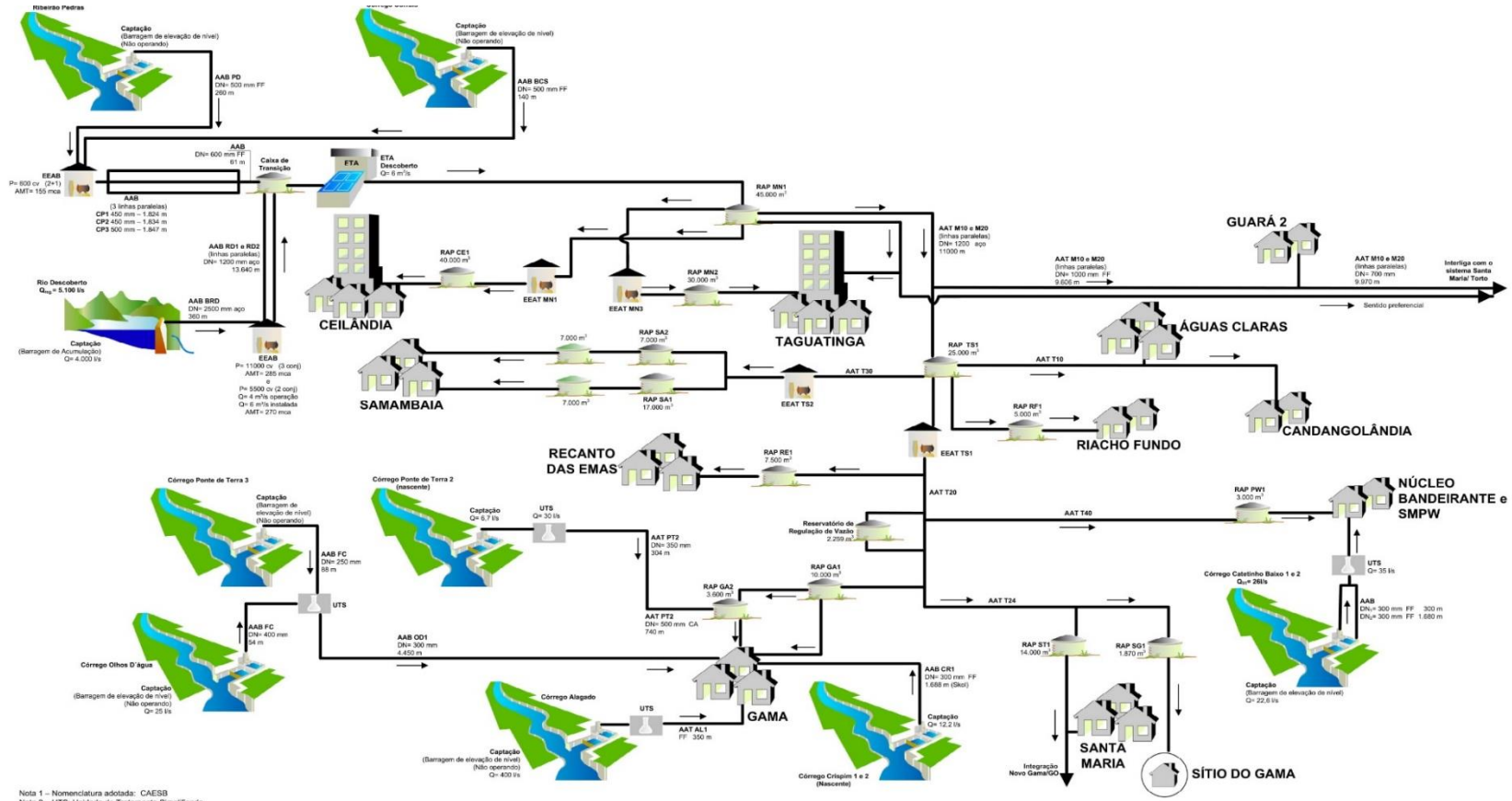
O sistema de abastecimento de água do Distrito Federal é prestado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e é composto por 5 sistemas produtores: Descoberto, Torto – Santa Maria, Sobradinho – Planaltina, Brazlândia, São Sebastião. O Descoberto, por sua vez, é responsável por 58,5% da água produzida e pelo atendimento de 61,52% da população (BRASÍLIA, 2017).

Segundo o Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (ADASA, 2017a), o Sistema Descoberto tem disponibilidade hídrica de 5.841 L/s e vazão outorgada de 6.333 L/s. Este sistema é composto por captações superficiais, sendo a de maior porte a do Reservatório do rio Descoberto, além de nove captações subterrâneas.

A água captada através do Reservatório do Descoberto é tratada através da Estação de Tratamento de Água (ETA) do rio Descoberto. A ETA do rio Descoberto possui capacidade de tratamento de 5.600 L/s (ADASA, 2017a). Após tratamento, a água passa por estações elevatórias e pequenos reservatórios de armazenamento de água e é, então, distribuída para a população através da rede de distribuição. As etapas de tratamento e distribuição da água envolvem perdas físicas e aparentes de água. Segundo CODEPLAN (2018), chega-se a 35% de perdas totais (físicas + água não faturada) na distribuição.

As estruturas hídricas que compõem esse sistema podem ser visualizadas em maior detalhe na Figura 14, obtida através do Atlas de Abastecimento da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010).

Figura 14. Sistema Integrado do Descoberto.



Nota 1 - Nomenclatura adotada: CAESB
 Nota 2 - UTS: Unidade de Tratamento Simplificado

POPULAÇÃO URBANA (hab)		SISTEMA PRODUTOR		TIPOS DE CAPTAÇÃO		SITUAÇÃO		SISTEMA INTEGRADO DO RIO DESCOBERTO		Nº
	De 50.000 a 250.000						DISTRITO FEDERAL	SISTEMA INTEGRADO DO RIO DESCOBERTO		0000
	De 250.000 a 1.000.000							Distrito Federal		Código
	Mais de 1.000.000							Data: jun/2008		Fonte
	Mais de 1.000.000									CAESB

Fonte: Atlas do Abastecimento da Agência Nacional de Águas (ANA,2010).

Segundo o Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica (BRASÍLIA, 2017), o consumo de água em termos de volume faturado por ligações ativas no Sistema Descoberto no ano de 2016 estava dividido da seguinte forma: 90,22% para uso residencial; 2,71% para uso público; 6,48% para uso comercial; 0,57% para uso industrial; e 0,01% para fins de irrigação.

As regiões administrativas (RAs) atendidas pelo Descoberto, conforme o Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (ADASA, 2017a) são: Águas Claras, Candangolândia, Ceilândia, Gama, Guará, Núcleo Bandeirantes, Park Way, Recanto das Emas, Riacho Fundo I, Riacho Fundo II, Samambaia, Santa Maria, Taguatinga e Vicente Pires.

No Quadro 5 estão resumidas as principais informações socioeconômicas referentes a estas RAs, retiradas da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio (PDAD), elaborada pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN) em conjunto com a Secretaria do Estado de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLAG) e o Governo do Distrito Federal, publicadas no ano de 2015.

Observa-se que a maior parte das RAs possuem população com renda média *per capita* mensal abaixo de dois salários mínimos. A maior renda *per capita* é identificada na RA Parkway – 6,6 salários mínimos. Em relação ao nível de escolaridade, sete RAs apresentam cerca de 30% a 40% de suas populações com ensino fundamental incompleto. As demais se dividem entre ensino médio completo e ensino superior completo, 4 e 3 RAs, respectivamente.

Os dados referentes à população e taxas de crescimento, ao consumo *per capita* diário e ao consumo total de água por Região Administrativa serão analisados no Item 4.2 - Levantamento de dados.

Quadro 5. Características socioeconômicas das Regiões Administrativas.

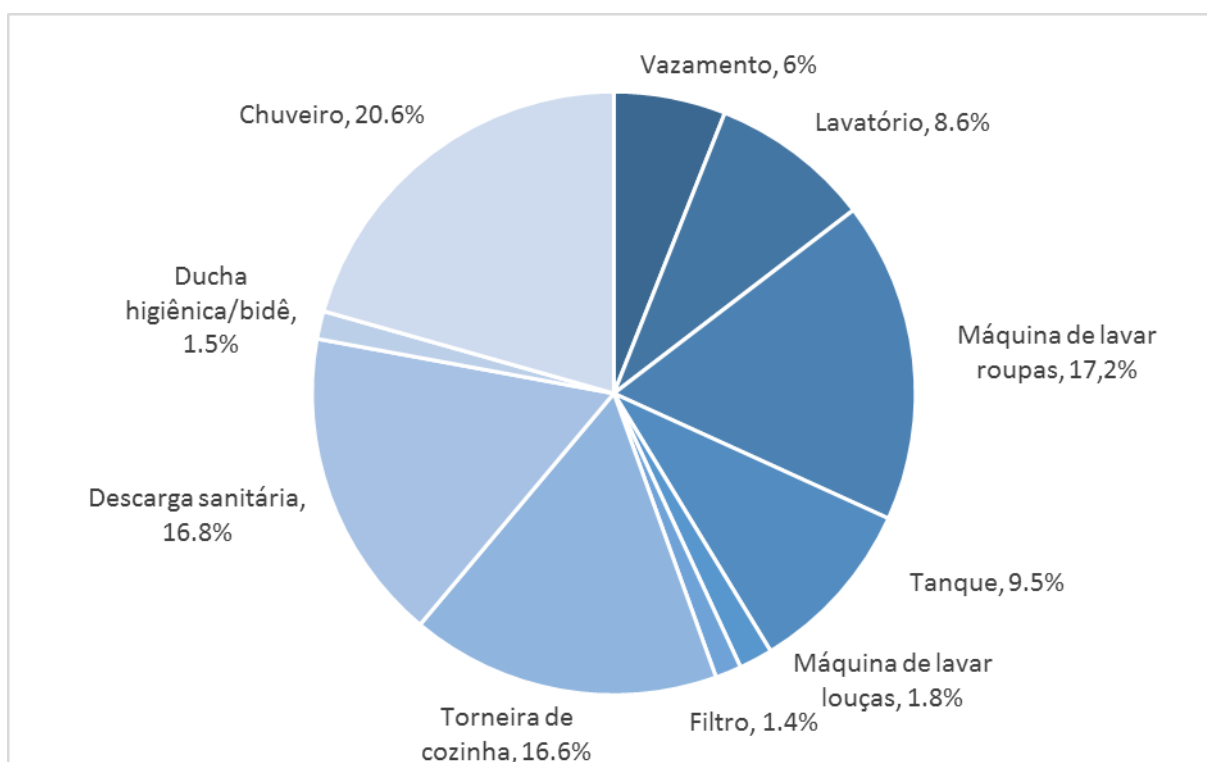
Região Administrativa	Lei de criação	Número de domicílios urbanos	Domicílios atendidos por abastecimento público de água - CAESB (%)	Renda domiciliar média mensal (R\$)	Renda per capita média mensal (R\$)	Nível de escolaridade predominante na população total
Águas Claras	Lei nº 3.153/2003	52.541	99,45	9.404,43 (10,7 SM)	3.391,07 (3,9 SM)	27,38% - Ensino Fundamental Incompleto
Candangolândia	Lei nº 658/1994	5.171	100	4.549,13 (5,9 SM)	1.460,98 (1,85 SM)	28,12% - Ensino Médio Completo
Ceilândia	Lei nº 49/1989 e Decreto nº11.921/1989	142.231	98,38	3.076 (3,9 SM)	915,81 (1,16 SM)	38,96% - Ensino Fundamental Incompleto
Gama	Lei nº49/1989 e Decreto nº11.921/1989	43.571	91,09	4.445,52 (5,6 SM)	1.396,93 (1,7 SM)	32,53% - Ensino Fundamental Incompleto
Guará	Origem em 1967	46.267	99,83	7.311,79 (9,2 SM)	2.683,23 (3,4 SM)	29,29% - Ensino Superior Completo
Núcleo Bandeirantes	Lei nº 49/1989	8.330	100	5.226,97 (6,6 SM)	1.842,38 (2,34 SM)	28,69% - Ensino Médio Completo
Park Way	Lei nº 3.255/2003	5.920	99,40	16.236,00 (20,6 SM)	5.207,54 (6,6 SM)	45,15% - Ensino Superior Completo

Região Administrativa	Lei de criação	Número de domicílios urbanos	Domicílios atendidos por abastecimento público de água - CAESB (%)	Renda domiciliar média mensal (R\$)	Renda per capita média mensal (R\$)	Nível de escolaridade predominante na população total
Recanto das Emas	Lei nº 510/1993	41.434	98,62	2.747,59 (3,5 SM)	803,92 (1,0 SM)	37,91% - Ensino Fundamental Incompleto
Riacho Fundo I	Lei nº 620/1993	12.993	100	4.838,10 (6,1 SM)	1.624,19 (2,0 SM)	28,20% - Ensino Médio Completo
Riacho Fundo II	Lei nº 620/1993	15.032	100	3.101,00 (3,9 SM)	930,37 (1,2 SM)	38,36% - Ensino Fundamental Incompleto
Samambaia	Lei nº 49/1989	68.565	99,56	3.368,49 (4,2 SM)	914,61 (1,1 SM)	35,08% - Ensino Fundamental Incompleto
Santa Maria	Lei nº 348/1992	34.564	97,67	3.176,00 (4,0 SM)	887,63 (1,1 SM)	37,03% - Ensino Fundamental Incompleto
Taguatinga	Lei nº 4.545/1964	69.678	99,87	6.072,92 (6,9 SM)	1.998,14 (2,2 SM)	26,69% - Ensino Médio Completo
Vicente Pires	Lei nº 4.327/2009	20.247	98,12	9.257,00 (10,5 SM)	2.757,51 (3,1 SM)	25,00% - Ensino Superior Completo

Fonte: Adaptado de Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) de cada Região Administrativa para o ano de 2015 (CODEPLAN, 2015b). Sendo: SM – Salário Mínimo.

Segundo ADASA/UNB (2017), tendências similares de usos finais do consumo interno de água são observadas entre as RAs, independentemente da renda e da tipologia residencial. Usos em chuveiros, lavagem de roupas e em descarga sanitária representam cerca de 50% dos usos totais. A distribuição destes usos pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15. Usos finais do consumo interno das Regiões Administrativas do Distrito Federal.

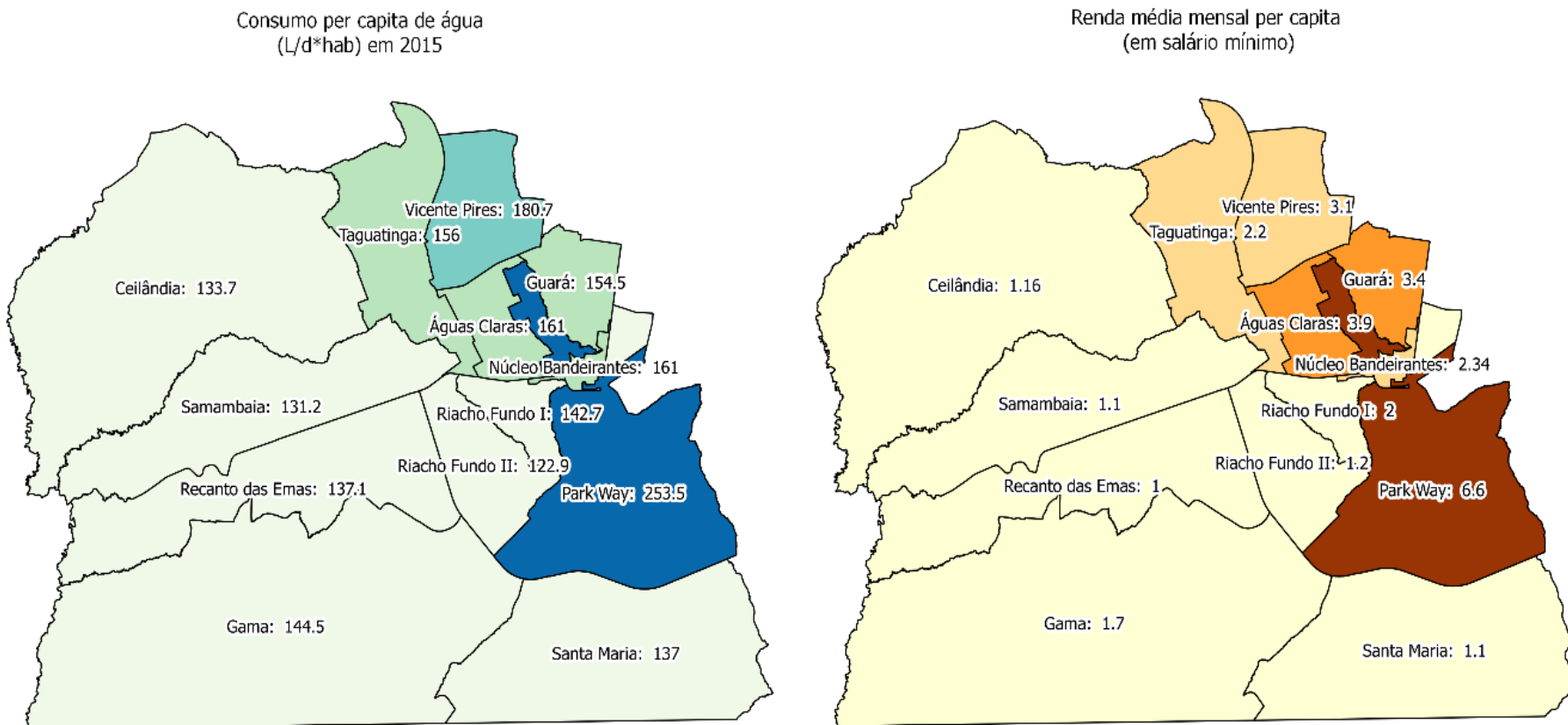


Fonte: Adaptado de ADASA/UNB (2017).

Ainda, tratando-se dos usos externos, foram registrados consumos para usos em torneira de jardim em todas as faixas de renda. As residências de “Renda Alta”, por sua vez, apresentam usos para piscinas.

Com relação ao consumo *per capita* de água, observa-se que as Regiões Administrativas com maior renda também apresentam os maiores consumos (Figura 16). A RA Park Way, por exemplo, possui renda mensal média *per capita* de 6,6 salários mínimos e consumo per capita médio diário equivalente a 253,5 litros. Esses valores superam em 6,6 e 1,84 vezes, respectivamente, os valores de renda e consumo *per capita* da RA Recanto das Emas.

Figura 16. Consumo per capita e renda média mensal per capita por Região Administrativa abastecida pelo Descoberto.



Fonte: Elaborado pelo autor. .

4.2. Levantamento de dados

Os dados utilizados neste trabalho são relativos a área de estudo caracterizada no item anterior. Foram levantados dados referentes à situação real do sistema ocorrida no período de 2008 a 2017 e, além disso, aos cenários alternativos propostos por este estudo.

As informações referentes às características físicas do reservatório do Descoberto (Quadro 6) foram obtidas através de contato direto com a ADASA, através do Ofício SEI-GDF nº 11/2018 - ADASA/SRH/COIH (ADASA, 2018b). Além destas, foram disponibilizados arquivos em Excel incluindo:

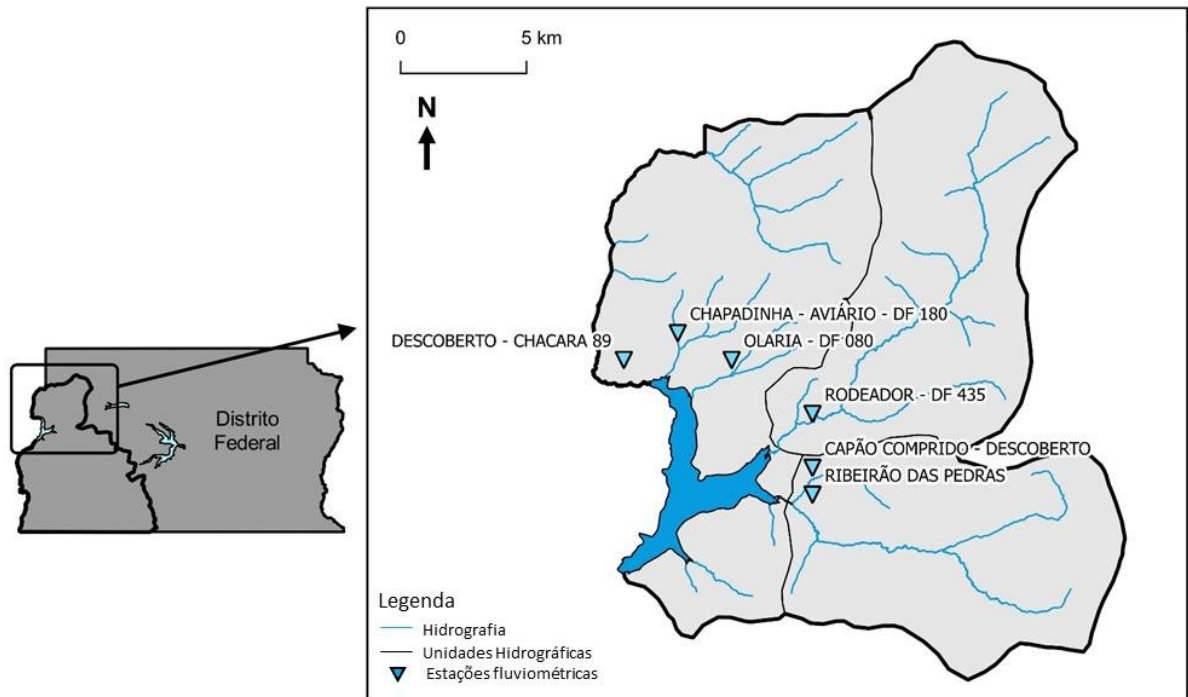
- valores médios mensais de vazão afluente ao reservatório obtidos através das medições das estações fluviométricas Descoberto chácara 89, Chapadinha Aviário - DF180, Olaria - DF080, Rodeador - DF435, Capão Comprido e Ribeirão das Pedras, referentes à série histórica de 2008 a 2018 (Figura 17);
- valores de evaporação mensal referentes à série histórica de 2008 a 2018;
- curva cota-volume (Figura 18);
- e a área de drenagem das bacias contribuintes – monitorada e não monitorada.

Quadro 6. Características físicas do Reservatório do Descoberto.

Características	Reservatório do Descoberto
Capacidade útil de Armazenamento (hm ³)	72,22
Capacidade de armazenamento (hm ³)	85,99
Volume morto (hm ³)	13,77
Cota Vertedor (m)	1030
Cota Tomada de Água (m)	1021
Cota Descarga de Fundo (m)	1008

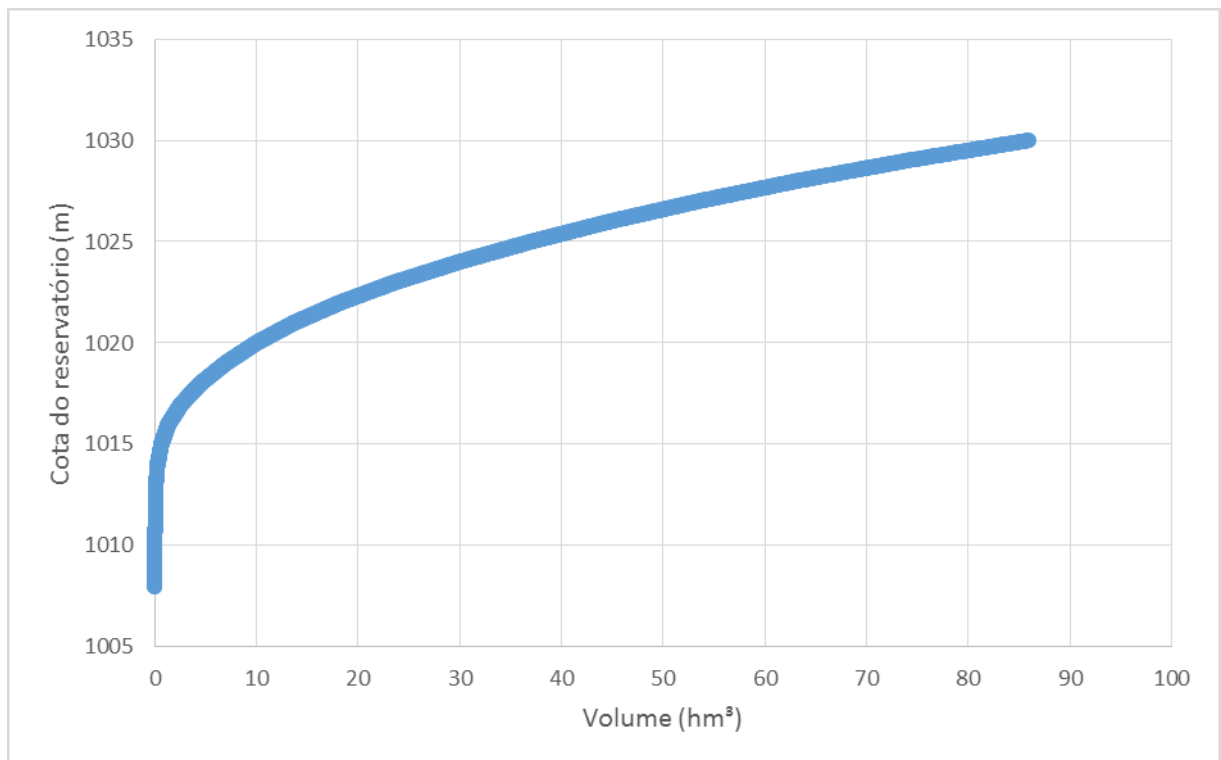
Fonte: Ofício SEI-GDF nº 11/2018 - ADASA/SRH/COIH (ADASA, 2018).

Figura 17. Localização das estações fluviométricas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18. Curva cota- volume do reservatório do Descoberto.



Fonte: Adaptado de ADASA (2018b).

