

I-109 – DECAIMENTO DO CLORO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann ⁽¹⁾

Bióloga pela UNALM. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Associada da Escola de Engenharia Civil e Ambiental – EECA-UFG.

Carolina Alexandre Leite Villa Real ⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Goiás (UFG) – Goiânia (GO), Brasil.

Luciano de Oliveira ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Uberlândia (MG), Brasil.

Talita Cintra Braga ⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Goiás (UFG) – Goiânia (GO), Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área, 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia – GO - Brasil, CEP 74605-220 - Tel: (62) 3209-6263 - e-mail: katia.saavedra@gmail.com

RESUMO

Um dos preceitos legais relacionado à saúde humana, de acordo com a Organização Mundial da Saúde, determina que todos os indivíduos têm direito ao recebimento de água tratada. Para tanto, não só se torna necessário a captação da mesma, mas o tratamento através de processos químico-físicos. Dentre eles, a utilização do cloro como agente desinfetante se destaca no combate à microrganismos. Este deve percorrer a rede de distribuição, chegando ao destino final em concentração válida, para desta forma, neutralizar quaisquer agentes patogênicos que possa vir a se inserir no sistema. Desta maneira, o presente artigo determinará o coeficiente de degradação do cloro no volume do escoamento (Kb) através do teste da garrafa (Walski, 2003) da Rede de Distribuição do município de Anápolis-GO.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção, Decaimento do Cloro, Tratamento de Água, Saneamento, Coeficiente Kb.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade existe o hábito de se descartar resíduos das mais diversas características em cursos d'água. Essa prática surge graças à eficiente capacidade de autodepuração que estes meios apresentam. Sendo assim, ainda hoje é possível se averiguar o lançamento de águas residuárias (tratados ou não), a disposição inadequada de resíduos sólidos, a lixiviação de agrotóxicos, e o descarte de efluentes nas bacias hidrográficas. Tais atitudes geram diversos casos graves de poluição ambiental, favorecem a transmissão de doenças de veiculação hídrica e agravam a necessidade de desinfecção da água para consumo humano. Os impactos ambientais negativos relativos a esta poluição determinaram, a necessidade da criação de normas, instrumentos de controle e incentivos para evitar o problema na sua origem (Leite, 2004).

No Brasil, a Lei Federal nº 11.445/07 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, *reitera que os serviços públicos de saneamento básico devem ser prestados com base em alguns princípios fundamentais, destacando a universalização do acesso aos serviços. Ela também aborda cada um destes serviços, entre eles, o abastecimento de água.*

A PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX dispõe sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano, estabelecendo padrões de potabilidade através de um conjunto de valores permitidos como parâmetros da qualidade da água para consumo humano. Entre eles está o padrão microbiológico, a cor, sabor, turbidez, pH, concentração de cloro, flúor, e diversos outros presentes no Anexo da Portaria.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. É o conjunto de medidas adotadas em um local para melhorar a vida e a saúde dos habitantes, impedindo que fatores físicos de efeitos nocivos possam prejudicar as pessoas no seu bem-estar físico mental e social.

Segundo Guimarães, Carvalho e Silva (2007), apud por Ribeiro e Rooke, (2010), a oferta de saneamento associa sistemas constituídos por uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange diversos serviços, entre eles o abastecimento de água com qualidade às populações.

Desta maneira, nota-se que o saneamento é imprescindível para proteger a saúde pública, prevenindo a contaminação por diversas enfermidades que se difundem a partir da ingestão ou contato com recursos hídricos contaminados. Esta ideia está relacionada com o conceito de Promoção de Saúde proposto pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1986. Isto é, um dos mais importantes fatores determinantes da saúde são os sistemas ambientais (BRASIL, 2006).

Segundo Zierolf et al. (1996;1998) apud Bento (2012), o desinfetante mais utilizado em sistemas de distribuição de água é o cloro, que se apresenta de forma livre, residual e total. Ele é barato e destrói efetivamente a grande maioria dos organismos patogênicos removendo gostos e odores desagradáveis. Devido à sua ação oxidante, parte da quantidade dosada na água é consumida, e parte permanece como cloro residual livre, na forma de ácido hipocloroso íon hipoclorito:



Vieira (2013) ratifica a ação do cloro residual livre contra tubulações rompidas contaminadas pelo solo em torno, acúmulo de sujeira no interior das tubulações, contaminação durante a instalação, imperícias durante o procedimento de lavagem ou limpeza das tubulações, pontos de estagnação no sistema e longos tempos de resistências. E também, sua finalidade de limitar a presença de microrganismos patogênicos que podem ser induzidos acidentalmente no sistema através de rupturas ou fissuras nas tubagens, ou que se desprendem de biofilmes na parede da tubagem.

Nota-se então que devido ao consumo da matéria de caráter inorgânico (fase rápida) e caráter orgânico (fase lenta), a concentração do cloro residual livre não se mantém constante no sistema de abastecimento de água, havendo a necessidade de se estabelecer uma concentração mínima para que, após a desinfecção, armazenamento e distribuição, chegue consumidor (Vieira e Coelho, 2000). A concentração designada deve variar entre 0,2 mg/L e 2,0 mg/L (PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.).

Para Clarck e colaboradores (1993), o decaimento do cloro em sistemas de distribuição e abastecimento de água é composto de duas componentes, sendo uma delas a demanda na parede e a outra, o corpo do escoamento associado ao canal da fase aquosa. A figura 1 ilustra os componentes do decaimento, e a figura 2 retoma às reações que ocorrem nas tubulações:

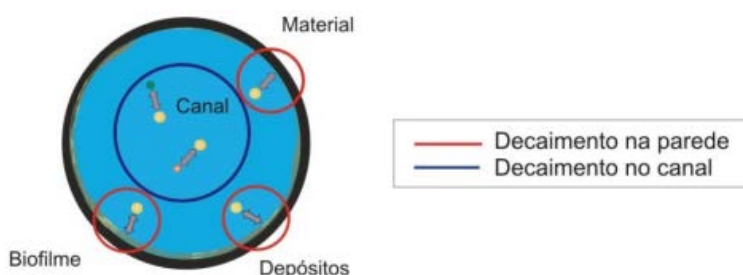


Figura 1: Componentes do decaimento de cloro. Fonte: VIEIRA et al., 2001 apud DOLAN, 2018.

