

Abordagem sistêmica para elaboração de modelo conceitual do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo

Systemic approach for the elaboration of a conceptual model of the water supply system of the Metropolitan Region of São Paulo

Enfoque sistémico para la elaboración de un modelo conceptual del sistema de suministro de agua de la Región Metropolitana de São Paulo

Sthéfanny Sanchez Frizzarim

Mestranda, USP, Brasil
fanysanchez@usp.br

Marcelo Montaña

Professor Doutor, USP, Brasil.
minduim@sc.usp.br

RESUMO

Este trabalho discute o potencial da abordagem sistêmica para análise da resiliência do sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo através do desenvolvimento de um modelo dinâmico conceitual. Para a obtenção de informações, a metodologia utilizada foi baseada em um processo exploratório e interativo, enquanto que para a construção do modelo conceitual foi utilizado o programa Vensim® PLE. Por permitir a identificação das inter-relações e interações entre os diferentes elementos do sistema, a abordagem sistêmica mostrou-se adequada para a identificação dos aspectos intervenientes na resiliência do sistema de abastecimento, tendo sido identificadas as interações entre os diversos elementos pertencentes ao sistema e as alças de retroalimentação que configuram o seu comportamento dinâmico e complexo.

PALAVRAS-CHAVE: Abordagem sistêmica, Modelo conceitual, Comportamento complexo.

ABSTRACT

This paper discusses the potential of the systemic approach to analyze the resilience of the supply system in the Metropolitan Region of São Paulo by the development of a dynamic conceptual model. For obtaining information, the methodology used was based on an exploratory and interactive process, meanwhile, the conceptual model was constructed using the Vensim® PLE program. By allowing the identification of the inter-relationships and interactions among the different elements of the water supply system, the systemic approach was shown to be adequate for the identification of the intervening aspects in the resilience of the supply system, allowing the identification for the interactions among the different elements of the system and for the feedback loops, which configure the dynamic and complex behavior of the system.

KEY-WORDS: Systemic approach, Conceptual model, Complex behavior.

RESUMEN

Este documento discute el potencial del enfoque sistémico para analizar la resiliencia del sistema de suministro en la Región Metropolitana de São Paulo, por medio del desarrollo de un modelo conceptual dinámico. Para obtener la información, la metodología utilizada se basó en un proceso exploratorio e interactivo, mientras que para la construcción del modelo conceptual se utilizó el programa Vensim® PLE. Al permitir la identificación de las interrelaciones e interacciones entre los diferentes elementos del sistema, el enfoque sistémico demostró ser adecuado para la identificación de los aspectos que intervienen en la resiliencia del sistema de suministro, habiéndose identificado las interacciones entre los diferentes elementos pertenecientes al sistema y los bucles de retroalimentación que configuran su comportamiento dinámico y complejo.

Palabras clave: Enfoque sistémico, Modelo conceptual, Comportamiento complejo.

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento imprescindível à manutenção da vida da biosfera e para o desenvolvimento humano (LI; LI; WANG; PENG; CAI; HUANG, 2018) e, sendo assim, pode ser entendida como um recurso estratégico e de bem comum a todos os seres. Devido ao rápido crescimento populacional e da constante expansão das atividades industriais, aliados a um padrão de consumo cada vez mais voraz e obsolecente, a demanda pelos múltiplos usos da água tem sido intensificada e agravada pelas mudanças climáticas (ZOMORODIAN; LAI; HOMAYOUNFAR; IBRAHIM; FATEMI; EL-SHAFIE, 2018).

Comportamentos hidrológicos extremos, tais como períodos de seca e inundações, aliados ao planejamento estratégico e gestão ineficazes, tem feito com que diversas regiões vivenciem o limite de seus recursos hídricos e sofram prejuízos de ordem econômica, ambiental e social (MILLINGTON, 2018; EMPINOTTI; BUDDS; AVERSA, 2019). Esta situação denota a complexidade inerente à água enquanto recurso comum e tem suscitado uma necessidade cada vez maior de ações sustentáveis, integradas e responsivas de gestão (SAHIN; BERTONE; BEAL; STEWART, 2018).