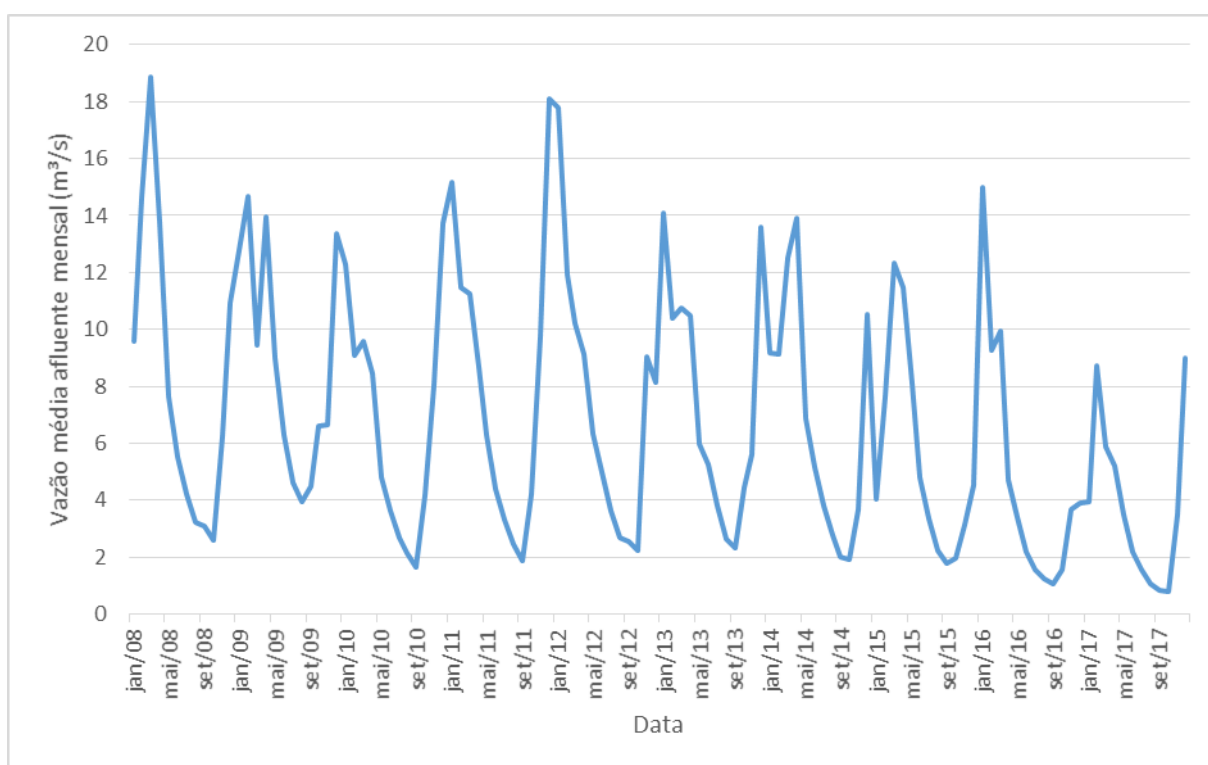
A vazão afluente mensal média ao reservatório foi considerada como um somatório das vazões observadas nos pontos de monitoramento e das vazões incrementais referentes à área não monitorada da bacia do Alto do Descoberto. Tal consideração foi realizada de acordo com os cálculos de balanço hídrico do reservatório do Descoberto realizado por Rocha e César (2015).

O cálculo da vazão não monitorada foi realizado, portanto, através da multiplicação da vazão específica média obtida na bacia (Equação 1) pela área não monitorada. A série histórica de vazões afluentes totais ao reservatório considerada neste estudo pode ser visualizada na Figura 19.

$$q = Q/A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, q é a vazão específica média ($\text{m}^3/\text{s}.\text{km}^2$); Q é a vazão média total monitorada (m^3/s); e A é a área total monitorada (km^2).

Figura 19. Vazões médias mensais totais afluentes ao reservatório do Descoberto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de precipitação diária no reservatório, medidos pela estação de código 60435500, foram obtidos através do Sistema de Informações sobre Recursos

Hídricos (SIRH) da ADASA (ADASA, 2018a) e, então, transformados em valores mensais para a inserção no modelo WEAP.

A vazão mínima remanescente determinada pela ADASA corresponde a 0,65 m³/s (OLIVEIRA, 2018). Dados observados de vazão remanescente a jusante do reservatório Descoberto foram obtidos através do Portal *HidroWeb* - ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A estação fluviométrica consultada foi a Estação Descoberto-Jusante Barragem (Código 60436000) operada pela CAESB.

As perdas de água do sistema de abastecimento consideradas neste trabalho foram obtidas através do Plano Distrital de Saneamento Básico (ADASA, 2017a) e estão dispostas no Quadro 7. Para os anos de 2016 e 2017 foram consideradas perdas de 35%.

Quadro 7. Perdas de água na distribuição.

Ano	Perdas de água na distribuição (%)
2008	31,83
2009	30,70
2010	28,78
2011	29,59
2012	29,01
2013	31,52
2014	33,38
2015	35,19

Fonte: (ADASA, 2017a).

As demandas urbanas para uso residencial foram calculadas através da multiplicação dos consumos *per capita* pela população urbana atendida em cada região administrativa, referente a cada ano da série temporal utilizada (anos 2008 a 2017).

A porcentagem de população urbana em relação a total foi obtida através de dados do Sistema Nacional de Informações para Saneamento para o Distrito Federal e extrapolada para as regiões administrativas. A população urbana representa 97% da população total do Distrito Federal. Além disso, conforme dados do SNIS (2017), o índice de atendimento urbano de abastecimento de água é de, aproximadamente, 98%.

Para o cálculo de projeção das populações, foram utilizadas taxas médias geométricas de crescimento anual (TGCA) específicas para cada RA, separadas por dois períodos de dados, conforme valores apresentados no Quadro 8. A TGCA dos anos de 2008 e 2013 foi calculada, para este estudo, através da Equação 2. Para isso, foi utilizada a população de 2013 obtida através da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) de 2013 (CODEPLAN, 2013) e a população dos setores censitários disponibilizada por IBGE (2010). Considerou-se a mesma taxa para os anos de 2008 e 2009. A TGCA dos anos de 2013 a 2017 foi retirada da PDAD, realizada no ano de 2015 por CODEPLAN (2015b).

$$TGCA = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P(t+n)}{P(t)}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo, n o número de anos do período; P(t) a população inicial; P(t+n) a população final.

Dessa forma, a partir da população do ano de 2015 contida no PDAD, foi possível aplicar as taxas e calcular as populações referentes aos demais anos da série. A população de 2010 é equivalente à dos setores censitários (IBGE, 2010) e a de 2013 à do PDAD (CODEPLAN, 2013).

Quadro 8. Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) por RA (%).

Região Administrativa	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) (%)	
	Anos 2008 – 2013 ¹	Anos 2013 – 2017 ²
Águas Claras	6,68	7,81
Candangolandia	2,00	-0,11
Ceilandia	3,95	4,06
Gama	0,50	2,54
Guará	3,84	5,19
Núcleo Bandeirantes	1,04	2,82
Parkway	-0,67	0,25
Recanto das Emas	4,34	2,24

Região Administrativa	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) (%)	
	Anos 2008 – 2013 ¹	Anos 2013 – 2017 ²
Riacho Fundo	2,39	3,26
Riacho Fundo II	2,35	14,53
Samambaia	4,65	5,56
Santa Maria	1,33	0,97
Taguatinga	1,43	1,50
Vicente Pires	6,16	0,21

Fonte: ¹ Elaborado pelo autor. ² CODEPLAN, 2015b.

Para o cálculo dos consumos *per capita* (L/hab.dia) de cada ano, foi utilizada projeção linear dos consumos *per capita* micromedidos dos anos de 2013 a 2016 presentes no PDSM (ADASA, 2017a). O consumo *per capita* micromedido é aquele efetivamente consumido pelos usuários, sem considerar as perdas no sistema (HELLER e PÁDUA, 2016).

As populações e consumos per capita de cada região administrativa, em cada ano da série analisada, podem ser visualizados, respectivamente, no Quadro 9 e no Quadro 10.

Quadro 9. População total por ano, por região administrativa (habitantes).

Região Administrativa	População total									
	2008 ¹	2009 ¹	2010 ²	2011 ¹	2012 ¹	2013 ³	2014 ¹	2015 ⁴	2016 ¹	2017 ¹
Águas Claras	85.255	91.359	97.900	104.441	111.419	118.864	128.146	138.152	148.940	160.570
Candangolandia	15.279	15.591	15.910	16.229	16.554	16.886	16.867	16.848	16.829	16.810
Ceilandia	371.059	386.336	402.242	418.148	434.683	451.872	470.238	489.351	509.241	529.939
Gama	131.625	132.287	132.952	133.617	134.286	134.958	138.391	141.911	145.521	149.222
Guará	99.036	102.991	107.104	111.217	115.488	119.923	126.143	132.685	139.567	146.805
Núcleo Bandeirantes	22.516	22.752	22.991	23.230	23.471	23.714	24.384	25.072	25.780	26.508
Parkway	20.395	20.260	20.126	19.992	19.859	19.727	19.775	19.824	19.873	19.921
Recanto das Emas	111.954	117.038	122.352	127.666	133.211	138.997	142.116	145.304	148.564	151.897
Riacho Fundo	33.386	34.202	35.038	35.874	36.730	37.606	38.832	40.098	41.405	42.755
Riacho Fundo II	35.055	35.901	36.766	37.631	38.517	39.424	45.151	51.709	59.220	67.822
Samambaia	181.114	189.954	199.226	208.498	218.201	228.356	241.045	254.439	268.577	283.501
Santa Maria	114.814	116.366	117.939	119.512	121.106	122.721	123.916	125.123	126.342	127.572
Taguatinga	198.151	201.034	203.960	206.886	209.853	212.863	216.060	219.305	222.598	225.941
Vicente Pires	53.308	56.805	60.532	64.259	68.215	72.415	72.569	72.724	72.879	73.034

Fonte: 1 – Elaborado pelo autor. 2 – Setores censitários (IBGE, 2010). 3 – CODEPLAN (2013). 4 – CODEPLAN (2015b)

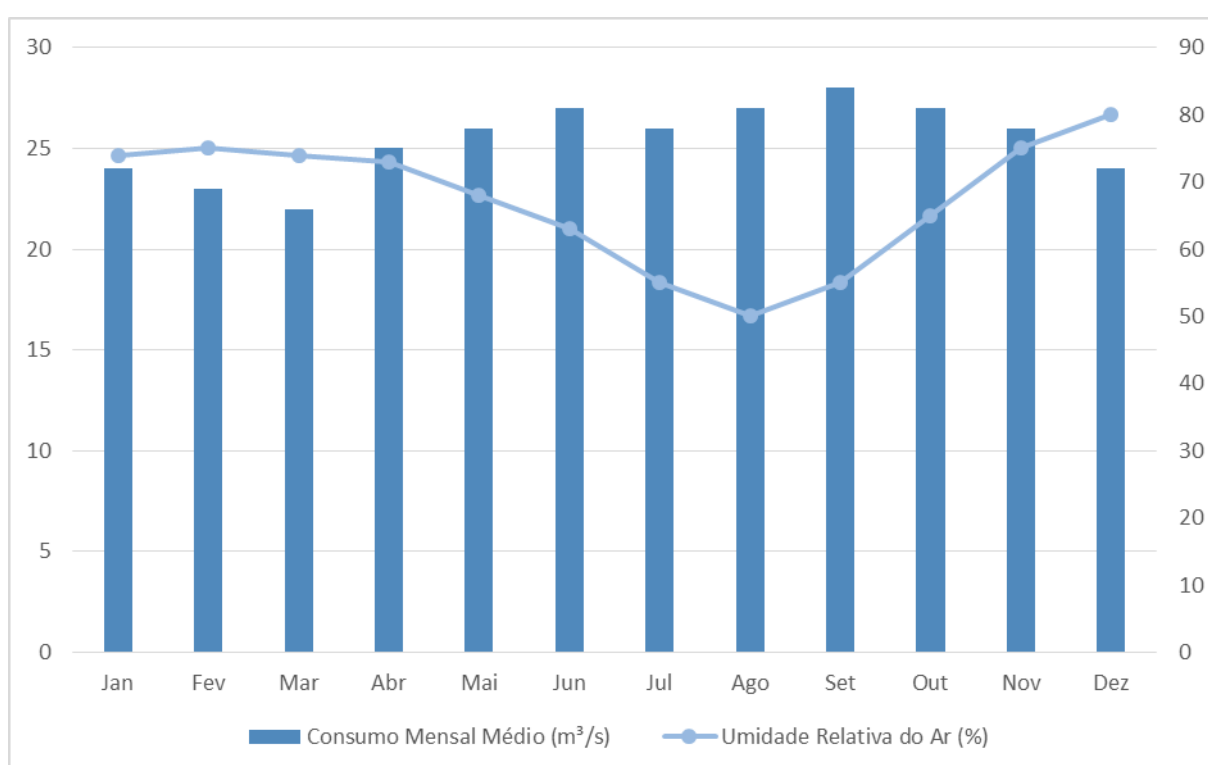
Quadro 10. Consumo per capita diários por RA (L/dia.hab)

Região Administrativa	Consumo per capita diário (L/dia.hab)									
	2008 ¹	2009 ¹	2010 ¹	2011 ¹	2012 ¹	2013 ²	2014 ²	2015 ²	2016 ²	2017 ¹
Águas Claras	274,4	258,2	242	225,8	209,6	193,4	177,2	161	144,8	128,6
Candangolandia	189	183	177	171	165	159	153	147	141	135
Ceilandia	137,9	137,3	136,7	136,1	135,5	134,9	134,3	133,7	133,1	132,5
Gama	190	183,5	177	170,5	164	157,5	151	144,5	138	131,5
Guará	212,6	204,3	196	187,7	179,4	171,1	162,8	154,5	146,2	137,9
Núcleo Bandeirantes	231	221	211	201	191	181	171	161	151	141
Parkway	306	298,5	291	283,5	276	268,5	261	253,5	246	238,5
Recanto das Emas	139,2	138,9	138,6	138,3	138	137,7	137,4	137,1	136,8	136,5
Riacho Fundo	170,7	166,7	162,7	158,7	154,7	150,7	146,7	142,7	138,7	134,7
Riacho Fundo II	145,3	145,3	138,9	135,7	132,5	129,3	126,1	122,9	119,7	116,5
Samambaia	148,7	146,2	143,7	141,2	138,7	136,2	133,7	131,2	128,7	126,2
Santa Maria	172	167	162	157	152	147	142	137	132	127
Taguatinga	233,8	240	226	212	198	184	170	156	142	128
Vicente Pires	205,9	202,3	198,7	195,1	191,5	187,9	184,3	180,7	177,1	173,5

Fonte: ¹Elaborado pelo autor. ² PDSB (ADASA, 2017a)

Como no WEAP as demandas são inseridas em termos de valores totais anuais, mas os dados de saída são fornecidos em termos mensais, foi necessária a inserção de variação mensal de consumo. Segundo ADASA/UNB (2017), o consumo anual no Distrito Federal varia conforme a umidade relativa do ar. A variação mensal da demanda urbana considerada neste estudo foi calculada de acordo com os dados dispostos na Figura 20, resultando em consumo de 9% da demanda total anual nos meses secos (maio a outubro) e de 8% nos meses mais úmidos.

Figura 20. Consumo médio mensal de água e umidade relativa.



Fonte: ADASA/UNB, 2017.

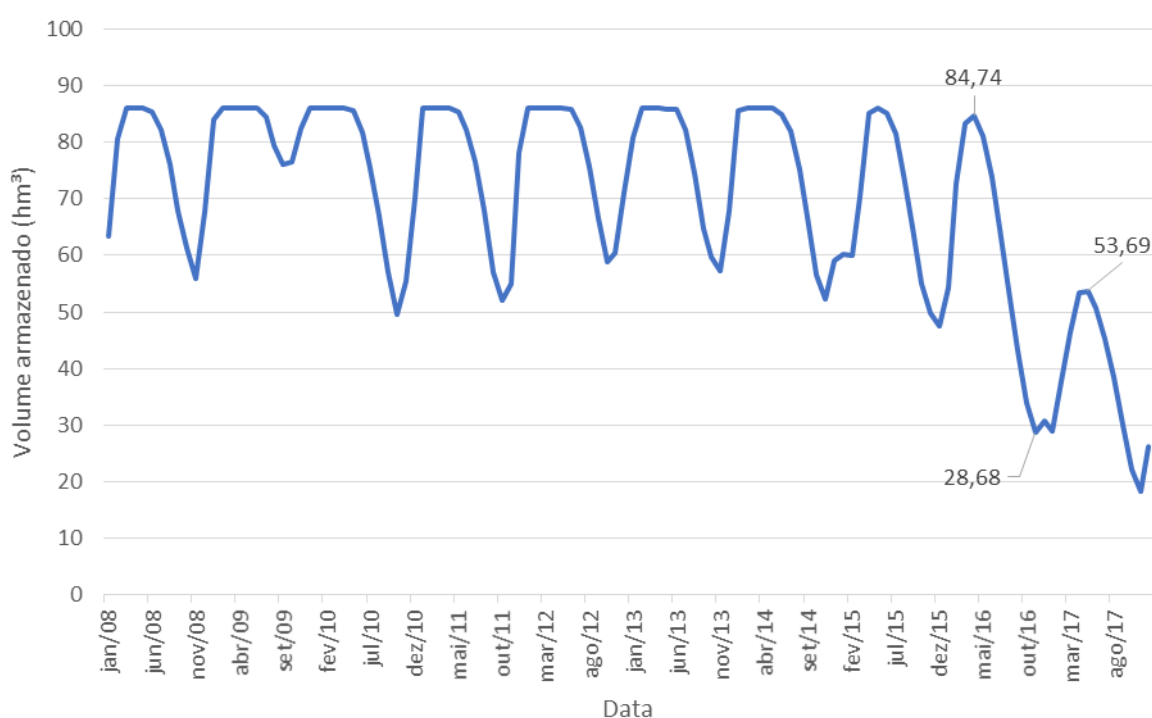
Para a obtenção da demanda total urbana, foram somados às demandas de uso residencial os valores referentes ao consumo comercial, público, irrigação e industrial. Tais valores representam, aproximadamente, 10% da demanda total anual (BRASÍLIA, 2017).

As medidas de enfrentamento utilizadas no período de crise hídrica foram obtidas através das Resoluções ADASA listadas no Item 3.4.1 – Resoluções ADASA e conforme detalhamento realizado no Item 3.4.2 – Medidas Emergenciais do presente estudo. Em função de o período de simulação englobar apenas os anos de crise de 2016 e 2017, foram consideradas as medidas de tarifa de contingência,

redução de pressão na rede e rodízio no sistema de abastecimento. As medidas de aumento de oferta de água implementadas de forma mais expressiva a partir do final de 2017 e início de 2018 não foram consideradas.

Para efetuar-se a calibração do modelo elaborado por este estudo a partir destes dados, foi utilizada a série histórica de volumes observados do reservatório (Figura 21). A série observada foi obtida através do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH) da ADASA (ADASA, 2018a).

Figura 21. Série histórica de volumes observados no reservatório do Descoberto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os arquivos em formato *shapfile* das informações georreferenciadas do DF – limites do Distrito Federal, limites das regiões administrativas, lagos e reservatórios, hidrografia e dos setores censitários - foram obtidos através do Geoportal, plataforma online operada pela Secretaria de Estado e Gestão do Território e Habitação (SEGETH).

Como no processo de modelagem no WEAP foram criados cenários alternativos para o enfrentamento da crise hídrica (descritos mais detalhadamente nas seções a seguir) e que esses cenários incluem medidas de conservação de água, controle de perdas no sistema e ações no setor agrícola da bacia do Alto do

Descoberto, foram levantados dados para a configuração destes cenários. Foram considerados os dados de perdas de água nas diferentes cidades brasileiras disponibilizados pelo relatório do Instituto Trata Brasil de 2018 (TRATA BRASIL, 2018).

Os dados referentes ao reuso de água foram retirados do Relatório Técnico de Reuso no Distrito Federal – Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade ambiental e econômica para o aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal (ADASA/UNB 2017). A quantidade de água possível de ser economizada foi calculada de acordo com o consumo de água, tipologia residencial e renda familiar.

O potencial de redução do consumo de água dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas puderam ser estimados baseados em simulações de oferta e demanda de água. Os resultados finais desse relatório técnico com as soluções ótimas para cada faixa de renda, assim como as porcentagens de máximas de economias, podem ser visualizados no Quadro 11.

Quadro 11. Potencial de redução de consumo de água por faixa de renda.

Faixa de renda familiar	Solução ótima	Potencial máximo de redução do consumo de água (%)
Alta (acima de 20 salários mínimos)	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais – Investimentos em cisternas	43
Média-Alta (entre 10 e 20 salários mínimos)	Instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas	27
Média-Baixa (entre 5 e 10 salários mínimos)	Prática de tonel e baldes	6,9
Baixa (entre 1 e 5 salários mínimos)	Prática de tonel e baldes	6,8

Fonte: Adaptado de ADASA/UNB, 2017.

Os dados de irrigação por aspersão referentes às demandas por cultura e respectivas área cultivada por sub-bacia do rio Descoberto foram retirados de ADASA/UNESCO (2017). Nesse mesmo estudo, foram levantados os valores de consumos médios diários de água para atendimento das necessidades hídricas dessas culturas caso fosse utilizado o sistema de gotejamento.

Assim como a demanda urbana, a periodicidade de irrigação varia conforme as estações secas e chuvosas no Distrito Federal. Portanto, para os meses secos adotou-se o valor de 15 dias de irrigação por mês e para os meses chuvosos o valor de 10 dias por mês. Além disso, adotou-se o valor de 12 horas irrigadas por dia, média obtidas através dos registros do Cadastro de Outorga, disponibilizado por ADASA (2017b). As demandas de água por culturas através dos sistemas de aspersão e gotejamento podem ser visualizadas no Quadro 12 e no Quadro 13.

Quadro 12. Demanda de irrigação por aspersão na bacia do Alto do Descoberto.

Subbacias do Descoberto	Área cultivável (hectares)		Demanda 2017 (L/s/ha)		Demanda total (m³/s)	Demanda total (hm³/ano)
	Oleicultura	Fruticultura	Oleicultura	Fruticultura		
Buriti Chato	377,55	66,74	0,70	0,50	0,30	1,93
Capão Comprido	317,53	614,59	0,70	0,50	0,53	3,43
Chapadinha	60,61	189,14	0,70	0,50	0,14	0,89
Coqueiro	66,87	2,68	0,70	0,50	0,05	0,31
Descoberto	1.846,89	223,91	0,70	0,50	1,40	9,10
Córrego do Meio	66,67	2,17	0,70	0,50	0,05	0,31
Olaria	446,48	114,85	0,70	0,50	0,37	2,40
Pedras	299,33	33,04	0,70	0,50	0,23	1,46
Rocinha DF	115,37	8,13	0,70	0,50	0,08	0,55
Rocinha GO	2,09	0,00	0,70	0,50	0,00	0,01
Rodeador	2.921,38	237,83	0,70	0,50	2,16	14,02
Total	6520,77	1493,06	-	-	5,31	34,42

Fonte: Adaptado de ADASA/UNESCO, 2017.

Quadro 13. Demanda de irrigação por gotejamento na bacia do Alto do Descoberto.

Subbacias do Descoberto	Área cultivável (hectares)		Demanda 2017 (L/s/ha)		Demanda total (m³/s)	Demanda total (hm³/ano)
	Oleicultura	Fruticultura	Oleicultura	Fruticultura		
Buriti Chato	377,55	66,74	0,35	0,26	0,15	0,97
Capão Comprido	317,53	614,59	0,35	0,26	0,27	1,76
Chapadinha	60,61	189,14	0,35	0,26	0,07	0,46
Coqueiro	66,87	2,68	0,35	0,26	0,02	0,16
Descoberto	1.846,89	223,91	0,35	0,26	0,70	4,57
Córrego do Meio	66,67	2,17	0,35	0,26	0,02	0,15
Olaria	446,48	114,85	0,35	0,26	0,19	1,21
Pedras	299,33	33,04	0,35	0,26	0,11	0,73
Rocinha DF	115,37	8,13	0,35	0,26	0,04	0,28
Rocinha GO	2,09	0,00	0,35	0,26	0,00	0,00
Rodeador	2.921,38	237,83	0,35	0,26	1,08	7,03
Total	6520,77	1493,06	-	-	2,67	17,30

Fonte: Adaptado de ADASA/UNESCO, 2017.

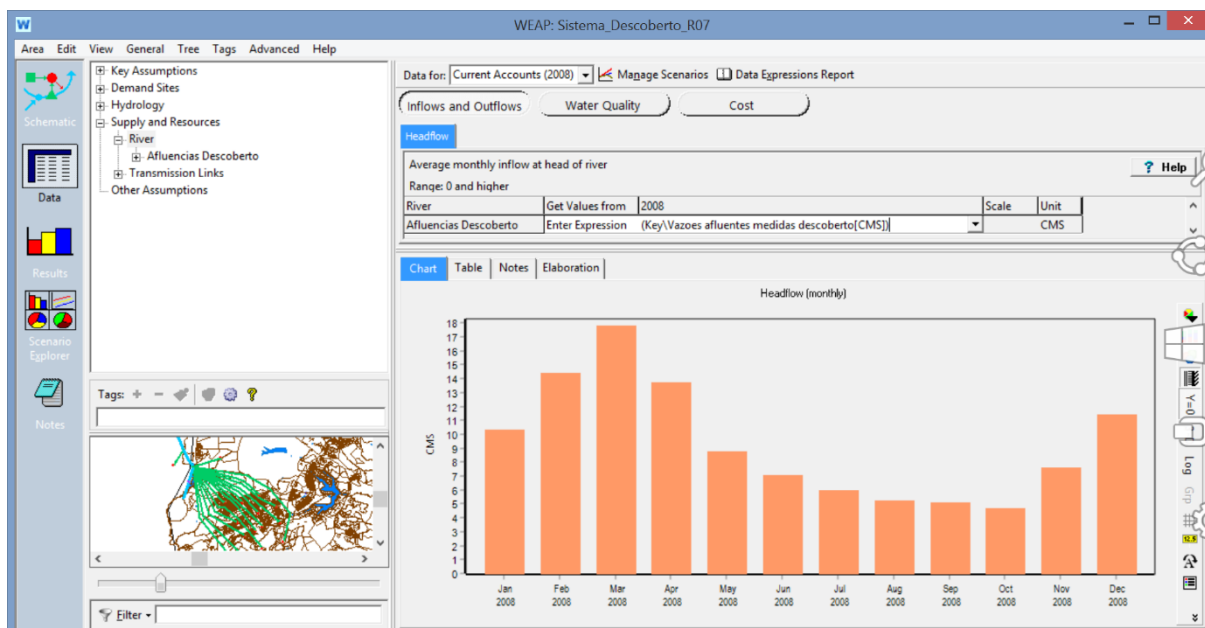
4.3. Construção do modelo no WEAP

Após definidos os limites da área de estudo, escala temporal, os componentes do sistema e respectivos dados a serem considerados, foi possível construir o modelo através da interface do *software* WEAP.

