



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL
SANEAMENTO AMBIENTAL E INFRAESTRUTURA URBANA**

Márcia Regina Uchôa Matos

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E
TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA NA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELÉM.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira.

Belém–Pará

2014

Márcia Regina Uchôa Matos

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E
TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA NA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM.**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de mestre em Engenharia civil do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Engenharia Hídrica.

Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento ambiental.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira.

Belém–Pará

2014

Márcia Regina Uchôa Matos

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E
TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA NA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM.**

Data de aprovação: _____ / _____ / 2014

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a Luiza Carla Girard Mendes Teixeira. – Orientadora
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz.
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Universidade Federal do Pará

Belém–Pará

2014

*“A adversidade desperta em nós
capacidades que, em circunstâncias
favoráveis, teriam ficado adormecidas”
(Horácio).*

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder o dom da vida e abençoar meus caminhos.

Aos meus pais pelo amor, incentivo e dedicação sempre concedidos a mim, e pelo apoio e colaboração desde o início desse projeto, cuidando da minha filha Ana Luiza, quando me fiz ausente.

A meu esposo, meu maior incentivador para trilhar este caminho. Meu muito obrigado pelo amor, cuidado e apoio que sempre me deu. E por me fazer tão feliz.

Aos meus irmãos e toda a minha família, que sempre torcem pelas minhas vitórias e conquistas.

Aos meus sogros, que sempre estiveram de braços abertos para me ajudar em tudo e em todas as horas que precisei com a minha filha. Meu muito obrigado.

Aos amigos do PPGEC que estiveram ao meu lado durante esse tempo. Em especial à amiga Raimunda por sempre se dispor a ajudar na formatação deste trabalho, e à amiga Danielle pela ajuda e colaboração que sempre me deu. Meu muito obrigado amigas.

Aos amigos do GESA, em especial a Lia e Elenilce, que colaboraram com esta pesquisa.

Agradeço a direção e a todos os Professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - UFPA.

À minha orientadora Prof^a Luiza Girard, por me conceder mais uma vez o privilégio de trabalhar com ela. Por ter me dito o não nas horas certas e não me deixar desistir e nem desviar o caminho, mesmo com grandes interferências da vida. Minha eterna gratidão.

À FAPESPA pelo apoio financeiro fornecido para a realização da pesquisa.

Agradeço também a todos aqueles que me auxiliaram de uma forma ou de outra, para a realização dessa pesquisa.

RESUMO

O aproveitamento da água da chuva vem sendo bastante utilizado, seja para suprir a escassez de água em regiões desprovidas de abastecimento de água, seja para evitar inundações causadas por chuvas intensas nas grandes cidades ou até mesmo, como uma forma de conservar os mananciais superficiais, sendo uma fonte auxiliar de abastecimento. O objetivo deste trabalho é analisar o risco com a utilização da água de chuva para consumo proveniente de sistemas de aproveitamento dessa água. Neste trabalho é adaptado e avaliado o uso da metodologia FMEA de análise de risco, já aplicada a sistemas de abastecimento de água de grande e médio porte, em três Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva (SAC), localizados na Região Metropolitana de Belém, sendo um situado na zona urbana, denominado de SAC-UR e dois na área rural (SAC-R1 e SAC-R2). Desses sistemas, foi analisada a qualidade da água da chuva em três pontos de coleta (Calha, reservatório após descarte e após filtração), com exceção do SAC-UR que teve um ponto a mais avaliado (desinfecção), uma vez que os sistemas rurais não possuem a unidade de desinfecção. Os parâmetros físico-químicos pH, cor e turbidez, do último ponto de cada um dos sistemas avaliados, apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando que houve uma melhoria da qualidade da água ao passar pelos sistemas e, enquadrando-se dentro dos limites exigidos para o consumo humano. Os parâmetros de coliformes totais e *E.coli* só apresentaram resultados adequados aos padrões de potabilidade no último ponto do sistema urbano. Na avaliação de risco com o uso da metodologia FMEA, foram considerados como riscos o baixo valor de pH, a alta turbidez, a alta cor e a presença de coliformes totais e *E.coli*, com os escores de severidade de baixa a moderada e detecção de moderada a alta. Os pontos avaliados ficaram categorizados como de risco alto a crítico.

Palavras-Chave: Avaliação de risco, Análise de risco, Água da chuva, Método FMEA.

ABSTRAC

The use of rainwater has been widely used , is to address water scarcity in regions devoid of water supply , either to prevent flooding caused by heavy rains in major cities or as a way to even conserve surface water sources , being an auxiliary source of supply . The objective of this work is to analyze the risk you have with the use of rainwater for consumption from the use of such water systems . This work is adapted and evaluated using the methodology, FMEA risk analysis , as applied to supply water systems of large and medium , in three systems capture and treatment of rainwater (SAC) , located in Metropolitan Region of Belém, one located in the urban area , called SAC - RH and two in rural areas (SAC SAC -R1 and - R2) . These systems , we analyzed the quality of rainwater in three sampling points (rail, tank after discharge and after filtration) , except for SAC - UR had one more point assessed (disinfection) , since rural systems lack the disinfection unit . The physico- chemical parameters pH , color and turbidity , the last point of each of the systems evaluated showed satisfactory results and that it fell within the limits required for human consumption . The parameters of total coliforms and E.coli were satisfactory only in the urban system . On risk assessment using the FMEA methodology , the risks were considered low pH , high turbidity , high color and the presence of total coliforms and E.coli . , With scores of low to moderate severity and detection of moderate high . Points assessed were categorized as high risk to critical .

Keywords: Risk assessment, Risk analysis, Rainwater, Method FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reservatório de armazenamento de água da chuva em Jerusalém. ...	18
Figura 2– Fluxograma das etapas que compõem a Análise de Risco.....	33
Figura 3 – Fluxograma das etapas da metodologia FMEA.	38
Figura 4 - Escalas de classificação dos indicadores bactérias heterotróficas facultativas (a), pH (b), turbidez (c), cor (d), CRL (e) e CRC (f) usados na avaliação de risco em SAA.	44
Figura 5 – Escore de Ocorrência criado para SAA diferenciados a partir da quantidade de dados amostrais.	45
Figura 6 – Formulário FMEA preenchido para a Avaliação de Riscos em um SAA nos pontos de adução e reservação.	46
Figura 7 – Quantificação dos riscos individuais para cada perigo e do risco total em um SAA.	48
Figura 8 – Intervalos de categorização do risco baseado no valor do risco máximo em um SAA.....	49
Figura 9 – Categorização do risco por ponto de coleta de acordo com todos os parâmetros analisados em uma avaliação de risco em SAA.	49
Figura 10 – Mapa de risco do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande.	50
Figura 11 – Mapa da Região Metropolitana de Belém (RMB).....	52
Figura 12 – Localização dos sistemas de captação e tratamento de água de chuva.....	53
Figura 13 – Esquema de funcionamento do Sistema de Captação e Tratamento de Água da Chuva Urbano (SAC-UR).....	54
Figura 14 – Pontos de coleta de água da chuva no SCA-UR.	55
Figura 15 - Locais onde os sistemas rurais (SAC R1 e R2) foram instalados: (a) Residência na Ilha Grande; (b): Residência na Ilha Murutucu.	56
Figura 16 – Esquema de funcionamento dos Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva Rural 1 e 2 (SAC-R1 e SAC-R2).	57
Figura 17 – Reservatórios superior e inferior dos SAC-R1 e R2.....	58
Figura 18 - Esquema de execução para a Avaliação de Risco em Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva.	59

Figura 19 – Escalas de classificação dos indicadores pH (a), turbidez (b) e cor (c).	63
Figura 20 - Mapa de risco dos SAC de acordo com os parâmetros de pH, Turbidez e Cor.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Qualidade da água da chuva de acordo com vários autores.....	26
Tabela 2 – Principais parâmetros da qualidade da água estabelecidos na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e na NBR 15.527 (BRASIL, 2007).....	27
Tabela 3 – Tabela de escores para a Avaliação de Risco nos SAC.	60
Tabela 4 - Valores estudados dos SAC Rural1 e Rural2.	64
Tabela 5 - Valores estudados do SAC-UR.....	65
Tabela 6 – Parâmetros analisados por Gonçalves (2012) e Arruda (2014) da qualidade da água nos pontos finais dos SAC-Rural 1 e 2 e do SAC-UR.....	66
Tabela 7 - Formulário FMEA do ponto da Calha para os SAC.....	69
Tabela 8 - Formulário FMEA do ponto do reservatório após descarte dos SAC.....	71
Tabela 9 - Formulário FMEA do ponto do reservatório após filtro ou pós filtro dos SAC.....	74
Tabela 10 - Formulário FMEA do ponto de desinfecção do SAC-UR.....	77
Tabela 11 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-R1.....	80
Tabela 12 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-R2.....	81
Tabela 13 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-UR.....	82
Tabela 14 – Categorização dos riscos e o risco máximo em cada ponto dos SAC...	83
Tabela 15 – Categorização consolidada para os SAC de acordo com os parâmetros de pH, Turbidez e Cor.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Áreas de atuação da metodologia FMEA.	35
Quadro 2 – Tipos de abordagens dos modos de Falha.	37
Quadro 3 – Localização, população residente e área de risco segundo critérios de qualidade do abastecimento de água no RJ.	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio ambiente
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MP	Material Particulado
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Máximo Permitido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
RMB	Região Metropolitana de Belém
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Sistema de Captação e Tratamento de Água da Chuva
SAC-R	Sistema de Captação e tratamento de Água da Chuva Rural
SAC-UR	Sistema de Captação e tratamento de Água da Chuva Urbano
UFPA	Universidade Federal do Pará
UV	Ultra Violeta
VMP	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	ÁGUA DA CHUVA.....	17
3.2	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA.....	20
4	ANÁLISE DE RISCO	31
4.1	MÉTODO FMEA.....	34
4.2	AVALIAÇÃO DE RISCO EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA).....	41
5	METODOLOGIA	52
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	52
5.2	DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA E OS PONTOS DE COLETA.....	53
5.2.1	<i>Sistema de captação e tratamento de água da chuva urbano (SAC-UR)</i>	53
5.2.2	<i>Sistema de captação e tratamento de água da chuva rural (SAC-R1 e SAC-R2)</i>	56
5.2.3	<i>Parâmetros de qualidade da água analisados nos SAC</i>	58
5.3	AVALIAÇÃO DE RISCO.....	59
5.3.1	<i>Método FMEA</i>	60
5.3.1.1	Análise das falhas em potencial.....	60
5.3.1.2	Avaliação das falhas em potencial.....	61
5.4	PONDERAÇÃO DOS RISCOS.....	61
5.5	CÁLCULO DO RISCO TOTAL.....	63
5.6	MAPA DE RISCO.....	63
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
6.1	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	64
6.2	RESULTADO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS SAC COM OS VALORES ESTABELECIDOS NA	

PORTARIA Nº 2914 (BRASIL, 2011) E NA ABNT - NBR 15.527 (BRASIL, 2007).....	66
6.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO NOS SAC.....	68
6.3.1 Resultado do formulário FMEA.	68
6.3.2 Importância das medidas mitigadoras.....	78
6.3.3 Soma ponderada dos riscos para os SAC.....	79
6.3.4 Categorização do risco e cálculo do risco máximo de cada ponto dos SAC.	83
6.3.5 Mapa de risco dos SAC.....	86
6.4 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS.....	91
ANEXO I - Tabela de escore usada no método FMEA para a Avaliação de Risco em SAA.....	96
ANEXO II - Formulário usado no método FMEA de processo ou produto.	97
APÊNDICE A – Formulário FMEA.	98

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização, realidade em grande parte do mundo, gerou uma mudança no ciclo hidrológico das áreas urbanas. O aumento das áreas impermeáveis provocou uma redução da função de infiltração e armazenamento de água de chuva nas camadas subterrâneas da terra. Com isso, a realidade desses centros é a diminuição da recarga dos aquíferos e aumento do escoamento superficial das chuvas, provocando enchentes e trazendo sérios problemas à população. Paralelo a isso, a grande exploração dos mananciais já apresentam sinais de escassez.

A escassez de água no futuro poderá aumentar os riscos de conflitos no mundo. Apesar da quantidade de água disponível ser constante, a demanda crescente em razão do aumento da população e da produção agrícola, cria um cenário de incertezas e conflito. Essa demanda aumentará 55% até 2050, e a previsão é que nesse ano, 2,3 bilhões de pessoas, mais de 40% da população mundial, não terão acesso a água se medidas não forem tomadas (FERNANDES, 2012).

Segundo Duarte (2007), a gestão da qualidade da água está relacionada com o reuso planejado de água que faz parte da estratégia global para a administração da qualidade da água proposta pelo Programa na ONU para o meio ambiente e pela OMS. Nela se prevê o alcance simultâneo de três importantes elementos coincidentes com objetivos estratégicos: proteção da saúde pública; manutenção da integridade dos ecossistemas; uso sustentável da água, que significa que a reutilização da água vai um pouco além do atendimento de demandas circunstanciais.

A captação e o aproveitamento de água pluvial tem se mostrado como uma alternativa promissora para suprir e auxiliar o abastecimento de água; seja para fins potáveis ou não, dependendo da legislação e do tratamento aplicado à água. Porém, economicamente, ainda não é uma opção atrativa para maioria dos consumidores dos grandes centros urbanos, onde há o abastecimento público de água.

A captação e tratamento da água da chuva já é uma realidade em comunidades ribeirinhas na Amazônia, embora na maioria das vezes, essa qualidade da água aproveitada não demonstre ser satisfatória e nem atenda aos

padrões estabelecidos para consumo humano estabelecidos na portaria nº 2914/11. As formas como são coletadas, o tipo de tratamento e a própria configuração dos sistemas de captação e tratamento, podem influenciar na qualidade da água final gerando riscos à população abastecida.

Nesse sentido, a aplicação da análise de risco a esses sistemas de captação e tratamento de água da chuva, pode ser uma ferramenta eficiente para quantificar a intensidade dos possíveis riscos causados pela má qualidade da água para consumo humano através dos indicadores de qualidade, uma vez que, a análise de risco em um determinado sistema, quantificará o risco baseando-se em técnicas de identificação de perigos, estimativas de frequências, análise de vulnerabilidade e na estimativa do risco (CETESB, 2003).

Através da aplicação do método FMEA são identificados e quantificados os possíveis riscos causados através das análises dos indicadores de qualidade da água avaliados nos sistemas de captação e tratamento de água da chuva, baseados nos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos na portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (MS) e com os valores recomendados na NBR 15.527 (BRASIL, 2007) que fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

A quantificação e categorização de cada risco em todos os pontos de coleta permitirá a criação de um mapa de risco de cada sistema que poderá ser usado para nortear as possíveis recomendações de melhoria para eliminar os riscos ou amenizá-los.

Para isto, o trabalho foi estruturado com introdução, objetivos (geral e específico), uma revisão de literatura abordando os assuntos sobre a água da chuva e suas características, sobre a análise de risco e a avaliação de risco aplicado a sistemas de abastecimento de água através do método FMEA, com o objetivo de aplicar e avaliar o uso dessa metodologia FMEA nos sistemas de aproveitamento de água da chuva, apresentando os resultados através da categorização do risco em cada ponto dos sistemas avaliados e por meio da criação de um mapa de risco de cada um dos sistemas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar a metodologia FMEA de avaliação de risco para Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva localizados na Região Metropolitana da cidade de Belém (RMB).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar as características da qualidade da água da chuva dos sistemas de captação e tratamento implantados na RMB com os valores estabelecidos na Portaria nº 2914/11 e na ABNT - NBR 15.527.
- Adaptar e avaliar a aplicação da metodologia FMEA para a avaliação de risco em Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva, apontando as suas possíveis fragilidades e a importância das suas medidas mitigadoras.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ÁGUA DA CHUVA.

Além de fundamental para o ciclo hidrológico, a água da chuva cumpre papel de destaque no que diz respeito à dispersão dos poluentes, uma vez que, ao lavar a atmosfera, sedimenta o material particulado-MP e auxilia na dissolução dos gases. Ela funciona, também, como agente agregador, capturando os particulados, que agem como núcleos de condensação ou são englobados pelas gotas de nuvens, que ao colidirem aumentarão, formando gotas sempre maiores, que acabarão por precipitar. Nesse momento tem início o processo de remoção dos poluentes por carreamento, um eficiente agente de limpeza da atmosfera também denominado deposição úmida (DANNI-OLIVEIRA & BAKONYI, 2003).

A utilização da água da chuva além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, reduz o escoamento superficial e dá chance à restauração do ciclo hidrológico nas áreas urbanas (ANNECCHINI, 2005).

Plínio Tomaz (2003) relata que dentre as inscrições mais antigas do mundo a respeito do aproveitamento da água da chuva estão os reservatórios escavados há 3.600 anos a.C. na Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio e datada de 850 a.C., onde o rei sugeria que as casas tivessem captação de água de chuva.

Recentemente, foi descoberta uma enorme cisterna subterrânea em Jerusalém. Segundo o arqueólogo Eli Shukron, que comandava a expedição que encontrou o reservatório, o achado é significativo, pois, é a primeira evidência de armazenamento de água próximo ao Primeiro Templo de Jerusalém e revela como era Jerusalém há dois mil anos atrás. A Figura 1 ilustra o reservatório, medindo aproximadamente um décimo do tamanho de uma piscina olímpica, o reservatório mede 12 m por 5 m com 4,5 m de altura com capacidade de aproximadamente 250 metros cúbicos de água (SHALOM, 2012).

Figura 1 – Reservatório de armazenamento de água da chuva em Jerusalém.



Fonte: Shalom, 2012.

No Brasil, segundo Ghanayem (2001), a instalação mais antiga de captação e aproveitamento da água da chuva foi construída pelos norte-americanos na Ilha de Fernando de Noronha, em 1943.

O aproveitamento da água da chuva vem sendo bastante utilizado, principalmente por indústrias, que têm conseguido grandes reduções de consumo de água tratada. As suas próprias instalações já apresentam condições favoráveis para a implantação de sistemas de coleta da água da chuva, com grande área de telhados para essa captação. Além da economia feita com a redução do consumo de água tratada, essas indústrias passam a se integrar aos princípios do desenvolvimento sustentável.

No Brasil, cidades como Curitiba, Rio de Janeiro, Ribeirão Preto, São Paulo, entre outros, devido aos constantes problemas com enchentes, criaram decretos e/ou leis que regulamentam o armazenamento da água da chuva para espaçar o escoamento superficial. Em São Paulo, a Lei Nº 13.276/02 e no Rio de Janeiro, o Decreto Municipal Nº 23.940/04, obriga a coleta da água da chuva para os empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m², com o objetivo de evitar inundações. E, em Curitiba, a Lei Nº 10.785/03 criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações, com o objetivo de conservar e fazer uso racional da água, utilizar fontes alternativas para captação de água e conscientizar os usuários (ANNECCHINI, 2005).

Assim, observa-se que no Brasil, a busca pelo aproveitamento da água da chuva, não é uma alternativa restrita às áreas semiáridas, localizadas na região

nordeste do Brasil como fonte de abastecimento. Esse aproveitamento também é usado como uma forma de evitar enchentes causadas por intensas precipitações nos grandes centros urbanos e diminuir os custos com o uso de água potável para fins menos nobres. (ZANELLA, 2012)

Na Amazônia o aproveitamento da água da chuva já é realidade, mas de forma incipiente, até pelo fácil acesso da população às águas superficiais. Mas, já se tem casos desse aproveitamento em populações ribeirinhas da Amazônia, onde o sistema de abastecimento de água público ainda não atende às necessidades dos moradores dessas áreas (VELOSO E MENDES, 2012; GONÇALVES, 2012).

Os estados do Amazonas e Pará são os que possuem experiências mais avançadas do uso dessa água, particularmente para populações rurais e ribeirinhas (VELOSO *et al.*, 2012). As iniciativas de suprir a falta de abastecimento de água adequada, pelo aproveitamento da água da chuva, partem de inúmeras formas, sejam por parte de associações de moradores, instituições de ensino, organizações não governamentais, entes públicos e até do próprio ribeirinho (GONÇALVES, 2012).

A melhoria da qualidade da água da chuva obtida nesses sistemas de aproveitamento implantados na Amazônia faz com que esses sistemas sejam a melhor alternativa de abastecimento de água para essas populações. Os altos índices pluviométricos dessa região, também contribuem muito para a implantação desses sistemas de aproveitamento da água da chuva a favor do desenvolvimento humano da região. (VELOSO E MENDES, 2012; GONÇALVES, 2012)

Segundo Rebouças *et al.* (2006) a precipitação média na região amazônica é de 2.300 mm/ano. No Estado do Pará, as precipitações ocorrem com certa frequência de 176 a 200 dias por ano, principalmente, na parte nordeste e norte do Estado, justamente onde se localiza a cidade de Belém, tendo o trimestre mais chuvoso nessas regiões entre os meses de fevereiro a abril e o mais seco entre agosto e outubro (ZEE, 2009).

Os altos índices de pluviosidade da região podem contribuir positivamente para a implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva. Porém, as características dessa água poderão variar de acordo com a localização de captação e tratamento, se próximas ou não de fontes de poluição. Serão as características da água da chuva que determinarão o tipo de tratamento que esta água deverá receber para adequá-la à finalidade que se destina (VELOSO *et al.*, 2012).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA

As características físicas, químicas e biológicas da água na natureza são definidas a partir da qualidade e quantidade de inúmeras partículas, materiais e gases que são incorporados a ela e dependem das condições meteorológicas da quantidade e qualidade das cargas poluidoras (MELO, 2007).

Segundo Anecchini (2005), em regiões próximas aos oceanos existe uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva, já em regiões com grandes áreas não pavimentadas, ou seja, com grandes áreas de terra, provavelmente, estarão presentes na água da chuva partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro. E, regiões densamente urbanizadas e industrializadas apresentam em sua atmosfera, compostos poluentes como os óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado (MP) oriundos de lançamentos de chaminés e de automóveis.