Neste contexto, a abordagem sistêmica tem sido aplicada em diversos estudos permitindo tanto que as relações hierárquicas sejam consideradas sob diferentes níveis de organização, função e natureza dos subsistemas; como a investigação das relações de causa e efeito existentes entre os diferentes elementos que compõem estes subsistemas (OLSSON; JERNECK; THOREN; PERSSON;

O'BYRNE, 2015), oferecendo suporte para a compreensão dos aspectos relacionados à vulnerabilidade e resiliência dos sistemas hídricos¹. Mais recentemente, a abordagem sistêmica tem sido aplicada em estudos transdisciplinares baseados no conceito de nexus water-food-energy (GIATTI; JACOBI; FAVARO; EMPINOTTI, 2016; ZHANG; TAN; YU; ZHANG, 2020) e também na construção de cenários para análise de performance e risco (GOHARI; MADANI; MIRCHI; BAVANI, 2014; LIU, 2019). Sua aplicação também é feita em estudos que objetivam uma a compreensão sistêmica entre a infraestrutura urbana e variações climáticas (FRIEND; THINPHANGA, 2018); no monitoramento e análise da qualidade de água (LIU; BENOIT; LIU; LIU; GUO, 2015); na gestão de reservatórios (MEREU; SUŁNIK; TRABUCCO; DACCACHE; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA; RENOLDI; VIRDIS; SAVIĆ; ASSIMACOPOULOS, 2016); ou até mesmo no desenvolvimento de uma ferramenta de aprendizagem para auxiliar o processo de tomada de decisão (KOTIR; SMITH; BROWN; MARSHALL; JOHNSTONE, 2016).

Ao permitir o entendimento do sistema hídrico como algo de dimensão mais ampla e dotado de diversos elementos possuidores de dinâmicas próprias, variadas e multidisciplinares (FRIEND; THINPHANGA, 2018), a abordagem sistêmica permite a identificação e análise das inter-relações de dependência entre as diferentes partes que o constituem, mesmo quando estão sob diferentes escalas de organização (ROMESÍN E GARCÍA, 1998; FENZL; MACHADO, 2009). Desta maneira, permite a descrição das interações complexas e não lineares que fazem parte da sua constituição, considerando as

1 Sob a perspectiva de sustentabilidade, o termo recursos hídricos foi substituído majoritariamente por sistemas hídricos, para que a sua monetização, e, portanto, o seu valor e a sua função econômica, não se sobreponha às demais.

sinergias e compensações entre as diferentes partes que o compõem (ZHANG; TAN; YU; ZHANG, 2020).

Esta não linearidade de sua estrutura é consequência das interações e inter-relações estabelecidas entre os elementos que o compõem e entre o próprio sistema e o ambiente, resultando tanto em uma relação de causalidade não-linear como em recursividade, e viabilizando uma auto-organização imprevisível (FENZL; MACHADO, 2009; VON BERTALANFFY, 2010; FURTADO; SAKOWSKI; TÓVOLI, 2015; FOLLONI, 2016; DIETZ et al., 2020). Sendo assim, a complexidade de um sistema pode ser entendida como uma característica inerente ao próprio sistema, que reflete os padrões complexos gerados pelas interações e inter-relações existentes entre as diferentes partes do sistema (FOLLONI, 2016).

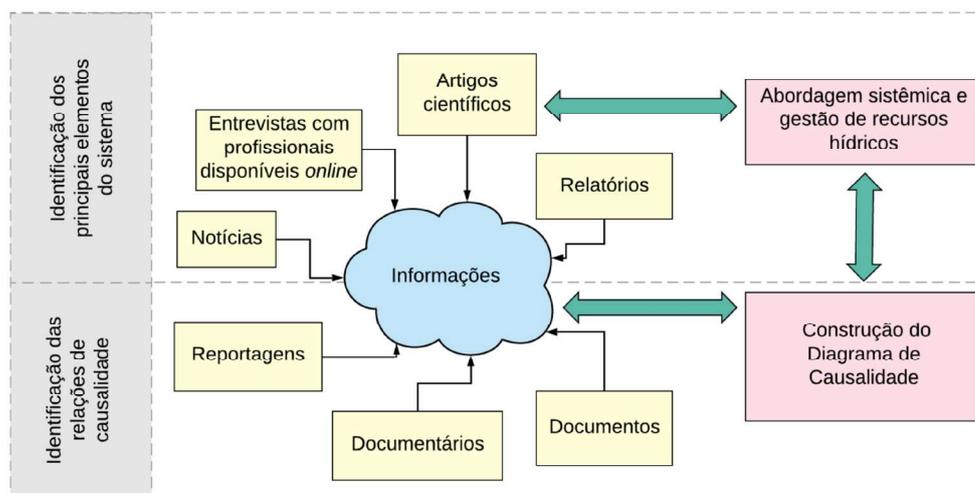
Assim, a partir da compreensão que a resiliência de um sistema dinâmico e complexo guarda relação com o fato de que o seu desempenho é estruturado na não-linearidade

