

738 - QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA COMPARADA À ÁGUA COLETADA DE UM TELHADO DE AÇO GALVANIZADO. ESTUDO DE CASO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Bruno Amorim de Souza⁽¹⁾

Mestre em Ciências pela Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP-Fiocruz), Especialista em Gestão de Facilities pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG), Engenheiro Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Técnico em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Servidor Público Federal pela Fiocruz, Gestor de Planejamento, Inovação e Facilities da Coordenação-Geral de Infraestrutura dos Campi/Fiocruz.

Mickaela Midon da Paixão⁽²⁾

Engenheira Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), assessora da presidência do CREA-RJ, diretora da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, seção Rio de Janeiro (ABES-RJ). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Jaime Lopes da Mota Oliveira ome do Autor⁽³⁾

Licenciado em Ciências Biológicas, Mestre e Doutor em Microbiologia com ênfase em Microbiologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisador em Saúde Pública do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca da Fundação Oswaldo Cruz.

Renato Castiglia Feitosa⁽⁴⁾

Engenheiro Civil com ênfase em Estruturas e Fundações pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1996), mestrado (2003), doutorado (2007) em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Pós Doutorado *University of Sydney* - Australia. Atualmente trabalha como Pesquisador na Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) - Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ).

Miguel Alvarenga Fernández Y Fernández⁽⁵⁾

Engenheiro civil e mestre pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde também cursa doutorado em Engenharia Ambiental. Atua como engenheiro hidráulico na Fiocruz e como professor no CEFET/RJ. Com experiência em saneamento e recursos hídricos, já presidiu a ABES-RJ por dois mandatos (2019 a 2023), é atualmente presidente do CREA-RJ (gestão 2024-2026).

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Henrique Costa, 188 – Jacarepaguá – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22770-233 - Brasil - Tel: +55 (21) 99700-0397 - e-mail: brunoamorim@gmail.com.

RESUMO

Diante dos desafios impostos pela crescente demanda e a escassez de recursos hídricos, este estudo se dedica a investigar o potencial da água da chuva como uma fonte alternativa, cujo foco recai sobre a avaliação da qualidade da água coletada após escoarem por telhados de aço galvanizado instalados na região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, entretanto, um cenário comum em áreas urbanas. Através de uma análise comparativa, que abrange parâmetros físico-químicos e microbiológicos, o estudo revela que o contato com telhados pode impactar significativamente a qualidade da água. Especificamente, observe-se um aumento significativo na contaminação microbiológica, o que exige atenção e tratamento adequado ante o aproveitamento. Os resultados obtidos lançam luz sobre os desafios associados ao aproveitamento da água da chuva, oferecendo perspectivas para a implementação de práticas sustentáveis e a garantia da segurança hídrica em contextos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Água escoada por telhados, Águas pluviais, Fonte alternativa de água, Qualidade água de chuva, Reuso de águas pluviais,

INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e para o desenvolvimento de diversas atividades humanas, desde a produção de alimentos até a geração de energia (TELLES; GÓIS, 2013). Contudo, o crescimento populacional acelerado, a urbanização desordenada e as alterações ambientais crescentes comprometem a disponibilidade hídrica e tornam urgente a busca por novas fontes capazes de suprir as demandas da sociedade. Nesse cenário, o aproveitamento das águas pluviais apresenta-se como uma alternativa promissora, ao resgatar práticas milenares e proporcionar uma solução viável sob os aspectos técnico, ambiental e econômico, uma vez que a captação da chuva é gratuita e seu uso para fins não potáveis configura-se como uma opção simples e eficaz (ANNECCHINI, 2005).

Entretanto, para otimizar a coleta da água da chuva, faz-se necessário o uso de lajes e coberturas nas construções, que podem direcionar toda a água precipitada em uma determinada área para ser armazenada e utilizada. Em média, as coberturas das edificações representam 25% das áreas urbanas, destacando-se como locais estratégicos para a implementação dessa prática (ROWE; GETTER, 2010), desta forma, os telhados são frequentemente utilizados para essa finalidade, dada a sua implantação acessível e a qualidade da água captada (LEE et al., 2000).

