

I-013 – DETERMINAÇÃO DE PROTOCOLO PARA MITIGAR ALUMÍNIO RESIDUAL NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM GOIÂNIA – GO, BRASIL

Patrícia Pereira Ribeiro Keller⁽¹⁾

Farmacêutica-Bioquímica pela Universidade Federal de Goiás. Mestra em Engenharia do Meio Ambiente pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Técnica em Saneamento na Saneago – GO.

Carlos Roberto A. Santos

Biólogo pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Mestre em Biologia-Ecologia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Gerente do setor Gerência de Proteção Ambiental e Qualidade do Produto na Saneago – GO.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Fued José Sebba, 1245, Jardim Goiás, Goiânia – GO – CEP: 74805-100 - Brasil - Tel: (62) 3243-3600 – e-mail: patriciakeller@saneago.com.br

RESUMO

O residual de alumínio na água tratada é considerado um contaminante relevante no que tange Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), cuja rede de distribuição abastece instituições que prestam serviços de diálise. Sabendo que o teor tolerável de alumínio em soluções de diálise, segundo Organização Mundial da Saúde, é de 0,03 mg/L e que a Portaria de Consolidação nº 5/2017, Anexo XX, determina que o valor máximo permitido de alumínio na água tratada seja de até 0,200 mg/L, é interesse da saúde pública que o alumínio residual na rede de distribuição atenda aos requisitos legais necessários para que instituições de saúde, que realizam procedimentos de hemodiálise, tenham condições de remover o alumínio residual da água tratada sem comprometer a eficiência do sistema de ultrafiltração dessas unidades. Assim, esta pesquisa determinou um protocolo de ações preventivas e ações corretivas para mitigar alumínio na rede de distribuição. Considerando o Sistema de Abastecimento de Água do Rio Meia Ponte em Goiânia – GO, realizou-se análise crítica do monitoramento histórico (2017) do alumínio residual e executou-se teste de incrustação em ramal do SAA Meia Ponte, evidenciando produto de ácido orgânico à base de ácido cítrico como desincrustante de escolha. À posteriori, em monitoramento investigativo (1º Bimestre de 2018) do alumínio residual no SAA Meia Ponte evidenciou-se a relação deste com demais íons metálicos, como ferro e manganês, principalmente no que tange a incrustação destes íons à tubulação da rede de distribuição. Verificou-se a importância do pH para a hidrólise do alumínio na água tratada, sua incrustação e sua liberação lentamente; observou-se a necessidade do monitoramento ostensivo do alumínio residual na saída da estação de tratamento da água – ETA para manter o controle por todo o sistema. Assim, o protocolo definiu os seguintes procedimentos: (1) na água bruta captada o alumínio dissolvido deve estar abaixo de 0,100 mg/L Al, caso contrário as medidas de ação preventiva relacionadas às condições ambientais da bacia hidrográfica devem ser executadas; (2) na ETA o alumínio residual deve ser monitorado diariamente e, quando houver inconformidades, ações corretivas de dosagem e tratabilidade devem ser realizadas; (3) em reservatórios a limpeza destes é uma ação corretiva que deve ser realizada e sua efetividade avaliada; (4) na rede de distribuição quando o alumínio residual estiver inconforme deve ser realizado teste de incrustação e, caso seja indicação, realizar procedimento de limpeza no módulo da rede de distribuição que apresenta o problema. Enfim, o protocolo definido nesta pesquisa é uma ferramenta de gestão operacional de Sistema de Abastecimento de Água que infere as tratativas necessárias quando o alumínio residual apresenta-se acima do valor máximo permitido.

PALAVRAS-CHAVE: Alumínio residual, SAA, Rio Meia Ponte, desincrustação, diálise.

INTRODUÇÃO

O alumínio é um elemento químico naturalmente presente no solo e na água, tanto superficial quanto subterrânea. No Cerrado o solo é ácido e caracteriza-se pela presença de alumínio solúvel; porém a partir do pH 5,5 ocorre a precipitação do alumínio no solo na forma de óxido de alumínio. Verifica-se nos solos ácidos a fixação do fósforo (P) pelo ferro (Fe) e pelo alumínio (Al) formando compostos insolúveis. Nessas

condições, os teores de Ca, Mg e K são reduzidos e há uma baixa capacidade de troca catiônica, que favorece alta lixiviação de cátions, além de elevada saturação por alumínio. Esses dados são importantes quando a área considerada é agriculturável e as atividades antrópicas são intensas, como na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte. O mesmo ocorre em mananciais com pH neutros a básicos, quando o alumínio apresenta-se como um composto insolúvel; todavia, em meio ácido o alumínio pode se apresentar na forma dissolvida (NOVAIS *et al.*, 2007; RONQUIM, 2010; EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION, 2011; IMB, 2015).

A bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte localiza-se no centro-sul do Estado de Goiás, região central do Brasil. O Rio Meia Ponte é um dos 36 afluentes da bacia do Rio Paranaíba, corresponde a 3,6% do território estadual de uma região acentuadamente populosa, que corresponde a 48% da população goiana situada em 38 municípios (ASSOCIAÇÃO AMBIENTAL PRÓ-ÁGUAS DO CERRADO, 2008).

Em Estações de Tratamento de Água - ETA o uso de coagulantes é uma prática que visa reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, as coloidais e parte das dissolvidas. Dessa forma, possibilita a remoção das impurezas seja por meio da sedimentação ou filtração. Na ETA que trata água do Rio Meia Ponte em Goiânia – GO faz-se necessário o uso do coagulante sulfato de alumínio e policloreto de alumínio. Assim, o alumínio naturalmente presente na água captada do Rio Meia Ponte e utilizado como parte dos coagulantes é um íon metálico presente na água tratada.

Estudos epidemiológicos evidenciaram que o mecanismo toxicocinético do alumínio está relacionado com sua absorção no intestino. Em condições aquosas do intestino e pH aumentado no duodeno próximo ao neutro, observa-se a precipitação do alumínio insolúvel, haja vista que a presença de complexantes favorecem a formação de complexos de hidróxidos de alumínio. Assim, tem-se uma absorção de 0,1% de alumínio e 99,9% de sua excreção pelas fezes. Todavia, quando o pH está reduzido no duodeno (ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido láctico e outros) entre 2,5 a 5,5 observa-se a presença de complexos solúveis. O ácido forma um quelato com alumínio permitindo a penetração do íon pelas membranas das células pelas microvilosidades nas mucosas intestinais. A presença de fluoreto, galato, clorogenato, cafeto, protocatecuato, aminoácidos formam complexos que permitem a penetração do íon alumínio pelas membranas das células nas mucosas intestinais; há um aumento da absorção do alumínio.

O alumínio na corrente sanguínea, sob forma iônica, liga-se facilmente com substâncias e estruturas; quando está complexado com moléculas de baixo peso molecular (ácidos orgânicos e aminoácidos) o alumínio pode ser filtrado ao nível do glomérulo renal e excretado. Porém, quando o alumínio está complexado com macromoléculas (proteínas, núcleos, cromatina) ele não é filtrado e nem excretado; neste caso ele é bioacumulado nos ossos e/ou no cérebro; podendo contribuir na potencialização de doenças como osteodistrofia renal e mal de Alzheimer.

Enfim, Rosalino (2011) verificou a necessidade de avaliar os potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano, haja visto que o residual de alumínio é uma preocupação científica no teor de sua relação com doenças neurológicas e também uma possível contribuição na formação de turvação no final do tratamento reduzindo a eficiência do processo de desinfecção.

Desta forma, a presente pesquisa visa determinar um protocolo de ações preventivas e ações corretivas que possa ser executável, na ânsia pela redução do residual de alumínio na rede de distribuição do Sistema de Abastecimento de Água em Goiânia – GO – Brasil, visando garantir a qualidade e a segurança da água tratada e distribuída à população.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Sistema de Abastecimento de Água do Rio Meia Ponte (SAA-MP), Goiânia – GO – Brasil, compreendendo monitoramento histórico (2017) e investigativo nas unidades (2018), sendo: (1) Captação no Rio Meia Ponte; (2) Estação de Tratamento de Água – ETA-MP (saída do tratamento); (3) Reservatório Mendanha e Reservatório Vila Cristina; (4) Rede de distribuição, sendo 2 hidrômetros de unidades de saúde que realizam procedimentos de diálise (HUGOL e CRER). Na Tabela 1 os pontos

amostrados foram identificados conforme coordenadas geográficas, salientando que HID-1 é abastecido pelo RMD e HID-2 é abastecido pelo RVC.

Tabela 1: Geoposicionamento dos pontos amostrados no SAA Meia Ponte.