e imprevisibilidade e, portanto, dependente da performance dos diversos subsistemas que o compõe, e somado à complexidade socioeconômica, ambiental e político-infraestrutural que caracteriza o sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o presente trabalho é voltado para o desenvolvimento de um modelo conceitual preliminar que permita a identificação dos principais fatores intervenientes em sua resiliência.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho envolveu um processo iterativo que inclui revisão de literatura e levantamento de informações documentais sobre o sistema de abastecimento da RMSP, a fim de permitir a identificação dos principais elementos que o constituem, conforme sintetizado na Figura 1. Para aplicação sobre o objeto de estudo selecionado, foi elaborado um Diagrama de Causalidade com o auxílio do software Vensim® PLE 8.0.9.

Figura 1- Quadro geral do processo metodológico

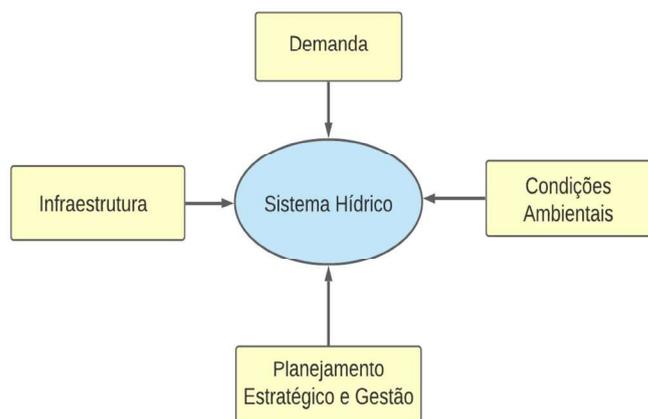


Fonte: Autores, 2020.

A elaboração do diagrama foi baseada inicialmente no reconhecimento de um conjunto de características consideradas essenciais, relacionadas ao elemento fundamental do sistema: a disponibilidade quali-quantitativa de água para abastecimento. Este primeiro levantamento de informações foi realizado por meio da consulta de noticiários, entrevistas com especialistas disponíveis online, reportagens e documentários norteados principalmente pelo quadro de escassez vivenciado pela região durante o período de 2013-2015. O cenário da crise hídrica foi

escolhido para nortear esta busca de informações por se tratar de um evento crítico, onde os efeitos do déficit de água estimularam o debate em torno dos aspectos de ordem econômica, social, ambiental e política associados ao sistema de abastecimento da RMSP. Com base no estudo de Buckeridge e Ribeiro (2018), foram delimitados os principais subsistemas dependentes do sistema hídrico e capazes de alterá-lo: Demanda; Infraestrutura; Planejamento Estratégico e Gestão; e Condições Ambientais; conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2- Principais subsistemas identificados



Fonte: Autores, 2020.

