

ANÁLISE DO RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB

Amanda Raquel Bezerra de Lima ¹
Sabrina Holanda Oliveira ²
Ana Alice Quintans de Araujo ³
Julianna Ferreira dos Santos Silva ⁴
Ruth Silveira do Nascimento ⁵

RESUMO

Este projeto teve como objetivo avaliar os riscos de degradação da qualidade da água associados às falhas estruturais, operacionais e de manutenção da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande, visando contribuir para a adoção de uma abordagem de gestão mais científica da qualidade da água. Tais abordagens implicam no entendimento e na aceitação de que os métodos de análise de risco e dos recursos das ferramentas de simulação, aplicadas de modo abrangente e integrada, da estação de tratamento de água até o consumo é uma das formas efetivas de garantir a segurança da qualidade da água para consumo humano. O objeto de estudo foi a zona de pressão B do sistema de abastecimento de Campina Grande, a princípio foi traçada a rede de distribuição dos cinco bairros mais centrais da cidade no software Epanet 2.0, a partir do modelo real do sistema de abastecimento de água, em seguida foi avaliado os riscos do cenário atual de acordo com a operação e manutenção do sistema, com aplicação da simulação. Os resultados da pesquisa constataram que os maiores riscos são decorrentes da falta de uma rotina de manutenção nos reservatórios e o não cumprimento do padrão de potabilidade para o cloro residual livre. Dessa forma, esses resultados contribuíram para uma melhor reflexão sobre a deterioração da qualidade da água de Campina Grande, servindo de base para a aplicação de uma gestão mais qualificada.

Palavras-chave: Análise de risco, Gestão da qualidade da água, Epanet 2.0.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e segura em quantidade suficiente é essencial para a manutenção da saúde e desenvolvimento social e econômico, além de ser um direito básico de todos os cidadãos.

Os sistemas de abastecimento de água devem ser projetados e operados de modo a garantir o fornecimento contínuo de água potável segura para o consumo humano. No entanto, durante o seu percurso até o consumidor final a água está sujeita à diversas ameaças que

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - UEPB, amandarblima@hotmail.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - UEPB, sabrina.holanda.oliveira@hotmail.com;

³ Doutoranda em Engenharia Ambiental - UEPB, anaaliceq@gmail.com;

⁴ Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - UEPB, juhferreira13@gmail.com;

⁵ Professora orientadora: Doutora em Recursos Naturais - UFCG, ruthsn@gmail.com.

Artigo resultado de Projeto de Iniciação Científica, PIBIC – UEPB.

podem acarretar o comprometimento da sua qualidade e expor a população à riscos de surtos de diversas doenças de veiculação hídrica.

No que tange ao significado de risco, Soares (2006) o define como uma função da probabilidade ou da frequência de ocorrência de uma anormalidade e de um dado tipo de dano resultante desta anormalidade; ou seja, a magnitude das consequências. Sendo assim, a avaliação de risco é o processo de estimativa da probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento e a provável magnitude de efeitos adversos durante um determinado período de tempo. Bastos et al. (2009) vão mais além, definindo-a como uma ferramenta importante e possível de ser utilizada para auxiliar e orientar o processo decisório, para o controle e a prevenção da exposição de populações e indivíduos a diversos agentes ou situações perigosas.

Dessa forma, se fazem necessários o controle e vigilância da qualidade da água a fim de assegurar o atendimento dos padrões de potabilidade. O controle da qualidade da água baseado apenas em análises laboratoriais de amostras é insuficiente para garantir a segurança da água, principalmente pela possibilidade dessas análises não conseguirem detectar alterações na qualidade da água em tempo real (DEERE; DAVISON, 1998).

Diante disso, a aplicação da técnica de modelagem matemática para diferentes fins tornou-se uma ferramenta rotineira no auxílio da solução de diferentes problemas, pois permite a simulação de um evento de contaminação sob os efeitos das ações tomadas pelos gestores de serviços públicos, sendo uma ferramenta útil para a análise de estratégias alternativas de mitigação e gerenciamento de ameaças (AVILA et al., 2018, ZECHMAN, 2011).

Assim, o presente estudo, dentro da perspectiva da avaliação de risco, investigou e avaliou os principais eventos perigosos que podem levar à degradação da qualidade da água na rede de distribuição de água, com a finalidade de estimar os riscos à saúde dos consumidores, utilizando o Epanet 2.0 para simular a operação do sistema de abastecimento de água de Campina Grande.