Em cada simulação, o WEAP calcula o balanço de massa para cada nó e linha do sistema em cada passo de tempo. Segundo Oliveira (2018), um programa linear padrão é usado para resolver o problema de alocação de água, cujo objetivo é maximizar a satisfação da demanda, sem prejuízo do fornecimento de prioridades, preferências de locais de demandas, balanços de massa e outras restrições.

O modelo é estruturado em cinco diferentes formas de visualização, são elas:

- *Schematic* – interface gráfica pela qual é construído o *layout* espacial da rede a ser modelada através da inserção de elementos, como nós e linhas;
- *Data* – inserção dos dados de cada elemento, modelos e hipóteses (Figura 22);
- *Results* – visualização dos resultados dos parâmetros de interesse do sistema em tabelas, gráficos ou mapas. Os resultados podem ser visualizados para um ou mais cenários em conjunto;
- *Scenario Explorer* – utilizado para agregar gráficos criados no *Results View* e auxilia na análise dos resultados de forma mais integrada e comparativa;
- *Notes* – ferramenta de texto na qual podem ser inseridas informações e referências para documentar os cenários elaborados.

Figura 22. *Data View*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A construção da rede é o ponto de partida de todas as atividades no WEAP. O modelo permite que o usuário possa trabalhar em interface gráfica de forma intuitiva. Além disso, permite a inserção de camadas provenientes de ambiente SIG para que se possa construir e esquematizar o sistema real de forma simplificada. Os elementos utilizados na interface gráfica incluem nós para representação de componentes físicos como demandas reservatórios e aquíferos, e linhas que representam condutos hídricos naturais ou construídos.

O WEAP possui seis principais categorias para a inserção de dados: *Key Assumptions*, *Demand Sites*, *Hydrology*, *Supply and Resources*, *Environment* e *Other Assumptions*. Através do *Key Assumptions* são criadas e organizadas variáveis independentes. Tais variáveis não são calculadas diretamente pelo WEAP, porém auxiliam nos cálculos posteriores.

Destaca-se, ainda, as ferramentas de inserção de dados *Expression Builder* e *ReadFromFile Wizard*. A primeira permite a construção de expressões por meio da caixa de edição do WEAP. A segunda, por sua vez, permite a inserção direta de dados contidos em planilhas em Excel no modelo.

Dentre as simulações possíveis de serem realizadas no WEAP está o balanço hídrico de reservatórios. Rocha e Cézar (2015) afirmam que estudos de balanço hídrico compreendem uma ferramenta importante para auxiliar a operação de

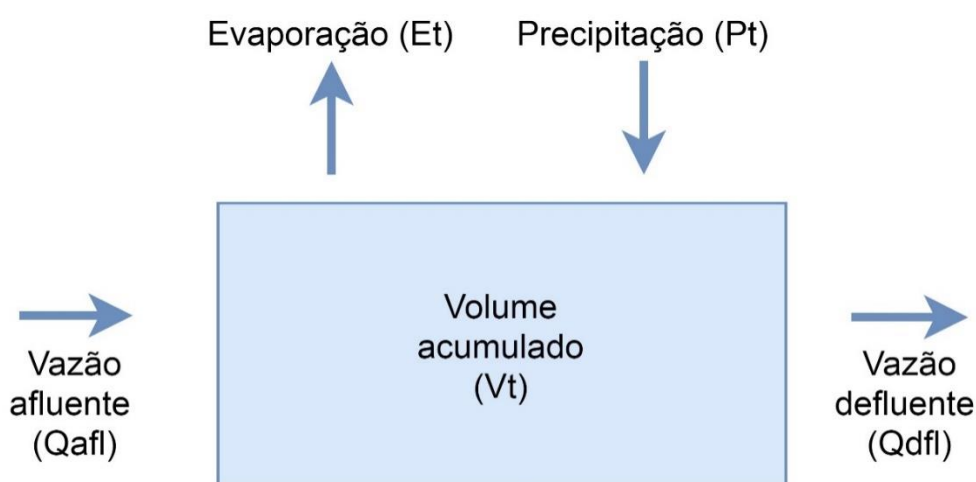
reservatórios de acumulação a longo prazo e evitar problemas de escassez, principalmente em casos de eventos climáticos adversos.

Segundo Rocha e Cézar (2015), é possível utilizar a Equação 3 para o balanço hídrico de reservatório (Figura 23).

$$V(t + 1) = V(t) + Q_{afl}(t) - Q_{dfl}(t) - E(t) + P(t) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde $V(t)$ é o volume armazenado no início do intervalo de tempo; $Q_{afl}(t)$ é a vazão afluente no intervalo de tempo; $Q_{dfl}(t)$ é a vazão defluente no intervalo de tempo; $E(t)$ é o volume evaporado do reservatório; $P(t)$ é o volume precipitado sobre o reservatório no intervalo de tempo.

Figura 23. Balanço hídrico de reservatório.



Fonte: Elaborado pelo autor.

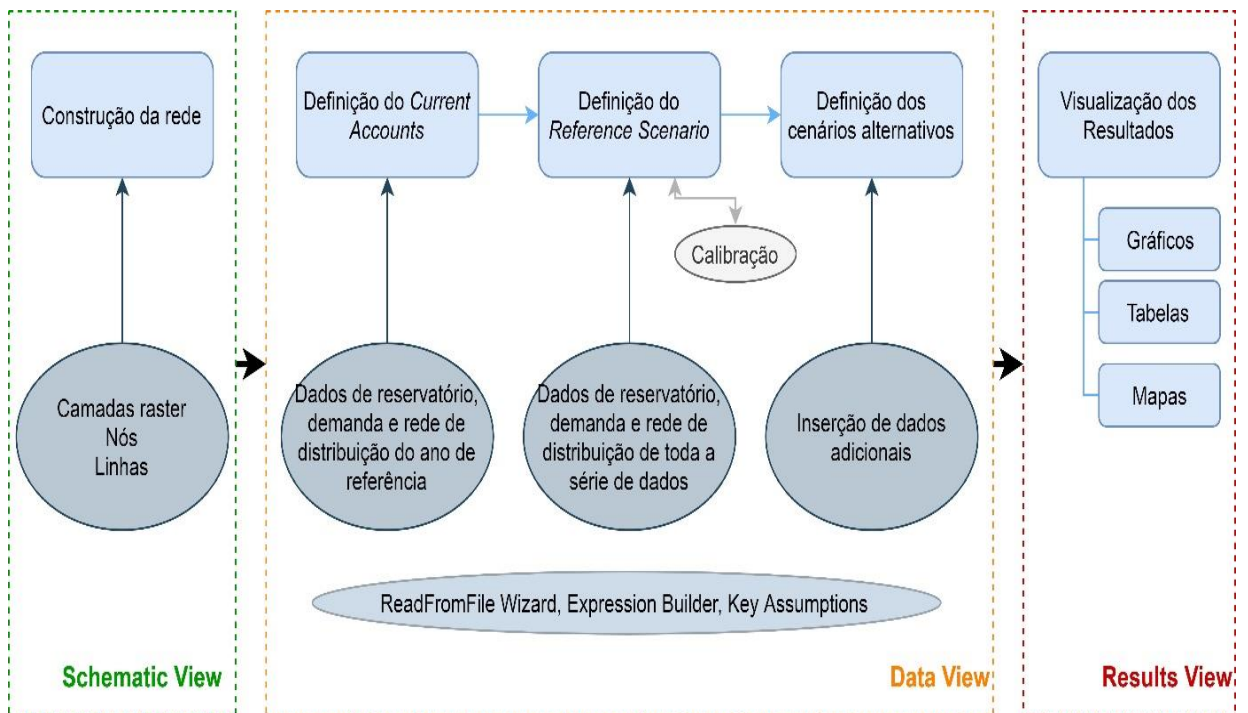
O modelo permite que o usuário insira as seguintes informações físicas referentes ao reservatório: vazões afluentes, capacidade inicial e capacidade máxima de armazenamento, curva cota-volume, máximo fluxo de saída hidráulico, evaporação líquida, perdas para o subsolo, volume observado. SEI (2015) destaca que o armazenamento de água pelo reservatório é dividido em quatro zonas: inativa, de amortecimento, de conservação e de controle.

Os resultados de simulações realizadas no WEAP são agrupados nas seguintes categorias principais: demanda, oferta e recursos, bacia hidrográfica, qualidade da água e financeira. Moraes (2018) afirma que tais resultados podem incluir os volumes de atendimento a cada demanda, as vazões em cada trecho dos

rios e diversos outros detalhes, como volumes armazenados em reservatórios, perdas, vazões de retornos e custos.

Neste trabalho, a construção do modelo no WEAP ocorreu conforme as etapas dispostas na Figura 24.

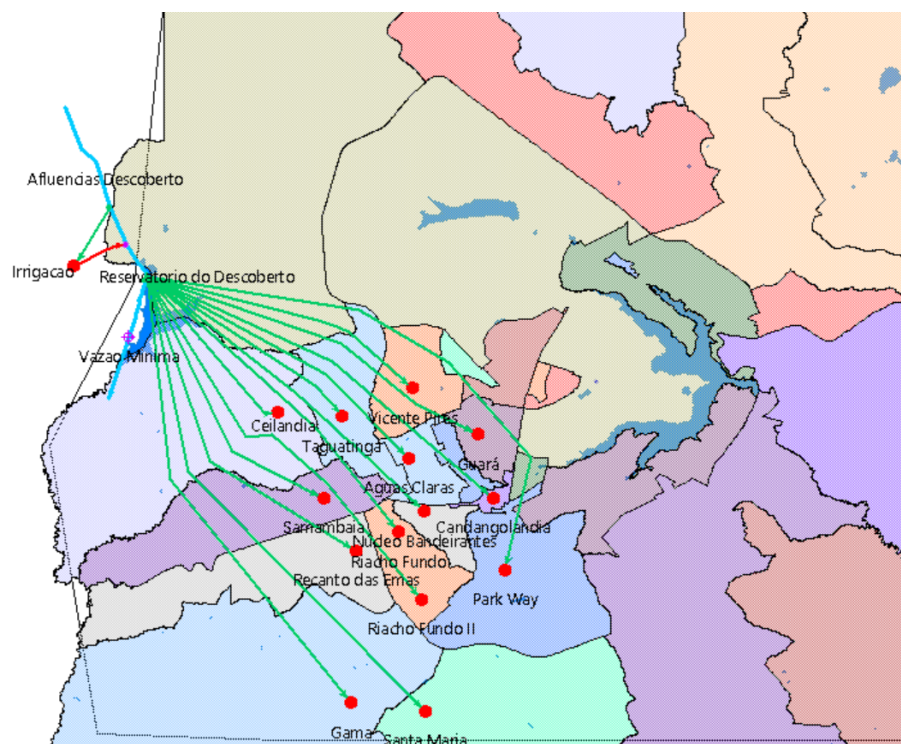
Figura 24. Construção do modelo simplificado no WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, foram inseridas as camadas em formato *shapefile* referentes à bacia do Alto Descoberto e ao Sistema de Abastecimento de Água do Descoberto no *Schematic View*. Para adequação dessas camadas para o sistema de coordenadas WGS1984 utilizado pelo WEAP antes de serem adicionadas no modelo, foi utilizada a ferramenta *Reproject* do Quantum GIS (QGIS). Tendo essas imagens como base, foi possível desenhar a rede e inserir os elementos (nós e linhas) correspondentes ao reservatório do descoberto e rios afluentes, vazão remanescente, irrigação, rede de distribuição de água e regiões administrativas. O modelo simplificado do Sistema de Abastecimento do Reservatório do Descoberto pode ser visualizado na Figura 25.

Figura 25. Rede simplificada elaborada no WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após inseridas as informações gráficas e construção da rede, foram adicionados os dados referentes a cada elemento através do *Data View*. Esses dados foram inseridos para cada cenário de acordo com os seus objetivos de simulação. O período de simulação utilizado neste modelo tem início no mês de janeiro de 2008 e se encerra no mês de dezembro de 2017. A seguir, os cenários simulados são abordados de forma detalhada.

Current Accounts

O *Current Accounts* representa as definições básicas do sistema conforme a situação escolhida como atual. Este cenário é a base para os demais cenários. Ou seja, os cenários de referência e alternativos herdaram as características do sistema inseridas no *Current Accounts*. Neste trabalho, devido à disponibilidade de dados, optou-se por utilizar o ano de 2008 como *Current Accounts*.

As vazões médias mensais no ponto mais a montante do rio correspondem a soma das vazões médias mensais retiradas para fins de irrigação e das vazões médias afluentes mensais de cada sub bacia do alto do Descoberto. Essas

informações foram inseridas no *Headflow* do elemento do WEAP que representa as afluições ao reservatório (*River*).

A montante do reservatório, foi localizado o nó de demanda de irrigação (*Demand Site*), no qual foi adicionada a demanda total de irrigação na bacia. Dentro desse nó, foram inseridas informações de consumo anual por hectare e hectares irrigados discretizadas para cada sub bacia. Além disso, a variação mensal de consumo de água para irrigação foi adicionada ao modelo, considerando que os meses secos consomem, no total, 60% da demanda anual e os meses chuvosos 40%.

No *current accounts*, são inseridas as informações físicas (vazões afluentes, evaporação líquida, curva cota-volume e volumes observados) e operacionais (volume máximo e volume morto) do reservatório (*Reservoir*). Além disso, é inserida a vazão mínima remanescente ao reservatório (0,65m³/s), com a inserção do elemento *Flow requirement* no trecho de rio a jusante do reservatório.

As informações inseridas nos nós de demanda urbana (*Demand Site*) são referentes à população total urbana atendida, consumo per capita anual e demanda para outros usos urbanos. Considerou-se, ainda, para melhor representação da distribuição das demandas nos meses do ano, a variação no consumo mensal (*Monthly variation*) com relação a umidade relativa do ar. O WEAP calcula, então, as demandas totais a partir dessas informações. As demandas foram ligadas ao reservatório através de linhas que representam a rede de distribuição (*Transmission Link*). A configuração das linhas correspondentes à rede não reflete a localização física da infraestrutura de distribuição de água no sistema, apenas indica quais as regiões de demanda são abastecidas pelo reservatório.

As demandas foram caracterizadas no WEAP com uma ordem de prioridade que reflete a sua posição geográfica no sistema. A ordem de prioridade no WEAP é representada por uma escala ordinal, onde menores valores indicam maior prioridade. Dessa forma, a irrigação recebeu prioridade 10 – por estar no ponto mais a montante, demandas urbanas receberam prioridade 20 e a vazão mínima a jusante do reservatório recebeu prioridade 30. Embora usos de abastecimento humano e dessedentação de animais tenham prioridade perante a lei, limitações no sistema de monitoramento e fiscalização normalmente resultam em usuários de montante tendo acesso à água, em detrimento de outros usos de jusante.

Não houve diferenciação entre os nós de demanda urbana. Considerou-se que todas as regiões administrativas são atendidas igualmente. Estas prioridades foram mantidas nos demais cenários.

As informações referentes às perdas no sistema foram inseridas através da ferramenta *Key Assumption* e adicionadas aos campos de perdas (*Losses*) nos elementos de demanda e distribuição de água do sistema.

Reference Scenario – Cenário de Referência

O cenário de referência é criado a partir do *Current Accounts* com a inserção de projeções, para uma determinada série temporal, baseadas em variações econômicas, demográficas, hidrológicas e tecnológicas. A série temporal utilizada para a construção do *Reference Scenario*, portanto, inclui os anos de 2009 a 2017, incluindo o período de crise hídrica que se iniciou no ano de 2016.

Os dados de vazões afluentes, evaporação líquida, vazão mínima remanescente e características do reservatório foram inseridos da mesma forma que no *Current Accounts* para os demais anos da série. Os parâmetros que se mantêm constantes ao longo da série herdaram os valores inseridos no *Current Accounts*. Os dados de demanda foram inseridos conforme projeção de população urbana atendida e consumo per capita abordada no Item 4.2 – Levantamento de dados.

Este cenário representa a situação real ocorrida no Sistema Descoberto. Ou seja, são consideradas as principais medidas emergenciais de enfrentamento implementadas durante os anos de 2016 e 2017 – restrições aos irrigantes, rodízio no sistema de abastecimento e redução de pressão na rede. A inserção dessas medidas no WEAP foi feita através da ferramenta *Expression Builder*, no qual foram calculadas as vazões restringidas à captação. Para isso, foi considerado que cada região administrativa foi restringida por 9 dias em cada mês ao abastecimento normalizado de água – 5 dias em função dos dias de interrupção e 4 dias em função dos dias em que permaneciam em estabilização da rede e que o abastecimento pode ter ficado prejudicado. A redução da pressão na rede foi inserida através da diminuição nas perdas na rede em 5%, conforme porcentagem de redução de consumo prevista pela CAESB citada no item 3.4.2.

Além disso, considerou-se diminuição em 5% da demanda atendida pelo Descoberto no ano de 2017, em função da implementação da tarifa de contingência, possível conscientização de parte da população sobre o uso racional da água em

função das diversas campanhas educacionais veiculadas pela CAESB e da possível utilização de água proveniente de outras fontes de água durante esse período. As obras de captação de água ocorridas no final do ano de 2017 não foram consideradas durante a elaboração deste modelo.

A situação das restrições aos irrigantes está contabilizada na vazão afluente ao reservatório – as estações de medição de vazão afluente utilizadas para a obtenção dos dados neste estudo estão localizadas a jusante das captações para irrigação (Item 4.2, Figura 17), já sofrendo os impactos da alteração no consumo pelos irrigantes, independentemente de como tenha ocorrido na realidade. Por esse motivo, não foi necessário inserir novas informações para considerar a restrição aos irrigantes.

Por refletir a situação real decorrida no sistema, este cenário foi utilizado para a calibração do modelo. As informações de volumes observados no reservatório durante os anos de 2008 a 2017 foram inseridas na caixa *Observed Volume* no nó do reservatório. A calibração foi realizada de forma manual, ajustando os parâmetros em função dos resultados obtidos a cada simulação. Os parâmetros ajustados são referentes as variações mensais de consumo de água e às medidas de enfrentamento implementadas durante o período de crise incluso na simulação. A simulação final foi definida a partir do Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe – COE (Equação 4). Esse coeficiente pode variar de 0 a 1, sendo que 1 representa perfeito ajuste.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \bar{Es})^2} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo, Em o evento observado; Es o evento simulado; \bar{Es} a média do evento observado no período de simulação; e n o número de eventos.

Os cenários de referência e alternativos são criados, excluídos e organizados através da ferramenta *Manage Scenarios* disponibilizada pelo WEAP.

4.4. Construção dos Cenários Alternativos

Segundo Heathcote (2009), as metas das ações de gestão em uma bacia hidrográfica podem ser atingidas por diversos caminhos. Em algumas situações, a

implementação de tecnologias avançadas podem ser a solução, enquanto que em outras a simples alteração em práticas operacionais pode trazer melhores resultados.

De forma a explorar os diferentes caminhos de enfrentamento de crises hídricas, foram elaborados cenários alternativos e hipotéticos às medidas adotadas pelos setores usuários e pelo poder público durante o período de crise hídrica no Distrito Federal.

O processo de elaboração ocorreu não apenas com base nas premissas da gestão integrada de recursos hídricos, mas também com base em medidas adotadas em episódios de crise hídrica, similares ao do Distrito Federal, enfrentados por outras localidades. É importante destacar que os cenários foram construídos a partir de soluções, tecnologias e dados existentes no contexto brasileiro. Portanto, factíveis. A escolha do melhor caminho para o caso do Distrito Federal deve envolver, ainda, análise de custo benefício, financeira, capacidade institucional e contexto sócio-político – aspectos que fogem ao escopo do presente trabalho.

O primeiro passo para a elaboração dos cenários foi o levantamento de algumas hipóteses relacionadas com situações de crise hídrica e o Sistema Descoberto (Quadro 14). As hipóteses em destaque (negrito) foram escolhidas em razão de melhor adequação ao presente estudo de caso e por incluírem os dois setores usuários de água mais expressivos da área de estudo – agricultura e saneamento. Dentre as hipóteses não consideradas, por exemplo, está a implementação de plantas de dessalinização de água do mar, por não ser viável para o Distrito Federal em função da sua localização geográfica.

Quadro 14. Hipóteses para elaboração dos cenários alternativos (hipóteses usadas no trabalho destacadas em negrito).

Temática	Hipóteses
Condições climáticas e hidrológicas	Pluviosidade e temperaturas semelhantes ao período anterior aos anos de 2015 a 2017
	Pluviosidade inferior à ocorrida nos anos de 2015 a 2017
	Vazão afluente ao reservatório conforme anos anteriores à crise hídrica

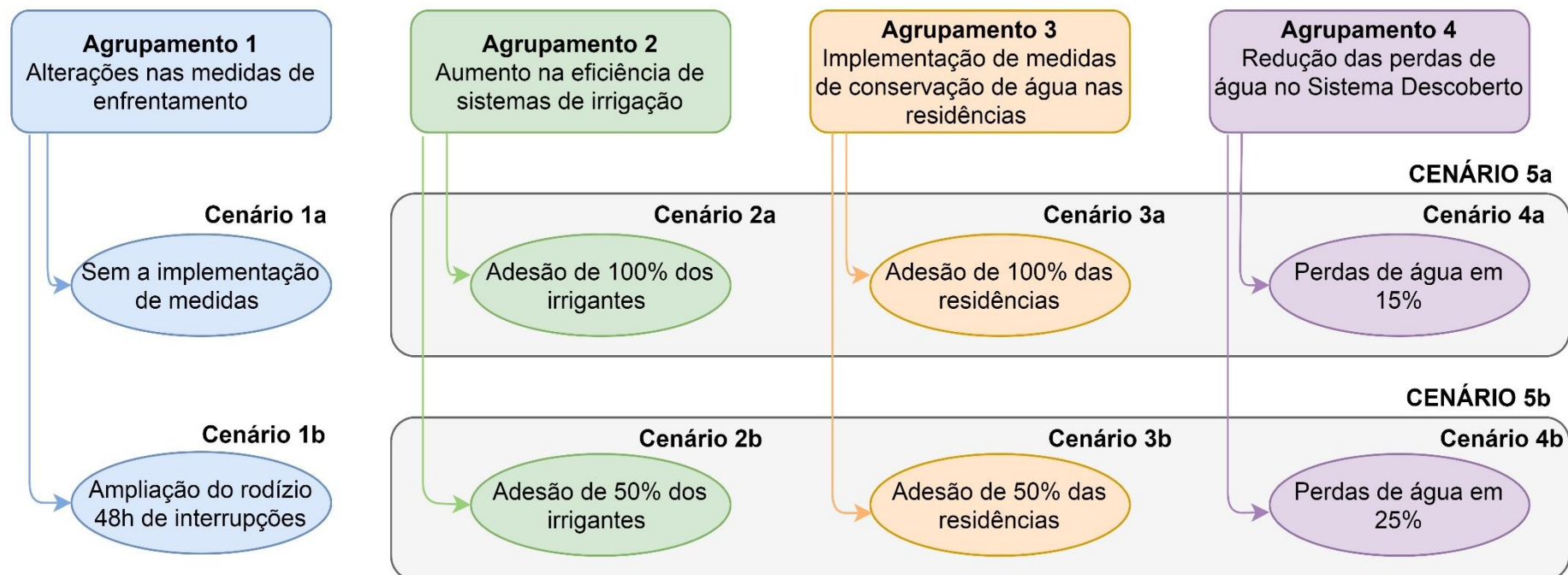
Temática	Hipóteses
Demandas urbanas	Aumento da demanda em função do aumento da população
	Aumento da demanda em função de aumento da renda média per capita
	Implementação de medidas de conservação de água nas residências – aproveitamento de água da chuva e reuso de águas cinzas
	Conscientização sobre o uso racional da água
Demandas para irrigação	Instalação de sistemas de irrigação por gotejamento
	Recuperação de canais de irrigação para diminuição de perdas de água por infiltração e evaporação
	Uso de água proveniente de estações de tratamento de efluentes - reuso
Demandas para a indústria	Reuso de efluentes em processos industriais
Rede de distribuição de água	Combate às perdas na distribuição de água
	Aumentos nas perdas em função da falta de manutenção das redes
	Aumento de captações clandestinas de água
Medidas de enfrentamento à crise hídrica	Não implementação das medidas de enfrentamento aderidas pela CAESB
	Implementação de Tarifa Bônus – similar à implementada pela SABESP
	Busca por novos mananciais de abastecimento
	Implementação de sistema de rodízio com interrupções de 48h no abastecimento de água
Outras fontes de água para abastecimento	Instalação de plantas de dessalinização de água do mar
	Instalação de estações de tratamento de efluente para reuso

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dessa primeira seleção, foram elaborados quatro agrupamentos de cenários, com medidas independentes entre si. Dentro de cada agrupamento, foram

criados dois cenários, considerando situações ótimas e situações mais conservadoras. Após, criou-se o quinto agrupamento de cenários, através do qual alguns cenários foram combinados e analisados em conjunto. Os cenários elaborados por este estudo estão resumidos na Figura 26.

Figura 26. Resumo dos cenários alternativos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1. Agrupamento de Cenários 1 - Alterações nas medidas de enfrentamento à crise hídrica

Nesse agrupamento de cenários, foram realizadas alterações nas medidas de enfrentamento adotadas durante o período de crise hídrica. Para isso, foram elaboradas duas hipóteses: sem implementação das medidas de enfrentamento (1a) e intensificação das interrupções no abastecimento no sistema de rodízio (1b).

Cenário 1a - Sem a implementação de medidas de enfrentamento

O Cenário 1a foi elaborado de forma a desconsiderar as principais medidas implementadas durante parte do período de crise hídrica, dentre os anos de 2016 e 2017, no Distrito Federal. Dessa forma, não haveriam as restrições aos irrigantes localizados a montante do reservatório do Descoberto, a redução da pressão na rede de distribuição de água e a implementação do rodízio de abastecimento de água. Ou seja, o sistema continuaria a operar da mesma forma que operava antes da crise hídrica.