Pontos amostrados	Localização	Zona	Coordenadas geográficas (UTM)	
			E	N
RMP-CAP	Rio Meia Ponte – captação da ETA-MP	22K	678.293	8.167.270
ETA-MP	Estação de Tratamento de Água Meia Ponte	22K	678.603	8.166.250
RMD	Reservatório Mendanha	22K	671.673	8.154.408
HID-1	HUGOL	22K	677.302	8.158.619
RVC	Reservatório Vila Cristina	22K	682.272	8.159.171
HID-2	CRER	22K	686.807	8.157.722

No monitoramento histórico considerou-se a sazonalidade da região com período de chuva – CH (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, novembro e dezembro) e período de seca – SC (junho, julho, agosto, setembro e outubro), ao realizar análise crítica da concentração dos íons metálicos alumínio, ferro e manganês; além do pH e das condições organolépticas provenientes da cor aparente e da turbidez da água.

No ponto da rede de distribuição com maior teor de íons metálicos, realizou-se análise de caracterização de incrustação na tubulação (ramal) e teste com desincrustantes na avaliação da eficiência de suas ações; segundo método analítico ME08.0622, Saneago – 2016 (SANTOS & KELLER, 2017).

No monitoramento investigativo, primeiro bimestre de 2018 que corresponde ao período de chuva, realizou-se monitoramento diário de alumínio na saída do tratamento da ETA-MP; haja vista que a concentração de alumínio na água bruta captada variou nesta época entorno de 0,700 mg/L. O pH, cor aparente e turbidez também foram monitorados diariamente; enquanto que os íons ferro e manganês foram monitorados mensalmente. Nos reservatórios e rede de distribuição a amostragem dos íons metálicos foi realizada mensalmente, enquanto os parâmetros cor aparente, turbidez e pH foram analisados diariamente.

Ao realizar análise crítica dos resultados provenientes do monitoramento histórico, do teste de incrustação e do monitoramento investigativo, determinou-se o protocolo de ações preventivas e corretivas; para mitigar alumínio residual na rede de distribuição do Sistema de Abastecimento de Água do Rio Meia Ponte em Goiânia – GO.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Monitoramento Histórico – 2017

Em 2017, no período de chuva, evidenciou-se na água bruta captada um teor de íons metálicos equivalente a 0,32 mg/L de alumínio, 0,55 mg/L de ferro total e 0,15 mg/L de manganês. Já para o período de seca, verificou-se uma redução de 87,5% do alumínio, 58,2% de ferro total e de 73,3% de manganês.

É sabido que a qualidade da água bruta captada está diretamente relacionada com as intervenções operacionais necessárias na Estação de Tratamento de Água para almejar a potabilidade desta segundo os requisitos legais em vigor. Desta forma, em 2017, na saída do tratamento da ETA-MP observou-se 100% de conformidade segundo requisitos legais da PRC nº 5/2017, Anexo XX; inferindo que as condições operacionais e tecnológicas da ETA-MP são adequadas às condições de tratabilidade da água bruta captada.

Todavia, no RVC observou-se inconformidade para o parâmetro alumínio no período de chuva; já no período de seca a média do alumínio está conforme; porém, tendendo ao limite máximo segundo os requisitos legais.

No ponto amostrado HID-1 a sazonalidade não interferiu na conformidade dos parâmetros analisados. Essa mesma condição de conformidade é verificada na média dos resultados do ponto HID-2; porém, ao verificar os

resultados mensais absolutos evidenciou-se que nos meses de abril, maio, junho, julho e novembro o alumínio variou entre 0,215mg/L e 0,752 mg/L, sendo esse o cenário base que desencadeou toda a pesquisa. A Tabela 2 contém os resultados analíticos do monitoramento histórico de 2017, considerando a média sazonal de cada ponto amostrado.

Tabela 2: Média sazonal dos resultados analíticos referentes ao SAA Meia Ponte – 2017

Parâmetro	RMP-CAP		ETA-MP		RMD		HID-1		RVC		HID-2	
	CH	SC	CH	SC	CH	SC	CH	SC	CH	SC	CH	SC
pH	7,28	6,85	6,43	7,02	6,74	7,1	6,76	6,84	6,76	7,02	6,9	6,87
Cor aparente (uC)	-	17,3	2,5	1,5	6,8	3,3	1,55	3,2	2,7	3,0	8,3	4,4
Turbidez (uT)	58	6	0,45	0,35	1,7	1,6	0,67	0,55	0,85	0,65	1,5	1,0
Alumínio (mg/L)	0,32 0	0,04	0,09	0,08	0,15	0,15	0,11	0,09	0,23	0,19	0,18	0,16
Ferro total (mg/L)	0,55	0,23	0,02	0,02	0,23	0,33	0,01	0,07	0,09	0,13	0,09	0,06
Manganês (mg/L)	0,15	0,04	0,02	0,02	0,04	0,06	-	-	0,01	0,03	-	-

