



ENCONTRO TÉCNICO

Manutenção e desinfecção de reservatórios de água para consumo humano.

Sintra, 25 Março 2009

Tipos e Mecanismos de desinfecção de sistemas de abastecimento de água

Laura MONTEIRO ⁽¹⁾, José MENAIA ⁽²⁾

RESUMO

Os processos de desinfecção usados na indústria da água são complexos no que se refere aos mecanismos que lhe estão subjacentes, às condições físico-químicas em que ocorrem e às características dos agentes biológicos a eliminar. Esta comunicação aborda os tipos e os mecanismos da desinfecção da água e superfícies de sistemas de abastecimento, assim como os factores que condicionam a sua eficácia e eficiência. É dado particular enfoque à desinfecção de reservatórios de água para consumo humano, nomeadamente no que se refere à correcta dosagem de desinfectante e a princípios a respeitar na definição e execução de procedimentos de limpeza e desinfecção.

(1) Engenheira Biológica, Bolseira de Investigação da FCT no Laboratório de Engenharia Sanitária do LNEC

(2) Doutor em Ciências e Engenharia do Ambiente, Chefe do Laboratório de Engenharia Sanitária do LNEC

1 Introdução

Os processos de desinfecção são da maior importância para a produção, transporte e distribuição de água com a devida salubridade.

Neste artigo apresenta-se uma síntese dos diferentes tipos e mecanismos de processos usados na desinfecção de água para consumo humano, e dos principais conceitos que lhes estão subjacentes.

É dado particular enfoque aos reservatórios dos sistemas de abastecimento, porque estes são pontos críticos para a qualidade destes sistemas. Tal decorre sobretudo do relativamente elevado tempo de residência da água nestes sistemas, que é em muitos casos agravado por deficiências dos respectivos projectos. Frequentemente estes não contemplam a necessidade da circulação e mistura tão homogénea quanto possível da água durante o funcionamento das células. Desta limitação hidrodinâmica podem resultar “zonas mortas”, que nalgumas situações correspondem à maior fracção do volume de água armazenado, em que a idade da água é muito superior ao que vai sendo renovado. Para além da possibilidade da ocorrência de zonas em que a concentração de desinfectante residual é nula, a deficiente circulação da água no interior das células favorece a deposição de sedimentos que, para além de favorecerem a degradação da qualidade organoléptica da água, albergam um elevado número de microrganismos (Batté *et al.*, 2003, Benoliel *et al.*, 2009). A par dos que podem ser libertados do biofilme (Menaia *et al.*, 2008), os microrganismos dos sedimentos podem constituir riscos para a saúde do consumidor (Batté *et al.*, 2003), o que é agravado pelo facto dos microrganismos do biofilme e dos sedimentos serem muitíssimo mais resistentes aos desinfectantes do que os que vivem no seio da água (Menaia e Mesquita, 2004)

Este facto e a necessidade de minimizar o uso de desinfectantes, impõem a remoção dos sedimentos e do biofilme das paredes através duma lavagem criteriosa, como uma das condições prévias indispensáveis à eficaz desinfecção de reservatórios.

2 Desinfecção

2.1 Tipos e mecanismos

Por desinfecção entende-se a redução do número de microrganismos activos presentes num determinado volume de água ou numa superfície, seja por inactivação ou por remoção física destes.

A remoção de microrganismos da água pode ser feita por processos físicos, tal como a filtração por membranas de ultra/nanofiltração ou osmose inversa.

A inactivação pode ser alcançada por processos químicos ou físicos. Destes últimos destaca-se a acção da radiação gama ou ultravioleta.

Da incidência da radiação UV sobre os cromossomas microbianos resulta a degradação da estrutura do ADN por formação de dímeros de timina (Figura 1). Este é o principal mecanismo de inactivação de microrganismos por acção deste tipo de radiação.

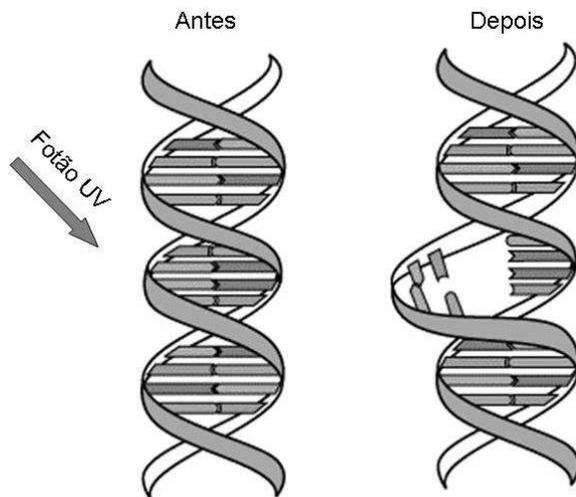


Figura 1. Mecanismo de inactivação celular por incidência de radiação ultravioleta.

Os processos químicos de desinfecção promovem a inactivação microbiológica por desnaturação (e.g., desinfecção com álcoois, aldeídos, compostos fenólicos ou compostos quaternários de amónio) ou por oxidação de constituintes vitais das células microbianas, como o são o ADN, os fosfolípidos, proteínas ou citocromos da membrana plasmática (Figura 2).

