

# **A MISTURA EM RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Um caso de estudo

**RICARDO GOMES DA NÓBREGA PINTO PIZARRO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

---

Co-Orientador: Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo

JUNHO DE 2012

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha família e amigos

*“ Sejam quais forem os resultados com êxito ou não, o importante é que no final cada um possa dizer: ‘fiz o que pude’.”*

*Pasteur, Louis*



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar o autor quer agradecer ao orientador Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente pela escolha do tema que se revelou bastante interessante, pela partilha de saber e por disponibilizar os meios necessários que tornaram possível a realização deste documento.

Ao co-orientador Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo queria também agradecer o tempo disponibilizado e a partilha de saber ao longo da execução deste documento.

Ao pessoal das Águas do Noroeste - Centro Operacional do Cávado pelas conversas que tive com eles, que se revelaram esclarecedoras para entender o funcionamento da rede de distribuição de água. Em especial o autor queria agradecer ao Sr. José Matos, Sr. Fernando Barbosa, Sr. Sérgio Maia pela ajuda e entusiasmo, indispensáveis durante todo o trabalho de campo.

Por último e sem querer dramatizar, queria aqui prestar os meus agradecimentos às mesmas pessoas a quem dedico este documento. Não pela sua execução, mas pelo que a conclusão deste documento representa: Um completar de uma etapa de vida, um virar de uma página. A todos os que me ajudaram e moralizaram ao longo de todo este tempo: Um muito obrigado! Porque, em boa verdade, sem eles nada disto era possível!



## **RESUMO**

Os reservatórios são uma componente fundamental em qualquer sistema de distribuição, uma vez que garantem flexibilidade e eficiência ao próprio sistema. No entanto, a sua própria função na rede faz com que a água tenha tendência a permanecer no seu interior. Tempo de permanência excessivo e a estagnação da água no interior dos reservatórios podem acelerar a sua deterioração. Não tendo sido projetados para recolher amostras representativas da totalidade da água armazenada, em muitos reservatórios a monitorização e otimização da qualidade da água no seu interior tem tendência a ser desconsiderada. Consequentemente pode ter de ser necessário gastar mais desinfetante para garantir uma concentração final a aduzir à rede, conduzindo também a uma formação suplementar de subprodutos de desinfecção, nocivos a saúde humana.

Recentemente, estas considerações têm sido estudadas. Soluções têm sido testadas e revelado ser eficientes tanto para o controlo como para a otimização da qualidade da água em vários tipos de reservatórios.

Este documento, numa primeira fase, aborda parte do pensamento corrente sobre a mistura em reservatórios e a sua influência sobre a qualidade da água no seu interior. Em seguida o caso de estudo é apresentado: Numa célula de 220 m<sup>3</sup> de um reservatório localizado em Alheira a água foi analisada antes e depois de uma simples modificação na conduta de entrada. Em paralelo a eficácia do próprio método de análise, que se pretende simples, também foi testada. Após a modificação na conduta de entrada a diminuição do decaimento de cloro dentro do reservatório foi evidente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mistura, tempo de permanência, reservatórios, temperatura, concentração de cloro.



## **ABSTRACT**

Tanks are a key component in any distribution system, since they grant flexibility and efficiency to the system. However, its own function causes the water to remain inside them. Excessive resident time and water stagnation inside the tanks can accelerate the water deterioration. In Many tanks, that haven't been designed for sampling all water inside them, water quality monitoring and optimization tend to be unconsidered. Consequently, it could be necessary spend more disinfectant to assure optimal concentration in the network, leading to additional formation of disinfection by products, harmful to the human health.

Recently, these considerations have been studied. Solutions have been tested and proven effective to control and for optimizing the water quality in many tank types.

Firstly, this document reviews a part of the current thinking about mixing in tanks and its influence regarding water quality inside it. Then the case of study is presented: In a tank from Alheira with 220 m<sup>3</sup> capacity, the water was analysed before and after a simple inlet pipe modification. In parallel the efficiency of the analysing method, which was designed to be simple, was tested as well. After the inlet pipe modification, the reduction of chlorine decay inside the tank was evident.