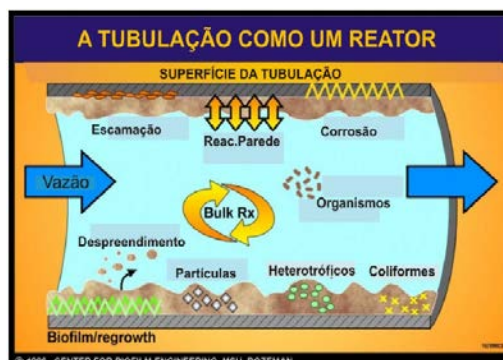


Figura 2: Reações na tubulação. Fonte: Pierezan, 2009.

A utilização do cloro deve ser feita com bastante cuidado, que de acordo com Ersar (2013), quando em excesso causam rejeição da utilização da água para consumo humano devido à alteração da sabor e odor. Além disto, através das várias reações químicas o cloro possui como subproduto trihalometanos, sendo este elemento cancerígeno e mutagênico e que, quando consumido em doses baixas e por longo período, apresenta relação com cancro no intestino e na bexiga (Langowski e Brdys, 2007). Portanto, deve-se haver o controle para que se tenha a presença de cloro residual livre, de acordo com a PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, nos pontos mais distantes da rede de distribuição, de maneira que menos se altere a qualidade da água para pontos próximos à Estação de Tratamento de Água.

A utilização de modelagem matemática auxilia a prever o comportamento das substâncias químicas utilizadas no tratamento de água em vários pontos da rede (Fischer et al, 2011). Isto ocorre pois através desta ferramenta é possível analisar problemas no sistema de distribuição de água, não somente de cunho hidráulico, mas também relacionado a qualidade da água a ser distribuída, já que também pode-se estimar a concentração de determinadas substâncias que chegam ao local requerido. Atualmente, estes modelos são usados para auxiliar no planejamento e gestão de um Sistema de Abastecimento de Água (Nascimento, 2016).

O objetivo deste trabalho foi a verificação da qualidade da água de partes da rede de distribuição do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da cidade de Anápolis através da quantificação do coeficiente de degradação no volume do escoamento (K_b), com resultados obtidos partir de análises laboratoriais. E ainda, avaliar as vantagens da aplicação da modelagem matemática em (SAA).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado por meio de análise laboratorial, afim de determinar-se a constante cinética (K_b) no volume de escoamento.

As variáveis físico-químicas da água foram medidas através de equipamentos que permitissem a medição em campo como indicado na tabela 1. Verificou-se o potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e turbidez da água.

Tabela 1: Descrição dos parâmetros, métodos e equipamentos utilizados para as amostras de água.

Parâmetro	Unidade	Método/Referência	Equipamento
pH	-	ME08.6003	pHmêtro DM-22
Temperatura	°C	ME08.0068	Termômetro químico
Turbidez	uT	ME08.6001	Turbidímetro 2100P
Cloro Residual Livre	mg/L	ME08.6002	Colorímetro modelo DR-890

Pontos de amostragem e coleta de amostras

Foram definidos os pontos de coleta de amostras, ilustrados na figura 3. Realizou-se a coleta das amostras e o respectivo armazenamento. Os frascos contendo as amostras de água a serem analisadas foram levadas ao laboratório e em seguida realizou-se os ensaios para determinar a concentração de cloro ao longo do tempo. As análises realizadas foram: a verificação da temperatura, determinação da concentração do cloro com o colorímetro DR 890, obtenção do pH, medição da turbidez. As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados obtidos foram anotados e inseridos no software Excel possibilitando a determinação da constante cinética.

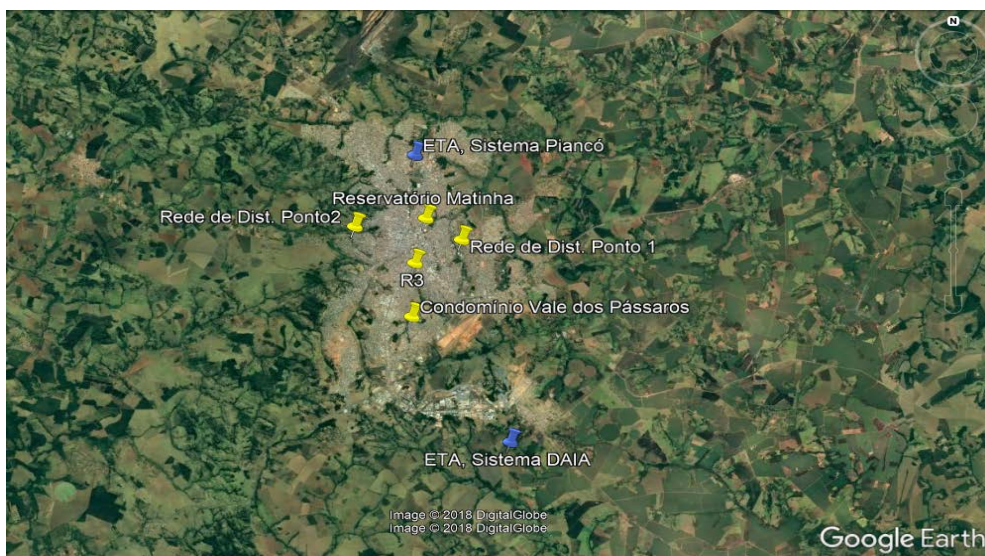


Figura 3 - Localização dos reservatórios e pontos na rede utilizados em análise.