Apesar dos benefícios do aproveitamento da água da chuva, sua utilização para fins potáveis no Brasil ainda é restrita a localidades com pouco ou nenhum acesso a fontes seguras de água (MACHADO; CORDEIRO, 2004). Essa restrição é justificada devido ao risco de propagação de doenças infecciosas que podem estar associadas ao consumo dessa fonte de água. Em 2020, a Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro publicou a Lei 9.164, que regulamentava a captação de água de chuvas nas áreas urbanas do estado para fins de retardo de enchentes, proibindo seu uso para fins potáveis.

Considerando esse contexto, especialmente as crises hídricas de 2015 e 2016 que impactaram o estado do Rio de Janeiro e levaram à redução das atividades em diversas instituições, o aproveitamento da água da chuva apresenta-se como uma alternativa estratégica para o atendimento de usos menos nobres, reservando a água tratada e potável para finalidades essenciais como o consumo humano, a preparação de alimentos e a dessedentação de animais. No entanto, ainda são poucos os estudos que avaliam a influência das coberturas na qualidade da água e como essa influência é capaz de afetar a possibilidade de seu uso.

Este estudo tem como objetivo avaliar comparativamente a qualidade da água da chuva antes e após o escoamento por telhados de aço galvanizado instalados na Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Através da análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, busca-se identificar os principais fatores que influenciam a qualidade da água captada e propor medidas para garantir seu uso seguro e eficiente.

A pesquisa foi conduzida através da coleta e análise de amostras de água da chuva e água escoada por telhados de aço galvanizado em um campus da Fiocruz, localizado na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, entre o período de abril de 2019 e fevereiro de 2020. As amostras foram submetidas a análises laboratoriais para a determinação de parâmetros como pH, cor verdadeira, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos totais dissolvidos (STD) condutividade, carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), fosfatos, fluoretos, cloretos, nitritos, nitratos, coliformes totais e *Escherichia coli* (E.coli), seguindo protocolos definidos pela *American Public Health Association* (APHA, 2017).

De modo geral, os resultados mostraram um aumento significativo na cor aparente e na contaminação microbiológica da água após seu escoamento pelo telhado, evidenciando elevadas concentrações de coliformes e *E. coli*. Desta forma, a água analisada não atende aos requisitos, mesmo para usos não potáveis, uma vez que a presença de microrganismos patogênicos compromete a sua utilização sem tratamento prévio. Assim, reforça-se a orientação contida na norma ABNT NBR 15.527/2019 quanto à necessidade de descarte dos dois primeiros milímetros (2 mm) de precipitação (ABNT, 2019), em qualquer período do ano, principalmente nos períodos de maior estiagem, bem como a recomendação da instalação de sistemas de tratamento que visam à melhoria da qualidade da água.

Este artigo está estruturado em seis capítulos, a saber: Introdução, Objetivos, Metodologia, Resultados, Discussão, Conclusão e Recomendações.

OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral avaliar comparativamente as alterações na qualidade da água da chuva antes e após a escoamento por telhados de aço galvanizado instalados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A pesquisa busca compreender como o contato com essas coberturas pode impactar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água captada, considerando suas previsões para diferentes usos não potáveis, especialmente em contextos urbanos.

Para tanto, investigue-se a qualidade da água da chuva em duas condições distintas: coletada diretamente da atmosfera, com mínimo de contato com superfícies, e após seu escoamento por um telhado metálico, caracterizando as mudanças nos parâmetros de qualidade como: pH, turbidez, cor, ST, condutividade, COT, DBO, NT, fosfatos, fluoretos, cloretos, nitritos, nitratos, a presença de coliformes totais e *E. coli*. Além disso, foram avaliados os fatores críticos que influenciam essas alterações, como a composição do material do telhado e as condições ambientais locais.