**KEYWORDS:** Mixing, resident time, tanks, temperature, chlorine concentration.



## **RÉSUMÉ**

Les réservoirs sont un élément clé de tout réseau de distribution, car ils assurent la flexibilité et l'efficacité du système. Cependant, sa propre fonction dans le réseau fait que l'eau a une tendance à y demeurer. Un temps de séjour excessif et la stagnation de l'eau à l'intérieur du réservoir peut accélérer sa détérioration. N'ayant pas été conçu pour recueillir des échantillons représentatifs de toute l'eau stockée, dans de nombreux réservoirs l'optimisation et surveillance de la qualité de l'eau a tendance à être ignoré. En conséquence, peut être nécessaire d'utiliser plus de désinfectant afin d'assurer une concentration finale relais au réseau, qui conduisant à la formation supplémentaire de sous-produits de la désinfection qui sont nocifs pour la santé humaine.

Récemment, ces considérations ont été étudiées. Des solutions ont été testées et se sont avérées efficaces à la fois pour le contrôle et pour l'optimisation de la qualité de l'eau dans différents types de réservoirs.

Ce document, dans un premier temps, couvre une partie de la réflexion actuelle sur le mélange en réservoirs et son influence sur la qualité de l'eau qui y demeure. Puis l'étude de cas est présentée: Dans une cellule de 220 mètres cube d'un réservoir situé à Alheira, l'eau a été analysée avant et après une simple modification dans le conduit d'entrée. En parallèle l'efficacité de la méthode d'analyse même, destinée à être simple, a également été testée. Après la modification dans le conduit d'entrée la réduction de la décroissance du chlore a été évidente.

**MOTS CLÉS:** Mélange, temps de séjour, réservoirs, température, concentration de chlore.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
RÉSUMÉ .....	vii
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. DEFINIÇÕES .....	1
<b>2. MISTURA E RESIDÊNCIA DA ÁGUA EM RESERVATÓ- RIOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. ESCOAMENTO MISTURADO VS. ESCOAMENTO FIFO .....	3
2.2. MISTURA .....	5
2.2.1. A INFLUÊNCIA DO JACTO DE ÁGUA NA MISTURA .....	5
2.2.2. O EFEITO DA TEMPERATURA NA MISTURA .....	7
2.2.3. A INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO RESERVATÓRIO, LOCAL E ORIENTAÇÃO DA CONDUTA DE ENTRADA NA MISTURA .....	8
2.2.4. CURTO-CIRCUITO .....	10
2.2.5. ESTRATIFICAÇÃO .....	11
2.2.6. MISTURA ATIVA .....	12
2.3. TEMPO DE RESIDÊNCIA .....	12
<b>3. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>15</b>
3.1. RESERVATÓRIO ABORIM/TAMEL .....	17
3.2. RESERVATÓRIO ALHEIRA .....	17
3.3. MODIFICAÇÃO NA CONDUTA DE ENTRADA .....	18
<b>4. MÉTODO DE ANÁLISE .....</b>	<b>21</b>
4.1. RECOLHA DE DADOS PARA ANÁLISE .....	21
4.2. INDICADORES .....	24
4.2.1. INDICADORES PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE MISTURA .....	24
4.2.1.1. Temperatura .....	24