Foram coletadas amostras em pontos da rede de distribuição e reservatórios com características diferentes. Escolheu-se um reservatório que possui pouca variação do nível de água, que abastece o setor do Condomínio Vale dos Pássaros. Por ser um local de loteamento recente possui tubulações novas e em ótimo estado. A água bruta é captada no manancial superficial Ribeirão Caldas, o qual pertence ao Sistema de Abastecimento DAIA que abastece o Condomínio Vale dos Pássaros.

Os outros dois reservatórios escolhidos possuem alta variação do nível de água, já que atendem grande parcela da cidade. O reservatório R3 e o reservatório da Matinha, os dois pertencem ao Sistema de Abastecimento da SANEAGO. A captação é realizada no manancial superficial Piancó.

Os pontos da rede de distribuição analisados foram em área atendida por esses reservatórios. Para obter parâmetros de comparação analisou-se também o reservatório da ETA do Sistema Piancó em Anápolis. As amostras devem ser coletadas seguindo o procedimento realizado pela SANEAGO. O método consiste em abrir a torneira e deixar a água escoar na maior vazão possível por pelo menos 3 minutos, como determinado pela Normativa IT 07.0101, da Saneago.

As amostras foram coletadas nas seguintes datas:

Tabela 2: Pontos de coleta e datas das coletas e das análises.

Local	Data
Res. Matinha	03 de nov. 2017
Res. R3	02 de nov. 2017
Res. ETA Sist. Piancó	02 de nov. 2017
Res. Vale dos Pássaros	10 de out. 2017
Rede de Dist. Ponto 1	02 de nov. 2017
Rede de Dist. Ponto 2	03 de nov. 2017

Para determinação do decaimento do CRL no volume do escoamento foi utilizado o teste de garrafa ou *Bottle test*. Com vidrarias já lavadas e ambientadas, retira-se 10 mL de amostra do frasco. A primeira de três cubetas a serem preparadas, é o branco, isto é, o parâmetro de cor a ser medido no colorímetro. Coloca-se os 10 mL retirados da amostra na cubeta e a seca com uma folha de papel toalha. Na segunda cubeta, primeiramente coloca-se 3 gotas de reagente DPD, em seguida 3 gotas de tampão DPD. Mede-se com a pipeta graduada 10 mL de amostra e coloca-a na cubeta. A reação entre a água e os reagentes adicionados resultam em uma água com coloração rosa. Repete-se o procedimento para a terceira cubeta. A vidraria preparada é levada ao colorímetro colocando-a sempre na mesma posição devido a uma marca de referência. Liga-se o equipamento na curva 109. Com a cubeta contendo o branco zera o equipamento possibilitando leitura das outras duas. A cubeta é colocada no equipamento e realiza-se a leitura. O procedimento foi realizado em triplicata.

As análises foram repetidas em intervalos de tempo determinado, fazendo-se a cada intervalo de tempo três análises do cloro, pH e turbidez, e uma verificação da temperatura. A planilha é inserida no Excel. Faz-se a média dos 3 da triplicata. Utiliza-se a Equação 4, apresenta a seguir, para construir o gráfico.

$$Z = \log \left(\frac{C_t}{C_0} \right) \quad \text{equação (4)}$$

Em que “Ct” é a concentração de cloro no tempo “t” e “C0” é a concentração de cloro inicial.

Para a construção do gráfico que indicará o resultado, colocou-se no eixo das abcissas o intervalo tempo e no eixo das ordenadas, se inseriu o resultado obtido por meio da Equação 4. Inclui-se no gráfico a equação da reta, e o R². O coeficiente (Kb) está representado pela letra “a” na equação da reta, Equação 5, apresentada a seguir.

$$Y = aX + b \quad \text{equação (5)}$$

RESULTADOS

Os resultados experimentais da determinação do Kb no reservatório da Matinha podem ser observados na Tabela 3, que demonstra a relação do decaimento com a passagem do tempo. O Gráfico 1 foi feito ajustando uma reta, obtendo-se 0,0002 min⁻¹ ou 0,288 dia⁻¹ com um R² de 0,9196 quer dizer, um valor bastante coerente para uma aproximação de 1ª ordem.

Tabela 3: Decaimento do CRL no Reservatório Matinha.

HORA	TEMPO (Horas)	TEMPO (Min)	C (mg/L)	LOG (Ct/C0)	TURBIDEZ (uT)	pH	T (°C)
10:00	0	0	0,660	0	1,21	8,32	22,8
10:20	00:20	20	0,637	-0,015631823	1,18	8,19	22,6
10:40	00:20	40	0,637	-0,015631823	1,23	7,83	22,6
11:00	00:20	60	0,633	-0,017911589	1,24	8,56	22,6
11:20	00:20	80	0,630	-0,020203386	1,28	7,83	22,5
11:40	00:20	100	0,623	-0,024823584	1,16	7,93	22,5
12:00	00:20	120	0,620	-0,027152246	1,19	8,07	22,6
12:20	00:20	140	0,612	-0,033029122	1,18	8,10	22,5
12:40	00:20	160	0,603	-0,038986615	1,30	8,19	22,6

A Figura 4 mostrada a seguir, contém gráfico do decaimento do CRL durante o intervalo de 160 minutos no Reservatório Matinha.

