

## I-143 - MONITORAMENTO CONTÍNUO DE CLORO EM ÁGUA PARA CONSUMO

**Keila Roberta Ferreira de Oliveira Dassan<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Anhanguera Uniderp. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Doutoranda em Tecnologias Ambientais na UFMS.

**Peter Batista Cheung**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Mestre em Tecnologias Ambientais pela UFMS. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP).

**Alexandre Pereira Gealh**

Economista pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET). Departamento de Hidráulica e Transportes (DHT). Cidade Universitária, c. postal: 549. Cep: 79070-900. Campo Grande - MS - Brasil. Fone: xx67-3345-7491. Fax: xx67-3345-7676. e-mail: eng.keila@gmail.com

### RESUMO

A cloração consiste em um das técnicas mais utilizadas para garantir a proteção de um sistema de abastecimento contra microrganismos patogênicos, e, portanto o monitoramento do teor de cloro representa importante papel no controle da qualidade da água para consumo. Frente às técnicas de determinação de cloro existentes, os atuais sistemas de monitoramento contínuo por sensores de determinação de cloro livre, têm sido amplamente investigados em função da possibilidade de otimizar a gestão no saneamento, permitindo identificar pontos e/ou períodos críticos da rede de distribuição de água, que oferecem risco de contaminação, bem como garantir ao consumidor o seu direito à receber água com a qualidade necessária, e prevista pela Portaria nº518, do Ministério da Saúde. No presente trabalho foi realizado um monitoramento contínuo da água de abastecimento de um edifício residencial, utilizando sensor amperométrico para medição de cloro livre, com o objetivo de avaliar o comportamento da técnica utilizada, bem como observar as variações de cloro que podem ocorrer ao longo do período monitorado. Foram identificadas diferentes fases durante o estudo, consideradas fases estáveis e instáveis do monitoramento. O período de instabilidade das concentrações se deu por leituras que sofreram grandes variações sem sentido, sendo as causas atribuídas a diversos fatores, como surgimento de bolhas na célula de fluxo, variação brusca de pressão e vazão. No entanto, após esta fase, o sensor de cloro se mostrou estável, com concentrações de cloro livre condizentes com o sistema avaliado, consistindo de um período de longa duração. Dados os resultados obtidos, pode-se concluir que o sistema de monitoramento contínuo adotado, apesar de necessitar de tempo para estabilização do sensor, se mostrou prático e eficaz na maior parte do tempo de operação, sendo necessária a realização de estudos mais aprofundados para maior conhecimento das causas da instabilidade sofrida durante o experimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cloro Residual Livre, Monitoramento Contínuo, Sensor de Cloro, Água para Consumo.

### INTRODUÇÃO

O cloro consiste em um dos desinfetantes mais largamente empregados, sendo facilmente disponível como gás, líquido ou sólido. Quando comparado a outros desinfetantes é considerado relativamente mais barato, de melhor facilidade de aplicação devido à sua alta solubilidade em água, além de deixar concentração residual em solução facilmente determinada, sendo eficaz na redução da maioria dos microrganismos, patogênicos ou não (Richter & Azevedo Netto, 1991).

No monitoramento da qualidade da água, reduções de residual de cloro podem significar a existência de um problema de contaminação na rede de distribuição (Hass, 1999), bem como o crescimento do biofilme e a vulnerabilidade de surtos de doenças (Berger *et al.*, 2000).

Assim, nas últimas décadas, muitos avanços têm sido obtidos no que se refere ao monitoramento contínuo da qualidade da água para consumo humano, especialmente na determinação de cloro residual livre (Campo, Ordeig, Muñoz, 2005; Kasik *et al.*, 2009) com objetivo de garantir maior segurança à saúde da população e promover seu bem-estar.

Atualmente, a Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde estabelece que se deve manter um residual de cloro livre de no mínimo 0,2ppm em qualquer ponto de um sistema de distribuição de água (Brasil, 2004). No entanto, em tais sistemas também ocorre o decréscimo de cloro. Clark *et al.* (1993) afirmou que o residual de cloro pode desaparecer por diversas vezes durante um dia, devido às reações com compostos orgânicos e inorgânicos no corpo do escoamento; reações com o biofilme na parede da tubulação; e o consumo de cloro com produtos do processo de corrosão do sistema (Al-Jasser, 2007; Jonkergouw *et al.*, 2009).