Para Melo (2007), a maior interferência na qualidade da água da chuva, é dependente da qualidade do ar que também pode variar de acordo com as condições meteorológicas, as cargas poluidoras e suas origens (mineração, indústria, agrícola, construção civil, veículos, etc.) e da presença ou não de vegetação.

No geral, a água da chuva sofre um processo de destilação natural que poderá alterar suas características e até melhorar a sua qualidade. Entretanto, dependendo da região onde ocorre a precipitação, a chuva pode apresentar poluentes, principalmente em regiões próximas aos grandes centros urbanos ou em áreas bastante industrializadas (SILVA e DOMINGOS, 2007). De onde se origina a famosa ocorrência da chuva ácida, considerada quando o pH da água da chuva é inferior a 5.6, podendo alcançar o pH do ácido elítico (vinagre - pH=3). Estes valores de pH baixos são causados pela presença dos ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3), formados a partir do dióxido de enxofre (SO_2) e do monóxido de nitrogênio (NO), respectivamente, presentes na atmosfera (Bashkin e Radojevic, 2003). É considerado um sério problema ambiental, pois esses compostos retornam ao solo/água sob a forma de chuvas ácidas (TUCCI, 2001).

Segundo Tordo (2004) a água do mar, lagos ou solo, ao evaporar não é ácida e nem alcalina, é neutra. Entretanto, o vapor da água combinado com os gases

presentes na atmosfera, como o dióxido de carbono, podem se transformar em um ácido fraco. Quando o ar está desprovido de poluentes, o único ácido que influencia o pH das precipitações é o ácido carbônico, uma vez que, esse ácido dissolvido na água pura mantém o pH em torno de 5,65, sendo levemente ácido, porém considerado normal.

Na região central da Amazônia a acidez da chuva é atribuída principalmente à presença de ácidos orgânicos, e devido a uma combinação entre a influência marinha vinda do oceano e a queima de biomassa (WILLIANS et al.,1997).

Para Migliavacca e Teixeira (2003) a acidez da chuva é proveniente da presença de algumas espécies químicas, além das espécies carbonáticas, destacam-se os cátions e os ânions inorgânicos como sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloro, sulfato, amônio e nitrato, presentes na precipitação atmosférica.

Para Seinfeld e Pandis (1998) essa acidificação associa-se, principalmente, a presença de NO_x e SO_x , originados a partir do processos de combustão ocorrido na atmosfera, onde oxidam-se a nitrato e sulfato. Além disso, a radiação solar e as reações desses gases com a água da chuva formam o ácido nítrico e sulfúrico que diminuem o pH da água da chuva de acordo com a poluição atmosférica.

Existem vários parâmetros que podem influenciar na qualidade da água de chuva, como a qualidade do ar da região onde será realizada a coleta, o tipo de material da superfície de captação; a limpeza dessa superfície, da calha, da tubulação que transporta a água até o reservatório e do próprio reservatório; bem como os cuidados dos moradores com a manutenção do sistema e o manuseio da água (ANDRADE NETO, 2004).

Coombes et al. (2006) estudaram a qualidade da água de chuva captada em Hamilton, Austrália. Após descartar os primeiros milímetros de chuva (volume não citado) a água foi armazenada e em seguida analisada. Os resultados médios obtidos foram os seguintes: 6,20 de pH, 5 mg/L de sulfato, 0,01 mg/L de ferro e 834 NMP/100 mL de coliformes totais. Tais resultados, comparados aos padrões brasileiros de potabilidade de água para consumo humano, estabelecidos na Portaria 2914/11 do MS, apresentaram qualidade satisfatória, com exceção nas análises microbiológicas.

Segundo o estudo feito por Melo (2007) na cidade de Natal, para quantificar o volume de água de chuva deve-se descartar a precipitação inicial, afim de que os valores de parâmetros físico-químicos dessa água fiquem bem próximos dos valores

aceitáveis. O autor descartou os primeiros 5 mm de precipitação referentes ao período em que ocorre grande variação percentual da qualidade da água da chuva em virtude das primeiras águas da chuva promoverem a limpeza da atmosfera. A partir de certa quantidade de precipitação, a água se torna de excelente qualidade e com valores estáveis para alguns parâmetros como: condutividade elétrica, pH e turbidez.

Anecchini (2005) chegou à conclusão quando verificou em seu estudo a melhoria na qualidade da água captada em Vitória, após o descarte dos primeiros 1,5 milímetros de chuva. A água de chuva coletada em um telhado metálico apresentou parâmetros como pH e *Escherichia coli* que atendiam ao padrão de balneabilidade (CONAMA nº 274/00). Verificou também que a precipitação equivalente aos primeiros 1,5mm apresentava concentração média de sulfato de 8,1mg/L e a precipitação equivalente a 3mm apresentava concentração de 3,5 mg/L.

Carvalho *et al.* (2012) avaliaram a influência do descarte dos quatro primeiros milímetros de chuva em dois sistemas experimentais com precipitação simulada. No primeiro sistema a água potável foi lançada sobre o telhado de coleta que anteriormente ao lançamento dessa água sofreu uma contaminação bacteriológica artificial por não ter sido detectado nos testes iniciais no sistema a presença de microrganismos. No segundo sistema experimental a precipitação ocorreu naturalmente, sendo a água da chuva coletada a partir de um telhado. Ao final, os autores concluíram que o desvio dos primeiros milímetros de chuva é extremamente importante para garantir o encaminhamento de água de boa qualidade às cisternas e promoveu a remoção de 93,2; 93,7; 98 e 100%, respectivamente de cor, turbidez, coliformes totais e *E-coli*, quando se utilizou precipitação simulada (água potável). Para precipitação natural, os correspondentes valores para turbidez, coliformes totais e *E-coli*, foram 62,4% e 96,5% e 100%.

De acordo com ABNT-NBR 15527 (BRASIL, 2007) pode-se instalar no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial, devendo ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados da qualidade da água da chuva da região a ser implantado o sistema, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Uma pesquisa da Universidade da Malásia identificou que apenas as primeiras águas da chuva é que trazem consigo poluentes atmosféricos, ácidos graxos e outras impurezas, sendo que, após pouco tempo, a água adquire

características de água destilada. O estudo ainda identifica que é economicamente viável o seu uso (com captação da chuva) em áreas rurais, chácaras, condomínios e indústrias, ou seja, em locais e situações em que não necessite o uso de água potável. Isto porque o custo da água é considerado relativamente baixo (DEVES, 2008).

Em estudo feito por Nóbrega *et al.* (2011), após o descarte dessas primeiras águas da chuva, a qualidade da água armazenada em cisternas apresentou uma redução de 70% a 90% dos valores de alguns parâmetros como turbidez, coliformes e bactérias heterotróficas. Segundo os autores, a redução desses parâmetros é importante, pois, tendem a reduzir também o consumo de produtos químicos com a desinfecção por cloração; uma vez que, a qualidade da água da chuva armazenada nas cisternas estudadas atendeu aos padrões de potabilidade exigidos na portaria Nº 2914 do MS (BRASIL, 2011) para os aspectos físico-químicos, como turbidez, cor e pH. Porém, não se enquadrou aos padrões microbiológicos de coliformes totais e e.coli, exigidos na mesma. Fazendo-se necessário a sua desinfecção para que possa ser utilizada de forma potável.

Wisbeck *et al.* (2011) avaliaram o tratamento de água de chuva de precipitação direta e de drenagem de telhados de duas regiões industriais por desinfecção por radiação UV e obtiveram a inativação de 100% dos coliformes totais e coliformes termotolerantes e o não recrescimento desses micro-organismos em amostras tratadas e estocadas por até 72 horas, mas foi ineficiente para inativar a presença de bactérias heterotróficas.

Em estudo desenvolvido por Mendez *et al.* (2011) em Austin, no Texas - USA, foi avaliada a influência do tipo de material do telhado sobre a qualidade da água da chuva coletada para uso. O autor afirmou que a qualidade da água escoada em telhados está intimamente ligada ao tipo de material de cobertura do mesmo. Segundo ele, o telhado de metal para a coleta da água, tende a ter menor concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal em comparação com outros materiais.

Moon *et al.* (2012) ao avaliar a qualidade da água da chuva captada na ilha vulcânica de Jeju na Korea, afirmaram que a influência marinha na ilha provoca uma certa variação nos valores dos parâmetros analisados, como por exemplo, uma predominância de sódio (Na) e cloro (Cl). Porém, a quantidade substancial de sulfato (SO₄), nitrato (NO₃) e amônio (NH₄) não foram atribuídas a essa influencia marinha e

sim à poluição atmosférica antropogênica. Porém, o autor afirma também, que geralmente a maior parte dos parâmetros com valores elevados na água da chuva, após cerca de 20 minutos, diminuem e estabilizam, o que é um efeito da primeira descarga e, assim, faz-se necessário o uso de algum desvio, para a utilização e coleta adequada de águas pluviais na região estudada.

Avaliando a qualidade da água da chuva na cidade de Blumenau-SC, para uso doméstico e industrial, Cipriano (2004) concluiu que o tratamento da água escoada da cobertura (telha cerâmica) não apresentou características potáveis pelo sabor e odor que se demonstraram objetáveis.

Silva (2006) verificou a qualidade da água da chuva captada e armazenada em cisternas (novas e antigas) na zona rural do Vale do Jequitinhonha – MG e constatou uma qualidade superior dessa água sob a água provenientes dos rios e poços, usadas pelos moradores.

Porém, Andrade Neto (2004) afirma que mesmo atendendo aos padrões de potabilidade para consumo humano, a água de chuva captada em áreas rurais apresenta risco de ligado à contaminação microbiológica, uma vez que, dependem dos cuidados no momento da captação/armazenamento e o manuseio correto da mesma.

Simmons *et al.* (2001) investigaram a qualidade das águas coletadas de telhados de quatro bairros em regiões rurais na Nova Zelândia. Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Os resultados demonstraram que 17,6% das amostras apresentavam valores de um ou mais parâmetros químicos superiores aos estabelecidos pelo padrão de potabilidade. Em relação aos aspectos microbiológicos, em 56% dos casos, os parâmetros excederam ao padrão de potabilidade.

Estudos comprovam a obrigatoriedade de se ter o tratamento da água pluvial, quando se pretende utilizá-la para consumo, devido aos riscos associados ao material carregado pela água de chuva quando do escoamento sobre a cobertura. Observa-se a presença de material grosseiro, como folhas, gravetos, sementes e sólidos suspensos e dissolvidos originados de fezes de pássaros, gatos e roedores, além de material particulado fino sedimentado sobre as coberturas a partir de suspensão aérea, além de microrganismos patogênicos presentes em águas de coberturas (Rebello, 2004; Gonçalves, 2006). As pesquisas aqui abordadas foram sintetizadas e os principais resultados obtidos da qualidade da água da chuva

coletadas in natura, ou seja, direto da atmosfera e de águas da chuva coletadas a partir de telhados, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Qualidade da água da chuva de acordo com vários autores

Fonte	Local	pH	Turbidez (UT)	Cor aparente (uC)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	Condutividade (μS.cm-1)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Escherichia coli (NMP/100mL)
Cipriano (2004) ^{***}	Blumenau (SC)	6,1	0,56	15			0	0
Appan (1999) [*]	Singapura	4,1	4,6	8,7			92	6,7
Tordo (2004) ^{**}	Blumenau (SC)	4,13 a 8,63	0,2 a 11,36	4 a 95	8 a 55,96		1 a 2.419	7 a 24000
Jaques (2005) [*]	Florianópolis (SC)	5,13 a 7,58	4,06 a 15,92	5 a 58,78		13,59 a 53,29		
Anecchini (2005) [*]	Vitória (ES)	6,09 a 6,84	0,9 a 10,4		1,8 a 18,5		218 a 538	
Coombes et al. (2006) [*]	Austrália	5,9					0	0
Melo (2007) [*]	Natal (RN)	6,64	0,42	8,7		17,72		
Oliveira (2008) [*]	Ouro preto (MG)	6,99	23					
Cardoso (2009) ^{**}	Belo Horizonte (MG)	7,2 a 8,1	1,6 a 4,4	12 a 30	10 a 20		6 a 1.119	10 a <1
Rosa (2011) ^{**}	Belém (PA)	3,9 a 5,54						
Wisbeck et al. (2011) [*]	Joinville (SC)	6,06 a 6,96	2,31 a 4,85			56,8		165

*Atmosfera **Telhado *** após tratamento

Observando os resultados, constata-se que alguns parâmetros analisados na água da chuva apresentam valores semelhantes, com pouca variação. Mas quando se trata dos parâmetros microbiológicos, Coliformes Totais e *Escherichia coli*, os valores variam bastante. Isso pode ser explicado pelo método de cada tratamento, tipo de coleta, área de coleta, tipo de cobertura do telhado, entre outros fatores.

No Brasil, não há uma lei específica para o aproveitamento da água da chuva, quanto às suas características de qualidade.

Quando a água da chuva se destina ao uso potável; como qualquer outra água com mesma finalidade, a legislação brasileira diz que essas águas devem atender aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde na Portaria nº 2914 de 2011. Para fins não potáveis, os requisitos mínimos a serem atendidos após o tratamento constam na Norma Brasileira – ABNT/NBR - 15.527 (BRASIL, 2007) Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Para Alves (2012), se a finalidade do uso da água for não potável, o tratamento exigirá apenas um descarte inicial dos primeiros volumes da chuva (first flush), seguido de desinfecção.

Na Tabela 2 estão apresentados os principais parâmetros da qualidade da água baseando-se nas duas finalidades de uso (potável e não potável).

Tabela 2 – Principais parâmetros da qualidade da água estabelecidos na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e na NBR 15.527 (BRASIL, 2007).

PARÂMETROS	TURBIDEZ (UNT)	COR (UC)	pH	<i>E. coli</i>	Coliformes Totais
PADRÕES DE POTABILIDADE - PORTARIA 2914 (BRASIL, 2011)	1	15	6 a 9,5	0	0
NBR 15527 (BRASIL, 2007)	5	15	6 a 8	0	0

Observando os valores reportados pela literatura (Tabela 1), os parâmetros variaram de 4,1 a 8,63 para o pH; de 0,2 a 23 UNT na turbidez; 4 a 95 UC para a cor aparente; *E. coli* de 6,7 a 24.000 NMP/100mL e Coliformes Totais compreendidos entre 1 a 2419,6 NMP/100mL. Comparando esses valores com os valores

estabelecidos pela portaria 2914 (BRASIL, 2011) e com os da NBR 15527 (BRASIL, 2007), verifica-se que as faixas de variação dos parâmetros não se enquadram às requeridas para usos potáveis ou não potáveis. Na variação geral, os valores não estão de acordo com os exigidos na Portaria e na Norma, porém, analisando-se individualmente, alguns autores obtiveram resultados positivos para um ou para o outro uso (potável e não potável). Concluindo-se que esses parâmetros podem sofrer forte influência de acordo com o tipo de coleta, seja da atmosfera ou a partir de telhados, bem como, de outros fatores como a qualidade do ar e o tipo de tratamento.

As técnicas de tratamento da água da chuva devem ser dimensionadas para manter a qualidade da água tratada de acordo com a finalidade que se destina: usos potáveis ou não potáveis.

A NBR 15.527 (BRASIL, 2007) estabelece que os padrões de qualidade “devem ser fixados pelo projetista de acordo com a utilização prevista”. No Brasil, o aproveitamento da água da chuva para fins potáveis, assim como qualquer outra água à esse destino, deve obedecer aos padrões de potabilidade da água para consumo humano, estabelecidos pelo Ministério da Saúde, na Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011).

Estudos do IPT mostram que o descarte das primeiras águas escoadas de coberturas é altamente recomendado, particularmente, após vários dias sem chuva, como ocorre na estiagem de inverno, dada à concentração de poluentes e microrganismos. O volume de descarte corresponde ao escoamento do primeiro milímetro de precipitação, ou seja, 100 litros para cada 100 m² de cobertura. Os dispositivos de descarte podem contar com esvaziamento automático ou manual (ORSI E SARUBO, 2010).

Na Flórida, para cada 100 m² de superfície de captação, elimina-se 40 litros de chuva, ou seja, elimina-se 0,4 mm de chuva por m² de área de captação. Assim, material de cobertura é uma consideração importante ao projetar uma captação de águas pluviais (MENDEZ, 2011).

O reservatório de eliminação da primeira chuva deve ter capacidade para armazenar de 0,8 a 1,5 L/m² de área de captação, o que também pode ser expresso como 0,8 a 1,5 mm de chuva por m² de área de captação (Dacach 1981, *apud* Anecchini, 2005).

Annechhini (2005) ao utilizar como referência o tempo de chuva como parâmetro ideal a ser utilizado na verificação da limpeza da atmosfera, em estudo realizado na cidade de Florianópolis, supôs que, o parâmetro ideal a ser usado seria o volume em milímetros de chuva. Pois este sempre resultará na mesma quantidade de chuva a ser descartada, enquanto ao se eliminar a chuva com base no tempo, diferentes volumes serão descartados, pois a intensidade da chuva não é constante.

As instalações de uma estação para tratamento de água devem ser dimensionadas para manter a qualidade da água tratada dentro das especificações, mesmo quando ocorrem oscilações das características da água bruta (REINOLD, 2002). Depreende-se daí, que a água de chuva pode oscilar de qualidade em função da localização, e até mesmo para um mesmo local, assim, também como pode oscilar durante períodos de tempo; por isso, o sistema para tratamento, deve prever tais oscilações e, portanto, as estações devem estar dimensionadas para a pior situação.

Para Orsi e Sarubo (2010) o fundamento básico do projeto de aproveitamento de águas pluviais assenta-se sobre o grau de atendimento das demandas de água não potável frente à oferta de precipitação pluvial no local, por isso, muitas técnicas e equipamentos de uso ainda não são instaladas em larga escala, por falta de confiança na qualidade da água resultante, ou por problemas financeiros, pois ainda é considerado um investimento sem retorno.

Esses requisitos mínimos no processo de tratamento são de grande importância para se aproveitar o grande potencial de utilização da água da chuva, sendo mais ou menos completo, de acordo com o uso que se destina.

De maneira genérica o tratamento de águas pluviais escoada de telhados inicia-se com o descarte das primeiras águas, passando por uma filtragem dos materiais grosseiros, seguido da filtragem dos materiais particulados finos e, finalizando com uma desinfecção (NBR 15.527-BRASIL, 2007).

De acordo com os estudos citados, a água da chuva apresentou grande potencial de aproveitamento, desde que passe pelos mínimos processos de tratamento para atender a necessidade exigida para o uso a que se destina. Sendo uma alternativa bastante viável para suprir a falta de abastecimento público em áreas desprovidas desse fornecimento, tanto urbanas como rurais.

Economicamente, esse aproveitamento da água da chuva já é realidade no setor industrial, principalmente naquelas em que a água é a principal matéria-prima

e, pelo próprio custo da água para as indústrias, que é bem mais elevado do que o custo para residências, por exemplo. Porém, sabe-se que esse custo é diferenciado, quando se trata de consumo residencial, podendo variar quanto à situação econômica dos consumidores, quanto ao tamanho do imóvel, entre outros; dependendo de cada companhia de abastecimento. Em áreas periféricas, onde se tem o abastecimento público de água, em sua maioria, esse serviço acaba por ser cobrado por meio de taxas, ou seja, independe da quantidade de água consumida por residência. Por ser, de certa forma um valor irrelevante, frente ao custo que se tem com o fornecimento desse serviço, muitas vezes o que ocorre nessas áreas é o consumo descontrolado da água. Esse pode ser um fator que inviabilize economicamente o aproveitamento da água da chuva nessas áreas. O que não é o caso das áreas em que não há SAA público, onde a captação da água da chuva torna-se a única fonte de abastecimento.

Com o objetivo de se reutilizar a água da chuva, seja para fins potáveis ou não potáveis, a aplicação da análise de risco nesses sistemas de captação e tratamento dessas águas servirá para avaliar e quantificar a intensidade dos possíveis riscos causados pelo mau funcionamento do sistema de tratamento, baseando-se na qualidade final da água tratada de acordo com alguns indicadores de qualidade como Coliformes Totais, pH, Turbidez, etc.

4 ANÁLISE DE RISCO.

A Análise de Risco é o estudo quantitativo de riscos em um determinado sistema, baseada em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e consequências, análise de vulnerabilidade e na estimativa do risco (CETESB, 2003).

Segundo Nadruz (2012) a Análise de Risco é um estudo técnico aprimorado das ameaças futuras, aplicando-se fórmulas de mensuração, a partir de um levantamento do local, tipo de negócio, bens patrimoniais e pessoas a serem protegidos por sistemas de segurança, sejam eles eletrônicos, procedimentos do pessoal da vigilância ou até de seus usuários, entre outros. Essas ameaças necessitam ser identificadas e quantificadas de forma técnica e estatística conforme uma classificação genérica da potencialidade das ameaças sejam elas internas ou externas, ou seja, se a ameaça é proveniente do mau funcionamento de alguma parte do sistema que se avalia ou se é de fatores externos a esse, como por exemplo, clima, matéria-prima deteriorada, entre outros.

De acordo com Guilherme (2005), o processo da avaliação do risco para a saúde humana frequentemente envolve os seguintes passos:

- Identificação do perigo: determinação se um poluente afeta ou não adversamente a saúde humana;
- A avaliação da dose-resposta: determinação da relação entre o nível de exposição e a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos;
- A avaliação da exposição: caracterização da quantidade do agente no meio e as vulnerabilidades da população exposta, e;
- A caracterização dos riscos: descrição da natureza e, frequentemente, da magnitude do risco, incluindo as incertezas acompanhantes.