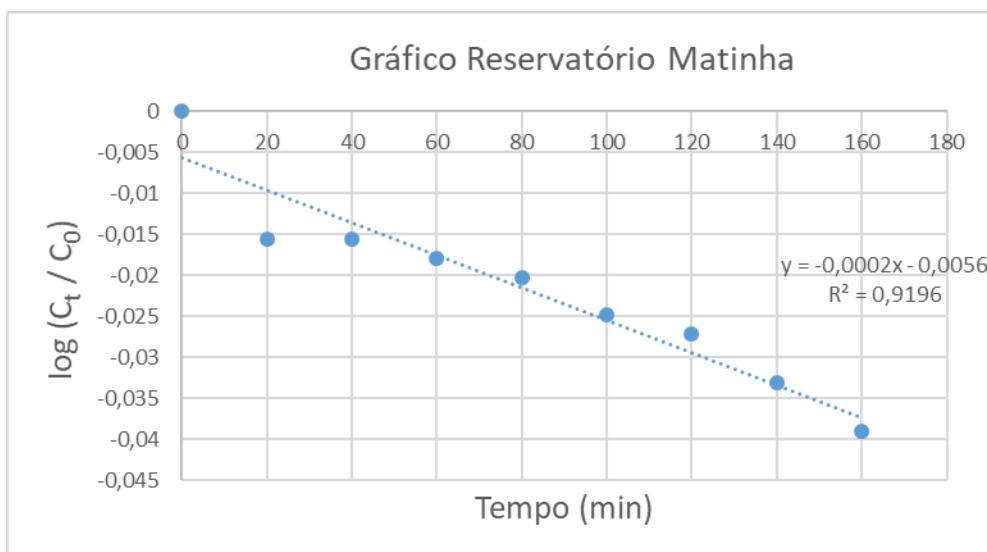


Figura 4: Decaimento do CRL no Reservatório Matinha.

O decaimento do cloro no reservatório R3 foi de $0,0002 \text{ min}^{-1}$ ou $0,288 \text{ dia}^{-1}$, o mesmo valor para o reservatório Matinha, porém o R^2 foi de $0,6641$, indicando que houve dados que ficaram fora do esperado podendo indicar alguma falha na realização dos ensaios ou do modelo experimental. A Tabela 4 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 4: Decaimento do CRL no Reservatório R3.

Hora	Tempo (Horas)	Tempo (Min)	C (mg/L)	$\log(C_t/C_0)$	Turbidez (uT)	pH	T (°C)
09:30	0	0	0,863	0	1,19	7,99	22,7
09:50	00:20	20	0,857	- 0,003366641	1,18	7,94	22,7
10:10	00:20	40	0,840	- 0,011899223	1,10	8,11	23
10:30	00:20	60	0,817	-0,02413368	1,23	8,07	23
10:50	00:20	80	0,827	- 0,018848083	1,12	7,96	23
11:10	00:20	100	0,800	- 0,033088522	1,23	8,06	23
11:30	00:20	120	0,833	- 0,015359755	0,99	7,80	23
11:50	00:20	140	0,820	- 0,022364657	1,10	8,10	23
12:10	00:20	160	0,767	- 0,051571928	1,01	7,80	23

A Figura 5, indica as concentrações de cloro aferidas no decorrer do tempo de 160 minutos.

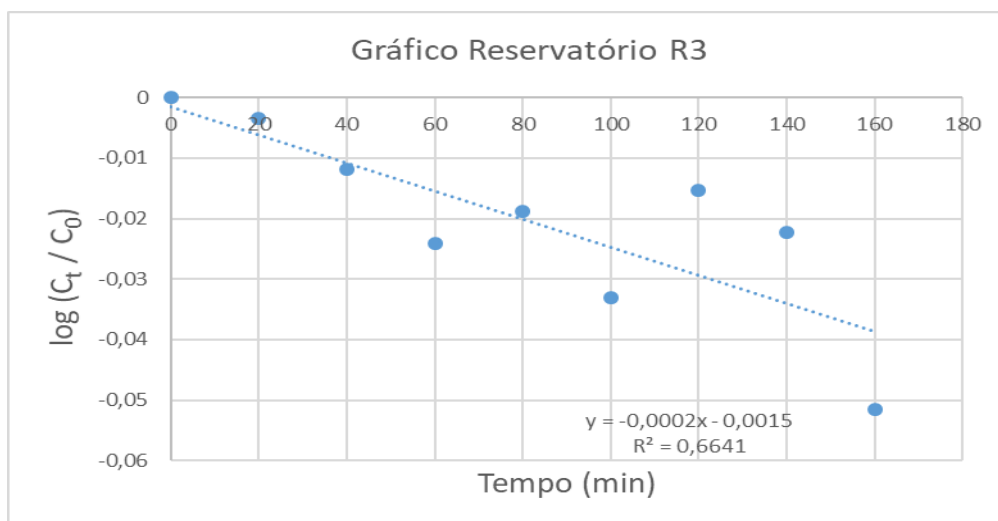


Figura 5: Decaimento do CRL no Reservatório R3.

O reservatório que atende o condomínio Vale dos Pássaros apresentou uma constante cinética de decaimento igual a $0,00004 \text{ min}^{-1}$ e $0,0576 \text{ dia}^{-1}$. O R^2 foi 0,811, indicando média variação entre os pontos fora da reta. As análises duraram dois dias devido à pouca variação percebida no intervalo de tempo previamente determinado. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5: Decaimento do CRL no Reservatório do Vale dos Pássaros.