Visando uma aplicação prática dos resultados, este trabalho também propõe medidas para mitigar os efeitos negativos do escoamento sobre a qualidade da água captada, buscando contribuir para o entendimento das implicações do uso de telhados metálicos na captação de águas pluviais, oferecendo subsídios técnicos para a adoção de soluções sustentáveis no aproveitamento desse recurso hídrico alternativo.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quali-quantitativa, conduzida a partir de um modelo experimental para avaliar comparativamente a qualidade da água da chuva antes e após o escoamento por um telhado de aço galvanizado.

Amostras

As amostras de água foram obtidas a partir de duas matrizes distintas:

- **Água de Chuva (AC):** Coletada diretamente da atmosfera, com o mínimo de contato com superfícies ou estruturas. Essas amostras representam a qualidade da água da chuva em seu estado natural, antes de ser influenciada por fatores externos.
- **Água do Telhado (AT):** Coletada após o escoamento da água pluvial por um telhado de aço galvanizado. Essas amostras representam a qualidade da água da chuva após o contato com uma superfície comum em áreas urbanas, permitindo avaliar o impacto dos telhados metálicos na qualidade final da água da chuva obtidas.

Local, Aparato Experimental e Período de Realização

O experimento foi realizado no campus da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), localizado no bairro de Manguinhos, Rio de Janeiro, nas proximidades da Avenida Brasil, uma das vias mais movimentadas da cidade. Embora inserida em um contexto urbano de intenso tráfego, a área em estudo apresenta uma prevalência significativa de áreas verdes em seu entorno.

O aparato experimental utilizado para a captação das chuvas consistiu em uma estrutura de alvenaria com dimensões de 1,50m × 1,20m × 1,50m, coberta por telhas onduladas de aço galvanizado com 6° de inclinação, resistentes à oxidação e amplamente utilizadas em projetos residenciais e industriais. Na extremidade inferior do telhado foi instalada uma calha de PVC para direcionar a água escoada pelo telhado para o frasco de coleta (Figura 1A).

Esse dispositivo foi construído no ano de 2010 para possibilitar a realização de estudos dessa natureza. O telhado nunca foi limpo ou lavado para que fosse possível simular um telhado de difícil acesso e baixa manutenção.



Figura 1: Estruturas utilizadas para coleta das amostras das águas de chuva. Em (A) a estrutura com o telhado em aço galvanizado e em (B) o funil para captação direta da água da chuva.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Para a coleta da água da chuva (AC) da atmosfera foi utilizado um sistema auxiliar, composto por um funil diretamente acoplado a um frasco coletor, posicionado ao lado da estrutura do telhado (Figura 1B). Esse sistema foi montado nos dias de eventos chuvosos.

Os frascos de coleta, fabricados em vidro âmbar com capacidade para quatro litros, foram rigorosamente lavados com detergente neutro tipo Extran (Merck) à 5%, enxaguados com água ultrapura, secos e esterilizados antes de cada coleta. No início de cada evento chuvoso, os frascos foram instalados nos sistemas de coleta. Na manhã seguinte, após a ocorrência da chuva, os frascos foram removidos e encaminhados ao laboratório para a realização das análises.

As coletas de dados foram realizadas mensalmente entre abril de 2019 e fevereiro de 2020, totalizando dez amostragens. Em julho de 2019, a coleta foi inviabilizada devido ao baixo índice pluviométrico, e, em janeiro de 2020 foram realizadas duas coletas a fim de ampliar a representatividade dos dados obtidos.

Coleta e Análise dos Dados

As amostras foram submetidas às seguintes análises: pH, cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos totais distribuídos, condutividade, carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fosfatos, fluoretos, cloretos, nitritos, nitratos, coliformes totais e *Escherichia coli*, caracterizando sua qualidade e identificando possíveis alterações decorrente do contato com o telhado. Todas as análises seguiram os protocolos e procedimentos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), a fim de garantir a comparabilidade e a confiabilidade dos resultados. O Tabela 1 ilustra o método utilizado para cada analito, conforme a numeração adotada pela APHA.

Tabela 1: Métodos usados para a determinação dos parâmetros analíticos das amostras.