Brown (1998) define a Análise de Riscos como um estudo de identificação, avaliação e recomendações aplicado para instalações industriais ou outras atividades que possam gerar risco, com o objetivo de minimizar o potencial de ocorrência de acidentes, utilizando técnicas de prevenção e/ou de proteção. Segundo o mesmo autor, a avaliação do risco é o estudo que utiliza técnicas experimentais e/ou modelos matemáticos com a finalidade de prever

quantitativamente as frequências de ocorrências e as respectivas consequências do potencial de risco.

A metodologia de análise de risco visa à prevenção de potenciais de perdas materiais e humanas que possam surgir durante a operação de instalações industriais ou de qualquer outro sistema, bem como de sua proteção. Com a aplicação desse tipo de metodologia é possível fortalecer a segurança de processos industriais a um nível de risco aceitável para sociedade em geral (BROWN, 1998).

Através do estudo de análise de risco, podem ser apontadas a vulnerabilidade do local em estudo e as incertezas de tal sistema, minimizando os impactos causados pelas eventualidades na quebra da segurança (NADRUZ, 2012).

Após a identificação do perigo, a dose-resposta será a avaliação quanto ao nível de exposição desse perigo e a sua probabilidade de ocorrência de acordo com os efeitos negativos, para, posteriormente, ser avaliada a exposição desse perigo de acordo com a caracterização e a quantidade do agente que é exposta à população. Por fim, a característica do risco, ou seja, a sua natureza e intensidade (GUILHERME, 2005).

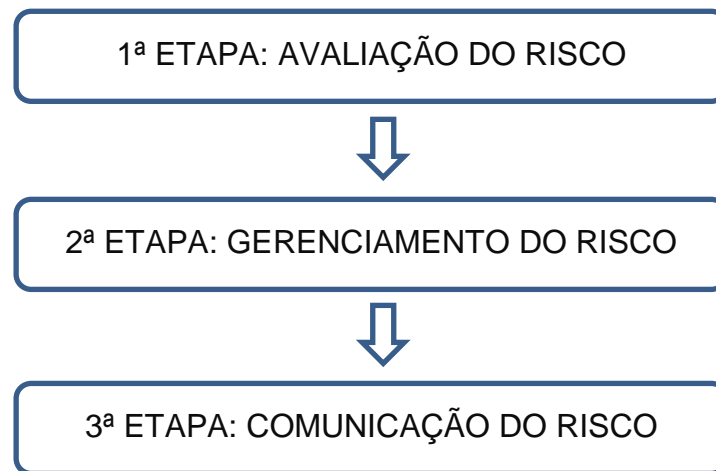
Para ser feita a análise de risco é necessário saber a diferença entre perigo e risco, sendo o primeiro um efeito adverso relacionado a uma determinada situação, já o último, está associado à quantificação do perigo, envolvendo a incerteza deste ocorrer e as consequências de sua ocorrência.

Um exemplo que pode ilustrar essa diferença pode ser uma água para consumo humano que contenha agentes patogênicos representaria um perigo, enquanto que o fornecimento desta mesma água acarretaria a um risco para a população, sendo esse possivelmente quantificado e expresso em termos de probabilidade (BRASIL, 2006).

Os efeitos são os principais problemas originados a partir da falha ou perigo. As causas são as possíveis explicações dadas para a ocorrência da falha. As medidas mitigadoras são compostas pelas várias formas de evitar, compensar ou diminuir a falha (OGATA, 2011; VIEIRA, 2012).

A Análise de Risco abrange três etapas (Figura 2): avaliação do risco, gerenciamento de risco e comunicação do risco (VIEIRA, 2012).

Figura 2– Fluxograma das etapas que compõem a Análise de Risco.



A avaliação do risco descreve os fatores, agentes ou situações que determinam a ocorrência do risco. O objetivo é calcular ou estimar o risco que possa existir para um determinado sistema alvo em decorrência da sua exposição a uma substância particular, levando-se em conta as características inerentes da substância em questão, assim como também as características do sistema alvo específico (GUILHERME, 2005).

O gerenciamento propõe planos de gestão, baseados nos dados gerados pela avaliação de risco, para evitar, minimizar ou controlar os riscos (VIEIRA, 2012). Constituindo-se no processo de tomada de decisão que envolva a consideração de fatores políticos, sociais, econômicos e técnicos, bem como de informação relevante proveniente de risco pertinente a um perigo, no intuito de desenvolver, analisar e comparar opções regulatórias e não regulatórias e ainda selecionar e implementar as melhores decisões e ações para assegurar a segurança contra aquele perigo.

A comunicação do risco, etapa que finaliza a análise de risco, nada mais é que a troca interativa de informação sobre o risco entre os avaliadores de risco, gerentes, imprensa, grupos interessados e o público em geral.

A primeira etapa da análise de risco, a avaliação do risco, tem se tornado uma ferramenta analítica importante na tomada de decisão ambiental, por identificar os efeitos adversos potenciais a humanos ou a ecossistemas que resultam da exposição a perigos ambientais (GUILHERNE, 2005).

Existem vários métodos que podem ser utilizados para a análise de risco, como, a análise de Hazop, o índice de Mond, método de Monte Carlo, Método de

William T. Fine, entre outros. Uma metodologia interessante, muito utilizada na análise de riscos, dentro desta etapa de avaliação dos riscos é o método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) devido à sua simplicidade e flexibilidade, que se baseia nos modos e nos efeitos de falhas potenciais.

No intuito de identificar os efeitos adversos nos sistemas de captação e tratamento de água da chuva, neste trabalho, será efetuada a etapa de avaliação do risco.

4.1 MÉTODO FMEA.

O método FMEA tem sua origem datada de 9 de novembro de 1949 nos Estados Unidos, sendo utilizada como uma técnica de avaliação da confiabilidade para determinar os efeitos nos sistemas e falhas em equipamentos. As falhas foram classificadas de acordo com seus impactos nos sucessos das missões e com a segurança pessoal/equipamento. Assim, o método tornou-se um padrão para operações militares (FMECA, 2000).

O FMEA pode ser aplicada em vários níveis, ou seja, componentes, equipamentos ou sistema, dependendo do grau de detalhamento desejado. Essa técnica pode ser usada: na fase de projeto de sistemas visando detectar possíveis falhas e melhorar a confiabilidade do sistema; na revisão de segurança de sistemas e unidades em operação procurando verificar a propagação das falhas sobre os outros componentes do sistema e as implicações para a segurança das instalações; no contexto de uma análise global de riscos, tanto de sistemas na fase de projeto, como de sistemas em operação ou em fase de ampliação (SILVA, 2007).

Então, a utilização do FMEA tem ocorrido nas mais diversas áreas, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Áreas de atuação da metodologia FMEA.

Área de atuação	Fonte
Equipamentos de semicondutores	Villacourt, 1992 <i>apud</i> Sakurada, 2001.
Sistemas hidráulicos e pneumáticos	Latino, 1996 ; Bull <i>et al.</i> ,1995 <i>apud</i> Sakurada, 2001.
Circuitos elétricos	Price, 1996 <i>apud</i> Sakurada, 2001.
Desenvolvimento de reator termonuclear	Pinna <i>et al.</i> , 1998 <i>apud</i> Sakurada, 2001.
Indústrias siderúrgicas	Castro, 2000 <i>apud</i> Sakurada, 2001.
Sistema de pontes de embarque em aeroporto	Silva, 2007.
Sistema de abastecimento de água.	Barcellos <i>et al.</i> , 1998
Indústrias automobilísticas	Ramos <i>et al.</i> , 2012.
Sistema de abastecimento de água.	Vieira, 2012.

Fonte: Adaptado a partir de Sakurada (2001).

O princípio do método é o mesmo independente do tipo de FMEA e a aplicação, ou seja, se o método será executado para analisar um produto, ou um sistema, ou um procedimento e, se sua aplicação é para produtos/processos novos ou já em operação. A análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificam para o produto/processo em questão suas funções, os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas desta falha. Em seguida são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nesta avaliação, são tomadas as ações necessárias para diminuir estes riscos, aumentando a confiabilidade do produto/processo (TOLEDO E AMARAL, 2007).

Em decorrência da sua origem, esse método apresenta esta sigla da língua inglesa. Para sua definição faz-se necessário a sua tradução, que segundo a ABNT-NBR 5462 (BRASIL, 1994), a sigla FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) é traduzida como: Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. A mesma norma, a define como sendo um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos

efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto.

A Military Standard (1980, *apud* SAKURADA, 2001) identifica como sendo um procedimento pelo qual cada modo de falha potencial em um sistema é analisado para determinar os resultados ou efeitos no sistema e para classificar cada modo de falha potencial de acordo com a sua severidade, ou seja, o quão danoso é o perigo.

O método FMEA é uma técnica analítica utilizada por um engenheiro/time como uma maneira de garantir que, até a extensão possível, os modos potenciais de falha e suas causas/mecanismos associados tenham sido considerados e localizados. Na sua forma mais rigorosa, o FMEA é um sumário do conhecimento do engenheiro/time (incluindo uma análise de itens que poderiam falhar baseado na experiência e em assuntos passados) de como um produto ou processo é desenvolvido (*Ford Motor Company*, 1997, *apud* SAKURADA, 2001).

Para Zambrano e Martins (2007) o FMEA consiste em identificar as falhas prováveis em projetos ou processo, estabelecer as prioridades para o tratamento das falhas e implementar as ações recomendadas. Posteriormente, deve-se analisar se as ações recomendadas diminuíram a probabilidade de ocorrência da falha. Desta forma, a constante aplicação do FMEA resultará na melhoria contínua da organização.

Para que se possa utilizar essa ferramenta, é fundamental que se tenha conhecimento e entendimento do que é modo de falha e efeitos.

Desta forma, pode-se então começar a definir MODO DE FALHA como sendo: “a forma do defeito”, “maneira na qual o defeito se apresenta”, “maneira com que o item falha ou deixa de apresentar o resultado desejado ou esperado”, “é um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece às especificações” (SAKURADA, 2001).

Pode-se dizer que os EFEITOS do modo de falha são os resultados produzidos quando estes vêm a ocorrer, são as consequências do modo de falha. Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos (SAKURADA, 2001).

Para Sakurada (2001) o modo de falha é uma propriedade inerente a cada item, visto que cada item tem suas características particulares como função,

ambiente de trabalho, materiais, fabricação e qualidade. Segundo o mesmo autor, duas abordagens podem ser feitas para levantar os modos de falha, a Funcional e a Estrutural. Um exemplo pode se dar para um eixo, que pode apresentar como modo de falha: ruptura, empenamento, desgaste e, para um filtro pode-se ter, rompido, entupido e assim por diante.

Existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural.

A abordagem funcional é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. A abordagem estrutural necessita de informações de engenharia as quais muitas vezes não estão facilmente disponíveis. Tanto na abordagem funcional como na abordagem estrutural é muito importante que se tenha, bem definida, a função do componente, pois é a referência para se verificar quando o item está em falha ou não (SAKURADA, 2001). No Quadro 2 tem-se um exemplo de duas abordagens do modo de falha.

Quadro 2 – Tipos de abordagens dos modos de Falha.

Tipo de abordagem	Componente	Função	Modo de Falha
Funcional	Eixo	Transmitir movimento, torque.	Não transmite movimento, não transmite torque.
Estrutural	Eixo	Transmitir movimento, torque.	Ruptura, empenamento, desgaste...

Fonte: Sakurada, 2001.

Para um bom resultado na utilização do FMEA é preciso: identificar os tipos de falhas possíveis; descrever os efeitos, as causas de cada modo de falha, e os controles; calcular o risco para cada falha, o grau de severidade e a probabilidade de detecção; recomendar ações corretivas para as causas de falhas apontadas; reavaliar o índice de risco; e a análise deve ser desenvolvida passo a passo (RAMOS *et al.*, 2012).

Toledo e Amaral (2006) recomendam que seja criado um grupo (cerca de 6 pessoas) composto por especialistas em diferentes áreas do conhecimento que tenham bom relacionamento entre si, para discutir os riscos de um determinado

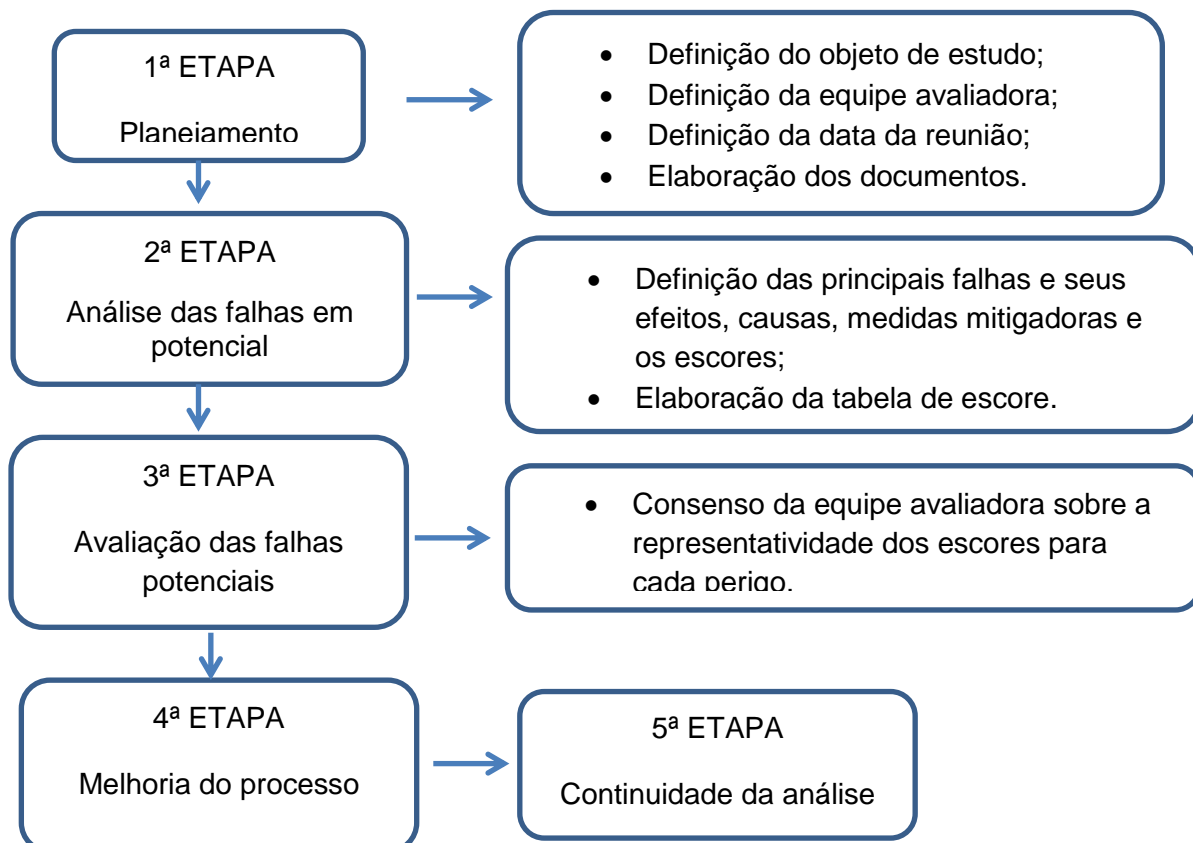
processo, chegando a um consenso, e então, preencher o formulário contendo os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e a quantificação desse risco para discutir os riscos de um determinado processo e preencher o formulário FMEA criado.

A quantificação do risco será feita a partir da multiplicação dos escores predeterminados no formulário, que podem ser: a severidade (o quão problemático pode ser esse risco caso ele ocorra), a ocorrência (frequência de acontecimento desse risco no processo atual), a detecção (a dificuldade em detectar o risco preventivamente) e a abrangência (indica o quanto o perigo pode afetar uma determinada área ou região). O quarto critério, a abrangência, foi acrescentado por Zambrano e Martins (2007) para a avaliação do risco ambiental.

Por fim, esses critérios são multiplicados gerando um resultado que caracteriza o risco total do processo avaliado (TOLEDO E AMARAL, 2006; ZAMBRANO E MARTINS, 2007).

Para Toledo e Amaral (2006) o método FMEA se desenvolve em cinco etapas, conforme é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas da metodologia FMEA.



Segundo Toledo e Amaral (2006) durante o planejamento, define-se o que será analisado (sistema, processo ou produto) e como será constituída a equipe avaliadora. Após isso, marca-se a reunião e preparam-se os documentos necessários como: a tabela de escore (tabela contendo os índices que serão adotados para os escores de severidade, ocorrência e detecção, por exemplo), o formulário do FMEA, as informações do sistema analisado, etc. Na segunda etapa, é feita a análise das falhas em potencial, onde se detectam as principais falhas que possam ocorrer juntamente com seus efeitos, causas, medidas mitigadoras e os escores. Esses irão construir o formulário que será preenchido na reunião do FMEA, onde também será elaborada a tabela de escore que norteará a decisão da equipe avaliadora. Na terceira etapa ocorre a avaliação das falhas potenciais, que foram listadas anteriormente na reunião FMEA, onde a equipe avaliadora entrará em consenso sobre quais escores são mais representativos de cada perigo. No Anexo 2 são mostrados os termos usados em um formulário de processo ou produto.

O preenchimento do formulário deve ser norteado, partindo-se dos seguintes entendimentos para cada item.

- Descrição do produto/processo: quem está sendo analisado?
- Função(ões) do produto: quais funções ou características devem ser atendidos?
- Tipo de falha potencial: como a função ou característica pode não ser atendida?
- Efeito de falha potencial: que efeitos têm este tipo de falha?
- Causa da falha em potencial: quais poderiam ser as causas?
- Controles atuais: quais medidas de prevenção e descobertas poderiam ser tomadas?.
- Ações recomendadas: quais os riscos prioritários e quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?.

Os índices de severidade, ocorrência e detecção são definidos pelo grupo avaliador adaptado a realidade específica de cada produto ou processo. O risco é calculado a partir da multiplicação dos valores adotados para cada escore.

O índice severidade pode ser compreendido como a magnitude que o perigo possui se vier a ocorrer ou quantos danos o ocorrido pode oferecer. No de ocorrência é revelada a frequência da ação perigosa que ocorre atualmente no processo. Na detecção é possível verificar qual o grau de facilidade da percepção do perigo, antes mesmo dele ocorrer, para que se possam tomar as medidas preventivas. A abrangência indica o quanto o perigo pode afetar uma determinada área ou região, ou seja, o perigo terá valor mínimo se afetar apenas o local do processo, já se o perigo ultrapassar a área na qual ocorre o sistema o valor será máximo.

Segundo Vieira (2012) os aspectos analisados (severidade, ocorrência, detecção e abrangência) variam de 1 a 3. O valor 1 é utilizado para as situações mais favoráveis, ou seja, nos casos em que os problemas ambientais sejam pouco danosos e com curto tempo de degradação significam que a Severidade é igual a 1, também se o perigo ocorrer com frequência mínima (uma vez por ano) a ocorrência é 1. Valores iguais a 3 revelam situações críticas, por exemplo, quando a detecção do perigo para a ação preventiva é muito complexa e onerosa, sendo necessárias tecnologias sofisticadas, logo a Detecção é 3, ou ainda, quando o perigo compreende uma região muito grande, não sendo possível a totalidade dos cuidados ou controle desta área (fora dos limites da atividade) indica que a Abrangência é 3. Já o valor 2 refere-se ao meio termo entre a situação mais favorável e a mais crítica.

Conclui-se o processo nas etapas quatro e cinco, melhoria do processo e continuidade da análise, respectivamente, que fazem parte do gerenciamento de riscos. Na fase de melhoria do processo, baseado no conhecimento e criatividade do grupo, listam-se todas as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos. Segundo Toledo e Amaral (2006) essas medidas podem ser:

- medidas de prevenção total ao tipo de falha;
- medidas de prevenção total de uma causa de falha;
- medidas que dificultam a ocorrência de falhas;
- medidas que limitem o efeito do tipo de falha;
- medidas que aumentam a probabilidade de detecção do tipo ou da causa de falha;

Essas medidas são analisadas quanto a sua viabilidade, sendo então definidas as que serão implantadas. Uma forma de se fazer o controle do resultado dessas medidas é pelo próprio formulário FMEA por meio de colunas, onde ficam

registradas as medidas recomendadas pelo grupo, nome do responsável e prazo, medidas que foram realmente tomadas e a nova avaliação dos riscos. Já a continuidade da análise é o ato de se revisar o formulário FMEA, sempre que ocorrerem alterações no processo/produto/sistema específico. Porém, sem que haja alterações, deve-se regularmente revisar a análise confrontando as falhas potenciais imaginadas pelo grupo com as que realmente vêm ocorrendo, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

Estas duas últimas etapas fazem parte do gerenciamento do risco.

4.2 AVALIAÇÃO DE RISCO EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA).

A Avaliação de Risco em SAA pode ser determinada através dos indicadores da qualidade da água. Segundo Vieira (2012) esses indicadores são divididos em indicadores sentinelas e indicadores auxiliares. O primeiro certifica a representatividade e também a qualidade das informações obtidas, possibilitando identificação precoce de perigo, ou seja, serve para sinalizar de forma preventiva qualquer irregularidade na água distribuída pelos sistemas de tratamento. O segundo refere-se a informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, etc. (DOMINGUES *et al.*, 2007).

Meira *et al.* (2009) relatam que os indicadores sentinelas referentes à qualidade da água para consumo humano podem ser a turbidez e o cloro residual livre, que passam a ter função de indicadores sanitários e não meramente estéticos.

Para Bastos *et al.* (2009) a análise de riscos é uma metodologia flexível, aplicada em varias áreas do conhecimento, que encontrou um ramo promissor no SAA para consumo humano. Segundo o autor, a identificação dos possíveis fatores, agentes ou situações causadores de risco, trazem a possibilidade de se propor medidas para evitar, minimizar ou controlar o mesmo.