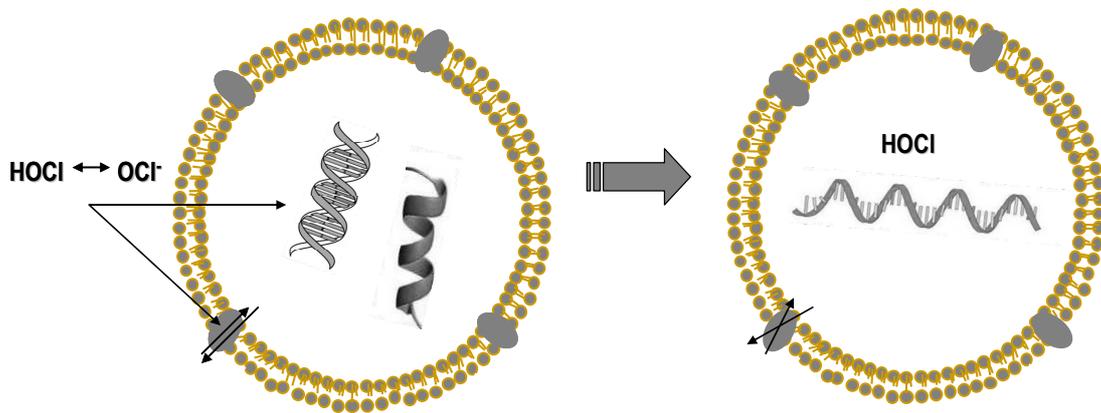


Figura 2. Inativação por degradação de macromoléculas vitais

A acção de desinfectantes químicos pode também consistir na desintegração da membrana plasmática, levando, neste caso, à lise celular (Figura 3).

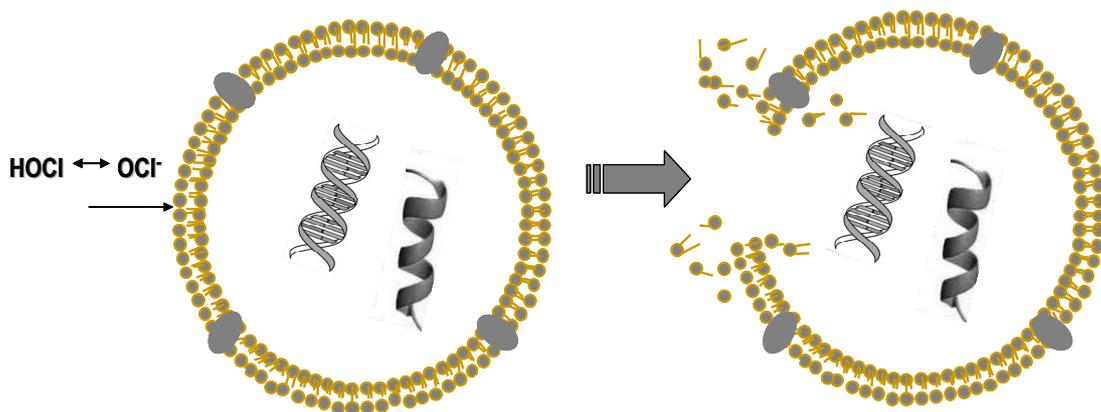


Figura 3. Inativação por degradação da membrana plasmática.

Da degradação das macromoléculas resultam danos irreversíveis para o metabolismo celular (e.g., energético, de transporte) que culminam na morte celular.

As diferentes espécies e formas (e.g., bactérias, vírus, endosporos bacterianos, oocistos de *Cryptosporidium* spp.) apresentam diferentes sensibilidades aos desinfectantes físicos e químicos. Tal depende principalmente da protecção contra a penetração de radiação ou de oxidantes químicos que é conferida pelos constituintes externos de cada espécie ou forma.

2.2 Cinética da desinfecção

A eficiência da desinfecção é geralmente expressa em termos de “percentagem” ou de “logaritmos de redução” do número de agentes biológicos activos. É o que se ilustra no Quadro 1, em que N_0 é a concentração de formas activas inicialmente presentes (t_0) e N o número de formas activas que remanesce após um determinado tempo de contacto (t) com um desinfectante.

Quadro 1. Eficiência da desinfecção expressa em redução do número de log e em percentagem.

N_0 (mL ⁻¹)	N (mL ⁻¹)	N/N_0	log redução	% redução
1x10 ¹⁰	10000000000	1	0	0,000000000%
	1000000000	0.1	1	90,000000000%
	100000000	0.01	2	99,000000000%
	10000000	0.001	3	99,900000000%
	1000000	0.0001	4	99,990000000%
	100000	0.00001	5	99,999000000%
	10000	0.000001	6	99,999900000%
	1000	0.0000001	7	99,999990000%
	100	0.00000001	8	99,999999000%
	10	0.000000001	9	99,999999900%

A cinética de inactivação dos agentes biológicos foi descrita por Chick como sendo de primeira ordem, de acordo com a Equação 1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**:

$$\text{Log}(N / N_0) = -kt \quad (\text{Eq. 1})$$

na qual k é uma constante específica de cada espécie microbiana e cujo valor varia com o tipo de desinfectante e as condições em que este actua (e.g., temperatura, pH), e t é o tempo de contacto do desinfectante com o agente biológico. De acordo com o modelo de Chick, o tempo necessário para que a redução microbiana de uma determinada espécie ocorra em determinada extensão depende apenas da

concentração inicial do agente microbiológico (N_0) e da vulnerabilidade do mesmo ao desinfectante em determinadas condições (k).