Parâmetro	Método utilizado
Condutividade	Método Potenciométrico (número 2510)
DBO	Método DBO 5 dias (número 5210B)
Cor	Método Espectrofotométrico (número 2120C)
pH	Método Potenciométrico (número 4500B)
Turbidez	Método Nefelométrico (número 2130B)
Nitrito	Método Cromatografia de Íons de Coluna Única com Detecção Direta de Condutividade (número 4110C)
Nitrato	
Fluoreto	
Fosfato	
Nitrogênio Total	Método Oxidação Térmica com detecção por quimioluminescência.
Carbono Orgânico Total	Método Combustão térmica com detecção por infravermelho
Coliformes Totais	Método Substrato enzimático (número 9223B)
<i>E. coli</i>	
ST	Método Gravimétrico (número 2540C)

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; pH – potencial hidrogeniônico; *E.Coli* - *Escherichia coli*; ST - Sólidos Suspensos Totais;

Fonte: Bridgewater et al. (2017).

As análises de OD, DBO, ST, cor aparente, pH, condutividade, turbidez, coliformes totais e *E. Coli* foram realizadas imediatamente após a chegada das amostras ao laboratório. Além disso, foram preparadas as alíquotas para as análises do COT, NT e ânions dissolvidos (cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito e fosfato). Esta determinação se deu em função das exigências impostas pelo analito a ser determinado.

Os resultados obtidos nas análises quantitativas foram submetidos a testes estatísticos para verificar a normalidade da distribuição dos dados (teste de Shapiro-Wilk). Para comparar a qualidade da água entre os diferentes sistemas (AC e AT), foram utilizados testes paramétricos (teste t de Student) para os parâmetros com distribuição normal e testes não paramétricos (Mann-Whitney e Wilcoxon) para os demais. As análises estatísticas foram realizadas com um nível de significância de 5% ($p = 0,05$), utilizando os *softwares* Microsoft Excel e Past (versão 2.17C).

RESULTADOS

Água de Chuva

Em relação à cor aparente, uma amostra obteve valor fora do padrão (49 uH) das demais amostras, elevando a média geral para 14,2 uH. A discrepância observada pode ser atribuída à baixa precipitação mensal observada naquele período no local do estudo, favorecendo o acúmulo de poeira e sujidades transportadas pela água. Desconsiderando-se essa amostra, a média de cor é reduzida para 10,3 uH. Os valores são compatíveis com o limite de 15 uH recomendado pela NBR 15.527 (ABNT, 2019) para reaproveitamento da água de chuva.

Os valores de turbidez mantiveram-se em conformidade com a norma, que estabelece o limite máximo de 5 UNT. Em 60% das amostras, a turbidez foi igual ou inferior a 1,0 UNT, com um pico de 3,0 UNT no mês com menor volume precipitado e, conseqüentemente, maior concentração de sólidos suspensos.

O pH das amostras variou entre 5,2 e 7,5, apresentando valor médio de 6,2, dentro da faixa de 6,0 a 9,0 estabelecida pela norma. Entretanto, foram observadas chuvas ácidas, com pH inferior a 5,6, em duas amostras (5,3 e 5,2). Além disso, em dezembro de 2019 e em janeiro de 2020, os valores ficaram ligeiramente abaixo do mínimo recomendado pela Norma. Essa incidência de acidez nos meses de primavera e verão é corroborada por Marín et al. (2001), que associam o fenômeno à oxidação de compostos atmosféricos intensificada pela insolação.

A avaliação da matéria orgânica revelou baixas concentrações, com valores médios de 2,0 mg/L para DBO e 3,3 mg/L para COT, compatíveis com os resultados de Annecchini (2005) e Hagemann (2016). Em relação aos íons inorgânicos, nitrato, sulfato e cloreto foram detectados em todas as amostras, enquanto fosfato, fluoreto e

nitrito apresentaram-se abaixo dos limites de quantificação na maioria dos casos. Destaca-se a presença de cloreto, característica de regiões litorâneas influenciadas por aerossóis marinhos (ROLA, 2008).