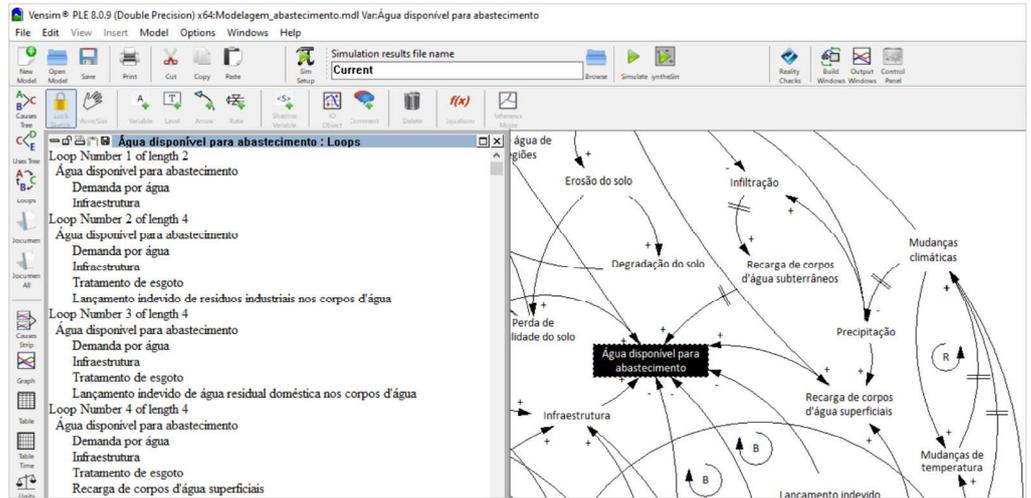
A partir do reconhecimento dos principais subsistemas, a revisão de literatura e da documentação reunida passou a ser orientada para a identificação dos elementos que integram cada um dos subsistemas, assim como de suas respectivas relações, o que possibilitou a elaboração de um modelo conceitual para o sistema de abastecimento da RMSP.

3 RESULTADOS

O modelo proposto (Figura 3) permite

a visualização de relações de causa-efeito entre os diversos componentes que integram o sistema, tendo-se adotado uma forma de notação usual para esta abordagem: setas positivas (+) descrevem uma intensificação desta segunda variável a partir da ação da primeira, ao passo que setas negativas (-) descrevem uma atenuação. Quando combinadas, estas setas permitem a identificação de alças de *retroalimentação positivas* (ciclos de reforço) ou *negativas* (ciclos de balanceamento).

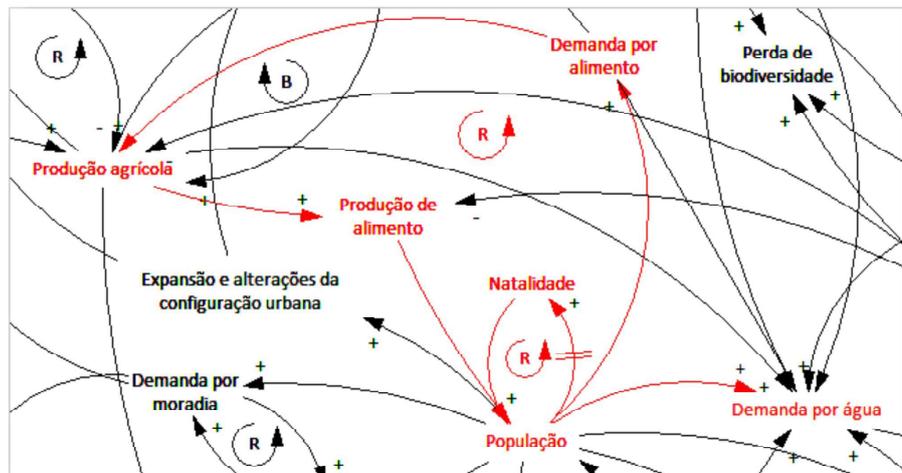
Figura 4 - Alças de retroalimentação em torno da variável água disponível para abastecimento



Fonte: Autores, 2020.

Os ciclos de reforço (alças de retroalimentação positiva) indicam a potencialidade das variáveis pertencentes ao sistema hídrico em provocarem mudanças capazes de acarretar tanto no aumento da sua disponibilidade como na sua redução. Como pode ser observado na Figura 5, em uma condição em que os demais elementos estão em estado constante, o aumento do número de nascidos resulta em um aumento populacional, ao passo que o aumento da população resulta em números cada vez maiores de nascidos. Ainda, seguindo esta mesma lógica: o aumento populacional aumenta a demanda por alimento, que resulta no aumento da produção agrícola e, conseqüentemente, no aumento da produção de alimentos, e que propicia condições favoráveis para o crescimento populacional. Em consequência, o aumento populacional resulta no aumento da demanda de água.

