

## I-006 - AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE, PB

**Igor Souza Ogata<sup>(1)</sup>**

Engenheiro sanitarista e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Clarissa Câmara de Freitas<sup>(2)</sup>**

Engenheira sanitarista e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestranda em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Rui de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Engenheiro civil pela Escola de Engenharia do Maranhão. Mestre em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba. PhD em engenharia civil pela Universidade de Leeds. Professor doutor da Universidade Estadual da Paraíba.

**Ruth Silveira do Nascimento<sup>(4)</sup>**

Engenheira civil pela Universidade Federal da Paraíba. Licenciatura plena em matemática pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutoranda em recursos naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora adjunta da Universidade Estadual da Paraíba. Coordenadora de programas e projetos da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba.

**Danyllo Vieira de Lucena<sup>(5)</sup>**

Graduando em engenharia sanitária e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Coronel João Figueiredo, 78 - Bodocongó – Campina Grande - Paraíba - CEP: 58430-180 - Brasil - Tel: +55 (83) 8750-3292 - Fax: +55 (83) 3321-0967 - e-mail: [igor\\_ogata@hotmail.com](mailto:igor_ogata@hotmail.com).

### RESUMO

Através de informações geradas nas ações de vigilância da qualidade da água do sistema de abastecimento do município de Campina Grande, este trabalho objetiva mapear o sistema e categorizá-lo quanto ao grau de risco. As ações de vigilância da qualidade da água contaram com análises de cloro residual livre, turbidez, cloro residual combinado, potencial hidrogeniônico, cor e bactérias heterotróficas, em oito pontos estrategicamente distribuídos segundo a *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano*. Uma avaliação de risco, através da metodologia Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), foi empregada para definir o nível de risco dos pontos de amostragem com base nos indicadores analisados. A qualidade da água sistema de abastecimento de Campina Grande mostrou-se boa, no qual os pontos P1, P3, P4, P5, P6 e P9 foram classificados como de risco baixo e os pontos P7 e P8 como de risco moderado, devido, principalmente, a não-conformidade com o padrão de cloro residual livre nesses pontos. Os pontos de amostragem foram bem caracterizados, pela metodologia de avaliação de risco proposta, com exceção de P8, que deveria ter sido categorizado com um nível de risco maior, pois sua situação oferece grave risco à saúde humana. Contudo, devido à compensação inerente ao método da soma ponderada, o risco do ponto P8 foi amortecido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vigilância da qualidade da água, Avaliação de risco, Metodologia FMEA, Sistema de abastecimento de água, Campina Grande.

### INTRODUÇÃO

O início da legislação brasileira em relação à padronização da água potável foi em 1977, com a edição da Portaria nº 56/77 do Ministério da Saúde (MS), que incluía alguns valores máximos permitidos de constituintes químicos e microbiológicos. Em 1990 houve uma revisão da Portaria nº 56/77, e edição da Portaria 36/90 que inovou com a definição de controle e vigilância da qualidade da água, a definição de sistema de abastecimento de água e a inclusão de alguns outros parâmetros físicos e microbiológicos (GALDINO, 2009). Após 10 anos da edição da Portaria 36/90, foi editada a Portaria nº 1469/00 que, entre outros fatores, contribuiu grandemente com a inserção de mais padrões químicos e microbiológicos de potabilidade da água.



A Portaria 518/04 do MS foi editada revogando a Portaria nº 1469/00, devido a mudanças na estrutura do Ministério da Saúde. Ela mantém todos os parâmetros da Portaria anterior entre outros aspectos, apenas com algumas adaptações ao novo ordenamento do MS. Dentre essas inovações, encontra-se a obrigatoriedade da desinfecção para todas as águas, a filtração para águas superficiais, a valorização da *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal, obrigatoriedade da pressurização da rede e a caracterização do sistema coletivo e do sistema alternativo de abastecimento de água.

No ano de 2011 houve uma atualização do padrão de potabilidade, sendo editada a Portaria 2914/11 do MS, revogando a Portaria 518/04 e proporcionando algumas mudanças em relação a esta. Dentre essas mudanças estão a inclusão dos novos defensivos agrícolas atualmente utilizados; a inserção do monitoramento de vírus entérico, *Giardia spp.* e *Cryptosporidium spp.*; a restrição do padrão de turbidez na saída da estação de tratamento de água (ETA); o tempo mínimo de contato do desinfetante, em relação ao tipo e concentração do desinfetante, a temperatura e o pH; e o controle da desinfecção através de outras técnicas que não a cloração.