As amostras de agosto e dezembro de 2019 exibiram os maiores desvios, com elevação nos parâmetros de sólidos totais, cor, condutividade elétrica, DBO, nitrogênio total e coliformes totais, devido ao maior acúmulo de sujidades no sistema.

No aspecto microbiológico, coliformes totais foram detectados em 40% das amostras e *E. coli* em 20%. De modo geral, a contaminação microbiológica pode ser atribuída à presença de fauna no entorno do local de coleta, como aves e insetos polinizadores (ALAM e ZUREK, 2004). Segundo a atualização da NBR 15.527 (ABNT, 2019), que admite até 200 NMP/100 mL de *E. coli* para aproveitamento das chuvas, as águas analisadas atenderam aos requisitos microbiológicos, com exceção de poucos episódios isolados.

De maneira geral, os valores médios estiveram próximos às medianas, indicando baixa presença de valores discrepantes (outliers), exceto nos parâmetros de cor aparente, condutividade elétrica, carbono orgânico total (COT), cloretos e coliformes totais.

Água Escoadada pelo Telhado Metálico

Os valores de cor excederam o limite recomendado pela versão inicial da NBR 15.527 (ABNT, 2019) em 70% das amostras, especialmente nos períodos de menor índice pluviométrico (<100 mm/mês), onde a menor diluição potencializou a concentração de contaminantes atmosféricos.

A turbidez variou de 0,5 UNT a 5,1 UNT, com média de 2,3 UNT, sendo que somente duas amostras excederam ligeiramente o limite máximo estabelecido. Sugerindo que o descarte inicial da chuva poderia, portanto, adequar a água às exigências normativas.

O pH das amostras apresentou pouca variação (6,2 a 7,1), com valor médio de 6,6, indicando tendência à neutralidade, conforme relatado por Annecchini (2005) e May (2004). Suspeita-se que a interação da água com o material do telhado e partículas depositadas possa explicar esse comportamento.

A condutividade elétrica permaneceu baixa e estável, sugerindo baixa carga iônica dissolvida. Os íons encontrados com maior frequência foram os cloretos, nitratos e sulfatos, com menores incidências dos nitritos, fluoretos e fosfatos.

Em termos microbiológicos, coliformes totais foram detectados em todas as amostras, com *E. coli* presente em 80% delas. Notadamente, nos meses de novembro a fevereiro, as concentrações de *E. coli* superaram os limites normativos, possivelmente em função do aumento da presença de aves na região no período de primavera-verão.

O mês de agosto apresentou os resultados mais discrepantes, com elevação nos valores de DBO, cor, sólidos totais e nitrogênio total, refletindo a influência de longos períodos sem chuva.

Observou-se diferença expressiva entre médias e medianas nos parâmetros de cor, turbidez, sólidos dissolvidos e totais, além de coliformes totais e *E. coli*, indicando variabilidade nas condições de coleta.

Devido à ausência de limpeza prévia do telhado, agentes externos como folhas, poeira e excretas de animais contribuíram para o aumento dos valores de contaminação, reforçando a necessidade de descarte dos primeiros milímetros de chuva — procedimento que não foi adotado neste estudo para avaliação mais crítica das condições.

DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da qualidade da água da chuva diretamente e da água que passou pelo telhado de aço. Em relação aos ânions fosfato, fluoreto e nitrito, os valores ficaram abaixo do limite de quantificação pela cromatografia iônica (< 0,25 mg/L). Os demais íons cloreto e nitrato foram detectados em algumas amostras, mas os valores encontrados na água da chuva e na água do telhado foram significativamente semelhantes. Esta mesma observação se aplica a turbidez, a condutividade, a concentração de matéria orgânica (COT e DBO) e ao pH de ambos os tipos de água (água da chuva e água escoada pelo

telhado). Vale destacar que todos estes valores foram menores que as águas superficiais naturais de classe especial conforme consta na resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

Tabela 2. Valores médios, medianas, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água da chuva e da água do telhado de aço galvanizado durante um ano de monitoramento.