Barcellos *et al.*(1998) executaram a análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando sistemas de informação geográficas. Para isso, foram construídas três camadas inter-relacionáveis de informações espaciais (camada de setores censitários, camada do sistema de

abastecimento de água, camada de qualidade da água na rede de distribuição) que contém dados relevantes para a caracterização de riscos relacionados ao abastecimento de água em micro áreas. Segundo o mesmo autor, a qualidade e quantidade de água servida à população podem ter impactos diferenciados sobre a saúde, estando muitas vezes relacionados, por exemplo, a irregularidade do abastecimento de água de uma determinada área urbana que pode permitir a introdução de agentes patogênicos na rede de distribuição de água. O autor considerou como fatores de risco à saúde, a dificuldade na obtenção de água pela ausência de rede de distribuição nas proximidades dos domicílios, a contaminação recorrente da água por bactérias do grupo coliformes, bem como a captação de água em mananciais ou locais, sem tratamento ou sujeitos a contaminação eventual.

No trabalho de Barcellos *et al.* (1998) foram identificadas áreas e populações submetidas a risco utilizando-se os seguintes critérios ambientais e sócio-demográficos.

- ✓ Áreas próximas a postos de monitoramento de qualidade da água que apresentam alta recorrência de contaminação por coliformes fecais;
- ✓ Áreas abastecidas por rede geral com predominância de águas de origem local oriundas de mananciais próximos da localidade.
- ✓ Áreas distantes da rede geral de distribuição, onde a rede secundária de abastecimento pode ser ausente ou apresentar problemas de continuidade de abastecimento;
- ✓ Áreas onde mais de 50% dos residentes, segundo o censo do IBGE de 1991, declararam não ser supridos por rede geral de abastecimento de água.

Os critérios permitiram aos autores identificar os grupos sócio-espaciais sujeitos a riscos à saúde, associados ao abastecimento de água. No Quadro 3 são identificadas as populações e áreas submetidas a riscos, segundo os quatro critérios citados.

Quadro 3 – Localização, população residente e área de risco segundo critérios de qualidade do abastecimento de água no RJ.

Critério de risco	População (n de residentes)	Área (km²)	Localização
Contaminação da água	1.900.000	349	Encostas das Zonas Sul e Norte, parte da Zona Oeste.
Uso de pequenos mananciais	700.000	392	Em torno dos maciços da Tijuca e Pedra Branca.
Ausência de rede	600.000	156	Zona Oeste, Barra da Tijuca e áreas isoladas da Zona Norte.
Uso de fontes alternativas de água	90.000	206	Zona Oeste, Maciço da Pedra Branca e Alto da Boa Vista.

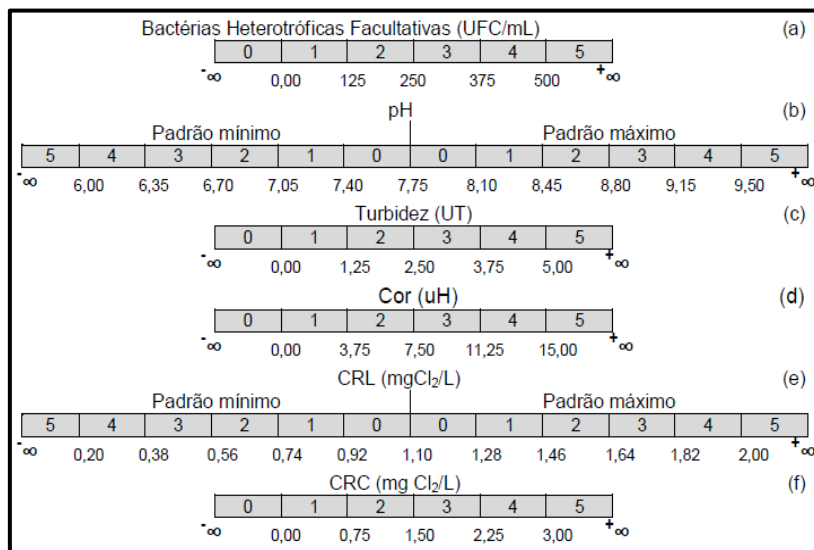
Fonte: Barcellos *et al.* (1998).

Ogata (2011) e Vieira (2012) também executaram a avaliação de risco em SAA, considerando as falhas em potencial de acordo com os indicadores estudados em cada ponto de amostragem, baseando-os nos padrões exigidos na Portaria 518 do MS (BRASIL, 2004) Definiram como perigos: baixa concentração de CRL, alta concentração de CRL, alta turbidez, alta concentração de CRC, alta cor, baixo pH, alto pH e alta concentração de bactérias heterotróficas.

Com base nos valores mínimos e máximos permitidos (VMP) na Portaria 518 do MS (BRASIL, 2004) foram criadas escalas de classificação de risco para os diversos indicadores. Essa classificação foi feita pelo estabelecimento de 6 faixas de risco (0 – 6) (VIEIRA, 2012).

A escala de classificação dos indicadores mostrada na Figura 4, criada por Vieira (2012), foi baseada nos valores mínimos e máximos (VMP) estabelecidos na Portaria 518 (BRASIL, 2004). Os indicadores que possuem padrões mínimos e máximos, é tirada a média entre os padrões para definir duas regiões, a do padrão mínimo e do padrão máximo, cada uma contendo 6 faixas, identificadas por valores de 0 a 5. Os valores representados pelos símbolos $-\infty$ e $+\infty$ são todos os valores abaixo dos padrões mínimos e acima dos padrões máximos, respectivamente. Já para os indicadores que possuem apenas o padrão máximo permitido há apenas uma região contendo também as 6 faixas com os valores de 0 a 5.

Figura 4 - Escalas de classificação dos indicadores bactérias heterotróficas facultativas (a), pH (b), turbidez (c), cor (d), CRL (e) e CRC (f) usados na avaliação de risco em SAA.



Fonte: Vieira (2012).

Para a elaboração do formulário, Ogata (2011) e Vieira (2012) incluíram, além dos perigos citados anteriormente, o tipo de perigo, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco.

Segundo os mesmos autores, os formulários do FMEA e a tabela de escore foram baseados no formulário e tabela de escore (Anexo I) usados por Zambrano e Martins (2007). Na construção da tabela, Ogata (2011) e Vieira (2012) consideraram quatro aspectos distintos, Severidade, Ocorrência, Detecção e Abrangência, com os escores 1 (baixa), 2 (moderada) e 3 (alta), dependendo da intensidade do perigo.

Vieira (2012) na construção da tabela de escala de escores para o índice de ocorrência dividiu-a nos dois blocos de dados estudados, sendo um para os pontos localizados nos sistemas de adução e reservação, denominado de Bloco 1 e a outra referente aos pontos localizados na rede de distribuição, identificado como Bloco 2. Essa divisão foi feita em virtude da diferença de numero de amostragem entre os dois blocos (Figura 5).

Figura 5 – Escore de Ocorrência criado para SAA diferenciados a partir da quantidade de dados amostrais.

Bloco 1		
Escore para Ocorrência		
Ocorrência de não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 100.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 50 e 99.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 49.	1
Bloco 2		
Escore para Ocorrência		
Ocorrência de não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 60.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 30 e 59.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 29.	1

Fonte: Adaptado de Vieira (2012).

Na reunião FMEA, cada perigo deve ser avaliado individualmente, sendo estabelecidas as quantificações dos respectivos escores adotados, sem que sejam estabelecidas relações entre os indicadores analisados. Na Figura 6 é mostrado o formulário do FMEA preenchido referente aos pontos localizados nos sistemas de adução e reservação de um SAA (VIEIRA, 2012).

Figura 6 – Formulário FMEA preenchido para a Avaliação de Riscos em um SAA nos pontos de adução e reservação.

Perigo	Tipo de Poluente	Efeito	causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas Facultativas	Real	presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Baixo pH	Potencial	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operação unitárias da ETA	1	1	2	2	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Potencial	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operação unitárias da ETA	2	1	2	2	8	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Turbidez	Real	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
Baixa Concentração de CRL	Real	presença de organismos patogênicos	Ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	1	2	3	18	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	1	3	2	2	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de CRC	Real	Odor e sabor característicos e irritação das mucosas	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição	1	1	2	2	4	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede

Nota: S = severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, A = Abrangência, R = Risco

Fonte: Vieira (2012).

Segundo o autor, as justificativas de alguns escores, para determinados indicadores foram as seguintes:

- Alta concentração de bactérias heterotróficas:
 - ✓ Severidade (Alta - escore 3): valor atribuído devido à possibilidade da contaminação e proliferação das bactérias heterotróficas pela formação de biofilmes nas tubulações, que podem esconder os microrganismos patogênicos, dificultando a desinfecção.
 - ✓ Ocorrência (baixa - escore 1): em um universo de 150 amostras, ocorreram apenas 4 não conformidades de acordo com a Portaria MS 518/2004.
 - ✓ Detecção (Alta - escore 3): pela utilização de medições simples, apesar de trabalho cuidadoso, demanda de tempo, atenção, investimento e pessoal especializado para garantir a qualidade da análise.
 - ✓ Abrangência (Alta - escore 3): porque esse perigo potencial poderá acarretar o consumo do CRL provocando a diminuição do mesmo, atingindo até a ligação predial.

Ao final, para o perigo de alta concentração de bactérias heterotróficas, foi calculado o risco multiplicando-se os valores dos escores atribuídos ao perigo. Assim, foram justificados os valores atribuídos para os demais perigos.

Para a quantificação do risco total de um determinado sistema, processo ou produto, somam-se os valores de risco de todos os perigos, que foram obtidos a partir da multiplicação dos valores de seus respectivos escores.

Na Figura 7 são mostrados os resultados dos riscos individuais e o risco total, tanto em valor absoluto quanto em percentual, obtidos por Vieira (2012).

Figura 7 – Quantificação dos riscos individuais para cada perigo e do risco total em um SAA.

PERIGO				RISCO		
Parâmetro	S	O	D	A	Valor	%
ALTA Concentração de BHF	3	1	3	3	27	26,2
BAIXO pH	1	1	2	2	4	3,9
ALTO pH	2	1	2	2	8	7,8
ALTA Turbidez	3	1	2	3	18	17,5
ALTA Cor	1	3	2	2	12	11,6
BAIXA Concentração de CRL	3	1	2	3	18	17,5
ALTA Concentração de CRL	1	3	2	2	12	11,6
ALTA Concentração de CRC	1	1	2	2	4	3,9
RISCO TOTAL					103	100

Fonte: Vieira (2012).

O valor absoluto percentual de cada risco, dentro de um SAA, foi calculado por Ogata (2011) e Vieira (2012) através do cálculo da soma ponderada.

Nem sempre todos os perigos avaliados; mesmo tendo sido calculados para todos os valores de risco, serão realmente definidos como risco dentro do sistema, processo ou produto. Isso ocorre quando se tem o uso de perigos excludentes, por exemplo, se houver risco de alto pH, conseqüentemente não haverá o risco de baixo pH. Sendo assim, só será definido como risco o que apresentar maior valor de índice.

Vieira (2012) excluiu os perigos baixo pH e alta concentração de CRL por apresentarem menor significância percentual, comparados aos perigos de alto pH e baixa concentração de CRL dentro do sistema (Ver Figura 7).

Definidos os riscos, foi possível então encontrar o valor do risco máximo de cada indicador dentro do sistema. Ogata (2011) e Vieira (2012) obtiveram o risco máximo do sistema e o de cada indicador, calculando a multiplicação do valor de cada risco pelo valor máximo de classificação 5 (ver escala de classificação na Figura 4). Com base nesses valores, os autores construíram um intervalo de categorização do risco, classificando-os como desprezível, baixo, moderado, alto e crítico, iniciando-se com o valor zero até o valor máximo de risco do sistema. Na Figura 8 é mostrado um exemplo de intervalo de categorização do risco de acordo

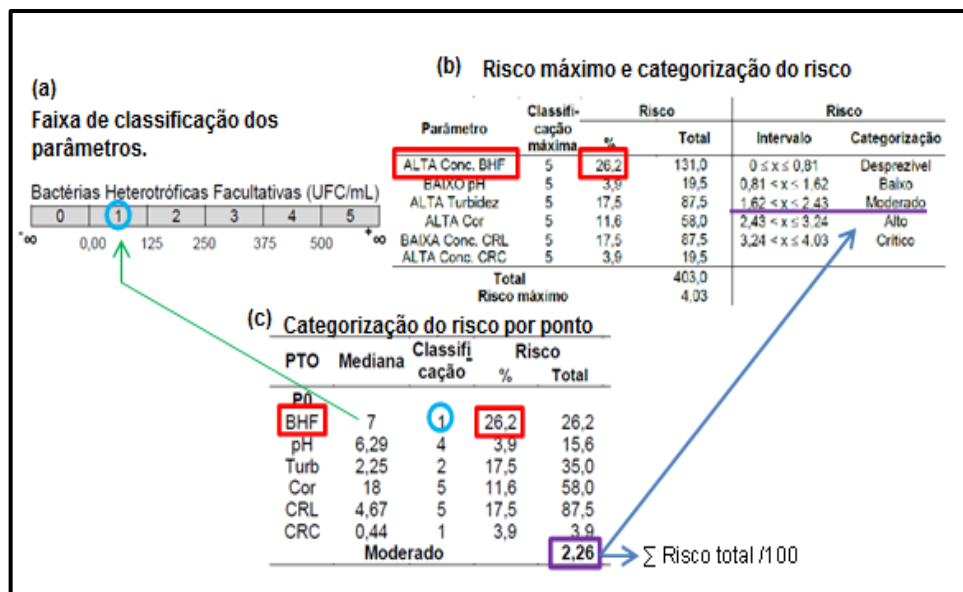
com a classificação do risco máximo para os indicadores estudados por Vieira (2012).

Figura 8 – Intervalos de categorização do risco baseado no valor do risco máximo em um SAA.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Categorização
ALTA Conc. BHF	5	26,2	131	$0 \leq X \leq 0,81$	Desprezível
BAIXO pH	5	3,9	19,5	$0,81 < X \leq 1,62$	Baixo
ALTA Turbidez	5	17,5	87,5	$1,62 < X \leq 2,43$	Moderado
ALTA Cor	5	11,6	58	$2,43 < X \leq 3,24$	Alto
BAIXA Conc. CRL	5	17,5	87,5	$3,24 < X \leq 4,03$	Crítico
ALTA Conc. CRL	5	3,9	19,5		
Total			403		
Risco máximo			4,03		

Com os intervalos de categorização definidos, classificam-se os pontos de coleta de amostragem de acordo com os valores médios de todos os parâmetros analisados neste ponto. Na Figura 9 é mostrado um esquema de como foi categorizado o risco em cada ponto do sistema estudado por Vieira (2012).

Figura 9 – Categorização do risco por ponto de coleta de acordo com todos os parâmetros analisados em uma avaliação de risco em SAA.

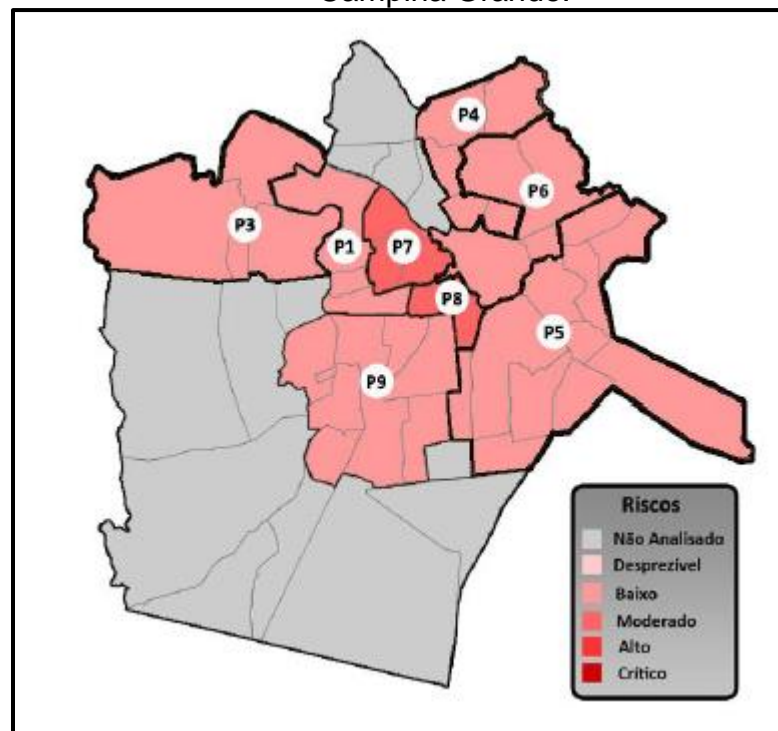


Fonte: Vieira (2012).

O valor de mediana 7 obtido no ponto P0, localizado na adução e reservação de um SAA, para o indicador BHF (Figura 9- c), enquadrou-se na faixa de classificação 1 (Figura 9- a) no intervalo de 0 a 125 UFC/mL. Como o valor percentual do risco para BHF foi definido como alta concentração de BHF com 26,2% de risco (Figura 9- b), esse valor foi multiplicado pelo valor de classificação, resultando no valor (26,2) do risco total para o indicador BHF. Assim foi feito para os demais parâmetros, sendo ao final, somado os respectivos riscos, divididos por 100, encontrando-se o valor do risco total no ponto avaliado e o categorizando-o.

Ogata (2011) e Vieira (2012) ao executarem a avaliação de risco em SAA, com base nos valores obtidos, apresentaram os resultados através da criação de mapas de risco. A construção dos mapas de risco foi feita para todos os parâmetros analisados, baseando-se na identificação da qualidade da água do sistema de abastecimento referente a cada ponto de amostragem. Na Figura 10 é mostrado o mapa de risco criado por Ogata (2011) para o SAA de Campina Grande.

Figura 10 – Mapa de risco do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande.



Fonte: Ogata (2011)

Baseado na Avaliação de Risco utilizada em Sistemas de Abastecimento de Água por meio do método FMEA, neste trabalho será adotada a mesma metodologia para a avaliação de risco direcionada para Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva (SCA) na RMB, baseando-se nos valores estabelecidos na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e na Norma NBR 15.527 (BRASIL, 2007).

5 METODOLOGIA.

5.1 ÁREA DE ESTUDO.

O objeto de estudo desse trabalho são três Sistemas de captação e tratamento de Água da Chuva (SCTAA) na Região Metropolitana de Belém, no estado do Pará. O primeiro sistema localiza-se na zona central de Belém. Os outros dois SCTAA localizam-se nas ilhas Grande e Murutucu, que fazem parte da área insular de Belém. Todos os três sistemas estão dentro da área correspondente à Região Metropolitana de Belém (RMB). Os cinco municípios: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara, que formam a parte continental correspondente a 33,58% com uma área de 17.378,63 ha e 2.141.618 habitantes. O restante, 65,64% é o lado insular composta por 39 Ilhas com uma área de 33.203,67 ha (AZEVEDO, 2005). Na Figura 11 são identificados os municípios que compõem a RMB.

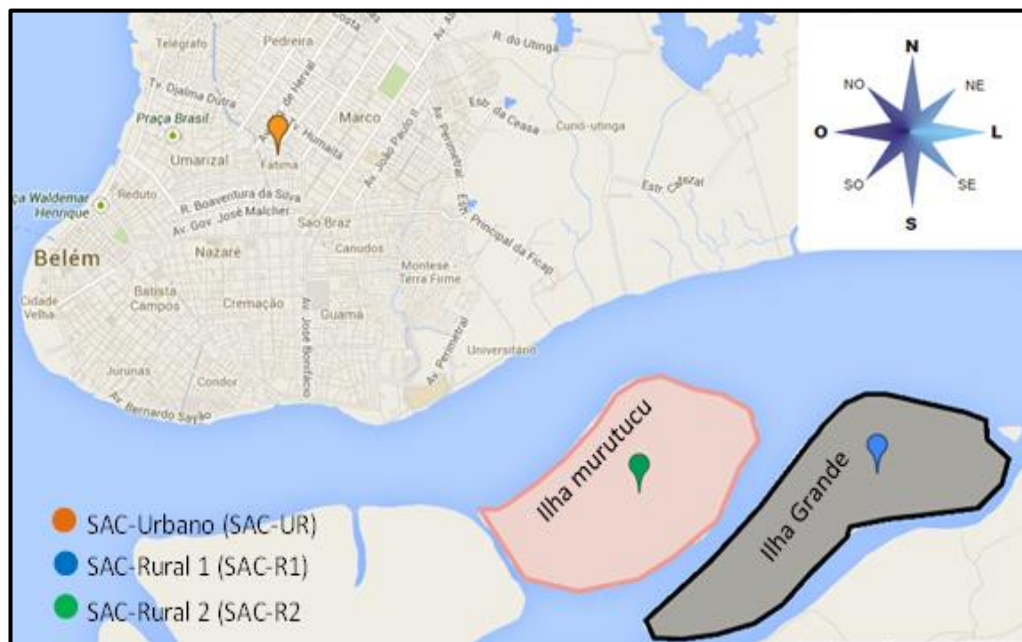
Figura 11 – Mapa da Região Metropolitana de Belém (RMB).



Fonte: Adaptada da Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão – SEGEP.

O sistema de captação e tratamento da água da chuva urbano SAC-Urbano (SAC-UR) localiza-se no bairro de Fátima, no centro de Belém com Latitude de $01^{\circ} 26' 30,3''$ e $048^{\circ} 28' 32,6''$ de Longitude. A ilha Grande, onde se localiza o SAC-Rural1 (SAC-R1), dista 12,2km do centro de Belém e apresenta um território de 923,65 ha e possui Latitude $1^{\circ}29'23.32''S$, Longitude $48^{\circ}24'18.39''$, a ilha Murutucu, como o SAC-Rural2 (SAC-R2), está localizada a 9 km de Belém e possui uma área de 866,16 ha e está na Latitude $1^{\circ}29'27.80''S$ e Longitude $48^{\circ}24'40.18''O$. As duas encontram-se ao longo do rio Guamá, na porção sul de Belém e possuem juntas um contingente populacional de apenas 817 pessoas (VELOSO E MENDES, 2010). Na Figura 12 estão localizados os sistemas estudados.