Watson propôs que k fosse corrigido de modo a considerar a concentração de oxidante durante a desinfecção Equação 2:

$$k = k' C^n \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo C a concentração de desinfectante e n uma constante empírica. Como o valor de n é geralmente próximo de 1, na prática usa-se uma forma simplificada da equação de Chick-Watson, que toma a seguinte forma:

$$\text{Log}(N / N_0) = -k' Ct \quad (\text{Eq. 3})$$

Desta equação decorre o conceito de Ct , como sendo a dose dum desinfectante que é necessária para produzir uma determinada redução (e.g., log redução) do número de formas activas de um dado agente biológico (Quadro 2). Assim, e para determinadas condições, a eficiência da desinfecção de um oxidante é função da dose (Ct) aplicada deste (mg/L·min), que é expressa pelo produto do tempo de contacto (t) do agente biológico pela concentração (C) do desinfectante.

Quadro 2. Expressão da dose (Ct) de oxidante em termos da eficiência de redução esperada da concentração de formas activas de agentes biológicos.

% remoção	log redução	Ct
90,00	1	CT_{90}
99,00	2	CT_{99}
99,90	3	$CT_{99,9}$
99,99	4	$CT_{99,99}$

Os valores das doses (Ct 's) necessárias para a inactivação das diferentes formas de agentes biológicos pelos oxidantes químicos na desinfecção de águas para consumo humano têm vindo a ser determinados por muitos autores e encontram-se tabulados. Contudo, para além de terem na sua maior parte sido determinadas em condições laboratoriais, as Ct 's publicadas são extremamente diversas, quer quanto às condições experimentais em que foram determinadas (pH e temperatura), quer em relação ao nível de redução a que se referem (e.g., CT_{90} , CT_{99} , $CT_{99,9}$, $CT_{99,99}$).

Tal como qualquer modelo, também o de Chick-Watson apresenta diversos desvios em relação à realidade, devido a imprecisões nos valores de k' e a erros na estimativa de t e de C . Entre outros factores, os valores de k' dependem do estado fisiológico das

células (e.g., fase de crescimento, idade) e da forma microbiana em que estas se encontram (e.g., agregados, biofilme.). É de notar que no modelo de Chick-Watson o valor de Ct é relativo a formas individualizadas, não na forma de biofilme ou integradas em sedimentos, pelo que numa situação concreta de aplicação do modelo, é de esperar que o tempo de contacto necessário seja superior para a mesma eficácia de desinfecção. Por outro lado, a maioria dos valores de Ct que se encontram publicados foram obtidos de testes laboratoriais ou piloto que não reflectem as condições reais de desinfecção nos sistemas (estações de tratamento, reservatórios), nomeadamente no que respeita às condições de mistura (e.g., homogeneidade das concentrações de desinfectante e de agentes biológicos). A existência de trajectos preferenciais distintos para microrganismos e moléculas de desinfectante leva a que o tempo de contacto e/ou a concentração de desinfectante divirjam em maior ou menor grau dos seus valores nominais obtidos com base na determinação do tempo médio de residência hidráulica. Por esta razão, os tempos de contacto que na prática são necessários para obter uma determinada eficiência de desinfecção são geralmente superiores aos que são estimados com base nas Cts publicadas. Para além disso, grande parte das Ct foram obtidas com estirpes de colecção ou culturas de laboratório, cuja sensibilidade aos desinfectantes é muitas vezes diferente das que se encontram no ambiente. Outros aspectos, como a variação sazonal da demanda de cloro da água, influem na concentração de desinfectante que efectivamente contacta com as formas biológicas a inactivar.

Para resolver estas limitações foram desenvolvidos vários modelos com o intuito de ajustar o modelo de Chick-Watson à realidade. Destes, um dos mais populares é o de Hom (Equação 4).

$$\text{Log}(N / N_0) = -k' Ct^m \quad (4)$$

No modelo de Hom o termo t da Equação 3 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** é elevado a um expoente *m*, a determinar empiricamente para cada situação (Figura 4).

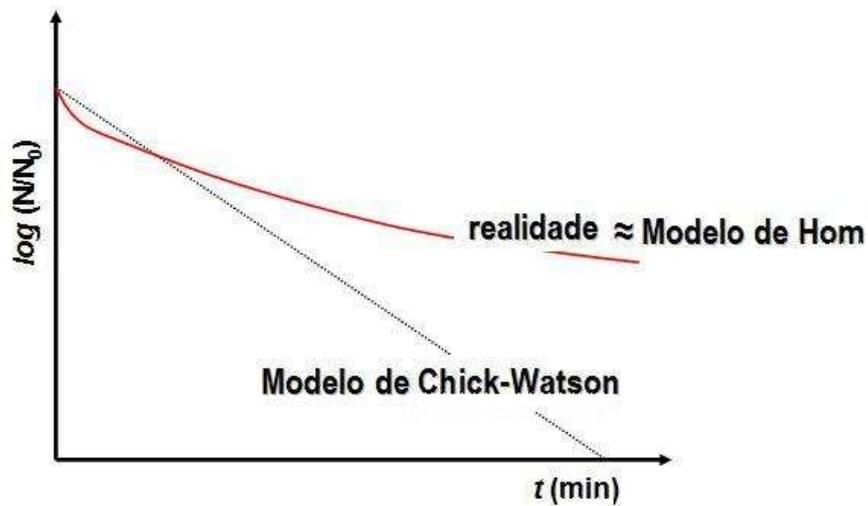


Figura 4. Cinéticas de desinfecção descritas pelos modelos de Chick-Watson e Hom.