Hora	Tempo (Horas)	Tempo (Min)	C (mg/L)	$\log(C_t/C_0)$
08:52:00	00:00:00	0	0,58	0
11:05:00	02:13:00	133	0,60	0
12:58:00	01:53:00	246	0,63	0
14:01:00	01:03:00	309	0,56	-0,01524
17:02:00	03:01:00	490	0,55	-0,0230653
20:55:00	03:53:00	723	0,53	-0,0391521
00:59:00	04:04:00	967	0,55	-0,0230653
04:54:00	03:55:00	1202	0,45	-0,1102155
08:58:00	04:04:00	1446	0,55	-0,0230653
12:57:00	03:59:00	1685	0,44	-0,1199753
16:55:00	03:58:00	1923	0,47	-0,0913301
21:06:00	04:11:00	2174	0,46	-0,1006702
04:55:00	07:49:00	2643	0,49	-0,0732319
13:10:00	08:15:00	3138	0,40	-0,161368
20:58:00	07:48:00	3606	0,47	-0,0913301
03:54:00	17:04:00	4630	0,46	-0,1006702
11:57:00	08:03:00	5113	0,36	-0,2071255
19:55:00	07:58:00	5591	0,38	-0,1836444
03:56:00	08:01:00	6072	0,39	-0,1841817
13:01:00	09:05:00	6617	0,35	-0,2552725

Pode-se observar que o intervalo de tempo foi variável devido ao baixo decaimento encontrado entre curtos intervalos de tempo entre as primeiras análises. Por ser um manancial subterrâneo a concentração de matéria orgânica e de sólidos em suspensão é baixa, acarretando em uma pequena taxa de decaimento. A Figura 6 ilustra os resultados do decaimento do CRL no Reservatório do condomínio residencial Vale dos Pássaros.

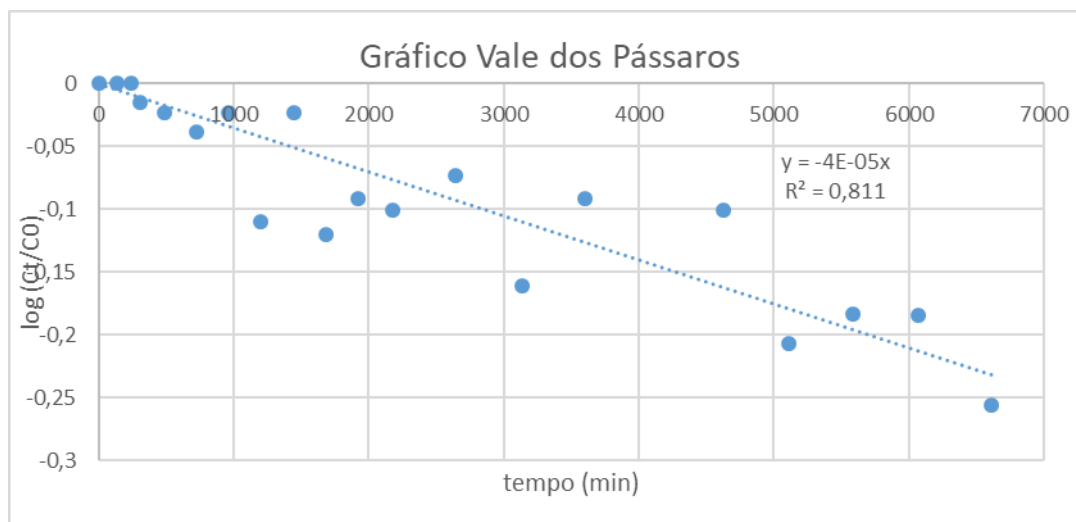


Figura 6: Decaimento do CRL no Reservatório do Vale dos Pássaros.

Os resultados encontrados para as coletas residências se comportaram de forma semelhante. O ponto 1 da rede de distribuição é abastecido pelo reservatório R3. Para o ponto 1 da rede de distribuição, foram realizadas 8 análises, no entanto a primeira delas não apresentou resultados representativo, isto se dá devido a concentração encontrada ser inferior as demais. Problemas durante a coleta, manuseio da análise e afins podem ter acarretado neste equívoco. Para tanto, tal valor foi desconsiderado e os cálculos para as próximas análises seguiram normalmente. O R^2 encontrado foi 0,8987. A Tabela 6 a seguir, indica os resultados obtidos durante a realização das análises.

Tabela 6: Decaimento do CRL no ponto 1 da rede de distribuição.

Hora	Tempo (Horas)	Tempo (Min)	C (mg/L)	log (Ct/C0)	Turbidez (uT)	pH	T (°C)
13:20	00:20	20	0,710	0	1,76	7,27	23,3
13:40	00:20	40	0,703	-0,004097148	1,50	7,76	23,4
14:00	00:20	60	0,703	-0,004097148	1,25	7,31	23,5
14:20	00:20	80	0,700	-0,006160309	1,28	7,74	23,4
14:40	00:20	100	0,697	-0,008233317	1,29	8,04	23,4
15:00	00:20	120	0,683	-0,016625742	1,22	7,89	23,3
15:20	00:20	140	0,680	-0,018749436	1,38	7,69	23,4
15:40	00:20	160	0,683	-0,016625742	1,54	7,88	23,4

A Figura 7 demonstra por meio do gráfico os dados obtidos para melhor visualização do comportamento do cloro residual livre. Pode-se perceber que o Kb encontrado foi de 0,0001 min⁻¹ ou 0,144 dia⁻¹.

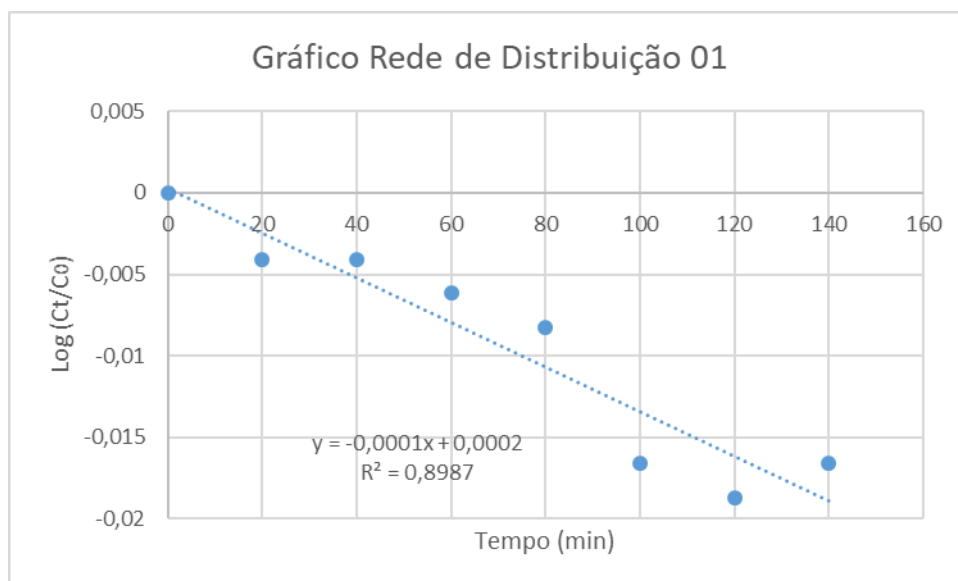


Figura 7: Decaimento do CRL na rede de distribuição de água.