Dentro desse contexto, o estudo pretende contribuir com a gestão da qualidade da água do sistema de abastecimento de água de Campina Grande – PB, promovendo um maior entendimento dos meios pelos quais pode ocorrer o comprometimento da qualidade da água servindo de subsídio para o processo decisório de operação e manutenção dos reservatórios como também para o gerenciamento de riscos.

METODOLOGIA

O objeto de estudo deste trabalho foi a zona de pressão B do sistema de abastecimento público da cidade de Campina Grande (SAACG). Diante da abrangência do sistema, no âmbito desta zona foram selecionados para estudo os bairros Prata, São José, Centro, Lauritzen e Conceição por possuírem semelhanças acerca do material utilizado na rede, onde há uma predominância de cimento amianto e por serem considerados críticos devido ao envelhecimento da rede, tendo em vista que esses são os bairros mais antigos do sistema (NASCIMENTO, 2016). Estes bairros são abastecidos pelos reservatórios R5 (8000m³), que redistribui para os reservatórios R2 (2290m³), R4 (10000m³) e R1 (3080m³).

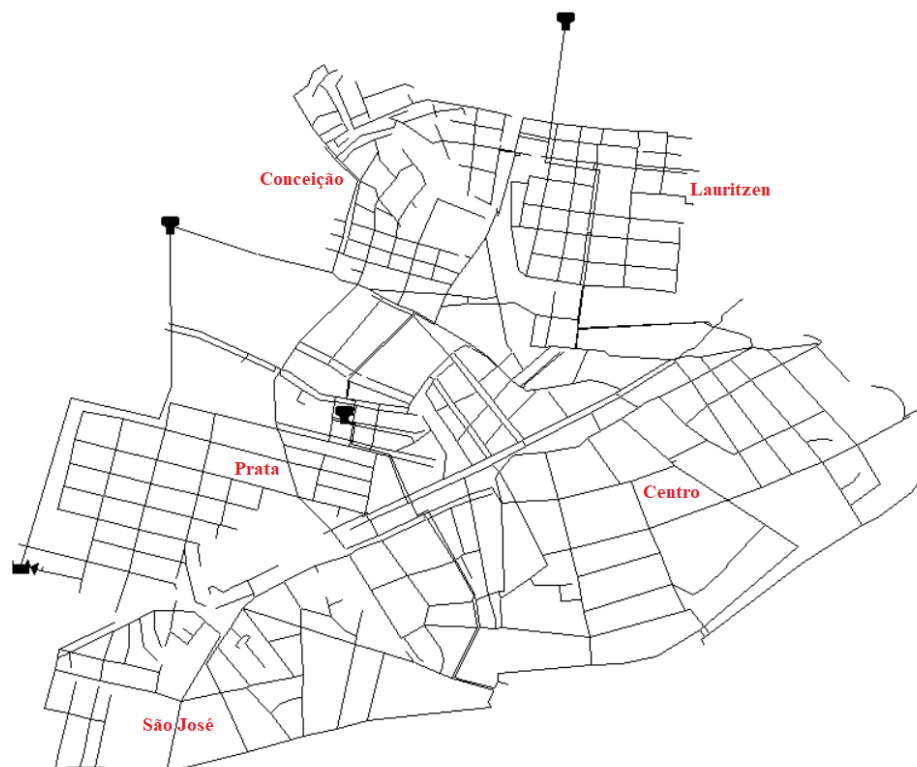
A simulação do comportamento da qualidade da água foi realizada no software EPANET 2.0, com malha construída a partir da planta baixa da rede do SAACG.

Para calibração do modelo de qualidade no Epanet, foi adotado o coeficiente K_b médio de 1,35 dia⁻¹, cujo valor representa o comportamento do cloro na massa da água fornecida pelo SAACG, que reproduz o decaimento do cloro nas condições atuais de operação e manutenção da rede. Esse valor, menor do que adotado por Nascimento (2016), foi influenciado pelas alterações realizadas na ETA de Gravatá, com a introdução de etapas de pré-oxidação na entrada da adutora de água bruta, contribuindo para a redução de espécies redutoras.

O coeficiente da taxa de reação na parede (K_w) foi ajustado pelo método da tentativa, sendo adotado $K_w = 0,4$ m/dia, valor que resultou em melhor aproximação entre as análises feitas em campo e os dados simulados.