Teste de incrustação

Após dar descarga na rede de distribuição verificou-se que a concentração de alumínio na água tratada permanecia elevada. É sabido que o íon alumínio (Al^{3+}) encontra-se na forma insolúvel na água quando o pH está na faixa de 6 a 9,5. A hidrólise do alumínio devido a elevação do pH pode formar complexos de hidróxidos polinucleares e espécies metaestáveis. Desta forma, o alumínio pode precipitar-se e se redissolver lentamente. Algumas reações vagarosas mais incomuns podem gerar espécies poliméricas e o comportamento da hidrólise do íon alumínio envolve reações pouco estáveis, espécies poliméricas e formação de precipitados.

Assim, coletou-se parte do ramal do ponto HID-2 para realizar o teste de incrustação. A incrustação de caráter básico apresentou dentre os íons metálicos a presença de alumínio. Na avaliação de desempenho do desincrustante, o composto de ácidos orgânicos combinados à base de ácido cítrico apresentou melhor eficiência e eficácia na remoção da incrustação; haja vista que o alumínio encontra-se solúvel em pH baixo (próximo de 3,0 na forma de hexaaquaalumínio – $[Al(H_2O)_6]^{3+}$).

Monitoramento Investigativo – 2018

Visando a fundamentação das causas envolvidas em relação à presença do residual de alumínio na incrustação e na água tratada da rede de distribuição acima do preconizado pela legislação em vigor, no monitoramento investigativo de 2018 na ETA-MP, verificou-se a necessidade de um monitoramento mais intensivo na saída do tratamento do residual de alumínio. Na Tabela 3 os resultados diários monitorados no primeiro bimestre de 2018 na saída do tratamento da ETA-MP estão disponibilizados.

No mês de janeiro, considerando a média diária, houve 12,9% de não conformidade para o parâmetro alumínio, enquanto em fevereiro houve 3,6% de não conformidade. No primeiro bimestre de 2018 o alumínio na água bruta captada foi média de 0,764 mg/L; verificando que em condições pontuais (janeiro – dias 07, 13, 23 e 27; fevereiro – dia 23) a remoção do teor de alumínio na ETA-MP não foi o suficiente para atender o parâmetro de potabilidade na saída do tratamento.

Tabela 3: Resultados de alumínio monitorado na saída do tratamento – ETA-MP, 1º Bimestre 2018

Data	Alumínio residual (mg/L)					
	Janeiro 2018			Fevereiro 2018		
	Matutino	Vespertino	Média diária	Matutino	Vespertino	Média diária
1.	0,058	0,046	0,052	0,114	0,088	0,101
2.	0,088	0,078	0,083	0,098	0,122	0,110
3.	0,097	0,046	0,072	0,069	0,097	0,083
4.	0,069	0,069	0,069	0,058	0,046	0,052
5.	0,046	0,058	0,052	0,058	0,078	0,068
6.	0,046	0,023	0,035	0,046	0,058	0,052
7.	0,690	0,058	0,374	0,184	0,107	0,146
8.	0,069	0,078	0,074	0,160	0,183	0,172
9.	0,176	0,097	0,137	0,088	0,122	0,105
10.	0,153	0,168	0,161	0,069	0,078	0,074
11.	0,161	0,138	0,150	0,058	0,058	0,058
12.	0,120	0,109	0,115	0,046	0,046	0,046
13.	0,046	0,690	0,368	0,058	0,058	0,058
14.	0,058	0,023	0,041	0,069	0,046	0,058
15.	0,160	0,078	0,119	0,046	0,058	0,052
16.	0,183	0,138	0,161	0,046	0,058	0,052
17.	0,138	0,145	0,142	0,046	0,078	0,062
18.	0,107	0,107	0,107	0,058	0,069	0,064
19.	0,114	0,088	0,101	0,058	0,069	0,064
20.	0,098	0,120	0,109	0,145	0,069	0,107
21.	0,046	0,046	0,046	0,176	0,130	0,153
22.	0,088	0,078	0,083	0,107	0,183	0,145
23.	0,088	0,970	0,529	0,097	0,323	0,210
24.	0,097	0,107	0,102	0,168	0,0114	0,141
25.	0,069	0,107	0,088	0,088	0,160	0,124
26.	0,069	0,078	0,074	0,114	0,078	0,096
27.	0,088	0,970	0,529	0,088	0,145	0,117
28.	0,069	0,088	0,079	0,078	0,069	0,074
29.	0,078	0,097	0,088	-	-	-
30.	0,153	0,130	0,142	-	-	-
31.	0,138	0,097	0,118	-	-	-
MÉDIA	0,088	0,097	0,102	0,074	0,078	0,079