No que se refere à residência nomeada como ponto 2 da rede de distribuição, o local é abastecido pelo Reservatório Matinha. O primeiro valor também precisou ser desprezado por motivos semelhantes ao do ponto 1. Desta maneira, o R² obtido foi 0,9588, sendo este resultado satisfatório. A tabela 7 e a figura 8 apresentam os valores das análises que foram realizadas.

Tabela 7: Decaimento do CRL no ponto 2 da rede de distribuição.

Hora	Tempo (Horas)	Tempo (Min)	C (mg/L)	log (Ct/C0)	Turbidez (uT)	pH	T (°C)
14:20	00:00	0	0,603333	0,000	1,2	7,35	23,4
14:40	00:20	20	0,600000	-0,002	1,2	7,68	23,5
15:00	00:20	40	0,586667	-0,012	1,2	7,95	23,4
15:20	00:20	60	0,576667	-0,020	1,3	8,14	23,6
15:40:00	00:20	80	0,573333	-0,022	1,2	7,86	23,7
16:00:00	00:20	100	0,570000	-0,025	1,2	8,05	23,8
16:20:00	00:20	120	0,563333	-0,030	1,2	7,84	23,8
16:40:00	00:20	140	0,560000	-0,032	1,3	7,55	23,7

A Figura 8, a seguir apresenta os resultados graficamente. Pode-se perceber que o Kb obtido por meio da equação da reta foi de 0,0002 min⁻¹ ou 0,288 dia⁻¹.

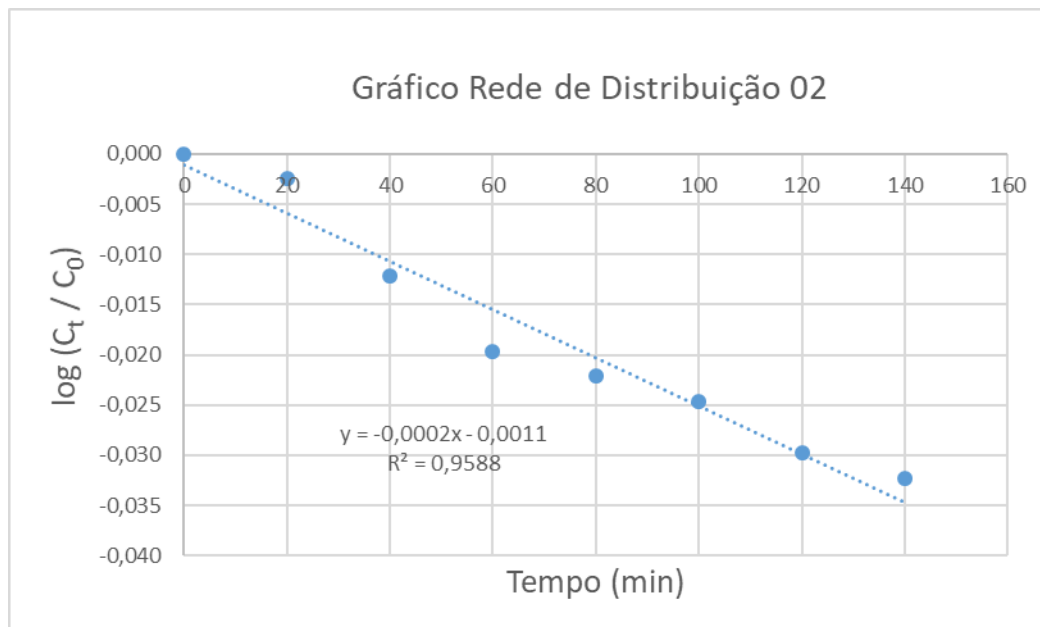


Figura 8: Decaimento do CRL no ponto 2 da rede de distribuição.

A Tabela 8 demonstra o comparativo de todos dos resultados obtidos. Pode-se observar que o mesmo coeficiente foi encontrado para o Reservatório da Matinha, Reservatório R3 e para a Rede de Distribuição no ponto 2, o qual é abastecido pelo Reservatório da Matinha.

Percebe-se que se encontrou o mesmo resultado para a constante de decaimento nos reservatórios da Matinha, R3 e da ETA do Sistema Piancó.

Para a rede de distribuição do ponto 1, sendo esta abastecida pelo Reservatório R3, proveniente do sistema DAIA, nota-se uma diminuição do coeficiente de degradação no volume do escoamento (Kb) em relação ao reservatório R3, isto pode indicar que há menor quantidade de matéria orgânica a ser tratada nesta região.

Já com relação ao reservatório Vale dos Pássaros, comparando o resultado com o encontrado no da ETA, e também aos demais reservatórios, percebe-se que também há um valor menor do coeficiente Kb encontrado. Um estudo mais aprofundado seria necessário para determinar as causas desta variação.

Tabela 8: Comparativo de degradação no volume de escoamento e rede de distribuição.