Assim, a aplicação prática do modelo de Hom pressupõe a determinação experimental do valor de m para cada situação (e.g., cuba de desinfecção, reservatório) em relação a determinadas formas microbianas da água (e.g., germes totais) ou que são adicionadas como traçadores (e.g., endosporos de *Bacillus* spp.). Deste modo, a constante de Hom (m) passa a integrar todos os factores que na realidade prática influenciam a eficiência da desinfecção, nomeadamente dos que decorrem das condições hidrodinâmicas (e.g., trajectos preferenciais) a que esta é efectuada.

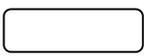
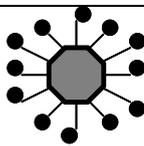
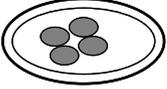
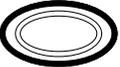
2.3 Resistência à desinfecção

2.3.1 Resistência intrínseca

Como foi referido em 2.1 a acção dos desinfectantes resulta sobretudo do contacto destes com constituintes vitais das diferentes formas de agentes biológicos. Assim, a resistência das diferentes formas microbianas aos desinfectantes é função da capacidade que os seus constituintes externos (e.g., parede das bactérias, cápsides virais) têm para servir de escudo à penetração dos desinfectantes. Por esta razão, e como se ilustra na

Figura 5, o grau de protecção que os respectivos invólucros proporcionam aos agentes biológicos é muito variável e traduz-se em diferenças nas doses de desinfectante que são necessárias para a inactivação dos diferentes tipos de agentes biológicos (Quadro 3).

Figura 5. Doses de ozono (CT₉₉) para inativação de agentes biológicos em função da capacidade dos respectivos invólucros para contrariar a penetração do desinfectante.

Organismo	<i>E. coli</i>	Poliovírus	Giardia	Criptosporídio	Bactérias	<i>Ascaris</i>
Forma	 células	 viriões	 cistos	 oocistos	 endosporos	 ovos
CT ₉₉ ^(a) (mg/L·min)	0,02	0,20	0,60	4,40	10,00	»225,00

^(a) valores publicados para temperaturas entre 4°C e 22°C (adaptado de WHO, 2006)

Os agentes biológicos mais sensíveis à acção dos desinfectantes são as bactérias que se encontram na forma vegetativa (células viáveis). A resistência destas varia de espécie para espécie e em função do estado fisiológico em que estas se encontram. De uma forma geral, as espécies Gram positivas (e.g., *Streptococcus faecalis*) são mais resistentes aos desinfectantes do que as Gram negativas (e.g., *Legionella* spp., *Pseudomonas* spp., *E. coli*), devido ao facto de as Gram positivas terem uma parede celular com uma camada mais espessa de peptidoglicano. No entanto, quando se encontram na forma de endosporos, as bactérias (e.g., *Clostridium* spp., *Bacillus* spp.) são das formas mais resistentes aos desinfectantes, no que apenas são suplantadas pelos ovos de helmintas.

Os vírus (viriões) animais e os bacteriófagos são mais resistentes à desinfecção do que as formas vegetativas de bactérias, mas são mais sensíveis do que os (oo)cistos de protozoários (e.g. *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*). Esta resistência varia nos vários tipos de vírus em função da constituição do invólucro, sendo genericamente mais sensíveis os bacteriófagos e os rotavírus, e mais resistentes os vírus da hepatite A e os enterovírus (e.g., poliovírus).

Os cistos e oocistos de protozoários são das formas biológicas mais resistentes à oxidação química e, juntamente com os endosporos de bactérias e os ovos de helmintas, devem merecer particular atenção na desinfecção de água para consumo humano. Os cistos e oocistos sobrevivem nestas formas mesmo em ambientes hostis e durante grandes períodos de tempo. As doses de cloro necessárias para inactivar cistos são muito elevadas e para oocistos chegam a ser impraticáveis. Esta resistência deve-se ao espesso invólucro que impede o contacto das moléculas de desinfectante com os constituintes celulares.

Quadro 3. Doses de cloro para eliminação de 2 log (adaptado de WHO, 2006)

<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>		Vírus		Bactérias	
	pH	C°	pH	C°	pH	C°
	7-7,5	10	7-7,5	10	7,0	5
Ct ₉₉ = ∞	Ct ₉₉ = 41		Ct ₉₉ = 8		Ct ₉₉ = 3	

As formas infecciosas de helmintas são as mais resistentes à acção dos desinfectantes, sendo mais de 50 vezes mais resistentes ao ozono que os oocistos de *Cryptosporidium* spp. (Velásquez *et al.*, 2004).