O tempo de duração total da simulação foi de 168 horas, com início a zero hora. A Figura 1 ilustra o traçado da rede de distribuição dos bairros estudados.

Figura 1 – Esquema da rede de distribuição no Epanet.



Fonte: Elaborado pelo autor

A avaliação de risco, com foco na saúde dos usuários do SAACG, foi realizada com aplicação do método Failure Mode and Effect Analysis – FMEA. A quantificação do risco de um evento perigoso, é feita através da multiplicação dos escores atribuídos aos aspectos Severidade (que indica o quão problemático pode ser aquele risco caso ele ocorra), Ocorrência (a frequência de acontecimentos desse risco no cenário estudado), Detecção (o grau de dificuldade em detectar o risco preventivamente) e Abrangência (refere-se à distribuição espacial do risco).

As principais falhas potenciais avaliadas foram especificadas com base nas recomendações do Manual do Plano do Segurança da Água (PSA) da OMS (WHO, 2011), nos levantamentos realizados em visitas aos reservatórios da rede e em pontos estratégicos do SAACG, levando em conta também resultados experimentais obtidos em trabalhos anteriores do Grupo de Pesquisa Saúde Ambiental. O Quadro 1 apresenta os efeitos e as causas associados aos perigos identificados.

Quadro 1 – Descrição dos efeitos e das causas associados aos perigos identificados.

PERIGO	FALHA	CAUSA	EFEITO
--------	-------	-------	--------

F1	Rupturas de condutos/fissuras	Canalizações antigas, falha no controle das pressões, falha na instalação das canalizações, materiais inadequados.	Desabastecimento, perda de água, degradação da qualidade da água.
F2	Operações inadequadas de reparação, manutenção e limpeza de reservatórios	Falha na operação e manutenção	Degradação da qualidade da água, desabastecimento, perda de água.
F3	Variações de vazões/pressões inadequadas	Falta de equipamentos de controle de pressão e de vazão, expansão da rede de distribuição de forma desordenada.	Ruptura das canalizações, desabastecimento, perda de água, infiltração de contaminantes.
F4	Residual de cloro inadequado	Falha na operação e manutenção da ETA e da rede de distribuição	Degradação da qualidade da água.
F5	Formação de subprodutos da desinfecção	Presença de precursores de trihalometano na água, principalmente matéria orgânica, associados a altas concentrações de cloro	Formação de substâncias halogenadas que podem causar efeitos danosos a saúde do usuário.

As Tabelas de 1 a 8, apresentam as descrições e escores estabelecidos para os aspectos severidade, ocorrência, detecção e abrangência, com base em critérios estabelecidos e validados no Manual do PSA e na bibliografia.

O aspecto severidade foi estimado com base nos efeitos sobre a saúde do usuário, quanto mais grave e crítico é o efeito, maior é o escore de severidade.

Tabela 1 – Escores para o aspecto severidade

SEVERIDADE	DESCRIÇÃO	ESCORE
Alta	- Verificação de situações que possam causar doenças e/ou impactos potenciais na saúde. - Integridade do sistema fortemente comprometida.	3
Média	- Verificação de condições que comprometam o padrão estético da água. - Integridade do sistema parcialmente comprometida.	2
Baixa	- Impacto negativo na qualidade da água é insignificante. Não há comprometimento à saúde.	1

Para o aspecto ocorrência, foram estabelecidos os escores 3, 2 e 1, para as frequências alta, média e baixa, respectivamente.

Tabela 2 – Escores para ocorrência de rupturas de condutos/fissuras

OCORRÊNCIA	FATORES	ESCORE
Alta	Predominância de canalizações com idade > 50 anos (vida útil presumida) e $D < 100\text{mm}$;	3
Média	Predominância de canalizações com idade entre 16 e 50 anos e $100 \leq D \leq 300\text{ mm}$;	2
Baixa	Predominância de canalizações com idade ≤ 15 anos e $D > 300\text{mm}$.	1

Tabela 3 – Escores para ocorrência de operações inadequadas em reparação, manutenção e limpeza de reservatórios.