A condição de água tratada com residual de alumínio superior a 0,200 mg/L foi verificada também na rede de distribuição. Na Tabela 4 os parâmetros dos pontos RMP-CAP e ETA-MP estão representados pela média mensal do controle operacional realizado a cada 2 horas. Na ETA-MP não há correção do pH no final do tratamento; assim, houve pontualmente duas ocorrências de pH abaixo de 6 no mês de janeiro e uma ocorrência no mês de fevereiro; não favorecendo nesses dias nenhuma alteração nos demais parâmetros na saída do tratamento.

Já os pontos RMD, HID-1, RVC e HID-2, com monitoramento mensal apresentaram pH entre 6,26 a 6,97 (neutro tendendo a ácido) e condições organolépticas conformes. No ponto HID-1, que recebe água do RMD, todos os parâmetros apresentam-se conforme. Já no ponto HID-2, que recebe água do RVC, no mês de fevereiro o residual de alumínio foi de 0,281 mg/L e o ferro total foi 0,380 mg/L.

Tabela 4: Resultados monitorados no SAA-MP, 1º Bimestre 2018

Parâmetro	RMP-CAP		ETA-MP		RMD		HID-1		RVC		HID-2	
	JAN	FEV	JAN	FEV	JAN	FEV	JAN	FEV	JAN	FEV	JAN	FEV
pH	7,48	7,37	6,39	6,25	6,77	6,72	6,26	6,75	6,97	6,95	6,92	6,89
Cor aparente (uC)	188	173	0,9	1,2	1,00	1,90	1,00	6,40	1,00	13,9	2,8	-
Turbidez (uT)	79,9	87,6	0,58	0,69	0,70	0,80	0,60	2,80	0,65	3,60	1,2	2,5
Alumínio (mg/L)	-	0,76	0,10	0,08	0,12	0,14	-	-	0,11	0,28	0,14	-
Ferro total (mg/L)	-	-	-	0,03	0,06	0,05	-	-	0,02	0,38	0,20	-
Manganês (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Apesar de não ter sido realizado o monitoramento de alumínio nos reservatórios RMD e RVC é evidente que a área de influência do RVC apresenta concentração de alumínio superior à área de influência do RMD; sugestivo de que a área de influência do RVC pode apresentar possíveis incrustações que estão liberando lentamente alumínio na água tratada, comprometendo sua qualidade.

Assim como o alumínio, o ferro total apresentou teor elevado na área de influência do RVC; condição sugestiva também de possíveis incrustações da rede de distribuição por íons metálicos, inclusive o ferro. Apesar do monitoramento na rede de distribuição não ter sido uniforme com relação à frequência dos parâmetros, infere-se que a água captada no Rio Meia Ponte pode estar sendo contaminada por fatores estressantes, que contenham alumínio; sejam provenientes das atividades antrópicas e/ou pelas características geológicas do solo.

Protocolo de Ações Preventivas e Ações Corretivas

Visando atender os requisitos legais de potabilidade e garantir a segurança da água tratada e distribuída à população e às instituições que realizam procedimentos de diálise, segue o protocolo de ações preventivas e ações corretivas para mitigar o teor de alumínio na água tratada, sendo:

1. Procedimento para Alumínio acima de 0,100 mg/L na água bruta captada, manancial superficial:

Considerando o Art. 42, CONAMA 357/2005, “*enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente*”, o Rio Meia Ponte está enquadrado como classe 2. Dessa forma, a água bruta captada monitorada semestralmente para o parâmetro alumínio dissolvido, através do método ICP/OES (Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente) deve ter os resultados analisados criticamente pelo responsável técnico da Estação de Tratamento de Água. Considerando a ocorrência de alumínio dissolvido acima de 0,100 mg/L Al, deve-se solicitar junto aos departamentos ambientais competentes da companhia de saneamento uma vistoria da bacia hidrográfica à montante da captação para verificar a existência de pontos de contaminação que justifiquem o teor de alumínio elevado. Se forem identificados pontos de contaminação, o departamento ambiental que realizou a vistoria deve comunicar aos órgãos municipais e estaduais competentes para as tratativas necessárias. Caso não sejam identificados pontos de contaminação, como AÇÃO PREVENTIVA, a Estação de Tratamento de Água deve manter na saída do tratamento um residual de alumínio máximo de 0,100 mg/L até que uma nova análise de alumínio dissolvido por ICP/OES em água bruta captada atenda a legislação em vigor; visando garantir a segurança da água.