É ainda de referir que a estrutura exterior das formas microbianas constitui uma resistência maior à desinfecção química do que à desinfecção por radiação ultravioleta, já que esta consegue penetrar mais facilmente nos invólucros do que as moléculas dos desinfectantes.

2.3.2 Resistência extrínseca

Todos os factores extrínsecos que sirvam de protecção física aos agentes biológicos, dificultando ou impedindo o contacto do oxidante químico com os mesmos, diminuem a eficiência da desinfecção. Tal é o caso dos agregados de partículas em suspensão (flocos) e dos sedimentos que se encontram no fundo de reservatórios e condutas, e que albergam diversas formas de microrganismos no seu interior. Também as células que integram os biofilmes estão protegidas da acção dos desinfectantes por uma camada de polissacáridos (Menaia e Mesquita, 2004). A aplicação directa de um desinfectante químico a estas formas, nas doses em que é usado para inactivar células planctónicas, resulta apenas na oxidação da camada superficial das partículas. Aos agentes biológicos que se encontrem dentro de flocos ou nas camadas mais internas de biofilme, a concentração de desinfectante a que estão sujeitos é muito inferior à que é na realidade doseada, pois além de uma parte do oxidante ser consumida na superfície do agregado ou biofilme, a restante tem de difundir para o seu interior.

Para minimizar estes factores de resistência à desinfecção, a desinfecção de reservatórios deve ser precedida por operações de remoção de biofilme e sedimentos. Desta forma aumenta-se a eficácia da desinfecção e minimizam-se as doses de

desinfectante a utilizar, reduzindo os custos associados e a eventual formação de subprodutos.

3 Desinfectantes

Os oxidantes mais comuns na desinfeção de águas para consumo humano são o cloro ($\text{HOCl} / \text{OCl}^-$), o dióxido de cloro (ClO_2), a monocloramina (NH_2Cl), o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) e o permanganato (MnO_4^-). Destes, o oxidante com maior potencial de redução e, portanto, com maior capacidade desinfectante, é o ozono ($E_h = 2,07 \text{ V}$). Embora com menor expressão, podem ser alternativamente usados processos avançados de oxidação (AOP). Na sua maioria, estes baseiam-se na acção do radical hidroxilo (von Gunten, 2003) Existe uma grande variedade de AOP's (Quadro 5), dos quais os mais usados no tratamento de água para consumo humano têm por base o ozono (von Gunten, 2003).

Quadro 4. Exemplos de tecnologias utilizadas para a produção do radical hidroxilo

Processos com ozono	Processos sem ozono
Ozono a elevado pH (8-10)	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV}$
Ozono + UV	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV} + \text{sais de ferro}$
Ozono + H_2O_2	Ultras sons
Ozono + UV + H_2O_2	Oxidação catalítica
Ozono + TiO_2
Ozono + $\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$	

No que respeita à desinfeção de reservatórios, o cloro é o desinfectante mais utilizado (AWWA, 2002)). À semelhança do que há muito se passa na indústria alimentar, também a aplicação directa de peróxido de hidrogénio é utilizada com eficácia na desinfeção de paredes de reservatórios.

3.1 Potencial de redução vs. CT

O poder desinfectante dos compostos oxidantes é função do seu maior ou menor potencial de redução, tal como se ilustra na figura seguinte.

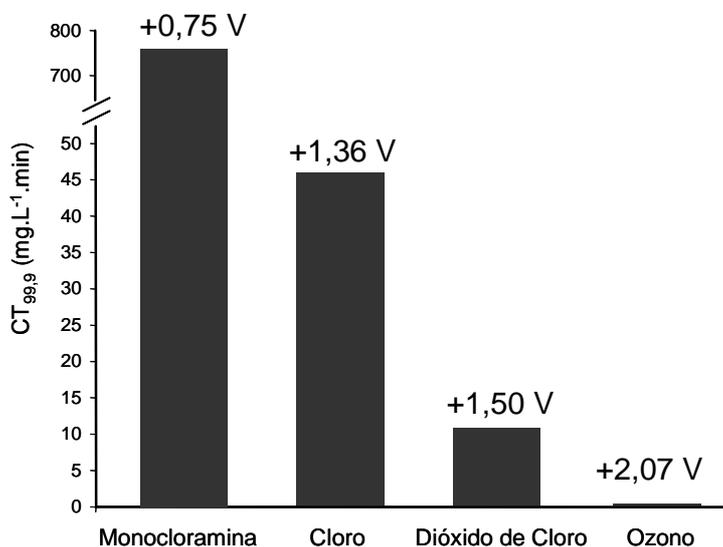


Figura 6. Potencial redox e doses de oxidante necessárias para inativar 3 log dos cistos de *Giardia* (adaptado de WHO, 2006)

Regra geral, quanto maior é o potencial de redução do desinfectante, menor é a Ct necessária para atingir o mesmo nível de redução da concentração de determinado agente biológico. Infelizmente são poucos os casos em que se encontram publicados valores de CT em que possam ser quantitativamente baseadas comparações quanto à eficácia relativa de cada desinfectante para inativar cada uma das diferentes formas de agentes biológicos, pois em muitos casos as Ct's foram determinadas em condições de pH e temperatura diferentes ou estes parâmetros nem sequer são indicados pelos autores.