Diversos métodos de monitoramento contínuo tem sido usados para detectar cloro residual, sendo muitos deles baseados em princípios óticos (Kasik *et al.*, 2009) ou eletroquímicos, adotando diferentes geometrias, configurações e composições de eletrodos (Campo, Ordeig, Muñoz, 2005). Os sistemas de detecção amperométrica de fluxo contínuo são relativamente simples, necessitando de uma célula de fluxo de amostra onde o sensor é fixado. A membrana porosa que cobre o detector amperométrico confere estabilidade suficiente para a determinação de cloro prevenindo os efeitos convectivos (Okumura *et al.*, 2001).

No presente trabalho foi efetuado o monitoramento contínuo de cloro residual livre em água de abastecimento urbano em um edifício residencial, durante um período de tempo estabelecido, utilizando sensor amperométrico. Este estudo preliminar faz parte de um projeto de pesquisa, e visou obter informações operacionais do sistema de monitoramento contínuo adotado, bem como observar se ocorrem variações de concentração de cloro ao longo do período analisado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em um edifício residencial de seis andares, e com dois apartamentos por andar, localizado a aproximadamente seis quilômetros do reservatório de distribuição da água de abastecimento. As medições foram efetuadas logo após o hidrômetro que registra a entrada de água no prédio.

O sistema de medição contínua foi composto por um sensor amperométrico de cloro residual livre conectado a um analisador que recebe os sinais e expressa os dados registrados em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Aliado a este conjunto, foi instalado um sensor de pH, recomendado pelo fabricante para que fossem efetuadas correções automáticas nas leituras de cloro frente às suas variações, uma vez que o sensor de cloro livre mede concentrações de ácido hipocloroso, sofrendo alterações por mudanças de pH. A figura 1 mostra o sistema composto de sonda de cloro e de pH em célula de fluxo, analisador e *data loggers* para armazenamento de dados.

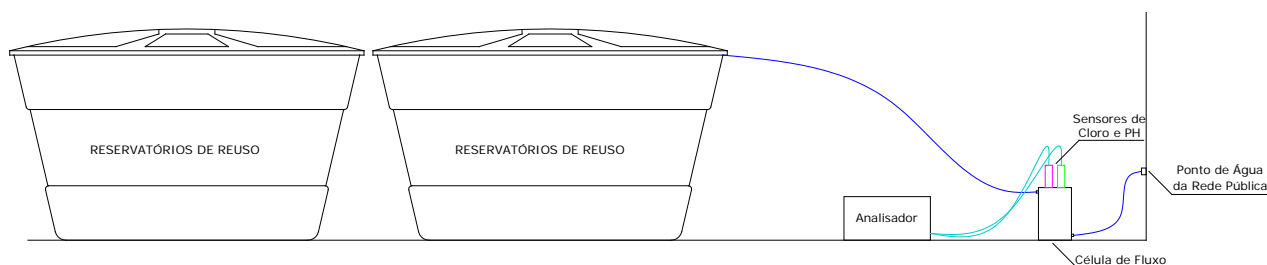


Figura 1. Monitoramento por sondas com analisador e armazenamento de dados.

O sensor amperométrico de membrana coberta para determinação de cloro livre apresenta uma faixa de leitura de zero a  $10\text{mg.L}^{-1}$  expresso em  $\text{Cl}_2$  e seu tempo de resposta é de 20 segundos. Sua precisão é dependente do método utilizado na calibração. Para este trabalho, adotou-se o método DPD (N,N-dietil-p-fenileno diamina) utilizando aparelho colorimétrico, com metodologia adaptada do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, com precisão típica, para intervalo de 95% de confiança, de  $1,00 \pm 0,05\text{mg Cl}_2.\text{L}^{-1}$ , e limite de detecção estimado de 0,02 a  $2,00\text{mg Cl}_2.\text{L}^{-1}$ .

O sensor de pH possui limite de detecção de 0 a 14. Uma variação maior que 0,2 na solução induz à correção automática na leitura do cloro. A vazão de operação do sensor, estabelecida em  $500\text{mL/min}$ , foi aferida por meio de proveta de  $100\text{mL}$  graduada a cada  $10\text{mL}$ , e cronômetro digital com precisão de um décimo de segundo.

A figura 2 representa o sistema de monitoramento implantado no edifício. Os sensores foram instalados dentro de uma célula de fluxo de acrílico, confeccionada para atender às especificações de medição do sensor de cloro em fluxo contínuo ascendente, conforme apresentado na figura anterior. Após passar pela célula de fluxo, a água seguia para um reservatório de água de chuva, e era reaproveitada pelo condomínio, para irrigação de jardim e limpeza de área comum.