Figura 12 – Localização dos sistemas de captação e tratamento de água de chuva.



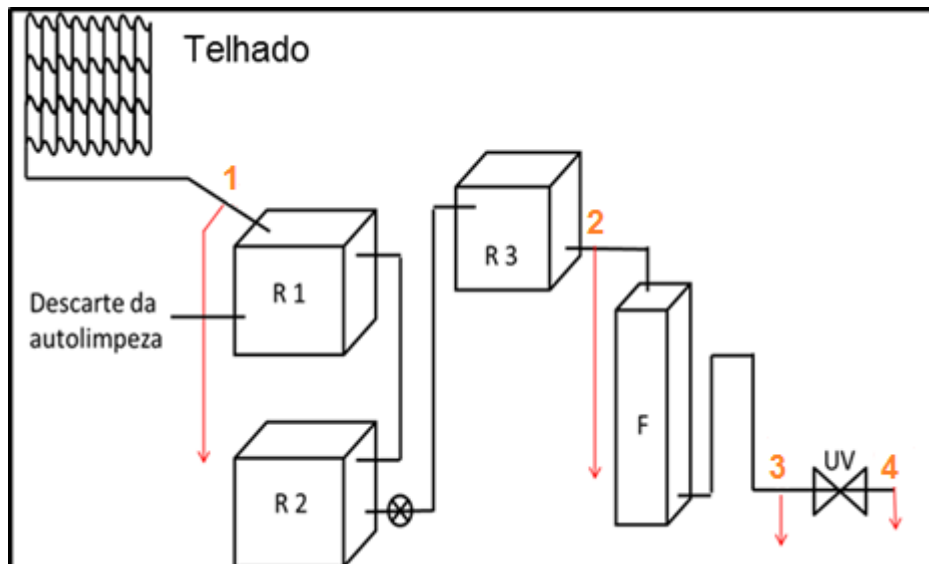
5.2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA E OS PONTOS DE COLETA.

5.2.1 Sistema de captação e tratamento de água da chuva urbano (SAC-UR).

O Sistema de captação e tratamento localizado no centro de Belém (SAC-UR) é composto por três reservatórios, bomba centrífuga, um filtro retangular construído de vidro, contendo seixo e areia de granulometrias variadas, um aparelho de

desinfecção por radiação ultravioleta, além das tubulações de PVC (ARRUDA, 2014). A Figura 13 ilustra o sistema e seus respectivos pontos de coleta.

Figura 13 – Esquema de funcionamento do Sistema de Captação e Tratamento de Água da Chuva Urbano (SAC-UR).

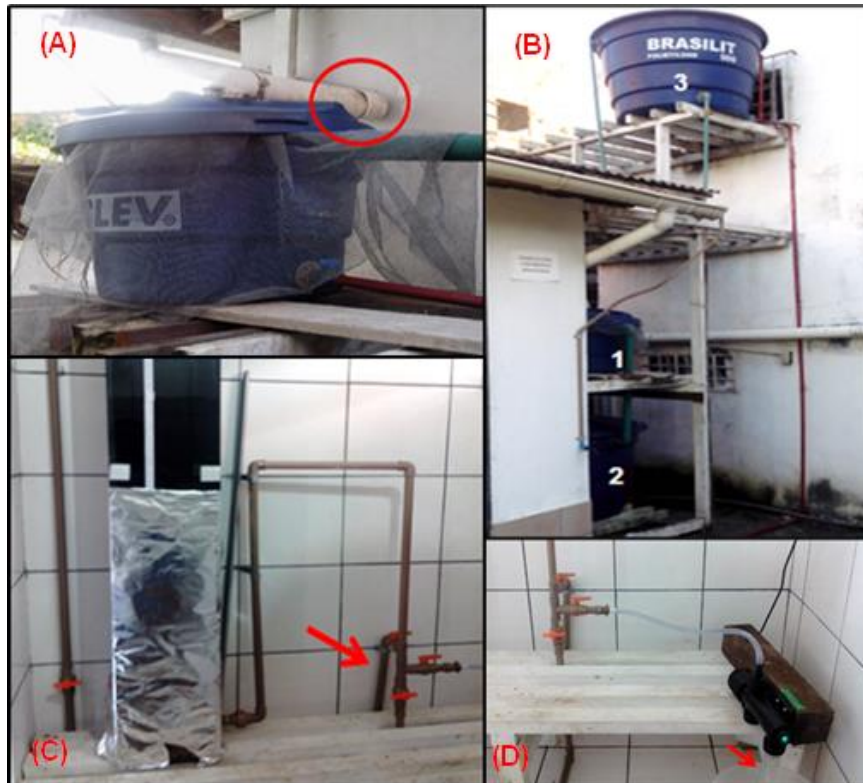


1, 2, 3 e 4: pontos de coleta; R1, R2 e R3: reservatórios; F: filtro; UV: equip. de desinfecção com radiação ultravioleta.

A água da chuva captada em um telhado de fibrocimento é levada pela calha até o reservatório de autolimpeza (reservatório 1). Após atingir o nível da tubulação de saída, a água passa para o reservatório de bombeamento (reservatório 2) de onde é bombeada para o reservatório de armazenamento (reservatório 3) e de lá escoar por gravidade para o filtro, onde percola todas as camadas e passa pelo equipamento de desinfecção com radiação ultravioleta.

Como identificados na Figura 13, no SAC-UR foram utilizados quatro pontos de coleta de água (calha, reservatório após descarte, filtro e desinfecção). As coletas das amostras ocorreram nos meses de Abril e Maio (período chuvoso) de 2013 (ARRUDA, 2014). Na Figura 14 são mostrados os pontos de coleta do SCA-UR.

Figura 14 – Pontos de coleta de água da chuva no SCA-UR.



(A) calha, (B) reservatório após descarte, (C) filtro, (D) desinfecção. 1, 2 e 3: reservatórios.

Fonte: autora.

✓ Calha (A).

A água foi coletada após passar pela calha de 100mm em direção ao reservatório de bombeamento, porém, ao iniciar as chuvas, a tubulação que desaguava no reservatório era desconectada exatamente nesse ponto (Figura 14-A), sempre deixando escoar os primeiros milímetros de precipitação, por cerca de 1 minuto.

✓ Reservatório após descarte (B).

Para a coleta deste ponto, Arruda (2014) instalou uma derivação com “ T ” na tubulação que levava a água do reservatório de armazenamento até o filtro, onde foram coletadas as amostras. Na Figura 14-B é possível observar os três reservatórios que compõem o SAC-UR.

- ✓ Filtro (C).

A água vinda do reservatório superior (reservatório 3) passava no filtro de fluxo descendente, composto por camadas de areia e seixo de diferentes granulometrias. Após percolar por todas as camadas a água foi coletada na saída do filtro (Figura 14-C).

- ✓ Desinfecção (D).

O ultimo ponto do sistema foi localizado após o equipamento de desinfecção com radiação ultravioleta (Figura 14-D).

5.2.2 Sistema de captação e tratamento de água da chuva rural (SAC-R1 e SAC-R2).

Os sistemas de captação e tratamento de água da chuva localizados na área rural (SAC-R1 e SAC-R2) foram implantados por Gonçalves (2012) em duas residências populares, em madeira, com telhados constituídos de material cerâmico com áreas de 79,04 m² na Ilha Grande e 49,28 m² na Ilha Murutucu (Figura 15).

Figura 15 - Locais onde os sistemas rurais (SAC R1 e R2) foram instalados: (a) Residência na Ilha Grande; (b): Residência na Ilha Murutucu.

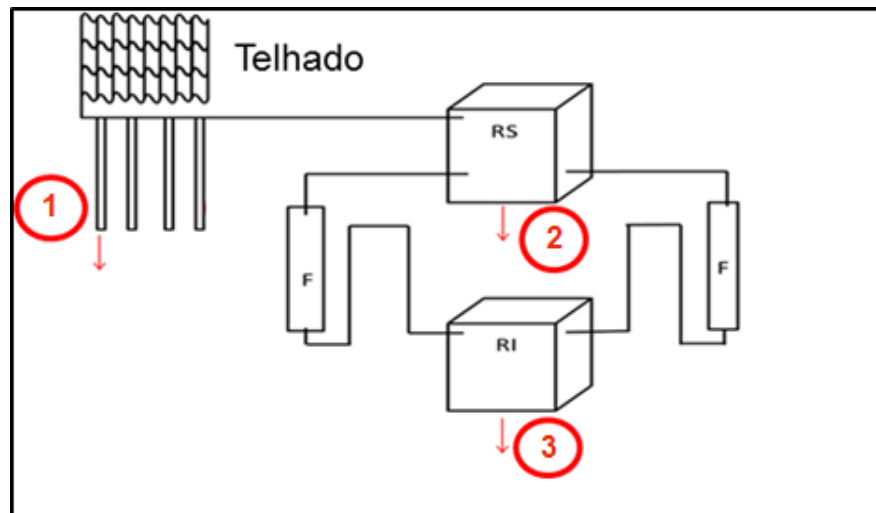


Fonte: Gonçalves (2012)

Os SAC-R1 e R2 foram compostos por dois reservatórios, um superior e outro inferior, tubos de descarte e filtros, feitos em tubos de PVC de 100 mm com seixos e

areias de granulometrias variadas formando o meio filtrante. No SAC-R1 foram utilizados quatro tubos de descartes e dois filtros, e no SAC-R2 apenas dois tubos de descartes e um filtro (Figura 16).

Figura 16 – Esquema de funcionamento dos Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva Rural 1 e 2 (SAC-R1 e SAC-R2).



1, 2 e 3: pontos de coleta; RS e RI: reservatórios; F: filtro.

Nos SAC- R1 e SAC-R2, a água escoada do telhado da residência era lançada na calha passando e preenchendo os tubos verticais (tubos de descarte). Após esse preenchimento, a água seguia para o reservatório superior de onde escoava por gravidade para os filtros, localizado em lados opostos do reservatório superior, seguindo por um sifão invertido ao reservatório inferior. Nesse reservatório foi instalada uma torneira boia que promove o fechamento automático da vazão do filtro quando a caixa se enche. As coletas das amostras de água nos sistemas rurais ocorreram no período de Janeiro a Abril de 2012. Os pontos selecionados para serem amostrados foram os seguintes:

- ✓ Calha (1).

A água da chuva captada pelo telhado alcançava a calha e preenchia o primeiro reservatório de descarte. Sendo esse o primeiro ponto de coleta.

- ✓ Reservatório após descarte (2).

A água acumula-se no reservatório superior após o preenchimento dos reservatórios de descarte. Sendo esse o segundo ponto de coleta.

- ✓ Reservatório após filtro (3).

O ultimo ponto de coleta é no reservatório inferior que recebe a água vinda do reservatório superior, após passar pelos filtros. Na Figura 17 são mostrados os reservatórios superior e inferior (pontos de coleta 2 e 3).

Figura 17 – Reservatórios superior e inferior dos SAC-R1 e R2.



Fonte: Gonçalves (2012).

5.2.3 Parâmetros de qualidade da água analisados nos SAC.

Os parâmetros analisados da qualidade da água da chuva que foram utilizadas para este trabalho foram: pH, Cor Aparente, Turbidez, Coliformes totais e E. Coli. Os valores dessas variáveis foram obtidos de forma secundária nos trabalhos de Arruda (2014) e Gonçalves (2012).

Para a comparação com os valores estabelecidos na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e na ABNT-NBR 15527 (BRASIL, 2007), foram usados apenas os valores dos parâmetros analisados nos pontos finais dos sistemas, ou seja, no SAC-UR foi no ponto de desinfecção e nos SAC-R1 e R2 foi no ponto do reservatório após filtração.

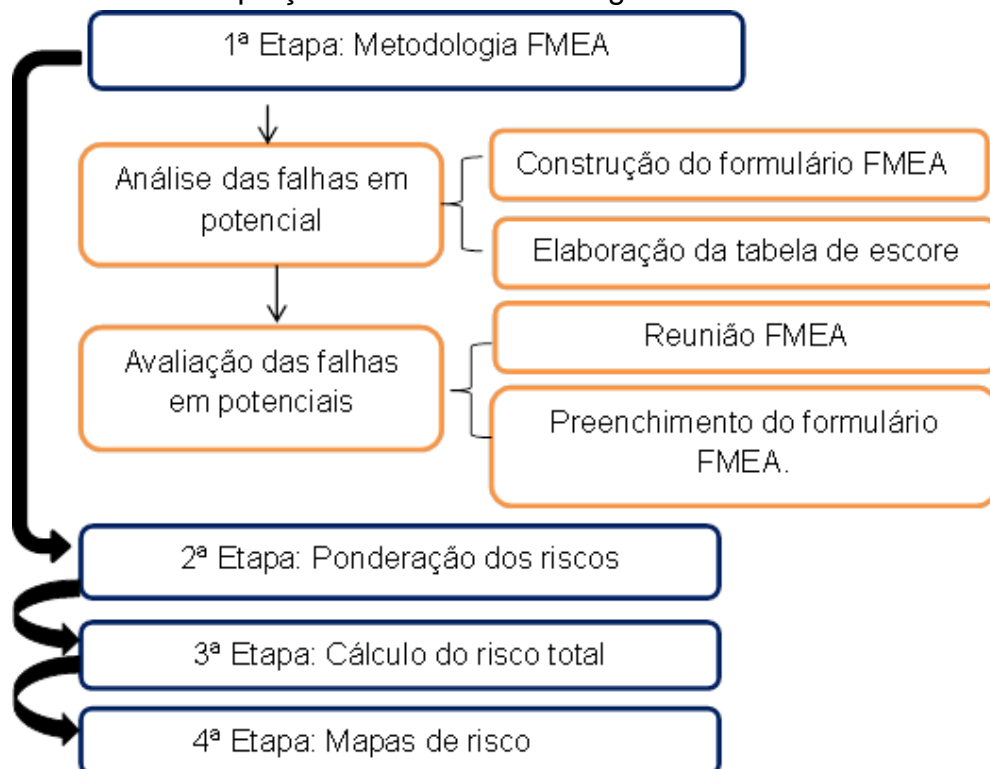
Os dados obtidos de todos os pontos de amostragem foram trabalhados através da estatística descritiva, a fim de se obter uma média central que represente melhor cada parâmetro analisado.

Com os valores obtidos dos parâmetros analisados nos três sistemas foi feita a avaliação de risco com o uso do método FMEA, baseando-se nos valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos na portaria 2914 do MS (BRASIL, 2011). Para fazer a avaliação de risco com o parâmetro pH, foi necessário adotar o valor médio dos resultados das análises.

5.3 AVALIAÇÃO DE RISCO.

A avaliação do risco nos sistemas de captação e tratamento de água da chuva foi efetuada pelo método FMEA, baseando-se na Avaliação de Risco utilizada em Sistemas de Abastecimento de Água. Na Figura 18 é mostrado o esquema das etapas que foram executadas para a avaliação do risco nesta pesquisa, os quais serão em seguida explicados.

Figura 18 - Esquema de execução para a Avaliação de Risco em Sistemas de Captação e Tratamento de Água da Chuva.



5.3.1 Método FMEA.

O Método FMEA usado foi o proposto por Toledo e Amaral (2006), baseando-se nas aplicações feitas por Ogata (2011) e Vieira (2012) em Sistemas de Abastecimento de Água, apresentados no item 4 deste trabalho.

5.3.1.1 Análise das falhas em potencial.

Para este trabalho, a determinação das falhas em potencial considerou os indicadores de qualidade da água analisados em cada ponto de coleta de todos os três SAC, avaliando a qualidade da água para consumo humano, baseando-se nos valores exigidos na Portaria 2914 do MS (BRASIL, 2011). Sendo assim, foram considerados como perigos: alta turbidez, alta cor, baixo pH e alto pH, presença de coliformes totais e presença de E.coli.

Os perigos citados foram usados na elaboração do formulário FMEA (APÊNDICE A), levando em consideração seu efeito, a sua causa, as medidas mitigadoras e os escores que quantificam o risco.

O preenchimento dos escores que quantificam o perigo, transformando-o em risco foi preenchido, partindo de discussões sobre os três aspectos: Severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). A Tabela de escore usada (Tabela 3) neste trabalho foi baseada na tabela de escore (Anexo 1) usada por Zambrano e Martins (2007), adaptando-a para a realidade dos sistemas avaliados.

Tabela 3 – Tabela de escores para a Avaliação de Risco nos SAC.

Escore para Severidade		
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causam efeitos graves à saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
Escore para Ocorrência		
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 75%.	3

Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência a partir de 30% até 75%.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente até 30%	1
Escore para Detecção		
Alta	A não conformidade pode ser percebida a olho nu.	1
Moderada	A não conformidade é percebida com a utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	Para detectar a não conformidade é necessária à utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3

5.3.1.2 Avaliação das falhas em potencial.

A avaliação das falhas em potencial ocorreu na reunião do FMEA, na presença dos especialistas da área, que formaram a equipe avaliadora, composta por dois doutores, dois mestres e um graduado. Cada um da equipe recebeu o formulário FMEA e a tabela de escore, onde o preenchimento desse formulário foi norteado pelos valores pré-determinados na tabela de escore. O aspecto de cada perigo foi debatido com cuidado e atenção até que se chegasse a um consenso entre a equipe.

5.4 PONDERAÇÃO DOS RISCOS.

Após o preenchimento do formulário, com os escores de severidade, ocorrência e detecção, para cada perigo, fez-se necessário saber qual a importância em percentual de cada risco analisado para o risco total dos SAC. Para isso, utilizou-se o cálculo da soma ponderada, onde se somaram o valor de cada risco e depois se dividiu o risco individual por esta soma, por meio da Equação 1.

$$P = \frac{R1}{(\sum_1^n R)} \quad (\text{Equação 1}).$$

Em que:

P = Ponderação;

R1= Risco Individual;
n = Quantidade de Risco;
 ΣR = Soma de Todos os Riscos.

A partir da soma dos escores, severidade, ocorrência e detecção, para cada perigo (alta turbidez, alta cor, baixo pH, alto pH e a presença de coliformes totais e E.coli) obteve-se o valor de risco para cada perigo. A soma de todos os riscos resultou no valor de risco total, ou seja, o valor obtido representou 100% do risco no sistema, conseqüentemente, cada perigo teve seu risco percentual no sistema.

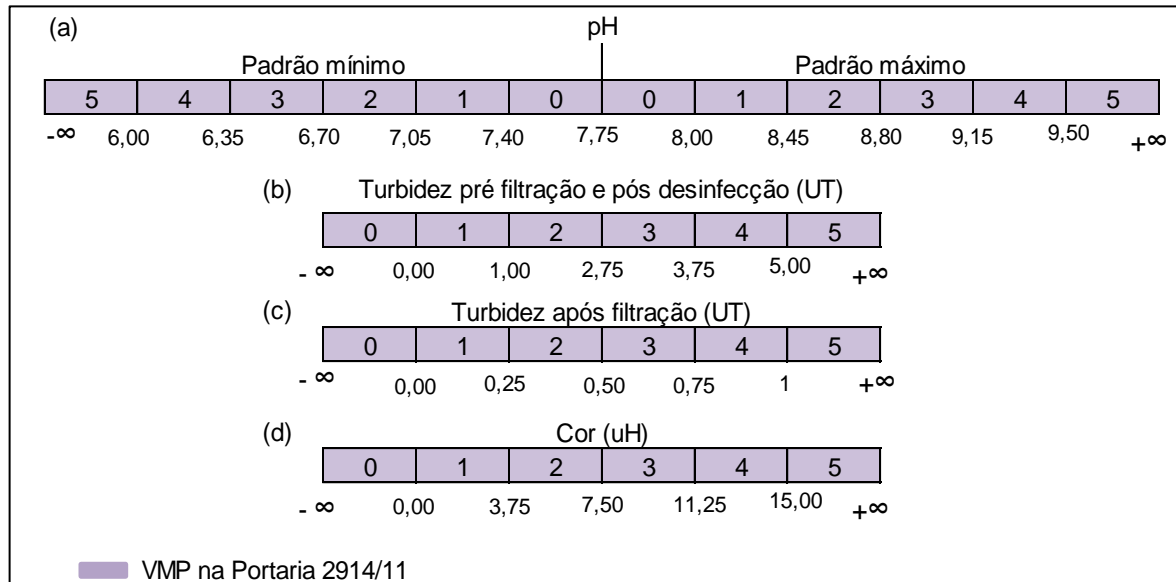
Assim como no estudo de Vieira (2012), nessa pesquisa também ocorreu um perigo excludente com o parâmetro pH, ou seja, se houvesse o risco de alto pH, conseqüentemente não haveria o baixo pH e vice-versa. Isso foi avaliado a partir da ponderação dos riscos, sendo adotado para a etapa posterior de classificação do risco máximo, o que apresentou maior significância de risco dentro do sistema.

✓ ***Risco máximo para cada indicador.***

O valor de risco de cada indicador foi multiplicado pelo valor máximo de classificação (5) e a soma destes resultou no valor do risco máximo no sistema. Com base nesse valor máximo, foram construídos os intervalos de categorização do risco (desprezível, baixo, moderado, alto e crítico) iniciados com o valor zero até o valor máximo encontrado.

Para representar o risco de acordo com seus indicadores, os parâmetros foram classificados com base nos VMP na Portaria 2914 do MS (BRASIL, 2011), estabelecidos em 6 faixas de risco (de 0 a 5) conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Escalas de classificação dos indicadores pH (a), turbidez (b) e cor (c).