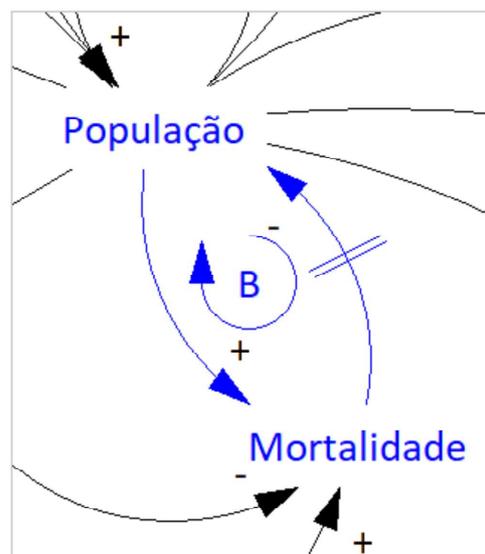
Figura 5- Exemplo de Ciclos de Reforço



Fonte: Autores, 2020

Já os *ciclos de balanceamento* (alças de retroalimentação negativa) indicam as variáveis que conduzem o sistema hídrico para o estado de equilíbrio atual, sem que haja mudanças bruscas na sua performance relacionada aos diversos papéis e funções exercidos pela água. Mesmo que o sistema hídrico sofra algumas pequenas variações, os ciclos de balanceamento atuam de maneira contrária aos ciclos de reforço, opondo-se às mudanças, permitindo que o sistema se mantenha no seu estado de equilíbrio atual. Desta maneira, como pode ser observado na Figura 6, observa-se uma relação positiva entre o aumento da população e o número absoluto de mortes que, por sua vez, irá atuar no sentido de atenuar o aumento da população para um determinado período, atenuando também a parcela da demanda sobre a água associada ao crescimento populacional.

Figura 6- Exemplo de Ciclo de Balanceamento



Fonte: Autores, 2020.

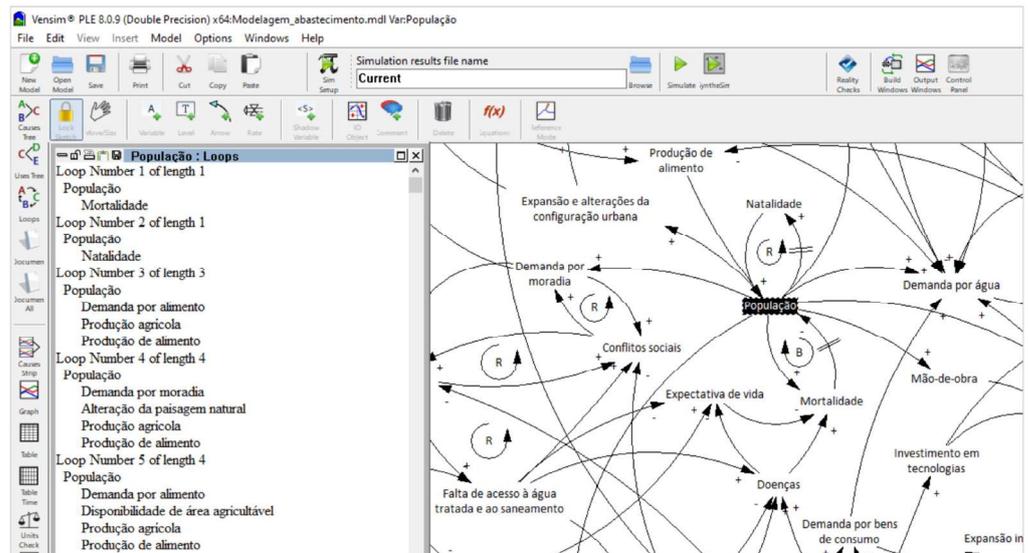
A capacidade de auto-organização do sistema hídrico, enquanto um sistema dinâmico, de maneira imprevisível e descentralizada, é resultado das relações de causalidade não-linear associadas a recursividade, em uma imensa troca de interações entre suas partes, e sendo intensificadas pelas relações estabelecidas pelos ciclos de reforço (MILLER; PAGE, 2007). Portanto, a sua complexidade consiste no fato de que o seu desempenho é totalmente estruturado tanto na performance dos seus subsistemas como na nas relações de causalidade que os caracterizam (FOLLONI, 2016). Assim, cada subsistema identificado e relacionado ao sistema hídrico exerce uma função distinta entre a que é exercida pelo próprio subsistema e a que influencia os outros subsistemas nas relações de causalidade.