Para criar esse cenário, foi necessário estimar, no caso da irrigação, a quantidade de água que deixaria de ser retirada por imposição da restrição (que ocorreu na realidade em 2017). Para tanto, considerou-se que teriam sido impostas restrições de 50% do consumo de água pelos irrigantes durante o ano de 2017 e que essas restrições teriam sido 100% cumpridas pelos irrigantes – conforme citado no *Reference Scenario*, as consequências dessas ações nas vazões afluentes já estariam sendo medidas pelas estações fluviométricas utilizadas nesse estudo. A partir dessa premissa, adicionou-se no nó de demanda de irrigação do WEAP uma parcela de volume equivalente ao volume consumido pelos irrigantes no ano de 2017, duplicando, portanto, o consumo de água para fins de irrigação neste ano.

Dessa forma, a vazão restringida foi “devolvida” aos irrigantes e estes teriam consumido todo o volume que vinham consumindo antes do período de crise. Essa vazão foi calculada a partir dos valores de demanda de água para irrigação por aspersão disponibilizados por ADASA/UNESCO (2017), considerando as variações mensais, conforme disposto no Item 3.2 – Levantamento de dados.

Em relação ao abastecimento de água, foram retiradas as restrições de captação de água pela CAESB do reservatório do Descoberto elaboradas no cenário

de referência e o efeito em função da diminuição da pressão na rede considerado no modelo.

O objetivo da elaboração deste cenário é a análise dos volumes acumulados no reservatório e atendimento à demanda urbana caso não houvessem sido implementadas as principais restrições ao setor agrícola e ao setor de abastecimento de água durante o período de crise hídrica.

Assim, é possível observar os possíveis efeitos nos volumes do reservatório do Descoberto e no atendimento às demandas, caso o sistema tivesse continuado a operar da forma com que operava até o primeiro semestre de 2016.

Cenário 1b – Intensificação (ampliação do período) de interrupção de abastecimento no sistema de rodízio para 48h

Neste caso, considerou-se a ampliação do regime de racionamento através da implementação de um sistema de rodízio no qual a interrupção de abastecimento de água em cada região específica tivesse duração de 48h - conforme permissão dada pela Resolução ADASA nº 23, de 17 de outubro de 2017. No entanto, nessa hipótese, essa medida teria sido implementada desde o início do rodízio, em janeiro de 2017.

Para a formulação desse cenário no WEAP, foram utilizadas as ferramentas de *Key Assumption* e *Equation Builder*. Dessa forma, foi possível diminuir a oferta de água e restringir a captação de água do reservatório pela CAESB. O objetivo desse cenário é analisar o comportamento do reservatório do Descoberto e sua recuperação durante o período e crise, com a implementação de medidas ainda mais restritivas à população, assim como a porcentagem de demanda que teria sido atendida.

4.4.2. Agrupamento de Cenários 2 - Aumento na eficiência de sistemas de irrigação

O sistema de irrigação utilizado para irrigação de hortaliças e frutíferas na bacia do Alto Descoberto é aspersão. Por estarem localizados a montante do reservatório do Descoberto, os irrigantes possuem influência nas vazões afluentes ao Descoberto. De acordo com ADASA/UNESCO (2017), a irrigação por aspersão convencional para oleicultura e fruticultura utiliza, respectivamente, 0,7 L/s.ha e 0,5 L/s.ha. Por outro lado, o método de irrigação por gotejamento utiliza, para as mesmas culturas, 0,35 L/s.ha e 0,26 L/s.ha. Conforme FAO (2014), a irrigação por gotejamento é aplicada

com sucesso na maioria das empresas e estufas dedicadas a produção comercial de fruta e hortícolas.

Com o objetivo de diminuir o consumo de água pelos irrigantes do Alto do Descoberto, sugere-se, neste agrupamento de cenários, a implementação de sistemas mais eficientes no consumo de água pelos irrigantes – irrigação por gotejamento – a partir do ano de 2010. O ano de 2010 foi escolhido em função da situação econômica favorável do país neste ano o que poderia ter incentivado à investimentos nesses tipos de sistemas.

A alteração destes cenários em relação ao cenário de referência envolve somente a eliminação das restrições aos irrigantes e a inserção de novos sistemas de irrigação na bacia– substituindo aspersão por gotejamento. Dessa forma, é possível verificar quais seriam as consequências no sistema em função da implementação de medidas de melhoria na eficiência na irrigação ao invés da aplicação das medidas restritivas impostas aos irrigantes.

Cabe destacar que as informações reais referentes à irrigação na área de estudo não foram acessadas por limitações de acesso e tempo de execução de um trabalho de conclusão de curso. Portanto, esses cenários se configuram em cenários hipotéticos, mas que estimulam o questionamento sobre os usos múltiplos da água na bacia do Descoberto e possíveis conflitos.

Cenário 2a- Adesão de 100% dos irrigantes ao gotejamento

Neste cenário, foi considerado que todos os irrigantes localizados a montante do reservatório do Descoberto migrariam de sistemas de irrigação por aspersão para sistemas mais eficientes – irrigação por gotejamento.

A larga escala de implementação poderia ter sido incentivada por políticas públicas, programas de financiamento, capacitação dos agricultores nessas técnicas e diminuição dos custos associados a essas tecnologias no mercado. Assim, teria sido favorecida técnica e economicamente a implementação desses sistemas na totalidade das áreas irrigadas.

Cenário 2b - Adesão de 50% dos irrigantes ao gotejamento

O Cenário 2b é um cenário elaborado de forma mais conservadora do que o Cenário 2a. Nesse cenário, nem todos os irrigantes teriam aderido à essa técnica de irrigação, por inviabilidade técnica e econômica. Portanto, 50% da área irrigada

continuar a utilizar a técnica de aspersão e 50% migraria para o sistema de irrigação por gotejamento.

4.4.3. Agrupamento de Cenários 3 - Implementação de medidas de conservação de água nas residências abastecidas pelo Descoberto

Nestes cenários, as populações das regiões administrativas abastecidas pelo Descoberto teriam implementado em suas residências os sistemas de reuso de águas cinzas e de aproveitamento de água das chuvas, conforme estudo elaborado por ADASA/UNB (2017), mesmo antes da situação de crise hídrica. Para isso, foram inseridos os dados de redução no consumo para cada RA, de acordo com a renda mensal média, em cada nó de demanda urbana, através da ferramenta *Reuse rate* do WEAP.

O reuso não foi considerado para as demandas comerciais, públicas e industriais. O ano de 2010 foi escolhido em função da situação econômica favorável do país neste ano o que poderia ter incentivado à investimentos nesses tipos de sistemas.

A alteração destes cenários em relação ao cenário de referência envolve apenas a eliminação das restrições ao abastecimento público durante a crise hídrica e implementação de sistemas de reuso de água e aproveitamento de água da chuva nas residências – alteração na demanda urbana de água. Ou seja, é possível observar quais seriam as consequências no sistema em função da implementação de medidas de conservação de água pela população no lugar da aplicação das medidas de restrição ao abastecimento.

Cenário 3a - Adesão de 100% das residências às medidas de conservação

Este cenário representa uma situação otimista e ideal, através do qual é possível averiguar quais seriam os maiores volumes economizados de água e os volumes acumulados no reservatório do Descoberto, caso os sistemas de reuso de água cinza e aproveitamento de água da chuva fossem implementados em larga escala, em todas as residências existentes nas regiões administrativas.

Nesse cenário, foi considerada a implementação progressiva das medidas pela população, iniciando em 2010 e atingindo os 100% no ano de 2016 e se mantendo em 2017.

Cenário 3b - Adesão de 50% das residências às medidas de conservação

Neste cenário, considerou-se que apenas metade da população teria aderido à implementação das medidas de conservação em suas residências, caracterizando-se como um cenário mais conservador. A baixa implementação, quando comparada com o Cenário 3a, poderia ter sido motivada por falta de conscientização dos usuários de água, percepção e preconceito do usuário quanto a qualidade da água de reuso, pela dificuldade em implementar as medidas em função de questões econômicas e estruturais das moradias, pela ineficiência ou inexistência de políticas públicas que incentivassem a população a aderir tais medidas.

Ainda, nesse cenário estaria sendo evitada a consideração duplicada de residências que podem já ter implementado essas medidas de conservação.

Nesse cenário, assim como no Cenário 3a, foi considerada a implementação progressiva das medidas pela população, iniciando em 2010 e atingindo os 50% no ano de 2016 e se mantendo em 2017.

4.4.4. Agrupamento de Cenários 4 - Redução das perdas de água no Sistema Descoberto

Nestes cenários, foi considerada a redução de perdas no sistema de distribuição de água do Descoberto. Conforme referencial teórico abordado nos primeiros capítulos desse trabalho, as perdas estão associadas à ineficiência dos sistemas de abastecimento de água e se constituem em um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de situações de escassez hídrica.

Segundo TRATA BRASIL (2018), a permanência de implementação de planos de ações efetivos focados na redução das perdas torna-se ainda mais relevante com os recorrentes *déficits* hídricos em diferentes regiões brasileiras. Um cenário com perdas nulas não é viável em termos econômicos e técnicos. Por este motivo, optou-se por sugerir a diminuição nas perdas do Sistema Descoberto com base em cidades brasileiras com padrão de excelência em perdas e em cidades com padrão de perda, não de excelência, mas abaixo da média do país de 38% no ano de 2016.

Dessa forma, supõe-se que a partir do ano de 2015 teriam sido executadas ações de combate às perdas e realizados investimentos em medidas como: válvulas redutoras de pressão, reabilitação e troca de ramais e redes de água, instalação ou

troca de macro e micromedidores, equipes técnicas capacitadas para fiscalização de vazamentos e de ligações clandestinas.

A adoção do ano de 2015 como ano inicial para os investimentos em diminuição de perdas foi escolhido considerando uma possível influência da intensificação do Programa de Combate às Perdas desenvolvido pela SABESP no período de crise hídrica enfrentado pelo sudeste brasileiro em outras companhias de saneamento do país. Para isso, criaram-se *Key Assumptions* os quais foram adicionados na aba de perdas (*Losses*) no WEAP. A alteração dos cenários deste agrupamento em relação ao cenário de referência envolve somente a redução das perdas de água do sistema e a eliminação das restrições ao abastecimento de água.

Cenário 4a – Perdas de água no Sistema Descoberto equivalentes a 15%

Os municípios de Limeira e Santos lideram o *ranking* dos melhores índices de perdas na distribuição e de faturamento entre os municípios brasileiros, com, respectivamente, 15,5% e 11%, e 17,2% e 18,7% (TRATA BRASIL, 2018).

Portanto, nesse cenário otimista, foi adotado o valor de 15% de perdas no sistema nos anos de 2015, 2016 e 2017 – diminuição de, aproximadamente, 20% no índice de perdas do sistema destes anos.

Cenário 4b - Perdas de água no Sistema Descoberto equivalentes a 25%

Nesse cenário, foi utilizada uma abordagem mais conservadora quando comparada com o Cenário 4a, adotando-se o valor de 25% de perdas no sistema como um todo nos anos de 2015, 2016 e 2017 – diminuição de, aproximadamente, 10% no índice de perdas do sistema destes anos. Cidades como Maringá e Blumenau apresentam índices de perdas em torno de 25%(TRATA BRASIL, 2018).

4.4.5. Agrupamento de Cenários 5 – Aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Nesses cenários, optou-se por combinar os cenários 2, 3 e 4, de forma a avaliar quais seriam as respostas do sistema em função da combinação de diferentes medidas de conservação e uso racional da água implementadas pelo setor agrícola, pela população atendida pelo Descoberto e de pelo setor de abastecimento de água. Para isso, foram eliminadas todas as principais medidas de enfrentamento utilizadas durante a crise hídrica no Distrito Federal consideradas no cenário de referência.

Esse agrupamento tem como premissa a avaliação de respostas do sistema frente a aplicações de ações de uso eficiente dos recursos hídricos pelos diferentes setores usuários, de forma conjunta e integrada.

Cenário 5a – Cenário ótimo em relação ao aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Nesse cenário, foram combinados os cenários ótimos de implementação de sistemas de gotejamento, implementação de medidas de conservação de água pela população e de redução de perdas na rede – Cenários 2a, 3a e 4a.

Cenário 5b – Cenário realista em relação ao aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Nesse cenário, foram combinados os cenários mais realistas de implementação de sistemas de gotejamento, implementação de medidas de conservação de água pela população e de redução de perdas na rede – Cenários 2b, 3b e 4b.

Após a finalização destas etapas, foi possível acessar os resultados deste estudo. Dentre os possíveis dados de saída resultantes das simulações realizadas no WEAP, foram selecionados, para todos os cenários, os volumes acumulados e a porcentagem de demanda atendida (*coverage*). Os volumes acumulados simulados no reservatório são obtidos pelo WEAP através de cálculos de balanço de massa, considerando as entradas e saídas do sistema para cada elemento do sistema em passo de tempo mensal.

A porcentagem de demanda atendida (*coverage*) reflete o quão bem as demandas estão sendo atendidas – sendo 0% nenhum volume de água entregue e 100% atendimento total dos volumes requeridos pelos nós de demanda. Para o cálculo do *coverage* o WEAP considera o requerimento de água de cada nó, incluindo perdas, reuso e ações de gestão de demanda, e a quantidade de água total entregue pelas fontes de água ligadas a cada nó, em passo de tempo mensal.

Além destes, para determinados cenários, foram acessados através do WEAP os valores referentes às demandas urbanas (consumo per capita e população atendida), vazão de saída do reservatório a ser captada pela CAESB para fins de atendimento público de água, e vazão remanescente no trecho do rio Descoberto localizado a jusante do reservatório.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

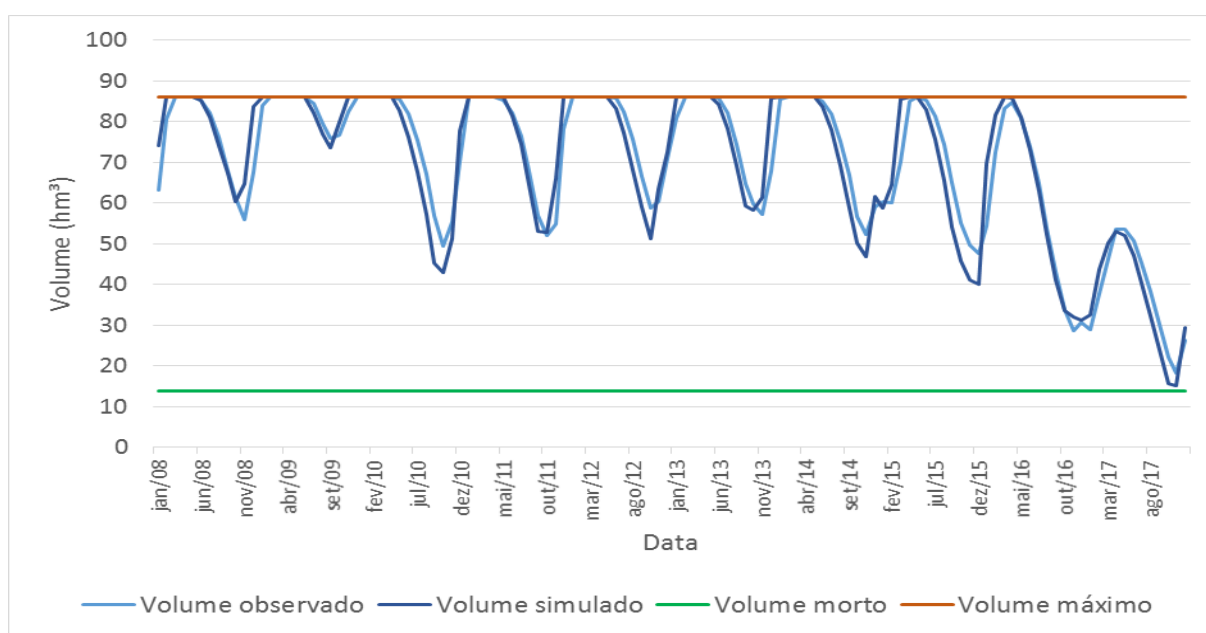
Neste capítulo são apresentados os resultados para os cenários de referência e alternativos propostos. Além de análises específicas para o contexto de cada cenário, são apresentadas as curvas referentes aos volumes acumulados no reservatório e a porcentagem de demanda atendida (*coverage*) para todas hipóteses propostas. Ainda, dependendo do objetivo de cada análise dos resultados e em função de uma melhor visualização dos resultados, foram consideradas a série como um todo (2008 a 2017) e/ou o período de 2015 a 2017.

Os resultados são apresentados em formas de quadros e gráficos, exportados do WEAP para o Excel, incluindo discussões sobre os valores encontrados. O cenário de referência aparece em todos os gráficos para fins de comparação.

5.1. Cenário de Referência

A partir da inserção dos dados no cenário de referência foi possível calibrar o modelo em função dos volumes observados no reservatório do Descoberto e os volumes simulados. O valor encontrado para o Coeficiente de Eficiência de Nash Sutcliffe foi de 0,91, indicando bom desempenho do modelo. O resultado dessa calibração pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27. Volume simulado e volume observado no reservatório do Descoberto.



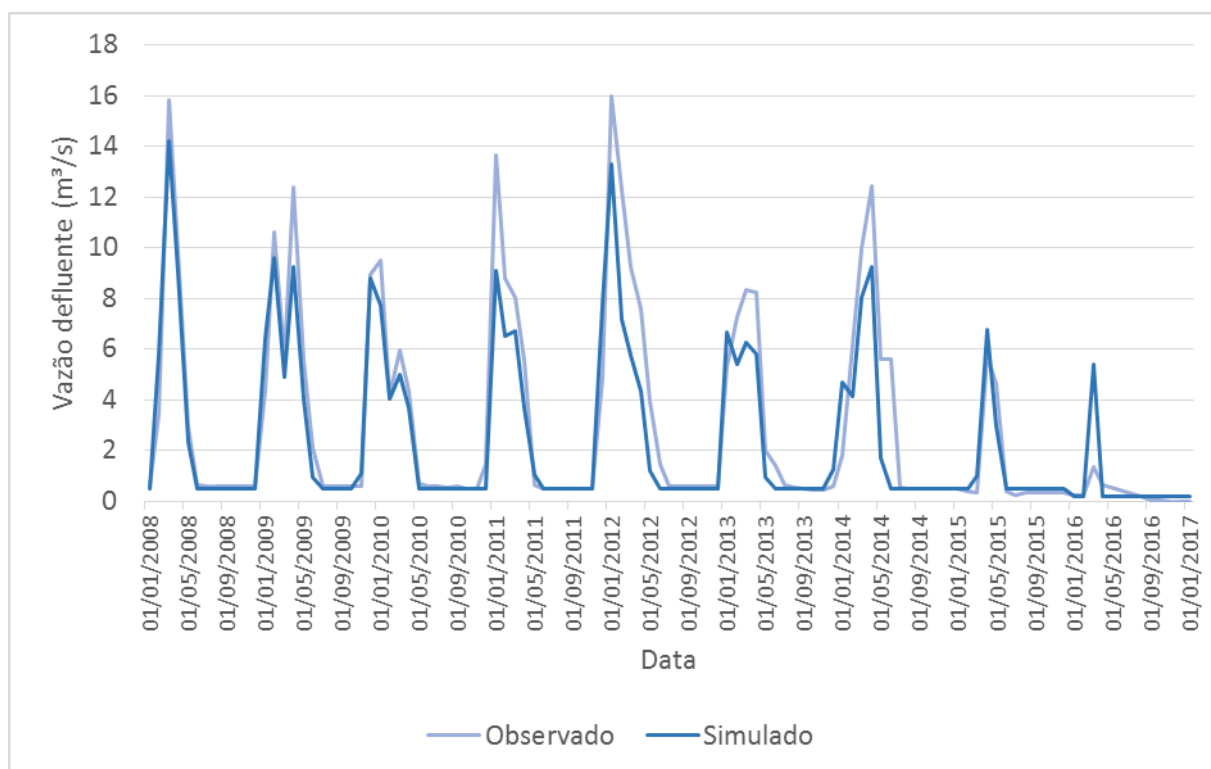
Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que os dados selecionados, os métodos e considerações utilizadas na construção desse cenário estão de acordo com a situação que de fato ocorreu durante o período analisado no Sistema Descoberto. A partir desse cenário de referência, foi possível construir os demais cenários com maior aproximação à realidade.

Em termos de vazões remanescentes, comparou-se os dados de saída deste cenário simulados pelo WEAP com os dados observados na estação fluviométrica Descoberto-Jusante Barragem (Código 60436000) operada pela CAESB (Figura 28). Percebe-se comportamento similar entre as séries, o que demonstra, novamente, a proximidade do modelo construído por esse estudo com a realidade do Sistema Descoberto.

Nos últimos dois anos da série, percebe-se que as vazões mínimas observadas atingem valores de até 0,20 m³/s, ficando inferior à mínima estabelecida de 0,6 m³/s. Além disso, nota-se um pico nas vazões simuladas no primeiro semestre de 2016, diferente do que ocorre na série de dados observados.

Figura 28. Vazões remanescentes do reservatório Descoberto (simulação) e observadas na estação 60436000 (dados observados).

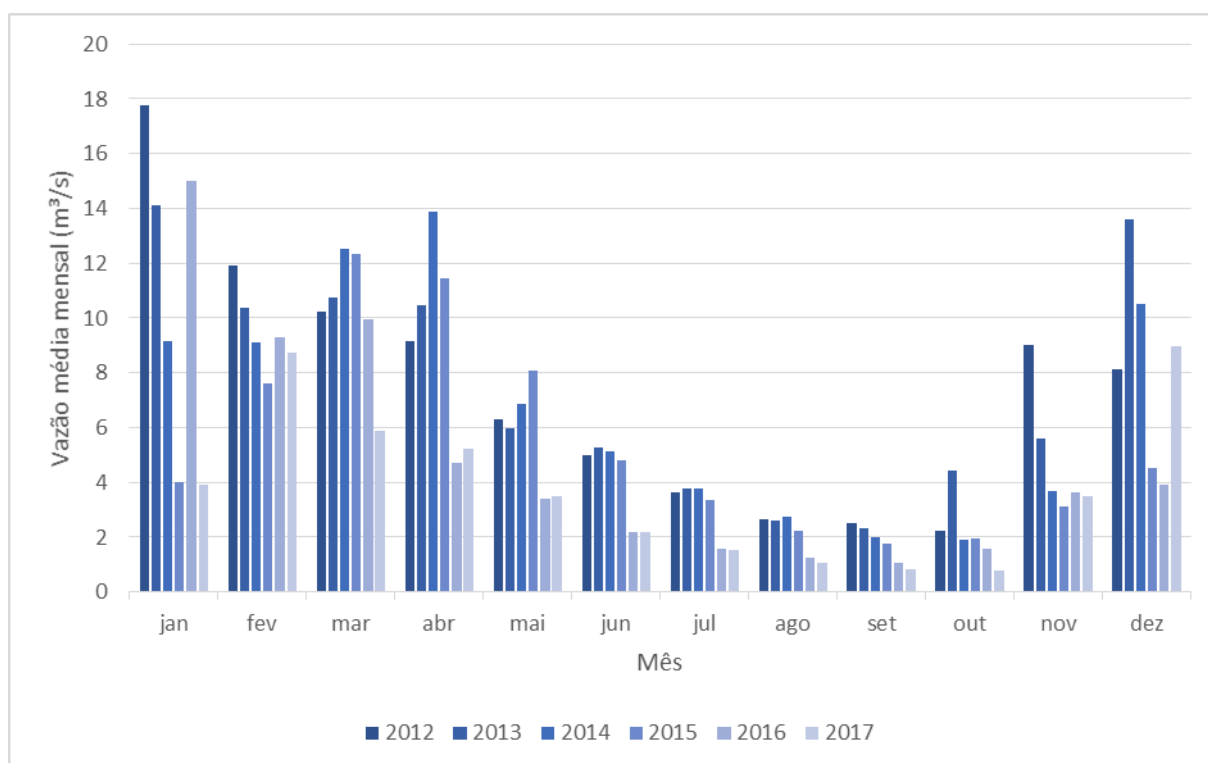


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse período, os dados medidos pela estação apresentam falhas no preenchimento, o que pode ser o motivo dessas diferenças. Um outro aspecto que contribui para explicar a diferença entre esses dados é a distância da estação 60436000 ao reservatório. Quanto maior essa distância, maior a possibilidade de que contribuições incrementais de vazão se misturem à vazão remanescente, resultando em valor diferente no ponto de medição da 60436000.

Ao analisar os últimos cinco anos de dados de vazões médias mensais afluentes ao reservatório Descoberto (2012 a 2017), é possível perceber que os anos de 2016 a outubro de 2017 apresentam as menores vazões, principalmente no período seco – de maio a outubro (Figura 29). Destaca-se o mês de outubro de 2017, que apresenta vazão afluente de 0,77 m³/s, inferior à média de 1,91 m³/s desse mês nesse período de dados. Esses resultados direcionam ao fato de que as baixas vazões afluentes ao reservatório do Descoberto contribuíram significativamente para a crise hídrica no Distrito Federal.

Figura 29. Vazões afluentes mensais médias (m³/s) – 2012 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mesmo período de dados foi analisado em termos de precipitação média anual na área do reservatório (Quadro 15). Percebe-se que os anos hidrológicos 2014-

2015, 2015-2016 e, principalmente, 2016-2017 apresentam baixa pluviometria quando comparados com os demais anos. Ainda, os anos hidrológicos anteriores a 2012-2013 se mantêm com pluviometrias médias acima de 1400 mm. Da mesma forma que as baixas vazões afluentes, os baixos índices pluviométricos contribuíram para a situação de crise hídrica no Distrito Federal.