Apesar das mudanças que ocorreram ao longo do tempo, a definição de controle e vigilância da qualidade da água permanece constante, desde a década de 90, sendo o conjunto de ações que visam verificar a aplicação dos padrões de potabilidade na água consumida pela população (BRASIL, 2006a; CARMO, BEVILACQUA E BASTOS, 2008). O controle é exercido pelo órgão responsável pela operação do sistema e a vigilância por um órgão de saúde pública.

O controle muitas vezes se limita à análise e exames com frequência proporcional à população atendida, sendo ainda muito encontrado relatos de doenças relacionadas à água de consumo humano. Para sanar isso, a organização mundial da saúde recomenda a criação de um plano de segurança de água (PSA), um documento que lista os perigos potenciais de todo um sistema de abastecimento de água, para uma ação preventiva (CARMO, BEVILACQUA E BASTOS, 2008), devendo este conter as seguintes etapas: estabelecimento de objetivos; avaliação do sistema de abastecimento de água (SAA); identificação de medidas de controle; preparação de planos de gestão e um funcionamento da vigilância de forma independente (GUIMARÃES, 2010).

Através da coleta, análise e divulgação dos dados, a vigilância da qualidade da água busca a identificação e descrição dos fatores de risco proveniente do SAA, a fim de propor medidas preventivas e de controle dos agravos (BRASIL, 2006a). Esses dados são gerados através da caracterização da qualidade da água quanto a indicadores específicos, conhecidos como indicadores sentinelas e auxiliares.

Os indicadores sentinelas são o cloro residual livre (CRL) e a turbidez e têm como principal objetivo conferir condições de identificação precoce de situações de risco, principalmente em relação a doenças de veiculação hídrica (BRASIL, 2006c). Por sua vez, os indicadores auxiliares, não têm um padrão fixo, mas Brasil (2006c) sugere a escolha destes em relação às características do SAA. No caso desse trabalho, foram escolhidos cloro residual combinado (CRC), cor, potencial hidrogeniônico (pH) e bactérias heterotróficas.

A fim de interpretar melhor esses dados, gerando uma informação mais legível, uma metodologia como a análise de risco, que reúne todos esses dados, estudando-os quanto aos riscos que estes proporcionam ao sistema, é muito útil.

Inicialmente, no estudo da análise de risco é importante saber diferenciar as definições de perigo e risco. O perigo seria um efeito adverso inerente a uma determinada situação, enquanto que o risco seria a quantificação desse perigo, envolvendo a incerteza deste ocorrer e as consequências de sua ocorrência. Brasil (2006b, p. 30) utiliza um exemplo bem interessante para ilustrar essa diferenciação: “uma água para consumo humano que contenha agentes patogênicos representaria um perigo, enquanto seu fornecimento à população traz um risco, que pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade”.

A análise de risco baseia-se em três etapas: avaliação de risco, gerenciamento de risco e comunicação do risco. A avaliação de risco descreve os fatores, agentes ou situações que determinam a ocorrência do perigo. O gerenciamento propõe planos de gestão, baseados nos dados gerados pela avaliação de risco, para evitar, minimizar ou controlar os riscos. A comunicação é o processo interativo de troca de informações entre

indivíduos, grupos e instituições, sobre o risco, para conhecimento da opinião do público e para torná-lo apto a estabelecer medidas de proteção individual (BASTOS, BEVILACQUA E MIERZWA, 2009).

Brasil (2006b) divide a etapa de avaliação de risco em quatro passos. A identificação do perigo é o primeiro, onde as hipóteses sobre o perigo de determinada situação são levantadas, informando os possíveis agentes e os efeitos desta situação adversa. Depois é o passo de avaliação da dose-resposta, que irá determinar qual a quantidade do agente capaz de gerar o efeito adverso. Após isso, é feita a avaliação da exposição, ou seja, a caracterização da quantidade do agente no meio e as vulnerabilidades da população exposta. Juntando todos os dados gerados, é feita a caracterização dos perigos, transformando-os em uma informação de fácil entendimento, através de uma metodologia que una a qualificação e quantificação dos perigos.