5.5 CÁLCULO DO RISCO TOTAL.

Ao concluir a etapa dos riscos individuais, calculou-se o risco total de um ponto multiplicando-se o valor percentual de cada indicador encontrado dentro dos respectivos SAC pelo valor de classificação de cada parâmetro (indicador). A soma de todos os produtos resultou no risco total no ponto avaliado. Sendo repetido ponto a ponto para ambos os SAC.

Assim, categorizaram-se os riscos em todos os pontos dos sistemas para cada parâmetro analisado.

5.6 MAPA DE RISCO.

A partir da categorização dos riscos, construíram-se os mapas de risco de todos os pontos estudados nos SAC referentes à qualidade da água em cada ponto, baseando-se no mapa criado por Ogata (2011), classificando cada ponto de coleta dos SAC de acordo com as cinco classificações adotadas na categorização, que vai do risco desprezível ao risco crítico.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados do tratamento estatísticos dos dados de estudo; da comparação das características da qualidade da água dos SAC com os valores estabelecidos na Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) e na ABNT-NBR 15.527 (BRASIL, 2007) e, os resultados da avaliação de risco nos sistemas.

6.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.

Para os conjuntos de dados obtidos a partir dos trabalhos de Gonçalves (2012) e Arruda (2014) dos SAC, foi feita a estatística descritiva, adotando como medida de tendência a média dos valores para os parâmetros de turbidez e cor. Para o parâmetro pH foram considerados os valores mínimos e máximos e os parâmetros de coliformes totais e E.coli foram estudados como presença (+) ou ausência (-). As Tabelas 4 e 5 mostram os valores dos dados estudados dos SAC urbano e rurais (1 e 2), respectivamente.

Tabela 4 - Valores estudados dos SAC Rural1 e Rural2.

Sistemas	Pontos	Variável	Média	Desvio	N	Conformidade	Não conformidade
SAC-R1	Calha	pH	5,9	0,90	15	8	7
		Turbidez	1,3	1,22	15	8	7
		Cor	26,2	23,26	15	6	9
		C.T	-	-	15	0	15
		E.Coli	-	-	15	0	15
	Reservatório após descarte	pH	5,7	0,95	15	6	9
		Turbidez	0,6	0,58	15	13	2
		Cor	18,7	14,68	15	9	6
		C.T	-	-	15	0	15
		E.Coli	-	-	15	1	14
	Reservatório após filtro	pH	5,4	0,84	15	3	12
		Turbidez	0,4	0,44	15	14	1
		Cor	10,7	5,74	15	12	3
		C.T	-	-	15	1	14
		E.Coli	-	-	15	9	6

Sistemas	Pontos	Variável	Média	Desvio	N	Conformidade	Não conformidade
SAC-R2	Calha	pH	5,2	0,70	15	2	13
		Turbidez	1,0	0,88	15	10	5
		Cor	31,6	21,28	14	1	13
		C.T	-	-	15	0	15
		E.Coli	-	-	15	0	15
	Reservatório após descarte	pH	5,3	0,66	15	3	12
		Turbidez	1,0	0,56	15	8	7
		Cor	27,3	12,22	14	2	12
		C.T	-	-	15	0	15
		E.Coli	-	-	15	2	13
	Reservatório após filtro	pH	5,0	0,73	15	1	14
		Turbidez	0,5	0,36	15	14	1
		Cor	13,4	6,85	14	9	5
		C.T	-	-	15	0	15
		E.Coli	-	-	15	3	12

Nota: N= nº de amostras; Conformidade de acordo com os VMP na Portaria 2914/11 (pH de 6 a 9, Turbidez VMP=1uT, Cor VMP=15UH e CT e E.coli ausentes).

Tabela 5 - Valores estudados do SAC-UR.

Sistemas	Pontos	Variável	Média	Desvio	N	Conformidade	Não conformidade
SAC-UR	Calha	pH	6,3	0,96	9	6	3
		Turbidez	4,7	8,03	9	1	8
		Cor	48,1	43,58	9	3	6
		C.T	-	-	10	0	10
		E.Coli	-	-	10	2	8
	Reservatório após descarte	pH	6,4	0,78	20	14	6
		Turbidez	2,8	2,21	19	6	13
		Cor	6,2	1,98	20	20	0
		C.T	-	-	13	0	13
		E.Coli	-	-	13	1	12
	Filtro	pH	6,0	0,76	20	9	11
		Turbidez	3,6	2,36	19	14	5
		Cor	5,5	3,88	20	18	2
		C.T	-	-	13	0	13
		E.Coli	-	-	13	0	13
Desinfecção	pH	5,8	0,87	20	8	12	
	Turbidez	3,9	2,51	19	4	15	
	Cor	6,1	3,96	20	19	1	
	C.T	-	-	13	13	0	
	E.Coli	-	-	13	13	0	

Nota: N= nº de amostras; Conformidade de acordo com os VMP na Portaria 2914/11 (pH de 6 a 9, Turbidez VMP=1uT, Cor VMP=15UH e CT e E.coli ausentes).

6.2 RESULTADO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS SAC COM OS VALORES ESTABELECIDOS NA PORTARIA Nº 2914 (BRASIL, 2011) E NA ABNT - NBR 15.527 (BRASIL, 2007).

A Tabela 6 mostra os valores médios obtidos da qualidade da água nos últimos pontos de cada um dos sistemas avaliados. Sendo estes pontos nos SAC rurais 1 e 2 o ponto referente ao reservatório após filtro e no SAC-UR o ponto de desinfecção.

Tabela 6 – Parâmetros analisados por Gonçalves (2012) e Arruda (2014) da qualidade da água nos pontos finais dos SAC-Rural 1 e 2 e do SAC-UR.

Sistemas	Pontos	Variável	Média	Desvio	Portaria 2914 (BRASIL, 2011)	NBR 15.527 (BRASIL, 2007)
SAC-R1	Reservatório após filtro	pH*	3,7-6,15	6,10	6 a 9,5	6 a 8
		Turbidez	0,47	0,44	1	5
		Cor	10,73	5,74	15	15
		C.T**	14+	-	ausente	ausente
		E.Coli**	6+	-	ausente	ausente
SAC-R2	Reservatório após filtro	pH*	3,8- 6,2	0,73	6 a 9,5	6 a 8
		Turbidez	0,50	0,36	1	5
		Cor	13,43	6,85	15	15
		C.T**	15+	-	ausente	ausente
		E.Coli**	12+	-	ausente	ausente
SAC-UR	Desinfecção	pH*	4,9-7,3	0,87	6 a 9,5	6 a 8
		Turbidez	3,87	2,51	5	5
		Cor	6,07	3,96	15	15
		C.T**	0+	-	ausente	ausente
		E.Coli**	0+	-	ausente	ausente

(*) pH expressos com valores mínimos e máximos;

(**) coliformes totais e E.coli expressos pelo numero de resultados positivos presentes.

A ocorrência de valores de pH abaixo das faixas estabelecida pela Portaria 2914/11 e recomendada pelo NBR 15.527 (BRASIL, 2007) para fins potáveis e não potáveis respectivamente, se deu no SAC-R1 em 87% das amostras e no SAC-R2 em 93%. No SAC-UR esses valores de pH baixo ocorreram em 60% das amostras analisadas.

Para os valores de Turbidez, todos os sistemas apresentaram resultados satisfatórios. Os sistemas rurais não ultrapassaram o limite estabelecido na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) de 1 uT após filtração e antes de desinfecção, e no sistema

urbano o valor da turbidez não ultrapassou o limite de 5 uT exigido na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) após a desinfecção. Porém, por ter sido feita a desinfecção por meio de equipamento com radiação ultravioleta e não com o uso de produtos químicos, que podem aumentar o valor da turbidez, esse valor de turbidez no ponto final do SAC-UR pode ter ocorrido em virtude do mau funcionamento do filtro. Talvez pela falta e/ou limpeza tardia do mesmo. Os valores médios nos sistemas foram 0,47 uT, 0,50 uT e 3,87 uT para os SAC-R1, SAC-R2 e SAC-UR, respectivamente.

Quanto aos valores de cor nos SAC, todos os três sistemas apresentaram resultados satisfatórios que atendem aos padrões exigidos para fins potáveis e não potáveis. Ressalta-se que o valor máximo de 15 UH é comum à Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e a NBR 15.257 (BRASIL, 2007).

Os parâmetros bacteriológicos, Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, que segundo a Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e a NBR 15.527 (BRASIL, 2007) deve ser ausente, foram satisfatórios apenas no SAC-UR, uma vez que neste sistema ocorre a desinfecção por meio de um equipamento com radiação ultravioleta.

Nas inúmeras pesquisas citadas neste estudo, observou-se que a presença de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* são sempre positivas nas águas da chuva tanto coletadas de forma direta como a partir de sistemas montados para o aproveitamento dessa água. A exceção ocorre em sistemas de tratamento contendo a etapa da desinfecção. No entanto, mesmo não reduzindo a zero os valores desses parâmetros, a redução que ocorre após a passagem da água da chuva nesses sistemas é de certa forma significativa. Anecchini (2005) obteve uma redução significativa de Coliformes Totais ao comparar os valores das primeiras águas da chuva com a água do reservatório de armazenamento final no sistema.

A qualidade da água final nos três sistemas estudados apresentaram valores em conformidade com a Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e com a NBR 15.527 (BRASIL, 2007) para os parâmetros físico-químicos. Para os parâmetros bacteriológicos, o SAC-UR, que possui a etapa de desinfecção, mostrou-se eficiente na eliminação total desses patógenos, diferente do que ocorreu nos SAC-R1 e R2, que não foram eficientes na eliminação desses parâmetros bacteriológicos, o que é comum pelo fato dos sistemas não serem compostos pela etapa de desinfecção.

6.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO NOS SAC.

A seguir são apresentados os resultados da Avaliação de Risco de todos os pontos avaliados dos três sistemas estudados neste trabalho. Os formulários FMEA para todos os SAC foram preenchidos na reunião dos avaliadores especialistas, sendo utilizado um formulário para cada um dos pontos avaliados nos três sistemas.

6.3.1 Resultado do formulário FMEA.

1º Ponto: Calha

Para todos os SAC, o perigo de baixo pH foi avaliado com severidade igual a 2, que mesmo sendo agressivo aos sistemas, a simples manutenção e limpeza periódica destes, amenizará tal impacto. A ocorrência desse perigo no SAC-R1 e no SAC-UR foi moderada ocorrendo não conformidade com a Portaria nº 2914 do MS (BRASIL, 2011) em 47% e 33% das amostras nos respectivos sistemas. No SAC-R2 a ocorrência foi alta com uma não conformidade em 86% das amostras. A detecção é a mesma, independente do sistema, sendo considerada moderada, por ser feita através de medições simples. Os riscos estimado para os SAC-R1 e SAC-UR igual a 8 e do SAC-R2 igual a 12.

A Tabela 7 mostra o formulário FMEA preenchido para este ponto de todos os três sistemas.

Tabela 7 - Formulário FMEA do ponto da Calha para os SAC.

Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SCA-UR	Baixo pH	Agressividade às unidades, falta de manutenção no sistema	Características da água; tipo de material do telhado; materiais depositados no telhado.	2	2	2	8	Avaliar a qualidade da água da atmosfera e do telhado.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. da água ou do tipo de telhado	1	2	2	4	Avaliar a qualidade do ar próximo ao sistema e a água direto da atmosfera
	Alta turbidez	Interferência na filtração., contaminação.	Materias depositados no telhado	2	3	2	12	Limpeza periódica do sistema
	Alta cor	contaminação, manutenção periódica no sistema	Característica da água; Materias depositados no telhado.	2	2	2	8	Limpeza periódica do sistema
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema
	Presença de <i>E.coli.</i>	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema
Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R1	Baixo pH	Agressividade às unidades.	Características da água; tipo de material do telhado; materiais depositados no telhado.	2	2	2	8	Avaliar a qualidade da água da atmosfera e do telhado.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. da água ou do tipo de telhado	1	1	2	2	Avaliar a qualidade do ar próximo ao sistema e a água direto da atmosfera
	Alta turbidez	contaminação, manutenção periódica no sistema	Materias depositados no telhado	2	2	2	8	Limpeza periódica do sistema
	Alta cor	contaminação, manutenção periódica no sistema	Presença de sólidos orgânicos dissolvidos	1	2	2	4	Limpeza periódica do sistema
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema
	Presença de <i>E.coli.</i>	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema

Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R2	Baixo pH	Agressividade às unidades.	Características da água; tipo de material do telhado; materiais depositados no telhado.	2	3	2	12	Avaliar a qualidade da água da atmosfera e do telhado.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. da água ou do tipo de telhado	1	1	2	2	Avaliar a qualidade do ar próximo ao sistema e a água direto da atmosfera
	Alta turbidez	contaminação, manutenção periódica no sistema	Materias depositados no telhado	2	2	2	8	Limpeza periódica do sistema
	Alta cor	contaminação, manutenção periódica no sistema	Presença de sólidos orgânicos dissolvidos	1	3	2	6	Limpeza periódica do sistema
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema
	Presença de <i>E.coli</i> .	contaminação	Telhado contaminado	3	3	3	27	Limpeza do sistema

O perigo de alto pH, mesmo provocando incrustações nas tubulações do sistema, recebeu o valor 1 para os escores severidade e ocorrência em todos os três sistemas avaliados, por ser característico da água da chuva valores de pH baixos. A forma de detecção é a mesma do perigo de baixo pH, considerada moderada. O risco em todos os sistemas apresentou valor igual 4.

Nos sistemas avaliados, o perigo de alta turbidez apresentou uma severidade moderada com escore igual a 2 causada por materiais depositados no telhado. O escore de ocorrência foi moderado nos SAC-R1 e R2 e alta no SAC-UR com uma não conformidade em 46%, 33% e 88% das amostras analisadas nos respectivos sistemas. A detecção também foi considerada moderada. O risco nos sistemas foi de 12 no SAC-UR e de 8 nos SAC-R1 e R2.

Em relação ao perigo de alta cor, os avaliadores concluíram que a ocorrência desse perigo nos sistemas rurais apresenta uma severidade baixa, com escore igual

a 1, pois segundo os avaliadores esse alto índice de cor, caso ocorra, possivelmente será proveniente do acúmulo de folhas no telhado, por se tratar de um sistema localizado na área rural com presença de muitas árvores em suas proximidades. No entanto, no SAC-UR esse perigo recebeu escore igual 2, pois o sistema localiza-se em uma área mais suscetível a vários meios de poluição que podem contribuir para o aumento desse perigo. Nos SAC-R1 e SAC-UR a ocorrência recebeu escore 2 tendo respectivamente ocorrido a não conformidade em 60% e 66% das amostras. No SAC-R2 a ocorrência foi alta com a não conformidade em 93% das amostras analisadas. A detecção é moderada e o risco nos sistemas foi igual a 4 no SAC-R1, 6 no SAC-R2 e 8 no SAC-UR.

Por fim, os perigos devido à presença de Coliformes Totais e *E. coli*. obtiveram em todos os sistemas a severidade e ocorrência alta com escore igual a 3 por ter como efeito a contaminação, e ser prejudicial à saúde humana, ocorrendo o perigo da presença de Coliformes Totais em 100% das amostras analisadas nos três sistemas, e o perigo da presença de *E. coli*. em 100% nas amostras dos sistemas rurais R1 e R2 e em 80% nas amostras do SAC-UR. O risco de ambos os perigos foi estimado em 27 nos sistemas avaliados.

2º Ponto: Reservatório após descarte.

Tabela 8 - Formulário FMEA do ponto do reservatório após descarte dos SAC.

Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-UR	Baixo pH	Agressividade às unidades, falta de manutenção no sistema	Desgaste de peças e conexões do sistema, acúmulo de material na calha.	2	1	2	4	Limpeza constante do reservatório.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. da água ou do tipo de telhado	1	1	2	2	adicionar substância tampão
	Alta turbidez	Interferência na filtração. contaminação.	Presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente.	2	2	2	8	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.

	Alta cor	Interferência na filtração. contaminação.	Presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente.	2	1	2	4	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.
	Presença de <i>E.coli.</i>	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.
Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R1	Baixo pH	Agressividade às unidades, falta de manutenção no sistema	Desgaste de peças e conexões do sistema, acúmulo de material na calha.	2	2	2	8	Limpeza constante do reservatório.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. Da água ou do tipo de telhado	1	1	2	2	adicionar substância tampão
	Alta turbidez	Interferência na filtração, contaminação.	presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente	2	1	3	6	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.
	Alta cor	Interferência na filtração, contaminação.	presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente	1	2	2	4	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.
	Presença de <i>E.coli.</i>	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.
Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R2	Baixo pH	Agressividade às unidades.	Desgaste de peças e conexões do sistema, acúmulo de material na calha.	2	3	2	12	Limpeza constante do reservatório.
	Alto pH	Incrustações na tubulação	Caract. Da água ou do tipo de telhado	1	1	2	2	adicionar substância tampão

Alta turbidez	Interferência na filtração., contaminação.	presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente	2	2	2	8	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.
Alta cor	Interferência na filtração., contaminação.	presença de sólidos dissolvidos, volume de descarte insuficiente	1	3	2	6	Limpeza periódica no sistema, manutenção preventiva na calha.
Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.
Presença de <i>E.coli</i> .	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	Limpeza do telhado, aumentar volume e/ou tempo de descarte.

Neste ponto, o perigo de baixo valor de pH foi avaliado com severidade e detecção igual a 2 em todos os três sistemas, tendo como medida mitigadora para esse perigo a limpeza constante do reservatório. Quanto a ocorrência, os sistemas urbano e rural 1 apresentaram escore igual a 2 e no rural 2 o escore foi de 3. A não conformidade de ocorrência foi de 60% no SAC-R1, 80% no SAC-R2 e de apenas 30% no SAC-UR. O risco nos sistemas foi de 4 no SAC-UR, 8 no SAC-R1 e de 12 no SAC-R2.

O perigo de alto pH recebeu escore de 1 para severidade e ocorrência e 2 para a detecção em todos os sistemas. O risco em todos os sistemas foi igual a 2.

Nos sistemas, o perigo de alta turbidez apresentou severidade moderada com escore igual a 2 causada pela presença de sólidos dissolvidos ou pelo volume de descarte ser insuficiente. A detecção também é moderada. A ocorrência foi moderada nos sistemas urbano e rural 2. No SAC-R1 a ocorrência foi baixa com uma não conformidade em apenas 13% das amostras. Nos SAC-UR e SAC-R2 a não conformidade foi em 68% e 46% das amostras, respectivamente.

Com relação ao perigo de alta cor, os avaliadores classificaram a severidade desse perigo sendo moderado para o SAC-UR e baixa para os sistemas rurais. Essa definição foi justificada pelo fato de ser um dos causadores desse perigo, a presença de sólidos dissolvidos, que segundo os avaliadores, na área rural são em sua maioria provenientes de materiais menos nocivos, como por exemplo, da decomposição de folhas caídas sob o telhado. A detecção apresentou o mesmo

escore para os três sistemas, igual a 2. A ocorrência foi baixa no SAC-UR, moderada no SAC-R1 e alta no SAC-R2.

Os últimos perigos, presença de coliformes totais e E.coli, apresentaram risco máximo igual a 27 em todos os sistemas, avaliados com perigo alto para severidade, detecção e ocorrência, sendo como causa a contaminação de telhados e/ou calhas e o efeito a própria contaminação.

3º Ponto: Reservatório após filtro ou pós-filtro.

Tabela 9 - Formulário FMEA do ponto do reservatório após filtro ou pós filtro dos SAC.

Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-UR	Baixo pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	2	1	2	4	Lavagem periódica do filtro, avaliar frequência de limpeza do filtro
	Alto pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	1	1	2	2	adicionar substância tampão
	Alta turbidez	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	2	3	2	12	manutenção no filtro
	Alta cor	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	2	1	2	4	manutenção no filtro
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	avaliar a filtração no sistema
	Presença de E.coli.	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	avaliar a filtração no sistema

Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R1	Baixo pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	2	3	2	12	Lavagem periódica do filtro, avaliar frequência de limpeza do filtro
	Alto pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	1	1	2	2	adicionar substância tampão
	Alta turbidez	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	2	1	2	4	manutenção no filtro
	Alta cor	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	1	1	2	2	manutenção no filtro
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	avaliar a filtração no sistema
	Presença de <i>E.coli.</i>	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	2	3	18	avaliar a filtração no sistema
Sistema	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
SAC-R2	Baixo pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	2	3	2	12	Lavagem periódica do filtro, avaliar frequência de limpeza do filtro
	Alto pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	1	1	2	2	adicionar substância tampão
	Alta turbidez	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	2	1	2	4	manutenção no filtro

	Alta cor	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	1	2	2	4	manutenção no filtro
	Presença de Coliformes Totais	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	avaliar a filtração no sistema
	Presença de <i>E.coli</i> .	contaminação	Telhado e/ou calha contaminados, volume de descarte insuficiente.	3	3	3	27	avaliar a filtração no sistema

Para o 3º ponto de coleta avaliado, os escores de severidade e detecção foram mantidos os mesmos de todos os perigos, conforme ocorrido nos dois pontos anteriores nos três sistemas. O escore de ocorrência foi alta para o perigo de baixo pH nos SAC-R1 e R2 com 80% e 93% de não conformidades.

No SAC-UR o perigo foi moderado com 55% de amostras em não conformidade. O risco no SAC-R1 e R2 foi igual a 12 e no SAC-UR igual a 8. O perigo de alta turbidez apresentou escore de ocorrência baixa nos sistemas rurais R1 e R2 com apenas uma amostra em não conformidade com a portaria 2914/11.