OCORRÊNCIA	FATORES	ESCORE
Alta	Não atendimento de 3 ou mais/ todos os critérios de reparação, manutenção e limpeza de reservatórios (EPA, 2011): 1.serviço de inspeções externas e internas de reservatórios, tendo em conta os requisitos legais de saúde e segurança; 2.serviço eficaz de limpeza dos reservatórios e treinamento de operadores para as práticas padrão de limpeza; 3. a desinfecção dos reservatórios; 4. a eliminação segura de sedimentos e água de lavagem; 5. protocolos de manutenção rotineira dos reservatórios.	3
Média	Atendimento parcial/ não atendimento de até 2 dos critérios de reparação, manutenção e limpeza de reservatórios, referidos anteriormente.	2
Baixa	Atendimento de todos os critérios de reparação, manutenção e limpeza de reservatórios, referidos anteriormente.	1

Tabela 4 – Escores para ocorrência de variações inadequadas de vazões/pressões.

OCORRÊNCIA	FATORES	ESCORE
Alta	Pressão abaixo de 10 mca ou acima de 50 mca em mais de 5% da rede.	3
Média	Pressão abaixo de 10 mca ou acima de 50 mca em até 5% da rede.	2
Baixa	Não há variação inadequada de Vazões/Pressões.	1

Tabela 5 – Escores para ocorrência de residual de cloro inadequado.

OCORRÊNCIA	FATORES	ESCORE
------------	---------	--------

Alta	Não conformidade com os padrões de potabilidade para CRL em mais de 5% da rede.	3
Média	Não conformidade com os padrões de potabilidade para CRL em até 5 % da rede.	2
Baixa	Em conformidade com os padrões de potabilidade de CRL em todos os pontos da rede.	1

Tabela 6 – Escores para ocorrência de formação de subprodutos da desinfecção.

OCORRÊNCIA	FATORES	ESCORE
Alta	Atendimento de todos os fatores (EPA, 2011): 1.carga orgânica total alta na saída da ETA, acima de 2mg/l; 2.alta concentração de CRL na saída da ETA, acima de 2mg/l.	3
Média	1.carga orgânica total baixa na saída da ETA, abaixo de 2mg/l; 2.alta concentração de CRL na saída da ETA, acima de 2mg/l.	2
Baixa	1. controle da carga orgânica no manancial, nas unidades de tratamento e na saída ETA; 2.concentração de CRL na saída da ETA, atende aos padrões de potabilidade.	1

Tabela 7 – Escores para o aspecto detecção.

DETECÇÃO	DESCRIÇÃO	ESCORE
Alta	Utilização de tecnologias sofisticadas	3
Média	Medição simples	2
Baixa	Percebido a olho nu	1

Tabela 8 – Escores para o aspecto abrangência.

ABRANGÊNCIA	DESCRIÇÃO	ESCORE
Alta	Fonte: Manancial, ETA	3
Média	Fonte: Reservatórios	2
Baixa	Fonte: Canalizações	1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

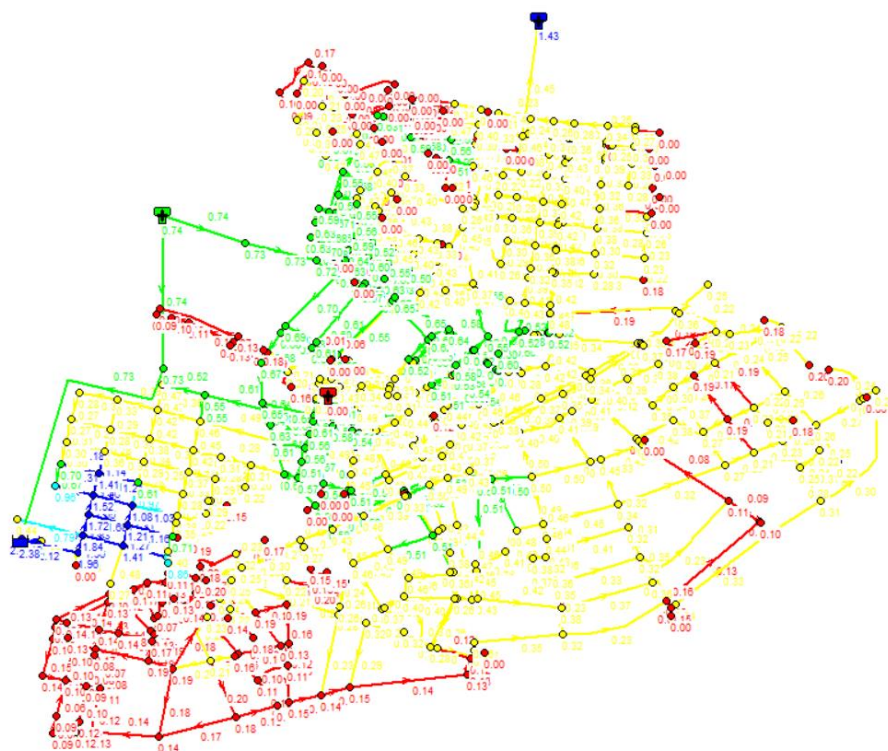
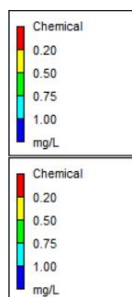
Após simulação bem sucedida, observou-se o comportamento do cloro residual livre (CRL) na rede. Para alguns pontos no bairro da Prata foi observado que há uma variação no comportamento do CRL ao longo do dia. Uma das constatações obtidas é de que, devido a demanda de água exigida do R5 para outros reservatórios, em alguns horários do dia a vazão