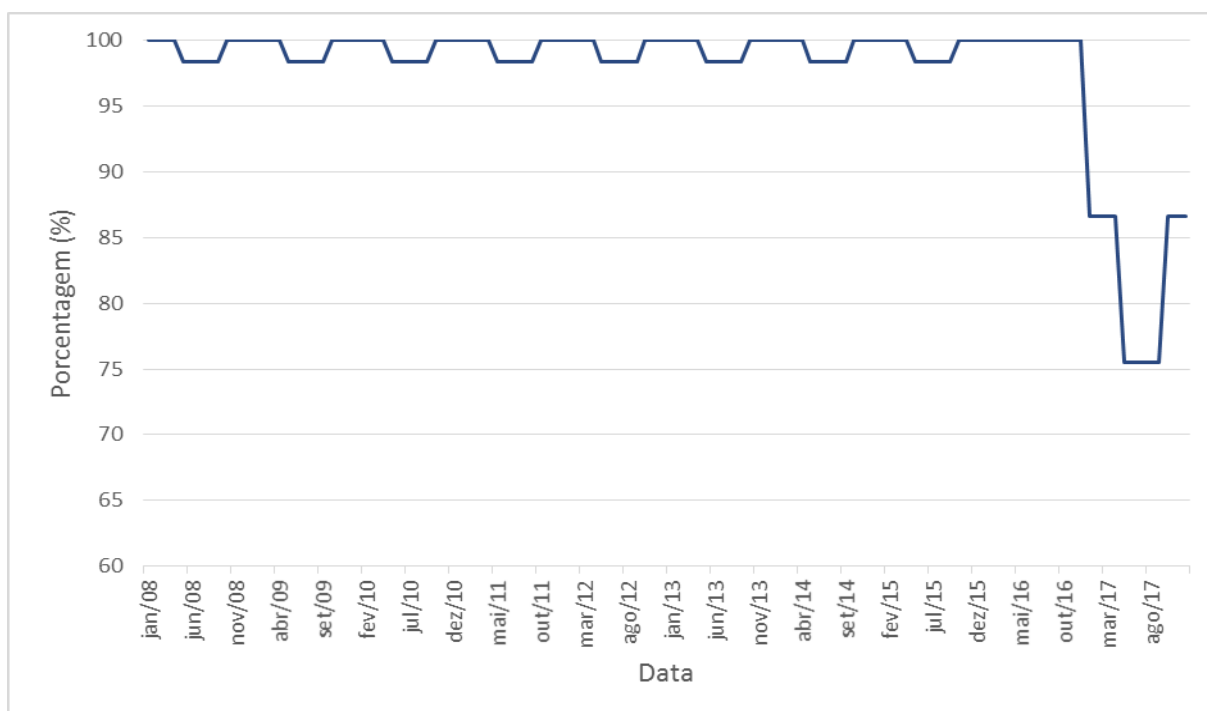
Quadro 15. Precipitação anual média no reservatório do Descoberto (mm).

Ano hidrológico	Precipitação anual (mm)
2012- 2013	1530,0
2013 -2014	1492,5
2014 -2015	1042,4
2016 -2016	1008,2
2016 -2017	871,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a porcentagem de demanda atendida pelo reservatório (*coverage*), percebe-se que no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2016, entre 98% e 100% da demanda urbana foi atendida pelo Sistema Descoberto. A partir do início de 2017 nota-se uma queda do atendimento em função do início da aplicação das medidas emergenciais. Dessa forma, a CAESB retirou menores volumes de água do reservatório e a demanda da população, mesmo com o decréscimo em função da crise, não foi atendida da forma como vinha sendo até então por esse sistema – o que não descarta a possibilidade de parte da demanda ter sido atendida por outras fontes, como captações emergenciais. A porcentagem de *coverage* se manteve em torno de 85% e atingiu valores mínimos de até 76% nesse período, distribuída igualmente em todas as regiões administrativas, conforme especificações de prioridade feitas durante a construção do modelo no WEAP. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 30.

Figura 30. Porcentagem de demanda atendida - Coverage



Fonte: Elaborado pelo autor.

A vazão média mensal captada pela CAESB simulada referente aos anos de 2008 a 2016 foi de 4,8 m³/s, com mínimas mensais de 4,1 m³/s e máximas de 5,3 m³/s. No ano de 2017, essa vazão diminuiu e atingiu o valor médio mensal de 3,6 m³/s, com mínimas de 3,3 m³/s e máximas de 3,9 m³/s. Estes valores estão de acordo com os valores de vazão média mensal captada informados pela CAESB, em torno de 4,9 m³/s para os anos de 2008 a 2016 e próximo aos limites de 3,8 a 3,1 m³/s, definidos por resoluções publicadas pela ADASA, em 2017.

No Quadro 16 estão dispostas as demandas totais anuais simuladas, incluindo uso residencial e demais usos urbanos. No ano de 2016, por exemplo, o volume total real faturado pelo sistema Descoberto foi de 106 hm³ (BRASÍLIA, 2017). A diferença entre o valor faturado e o valor simulado pode ocorrer em função das metodologias adotadas para a projeção de demandas e consumos por este estudo, as quais podem ter sido superestimadas.

Quadro 16. Demandas urbanas totais anuais.

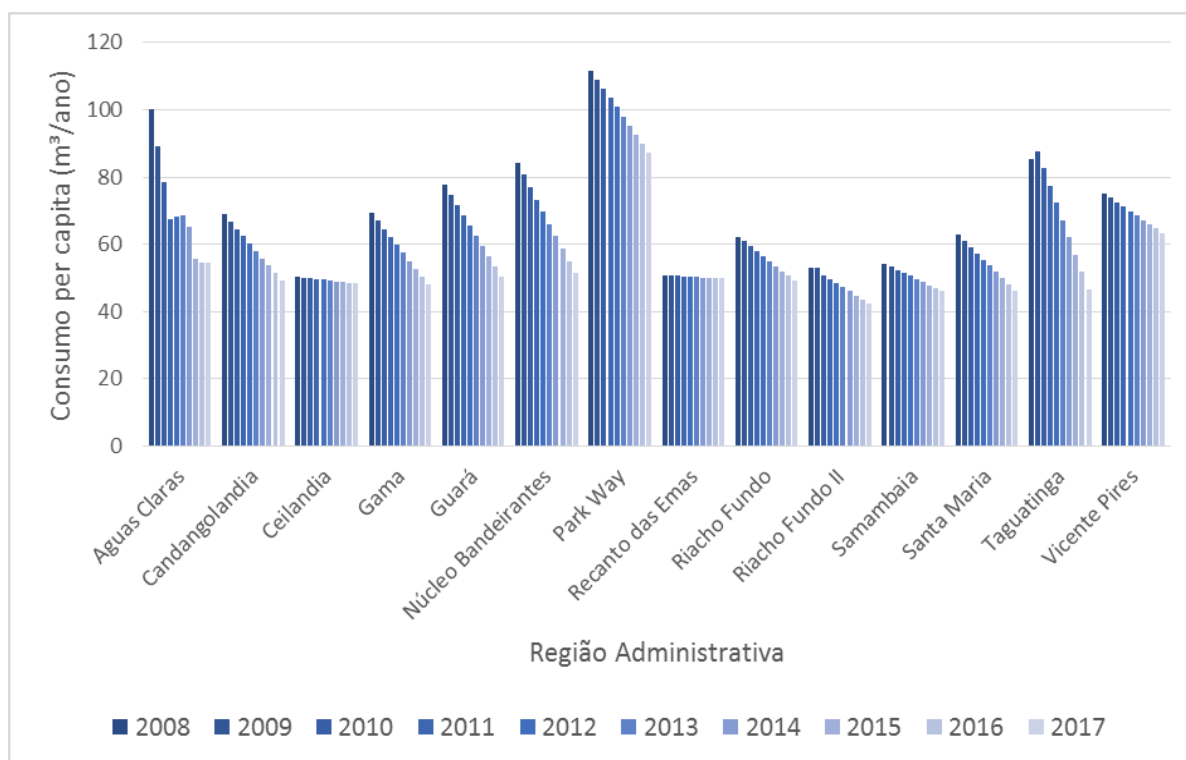
Ano	Demanda urbana (hm ³)
2008	114,3

Ano	Demanda urbana (hm³)
2009	115,8
2010	115,7
2011	115,6
2012	115,3
2013	114,9
2014	115,2
2015	115,3
2016	115,3
2017	115,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

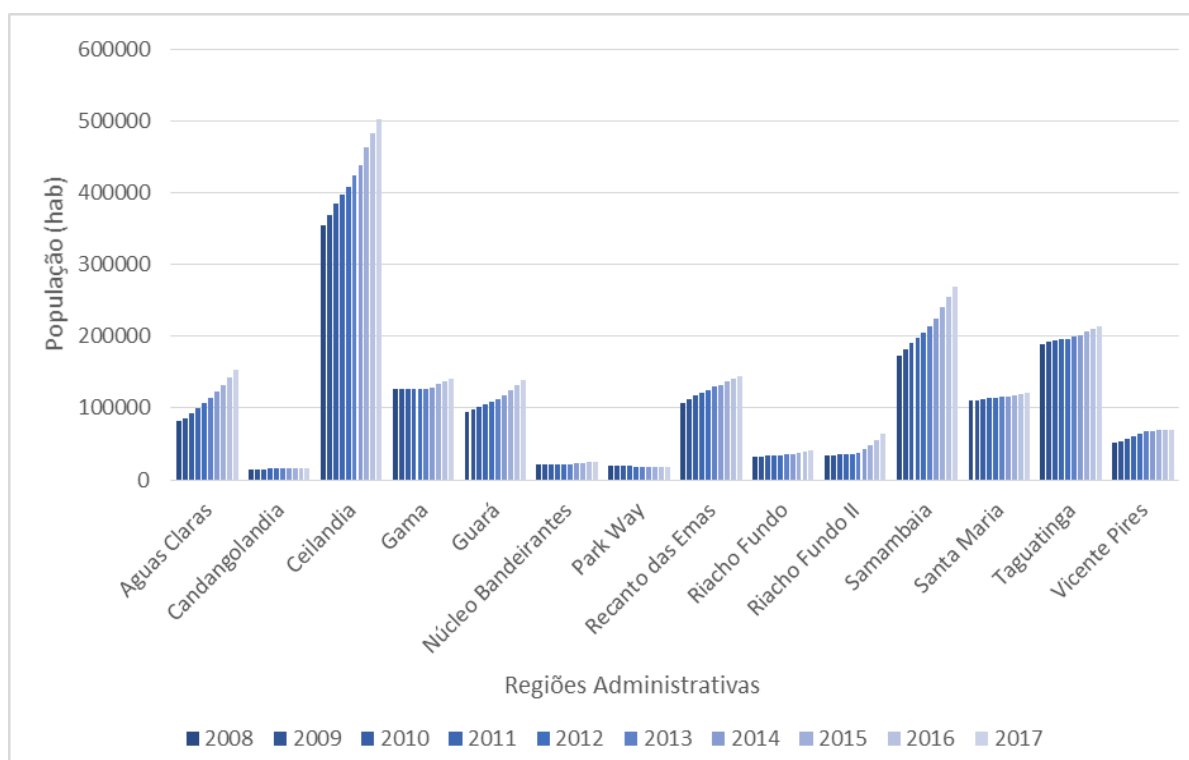
Ao analisar as demandas das regiões administrativas, percebe-se que as RAs com maior demanda de água são a Ceilândia (média anual de 21,9 hm³), seguida por Taguatinga (média anual de 14,5 hm³). A demanda depende da população e do consumo per capita. Dessa forma, uma RA com maiores consumos per capita não necessariamente apresentará as maiores demandas totais. As RAs ParkWay, Águas Claras e Vicente Pires apresentam, respectivamente, os maiores índices de consumo per capita, no entanto não se destacam quanto as maiores demandas totais. No caso de população, as duas RAs com maiores demandas também se configuram nas duas maiores RAs em termos de população total.

Na Figura 31 e na Figura 32 observa-se o comportamento temporal dos consumos per capita e crescimento populacional por região administrativa. Nota-se que os consumos per capita possuem tendência de decréscimo em quase todas as RAs. Da mesma forma, esse comportamento foi observado por CODEPLAN (2018), ao qual foram atribuídas causas como contração na renda, majoração na tarifa e queda na atividade econômica. Já em termos de população, todas RAs apresentam aumento no número de habitantes, alguns mais e outros menos expressivos.

Figura 31. Consumo *per capita* por região administrativa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32. População total por região administrativa



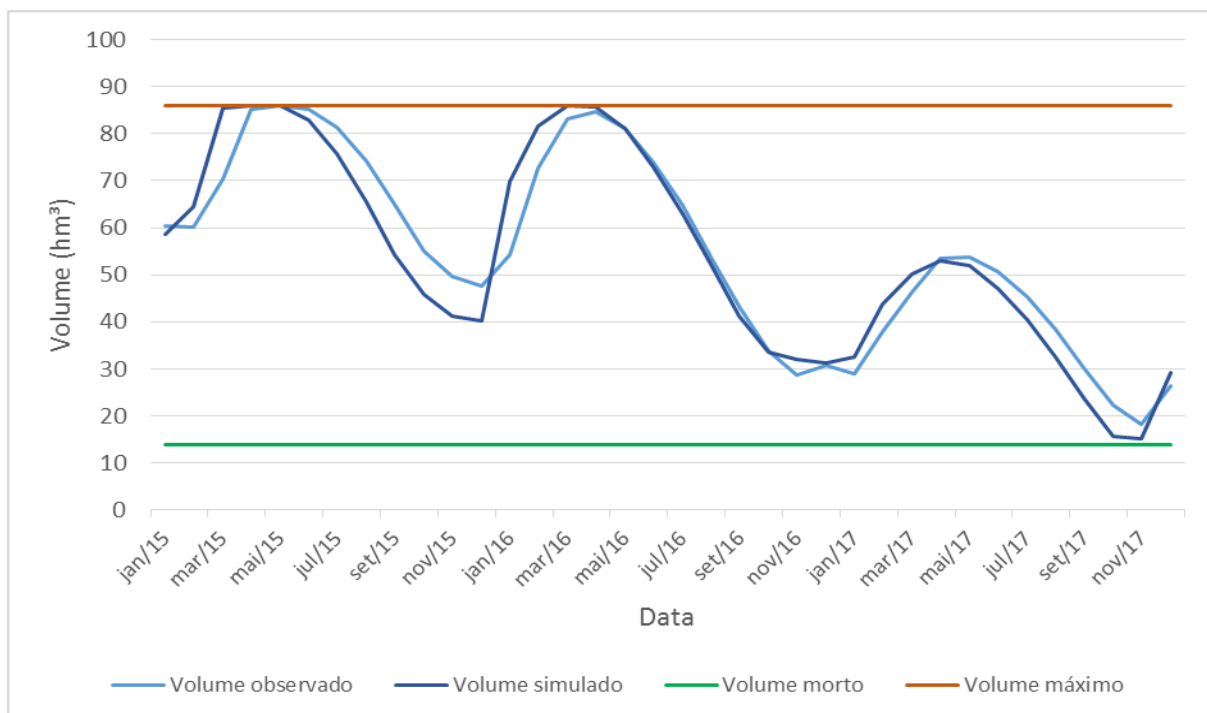
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao considerar apenas o período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017, visualizado através da Figura 33, é possível notar comportamento do reservatório distinto do restante da série simulada, mostrando-se vulnerável à situação de escassez hídrica. O volume total do reservatório sofre um decréscimo atípico no período de abril de 2016 a dezembro do mesmo ano, partindo de 85,99 hm³ e atingindo 31,31 hm³. No mês de setembro, no qual foi publicada a situação crítica de crise hídrica no Distrito Federal, o reservatório apresentava volume equivalente a 38,6 hm³.

Apesar dos esforços realizados para a implementação de medidas emergenciais para o enfrentamento da crise que puderam atenuar os efeitos da crise, a recuperação dos níveis de água do reservatório foi baixa, atingindo volume total máximo de 53 hm³ em abril de 2017 (61% do volume total de 85,99 hm³ e 54% do volume útil de 72,22 hm³). Após, há novo decréscimo no volume, até atingir 15,8 hm³ em outubro, equivalente a 18% do volume total e 5% do volume útil do reservatório, e apenas 2 hm³ a mais do que o volume morto (13,77 hm³). Esse valor pode ser justificado em função da baixa pluviosidade e das baixas vazões afluentes ao reservatório nesses meses – conforme mostrado anteriormente.

Ao comparar com os dados observados, o volume mínimo observado em outubro representa 25% do volume total e 11% do volume útil. Além disso, percebe-se diferenças entre o dado simulado e observado no segundo semestre de 2017. Tal diferença pode ser justificada pela forma com que foram inseridas as restrições de captação pela CAESB no modelo WEAP ou em função de outras importantes medidas adotadas pela companhia de saneamento, além das consideradas na elaboração do modelo, tais como as obras de captação emergencial e de transferência de água do sistema Torto-Santa Maria para o Descoberto, que tenham contribuído positivamente para a recuperação do reservatório em estudo.

Figura 33. Volume morto, volume máximo e volume acumulado 2015-2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Agrupamento de Cenários 1 - Alterações nas medidas de enfrentamento à crise hídrica

Cenário 1a - Sem a implementação de medidas de enfrentamento

Segundo as hipóteses assumidas para a elaboração deste cenário, a não implementação das principais medidas de enfrentamento à crise hídrica resultaria em o reservatório atingindo níveis equivalentes ao do volume morto ainda no início do ano de 2017 (Figura 34). As chuvas e vazões afluentes ao reservatório, mesmo no período chuvoso de novembro de 2016 a abril de 2017, não teriam sido o suficiente para que o reservatório se recuperasse.

Os volumes totais do reservatório sofrem um decréscimo nos meses de abril a dezembro de 2016, partindo de 85,99 hm³ e atingindo 14,4 hm³. No mês de janeiro de 2017 o reservatório atinge a cota do volume morto (1021m, 13,77 hm³). Os volumes atingem o valor de 23 hm³ nos meses de fevereiro, março e abril do mesmo ano e retornam ao volume morto nos meses seguintes, apresentando recuperação apenas no mês de dezembro de 2017 (24 hm³).

Em termos de atendimento de demanda, mesmo com os baixos níveis do reservatório, 80% da demanda seria atendida no mês de janeiro de 2017. Situações mais críticas são visualizadas a partir do mês de junho de 2017, quando 24% da demanda é atendida. Nos meses de setembro e outubro 0% da demanda seria atendida (Figura 35). Ou seja, as regiões administrativas abastecidas pelo Descoberto poderiam vir a ficar totalmente sem acesso à água.

No mês de dezembro de 2017, as chuvas e vazões afluentes ao reservatório seriam o suficiente para voltar a atender a demanda e a recuperar os volumes do reservatório em 10 hm³ a mais do volume morto de 13,77 hm³, o equivalente a 23,77 hm³.

Essa simulação demonstra que as medidas de enfrentamento à crise hídrica elaboradas e implementadas de forma conjunta e com competência técnica pela CAESB, ADASA e demais setores usuários de água do Descoberto foram essenciais para a manutenção do sistema e de sua recuperação nos meses seguintes. Mesmo que determinados usuários de água tenham permanecido por certo período sem a quantidade total de água que estavam habituados a receber, essas medidas foram suficientes para que, em um primeiro momento, o sistema pudesse se recuperar sem enfrentar situações extremas, como o total desabastecimento de água.

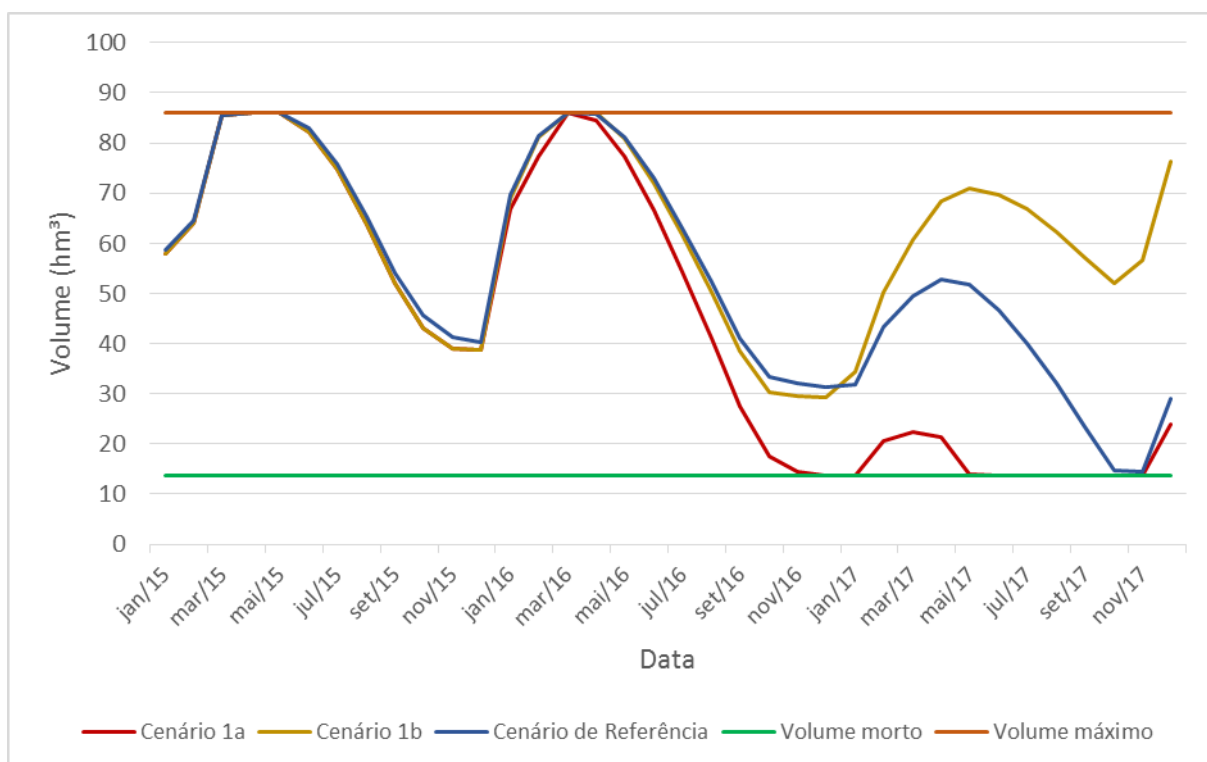
Cenário 1b: Implementação de racionamento com interrupções de 48h no abastecimento de água

Na hipótese de o racionamento ter sido implementado, desde o seu início (janeiro de 2017), com interrupções de 48 horas, os volumes armazenados no reservatório teriam seguido a tendência visualizada através da Figura 34. O volume mínimo ocorreria em dezembro de 2016, atingindo 31,3 hm³ e representando 36% do volume total e 24% do volume útil. Após atingir esse valor mínimo, o reservatório apresenta recuperação, com volume de 72,3 hm³ em abril de 2017, após o período de chuvas e com maior restrição aos usos pela população com menor vazão sendo captada pela CAESB. Em seguida, o reservatório se mantém com volumes consideravelmente superiores ao volume morto. No mês de outubro de 2017 não é observada queda significativa nos volumes, como nos demais cenários analisados. Ao final de 2017, o reservatório estaria em condições adequadas para um possível encerramento do sistema de rodízio, voltando a se comportar como no restante do período de dados simulado (2008 a 2015).

Em termos de volumes acumulados no reservatório, o rodízio de 48 horas se apresenta como uma solução com bons resultados em menor tempo do que o rodízio de 24 horas e do que os demais cenários propostos por este estudo. No entanto, ao analisar o *coverage*, a demanda urbana seria atendida em, no mínimo, 43% (Figura 35). Ou seja, a recuperação dos níveis do reservatório, que reduz o risco de um desabastecimento mais severo, custaria à população um menor acesso à água para as suas atividades diárias durante o período de implementação do rodízio. Essa situação poderia trazer, de modo imediato, maiores impactos sociais e econômicos diretos do que um sistema de rodízio com menor tempo de interrupções. Entretanto, quanto a redução no risco, não avaliada aqui, também tem o potencial de reduzir impactos possíveis futuros.

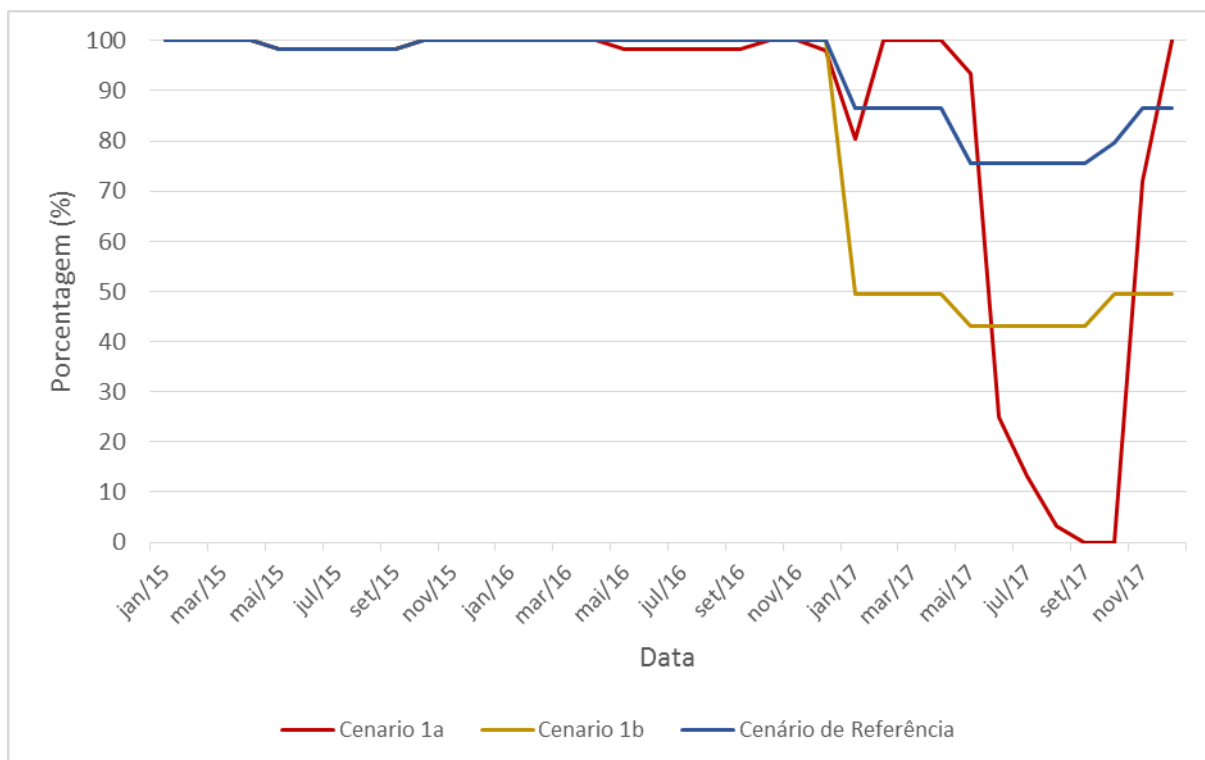
A vazão média mensal captada pela CAESB nesse período de rodízio permaneceria em torno de 2,2 m³/s. Esse valor representa menos da metade da vazão captada pela companhia em condições normais de abastecimento (4,8 m³/s, simulada no cenário de referência).