Parâmetro		Água da Chuva	Água do Telhado
pH	Média	6,2	6,6
	Mediana	6,2	6,6
	Máximo	7,5	7,1
	Mínimo	5,2	6,2
Cor aparente (uH)	Média	14,2	45,4
	Mediana	9,5	22,9
	Máximo	49	183,0
	Mínimo	1,8	5,3
Turbidez (UNT)	Média	1,1	2,3
	Mediana	0,8	1,5
	Máximo	3,0	5,1
	Mínimo	0,2	0,5
Sólidos Totais (mg/L)	Média	42,0	84,9
	Mediana	40,0	64,0
	Máximo	88,0	214,0
	Mínimo	10,0	6,3
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Média	30,8	43,1
	Mediana	30,0	27,0
	Máximo	70,0	172,0
	Mínimo	2,1	5,8
Condutividade (µS/cm)	Média	22,8	17,3
	Mediana	18,5	11,4
	Máximo	46,8	47,5
	Mínimo	7,0	5,0
Carbono Orgânico Total (mg/L)	Média	3,3	3,1
	Mediana	2,4	2,4
	Máximo	10,7	7,9
	Mínimo	1,4	1,4
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Média	2,0	2,3
	Mediana	1,4	2,0
	Máximo	7,4	6,0
	Mínimo	< 1,0	1,2
Nitrogênio Total (mg/L)	Média	0,9	0,7
	Mediana	0,8	0,6
	Máximo	1,6	1,1
	Mínimo	< 0,5	< 0,5
Cloretos (mg/L)	Média	3,5	3,6
	Mediana	2,5	2,5
	Máximo	8,3	9,2
	Mínimo	< 2,5	< 2,5
Nitratos (mg/L)	Média	1,3	0,6
	Mediana	0,8	0,6
	Máximo	2,9	1,4
	Mínimo	< 0,25	< 0,25
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Média	16,7	1.853,1
	Mediana	16,7	2.419,6
	Máximo	32,4	2.419,6
	Mínimo	1,0	3,1
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Média	1,5	873,6
	Mediana	1,5	417,7
	Máximo	2,0	2.419,6
	Mínimo	1,0	2,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Por outro lado, a cor aparente na água que passou pelo telhado teve um aumento significativo de 200% em relação à água da chuva. Já em relação aos sólidos, ainda que o parâmetro tenha apresentado um aumento em torno de 100%, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Estes resultados sugerem que o telhado de aço galvanizado possa estar adicionando materiais sólidos dissolvidos que, por sua vez, pode contribuir para o aumento dessas características. Outro ponto importante a elucidar é que este telhado nunca fora limpo manualmente. Logo é possível que materiais estejam sendo depositados naturalmente no telhado com o tempo e isso possa estar conferindo a cor e o aumento no teor de sólidos. Este dado é importante, pois a maioria das construções empresariais e residenciais adotam telhados metálicos, cerâmicos, fibrocimento, concreto e/ou, em alguns pequenos casos, amianto (embora o amianto já esteja proibido) e, nestes casos, estes materiais poderiam estar adicionando mais unidades de cor e sólidos à água de chuva.

Hagemann e Gastaldini (2016), que avaliaram um telhado de fibrocimento em Santa Maria/RS, encontraram uma água um pouco mais ácida (entre 4,5 e 7,0) do que a água que escoou pelo telhado metálico. Eles observaram ainda que a cobertura não alterou significativamente a água da chuva em relação às concentrações de DBO, ferro, manganês, fosfato, amônia e nitrato, mas provocou um leve aumento na sua condutividade e turbidez.

Teixeira et al. (2017) também observaram uma leve acidez na água da chuva em Santa Felicidade, Curitiba/PR que foi levemente reduzida após a água ter escoado por um telhado de concreto. Estes mesmos autores observaram que a água escoada pelo telhado apresentou características similares em relação às concentrações de matéria orgânica (DQO), nitrogênio e fosfato. No entanto, a água coletada no telhado apresentou um aumento significativo na sua turbidez.