torna-se menor e o consumo do reservatório maior. Dessa forma, o R5 sendo um reservatório relativamente pequeno, é demandado de forma que fica sobrecarregado, visto que o mesmo abastece bairros de populações consideráveis, fazendo com que sua lâmina de água desça rapidamente e a qualidade da água próximo a ele não permaneça em conformidade com o padrão de potabilidade exigido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017. Por conta dessa grande demanda, provoca-se uma turbulência na água e conseqüentemente uma maior mistura de água com os sedimentos presente no reservatório, podendo consumir o cloro mais rapidamente em determinado momento do dia.

Mesmo com as recentes alterações na estação de tratamento, como a inclusão de etapas de pré-tratamento, o K_b utilizado para a simulação ainda foi considerado alto, sendo de $1,35 \text{ dia}^{-1}$, obtido através da análise do teste da garrafa. Este alto valor de K_b está associado a predominância de compostos inorgânicos, sendo o responsável pela redução da maior parte do cloro. Sendo assim, o cloro é tido como um indicador de operação, pois quando o mesmo cai indica que há uma falha no processo de operação e manutenção dos reservatórios e no tratamento da água. Para que esse valor de K_b diminua recomenda-se um processo de tratamento mais rigoroso e avançado, para que as características da água fornecida sejam melhoradas.

A Figura 2 representa a rede simulada no Epanet 2.0, onde as áreas em vermelho representam o residual de cloro abaixo de $0,2 \text{ mgCl}_2/\text{L}$.

Figura 2 – Esquema da rede de distribuição simulada no Epanet.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o estabelecimento de escores para os aspectos severidade, ocorrência, detecção e abrangência, um grupo de especialistas contribuiu com base no seu conhecimento sobre a qualidade da água e atividades de operação e de manutenção do SAACG.

Com base na avaliação de risco pelo método FMEA quantificou-se os riscos das 5 falhas consideradas neste estudo, gerando valores de risco para cada uma, resultante do produto dos escores atribuídos pelos especialistas, aos aspectos de severidade, ocorrência, detecção e abrangência. Os valores de risco para o cenário atual foi avaliado conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Planilha da análise de risco do cenário atual pelo método FMEA.

PERIGO	FALHA	CENÁRIO ATUAL				RISCO
		S	O	D	A	
Rupturas ou fissuras nas tubulações	F1	3	3	2	1	18
Limpeza, operação e manutenção inadequada nos reservatórios	F2	3	3	2	2	36

Variações inadequadas de vazões/pressões	F3	3	3	2	2	36
Residual de cloro inadequado	F4	3	3	2	2	36
Formação de subprodutos da desinfecção	F5	2	2	3	3	36

Os principais riscos foram os associados às falhas relacionadas com a operação e manutenção da rede de água. No caso do risco F2, foi considerado importante, porque, com base nas informações levantadas, a operação de limpeza e reparação das estruturas não são realizadas de maneira programada, o que foi avaliado como muito severo, pois pode comprometer fortemente a qualidade da água. No mesmo nível de importância foram consideradas as variações inadequadas de vazões/pressões, F3, diante da falta de um controle sistemático desses fatores, a integridade da rede pode ser fortemente comprometida e, conseqüentemente, a qualidade da água distribuída.