Figura 34. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 1a e 1b, 2015-2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 1a e 1b, 2015-2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 35 é possível perceber um claro *trade-off* entre os cenários 1a e 1b. Enquanto que em 1a é mantido um atendimento entre 80% e 100% até aproximadamente maio de 2017, seguido de uma redução extremamente severa a partir de julho de 2017, em 1b a redução já se inicia antes - atendimento cai para 50% em janeiro de 2017. Porém, a água poupada no reservatório evita a falta completa de água a partir de setembro de 2017, mantendo-se entre 40% e 50% de atendimento até o final do ano. Considerando que as perdas, danos e prejuízos da seca via de regra são funções não lineares da redução no atendimento, o cenário 1b pode ser considerado o melhor dentre os dois cenários deste agrupamento.

5.3 Agrupamento de Cenários 2 - Aumento na eficiência de sistemas de irrigação

Cenário 2a- Adesão de 100% dos irrigantes ao gotejamento

Nesse cenário, a implementação de sistemas de gotejamento teria sido aderida, idealmente, por 100% dos agricultores. Em termos de vazões afluentes, o reservatório do Descoberto é beneficiado. O volume de água retirado pelos irrigantes

diminuiria pela metade e essa água ficaria disponível para outros usos. Nesse caso, considerou-se que essa água não seria disponibilizada para novos usos a montante do reservatório e que continuaria nos corpos d'água até atingir o reservatório, aumentando o volume de água afluente a este. Nesse caso, os volumes afluentes ao reservatório aumentariam em, aproximadamente, 17 hm³ por ano (0,5 m³/s).

Os volumes do reservatório apresentam queda a partir do mês de abril até o mês de setembro de 2016 (Figura 36). No entanto, de setembro a novembro o reservatório se manteria em 46 hm³, 8 hm³ a mais do que no cenário de referência. No mês de abril de 2017, o reservatório apresentaria volumes mais próximos aos do restante da série de dados, atingindo volume de 70,3 hm³. Ainda, em outubro de 2017, mês mais crítico da simulação, o volume atingiria 38,2 hm³, sendo 24 hm³ o volume útil, 22 hm³ a mais do que o cenário de referência. Ao final da série, os volumes se mantêm acima do cenário de referência, porém ainda baixos, indicando risco para o ano seguinte e baixa segurança hídrica para o sistema.

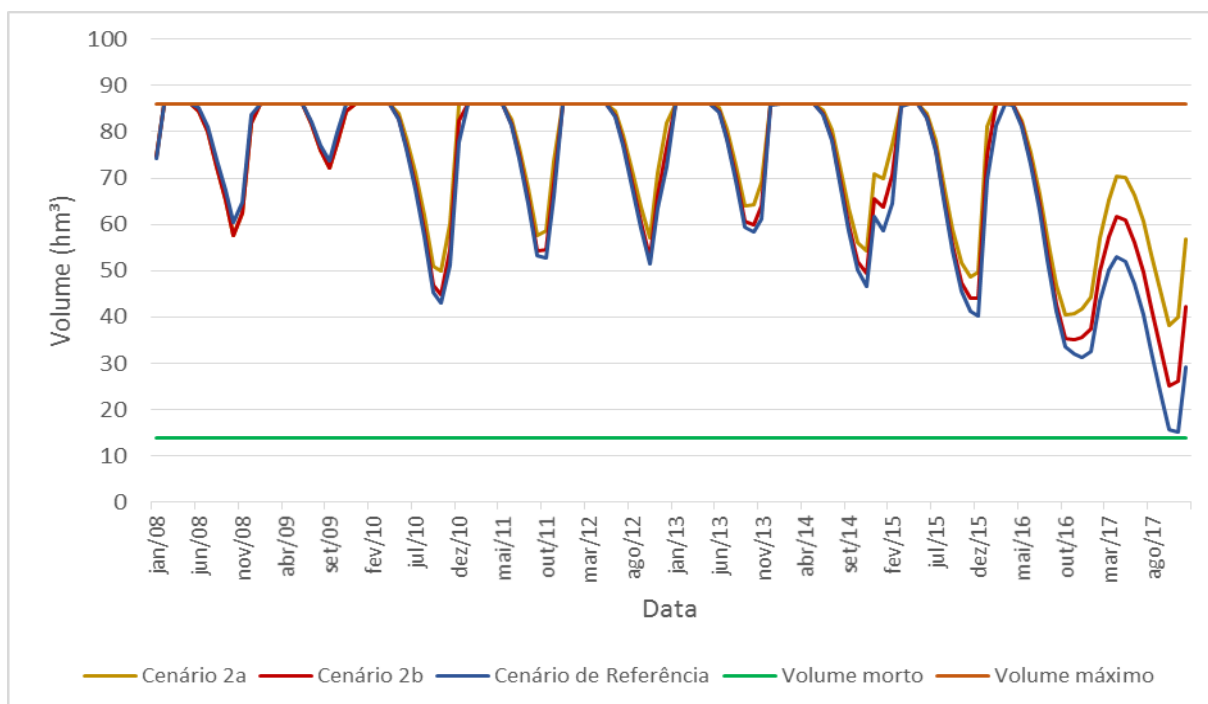
Cenário 2b - Adesão de 50% dos irrigantes ao gotejamento

Nesse caso, em que 50% dos irrigantes implementariam o gotejamento e os outros 50% manteriam a irrigação por aspersão, os volumes afluentes ao reservatório aumentariam em, aproximadamente, 8 hm³ por ano (0,2 m³/s).

Os volumes acumulados no reservatório estariam próximos aos do cenário de referência. No entanto, em setembro de 2016 os volumes ficariam na ordem de 41 hm³, 3 hm³ a mais do que o cenário de referência. No mês de abril de 2017, o reservatório apresentaria volume de 61,8 hm³. Novamente, o mês mais crítico da simulação é outubro de 2017, no qual o volume atingiria 25,2 hm³ e volume útil de 12 hm³, 10 hm³ a mais que o cenário de referência. Assim como Cenário 2a, ao final da série, os volumes se mantêm baixos.

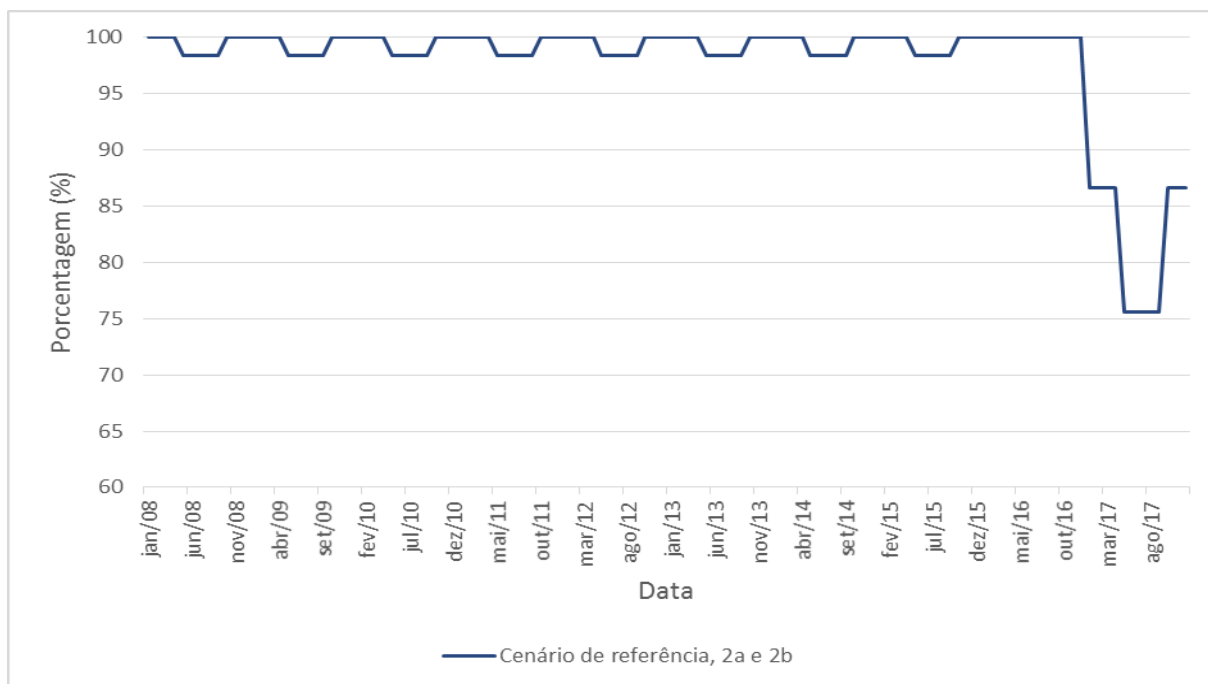
Tanto no Cenário 2a quanto no Cenário 2b, as medidas de melhoria de eficiência nos sistemas de irrigação contribuem para maior acúmulo de água no reservatório quando em substituição às medidas de restrição impostas aos irrigantes consideradas no cenário de referência. Ainda, para ambos cenários desse agrupamento, apesar da maior disponibilidade hídrica da bacia e maiores volumes acumulados no reservatório, a porcentagem de demanda atendida (*coverage*) se manteria igual ao cenário de referência em função da manutenção das restrições ao abastecimento público no modelo no WEAP (Figura 37).

Figura 36. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2008 a 2017.



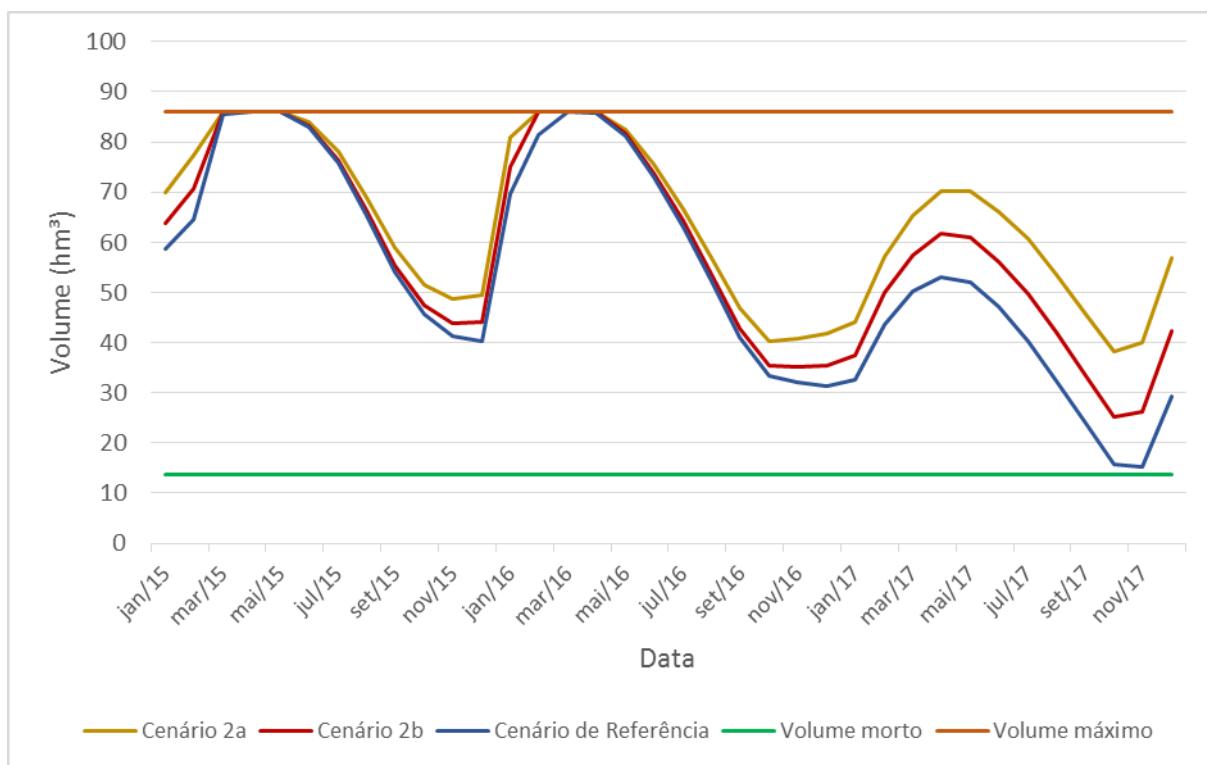
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2008 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2a e 2b, 2015-2017.

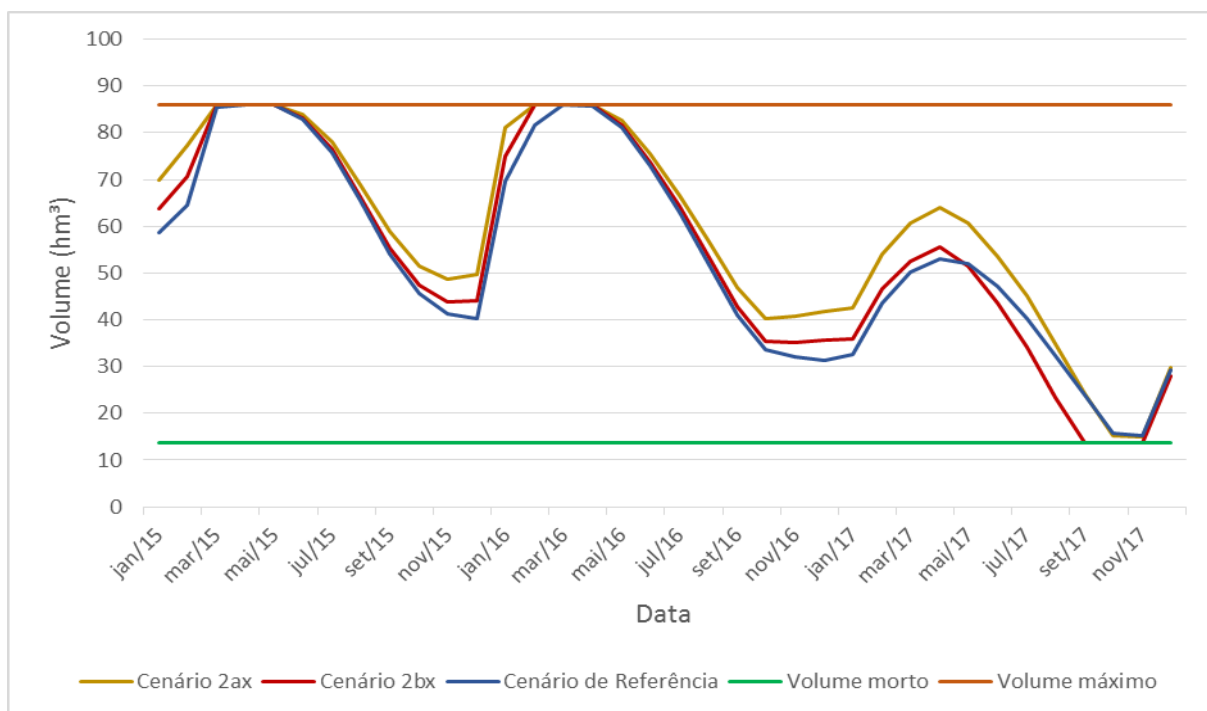


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em função do resultado obtido para o *coverage*, optou-se por simular os Cenários 2a e 2b sem a implementação do sistema de rodízio no abastecimento de água, aqui denominados por 2ax e 2bx. No Cenário 2ax, o reservatório permanece com volumes superiores ao cenário de referência na maior parte do período de crise. No entanto, há uma queda nos volumes a partir de abril de 2017, atingindo valores próximos ao volume morto em outubro de 2017 – 15,5 hm³. No Cenário 2bx, por sua vez, atinge-se o volume morto durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2017 (Figura 39). Da mesma forma que nos cenários 2a e 2b, o reservatório chega no final da série com volumes baixos, indicando risco para o sistema no ano seguinte.

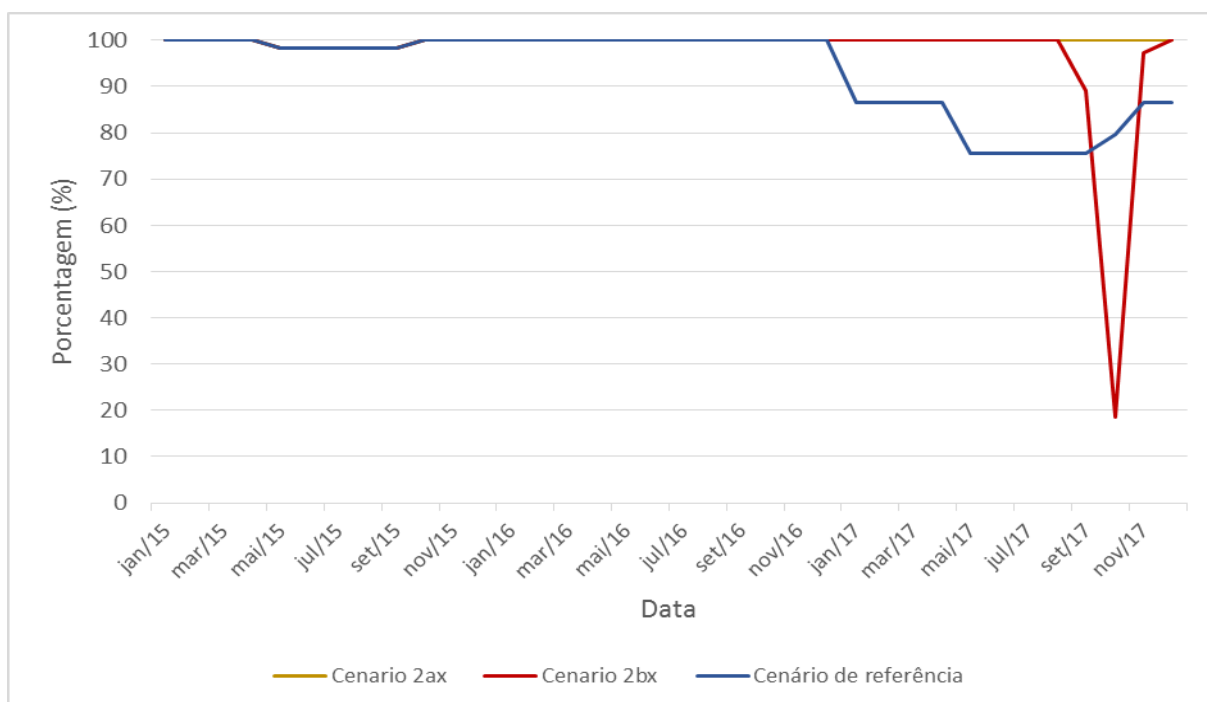
Nesse caso, o volume de água afluente ao reservatório no Cenário 2ax seria o suficiente para manter 100% de *coverage*, mesmo no período de crise hídrica. Por outro lado, o Cenário 2bx atenderia 100% das demandas com exceção dos meses de setembro e outubro de 2017, nos quais atingiria valores de 89% e 18,5%. Os resultados podem ser visualizados na Figura 41.

Figura 39. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 2ax e 2bx, sem sistema de rodízio, 2015-2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 2ax e 2bx, sem sistema de rodízio, 2015 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4. Agrupamento de Cenários 3 - Implementação de medidas de conservação de água nas residências abastecidas pelo Descoberto

Cenário 3a - Adesão de 100% das residências às medidas de conservação

Neste cenário, a população consumiria menor volume de água proveniente da companhia de saneamento, em função de usar água de reuso ou de aproveitamento da água da chuva para usos menos nobres em suas residências. As demandas de água urbana na situação atual e com a implementação desses sistemas, assim como as suas diferenças, podem ser visualizadas no Quadro 17.

O volume de água não consumido corresponde a, aproximadamente, 10% do volume total consumido sem a implementação de medidas de conservação de água nos anos de 2016 e 2017. Em função da diminuição no consumo de água, a receita da CAESB sofreria um decréscimo. No entanto, a companhia economizaria com o tratamento de água e esgoto.

Quadro 17. Demanda de água atual e com implementação de medidas de conservação (Cenário 3a).

Ano	Demanda urbana (hm ³)	Demanda urbana com 100% de implementação de medidas de conservação nas residências (hm ³)	Diminuição na demanda (hm ³)
2008	114,3	114,3	0,0
2009	115,8	115,8	0,0
2010	115,7	113,4	2,4
2011	115,6	113,2	2,3
2012	115,3	113,0	2,3
2013	114,9	109,5	5,5
2014	115,2	109,8	5,4
2015	115,3	110,1	5,2
2016	115,3	105,6	9,6
2017	115,2	105,8	9,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os efeitos da implementação dessa medida começam a influenciar nos volumes acumulados no reservatório a partir do ano de 2015 (Figura 41). Neste cenário, ocorreria situação crítica nos meses de outubro e novembro de 2017, no qual o volume atingiria 13,8 hm³ - volume morto. No mês de dezembro, a recuperação do

reservatório apresenta uma melhora, atingindo o volume de 27,3 hm³. No ano de 2017, a melhor recuperação do volume do reservatório é identificada no mês de abril (52,2 hm³).

Ao analisar a porcentagem de demanda atendida, nos anos de 2016 e 2017, percebe-se que apenas no mês de outubro a demanda não é atendida em 100% (Figura 42). Nesse mês, o reservatório atinge nível equivalente ao do volume morto, a partir do qual não é mais permitida a captação de água, fornecendo água para atendimento de 22% da demanda urbana total.

Cenário 3b - Adesão de 50% das residências às medidas de conservação

Neste cenário, assim como no Cenário 3a, a população consumiria menor volume de água proveniente da companhia de saneamento, em função de usar água de reuso ou de aproveitamento da água da chuva para usos menos nobres em suas residências. No entanto, o volume não consumido corresponderia a metade do volume não consumido simulado pelo Cenário 3a. As demandas de água urbana na situação atual e com a implementação desses sistemas podem ser visualizadas no Quadro 18.

Quadro 18. Demanda de água atual e com implementação de medidas de conservação (Cenário 3b).

Ano	Demanda urbana (hm³)	Demanda urbana com 50% de implementação de medidas de conservação nas residências (hm³)	Diminuição na demanda (hm³)
2008	114,3	114,3	0,0
2009	115,8	115,8	0,0
2010	115,7	113,5	2,2
2011	115,6	113,4	2,2
2012	115,3	113,2	2,1
2013	114,9	111,0	4,0
2014	115,2	111,2	3,9
2015	115,3	111,4	3,9
2016	115,3	110,6	4,7
2017	115,2	110,7	4,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste cenário, ocorreria situação crítica nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2017, nos quais o volume atingiria 13,8 hm³ - volume morto. No mês de dezembro, a recuperação do reservatório apresenta uma melhora,

atingindo o volume de 26,8 hm³, ligeiramente inferior ao obtido no cenário 3a (27,3 hm³). No ano de 2017, a melhor recuperação do volume do reservatório é identificada no mês de abril (45,6 hm³).

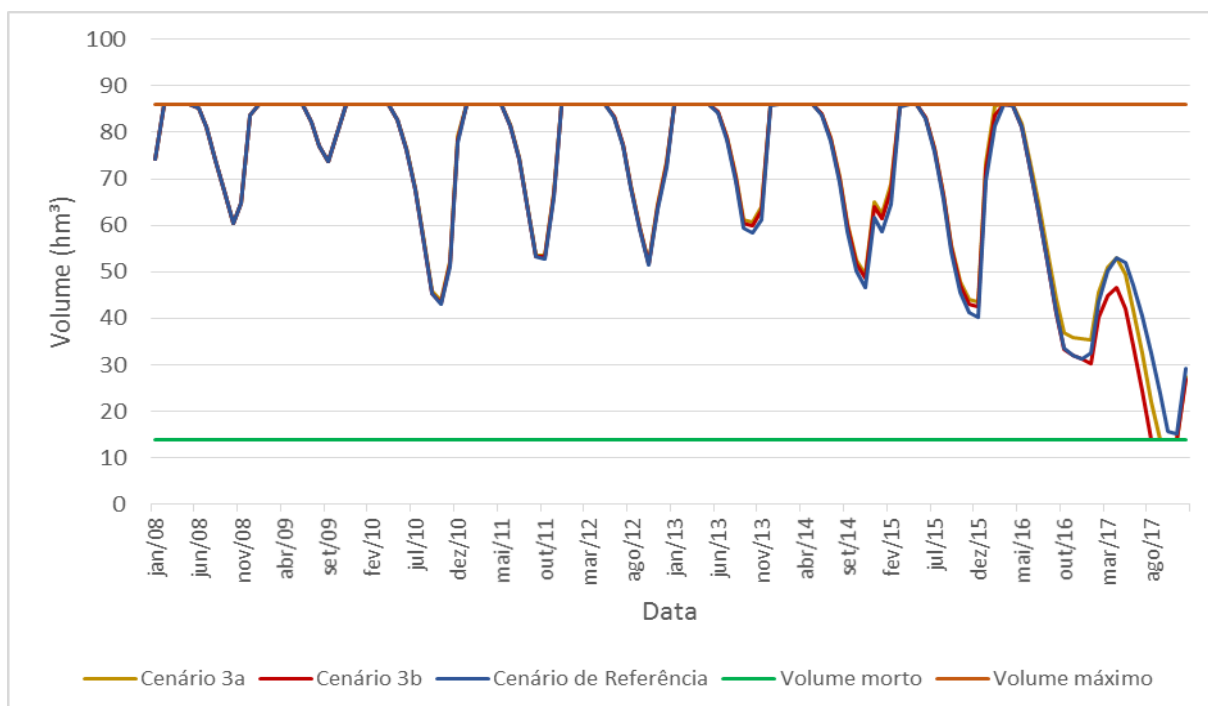
Ao analisar a porcentagem de demanda atendida, nos anos de 2016 e 2017, percebe-se que nos meses de setembro a novembro a demanda não é atendida em 100%. Nesses meses, o reservatório atinge nível equivalente ao do volume morto, fornecendo água para atendimento de, respectivamente, 13,5%, 15,2% e 87% da demanda urbana total.

Em função dos valores observados de atendimento de demanda de água (*coverage*) no último trimestre de 2017, para ambos cenários desse agrupamento, a implementação das medidas de conservação de água em residências não substituiria as medidas emergenciais implementadas no cenário de referência. Observa-se, ainda, que não há recuperação do reservatório em níveis semelhantes aos atingidos nos anos de normalidade de operação do sistema (2008 a 2015). Ainda, no mês de dezembro de 2017, os volumes se mantêm baixos, indicando risco para o ano seguinte e baixa segurança hídrica para o sistema.