No SAC-UR a ocorrência foi alta com a não conformidade em 79% das amostras analisadas. O risco nos sistemas rurais R1 e R2 foi igual a 4 e no SAC-UR igual a 12. O perigo de alta cor obteve o risco igual a 4 em todos os três sistemas com uma ocorrência baixa nos SAC-R1 e SAC-UR com a não conformidade em apenas uma amostra no sistema rural e duas no urbano. No SAC-R2 a ocorrência foi moderada com 36% das amostras em não conformidade. No entanto, o risco foi de 4 nos três sistemas.

O perigo devido à presença de Coliformes Totais repetiu-se em todos os três sistemas, conforme ocorrido no ponto da calha. A presença de *E.coli* também teve os escores de severidade e detecção mantidos em alta. O escore de ocorrência foi alta nos SAC-R2 e SAC-UR com 80% e 100% de não conformidade nas amostras analisadas nos respectivos sistemas, tendo o risco estimado para estes sistemas

igual a 27. No SAC-R1 o escore de ocorrência foi moderado com a não conformidade em 40% das amostras, gerando um risco igual a 18.

4º ponto: Desinfecção (apenas no SAC-UR).

Tabela 10 - Formulário FMEA do ponto de desinfecção do SAC-UR

Pontos	Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
Desinfecção	Baixo pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	2	2	2	8	adicionar substância tampão (cal)
	Alto pH	Inadequado à portaria 2914	Características da água ou do tipo de material do telhado.	1	1	2	2	adicionar substância tampão (cal)
	Alta turbidez	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Falta de limpeza no filtro	2	1	2	4	manutenção no filtro
	Alta cor	Inadequado à portaria 2914, aspecto desagradável visualmente, contaminação.	Características da água ou do telhado; Ineficiência na filtração; Volume de descarte insuficiente; Reservatório ou meio filtrante contaminado.	2	1	2	4	manutenção no filtro
	Presença de Coliformes Totais	Inadequado à portaria 2914	Falta de limpeza no filtro; ineficiência na filtração; meio filtrante contaminado; defeito/problema no equipamento de desinfecção.	3	1	3	9	avaliar a filtração no sistema; verificar equipamento de desinfecção.
	Presença de <i>E.coli</i> .	Inadequado à portaria 2914	Falta de limpeza no filtro; ineficiência na filtração; meio filtrante contaminado; defeito/problema no equipamento de desinfecção.	3	1	3	9	avaliar a filtração no sistema; verificar equipamento de desinfecção.

O ponto de desinfecção pertencente ao SAC-UR foi avaliado com os mesmos índices de severidade e detecção estimados para os pontos anteriormente citados, contidos em todos os três sistemas para todos os perigos estudados. O escore de ocorrência foi baixo para os perigos de alta cor e presença de Coliformes Totais e *E.coli*, tendo ocorrido apenas a não conformidade em uma amostra analisada para o perigo de alta cor e nenhuma ocorrência para a presença de Coliformes Totais e *E.coli*, porém considerada baixa por não haver o escore nulo. O perigo de alta turbidez recebeu escore de ocorrência alta com 79% de não conformidades e o baixo pH moderado com 60% de ocorrência não conformes. O risco foi de 8 para o baixo pH, 2 para o alto pH, 12 para a alta turbidez, 4 para a alta cor e 9 para a presença de Coliformes Totais e presença de *E.coli*.

6.3.2 Importância das medidas mitigadoras.

As medidas são primordiais para se alcançar o sucesso no funcionamento do sistema, sejam elas medidas de prevenção total do risco, medidas de prevenção total de uma causa do risco, medidas que dificultem a ocorrência do risco, que limitem o efeito do risco ou medidas que aumentem a probabilidade de detecção do risco (TOLEDO E AMARAL, 2006).

As medidas mitigadoras nada mais são do que as várias formas de se evitar, compensar ou diminuir os riscos, sejam eles em um processo, produto, sistema, etc. No caso dos sistemas avaliados, cada medida mitigadora sugerida para os pontos avaliados, poderá sanar o risco no ponto, e contribuir para a diminuição dos riscos nos pontos subsequentes. Isso ocorre, por exemplo, no primeiro ponto avaliado (ponto da calha) ao se adotar como medida mitigadora para os riscos de alta turbidez e alta cor, a limpeza periódica do sistema, ou seja, limpar com uma determinada frequência o telhado poderá diminuir significativamente esses dois riscos e, conseqüentemente, esses mesmos riscos serão bem menores nos pontos subsequentes como nos reservatórios e filtros.

Outra medida mitigadora que gera resultados positivos aos pontos subsequentes, é a o aumento do volume e/ou tempo de descarte. Quanto mais preciso for esse tempo e/ou volume de água da calha descartado, que carrega a maior parte das impurezas do telhado, melhor será a qualidade da água que

chegará ao reservatório e posteriormente passará para o filtro. Já a avaliação na filtração e a manutenção periódica no filtro, propiciarão uma análise melhor da qualidade da água final nos sistemas que não possuem etapas posteriores e no sistema com a etapa da desinfecção, a qualidade da água que passará para este ponto, já poderá estar totalmente adequada quanto aos parâmetros físico-químicos.

Assim as medidas mitigadoras, mesmo sendo adotados para uma avaliação individual de cada ponto, como se no ponto avaliado já se tenha como objetivo o uso da água, mesmo assim, elas influenciarão positivamente na qualidade da água nos pontos subsequentes.

6.3.3 Soma ponderada dos riscos para os SAC.

O cálculo da soma ponderada explicitado na metodologia foi aplicado a todos os riscos avaliados para os três sistemas estudados.

A seguir, serão apresentados os cálculos da soma ponderada e a importância em percentual de cada risco para o SAC-R1, SAC-R2 e SAC-UR, respectivamente.

➤ *Soma ponderado dos riscos e o risco percentual no SAC-R1.*

A ponderação dos riscos foi feita para todos os pontos avaliados dentro do sistema. A Tabela 11 mostra os resultados obtidos no sistema.

Tabela 11 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-R1.

Sistema	Pontos	Risco	Resultado dos Escores	Cálculo	Porcentagem
SAC-R1	Calha	Baixo pH	8	$8/76=0,1053$	10,53%
		Alto pH	2	$2/76=0,0263$	2,63%
		Alta turbidez	8	$8/76=0,1053$	10,53%
		Alta cor	4	$4/76=0,0526$	5,26%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/76=0,3553$	35,53%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/76=0,3553$	35,53%
		Risco Total	76	$76/76=1$	100,00%
	Reserv. Após descarte	Baixo pH	8	$8/76=0,1053$	10,53%
		Alto pH	2	$2/76=0,0263$	2,63%
		Alta turbidez	6	$6/76=0,0789$	7,89%
		Alta cor	6	$6/76=0,0789$	7,89%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/76=0,3553$	35,53%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/76=0,3553$	35,53%
		Risco Total	76	$76/76=1$	100,00%
	Reserv. Após Filtro	Baixo pH	12	$12/65=0,1846$	18,46%
		Alto pH	2	$2/65=0,0308$	3,08%
		Alta turbidez	4	$4/65=0,0615$	6,15%
		Alta cor	2	$2/65=0,0308$	3,08%
Presença de Coliformes Totais		27	$27/65=0,4154$	41,54%	
Presença de <i>E.coli.</i>		18	$18/65=0,2769$	27,69%	
Risco Total		65	$76/76=1$	100,00%	

Os riscos de presença de Coliformes Totais e presença de *E.coli.*, como já era esperado, por serem riscos intimamente ligados à presença de organismos patogênicos, apresentaram maior influencia dentro do sistema com 35,53% nos pontos da calha e no do reservatório após descarte, sofrendo uma pequena variação apenas no ponto do reservatório após o filtro onde a influencia do risco de presença de Coliformes Totais foi de 41,54% e o risco de presença de *E.coli.* foi de 27,69%. Para a equipe avaliadora, a alta turbidez pode estar ligada à presença de organismos patogênicos, no entanto, por se tratar de um sistema localizado em área rural, onde se acredita que tal área não sofra com os altos índices de poluição, esse risco não teve seus valores considerados tão influentes no sistema, tendo o mesmo valor de influencia que o risco de baixo pH no ponto da calha (10,53%). No ponto do reservatório após descarte o risco de baixo pH manteve a influencia de 10,53% e o risco de alta turbidez caiu para 7,89%. No ultimo ponto (ponto do reservatório após o filtro) essa variação foi maior ainda, o risco de baixo pH aumentou para 18,46% de

influencia e o risco de alta turbidez caiu para 6,15%, pois a não conformidade de ocorrência desse risco no ultimo ponto foi muito baixa.

➤ *Soma ponderado dos riscos e o risco percentual no SAC-R2.*

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos da ponderação dos riscos e seus respectivos valores percentuais dentro do SAC-R2.

Tabela 12 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-R2.

Sistema	Pontos	Risco	Resultado dos Escores	Cálculo	Porcentagem
SAC-R2	Calha	Baixo pH	12	$12/82=0,1463$	14,63%
		Alto pH	2	$2/82=0,0244$	2,44%
		Alta turbidez	8	$8/82=0,0976$	9,76%
		Alta cor	6	$6/82=0,0732$	7,32%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/82=0,3293$	32,93%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/82=0,3293$	32,93%
		Risco Total	82	$82/82=1$	100,00%
	Reserv. Após descarte	Baixo pH	12	$12/82=0,1463$	14,63%
		Alto pH	2	$2/82=0,0244$	2,44%
		Alta turbidez	8	$8/82=0,0976$	9,76%
		Alta cor	6	$6/82=0,0732$	7,32%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/82=0,3293$	32,93%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/82=0,3293$	32,93%
		Risco Total	82	$82/82=1$	100,00%
	Reserv. Após Filtro	Baixo pH	12	$12/65=0,1846$	15,79%
		Alto pH	2	$2/65=0,0308$	2,63%
		Alta turbidez	4	$4/65=0,0615$	5,26%
		Alta cor	4	$2/65=0,0308$	5,26%
Presença de Coliformes Totais		27	$27/65=0,4154$	35,53%	
Presença de <i>E.coli.</i>		27	$18/65=0,2769$	35,53%	
Risco Total		76	$76/76=1$	100,00%	

Assim como no SAC-R1, os riscos mais influentes no SAC-R2 foram os riscos de presença de Coliformes Totais, presença de *E.coli* e baixo pH, com variação de 32,93% a 35,53% para os riscos de presença de Coliformes Totais e *E.coli.* e de 14,63% a 15,79% para o risco de baixo pH. O terceiro risco mais influente foi o risco de alta turbidez com percentuais de 9,76% nos dois primeiros pontos do sistema,

diminuindo sua influencia no ultimo ponto com o percentual de apenas 5,26%. Logo se deduz que a etapa de filtração foi eficiente dentro do sistema.

➤ *Soma ponderado dos riscos e o risco percentual no SAC-UR.*

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos da ponderação dos riscos e seus respectivos valores percentuais dentro do SAC-R2.

Tabela 13 – Ponderação dos riscos individuais no risco total no SAC-UR.

Sistema	Pontos	Risco	Resultado dos Escores	Cálculo	Porcentagem
SAC-UR	Calha	Baixo pH	8	$8/86=0,0930$	9,30%
		Alto pH	4	$4/86=0,0465$	4,65%
		Alta turbidez	12	$12/86=0,1395$	13,95%
		Alta cor	8	$8/86=0,0930$	9,30%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/86=0,3140$	31,40%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/86=0,3140$	31,40%
		Risco Total	86	$86/86=1$	100,00%
	Reserv. Após descarte	Baixo pH	4	$4/72=0,0556$	5,56%
		Alto pH	2	$2/72=0,0278$	2,78%
		Alta turbidez	8	$8/72=0,1111$	11,11%
		Alta cor	4	$4/72=0,0556$	5,56%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/72=0,3750$	37,50%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/72=0,3750$	37,50%
		Risco Total	72	$77/72=1$	100,00%
	Reserv. Após Filtro	Baixo pH	4	$4/76=0,0526$	5,26%
		Alto pH	2	$2/76=0,0263$	2,63%
		Alta turbidez	12	$12/76=0,1579$	15,79%
		Alta cor	4	$4/76=0,0526$	5,26%
		Presença de Coliformes Totais	27	$27/76=0,3553$	35,53%
		Presença de <i>E.coli.</i>	27	$27/76=0,3553$	35,53%
Risco Total		76	$76/76=1$	100,00%	
Desinfecção	Baixo pH	8	$8/36=0,2222$	22,22%	
	Alto pH	2	$2/36=0,5556$	5,56%	
	Alta turbidez	4	$4/36=0,1111$	11,11%	
	Alta cor	4	$4/36=0,1111$	11,11%	
	Presença de Coliformes Totais	9	$9/36=0,2500$	25%	
	Presença de <i>E.coli.</i>	9	$9/36=0,2500$	25%	
	Risco Total	36	$36/36=1$	100,00%	

No SAC-UR houve uma significativa variação dos valores dos riscos analisados, tendo também como riscos mais influentes a presença de Coliformes Totais e a presença de *E.Coli.* (25%).

O terceiro risco mais influente nesse sistema foi a alta turbidez, que de início teve seu percentual de influencia diminuído do ponto da calha (13,95%) para o ponto do reservatório após descarte (11,11%). No entanto, no ponto pós filtro o seu percentual elevou-se, chegando a 15,79%. Os outros riscos, baixo pH e alta cor, também apresentaram valores superiores no ultimo ponto deste sistema. Possivelmente isso pode ter sido consequência de um mal funcionamento do filtro.

6.3.4 Categorização do risco e cálculo do risco máximo de cada ponto dos SAC.

Para obter o risco máximo utilizou-se a classificação máxima (5) para os indicadores pH, turbidez e cor, categorizando os riscos em cinco faixas que vai do risco desprezível (1) ao crítico (5). A Tabela 14 apresenta a categorização dos riscos e o valor do risco máximo obtidos em cada um dos pontos avaliados de todos os SAC.

Tabela 14 – Categorização dos riscos e o risco máximo em cada ponto dos SAC.

Sist.	Ponto	Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
				%	Total	Intervalo	Categorização
SAC-R1	Calha	Baixo pH	5	10,53	52,7	$0 \leq X \leq 0,22$	Desprezível
		Alta turbidez	5	10,53	52,7	$0,22 < X \leq 0,44$	Baixo
		Alta Cor	5	5,26	26,3	$0,44 < X \leq 0,66$	Moderado
		Total			113	$0,66 < X \leq 0,88$	Alto
				Risco máximo	1,13	$0,88 < X \leq 1,3$	Crítico
	Reserv. Após descarte	Baixo pH	5	10,53	52,7	$0 \leq X \leq 0,2$	Desprezível
		Alta turbidez	5	7,89	39,4	$0,2 < X \leq 0,4$	Baixo
		Alta Cor	5	7,89	39,4	$0,4 < X \leq 0,6$	Moderado
		Total			131,6	$0,79 < X \leq 1,05$	Alto
				Risco máximo	1,31	$1,05 < X \leq 1,31$	Crítico
	Reserv. Após filtro	Baixo pH	5	18,46	92,3	$0 \leq X \leq 0,27$	Desprezível
		Alta turbidez	5	6,15	30,7	$0,27 < X \leq 0,54$	Baixo
Alta Cor		5	3,08	15,4	$0,54 < X \leq 0,81$	Moderado	
Total				138	$0,81 < X \leq 1,08$	Alto	
			Risco máximo	1,38	$1,08 < X \leq 1,38$	Crítico	
SAC-R2	Calha	Baixo pH	5	14,63	73,2	$0 \leq X \leq 0,32$	Desprezível
		Alta turbidez	5	9,76	48,8	$0,32 < X \leq 0,64$	Baixo
		Alta Cor	5	7,32	36,6	$0,64 < X \leq 0,96$	Moderado
		Total			158	$0,96 < X \leq 1,28$	Alto
			Risco máximo	1,58	$1,28 < X \leq 1,58$	Crítico	

SAC-UR	Reserv. Após descarte	Baixo pH	5	14,63	73,2	$0 \leq X \geq 0,32$	Desprezível
		Alta turbidez	5	9,76	48,8	$0,32 < X \geq 0,64$	Baixo
		Alta Cor	5	7,32	36,6	$0,64 < X \geq 0,96$	Moderado
		Total			158	$0,96 < X \geq 1,28$	Alto
				Risco máximo	1,58	$1,28 < X \geq 1,58$	Crítico
	Reserv. Após filtro	Baixo pH	5	15,79	79,0	$0 \leq X \geq 0,23$	Desprezível
		Alta turbidez	5	5,26	26,3	$0,23 < X \geq 0,46$	Baixo
		Alta Cor	5	5,26	26,3	$0,46 < X \geq 0,69$	Moderado
		Total			131	$0,69 < X \geq 0,92$	Alto
				Risco máximo	1,31	$0,92 < X \geq 1,16$	Crítico
	Calha	Baixo pH	5	9,30	46,5	$0 \leq X \geq 0,26$	Desprezível
		Alta turbidez	5	13,95	69,8	$0,26 < X \geq 0,52$	Baixo
		Alta Cor	5	9,30	46,5	$0,52 < X \geq 0,98$	Moderado
		Total			162,8	$0,98 < X \geq 1,30$	Alto
				Risco máximo	1,63	$1,30 < X \geq 1,63$	Crítico
	Reserv. Após descarte	Baixo pH	5	5,56	27,8	$0 \leq X \geq 0,22$	Desprezível
		Alta turbidez	5	11,11	55,55	$0,22 < X \geq 0,44$	Baixo
		Alta Cor	5	5,56	27,8	$0,44 < X \geq 0,66$	Moderado
		Total			111	$0,66 < X \geq 0,88$	Alto
				Risco máximo	1,11	$0,88 < X \geq 1,11$	Crítico
	Após filtro	Baixo pH	5	5,26	26,3	$0 \leq X \geq 0,26$	Desprezível
		Alta turbidez	5	15,79	79,0	$0,26 < X \geq 0,53$	Baixo
		Alta Cor	5	5,26	26,3	$0,53 < X \geq 0,79$	Moderado
		Total			131,6	$0,79 < X \geq 1,05$	Alto
			Risco máximo	1,32	$1,05 < X \geq 1,32$	Crítico	
Desinfecção	Baixo pH	5	22,2	111	$0 \leq X \geq 0,44$	Desprezível	
	Alta turbidez	5	11,1	55,5	$0,44 < X \geq 0,88$	Baixo	
	Alta Cor	5	11,1	55,5	$0,88 < X \geq 1,32$	Moderado	
	Total			222	$1,32 < X \geq 1,76$	Alto	
			Risco máximo	2,22	$1,76 < X \geq 2,22$	Crítico	

Foram retirados da Tabela 10 os indicadores que são excludentes entre si, como o alto pH e os indicadores Coliformes Totais e *E.Coli.*, por serem avaliados como presença ou ausência, ou seja, a ocorrência do risco já o torna crítico e a sua ausência não constitui risco algum.

No SAC-R1 o valor mais alto de risco máximo foi de 1,2 no ponto do reservatório após o filtro. Esse valor foi influenciado pelo aumento do percentual do indicador de baixo pH que teve seu valor elevado do primeiro ao último ponto do sistema, diferente dos outros indicadores que diminuíram ao longo do processo dentro do sistema. Nos outros dois pontos (calha e reservatório após descarte) o

risco máximo foi de 1,0. No SAC-R2 o risco máximo foi de 1,3, comum aos pontos da calha e do reservatório após descarte.

No SAC-UR o risco máximo foi de 1,77 no ultimo ponto do sistema (desinfecção). Nos demais pontos os riscos máximos foram de 1,63 na calha, 0,89 no reservatório após descarte e 1,32 no reservatório após filtro. O valor do risco máximo bem acima da média no ponto da desinfecção foi influenciado pelo aumento nos valores dos parâmetros usados (pH, Turbidez e Cor) para o calculo do risco máximo neste ponto. Tal situação seria diferente se for considerado os parâmetros de Coliformes Totais e *E.coli*, que neste ponto não apresentaram risco.

A Tabela 15 mostra a categorização consolidada de todos os SAC ponto a ponto para os parâmetros de pH, Turbidez e Cor. Em que os riscos foram classificados como crítico. Levando em consideração os parâmetros de Coliformes Totais e *E.coli*, os pontos da calha, do reservatório após descarte e do reservatório após filtro de todos os três sistemas, classificam-se como de risco crítico.

Tabela 15 – Categorização consolidada para os SAC de acordo com os parâmetros de pH, Turbidez e Cor.