Uma metodologia de análise de risco muito interessante devido à sua simplicidade e flexibilidade é a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), que se baseia nos modos e nos efeitos de falhas potenciais. Na qual se cria um pequeno grupo multidisciplinar, para discutir os perigos de um determinado processo e preencher um formulário contendo os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e a quantificação desse perigo. A quantificação é feita através de quatro critérios, a severidade (a magnitude que tem o perigo caso ele ocorra), a ocorrência (a frequência que o perigo ocorre no sistema), a detecção (a probabilidade de percepção do perigo, pelo sistema de controle, antes que este ocorra) e a abrangência (a área que o perigo pode afetar em relação à ocupada pelo sistema), por fim esses critérios são multiplicados gerando um resultado que caracteriza o risco total do processo avaliado (STAMATIS, 2003; TOLEDO & AMARAL, 2006).

O trabalho, então, busca mapear o SAA do município de Campina Grande quando ao grau de risco, empregando para isso informações sobre as características do sistema, o monitoramento dos indicadores sentinelas e auxiliares e o metodologia FMEA de análise de risco.

## METODOLOGIA

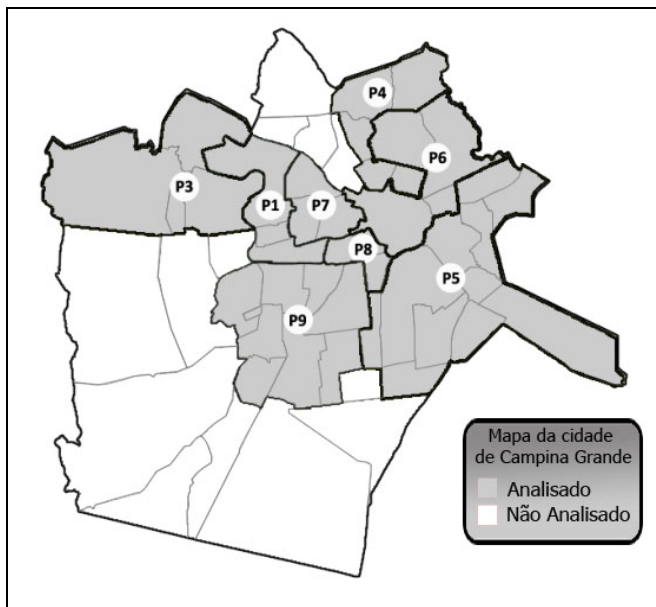
O SAA de Campina Grande é o objeto de estudo do trabalho, sendo o manancial o Açude Epitácio Pessoa (550.000.000m<sup>3</sup> de volume), tendo capacidade máxima de captação de 1500L/s (SANTOS, 2011). A rede de distribuição, que abastece mais de 400.000 habitantes, é dividida em quatro zonas de pressão (SOUZA, 2010).

Oito pontos de amostragem foram escolhidos entre colégios estaduais e municipais e universidades (Tabela 1), com base na “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2006c), de forma que suas áreas de abrangência contemplassem todas as zonas de pressão (Figura 1).

**Tabela 1 – Localização dos pontos de amostragem.**

Ponto	Coordenadas UTM – SAD69/24S	Ponto	Localização (Bairro)
P1 – Universidade Estadual da Paraíba	178.190m E 9.201.768m N	P6 - E.E.E.F.M. Solon de Lucena	181.709m E 9.201.468m N
P3 – E.E.E.F.M. Severino Cabral	178.973m E 9.201.754m N	P7 - E.E.E.F.M. Monte Carmelo	179.360m E 9.200.75m N
P4 – Escola Municipal Ana Azevedo	181.964m E 9.203.638m N	P8 - E.E.E.F.M. Clementino Procópio	180.784m E 9.200.398m N
P5 – Vila Olímpica Plínio Lemos	182.987m E 9.200.893m N	P9 - E.E.E.F.M. Félix Araújo	180.454m E 9.198.406m N

E.E.E.F.M. = Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio; m = metros; E = leste; N = norte.



**Figura 1 – Mapa com as áreas de abrangência.**

As análises, feitas de abril a novembro de 2010, foram realizadas de acordo com as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), CRL, turbidez, CRC, e pH feitas *in loco* e as de cor e bactérias heterotróficas em laboratório, tendo sido tomados os cuidados prescritos para preservação da amostra.