2. Procedimento para Alumínio acima de 0,200 mg/L na água tratada, saída da Estação de Tratamento de Água:

Quando o residual de alumínio da água tratada na saída da ETA for maior que 0,200 mg/L o responsável técnico pela ETA deve verificar a concentração do residual de alumínio (método espectrofotométrico) na água bruta captada e realizar os ajustes operacionais de dosagem de produtos químicos e de tratabilidade necessários, como AÇÃO CORRETIVA, para garantir a conformidade da água tratada, conforme os requisitos legais de potabilidade em vigor. A efetividade da ação executada será avaliada através de monitoramento diário na saída do tratamento da ETA.

3. Procedimento para Alumínio acima de 0,200 mg/L na água tratada, em reservatórios:

Todos os reservatórios dos Sistemas de Abastecimento de Água devem ser monitorados, mensalmente, para o parâmetro alumínio residual (método espectrofotométrico). Se o residual de alumínio for maior que 0,200 mg/L Al, realizar análise crítica dos resultados considerando que: (1) se for evidenciado residual de alumínio maior que 0,200 mg/L Al no reservatório e na saída da ETA, a AÇÃO CORRETIVA deve ser realizada na ETA; (2) se for evidenciado residual de alumínio maior que 0,200 mg/L Al apenas no reservatório, a AÇÃO CORRETIVA deve ser a limpeza interna do reservatório. A efetividade da ação será avaliada através de monitoramento do residual de alumínio após 48 horas da limpeza.

4. Procedimento para Alumínio acima de 0,200 mg/L na água tratada, rede de distribuição

Todas as instituições que realizam procedimentos de hemodiálise devem ser monitoradas mensalmente junto ao hidrômetro. Considerando o ponto amostrado, se o alumínio residual for maior que 0,200 mg/L Al em 4 amostras anuais, mesmo que não consecutivas, deve-se realizar análise crítica do parâmetro alumínio residual em todo o Sistema de Abastecimento de Água. Se houver inconformidades na saída da ETA ou em reservatórios do sistema, as AÇÕES CORRETIVAS devem ser realizadas nas unidades inconformes. Se a inconformidade ocorrer somente no ponto amostrado, deve-se realizar o teste de incrustação. Se for evidenciada a incrustação com alumínio insolúvel, como AÇÃO CORRETIVA deve-se realizar a limpeza do ramal e da rede de distribuição do módulo em que se encontra o ponto monitorado, visando a desincrustação dos íons metálicos. A efetividade da água deve ser avaliada através de monitoramento do residual de alumínio após a limpeza nos períodos de 48 horas, 7 dias, 15 dias e 30 dias.

CONCLUSÕES

O protocolo de ações preventivas e ações corretivas para mitigar alumínio residual na rede de distribuição é uma ferramenta de gestão operacional em prol da excelência dos serviços prestados pelo Sistema de Abastecimento de Água.

O protocolo definido nesta pesquisa é um guia que orienta o responsável técnico quanto às responsabilidades e as diretrizes a serem executadas em situações de inconformidade para o residual de alumínio nas diversas etapas do Sistema de Abastecimento de Água.

O protocolo foi criado a partir da análise crítica de um cenário específico, mas que pode ser utilizado para fundamentar as necessidades de outras demandas e pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado. **Situação Ambiental das Águas da Bacia do Rio Meia Ponte, Goiás**. Goiânia: GO, 2008.
2. EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION. **Life cycle inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe**. Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. Belgium: Brussels. April, 2013.
3. NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**. Viçosa: MG, 2007, p.471-550.



4. OLIVEIRA, Ana Lucia Pinto; SASSI, Priscila da Silva; MARTINS, Lucia Helena Baggio. Teor de alumínio na água tratada. TCC. Instituto Federal de Santa Catarina. Lages: SC, 2015
5. RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as Regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Monitoramento Por Satélite, Campinas: 26 p. 2010.
6. ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. Dissertação. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, 2011.
7. SANTOS, C.R.A; KELLER, P.P.R. I-248 Estudo de caso – eficiência da limpeza química da rede de distribuição de abastecimento público, no Estado de Goiás – Brasil. **Anais**. Congresso ABES/FENASAN. São Paulo:SP, 2017