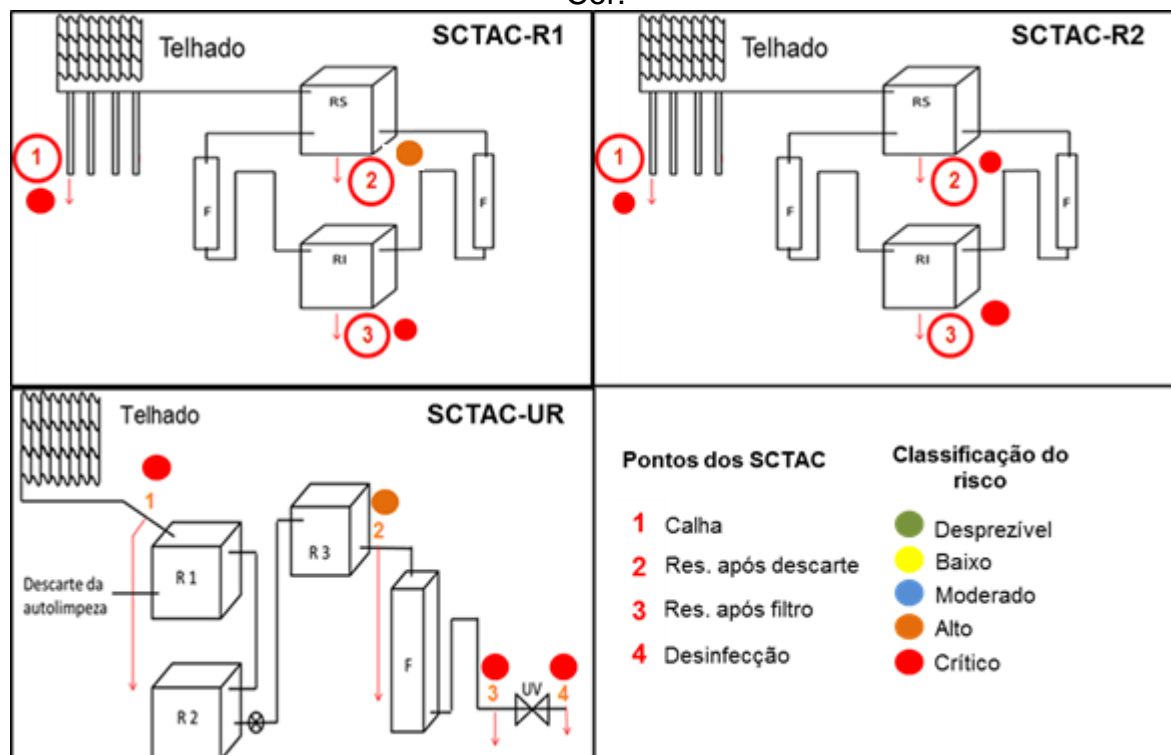
Sist.	Pto	Méd.	Classif.	Risco		Sist.	Pto	Méd.	Classif.	Risco	
				%	Total					%	Total
SAC-R1	1					SAC-R2	1				
	pH	5,95	5	10,53	52,65		pH	5,23	5	14,63	73,15
	Turb.	1,28	2	10,53	21,06		Turb.	1,04	2	9,76	19,52
	Cor	26,20	5	5,26	15,78		Cor	31,64	5	7,32	36,6
				Crítico	0,89					Crítico	1,29
	2						2				
	pH	5,76	5	10,53	52,65		pH	5,28	5	14,63	73,15
	Turb.	0,66	1	7,89	7,89		Turb.	1,01	2	9,76	19,52
	Cor	18,73	5	7,89	39,45		Cor	27,29	5	7,32	36,6
			Alto	1				Crítico	1,29		
3					3						
pH	5,83	5	18,46	92,3	pH	5,02	5	15,79	78,95		
Turb.	0,47	2	6,15	12,3	Turb.	0,5	2	5,26	10,52		
Cor	10,73	3	3,08	9,24	Cor	13,43	4	5,26	21,04		
			Crítico	1,13				Crítico	1,10		

Sist.	Pto	Méd.	Classif.	Risco		Sist.	Pto	Méd.	Classif.	Risco			
				%	Total					%	Total		
SAC-UR	1	pH	6,32	4	9,3	37,2	SAC-UR	3	pH	6,03	4	5,26	21,04
		Turb.	4,7	4	13,95	55,8			Turb.	3,59	5	15,79	78,95
		Cor	48,09	5	9,3	46,5			Cor	5,48	2	5,26	10,25
	Crítico				1,39			Crítico				1,10	
	2	pH	6,38	3	5,56	16,68		4	pH	5,8	5	22,22	111
		Turb.	2,84	5	11,11	55,55			Turb.	3,87	4	11,11	44,44
Cor		6,19	2	5,56	11,12	Cor	6,07		2	11,11	22,22		
Alto				0,83		Crítico				1,77			

6.3.5 Mapa de risco dos SAC.

O mapa de risco dos SAC (Figura 20) foi criado a partir da classificação do risco em cada ponto dos sistemas avaliados, referentes à qualidade da água ponto a ponto de acordo com a categorização do risco baseado nos parâmetros de pH, Turbidez e Cor, avaliados em conjunto.

Figura 20 - Mapa de risco dos SAC de acordo com os parâmetros de pH, Turbidez e Cor.



Quanto aos parâmetros Coliformes Totais e *E.Coli.*, somente o ponto de desinfecção do SAC-UR apresentou resultado satisfatório de acordo com a portaria nº 2914 do MS (BRASIL, 2011), não caracterizando risco.

Embora os riscos nos pontos avaliados dos SAC tenham sido classificados como de risco alto a crítico, constata-se que, ao analisar os valores dos parâmetros que influenciaram tais resultados, os mesmos, por vezes, são característicos da própria qualidade da água da chuva, como os valores de pH abaixo de 6, mesmo se tratando de dois sistemas localizados em uma área rural e o outro no centro urbano, mas que estão localizados de certa forma próximos uns do outro.

O funcionamento inadequado dos sistemas ou a própria falta de manutenção dos mesmos também contribui no resultado de classificação do risco dos pontos avaliados. A falta de limpeza dos telhados, da calha, dos filtros, são ações que se deixarem de ser feitas, prejudicam toda a funcionalidade do sistema. Alguns parâmetros com valores elevados, como os de Cor, quando provenientes dos sistemas localizados na área rural, podem ter sido apenas da decomposição de folhas caídas sob o telhado.

Quanto ao risco devido à presença de Coliformes Totais e *E.Coli.*, este é totalmente intolerável em qualquer SAC, seja esse localizado na área urbana ou rural, quando o objetivo de utilização da água desses sistemas é para consumo humano. Porém, o resultado positivo para estes parâmetros nos pontos dos sistemas rurais, principalmente no último ponto, já era esperado, uma vez que estes sistemas não apresentam nenhuma etapa de desinfecção.

No geral, a funcionalidade dos sistemas foi capaz de melhorar a qualidade da água da chuva com relação aos parâmetros físico-químicos. Quanto aos parâmetros microbiológicos, somente o SAC-UR foi eficiente na eliminação dos patógenos. Mas a eficiência na redução desses patógenos poderia ter sido observada se os dados estudados de Coliformes Totais e *E.Coli.* tivessem sido considerados pelos valores de NMP ao invés somente da presença e ausência como risco.

A comparação entre os três sistemas estudados, mostrou que o funcionamento dos sistemas foi de certa forma eficiente na melhoria da qualidade da água da chuva, mas não houve entre os três sistemas um que se sobressaísse. Pelo contrário, os resultados das análises da qualidade da água da chuva nos pontos estudados dos sistemas poderiam ter sido melhores (com exceção aos valores de pH) se houvesse maior cuidado na manutenção dos mesmos.

Os resultados obtidos a partir dessa análise de risco, foram capazes de categorizar os riscos nas cinco faixas de classificação que vai do desprezível ao crítico, mas os resultados dos indicadores utilizados revelaram-se como de risco alto a crítico. No entanto, essa classificação dos riscos foi influenciada por alguns valores que poderiam ser considerados adequados aos padrões exigidos tanto na Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) como na NBR-15.527 (BRASIL, 2007) se fossem arredondados ou considerados como *out lies*, ou seja, seriam descartados. Mas o número pequeno de amostras não permitiu mais tal situação.

Uma fragilidade contida nos resultados está na adaptação de tabelas preexistentes que nortearam a aplicação do método de avaliação de risco, e que influenciaram no valor do risco final nos pontos avaliados, mesmo aonde não deveria haver risco. Como ocorreu no ponto de desinfecção do SAC-UR com os parâmetros microbiológicos, que, mesmo apresentando resultados negativos para Coliformes Totais e *E.Coli* na análise da qualidade da água neste ponto, ao ser efetuado a avaliação de risco com os escores predeterminados, o resultado gerou um risco percentual de 25% (Ver tabela 13).

Outra fragilidade encontrada nos resultados, mas que não influenciou no cálculo da avaliação de risco foi o preenchimento equivocado no formulário do FMEA, de se adotar como medida mitigadora para o perigo de alto pH a adição de substância tampão (cal). Embora a equipe avaliadora seja cuidadosamente escolhida e detenha conhecimento e experiência curricular do assunto avaliado, fatos assim, podem passar despercebidos no momento do preenchimento dos formulários de avaliação. No entanto, ressalta-se mais uma vez que tal falha não prejudicou a continuidade da avaliação, pois o perigo de alto pH não foi caracterizado como risco dentro dos sistemas avaliados.

7 CONCLUSÕES.

Os parâmetros físico-químicos de cor e turbidez, em todos os três sistemas, enquadraram-se aos padrões de potabilidade da água. O parâmetro pH não apresentou valores satisfatórios que atendam aos valores exigidos na Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) e na NBR-15.527 (BRASIL, 2007) para o uso da água para consumo humano.

Os parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *E.coli* só apresentaram resultado satisfatórios para o consumo da água como potável no SAC-UR. O que já era esperado, por esse sistema ter a etapa de desinfecção.

Na avaliação de risco, foi possível a adaptação do método FMEA para os sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva, porém, houveram algumas restrições na adaptação do método usado em sistemas de abastecimento de água de grande porte, que, ao serem adotadas para os SAC, não apresentaram resultados coerentes.

Os riscos dos sistemas foram o baixo pH, a alta turbidez, a alta cor e a presença de coliformes totais e *E.coli*. Os riscos de baixo pH e alta turbidez foram avaliados com severidade moderada em todos os sistemas. A alta cor apresentou severidade baixa nos sistemas rurais e severidade alta no sistema urbano. Os riscos de presença de coliformes totais e *E.coli* com severidade alta em todos os sistemas. A detecção de todos os riscos foi considerada moderada, por serem detectadas por medições simples, com exceção dos parâmetros microbiológicos que necessitam de medições mais complexas, e por isso foram avaliadas com detecção alta.

Para a avaliação de risco, considerando apenas os parâmetros físico-químicos, o SAC-R1 foi categorizado com risco crítico nos pontos da calha e após o filtro, e com risco alto no ponto de coleta do reservatório após descarte. No SAC-R2 todos os pontos apresentaram risco crítico e no SAC-UR, os pontos da calha, após o filtro e desinfecção categorizaram-se como de risco crítico e o ponto do reservatório após descarte como de risco alto. Quanto à avaliação de risco com relação à presença de coliformes totais e *E.coli*., o risco é crítico nos sistemas rurais e no sistema urbano não há risco.

Essa categorização dos riscos nos pontos dos sistemas, como sendo de risco alto e crítico, com essa adaptação do FMEA, permitiu que alguns parâmetros influenciassem negativamente neste resultado, como o caso do parâmetro pH que

na maioria dos resultados apresentou valores abaixo do limite estabelecido para consumo. No entanto, esses valores baixo de pH já são característicos da água da chuva.

A avaliação de risco evidenciou a importância de se ter a etapa de desinfecção nos SAC, o que a própria portaria 2914 no artigo nº 24 torna obrigatória essa etapa de desinfecção ou cloração para qualquer água para consumo humano, fornecida coletivamente.

O uso da metodologia FMEA mostra-se útil e de fácil entendimento, podendo ser facilmente usada em sistemas individuais de abastecimento de água como uma forma de identificar e sanar os riscos dentro desses sistemas, buscando a melhoria da qualidade da água para o consumo.

8 REFERÊNCIAS

- ARRUDA, H, M. **Estudo da qualidade da água de chuvas de Belém visando seu aproveitamento em edificações**. Qualificação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15527: **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. São Paulo, 2007. p.11
- ALVES, C. D. M. A. **Captação de água da chuva**. 2012. Disponível em:< <http://www2.correiobraziliense.com.br/sersustentavel/?p=745> >. Acesso: 24/01/2013.
- ANDRADE NETO, C. O. **Proteção sanitária das cisternas rurais**. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal. Anais do XI Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2004.
- ANNECCHINI, Karla Ponzo Vaccari. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2005.
- APPAN, A. (1999). **A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable use**. Urban Water, 1, pp. 317-321
- AZEVEDO, JAMES RIBEIRO DE. **Tipologia do Sistema de Manejo de Açaizais Nativos Praticado pelos Ribeirinhos em Belém, Estado do Pará**. Dissertação (Mestrado em agriculturas amazônicas) empresa brasileira de pesquisa agropecuária - Amazônia oriental. UFPA. Belém, 2005
- BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Relatório de avaliação de programa : Ação Construção de Cisternas para Armazenamento de Água / Tribunal de Contas da União** ; Relator Ministro Guilherme Palmeira. ... Brasília : TCU, Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo, 2006. 129 p. : il. color.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 2.914 DE 12 DE DEZEMBRO 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.
- BARCELLOS, Christovam *et al.* **Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. In: Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 14(3):597-605, jul-set, 1998
- BASHKIN, V. & RADOJEVIC, M. (2003). **Acid rain and its mitigation in Asia**. *International Journal of Environmental Studies*, 60(3), 205-214.

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 microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328-362.

BROWN, Anthony E.P. **Análise de risco.** Boletim técnico do GSI/NUTAU/USP, Ano 3, nº 1. Jan - Fev de 1998.

CARDOSO, M. P. **Viabilidade do aproveitamento de Água de chuva em zonas urbanas: Estudo de caso no município de belo Horizonte – mg.** Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em saneamento, Meio ambiente e recursos hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.

CARVALHO, José *et al.* **Influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas.** “VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva. Campina Grande - PB – Brasil, 2012.

CETESB, 2003. **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análises de Riscos.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas-cetesb/40->>. Acesso em: 13/11/13.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das águas de chuva escoadas em telhado e avaliação do seu uso.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

COOMBES, P.J. *et al.* **Key Messages from a Decade of Water Quality Research into Roof Collected Rainwater Supplies.** In: 1st National HYDROPOLIS Conference 2006, Burswood Convention Centre, Perth, Western Australia - 2006

DANNI-OLIVEIRA, I. M.; BAKONYI, S. M. **Condicionantes atmosféricos e a variabilidade das concentrações de MP total em Curitiba/PR.** In: Congresso Interamericano de Qualidade do Ar, 3., 2003, Canoas. Anais... Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

DEVES, D.O; **Utilização da água: um estudo do potencial de captação de água das chuvas e a importância das políticas públicas e da educação ambiental.** In: IV Encontro Nacional da Anppas, Brasília – DF – Brasil, 2008.

DOMINGUES, V. O. *et al.* **Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias.** Saúde, Santa Maria, v. 33, n.1, p. 15-19, 2007.

DUARTE, A. **O reuso de águas servidas: Uma alternativa econômica válida.** 70 p. Monografia (Especialista) - Organização Superior de Ensino, Centro de pós graduação, Itapetininga, 2007.

FERNANDES, Daniela. **Escassez de água pode gerar conflitos no futuro, dizem especialistas.** In: BBC Brasil. Disponível em:

<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/03/120316_aqua_escassez_df.shtm
>. Acesso em 9 de Abril de 2014.

GUILHERME, L. R. G. **Fundamentos da análise de risco: Conceitos em análise de risco ecológica e para a saúde humana.** In: Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento n.34 – janeiro/junho 2005.

GHANAYEM, M. **Environmental considerations with respect to rainwater harvesting.** IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Manheim. Proceedings. Germany, 2001.

GONÇALVES, C. C. **Aproveitamento de águas pluviais para abastecimento em área rural na Amazônia. Estudo de caso: ilhas Grande e Murutucú, Belém-PA.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E. C. **Estudo da precipitação atmosférica na região de Candiota, RS.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. **Anais...** Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

MEIRA, C. M. B. S. *et al.* **Monitoração de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB).** VII-040. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, 2009.

MELO, L.R.C. **Variação da Qualidade da Água de Chuva no Início da Precipitação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, 95p. 2007.

MENDEZ, C. B., *et al.* **The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater.** 2011. Water Research 45 (2011) 2049 e 2059.

MOON, S. H., *et al.* **Quality of harvested rainwater in artificial recharge site on jeju volcanic island, korea.** 2012. Journal of Hydrology 414–415 (2012) 268–277.

NADRUZ, M. **O que é análise de risco.** In: Activeseg. Disponível em: <<http://www.activeseg.com.br/artigos-em-pdf/O%20QUE%20%C9%20AN%C1LISE%20DE%20RISCO.pdf>> Acesso em: 10/11/13.

NÓBREGA, R. L. B; Souza, S. H. B; MONTENEGRO, S. M. G. L; Santos, S. M; PESSOA, S. G. S. (2011) **Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva.** In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 16 n.3 – Jul/Set 2011, p. 81-93.
OGATA, Igor Souza. **Avaliação de risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande-PB.** Trabalho

de conclusão de curso. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB. 2011.

OLIVEIRA, F. M. B. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no campus da universidade Federal de ouro preto Ouro preto, minas gerais.** Ouro Preto –MG, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. Dissertação de Mestrado.

ORSI, M. D. V. L.; SARUBO, R. S. **Captação e tratamento de águas pluviais para uso não potável.** In: Revista Científica da Faculdade de Tecnologia do Tatuí, volume 2, nº 1 – Jan/Jun 2010.

RAMOS, H. A. *et al.* **Aplicação do Método Fmea no Processo de Climatização de uma Indústria Automobilística.** IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2012.

ROSA, R. G. **Aproveitamento de águas pluviais para consumo potável – estudo de caso: município de Belém-PA.** Belém: UFPA, 2011. Dissertação de Mestrado.

REBELLO, G. A. O. **Conservação de Água em Edificações: Estudo das Características de Qualidade da Água Pluvial Aproveitada em Instalações Prediais Residenciais.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2004.

REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** Escrituras Editora – 3a Edicao, Sao Paulo, 2006.

REINOLD, M. R. **O tratamento de água na indústria de bebidas.** Engarrafador Moderno, p. 24-30, 2002.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análise de risco dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e avaliação de produtos.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N., 1998. “**Atmospheric and physics of air pollution**”. Ed.: J. Wiley & Sons, 1326 págs.

SHALOM. **Enorme reservatório de água encontrado perto do muro ocidental, em Jerusalém.** In: Shalom Israel. Disponível em: <<http://shalom-israel-shalom.blogspot.com.br/2012/09/enorme-reservatorio-de-agua-encontrado.html>>. Acesso em 21/08/13.

SILVA, C. V. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG.** 117 f. Dissertação - (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, V.N.; Domingos, P. **Captação e manejo de água de chuva.** Saúde & Ambiente em Revista, v. 2, n. 1, p. 68-76, 2007.

SILVA, A. H. D. C. **Aplicação da metodologia fmea (failure mode and effect analysis) para realização de análise de falhas em um sistema de pontes de embarque de um aeroporto.** In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

SIMMONS G.; HOPE V.; LEWIS G.; WHITMORE J.; e GAO W. **Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland.** *Water Research.* New Zealand, v. 35, n. 6, p. 1518-1524, 2001.

TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha.** São Carlos: UFSCar. 2006.

TOMAZ, PLÍNIO. **Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis.** 2º Edição. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

TORDO, O.C. (2004) **Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins potáveis.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2004.

TUCCI, C. E. M., **Gestão da água no Brasil** – Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

VELOSO, N. S. L; MENDES, R. L. R. **Aproveitamento da água da chuva em escala local: O caso das ilhas de belém/pa.** In: *Anais.. VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva.* Campina Grande – PB. – 14 a 17 Ago 2012.

VELOSO, N. S. L. *et al.* **Água da chuva para abastecimento na Amazônia.** In: *Revista Movendo Ideias.* Vol. 17, Nº 1 - janeiro a junho de 2012

VIEIRA, B. G. A. **Análise de risco aplicada à qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2012

WILLIAMS, M. R.; FISHER, T. R.; MELACK, J. M. **The composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil.** *Atmospheric Environment* 31, p.207-217, 1997.

WISBECK, E. *et al.* **Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta.** *Engenharia Sanitária e Ambiental,* v. 16 n4, p. 337-342, 2011.

ZAMBRANO, T. F; MARTINS, M. F. **Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental.** In: *Gest. Prod.,* São Carlos, v. 14, n. 2, p. 295-309, maio-ago. 2007.

ZANELLA, L. **Gestão integrada da água da chuva no setor urbano.** In: *Anais.. VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva.* Campina Grande – PB. – 14 a 17 Ago 2012.

PARÁ. Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM. **Zoneamento Climático: Zoneamento Ecológico Econômico do Pará (ZEE-PA - 2009).**

ANEXO I - Tabela de escore usada no método FMEA para a Avaliação de Risco em SAA.

Escore para Severidade		
Severidade da não-conformidade		Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causam efeitos graves a saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1

Escore para Ocorrência		
Ocorrência da não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 60.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 30 e 59.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 29.	1

Escore para Detecção		
Detecção da não-conformidade		Classificação
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	1
Moderada	A não-conformidade é percebida com a utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	A não-conformidade pode ser percebida a olho nu.	3

Escore para Abrangência		
Abrangência da não-conformidade		Classificação
Alta	A não-conformidade alcança áreas além do sistema de abastecimento de água (até as ligações prediais).	3
Moderada	A não-conformidade alcança até os limites do sistema de abastecimento de água (nas proximidades dos reservatórios e pontos de manutenção da qualidade da água).	2
Baixa	A não-conformidade afeta a área onde é realizada a potabilização da água.	1

ANEXO II - Formulário usado no método FMEA de processo ou produto.

Cod_pec: _____ Nome da Peça: _____ Data: _____ Folha N.º _____ de _____		<input type="checkbox"/> FMEA De Processo <input type="checkbox"/> FMEA De Produto														
Descrição do Produto/ Processo	Função (ões) do produto	Tipo de falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria						
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	S	O	D	R
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Produto/ Processo objeto de análise	Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex: Suportar o conjunto do eixo.	Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas . Ex: Desbalanceado, Rugoso, Trincado...	Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex: vazamento de ar, ruído, desgaste prematuro, etc	Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc.	Medidas Preventivas de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regulament e utilizadas nos produtos processos das empresa.	S E V E R I D A D E	O C O R R Ê N C I A	D E T E C Ç Ã O	R I S C O S	Ações recomendadas para a diminuição dos riscos	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas				

APÊNDICE A – Formulário FMEA.

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	R	Medidas mitigadoras
Baixo pH							
Alto pH							
Alta turbidez							
Alta cor							
Presença de Coliformes Totais							
Presença de <i>E.coli.</i>							