O tratamento estatístico foi através da remoção dos *outliers*, pelo método de Grubbs, com nível de significância de 0,05

e posterior representação pela média aritmética, que foi categorizada, com relação ao padrão de potabilidade da Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (MS)<sup>1</sup>, em seis classes com valores de 0 a 5, onde quanto menor o valor melhor a qualidade da água em relação ao indicador estudado. Como não existe padrão para CRC no Portaria 518/04 do MS, então foi utilizado o padrão para monocloramina. As classes para todos os indicadores estão no trabalho de Ogata (2011).

O trabalho realiza apenas uma avaliação de risco devido às limitações em executar intervenções no SAA de Campina Grande, impossibilitando as atividades de gerenciamento e comunicação de risco.

A avaliação de risco seguiu o método FMEA, onde um formulário é criado listando os perigos do sistema analisado. Os perigos alta concentração de CRL, baixa concentração de CRL, alta turbidez, alta cor, alto pH, baixo pH, alta concentração de CRC e alta concentração de bactérias heterotróficas foram baseados no padrão de potabilidade da Portaria 518/04 do MS. No formulário ainda estão presentes os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco. Os escores são divididos em quatro aspectos: A severidade, a ocorrência, a detecção e a abrangência.

O preenchimento do formulário ocorreu numa reunião onde, através de discussão e com uma tabela de escores para nortear, adaptada de Zambrano e Martins (2007), os valores de escores supracitados recebem valores de 1 a 3, onde 1 representa uma situação de menor risco e 3 uma situação de maior risco, o produto dos valores de cada aspecto gera o risco.

Ao quantificar os riscos para cada perigo foi realizada uma ponderação com todos os valores de R encontrados, com a finalidade de se conhecer qual risco era mais influente no SAA de Campina Grande.

<sup>1</sup> Portaria vigente durante a execução do trabalho, revogada pela Portaria 2914/11 do MS.

Por fim o risco para cada ponto de amostragem foi dado pela multiplicação entre a classificação do indicador pela ponderação do seu respectivo risco, gerando um risco máximo de valor 4, devido à existência de riscos excludentes entre si no caso dos indicadores CRL e pH. Assim, a Tabela 2 foi desenvolvida com a finalidade de uma melhor representação do risco total.

**Tabela 2 – Classificação do risco total.**

Faixa (intervalo do risco)	Classificação
$0 < x \leq 0,8$	Desprezível
$0,8 < x \leq 1,6$	Baixo
$1,6 < x \leq 2,4$	Moderado
$2,4 < x \leq 3,2$	Alto
$3,2 < x \leq 4,0$	Crítico

## RESULTADOS

Todos os indicadores, após o tratamento estatístico, apresentaram os valores de suas médias em conformidade com o padrão de potabilidade da Portaria 518/04 do MS, em todos os pontos, exceto o CRL nos pontos P7 e P8, estiveram em não-conformidade devido ao excesso e à escassez, respectivamente. Contudo, o padrão de potabilidade não considera que um indicador está em conformidade através da média dos valores medidos em um espaço de tempo, e sim através da frequência de conformidades nesse espaço de tempo. Considerando a definição de conformidade do padrão de potabilidade, todos os indicadores apresentaram pelo menos uma não-conformidade, ao longo do período de análise.

A Tabela 3 apresenta o resultado do preenchimento do formulário FMEA, onde está inserida toda a discussão essencial ao desenvolvimento da metodologia e que tem como principal objetivo a definição dos valores dos escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência, culminando no risco relacionado ao perigo listado.

Para o perigo da baixa concentração de CRL o escore de severidade foi considerado 3, dado que a ocorrência desse perigo traz agravos significantes à saúde humana, maior probabilidade da presença de microrganismos patogênicos (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). O escore da ocorrência foi considerado 2, pois de um total de 240 amostras, 41 estavam em desacordo com o padrão mínimo estabelecido pela Portaria 518/2004 do MS, sendo considerada uma ocorrência mensal pela tabela de escore. A detecção teve um escore 2, porque a forma de medição é simples e a abrangência foi considerada de valor 3, pois o perigo alcançava áreas além da rede de distribuição, uma vez que a concentração de CRL só tende a diminuir com o passar do tempo, pela reatividade desse espécie química (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). Pelo produto entre os escores, resultou num risco de 36.