Sugere-se, portanto, para esse agrupamento de cenários que, principalmente nos meses em que a demanda não é atendida em 100%, deveriam ser implementadas outras medidas conjuntas de adaptação para redução do consumo ou aumento da oferta visando a segurança hídrica do sistema.

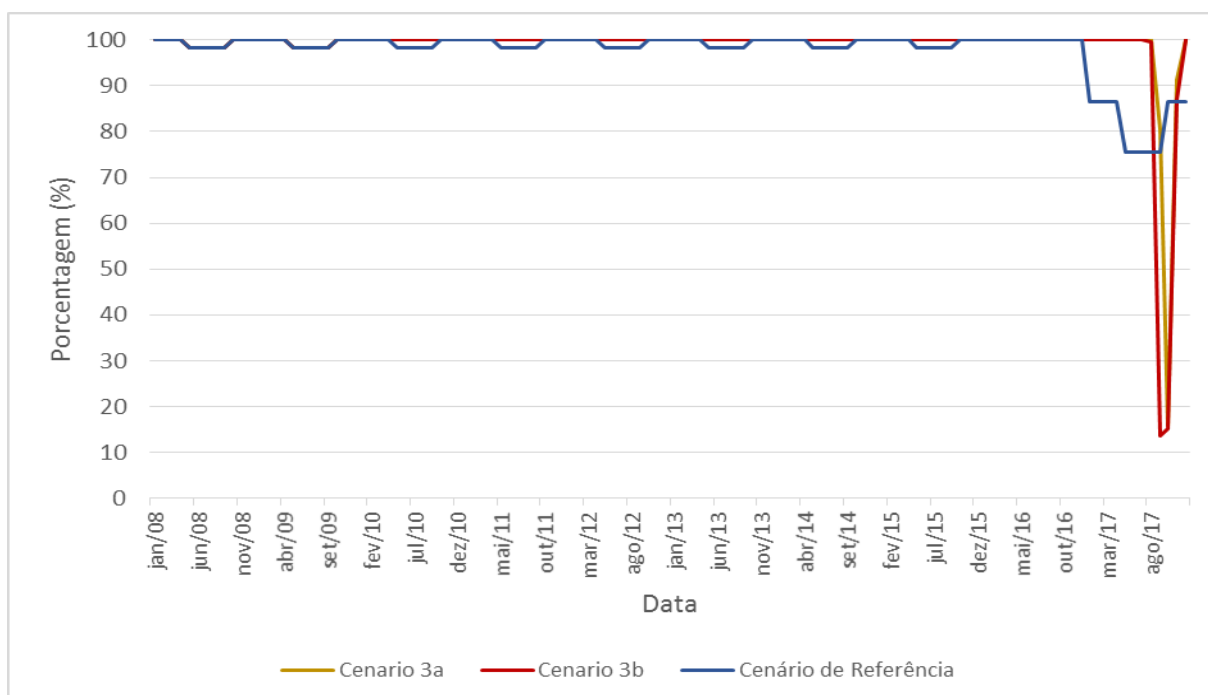
As comparações entre os volumes do reservatório e a porcentagem de demanda urbana atendida (*coverage*) no cenário de referência e nestes cenários está disposta na Figura 41 e na Figura 42. Além disso, para melhor visualização dos resultados essas comparações são mostradas apenas para os anos 2015 e 2017 (Figura 43 e Figura 44).

Figura 41. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2008 a 2017.



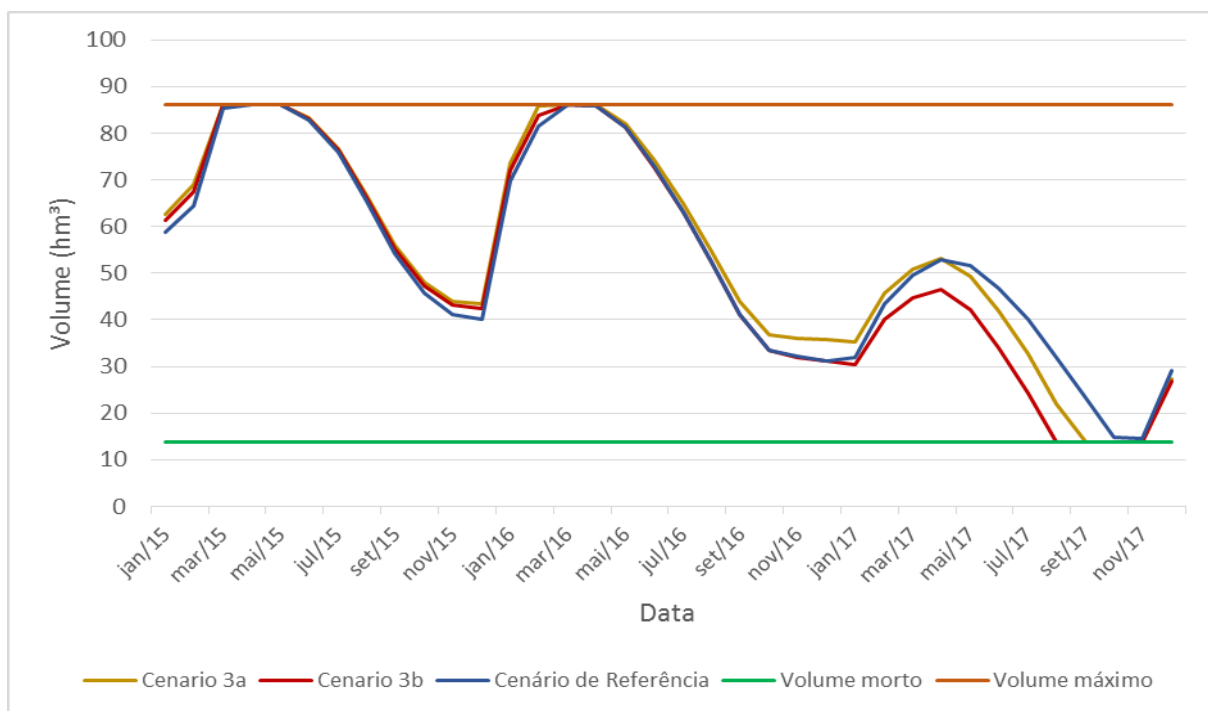
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2008 e 2017.



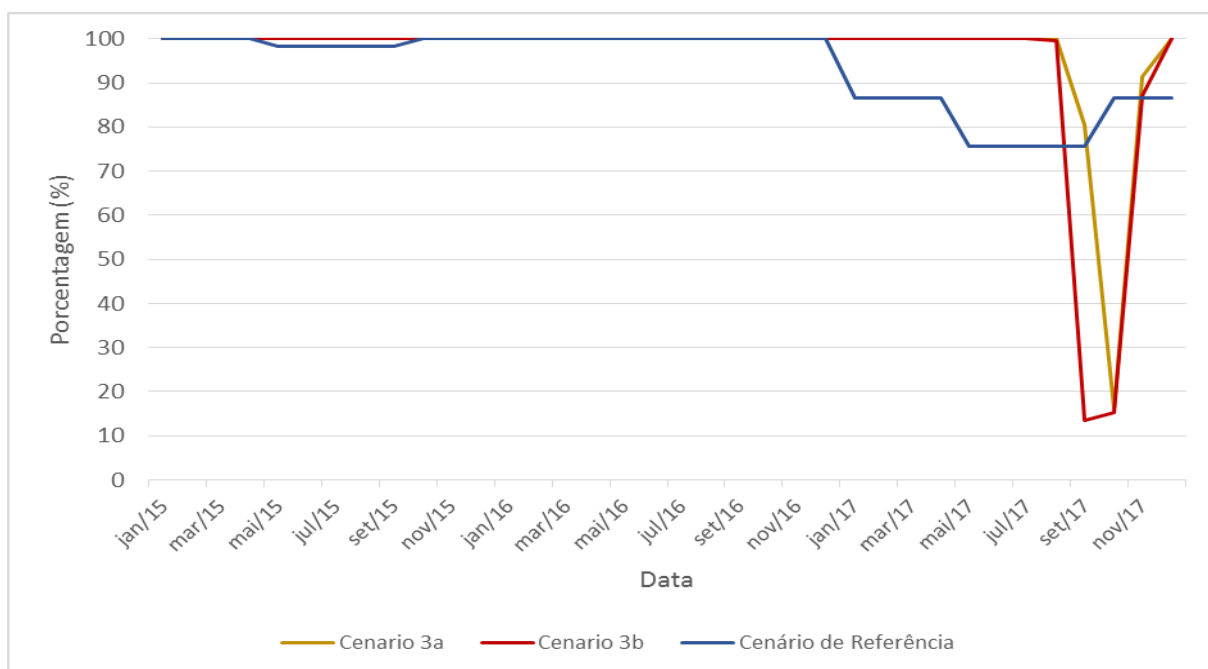
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2015 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 3a e 3b, 2015 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Agrupamento de Cenários 4 - Redução das perdas de água no Sistema Descoberto

Cenário 4a – Perdas de água no Sistema Descoberto equivalentes a 15%

Neste cenário, as perdas no sistema de distribuição teriam diminuído em torno de 20% em relação a situação real do sistema Descoberto. A diminuição nos volumes perdidos faria com que menor vazão tivesse que ser captada do reservatório para vencer as perdas no sistema e suprir o atendimento da demanda urbana. Nesse caso, a vazão média mensal captada pela CAESB seria em torno de 4,0 m³/s, com mínimas de 3,9 m³/s e máximas de 4,3 m³/s, frente às vazões mensais captadas em situações de normalidade de operação do sistema no cenário de referência de 4,8 m³/s, 4,1 m³/s e 5,3 m³/s, respectivamente, para média, mínima e máxima.

O comportamento temporal dos volumes deste cenário é similar ao cenário de referência, com melhores resultados no período de 2015 a junho de 2017 (Figura 45). No entanto, o reservatório atingiria o volume morto nos meses de setembro, outubro e novembro de 2017. Ainda, ao observar a porcentagem de demanda atendida (*coverage*), Figura 46, 96% da demanda teria sido atendida nos meses de setembro e novembro e apenas 16% no mês de outubro de 2017.

A implementação dessa medida alternativa de diminuição de perdas na rede de forma isolada à outras medidas não apresenta condições de substituir as medidas emergenciais implementadas no período de crise, em função de o sistema ainda apresentar falha no mês de outubro de 2017. Sugere-se que, de forma similar aos Cenários 3a e 3b, deveriam ser implementadas, de forma conjunta, outras medidas de adaptação para redução do consumo e/ou aumento da oferta de água.

Cenário 4b - Perdas de água no Sistema Descoberto equivalentes a 25%

Neste cenário, as perdas no sistema de distribuição teriam diminuído em torno de 10% em relação a situação real do sistema Descoberto. A diminuição nas perdas faria com que menor vazão tivesse que ser captada do reservatório para vencer as perdas no sistema e suprir o atendimento da demanda urbana. Nesse caso, a vazão média mensal captada pela CAESB no período de crise seria em torno de 4,3 m³/s, com mínimas de 4,1 m³/s e máximas de 4,6 m³/s.

Os volumes deste cenário permanecem inferiores aos cenários de referência e ao Cenário 4a (Figura 45). Além disso, o reservatório atingiria o volume morto (13,77 hm³) nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2017.

Ainda, ao observar a porcentagem de demanda atendida (*Coverage*), Figura 46, 100% da demanda teria sido atendida no mês de agosto, 13% em setembro, 15% em outubro e 87% em novembro de 2017, retornando a 100% em dezembro do mesmo ano. Sugere-se que, de forma similar ao Cenário 4a, deveriam ser implementadas, de forma conjunta, outras medidas de adaptação para redução do consumo e/ou aumento de oferta de água.

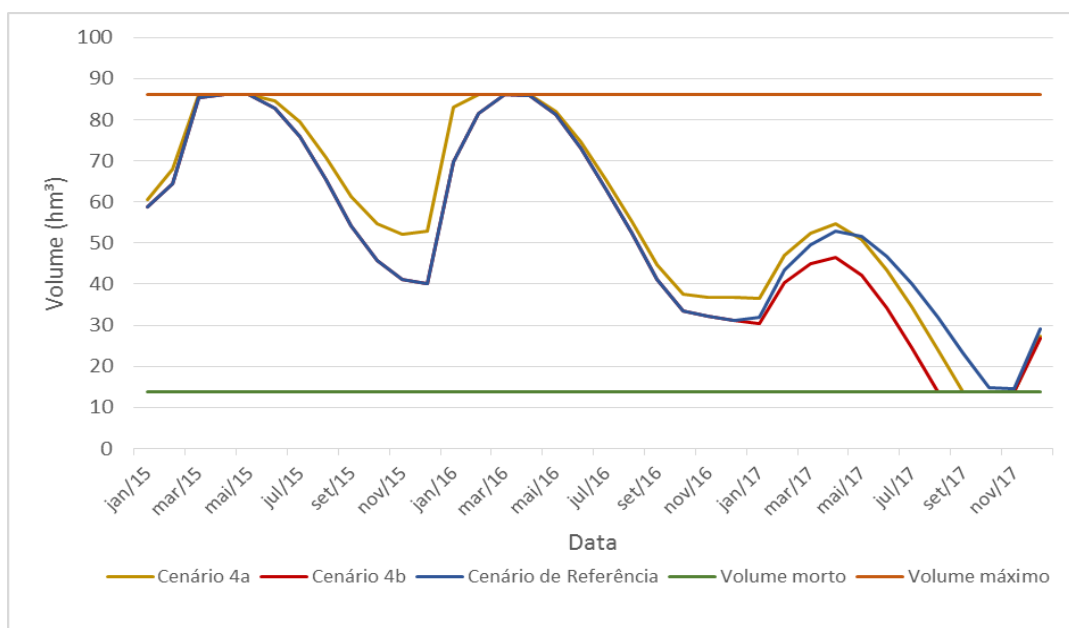
Algumas considerações podem ser realizadas em conjunto para os dois cenários simulados nesse agrupamento. A diminuição das perdas nos sistemas pode trazer impactos positivos para o meio ambiente e para a receita operacional e custos de produção da companhia de saneamento. Nesse caso, seria necessária captação de menor vazão do reservatório para atendimento da demanda, em função de menor quantidade de água estar sendo perdida na rede. O volume de água anual não retirado do reservatório em função das melhorias no sistema no Cenário 4a seria da ordem de 28 hm³, o que representa 20% do volume médio anual captado pela configuração atual – desconsiderando restrições do período de crise hídrica. No Cenário 4b, a economia seria de 14 hm³, representando 10% do volume médio anual captado atualmente, sem considerar restrições ao abastecimento.

Ainda, no caso de perdas físicas, a companhia não precisaria gastar com tratamento de volumes de água que não cumpre com a sua finalidade e não chegam no consumidor final. No caso das perdas aparentes, a companhia teria maior controle dos volumes produzidos e não faturados e, por consequência, da receita. De outra forma, o volume de água captado e tratado perdido poderia estar sendo realocado e utilizado para atendimento de novas demandas, sem a necessidade de a companhia buscar por novas fontes de abastecimento. A longevidade do sistema atual seria aumentada.

No caso do Cenário 4a, os 28 hm³ economizados anualmente por maior eficiência do sistema seriam suficientes para atender a demanda urbana anual de duas novas regiões com as mesmas características populacionais e de consumo da RA Taguatinga – no caso de situações de não escassez do recurso hídrico. Quanto ao Cenário 3b, por ser a metade do volume economizado, poderia atender a demanda de apenas uma nova região com as características dessa RA.

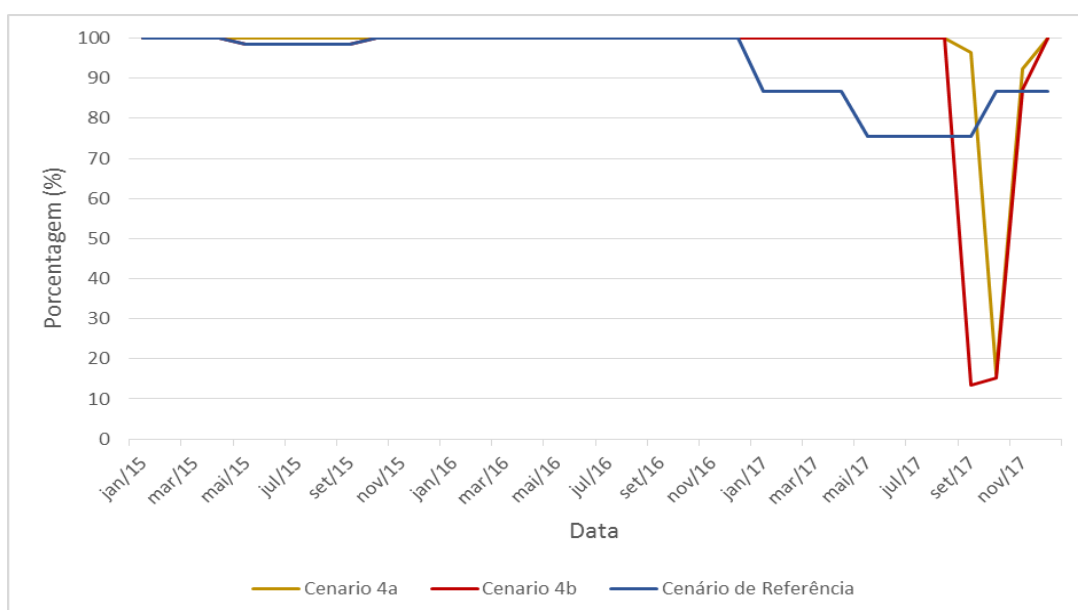
Ao analisar o final da série, assim como nos cenários anteriores, os cenários 4a e 4b apresentam volumes baixos no reservatório, indicando risco para o ano seguinte e baixa segurança hídrica para o sistema.

Figura 45. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 4a e 4b, 2015 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 46. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 4a e 4b, 2015 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Agrupamento de Cenários 5 – Aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Cenário 5a – Cenário ótimo em relação ao aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Neste cenário, observam-se os melhores resultados quanto à recuperação dos níveis do reservatório e da demanda atendida, quando comparado com demais cenários simulados por este estudo, diminuindo a vulnerabilidade do sistema à escassez hídrica. Esse resultado já era esperado, em função de representar a combinação entre os três cenários ótimos com relação à implementação de sistemas de irrigação mais eficientes, implementação de sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de água da chuva e da redução de perdas de água no sistema de abastecimento.

Destaca-se, porém, que esse cenário não representa um cenário real no contexto brasileiro e, em especial, no contexto do Descoberto, em função das suas exigências técnicas e econômicas. No entanto, a análise desses resultados é válida em função da mensuração das potenciais consequências provocadas pela utilização dessas medidas em substituição às medidas emergenciais adotadas.

Ao observar a curva dos volumes acumulados no reservatório do Descoberto (Figura 47) percebe-se que não teriam sido atingidos níveis críticos do reservatório. No mês de setembro de 2016, o volume se mantém em 54 hm³, similar ao restante da série de dados e superior ao do cenário de referência. A recuperação dos níveis do reservatório é mais próxima da normalidade da operação do reservatório, atingindo 82,3 hm³ em abril de 2017 – 4 hm³ a menos do que o volume máximo. No mês de outubro de 2017, no qual os volumes se mostraram bastante críticos nos demais cenários, o reservatório se mantém com 42,0 hm³ armazenados – 28 hm³ a mais do que o volume morto.

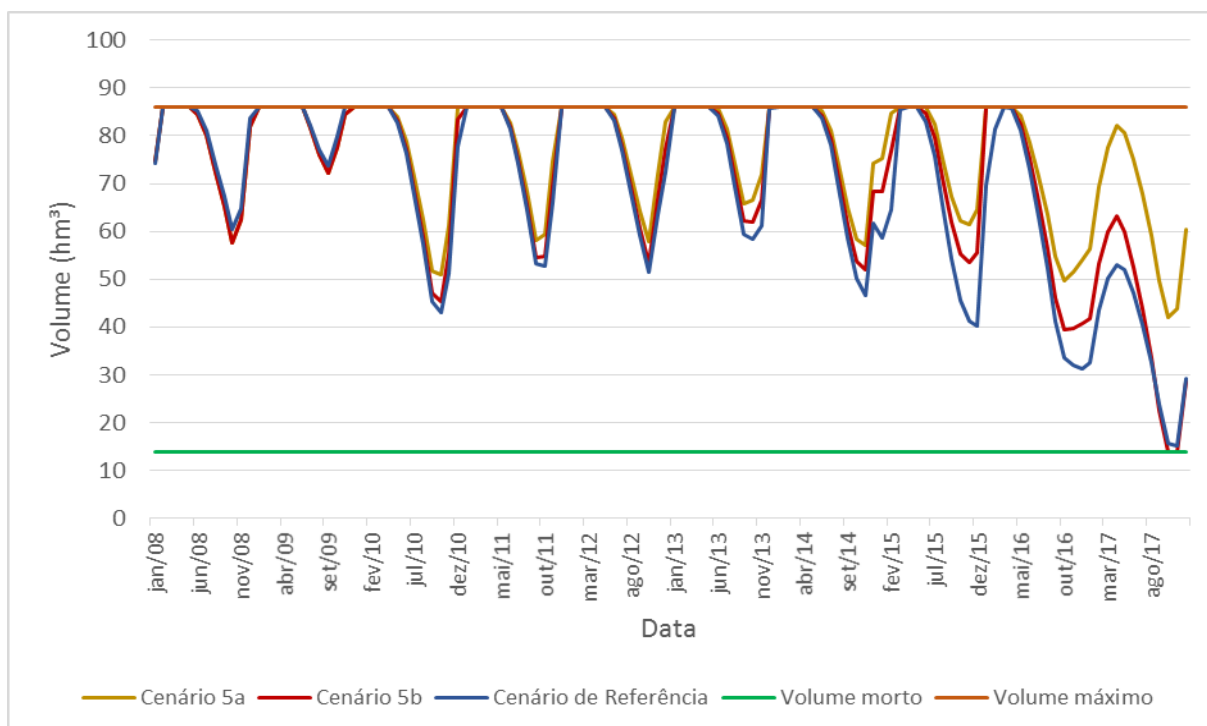
Cenário 5b – Cenário realista em relação ao aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto

Esse cenário se apresenta como mais realista quando comparado com o Cenário 5a. Ainda, apresenta-se como o mais adequado dentre os cenários, através do qual são eliminadas as medidas emergenciais e combinadas três medidas de uso racional da água nos diferentes setores usuários da bacia.

Os volumes do reservatório permanecem maiores do que o do cenário de referência na maior parte do período de crise, apresentando menor decréscimo nos meses de abril de 2016 a setembro de 2017 e maior recuperação no mês de abril de 2017, atingindo 63,3 hm³. No entanto, observa-se que, mesmo com a implementação dessas medidas, o reservatório atingiria o volume morto nos meses de outubro e novembro de 2017. Dessa forma, seriam necessárias, ainda, medidas emergenciais de curto prazo para manter os níveis do reservatório em condições favoráveis à segurança hídrica do sistema, em vista das incertezas futuras.

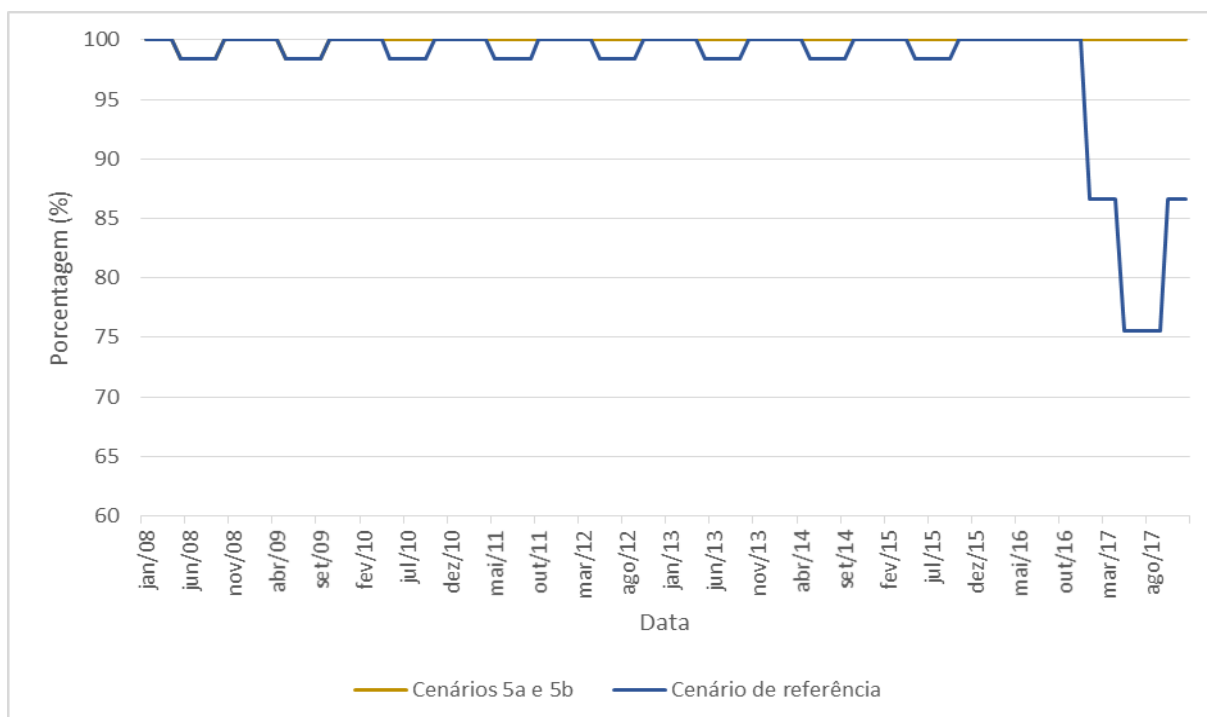
Para ambos cenários desse agrupamento nota-se que, nos anos anteriores à crise hídrica, o reservatório acumula maiores volumes nos meses secos e verte com maior frequência nos chuvosos. Além disso, a porcentagem de demanda atendida não é prejudicada em nenhum momento do período simulado, permanecendo em 100%, diferentemente do cenário de referência que atinge valores de 85% a 76% (Figura 48). No caso dos meses de outubro e novembro de 2017, mesmo com os níveis baixos de água no reservatório, os volumes de água acumulados no mês anterior e afluentes ao reservatório seriam o suficiente para suprir as demandas.

Figura 47. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2008 a 2017.