4 Parâmetros físico-químicos que influenciam a desinfecção

A temperatura e o pH da água são parâmetros determinantes da eficiência da desinfecção química por influenciarem as reacções responsáveis pela inactivação dos agentes biológicos, nomeadamente a velocidade a que ocorrem. Assim, as Ct que são estabelecidas para uma dada eficiência de desinfecção não podem deixar de ser associadas aos valores de temperatura e pH a que se referem.

4.1.1 Temperatura

A velocidade a que os desinfetantes químicos penetram as diferentes formas e raegem com os seus constituintes vitais aumenta com a temperatura seguindo uma relação de Arrhenius (Lambert, 2003).

$$k = A e^{(-Ea / RT)} \quad (\text{Eq. 5})$$

em que k é a velocidade da reacção, A é a constante de Arrhenius, Ea é a energia de activação, R é a constante dos gases perfeitos e T a temperatura absoluta. Uma vez que o aumento da temperatura traduz-se em maior velocidade da reacção, o tempo necessário para atingir uma determinada redução na concentração microbiana é menor (para a mesma concentração de desinfetante), pelo que a dose necessária para inactivar determinada forma biológica diminui com o aumento da temperatura de desinfecção (Figura 7. Influência da temperatura na inactivação de *Mycobacterium gordonae* por cloro (adaptado de Le Dantec *et al.*, 2002). Figura 7).

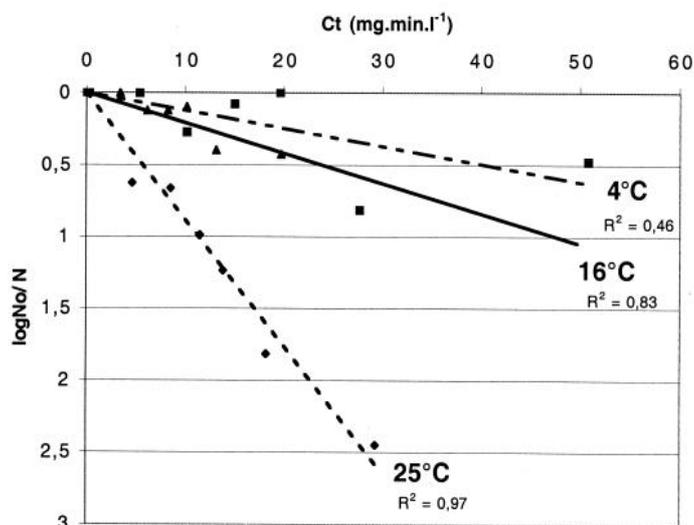


Figura 7. Influência da temperatura na inactivação de *Mycobacterium gordonae* por cloro (adaptado de Le Dantec *et al.*, 2002).

4.1.2 pH

O pH da água influencia em maior ou menor grau a eficácia de todos os desinfetantes, ao determinar as cargas iónicas das superfícies dos invólucros dos agentes biológicos). No entanto só a desinfecção por cloro e permanganato são geralmente afectadas com uma intensidade com significado prático (USEPA, 2005).

No que se refere ao cloro, o pH influencia a sua capacidade desinfetante ao determinar a sua especiação e potencial redox.

Da dissolução de cloro gasoso ou de hipoclorito na água resulta a formação das duas espécies, o ácido hipocloroso (HOCl) e o ião hipoclorito (OCl⁻), numa proporção que depende do pH da água. Na gama de valores de pH inferiores a 7,3 (pKa), a proporção de HOCl aumenta à medida que o pH diminui.

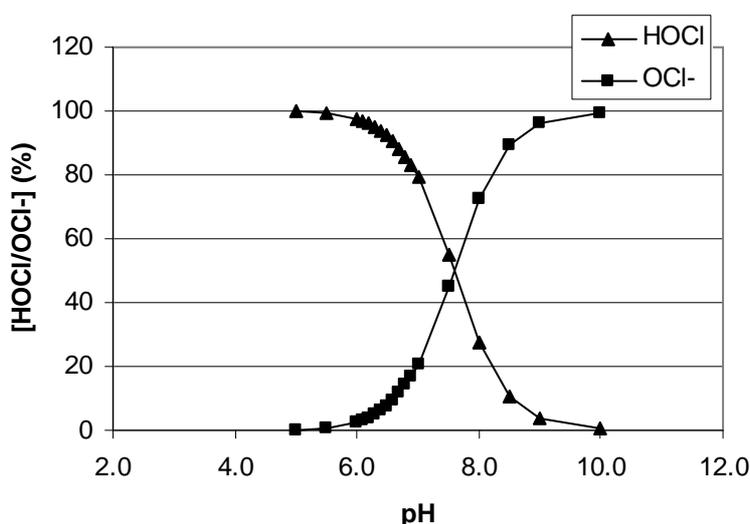


Figura 8. Variação das concentrações relativas de hipocloroso e hipoclorito em função do pH da água.

Por ser electricamente neutro, o ácido hipocloroso não é repellido pelas cargas negativas que predominam na generalidade das superfícies externas dos agentes biológicos e penetra mais facilmente para o interior destes.

Ao favorecer a formação de HOCl em detrimento da concentração de OCl⁻, a pH ácido é maior a eficácia de desinfecção do cloro, uma vez que o hipocloroso é um oxidante mais forte que o hipoclorito (Figura 9).