**Tabela 3 – Formulário FMEA preenchido.**

Perigo	Tipo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa concentração de CRL	Re	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	2	2	3	36	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta concentração de CRL	Re	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	3	2	2	2	24	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta turbidez	Re	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta concentração de CRC	Re	Odor e sabor característicos e irritação das mucosas	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição	2	2	2	2	16	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
Alta cor	Re	Aspecto desagradável ; presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Presença de substâncias corantes no manancial ou falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	2	2	3	12	Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixo pH	P	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	1	2	3	6	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto PH	P	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta concentração de bactérias heterotróficas	Re	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na distribuição	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição

Re=Real; P=Potencial; S=Severidade; O=Ocorrência; D=Detecção; A=Abrangência; R=Resultado ou Risco.

O perigo de alta concentração de CRL obteve escore de severidade igual a 3 já que, pelo alto poder oxidante desse desinfetante, valores muito altos causam intoxicação, culminando em diarreia, alteração da flora intestinal e irritação das mucosas (KALMAZ e KALMAZ, 1981). Quanto à ocorrência o escore foi 2, pela não-conformidade com a Portaria 518/04 do MS de 48 amostras de um universo de 240. A detecção obteve escore 2, pela mesma situação do perigo de baixa concentração de CRL. A abrangência foi considerada 2, pois mesmo o perigo chegando ao consumidor, o CRL tende a diminuir com o passar do tempo e elevados valores só são encontrados nas proximidades dos reservatórios, pois o sistema de distribuição de água potável não conta, ordinariamente, com pontos de recloração, havendo, mais frequentemente, um exagero na cloração nas ETA's, para que o CRL chegue, pelo menos, com seu valor mínimo nas pontas de rede. O risco total para a elevada concentração de CRL foi estimado como 24.

Outro perigo é o da alta turbidez na água potável, levando a um escore de severidade 3, pois é um fiel indicador de oocistos de protozoários presentes na água, bem como interfere na eficiência da desinfecção, podendo causar graves danos à saúde humana (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A ocorrência obteve escore 1, pois num universo de 240 amostras apenas 3 estavam em não-conformidade com a Portaria 518/04 do MS. O escore da detecção foi considerado 2, uma vez que, apesar da turbidez poder ser detectada a olho nu, a faixa que interessa à potabilidade da água não é possível de ser detectada sem o auxílio de uma aparelhagem simples. A abrangência foi alta, escore 3, pois a alta turbidez chega aos consumidores e permanece na água até que seja feito um tratamento (filtração ou decantação, por exemplo). O risco foi então estimado em 18.

A alta concentração de CRC é outro perigo da qualidade de água potável, com severidade 2, pois apesar de causar problemas à saúde humana (irritação de mucosas), estes são bem leves e o poder oxidativo do CRC é bem menor que o do CRL (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). Na ocorrência foi considerado um escore 2, pela frequência mensal de não-conformidades com a Portaria 518/04 do MS (20 amostras em um universo de 240 amostras). A detecção foi atribuído escore 2, porque o método analítico do CRC é similar ao do CRL. Por sua vez, o escore de abrangência foi igual a 2 dado que, apesar do perigo chegar ao consumidor, a concentração do CRC tende a diminuir com o tempo, pois o último estágio de oxidação do CRC (a tricloramina) é extremamente volátil (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A multiplicação desses resultados gerou um risco de 16.

O perigo dos altos valores de cor foi considerado de baixa severidade, com escore 1, seu efeito real é apenas na aparência da água, odor e sabor, mesmo estando relacionado à presença de substâncias húmicas e fúlvicas, que aumentam a concentração de trihalometanos na água, representando um perigo somente potencial (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A ocorrência foi considerada mensal, com escore 2, dado que apenas 19 amostras estavam em não-conformidade com a Portaria 518/04 do MS, em um universo de 240 amostras. O escore da detecção foi 2, pois a faixa de cor com a qual se controla a qualidade da água é muito baixa, sendo imperceptivelmente sem o auxílio do equipamento adequado. A abrangência obteve escore 3, pois a perigo só tende a piorar depois que a água sai da ETA, chegando ao consumidor. Assim, o perigo de alta cor tem risco igual a 12.