Local	Res. Matinha	Res. R3	Res. ETA Sist. Piancó	Res. Vale Pássaros	Rede de Dis. Ponto 1	Rede de Dis. Ponto 2
Data	03 de nov.	02 de nov.	02 de nov.	10 de out.	02 de nov.	03 de nov.
Kb (dia ⁻¹)	0,288	0,288	0,288	0,0576	0,144	0,288

Como pode ser observado, o decaimento do CRL no seio do fluido líquido configurou-se por um comportamento semelhante para os trechos considerados. Nota-se que os ensaios foram realizados no mesmo dia ou com pouco intervalo de tempo, o que possibilitou melhores condições de comparação, devido a temperatura ambiente no dia não interferir nos ensaios e a água bruta captada e tratada com as mesmas características para o dia da realização das análises. O reservatório do Vale dos Pássaros obteve o menor decaimento. O que pode ser explicado, já que o manancial de captação é diferente dos demais reservatórios. Além disso, as análises foram feitas um mês antes, podendo ter variação nas características da água bruta. Para os pontos da rede de distribuição considerados, os valores de decaimento foram satisfatórios. Nota-se que para o ponto 1, o coeficiente de decaimento foi menor quando comparado com o ponto 2. O fato pode ser explicado

considerando que as tubulações estariam em melhores condições, e a distância percorrida pela água foi menor podendo haver menos reação do cloro com a tubulação.

DISCUSSÃO

O uso da informática, com modelos matemáticos, equipamentos de controle hoje bem desenvolvidos e disponíveis no mercado e pessoal preparado para a sua utilização têm sido de grande valia para uma eficiente operação dos sistemas de abastecimento. Clark et al. (1995) destaca a importância desta ferramenta por permitir a previsão de potenciais problemas, a previsão da variação hidráulica, o planejamento de programas de análise de água, a otimização do processo de desinfecção, a avaliação de estratégias de operação e controle da rede, a otimização do volume e número de reservatórios e principalmente a otimização da localização das estações de recloração.

Para Vieira (2013), os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade de água do sistema a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Os instrumentos computacionais são utilizados no campo de projeto e do diagnóstico de funcionamento de sistemas de transporte e distribuição de água, constituindo um complemento importante ao discernimento e experiência dos técnicos envolvidos (Coelho et al., 2006).

De acordo com Vieira (2013), a aplicação de modelos matemáticos no saneamento básico está bastante divulgada e desenvolve-se rapidamente. Existem aplicativos para a simulação hidráulica como, por exemplo, WaterCAD desenvolvido pela Haestad Methods, que em agosto de 2004, fundiu-se a Bentley Systems, e o EPANET da U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

Um dos simuladores mais atrativos para as entidades gestoras, consultores, investigadores acadêmicos e estudantes é o EPANET 2.0. Este é amplamente testado e credível, que beneficia há cerca de uma década de uma alargada comunidade de utilizadores em todo o mundo, fruto de uma filosofia transparente de distribuição gratuita tanto do programa como do seu código computacional (Loureiro e Coelho, 2004).

O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto, a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos (Vieira, 2003).

Este software funciona através de uma interface gráfica baseada numa arquitetura de construção da rede bastante simples. Os blocos que permitem construir a rede são poucos, mas permitem a descrição de redes complexas. Os mais utilizados são o nó e a ligação, sendo que os nós representam pontos da rede onde algo acontece, como um consumo de água, uma perda de carga significativa, uma introdução de espécie química ou por exemplo uma alteração de cota; as ligações são linhas que representam as tubagens que unem os nós, onde estão associadas a perda de carga por rugosidade, a variação de concentração de espécies químicas e os tempos de retenção. Existem também outros blocos, tais como reservatório de nível fixo ou variado, bombas e válvulas (Rossman, 2000, Manual EPANET).

O modelo EPANET também possibilita cálculo das equações de continuidade, de conservação de energia e a relação entre o caudal e a perda de carga. Esta perda de carga hidráulica pode ser calculada segundo Hazen-Williams, Darcy-Weisbach e Chezy-Manning. A primeira delas é mais utilizada devido a sua grande aceitação e ao fato de que o regime de escoamento em sistemas de distribuição de água ser normalmente turbulento (Lansey et al, 2001).

O uso de modelos de simulação para apoio à gestão de sistemas de abastecimento de água é prática comum nos países mais desenvolvidos, Lee e Schwab (2005) afirmaram que nos países desenvolvidos o estabelecimento de um sistema de distribuição para disseminar água potável tem colaborado para a melhoria da saúde pública. Já no Brasil a sua utilização, de maneira rotineira, ainda não se encontra tão popularizada quanto desejável. Estes instrumentos podem contribuir significativamente para a melhoria da qualidade de serviço para as companhias

de saneamento e podem ser de grande utilidade no apoio às atividades de planejamento, projeto, operação e manutenção dos sistemas, permitindo um conhecimento mais aprofundado do funcionamento deles para diversos cenários possíveis, correntes ou excepcionais (COELHO; LOUREIRO; ALEGRE, 2006).

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado é perceptível a eficácia da rede de distribuição. A concentração do cloro residual livre, tanto em residências próximas à ETA, quanto aquelas mais distantes, está dentro dos parâmetros estabelecidos pela Portaria 2.914 (2011).

Além disso, é possível se averiguar que o valor de Kb encontrado é o mesmo para diversos pontos de coleta, sendo ele $0,288 \text{ dia}^{-1}$. Apenas para o dia chuvoso encontrou-se um resultado diferente. Portanto comprova-se que todas as análises se mostraram coerentes, já que o decaimento deve ocorrer de maneira linear independente do ponto estudados. Este variaria somente se houvesse alguma fissura na tubulação, incrustações e afins, o que aumentaria as reações químico-físicas entre o cloro residual e possíveis agentes patogênicos ou elementos químicos.