No SAACG, o risco da falha F4 é bastante real, visto que a análise das concentrações de cloro residual livre realizadas, constatou a existência de setores em que a degradação da qualidade da água é bastante crítica. De fato, considerando tanto as concentrações de CRL observadas e simuladas, todo o bairro São José, apresentou 100% de não cumprimento do padrão mínimo de potabilidade. Portanto, é razoável afirmar que os residentes no bairro São José estão sob risco, sempre que consumirem água do sistema de abastecimento. Os residentes da área mais periférica dos bairros Lauritzen e Conceição, também constituem uma população mais vulnerável aos perigos do uso da água.

Em relação à falha F5, a reação do cloro com matéria orgânica naturalmente presente na água, pode produzir subprodutos da desinfecção, tais como trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (HAAs), que podem ter efeitos crônicos adversos na saúde humana (CHARISIADIS et al., 2015). Diante da falta de medidas de THMs, a ocorrência foi avaliada com base na qualidade da água na saída da estação de tratamento de água, uma vez que a estação não tem a capacidade de remover os precursores do THMs. Outros aspectos avaliados que contribuíram para o elevado valor do risco foi a detecção que exige equipamentos sofisticados e da grande abrangência associada a esta falha. No entanto, a severidade foi considerada moderada, este juízo foi baseado no efeito crônico dessas substâncias (NASCIMENTO, 2016).

Na sequência, a falha F1 está relacionada com o comprometimento da integridade da rede por rupturas/ fissuras dos condutos e associado a isto há a idade avançada da rede. Além disso, ocorre nessas vias maior diversidade de materiais, pois quando os reparos são feitos muitas vezes é preciso fazer a união de tubulações com materiais diferentes diante da impossibilidade de trocar toda a sua extensão, tornando-as mais suscetíveis a quebras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gerenciamento de um sistema de abastecimento de água compreende funções típicas ligadas ao planejamento, coordenação e controle. Com base na análise de risco e na simulação do sistema foi possível identificar as principais deficiências do cenário atual, para que a partir delas sejam feitos planejamentos e ações que permitirão a priorização de atividades de operação e manutenção mais eficientes.

O uso de modelos de simulação da qualidade da água contribui significativamente para a melhoria da qualidade do serviço de abastecimento de água fornecidas pela concessionária, uma vez que gera um melhor entendimento do funcionamento do sistema.

Diante disso, espera-se que os resultados da pesquisa sejam capazes de motivar os gestores a uma reflexão sobre os riscos à população consumidora associados à degradação da qualidade da água e que a análise do conjunto de dados torne-se instrumento útil nas intervenções necessárias nos esquemas de operação e manutenção do sistema de abastecimento.

REFERÊNCIAS

AVILA, Rodelyn; HORN, Beverley; MORIARTY, Elaine; HODSON, Roger; MOLTCHANOVA, Elena. **Evaluating statistical model performance in water quality prediction.** Journal of Environmental Management. Vol.206, pp.910-919, Jan 2018.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. MIERZWA, J. C. **Análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano.** In: Pádua, V. L. (Org.). Remoção de micro-organismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 327-360.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do ministro. **Portaria de consolidação Nº5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.

CHARISIADIS, P.; ANDRA, S. S.; MAKRIS C. K.; CHRISTOPHI C. A.; SKARLATOS D.; VAMVAKOUSIS V., KARGAKI S.; STEPHANOU G. E. Spatial and seasonal variability of

tap water disinfection by-products within distribution pipe networks. **Science of the Total Environment**, v. 506–507, 2015.

DEERE, D., DAVISON, A. Safe water – are food guidelines answer? **Water**, v. 25, p. 21-24, 1998.

EPA. Agency Environmental Protection. **Water treatment manuals - Disinfection**. Irlanda: EPA, 2011.

NASCIMENTO, R.S. **Modelo conceitual para a gestão da qualidade da água em sistemas de abastecimento de médio porte**. 2016. 192. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2016.

SOARES, S. R. **Gestão e planejamento ambiental**. Florianópolis: UFSC, 2006.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking water quality**. 4 ed. Genebra, Suíça: WHO, 2011.

ZECHMAN, E. M. Agent-based modeling to simulate contamination events and evaluate threat management strategies in water distribution systems. **Risk Analysis**, v. 31, n. 5, 2011.