**Figura 2. Esquema do sistema implantado.**

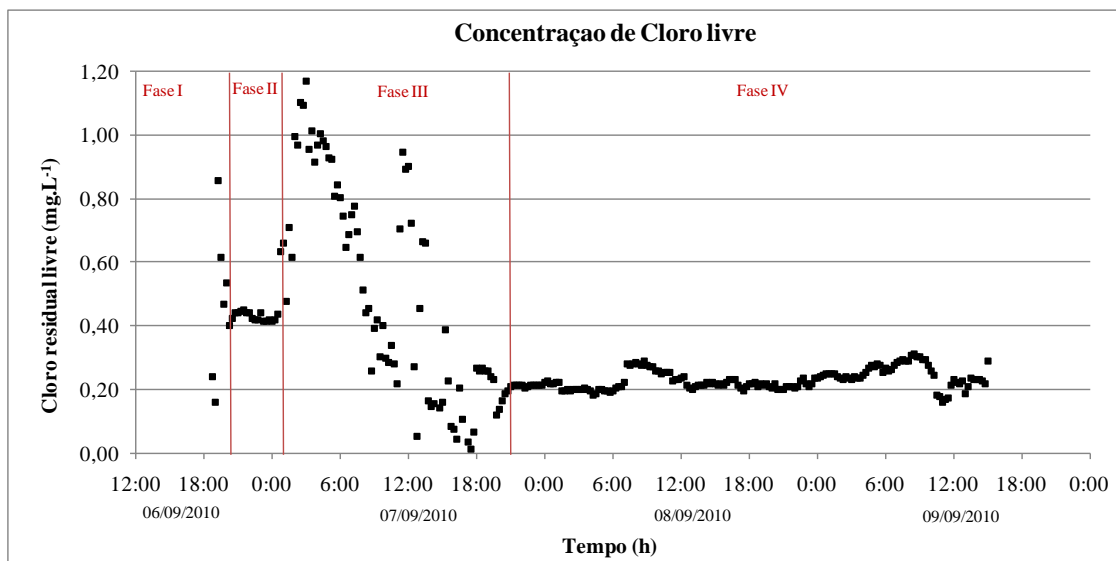
O monitoramento foi efetuado por aproximadamente 3 dias (68 horas) a fim de se observar o comportamento do cloro residual livre repetidas vezes durante o dia e à noite. Inicialmente, o sensor foi estabilizado no processo de fluxo contínuo e devidamente calibrado pelo método DPD. Os dados obtidos foram expressos em médias com intervalos de 15 minutos, em função da grande quantidade de valores obtidos (gravados a cada 10 segundos), e avaliados quanto o seu atendimento à Portaria 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento das concentrações de cloro residual livre está apresentado na figura 3. O período total foi dividido em quatro fases. O pH da água, durante o período de monitoramento foi em média igual a 8,1.

A fase I consistiu do período de estabilização das leituras da sonda de cloro, uma vez que, ao ser ligada, os valores oscilam por um período de tempo (normalmente uma a duas horas) até tornarem-se estáveis. Nesta pesquisa, o período de estabilização foi de aproximadamente uma hora e trinta minutos. Na fase II, o monitoramento foi estável, após a calibração da sonda em fluxo no valor de  $0,42\text{mg Cl}_2.\text{L}^{-1}$ , com o método DPD de determinação de cloro residual livre. A média das leituras no período foi igual a  $0,43\text{mg Cl}_2.\text{L}^{-1}$  com variação de  $0,03\text{mg Cl}_2.\text{L}^{-1}$ . Esta fase teve duração de aproximadamente quatro horas.

Observou-se que a fase III foi caracterizada por um período de instabilidade nas leituras da sonda. Normalmente, espera-se que a concentração de cloro residual diminua durante o período noturno quando não há grande consumo de água e a mesma permanece em repouso no reservatório de distribuição (caso do presente estudo).