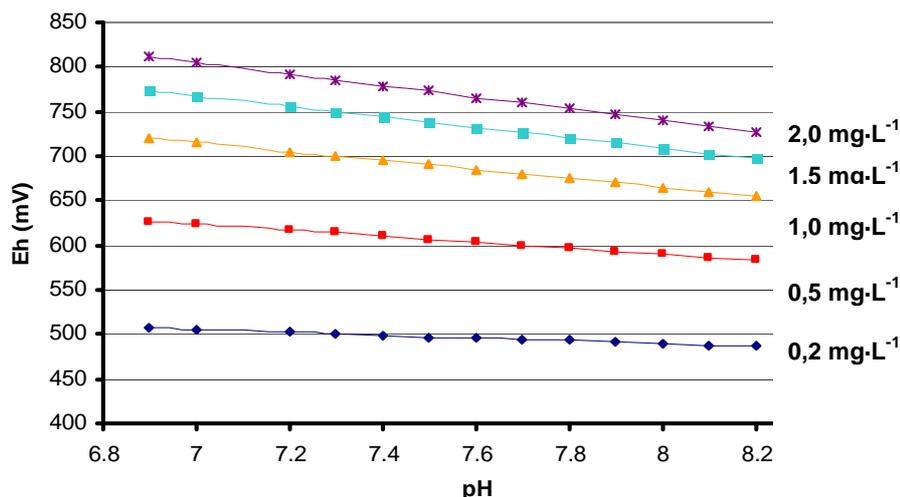


Figura 9. Variação do potencial de oxidação-redução do cloro com o pH da água .

Portanto, e porque a concentração relativa do ácido hipocloroso é menor a pH > 7,3, a pH alcalino são necessárias maiores concentrações (C) de cloro ou mais longos tempos de contacto (t) para obter o mesmo nível de redução da concentração de um determinado agente biológico (Quadro 5).

Quadro 5. Doses de cloro necessárias para inactivar células de *E. coli* em 2 log (adaptado de LeChevallier e Au, 2004)

°C	pH	Ct (mg/L•min)
5	6,0	0,04
5	10,0	0,92

4.1.3 Decaimento da concentração de desinfectante

Para além das limitações que podem advir da heterogeneidade da distribuição de desinfectante na massa de água (abordadas em 2.2), a estimativa da dose de desinfectante (Ct) é complicada pelo facto da concentração deste (C) decair durante o tempo de contacto (t) com a água. Regra geral este decaimento é mais rápido nos primeiros minutos de contacto, em que é satisfeita a demanda imediata de desinfectante, que resulta do consumo deste por reacções com os constituintes mais reactivos da água. Após oxidação destes, o decaimento do desinfectante prossegue, mas a uma velocidade mais lenta. As cinéticas do decaimento para satisfação da

“demanda imediata” e da “demanda total” variam com o tipo de desinfectante e com a composição da água, para além doutros factores (e.g., temperatura).

Na Figura 10, que ilustra a cinética de decaimento do cloro adicionado à água de um piloto que simula as condições existentes em condutas de sistemas de distribuição, é fácil distinguir o período inicial de decaimento mais rápido (~ 10 min.) e o subsequente consumo de cloro a uma velocidade mais lenta.

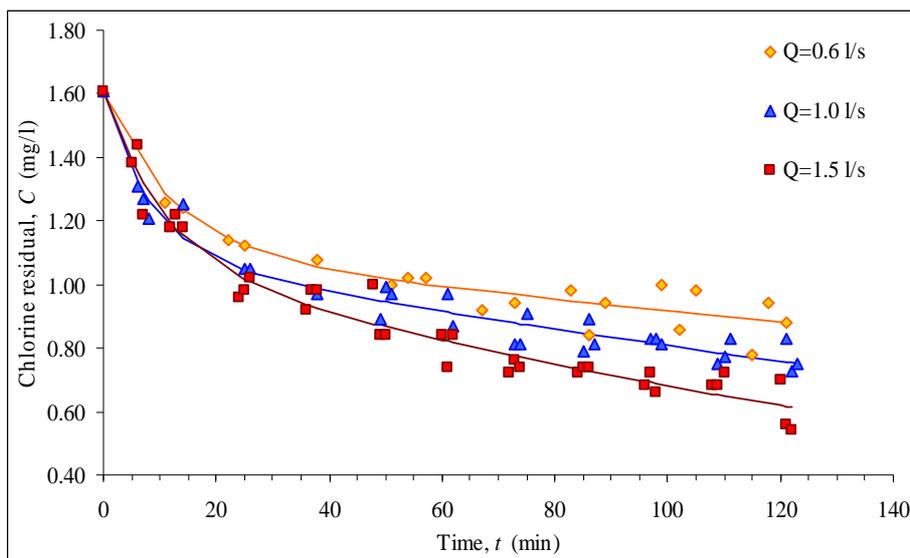


Figura 10. Decaimento de cloro residual ao longo do tempo e para diferentes caudais (adaptado de Menaia e Coelho, 2003)

A Figura 10 mostra ainda que o consumo de cloro no seio da água é influenciado pelo regime de mistura, que nos sistemas de distribuição é determinado pela velocidade de escoamento (Menaia *et al.*, 2003). Assim, as taxas a que o cloro decai dependem das condições hidrodinâmicas do sistema. Nos sistemas de distribuição a taxa de decaimento do cloro varia com os regimes de escoamento, onde é incrementada por aumentos da velocidade da água.