Os principais subsistemas apontados como principais subsistemas de complexidade do sistema hídrico da RMSP, e, portanto, capazes de deixá-lo em uma situação de vulnerabilidade, são: a demanda, a infraestrutura e às condições ambientais. Estes subsistemas, quando entram em uma situação fora do seu estado de equilíbrio, são capazes de gerar efeitos imprevisíveis no sistema de abastecimento de água.

Dentre os principais fatores que demandam pelos múltiplos usos da água, a variável *população* exerce a função de *força motriz* no consumo e, conseqüentemente, no aumento da demanda de água na RMSP (SABESP, 2020), seguido do setor industrial que, além de ser responsável pela segunda maior demanda, é o maior responsável pela água exportada para outras regiões (água virtual) (USSAMI; GUILHOTO, 2018). A variável *população* está envolvida em

224 ciclos de retroalimentação (Figura 7) o que denota sua complexidade enquanto subsistema e a influência exercida por inúmeras outras variáveis (conforme apresentado, inicialmente, na Figura 3).

Figura 7-Alças de retroalimentação em torno da variável população

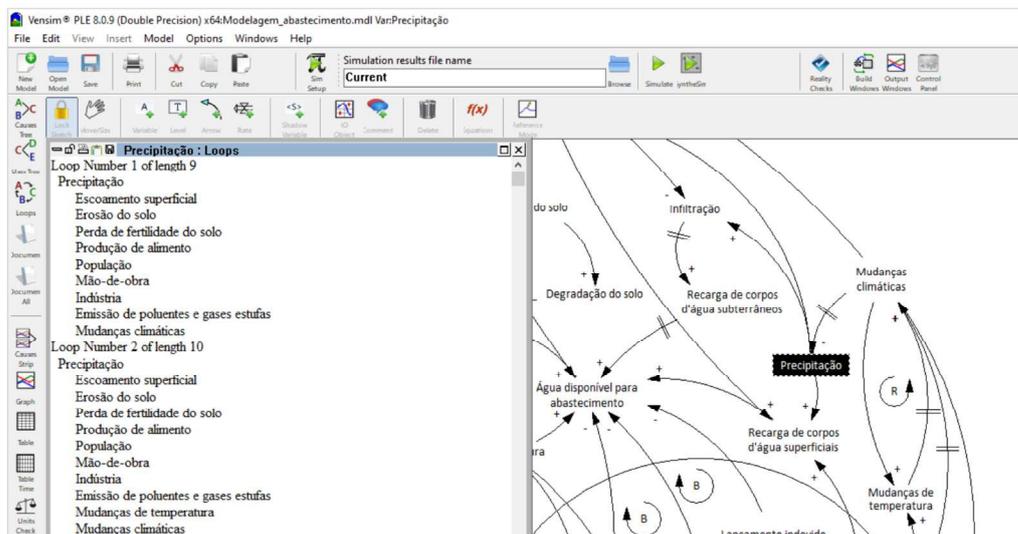


Fonte: Autores, 2020.

Dentre as variáveis das condições ambientais, a precipitação é a principal via de entrada de água no sistema hídrico (Figura 8), estando envolvida em 102 alças de retroalimentação no modelo preliminar. Esta variável é fator de grande relevância e influência na entrada de água no sistema hídrico, sendo responsável tanto pela recarga dos corpos da água superficiais como subterrâneos, além de diversos outros processos associados ao ciclo hidrológico (como por exemplo

a evapotranspiração potencial na área de influência do sistema de abastecimento). Neste sentido, as *mudanças climáticas* aparecem como uma nova *força motriz* no sistema, uma vez que aumenta a pressão sobre a precipitação (APOSTOLAKI; KOUNDOURI; PITTIS, 2019) e pode acarretar em eventos climáticos extremados na RMSP; ao passo que potencializa a ocorrência de períodos chuvosos intensos e pontuais, viabiliza períodos de estiagem mais prolongados (ALVES, 2019).

Figura 8- Alças de retroalimentação em torno da variável precipitação



Fonte: Autores, 2020.

O somatório das alças de retroalimentação é o que configura o arquétipo do sistema e, conseqüentemente, o seu comportamento dinâmico e complexo (MIRCHI; MADANI; WATKINS; AHMAD, 2012). Desta maneira, o modelo conceitual permitiu revelar os elementos associados à capacidade do sistema de abastecimento de água da RMSP de desempenhar as suas funções e adaptar-se as modificações ou perturbações em suas condições de contorno, por meio da identificação das inter-relações e interações entre os múltiplos elementos que o constituem e que influem direta ou indiretamente nos ciclos de reforço e balanço identificados.