Percebe-se também a influência que a chuva tem sob os parâmetros avaliados. Ela provoca não só aumento de turbidez nos corpos hídricos e em consequência, na ETA, como também altera o coeficiente de degradação no volume do escoamento (Kb), sendo o valor determinado $0,144 \text{ dia}^{-1}$. Para o reservatório independente, ou seja, que utiliza água proveniente de manancial subterrâneo, encontra-se um Kb inferior aos demais, $0,0576 \text{ dia}^{-1}$, ocasionado pela menor quantidade de matéria orgânica presente nestes corpos d'água.

Desta maneira, a determinação do coeficiente cinético de degradação de CRL foi satisfatória, pois representa o comportamento da degradação da substância estudada ao longo dos trechos da rede de abastecimento de água. Outra consideração percebida é o quanto influente a temperatura é sob o coeficiente de degradação no volume do escoamento (kb). Sendo assim, é ideal o uso de incubadoras durante o período de armazenamento e análise, evitando quaisquer alterações nos resultados.

E ainda, nota-se que a modelagem matemática é uma importante ferramenta para manter o controle da concentração do cloro em uma SAA, bem como verificar a qualidade da água e do sistema em outros diversos parâmetros. Suas vantagens ainda se estendem para a praticidade do manuseio e obtenção de resultado, além de ser economicamente rentável. Para melhores resultados de qualidade da água e comportamento hidráulico, a modelagem do sistema é uma opção extremamente versátil, devido a que permite otimizar toda gestão do Sistema de Abastecimento de Água bem como processo de desinfecção, evita perdas e previne potenciais problemas, entre eles, a variação hidráulica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENTO, H. J. G. "Simulação da qualidade da água em parte de uma rede de abastecimento ao Grande Porto." Outubro, 2012.
2. BRASIL. Lei 11.445, 5 jan. 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Publicado no DOU de 8.1.2007 e retificado no DOU de 11.1.2007.
3. BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.
4. CLARK, R. M. Chlorine fate and transport in drinking water distribution systems: Results from experimental and modeling studies. *Frontiers of Earth Science*, v. 5, n. 4, p. 334–340, 2011.
5. CLARK, R., ROSSMAN, L. A., WYNER L. J. Modeling Distribution System Water Quality: Regulatory Implications. *Journal of Water Resources Planning and management*. 1995.
6. COELHO, S., LOUREIRO, D., ALEGRE, H. Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 2006.
7. DANIELI, R. D. D.; GASTALDINI, M. DO C. C.; BARROSO, L. B. Modelagem do Cloro Residual em Redes de Distribuição – Aplicação ao Sistema de Abastecimento de Santa Maria. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n. 4, p. 201–208, 2006.

8. Donlan, Rodney M. "Biofilms: Microbial Life on Surfaces." *Emerging Infectious Diseases* 8.9 (2002): 881–890. PMC. Web. 4 May 2018.
9. FISHER, I.; KASTL, G.; SATHASIVAN, A. Evaluation of suitable chlorine bulk-decay models for water distribution systems. *Water Research*, v.45, n. 16, p. 4896-4908, Oct. 2011.
10. GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Saneamento básico. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.
11. LANSEY K. E., El-Shorbagy, W., I. AHMED, J. A., Haan, C. T. Calibration assessment and data collection for water distribution networks. *Journal of hydraulic engineering*, 2001.
12. Lee, E. J. Schwab, K.J. Deficiencies in drinking water distribution systems in devel countries. *J Water Health*, 2005.
13. Leite, A. E. B. Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA®, p-94, 2014.
14. LEWIS A., ROSSMAN. EPANet 2 Manual do Utilizador. United States Environmental Protection Agency, Traduzido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Setembro de 2000.
15. LOUREIRO, D., COELHO S.T. Manual do Utilizador EPANET 2.0 – Simulação Hidráulica e de Parâmetros de Qualidade em Sistemas de Transporte e Distribuição de Água (Tradução e Adaptação para língua Portuguesa). IRAR, LNEC, Lisboa, 2004.
16. Michael L. Zierolf, Marios M. Polycarpou, James G. Uber, "Development and Autocalibration of an Input–Output Model of Chlorine Transport in Drinking Water Distribution Systems", *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, VOL. 6, NO. 4, JULY 1998, IEEE.
17. MONTEIRO, L. P.; COVAS, D.; MENAIA, J. F. Modelação do decaimento do cloro em sistemas de distribuição. SEREA - XI Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem, 2012.
18. NASCIMENTO, R. et al. Simulação de alterações numa ETA convencional de porte médio para a produção de água segura / Changes simulation in a conventional ETA midsize to safe water production. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 439–450, 2016.
19. OMS – Organização Mundial da Saúde. (2010) Relatório Mundial da Saúde. Financiamento dos Sistemas de Saúde: O caminho para cobertura universal. Genebra: OMS.
20. RAFAL LANGOWSKI, MIETEK A. BRDYS, "MONITORING OF CHLORINE CONCENTRATION IN DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEMS USING AN INTERVAL ESTIMATOR", *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2007, Vol. 17, No. 2, 199–216, AMCS.
21. RIBEIRO, J.; ROOKE, J. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente ea saúde pública. Juiz de Fora, MG, p. 13, 2010.
22. TORQUATO, A. L.; SANTANA, F. D. DE. COEFICIENTES CINÉTICOS DE DEGRADAÇÃO DE CLORO RESIDUAL CIDADE DE PORTE MÉDIO. p. 1–5, 2016.
23. VIEIRA P., COELHO S.T. Practical conditions for the use of a first order chlorine decay model in water supply. *Proc. Computing and Control for the Water Industry*. 2003.
24. VIEIRA P.; COELHO S.T., LOUREIRO D. Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modeling chlorine decay in water supply. *Journal of Water Supply Research and Technology*, v.53, n.7,p.453-467, Nov, 2004.
25. VIEIRA, L. V. A. Aplicação do modelo de simulação EPANET 2.0 ao estudo das pressões e cloro residual do sistema de abastecimento de água de Angra do Heroísmo. p. 86, 2013.