**Figura 3 – Concentração de cloro residual livre na água de abastecimento.**

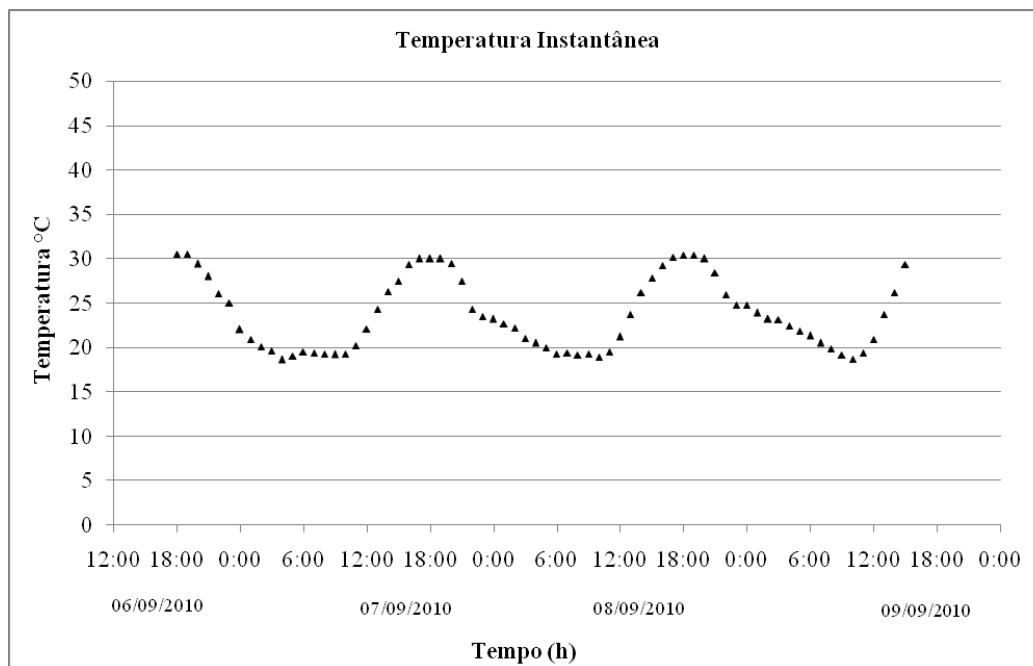
Em um estudo conduzido por Clark *et al.* (1994), foi efetuado um monitoramento contínuo em um sistema com uma única fonte de abastecimento, bombeamento e um reservatório, em uma área predominantemente residencial, semelhante ao presente estudo. Como resultado, o autor observou que as concentrações de cloro livre eram menores quando o sistema era abastecido por um reservatório de distribuição após repouso da água por longos períodos de tempo.

No início da fase III foi observado um comportamento noturno contrário ao esperado, ocorrendo um aumento das concentrações de cloro, e cabe ressaltar que não foram constatadas alterações no sistema de desinfecção da água na Estação de Tratamento da região, como aumento da dosagem de cloro em período anterior, que justificasse a alteração no edifício localizado em região tipicamente residencial, em um período de consumo mínimo de água.

Ainda avaliando a mesma fase, no período diurno, notou-se um decréscimo inicial das concentrações de cloro, elevando-se na sequência, a valores próximos de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{Cl}_2$  e decrescendo novamente até atingir valor zero. Nas condições rotineiras de operação do sistema de distribuição de água local, espera-se que ao longo do dia, nos horários de maior consumo de água, as concentrações de cloro sejam mais elevadas, em função da renovação da água no sistema de distribuição e reservatório de distribuição.

Visto que grandes variações persistiram ao longo da data de 07/09/2010, sem a ocorrência de situações adversas no sistema de tratamento e de distribuição de água, concluiu-se, portanto, que esta fase foi caracterizada por instabilidade de leitura da sonda, ou seja, valores de medição não condizentes com a realidade e oscilantes. O sensor de cloro adotado pode perder a estabilidade em função da ocorrência de bolhas que influenciam na sua leitura, bem como variações de pressão e vazão na célula de fluxo, ou ainda, variações bruscas de temperatura e de pH, as quais não foram observadas no período.

A figura 4 mostra a variação de temperatura ambiente durante o período de monitoramento. Nota-se que as variações de temperatura se repetiram em todos os dias observados, o que indica que este fator não influenciou na instabilidade das leituras durante a fase III.



**Figura 4 – Variação da temperatura ambiente no período do experimento.**

Finalmente, a fase IV demonstrou um monitoramento estável, apresentando concentrações mais elevadas durante o dia, quando o consumo de água é maior, e a água é renovada com maior frequência na rede, sem ficar em repouso por longos períodos de tempo.