O alto pH é mais um perigo da vigilância da qualidade da água, tendo obtido escore 2, uma vez que essa característica ajuda na transformação do CRL em CRC, que tem menor poder desinfetante que o primeiro, aumentando as chances de causar algum agravo à saúde (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A ocorrência obteve escore 1, mesmo não havendo nenhuma não-conformidade com a Portaria 518/04 do MS, pois não existe risco nulo na metodologia FMEA. A detecção recebeu escore 2, pois é necessário um pHmetro para determinar o valor do pH na água. O escore de abrangência foi 3, pois este perigo não varia muito com o tempo, ultrapassando limites do SAA, ou seja, alcançando os consumidores. Para este perigo o valor estimado para o risco foi de 12.

Para o perigo de baixo pH, o escore de severidade foi 1, uma vez que diferentemente do risco anterior ele auxilia na desinfecção, embora possa causar corrosão das tubulações com consequentes vazamento que comprometem a qualidade da água (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). O escore da ocorrência foi 1, dado que apenas uma não-conformidade foi verificada com a Portaria 518/04 do MS, num universo de 240 amostras. A detecção obteve escore 2, em função do mesmo grau de dificuldade do perigo anteriormente analisado, podendo também, por analogia, ser explicado o valor de abrangência 3, resultando o risco total 6.



Por fim, com relação ao perigo da alta concentração de bactérias heterotróficas na água tratada, foi atribuído o escore para severidade 3, não por essas bactérias serem patogênicas, mas por elas formarem biofilmes nas tubulações, que podem abrigar os microrganismos patogênicos, comprometendo a desinfecção (BARTRAM *et al.*, 2003; PAYMENT E ROBERTSON, 2004). A ocorrência obteve escore 1, pela frequência semestral das não-conformidades, havendo apenas 4 amostras fora do padrão da Portaria 518/04 do MS nas 240 amostras analisadas. A detecção se dá por um processo com medições simples, mas todo o processo é minucioso, com grande investimento, com pessoal especializado e demandando tempo, sendo mais adequada a aplicação do escore 3. O escore de abrangência foi 3, pois, além desse perigo chegar aos consumidores em geral, ele só tende a piorar com o tempo, pois o CRL (principal agente desinfetante) irá diminuir com o passar do tempo (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). O risco resultante foi 27.

O risco de baixa concentração de CRL e alta concentração de bactérias heterotróficas foram os riscos mais influentes no SAA, contribuindo com 23,84% e 17,88%, respectivamente. Confirmando a percepção intuitiva que estes riscos estão mais relacionados à presença de microrganismos patogênicos (BARTRAM *et al.*, 2003; PAYMENT E ROBERTSON, 2004; SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). Os riscos de alta concentração de CRL e turbidez seguiram com importâncias de 15,89% e 11,92%, respectivamente. Os riscos relacionados aos indicadores CRC, cor e pH tiveram baixa influência individual no risco total do SAA, pois estes não estão diretamente relacionados com danos à saúde humana.

Os pontos P1, P3, P4, P5, P6 e P9 foram classificados como de risco baixo, enquanto que os pontos P7 e P8 como de risco moderado, estando os cálculos que resultaram nessa classificação na Tabela 4 e o mapa de risco para melhor representar os resultados na Figura 2.



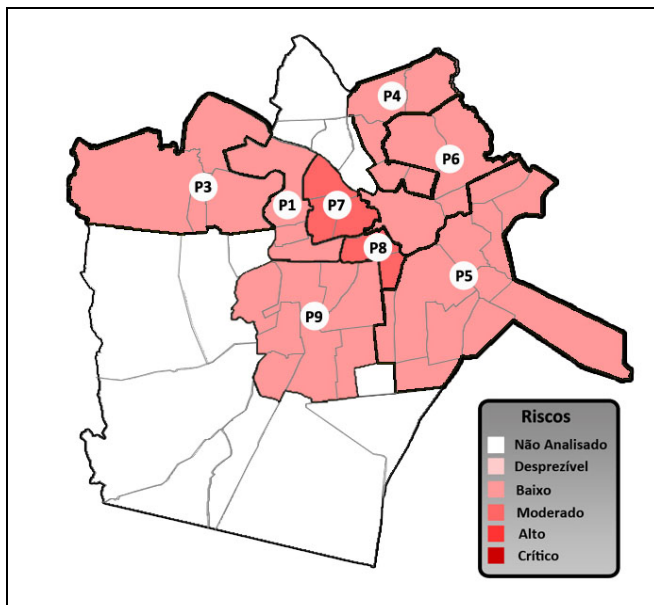
Tabela 4 – Risco total para todos os indicadores.