O parâmetro que mais comprometeu a qualidade da água chuva após a passagem pelo telhado foi o microbiológico, pois ela apresentou altas concentrações de coliformes totais e de *E. coli*. Estes valores podem ser explicados pela falta de limpeza do telhado por um longo período de tempo. Além disso, apesar de essa estrutura ter sido instalada em uma região urbana rodeada por avenidas com grande circulação rodoviária, existe uma alta prevalência de áreas verdes no entorno e dentro do Campus, logo é provável que este telhado venha recebendo excretas de diversos animais silvestres. Este dado aponta sobre a necessidade de um cuidado na prática de aproveitamento de água em áreas rurais ou próximas a áreas verdes e locais onde normalmente são escassas as fontes seguras de água para fins potáveis. O aumento na concentração de *E. coli* em água escoada por telhados também foi observado por Hagemann e Gastaldini (2016) e Teixeira et al. (2017). No entanto, em ambos nestes trabalhos, os autores relataram um ligeiro aumento na contaminação microbiológica da água pós passagem pelo telhado que foi bem menos acentuada do que a observada no presente estudo.

Após a análise da qualidade da água da chuva e da escoada pelo telhado pode-se avaliar que ambas as águas atenderam às exigências da norma brasileira ABNT NBR 15.527, que é relativa ao aproveitamento de água em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2019) em relação aos parâmetros físico-químicos. Vale afirmar que a partir da qualidade físico-química medida neste estudo que tanto a água da chuva quanto a escoada pelo telhado estariam enquadradas na classe especial de água doce superficial em relação a resolução Conama 357 (Brasil, 2005). Inclusive se considerarmos às exigências legais da portaria 888 que regulamenta os padrões de potabilidade (Brasil, 2021), essas suas fontes de água seriam seguras, exceto em relação à contaminação microbiológica.

Hagemann e Gastaldini (2016) concluíram que a qualidade da água da chuva e daquela escoada pelo telhado em Santa Maria/RS também poderia atender às exigências para fins de potabilidade, exceto em relação a turbidez e a *E. coli*, desde que a coletas dessa água ocorressem a partir do terceiro milímetro de chuva. Já Teixeira et al. (2017) observaram que a água da chuva e do telhado em Santa Felicidade, Curitiba/PR não atenderam às exigências para uso não potável conforme a NBR 15.527 (ABNT, 2019). Estes autores sugeriram uma possível revisão da norma para que essas águas fossem utilizadas, pelo menos em áreas com menor restrição de uso.

Em relação ao presente estudos, a água escoada pelo telhado não atendeu as exigências de aproveitamento para fins não potáveis, mas acredita-se que o descarte dos primeiros milímetros de chuva poderia reduzir a presença dos contaminantes, como já sugerido por Hagemann e Gastaldini (2016). Outra forma de tornar estas águas adequadas ao seu aproveitamento e dentro das exigências da NBR 15.527 (ABNT, 2019) seria a instalação de um sistema simplificado para o tratamento como a desinfecção, com ou sem pré-filtração, como mencionado por Teixeira et al. (2017). A partir desses cuidados, essas águas poderiam ser utilizadas na lavagem de pátios e

ruas, em descargas sanitárias e na rega dos jardins do Campus conforme o seu enquadramento de acordo com os critérios definidos pela NBR 15.527 (ABNT, 2019) e com a devida segurança sanitária.

Por fim vale destacar que a crise hídrica é eminente neste país. O Brasil já possui diversas regiões e locais que carecem de fontes hídricas seguras e, mesmo em áreas urbanizadas como no Rio de Janeiro, a crise pode vir a ocorrer, mas ela pode ser evitável. Soluções como o uso de fontes hídricas alternativa, como o aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis, é importante, principalmente pelo setor industrial e empresarial. No entanto, para que esta prática seja implantada com sucesso é necessária uma avaliação detalhada da qualidade dessas águas para que não ocorra riscos à saúde da população.

CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a qualidade da água da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o escoamento em telhado de aço galvanizado na cidade do Rio de Janeiro. De maneira geral, a água da chuva apresentou parâmetros físico-químicos compatíveis com os padrões recomendados para usos não potáveis, ainda que com eventuais episódios de contaminação microbiológica, relacionados à presença de fauna e à menor incidência pluviométrica em determinados períodos do ano.

A passagem da água pelo telhado comum resultou no aumento dos parâmetros de cor, turbidez e contaminação microbiológica, evidenciando a influência do material da cobertura e da ausência de limpeza prévia sobre a qualidade da água. Ainda assim, a maioria dos parâmetros analisados mantiveram-se próximos aos limites normativos, e acredita-se que o descarte dos primeiros milímetros de chuva reduziria as discrepâncias entre a água coletada diretamente da atmosfera (AC) e a água escoada pelo telhado (AT), resultando em uma água de melhor qualidade.

Os resultados indicam que, para o aproveitamento seguro dessas águas, mesmo em atividades de usos menos nobres, como limpeza e irrigação de jardins, é recomendada a adoção de um tratamento simplificado, preferencialmente baseado na desinfecção direta, com possibilidade de filtração prévia.

As análises reforçam a viabilidade do aproveitamento da água de chuva como fonte alternativa para fins não potáveis em ambientes urbanos. Contudo, é imprescindível que sejam adotadas boas práticas de coleta, descarte inicial e armazenamento, de modo a assegurar a qualidade da água e a proteção da saúde pública.

A implementação dessas medidas contribui para a gestão racional dos recursos hídricos e para a mitigação dos impactos de eventuais crises de abastecimento.

RECOMENDAÇÕES

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos com séries temporais mais longas, englobando diferentes condições climáticas e sazonais, a avaliação da eficiência de diferentes materiais de cobertura no impacto da qualidade da água pluvial e a análise da efetividade de sistemas simplificados de tratamento. Além disso, seria relevante investigar a qualidade da água após o descarte inicial dos primeiros milímetros de chuva, como previsto pela Norma Técnica, bem como a avaliação do custo-benefício da implantação de tecnologias de aproveitamento da água de chuva em ambientes urbanos.

AGRADECIMENTOS

À Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e à Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.527: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ALAM, M. J.; ZUREK, L. Association of *Escherichia coli* O157:H7 with houseflies on a cattle farm. Applied Environmental Microbiology, v. 70, p. 7578-7580, 2004.

ANNECCHINI, K.P.V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington, DC: APHA, 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 maio 2021.

HAGERMANN, S.E.; GASTALDINI, M.C.C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 3, 2016, p. 525-536.
LEE, K.T.; LEE, J.Y.; PARK, S.Y.; HAN, M. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 77, n. 3, 2000, p. 343-348.

MACHADO, F.O.; CORDEIRO, J.S. Aproveitamento das águas pluviais: uma proposta sustentável. In: Simpósio de recursos hídricos do nordeste, 7., 2004, São Luís. Anais... São Luís: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2004.

MARÍN, E.; LAVÍN, N.; HERÁNDEZ, E.; RÚA, A. Análisis de la acidez de la precipitación en la Península Ibérica. Finisterra, v.XXXVI, p.103-113, 2001.

MAY, S.; Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável nas edificações, Universidade de São Paulo, 159p, 2004.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 9.164**: Dispõe sobre a captação de água de chuvas nas áreas urbanas do estado para fins de retardo de enchentes e dá outras providências. 2020

ROLA, S. M. A Natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva. p. 209, Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2008.

ROWE, D.B.; GETTER, K.L. Green roofs and roof gardens. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 77, n. 3, 2010, p. 343-348.

TEIXEIRA, C.A.; RODRIGUES, D.S.; BRESSANE, A.; WELTER, L.; MAZZOLA, P.G. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. Ambiente Construído, v. 17, n. 2, 2017, p. 135-155.

TELLES, D.D.; GÓIS, J.S. Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão. São Paulo: Blucher, 2013.