A capacidade de visualizar todos os fatores relacionados ao abastecimento de água, considerada um recurso comum, oferece uma nova perspectiva com potencial de auxiliar no processo de tomada de decisão (APOSTOLAKI; KOUNDOURI; PITTIS, 2019), por permitir a análise das relações de causa-e-efeito existentes entre os fatores ambientais, sociais, econômicos e infraestruturais, e

caracterizar a complexidade inerente ao próprio sistema.

A identificação e indicação das inter-relações existentes entre os diversos fatores que exercem, direta ou indiretamente, efeitos sobre o sistema hídrico, permitiu a determinação dos fluxos destas relações e das alças de retroalimentação, responsáveis pela configuração e potencialização da complexidade deste sistema. Deste modo, entende-se que uma das principais contribuições da abordagem sistêmica adotada, ainda que de modo preliminar, é o seu potencial enquanto instrumento de compreensão do engendramento dos elementos pertencentes ao sistema de abastecimento e que são responsáveis por sua complexidade.

Todavia, como limitação, este modelo conceitual pressupõe um conhecimento básico das inter-relações existentes entre as diferentes variáveis para a sua elaboração e, a depender da *expertise* requerida, se faz necessário consulta com especialistas dos respectivos setores envolvidos no estudo.

4 CONCLUSÃO

É incontestável a complexidade inerente ao sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo, onde toda a sua estruturação está interligada e a água acaba exercendo diversos papéis e funções de natureza social, ecossistêmica e econômica.

A utilização de um modelo dinâmico conceitual na investigação e identificação dos principais fatores de complexidade do sistema de abastecimento da RMSP permitiu a compreensão qualitativa do seu comportamento e da sua estruturação, por meio da identificação das suas alças de retroalimentação.

Desta maneira, os resultados obtidos pelo modelo dinâmico conceitual denotam o seu potencial enquanto um instrumento facilitador de aprendizagem e compreensão sobre a complexidade do sistema de abastecimento da RMSP. Destaca-se, também, a possibilidade de uma hibridização entre o modelo qualitativo apresentado com a sua modelagem matemática, e, portanto, quantitativa. Sendo assim, este modelo é passível de ser aplicado na gestão dos sistemas hídricos, com o intuito de auxiliar o processo de tomada de decisão, por meio da identificação e indicação da relação de interdependência entre seus diversos fatores, incluindo-se as alças de retroalimentação positiva e negativa. Ressalta-se, todavia, que assim como qualquer outro modelo, seja numérico ou conceitual, este é um modelo possuidor de falhas e limites e, portanto, este deve ser interpretado dentro de suas limitações e inferências.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob processo de número 130863/2019-0

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Fabiano José Lopes. **Escassez, segurança hídrica e os negócios com a água na Região Metropolitana de São Paulo**. 2019. 186 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

APOSTOLAKI, Stella; KOUNDOURI, Phoebe; PITTIS, Nikittas. Using a systemic approach to address the requirement for Integrated Water Resource Management within the Water Framework Directive. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 679, p. 70-79, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.077>.

BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa. **Livro branco da água: A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018. 175 p.

DIETZ, Tobias et al. Introducing multiobjective complex systems. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 280, n. 2, p.581-596, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2019.07.027>

EMPINOTTI, Vanessa Lucena; BUDDS, Jessica; AVERSA, Marcelo. Governance and water security: the role of the water institutional framework in the 2013::15 water crisis in São Paulo, Brazil.