PTO	Media Aritmética	Classificação	Risco %	Risco Total	PTO	Media Aritmética	Classificação	Risco %	Risco Total
<b>P1</b>					<b>P6</b>				
CRL	0,71	2	23,84	47,68	CRL	1,42	1	15,89	15,89
Turb	0,58	1	11,92	11,92	Turb	0,74	1	11,92	11,92
CRC	1,58	3	10,60	31,80	CRC	1,70	3	10,60	31,80
Cor	7,5	2	7,95	15,90	Cor	8,4	3	7,95	23,85
pH	7,52	0	3,97	0,00	pH	7,31	1	3,97	3,97
BHF	15	1	17,88	17,88	BHF	17	1	17,88	17,88
<b>Baixo</b>				<b>1,2518</b>	<b>Baixo</b>				<b>1,0531</b>
<b>P3</b>					<b>P7</b>				
CRL	1,52	2	15,89	31,78	CRL	2,30	5	15,89	79,45
Turb	0,74	1	11,92	11,92	Turb	0,70	1	11,92	11,92
CRC	1,88	3	10,60	31,80	CRC	1,94	3	10,60	31,80
Cor	7,9	3	7,95	23,85	Cor	6,6	2	7,95	15,90
pH	7,32	1	3,97	3,97	pH	7,31	1	3,97	3,97
BHF	17	1	17,88	17,88	BHF	6	1	17,88	17,88
<b>Baixo</b>				<b>1,2120</b>	<b>Moderado</b>				<b>1,6092</b>
<b>P4</b>					<b>P8</b>				
CRL	1,33	1	15,89	15,89	CRL	0,03	5	23,84	119,20
Turb	0,80	1	11,92	11,92	Turb	1,02	1	11,92	11,92
CRC	1,81	3	10,60	31,80	CRC	0,73	1	10,60	10,60
Cor	8,1	3	7,95	23,85	Cor	9,1	3	7,95	23,85
pH	7,32	1	3,97	3,97	pH	7,28	1	3,97	3,97
BHF	15	1	17,88	17,88	BHF	22	1	17,88	17,88
<b>Baixo</b>				<b>1,0531</b>	<b>Moderado</b>				<b>1,8742</b>
<b>P5</b>					<b>P9</b>				
CRL	1,36	1	15,89	15,89	CRL	1,57	2	15,89	31,78
Turb	0,60	1	11,92	11,92	Turb	0,60	1	11,92	11,92
CRC	2,14	3	10,60	31,80	CRC	1,86	3	10,60	31,80
Cor	8,4	3	7,95	23,85	Cor	9,1	3	7,95	23,85
pH	7,26	1	3,97	3,97	pH	7,39	1	3,97	3,97
BHF	14	1	17,88	17,88	BHF	8	1	17,88	17,88
<b>Baixo</b>				<b>1,0531</b>	<b>Baixo</b>				<b>1,2120</b>

BHF = bactérias heterotróficas (UFC.mL<sup>-1</sup>), pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez (UT), Cor (uH), CRL = cloro residual livre (mg.L<sup>-1</sup>), CRC = cloro residual combinado (mg.L<sup>-1</sup>).

O resultado para o ponto P7 foi adequado, apesar de altas concentrações de CRL causarem irritação nas mucosas. O excesso de CRL nesse ponto não é tão alto, sendo a concentração média de 2,30mg/L pouco preocupante, podendo no máximo causar problemas no sistema digestivo (KALMAZ e KALMAZ, 1981). Outro aspecto a ser considerado é a alta reatividade do CRL, que diminui sua concentração rapidamente, podendo a própria reservação predial adequar o indicador ao padrão de potabilidade (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). Essa característica é devida à localização do ponto de amostragem, que está próximo ao principal reservatório da cidade que recebe água diretamente da ETA, na qual ocorre um exagero na aplicação de CRL, a fim de garantir a presença deste nas pontas de rede.