Os maiores valores de cloro residual livre ocorreram nos seguintes intervalos de tempo: das 8:30h às 13:00h na data de 08/09/2010, das 6:00h às 7:30h, e 08:30 às 11:30h no dia 09/09/2010. Estes períodos foram considerados dentro das faixas diárias de maior consumo de água, o que indicou uma possível relação com a renovação de água tratada no reservatório que abastece o bairro, seja por variação de nível ou manobras no sistema. Considerando que o processo de desinfecção é fortemente controlado e gera residuais de cloro pouco variáveis, a água fornecida ao edifício nestes horários apresentou menor decaimento de cloro residual livre. A média de concentração de cloro livre durante todo o período monitorado na fase IV foi igual a 0,23mg.L<sup>-1</sup>Cl<sub>2</sub> e todos os valores atenderam às recomendações da Portaria nº518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.

## CONCLUSÕES

A presente pesquisa demonstrou a aplicabilidade do sistema de monitoramento contínuo de cloro residual livre na água de abastecimento. Os sensores apresentaram diferentes comportamentos ao longo do tempo: período de estabilização, faixa de instabilidade e a fase estável, na qual as concentrações de cloro residual livre atenderam às recomendações da Portaria nº518, do Ministério da Saúde.

Este trabalho buscou expor a importância de um sistema de monitoramento contínuo de cloro, cujas informações podem ser de grande utilidade sob diferentes pontos de vista. Para o consumidor, o sistema implantado na edificação residencial forneceu informações sobre a qualidade da água de abastecimento, permitindo avaliar a sua adequação à legislação pertinente e conduzindo a uma reflexão sobre segurança e risco. Por outro lado, esta tecnologia contribuirá para a concessionária de abastecimento de água direcionar tomadas de decisões aos pontos críticos da infra-estrutura de abastecimento, com risco de contaminação, ou mesmo para melhorar seu processo de desinfecção, e demonstrar a qualidade do serviço prestado à comunidade.

Dentro deste contexto, recomenda-se que o monitoramento contínuo de cloro livre seja realizado por períodos extensos de tempo, de forma a identificar os intervalos de instabilidade e caracterizá-los, bem como implantar este monitoramento em diferentes situações de uso da água, relacionando com informações de consumo e práticas operacionais do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-JASSER, A. O. Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: Pipe service age effect. *Water Research* 41, 387-396, 2007.
2. BERGER, P. S.; CLARK, R. M.; REASONER, D. J. Water, Drinking. *Encyclopedia of Microbiology*. v. 4, p.385-398, 2000.
3. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 26 mar, 2005. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legis/index.htm>. Acesso em 18 de outubro de 2010.
4. CAMPO, F. J. D.; ORDEIG, O.; MUÑOZ, F. J. Improved free chlorine amperometric sensor chip for drinking water applications. *Analytica Chimica Acta*, 554, 98-104, 2005.
5. CLARK, R. M.; GRAYMAN, W. M.; MALES, R. M.; HESS, A. F. Modeling contaminant propagation in drinking water distribution systems. *J. Envir. Engrg., ASCE*, 119(2), 349-364, 1993.
6. CLARK, R. M.; GRAYMAN, W. M.; GOODRICH, J. A.; DEININGER, R. A.; SKOV, K. Measuring and Modeling Chlorine Propagation in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 120 (6), 871-887, 1994.
7. HAAS, C.N. Benefits of Using a Disinfectant Residual *Journal American Water Works Association*, 91 (1), 65-69, 1999.
8. JOHNSON, J. D. Measurement and Persistence of Chlorine Residuals in Natural Waters. *Water Chlorination. Environmental Impact and Health Effects*. Vol. 1, R. L. Jolley (ed.), Ann Arbor Science Publishers, 1978.
9. JONKERGOUW, P. M. R.; KHU, S.; SAVIC, D.; ZHONG, D.; HOU, X. Q.; ZHAO, H. A Variable Rate Coefficient Chlorine Decay Model. *Environ. Sci. Technol.* 43, 408-414, 2009.
10. KASIK, I.; MRAZEK, J.; PODRAZKY, O.; SEIDL, M.; AUBRECHT, J.; TOBISKA, P.; POSPISILOVA, M.; MATEJEC, V.; KOVACS, B.; MARKOVICS, A.; SZILI, M. Fiber-optic Detection of Chlorine in Water. *Sensors and Actuators B*, 139, 139-142, 2009.
11. OKUMURA, A.; HIRABAYASHI, A.; SASAKI, Y.; MIYAKE, R. Simple Miniaturized Amperometric Flow Cell for Monitoring Residual Chlorine in Tap Water. *Anal. Sci.* 17, 1113-1115, 2001.