Face à complexidade do cálculo de C na estimativa da dose (Ct) que ocorre num determinado sistema, por segurança é prática comum considerar como concentração de desinfectante a que remanesce (concentração residual) após o tempo de contacto t (e.g., concentração após oxidação primária em ETA).

5 Considerações finais

A desinfecção das paredes e chão de reservatórios pode ser feita por adição do desinfectante a água que encha as células completamente ou através da sua aplicação directa sobre as superfícies a desinfectar, com escovas ou esponjas, ou com pulverizador. Na aplicação directa é difícil estimar e controlar a concentração (C) e o tempo de contacto (t) efectivos, pelo que o desinfectante é aplicado a concentrações mais elevadas.

O tipo, dose, condições (e.g., pH, temperatura) e método de aplicação do desinfectante são determinantes para a eficácia da desinfecção de reservatórios de água para consumo humano. Para além disso, e como acima se referiu, a presença de biofilme ou sedimentos limita a acção dos desinfectantes. Por esta razão, a desinfecção de paredes e chão das células deve ser precedida por uma criteriosa remoção de biofilme e sedimentos.

Há que ter em conta que o uso de desinfectantes pode dar lugar à formação de subprodutos tóxicos (e.g., trihalometanos, ácidos haloacéticos, etc., etc.), nomeadamente através de reacções com compostos orgânicos, incluindo os que são usados na higienização (e.g., ácidos orgânicos) que precede a desinfecção.

Por esta razão nenhum reservatório deve ser reposto em serviço antes de garantir a remoção tão completa quanto possível dos compostos usados na sua higienização e desinfecção, e seus subprodutos, através do necessário número de lavagens com água potável.

6 Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) no âmbito do Projecto POCI / ECM / 60109 / 2004, “Um Sistema para Planeamento e Gestão de Emergências em Serviços de Abastecimento de Água”.

7 Bibliografia

AWWA - American Water Works Association (2002) Standard C652-02: Disinfection of Water-Storage Facilities.

Batté, M., Appenzeller, B.M.R., Grandjean, D., Fass, S., Gauthier, V., Jorand, F., Mathieu, L., Boualam, M., Saby, S., Block, J.C. (2003) Biofilms in Drinking Water Distribution Systems, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2 (2-4), 147-168.

Benoiel, M., Menaia, J., Neto, C., Monteiro, L., Ferreira, E., Ribeiro, A., Solheiro, V. (2009) "Microbiological characterization of Lisbon drinking water service reservoirs sediments with respect to public health hazards", submitted to "15th International Symposium on Health-Related Water Microbiology" 31 May - 5 June 2009, Naxos, Greece.

Lambert, R. J. W. (2003) A model for the thermal inactivation of microorganisms, *Journal of Applied Microbiology*, 95, 500-507.

LeChevallier, M. W., Au, K-K. (2004) *Water Treatment and Pathogen Control -Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water*, WHO - World Health Organization

Le Dantec, C., Duguet, J.P., Montiel, A., Dumoutier, N., Dubrou, S., Vincent, V. (2002) Chlorine disinfection of atypical mycobacteria isolated from a water distribution system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 1025–1032.

Menaia, J, Coelho, S.T. (2003) *Advances and Current Research on Chemically-Based Disinfectants*, IWA Leading Edge Conference on Drinking Water and Wastewater Treatment Technologies, 26-28 May 2003 - Noordwijk/Amsterdam, The Netherlands

Menaia, J., Coelho, S.T., Lopes, A., Fonte, E., Palma, J. (2003) Dependency of Bulk Chlorine Decay Rates on Flow Velocity in Water Distribution Networks, *Water Supply*, 3(1-2), 209–214

Menaia, J., Mesquita, E. (2004) Drinking water pipe biofilms: present knowledge, concepts and significance, *Water Science & Technology -Water Supply*, 4, 2, 115–124.

Menaia, J., Benoliel, M., Lopes, A., Neto, C., Ferreira, E., Mesquita, E., Paiva, J. (2008) Assessment of Lisbon drinking water distribution network biofilm colonization and associated hazards, *Water Science and Technology - Water Supply*, 8(4), 421-426.

Velásquez, M. T. O., Martínez, J. L., Monge-Ramírez, I., Rojas-Valencia, M. N. (2004) Destruction of helminth (*Ascaris suum*) by ozone, *Ozone Science and Engineering*, 26, 359-366.

von Gunten, U. (2003) Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation, *Water Research*, 37, 1443-1467.

USEPA - Environmental Protection Agency (2005). Technologies and costs document for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule and final stage 2: Disinfectants and disinfection byproducts Rule. Office of Water, EPA 815-R-05-013.

USEPA - Environmental Protection Agency (1999). Alternative disinfectants and oxidants guidance manual, Office of Water, EPA 815-R-99-014.

WHO - World Health Organization (2006) Guidelines for Drinking Water-Quality, first addendum to third edition, Volume 1 - Recommendations, Geneva