- Geoforum**, [S.L.], v. 98, p. 46-54, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.022>.
- FENZL, Norbert; MACHADO, José Alberto da Costa. **A Sustentabilidade de Sistemas Complexos: Conceitos básicos para uma ciência do desenvolvimento sustentável: Aspectos Teóricos e Práticos**. Belém: NUMA/UFBA, 2009. 285 p.
- FRIEND, Richard; THINPHANGA, Pakamas. Urban Water Crises under Future Uncertainties: the case of institutional and infrastructure complexity in khon kaen, thailand. **Sustainability**, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 2-21, 28 out. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su10113921>
- FOLLONI, André. **Introdução à Teoria da Complexidade**. Curitiba: Juruá Editora, 2016.
- FURTADO, Bernardo Alvez; SAKOWSKI, Patrícia A. M; TÓVOLLI, Marina H. **Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas**. Brasília: IPEA, 2015.
- GIATTI, Leandro Luiz; JACOBI, Pedro Roberto; FAVARO, Ana Karina Merlin do Imperio; EMPINOTTI, Vanessa Lucena. O nexos água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 30, n. 88, p. 43-61, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880005>.
- GOHARI, Alireza, MADANI, Kaveh, MIRCHI, Ali, BAVANI, Alireza Massah, 2014. System-Dynamics approach to evaluate climate change adaptation strategies for Iran's Zayandeh-Rud Water System. **In: World Environmental and Water Resources Congress**. 1598-1607. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413548.158>. Acesso em: 03 set 2020.
- KOTIR, Julius H.; SMITH, Carl; BROWN, Greg; MARSHALL, Nadine; JOHNSTONE, Ron. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 573, p. 444-457, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.081>.
- LIU, Hui; BENOIT, Gaboury; LIU, Tao; LIU, Yong; GUO, Huaicheng. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 155, p. 11-23, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.046>.
- LI, Zhi; LI, Chunhui; WANG, Xuan; PENG, Cong; CAI, Yanpeng; HUANG, Weichen. A hybrid system dynamics and optimization approach for supporting sustainable water resources planning in Zhengzhou City, China. **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 556, p. 50-60, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.007>
- MEREU, Simone; SUŁNIK, Janez; TRABUCCO, Antonio; DACCACHE, Andre; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA, Lydia; RENOLDI, Stefano; VIRDIS, Andrea; SAVIĆ, Dragan; ASSIMACOPOULOS, Dionysis. Operational resilience of reservoirs to climate change, agricultural demand, and tourism: a case study from Sardinia. **Science of the**

- Total Environment**, [S.L.], v. 543, p. 1028-1038, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.066>.
- MILLER, John H.; PAGE, Scott E. **Complex Adaptative Systems**: An introduction to computational models of social life. Princeton: Pup, 2007.
- MILLINGTON, Nate. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: the 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, [S.L.], v. 65, p. 26-34, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polgeo.2018.04.007>.
- MIRCHI, Ali; MADANI, Kaveh; WATKINS, David; AHMAD, Sajjad. Synthesis of System Dynamics Tools for Holistic Conceptualization of Water Resources Problems. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 26, n. 9, p. 2421-2442, 23 mar. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-012-0024-2>.
- OLSSON, Lennart; JERNECK, Anne; THOREN, Henrik; PERSSON, Johannes; O'BYRNE, David. Why resilience is unappealing to social science: theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. **Science Advances**, [S.L.], v. 1, n. 4, p. 1-11, maio 2015. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1400217>.
- ROMESÍN, Humberto M.; GARCÍA, Francisco J. V. **De máquinas y seres vivos**: Autopoiesis: la organización de lo vivo. 5. ed. Santiago de Chile: Universitaria, 1998.
- SABESP. **Transparência pública**. 2020. Disponível em: <http://www.sic.sp.gov.br/>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- SAHIN, Oz; BERTONE, Edoardo; BEAL, Cara; STEWART, Rodney A. Evaluating a novel tiered scarcity adjusted water budget and pricing structure using a holistic systems modelling approach. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 215, p. 79-90, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.037>.
- USSAMI, Keyi A.; GUILHOTO, Joaquim J. M. Economic and water dependence among regions: the case of alto tiete, sao paulo state, brazil. **Economia**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 350-376, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econ.2018.06.001>.
- VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria Geral dos Sistemas: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 5 ed. Petrópolis: Vozes, 2010.
- ZHANG, Tong; TAN, Qian; YU, Xiaoning; ZHANG, Shan. Synergy assessment and optimization for water-energy-food nexus: modeling and application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 134, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110059>.
- ZOMORODIAN, Mehdi; LAI, Sai Hin; HOMAYOUNFAR, Mehran; IBRAHIM, Shaliza; FATEMI, Seyed E.; EL-SHAFIE, Ahmed. The state-of-the-art system dynamics application in integrated water resources modeling. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 227, p. 294-304, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.097>.