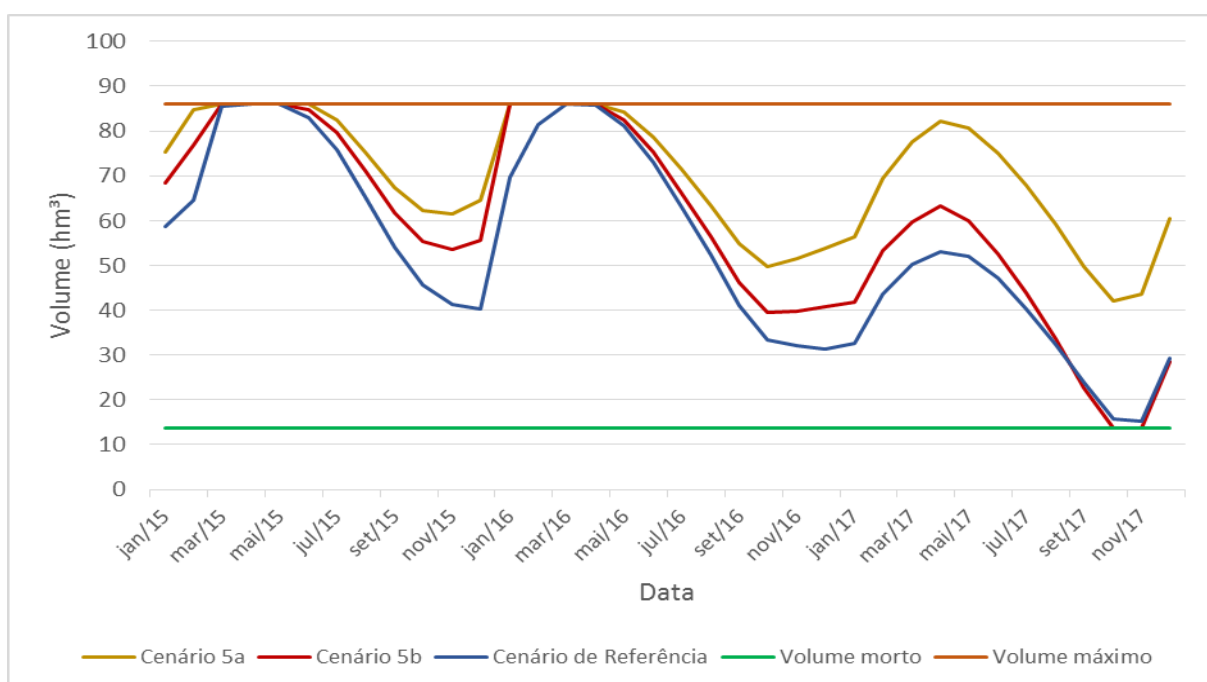
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48. Coverage, para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2009 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49. Volumes simulados para o Cenário de Referência e Cenários 5a e 5b, 2015 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário 5a se apresenta como o melhor cenário dentre os simulados, quando são levados em consideração os volumes acumulados no reservatório e o *coverage*. Porém, ressalta-se que esse é um cenário otimista cuja implementação na forma como aqui apresentada é incerta. O Cenário 5b, por sua vez, apresentou resultados satisfatórios quanto ao volume de água acumulado na maior parte do período analisado (janeiro de 2008 a setembro de 2017), com baixos volumes somente no último trimestre de 2017, o que não impediu que o *coverage* permanecesse em 100% durante todo o período analisado. Esses resultados teriam sido alcançados com a participação conjunta dos dois setores usuários mais representativos quanto ao uso da água na área de estudo e pela população. Para isso, estes usuários implementariam ações de conservação de água e estariam participando de um processo mais efetivo de gestão dos recursos hídricos do Sistema Descoberto.

Finalmente, embora os resultados para os cenários deste agrupamento apontem para um potencial caminho de adaptação mais vantajoso que a implementação exclusiva de medidas emergenciais, percebe-se que este ainda é insuficiente para resolver de forma definitiva o problema de abastecimento. No caso do Cenário 5a, os volumes armazenados são maiores que o do cenário de referência, no entanto ainda baixos quando comparados com a situação normal de operação, o que não é de todo inesperado em se tratando de um período de baixa precipitação e afluências. No Cenário 5b, por sua vez, o sistema finaliza o ano de 2017 com o mesmo nível de armazenamento no reservatório que o produzido pelo cenário de referência com as medidas emergenciais, e, portanto, com o mesmo nível de risco para a segurança hídrica do sistema para o ano seguinte. Dessa forma, as medidas dos Cenários 5a e 5b deveriam ser implementadas, ainda, em conjunto com outras estratégias de adaptação.

Destaca-se, nesse ponto, a necessidade de viabilidade ambiental, técnica e econômica para que essas ações sejam implementadas pelos usuários de água. Além disso, são necessárias campanhas educacionais para a conscientização sobre o uso da água e capacitação técnica dos usuários para a adoção dessas medidas. O desenvolvimento de políticas públicas, projetos de financiamento e incentivos fiscais também influenciam positivamente para que a implementação dessas medidas não faça parte apenas de etapas de planejamento, mas que sejam executadas na prática.

5.7. Síntese dos resultados dos agrupamentos de cenários propostos

As medidas de enfrentamento à crise implementadas com esforços conjuntos de gestores e usuários de água do Distrito Federal impediram que o reservatório atingisse o volume morto e que as regiões administrativas atendidas pelo reservatório do Descoberto pudessem sofrer com o desabastecimento de água. Os sistemas de rodízios com duração de 48h de interrupções no abastecimento, desde janeiro de 2017, teriam contribuído para a melhor recuperação do reservatório. Essa situação poderia trazer, de modo imediato, maiores impactos sociais e econômicos diretos do que um sistema de rodízio com menor tempo de interrupções (como o de 24h). Entretanto, quanto a redução no risco, não avaliada aqui, também tem o potencial de reduzir impactos possíveis futuros.

O mês de outubro de 2017 se apresentou como o mês mais crítico em relação aos volumes acumulados no reservatório e atendimento a demanda em quase a totalidade das simulações (com exceção dos cenários 1a e 1b). Observou-se que as vazões afluentes de 0,77 m³/s nesse mês e precipitação acumulada de 871 mm em 2016-2017 são inferiores às médias do restante da série de dados (1,91 m³/s e 1280 mm). O mês de abril de 2017, por outro lado, apresentou as melhores recuperações do reservatório durante o período de crise em todos os cenários.

Em termos de volumes acumulados no reservatório, o rodízio 48 horas, implementação de gotejamento 100% e a combinação otimista de medidas (100% gotejamento, 100% reuso e aproveitamento de água das chuvas e diminuição das perdas em 15%) apresentaram os maiores valores, enquanto que os cenários sem implementação das principais medidas, 50% de implementação de medidas de conservação em residências e diminuição de perdas em 25%, os menores.

No caso do *coverage*, os cenários de combinação das medidas (Agrupamento 5) e o cenário de implementação de 100% de gotejamento sem considerar o racionamento foram os únicos que permaneceram em 100% durante todo o período analisado. Os demais cenários apresentam falhas significativas no atendimento às demandas no período de crise, mesmo que em curto período.

Ao analisar esses dois resultados em conjunto (volumes e *coverage*), o cenário de combinação otimista de medidas (5a) apresenta os melhores valores. No entanto, como se trata de um cenário otimista cuja implementação é incerta, os resultados do cenário de combinação mais realista (5b) seriam uma possibilidade mais plausível.

No Quadro 19 estão dispostos, de forma resumida, alguns dos resultados referentes aos volumes acumulados no reservatório e ao *coverage*, obtidos para cada cenário alternativo proposto.

Quadro 19. Síntese dos resultados.

Agrupamento de cenários	Cenário	Volume total acumulado em abril de 2017 (hm³)	Volume total acumulado em outubro de 2017 (hm³)	Mês e ano mais críticos quanto ao atendimento de demandas	Porcentagem mais crítica quanto ao atendimento de demandas (%)
Alterações nas medidas de enfrentamento à crise hídrica	1a – sem medidas de enfrentamento à crise	23,4	13,8	Set/17 e Out/17	0
	1b – rodízio 48h	72,3	61,2	Mai/17 a Set/17	43
Aumento na eficiência de sistemas de irrigação – com racionamento	2a – 100% gotejamento	70,3	38,2	Out/17	75
	2b – 50% gotejamento	61,8	25,2	Out/17	75
Aumento na eficiência de sistemas de irrigação – sem racionamento	2ax ¹ – 100% gotejamento	64,0	15,5	-	-
	2bx– 50% gotejamento	55,5	13,8	Out/17	18
Implementação de medidas de conservação de água nas residências abastecidas pelo Descoberto	3a – 100% medidas de conservação de água pelas residências	52,2	13,8	Out/17	22
	3b – 50% medidas de conservação de água pelas residências	45,6	13,8	Out/17	15
Redução das perdas de água no Sistema Descoberto	4a – perdas na rede em 15%	53,7	13,8	Out/17	16
	4b – perdas na rede em 25%	45,8	13,8	Out/17	15
Aumento da eficiência do uso de água no sistema Descoberto	5a ¹ - combinação otimista de medidas	82,3	42,0	-	-
	5b ¹ combinação realista de medidas	63,3	13,8	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor. Legenda: ¹ - Estes cenários não apresentaram meses críticos quanto ao atendimento às demandas.

5.8. Limitações do estudo

A modelagem de situações reais e complexas são sempre aproximações simplificadas, as quais dependem de fatores como: recursos financeiros, disponibilidade de dados, qualidade do modelo computacional e prazo para execução do projeto.

Nesse trabalho, as principais limitações estão relacionadas com a disponibilidade de dados reais dos consumos de água pelo setor agrícola na bacia do Alto do Descoberto e de dados quantitativos que representam com fidelidade as medidas utilizadas durante o período de crise hídrica. No caso de disponibilidade de tempo e recursos financeiros, poderiam, até mesmo, terem sido realizadas visitas de campo e levantamento de dados primários. Com a melhorias desses aspectos, a elaboração de parte dos cenários alternativos poderia estar mais próxima à realidade sem a necessidade de algumas considerações.

Quanto ao WEAP, o fato de ser um *software* com o código fechado não possibilitou que pudessem ter sido criados ferramentas de cálculos específicas para algumas medidas consideradas nesse estudo, tais como as restrições à captação e o rodízio de abastecimento. Essas tiveram que ser adaptadas às ferramentas da forma com a qual existem no WEAP, o que não impediu que se alcançassem os resultados, mas dificultou a sua elaboração.

6. CONCLUSÕES

O estudo sobre as crises hídricas recentes no mundo indica que o crescimento populacional, padrão cultural de consumo, mudança climática, uso e ocupação do solo, alterações na qualidade da água e ausência de gestão eficaz de recursos hídricos, associada às estruturas físicas deterioradas estão entre as principais causas desses episódios. As medidas utilizadas para solucionar essas situações são, em grande parte, emergenciais, reativas e com resultados no curto prazo.

Nesse contexto, percebe-se que a implementação de ferramentas da gestão integrada de recursos hídricos é essencial para a resolução de situações de escassez de água e conflitos de uso dos recursos hídricos, através implementação de medidas de adaptação, com o objetivo de manutenção da segurança hídrica dos sistemas no longo prazo. Os processos de tomada de decisão devem ser realizados de forma participativa, incluindo os setores usuários. Modelos matemáticos computacionais, tais como o WEAP, são ferramentas importantes nesses processos.

O WEAP se mostrou como um sistema de apoio a decisão adequado para o escopo e área de estudo em questão. Sua interface gráfica e forma intuitiva de inserção de dados e montagem da rede foram essenciais para o desenvolvimento do presente trabalho. Através do WEAP foi possível reproduzir adequadamente a situação de crise hídrica do Sistema Descoberto e propor cenários alternativos, com a implementação gradual de medidas que visem a manutenção da operação do sistema e atendimento às demandas no longo prazo por diferentes setores usuários, para o enfrentamento de situações de desequilíbrio entre a oferta e demanda de água.

As medidas de enfrentamento à crise implementadas com esforços conjuntos de gestores e usuários de água do Distrito Federal impediram que o reservatório atingisse o volume morto e que as regiões administrativas atendidas pelo reservatório do Descoberto pudessem sofrer com o desabastecimento de água. De acordo com as hipóteses consideradas para as simulações deste estudo, mesmo que determinados usuários de água tenham permanecido por certo período sem a quantidade total de água que estavam habituados a receber, essas medidas foram suficientes para que, em um primeiro momento, o sistema pudesse se recuperar sem enfrentar situações extremas.

Os cenários aqui investigados indicam que o sistema apresenta uma situação de alta vulnerabilidade. As medidas diversas de melhoria na eficiência, reúso e

redução em perdas contribuem para acréscimos nos volumes acumulados no reservatório e no *coverage* na maior parte do período analisado. A implementação conjunta dessas medidas tem grande potencial em reduzir tal vulnerabilidade. Porém, mesmo uma combinação otimista dessas medidas, o que eliminaria os *déficits* no atendimento aos usuários durante o período crítico, ainda resultou no reservatório chegando ao final desse período com níveis mais baixos do que o restante da série simulada nos anos de normalidade de operação, indicando risco para o ano seguinte e menor segurança hídrica para o sistema.

Esses resultados permitem concluir que essas medidas são urgentes, ou seja, deveriam estar em curso de implementação, e devem ser complementadas com outras estratégias para permitir a adaptação do sistema a outros cenários futuros e ainda incertos - não avaliados pelo presente estudo - como crescimento em demandas e mudanças climáticas.

Em relação a trabalhos futuros, sugere-se a coleta de dados primários sobre os usos de água para irrigação antes e durante o período de crise. Ainda, recomenda-se maior aprofundamento nas regras impostas pelas medidas utilizadas durante o período de crise, além das principais abordadas no presente estudo e a consideração de novas captações emergenciais de água e da transferência de água entre sistemas.

Com relação ao período de dados, é sugerido que, em perspectivas futuras, seja realizada a análise do comportamento do reservatório e atendimento às demandas a partir do mês de janeiro de 2018 para, até mesmo, poder identificar a possibilidade de ocorrência de uma nova crise no sistema nos próximos anos. Com relação aos cenários alternativos, sugere-se que sejam analisadas as demais hipóteses levantadas, porém não simuladas por este estudo. Como continuidade, os cenários deste estudo poderiam ser avaliados em termos financeiros, de custo benefício, de capacidade institucional e de contexto sócio-político.

As conclusões deste estudo têm como base a metodologia adotada, o modelo computacional utilizado, os dados coletados e as hipóteses consideradas para a sua elaboração. Apesar de suas limitações, esse estudo serve como base para a discussão sobre a forma com que a gestão de recursos hídricos vem sendo realizada no Brasil e no mundo. Ainda, ressalta a importância de uma gestão integrada e participativa com ações voltadas para o uso consciente e racional dos recursos hídricos e para a sustentabilidade dos sistemas, independentemente da ocorrência de situações de escassez.

7. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Resolução ADASA nº 17, de 07 de outubro de 2016**. Estabelece a Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências. Brasília, 2016.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2017a. 464 p.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Cadastro de outorgas**. Brasília. 2017b. Recebido por meio digital em 20 de setembro de 2018.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos – DF**. Disponível em <<http://gis.adasa.df.gov.br/portal/home/index.html>>. Acesso em 01 de novembro de 2018a.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Ofício SEI-GDF nº 11/2018 - ADASA/SRH/COIH**. Recebido em junho de 2018. 2018b.

ADASA/UNB. **Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade ambiental e econômica para o aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edificações residências no Distrito Federal**. Brasília, DF. 2017. 74 p.

ADASA/UNESCO. **Estudo técnico sobre demanda do recurso hídrico na bacia do alto Descoberto**. Brasília, DF. 2017. 58p.

ACQUACONTROLL. **Tratamento físico-químico.** Disponível em < <http://www.acquacontroll.com.br/tratamento-fisico-quimico> > Acesso em 31 de outubro de 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas de Abastecimento de Água.** Brasília, 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016.** Brasília, 2016. 95 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2017.** Brasília, 2017. 177 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Sala de Situação – Sistema Cantareira.** 2018 Disponível em < <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>>. Acesso em 30 outubro de 2018.

ANA, FIESP e SINDUSCON. **Conservação e reuso da água em edificações.** São Paulo, 2005.

ARRANZ; R. , MACCARTNEY, M. **Application of the water evaluation and planning model to assess future water demands in the olifants catchment, South Africa.** International Water Management Institute. 2017. 104 p.

BEZERRA. S.T.M.; CHEUNG, P.B. **Perdas de água: tecnologias de controle.** 1. ed. Editora da UFPB, João Pessoa, 2013. 220 p.

BRASIL. **Lei nº 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. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASÍLIA. Governo de Brasília. **Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica.** Brasília, Distrito Federal, 2017. 91 p.

BROTHERS, P.K; LAMBERT, A. **Strategies to integrate district metered and pressure management design area principles to achieve and benchmark lowest levels of leakage.** IWA Publishing. São Paulo, 2010.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Histórico: Redução de Pressão na Rede.** 2018a. Disponível em <

<https://www.caesb.df.gov.br/agua/crise-hidrica-historico/reducao-de-pressao.html> >. Acesso em 30 de outubro de 2018.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Histórico: Rodízio de Água**. 2018b. Disponível em < <https://www.caesb.df.gov.br/agua/crise-hidrica-historico/rodizio-de-agua.html> >. Acesso em 30 de outubro de 2018.

CAMARGO, D.C. **Custo de Manejo da Irrigação: Como, Quando e Quanto Irrigar?** Fortaleza, 2016. 36p.

CARDOSO, E. R. **Fatores influenciando o uso da água para irrigação na bacia do Lago Descoberto no DF**. Publicação no G.DM-054/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 104 p.

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD)**. Distrito Federal, 2013.

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Texto para discussão: consumo de água em Brasília – crise e oportunidade**. n.8. Distrito Federal, 2015a. 28p.

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD)**. Distrito Federal, 2015b.

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Texto para discussão: a crise e o consumo de água em Brasília**. n.39. Distrito Federal, 2018. 26 p.

CORREA et.al. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. v.7. n. 1. Cruz das Almas, 2005. 4 p.

CORREA et.al. **Barragem do rio Descoberto - técnica de recuperação "in the wet" possibilita a manutenção do abastecimento de água em Brasília-Brasil**. São Diego, 2002. 13 p.

CORREIO BRAZILIENSE. **Esplanada dos Ministérios fica fora do racionamento no Plano Piloto**. Disponível em < https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/02/22/interna_cidade_sdf,575734/esplanada-dos-ministerios-fica-fora-do-acionamento-no-plano-piloto.shtml> Acesso em 15 de novembro de 2018.

ECYCLE. **Captação de água da chuva: conheça as vantagens e cuidados necessários para o uso da cisterna.** Disponível em <<https://www.ecycle.com.br/3301>> Acesso em 31 de outubro de 2018.

EL PAIS. **Crise da água 'seca' lucro da Sabesp, e companhia não descarta rodízio.** São Paulo. 2015. Disponível em <https://brasil.elpais.com/brasil/2015/03/27/politica/1427480502_098013.html> Acesso em 30 de outubro de 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Irrigação: sistemas e manejo.** Versão eletrônica, 2005. Disponível em <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasSemSementes/irrigacao.htm>> Acesso em 15 de novembro de 2018.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação **Técnicas de irrigação para agricultores de pequena escala.** 2014. 52 p.

FRAGA; C.C.S et. al. **Planning for infrastructure capacity expansion of urban water supply portfolios with an integrated simulation-optimization approach.** Sustainable Cities and Society, 247-256, 2016, 10 p.

GREENE. C. **Broadening understandings of drought – the climate vulnerability of farmworkers and rural communities in California (USA).** School of Geography and Development. Tucson, 2018.9 p.

GRIFFIN. D. **How unusual is the 2012-2014 California Drought?.** 2014

GWP – Global Water Partnership. **Water as a social and economic good: how to put the principle into practice.** 2.ed. Suécia, 2000. 40 p.

HAFNER. A.V. **Conservação e reúso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais.** Rio de Janeiro. 2007

HEATHCOTE. I.W. **Integrated Watershed Management: Principles and Practice.** 2. ed. New Jersey, 2009. 453 p.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 3. ed. UFMG, Belo Horizonte, 2016. 417 p.

HOOPER, B.P. **Key Performance Indicators of River Basin Organizations.** Southern Illinois University, Carbondale. 2006. 100 p.

HOU, B. et al. **Conceptual Framework and Computational Research of Hierarchical Residential Household Water Demand**. China, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, 2010.

ICWE - International Conference on Water and the Environment. **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development**. Dublin, Irlanda. 1992. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm> >. Acesso em 30 de outubro de 2018.

IGUDAN - Dan Regional Association for Environmental Infrastructure. **Shafdan's Wastewater Treatment System The Shafdan Plant**. Disponível em <<https://www.igudan.org.il/home-en/>>. Acesso em 30 de outubro de 2018.

JORGE, M.C. **Aplicação do modelo WEAP para a avaliação da influência de medidas de enfrentamento à crise hídrica no Sistema Descoberto, DF**. Monografia de Projeto Final, Publicação. 2017. 81 p. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

LANNA, L. **A crise hídrica brasileira e a falta de planejamento**, 2015. Disponível em:< <http://www.migalhas.com.br/dePeso/16,MI216277,101048-A+crise+hidrica+brasileira+e+a+falta+de+planejamento>>. Acesso em 30 de outubro de 2017.

LAZZAROVA et. al. **Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries**. Water Science and Technology. vol 43 n. 10. p. 25-33. 2001

LINSEN, M.; RODRIGUES, L. N. **The role of water balance accounting in the decision-making process leading to new small dams in the Preto River Basin in the Federal District, Brazil**. Geophysical Research Abstracts, v. 12, EGU2010-2691-1, 2010.

LOPES, R.M.V. **O impacto da crise hídrica no valor de mercado de uma empresa. Estudo de caso: SABESP**. Projeto de Graduação, 2016, 124 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016

LOUCKS, D.P.; BEEK, E.V. **Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications**. Studies and Reports in Hydrology. UNESCO. Italia, 2005. 690 p.

LUDWIG, F., et al. **Climate change adaptation and integrated water resource management in the water sector.** 2013.

MARENGO, J.A. et al. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo.** Revista USP. São Paulo, 2015. n. 106. p. 31-44.

MARQUES, G.F. et al. **Modeling irrigated agricultural production and water use decisions under water supply uncertainty.** Water Resources Research. 2005.

MEDELLÍN-AZUARA et. al. **Economic analysis of the 2016 California drought on agriculture.** Universtiy of California– Davis. 2016. 20 p.

MORAES, N.V. **Custo da escassez para a indústria em diferentes cenários de decisões do uso da água.** 2018. 135 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.

O'BRIEN, J. A. **Sistemas de informação para apoio à decisão gerencial.** In: **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet.** Tradução: Cid Knipel Moreira. São Paulo: Ed. Saraiva, 2001. p. 246 - 258

OCDE - Organização para cooperação e crescimento econômico. **Water Governance in Latin America and the Caribbean.** 2012. 180 p.

OCDE – Organização para cooperação e crescimento econômico. **Princípios da OCDE para a Governança da Água.** 2015a. 24 p.

OCDE – Organização para cooperação e crescimento econômico. **Governança de Água no Brasil.** 2015b.

OLIVEIRA, F. S.. **Avaliação de Modelo Integrado de Recursos Hídricos Aplicado na Bacia do Rio Alto Descoberto: Uma Avaliação Quantitativa.** 2018. 92 p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Resolução adotada pela assembleia geral de 25 de setembro de 2015.** Disponível em <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E> Acesso em 15 de novembro de 2018.

PIRES, A. et al. **Sustainabiliy Assessment of inidcators for integrated water resources management.** Elsevier B.V. 2016. 9 p.

QUINTELLA, R.H. Sistemas de Apoio à Decisão e Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados: uma Aplicação Potencial em Políticas Públicas. UFBA. v.10.n.28. 2003

ROCHA, E.R.L.; CÉZAR, M.C.M. **Balanço Hídrico do Reservatório do Rio Descoberto**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2015.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da SABESP para a Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 2015. 95 p.

SALLES, P. **UP Entrevista: Diretor-presidente da Adasa, Paulo Salles**. Entrevista concedida a Urbanizadora Paranoazinho S/A. Disponível em <<http://www.upsa.com.br/2016/11/28/up-entrevista-diretor-presidente-da-Adasa-paulo-salles/>> Acesso em 31 de outubro de 2018.

SEGETH - Secretaria de Estado e Gestão do Território e Habitação. **Geoportal - Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF**. Disponível em <<https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/>> Acesso em 08 de setembro de 2018.

SEI –Stockholm Environment Institute. **User Guide for WEAP 2015**. Somerville. US. 2015.

SIEGEL. S.M. **Let there be water: Israel's solution for a water-starved world**. New York, 2015. 337 p.

SILVA, R. O. **Teorias da administração**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, M.B. et. al. **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos como Política de Gerenciamento das Águas no Brasil**. Rev. Adm. v. 10, n. 1. p. 101-115. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica**. 2017. Disponível em <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>> Acesso em 01 de novembro de 2018.

TRATA BRASIL. **Perdas de água 2018 (SNIS 2016): desafios para a disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**. São Paulo, 2018. 68 p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2017. 215 p.

VICKERS, A. **Handbook of water use and conservation: Homes, Landscapes, Businesses, Industries, Farms**. Massachusetts. WaterPlow Press, 2001. 446 p.

VIEIRA: E.O ; SOLIS, S:S: **Sustainability index and integrated water resources management of the rio verde grande basin in Brazil**. XVI World Water Congress. International Water Resources Association. 2017. 14 p.

VILLAR. C.P. **Governança da água na América Latina**. Agência Nacional de Águas. 2013. 31 p. Disponível em < <http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/79>>. Acesso em 30 de outubro de 2018.

Water and Sanitation Department City of Cape Town. **Water Outlook 2018 Report**. Cape Town, 2018. 16 p.

WELCH, C. **How cape town is coping with its worst drought on record**. 2018. Disponível em < <https://news.nationalgeographic.com/2018/02/cape-town-running-out-of-water-drought-taps-shutoff-other-cities/>> Acesso 31 de outubro de 2018.

WINTER, J.M. **Integrating water supply constraints into irrigated agricultural simulations of California**. *Environmental modelling and software*. 335-346. 2017. 12 p.

WWAP - United Nations World Water Assessment Programme. **Facing the Challenges: Case Studies and Indicators**. UNESCO, Paris, 2015. 75 p.

WWC – World Water Council. **Global Water Security – Lessons learnt and long-term implications**. Marseille, França, 2018. 292 p.