Por sua vez, o ponto P8 apresenta um problema mais sério que os demais pontos, pois a escassez de CRL na água torna-a mais suscetível à presença de microrganismos patogênicos (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A situação da rede de distribuição na área de abrangência do ponto é precária, uma vez que a tubulação é antiga, de material inadequado (cimento amianto) e com manutenção deficiente, assim, a classificação de risco como moderada não parece muito adequada.



**Figura 2 – Mapa de risco da qualidade da água do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande para todos os indicadores.**

Os demais pontos apresentam-se similares, pois os valores das médias de todos os indicadores estão em conformidade com a Portaria 518/04 do MS, então o grau de risco baixo é adequado, apesar dos pontos P4, P5 e P6 exibirem dados mais concisos, uniformes, com menos não-conformidades ao longo do tempo de análise.

## CONCLUSÃO

O SAA de Campina Grande tem, de maneira geral, uma qualidade de água boa, onde os pontos P1, P3, P4, P5, P6 e P9 tiveram um grau de risco baixo e os pontos P7 e P8 um risco moderado, estes obtiveram esse valor devido as não-conformidades quanto ao indicador CRL, havendo excesso no ponto P7 e escassez no ponto P8.

Apesar de todos os valores das médias em todos os pontos estarem em conformidade com o padrão de potabilidade, exceto nos pontos P7 e P8, para o indicador CRL, durante o tempo de análise houve pelo menos uma não-conformidade em todos os indicadores.

Os riscos de baixa concentração de CRL e alta concentração de bactérias heterotróficas, CRL e turbidez foram os principais riscos do SAA de Campina Grande, pois estes riscos estão mais relacionados à agressão à saúde humana que os demais riscos listados no formulário FMEA.

A metodologia FMEA de avaliação de risco se mostrou eficaz na hierarquização dos perigos de um SAA, bem como apresentou resultados muito representativos da realidade da rede de distribuição de Campina Grande, com exceção do ponto P8.

A atenuação do risco no ponto P8 foi devida à compensação de critérios inerente ao método da soma ponderada, pelo qual riscos relacionados aos indicadores de menor importância no risco total do sistema (CRC, pH e cor) interferiram no resultado final. Recomenda-se que seja realizado uma nova análise empregando apenas os indicadores que apresentaram maior importância no risco total do sistema, como, por exemplo, os indicadores sentinelas

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.
2. BARTRAM, J.; COTRUVU, J. A.; EXNER, M.; FRICKER, C. R.; GLASMACHER, A. (Ed.). Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety. London, UK: World Health Organization (WHO), 2003. 271 p.
3. 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. de. Remoção de Microorganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328-362.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469, 29 de Dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde, 2000. 18 p.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 518, 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 15 p.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006a. 212 p.
7. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Inspeção Sanitária em abastecimento de Água. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 84 p.
8. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006c. 60 p.
9. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 2.914, 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 32 p.
10. CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 326-434, out./dez. 2008.
11. GALDINO, F. A. G. Indicadores Sentinela para a Formulação de um Plano de Amostragem de Vigilância da Qualidade da Água de Abastecimento de Campina Grande (PB). Campina Grande – PB: UFCG, 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2009.
12. GUIMARÃES, R. M. Ocorrência de Cloro Residual Combinado no Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande (PB). Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
13. KALMAZ, E. V.; KALMAZ, G. D. The health effects and ecological significance of chlorine residual in water. Chemosphere, Great Britain, v. 10, n. 10, p. 1163-1175, 1981.
14. OGATA, I. S. Avaliação de risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB). Campina Grande – PB: UEPB, 2011. 68 p. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. 2011.
15. PAYMENT, P; ROBERTSON, W. The microbiology of piped distribution system and public health. Editado por Richard Ainsworth. London, UK: World Health Organization (WHO), 2004. 18 p.
16. SANTOS, S. G. dos. Distribuição Espacial de Bactérias Heterotróficas na Rede de Distribuição de Água de Campina Grande – PB. Campina Grande – PB: UFCG, 2011. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2011.
17. SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. Chemistry for environmental engineering and science. 5 ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2003. 768 p.
18. SOUZA, J. de. Conformidade da Água de Abastecimento de Campina Grande (PB) com o Padrão de Aceitação para Consumo Humano. Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
19. STAMATIS, D. H. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2 ed. Milwaukee, American Society for Quality, 2003. 459 p.



XII SIBESA  
XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental  
2014



20. TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha. São Carlos: UFSCar. 2006.