4.2.1.2. Concentração de cloro livre .....	25
4.2.2. INDICADORES PARA AVALIAR O TEMPO DE RESIDÊNCIA.....	26
4.2.2.1. Decaimento de cloro .....	26
4.2.2.2. Temperatura .....	27
4.2.3. INDICADORES DE MELHORIAS NAS CONDIÇÕES DE MISTURA .....	28
<b>5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
5.1. RESERVATÓRIO DE ABORIM/TAMEL .....	30
5.2. RESERVATÓRIO DE ALHEIRA .....	24
5.3. REGISTO DO DECAIMENTO DE CLORO NUM RECIPIENTE À PARTE .....	36
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Armazenamento sem mistura (à esquerda) e com mistura (à direita).....	3
Fig.2.2 - Planta (à esquerda) e corte (à direita) de um reservatorio que favorece o armazenamento sem mistura.....	4
Fig.2.3 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada igual à residente.....	5
Fig.2.4 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente.....	8
Fig.2.5 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais alta que a residente.....	8
Fig.2.6 – Distribuição do traçador aos 30 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente.....	9
Fig.2.7 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente.....	9
Fig.2.8 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente.....	10
Fig.2.9 – Fenómeno de curto-circuito.....	10
Fig.2.10 – Reservatório estratificado.....	11
Fig.2.11 – Distribuição do traçador aos 2,30 e 60 min – Velocidade do jacto 8fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente.....	12
Fig.3.1 – Mapa com o trajeto da água desde a captação até aos reservatórios estudados.....	16
Fig.3.2 – Trajeto da água desde o reservatório de Oliveira até aos reservatórios estudados.....	17
Fig.3.3 – Conduta de admissão de água em Aborim/Tamel (à esquerda); Válvula altimétrica (à direita). .....	18
Fig.3.4 – Admissão de água após admissão.....	19
Fig.3.5 – Mapa com o trajeto da água desde a captação até aos reservatórios estudados.....	2
Fig.4.1 – Fluxograma com o procedimento do método de análise.....	22
Fig.4.2 – Local de amostragem.....	23
Fig.4.3 – Acesso ao interior do reservatório para recolha de amostras.....	23
Fig.4.4 – Colheita de amostras no interior do reservatório.....	23
Fig.4.5 – Exemplo da variação da temperatura em vários pontos do reservatório.....	24
Fig.4.6 – Medição “in situ” da temperatura da água.....	25
Fig.4.7 – Medição “in situ” da concentração de cloro presente na água.....	25
Fig.4.8 – Exemplo da permanência da água em vários pontos do reservatório.....	26
Fig.4.9 – Recipiente de armazenamento para controlo do decaimento de cloro.....	27

Fig.4.10 – Exemplo da evolução da concentração de cloro presente na água em vários pontos do reservatório antes e depois da modificação na conduta de entrada.....	28
Fig.5.1 – Localização dos pontos de amostragem .....	29
Fig.5.2 – Representação da distribuição do cloro dentro do reservatório.....	30
Fig.5.3 – Medições do dia 15 de maio, uma semana após o enchimento do reservatório .....	31
Fig.5.4 – Medições do dia 21 de maio, com o reservatório a funcionar em condições normais .....	32
Fig.5.5 – Medições do dia 12 de junho, 5 dias após enchimento do reservatório e o aumento da dosagem de cloro .....	33
Fig.5.6 – Medições do dia 26 de junho, 5 dias após a modificação na conduta de entrada e o enchimento do reservatório.....	34
Fig.5.7 – Medições do dia 29 de maio, 1 dia após enchimento do reservatório e o aumento da dosagem de cloro .....	35
Fig.5.8 – Medições do dia 15 de junho, 1 dia após a modificação na conduta de entrada e o enchimento do reservatório.....	36
Fig.5.9 – Registo do decaimento de cloro .....	37

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 – Formulas para cálculo do tempo de enchimento necessário para se obter uma mistura completa em instalações de armazenamento.....	6
--	---

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

CFD – Computer fluid dynamics

cfs – Pés americanos cúbicos por segundo ( 1 pé americano = 0,3048 metros)

FIFO – Frist in, frist out

ft – Pés americanos

g – Constante de gravidade

MG – Mega galões americanos (1 galão americano = 3,78 Litros)

Re – Número de Reynolds

# 1

## INTRODUÇÃO

Os reservatórios são elementos fundamentais em qualquer sistema de distribuição e tradicionalmente ao longo dos anos, têm sido dimensionados para reduzir flutuações de pressão na rede, regularizar o funcionamento das estações de tratamento e das bombas, para garantir reservas para o combate a incêndios e outras emergências como por exemplo falhas no fornecimento de energia ou roturas em condutas de admissão principais. Ou seja, resumidamente, os reservatórios são construídos para melhorar a eficiência e a flexibilidade do sistema. Para atingir estes objetivos os reservatórios tem de ter adequada capacidade de armazenamento, para dar resposta aos piores cenários hidraulicamente possíveis definidos por cada entidade gestora.

No entanto estas considerações hidráulicas contrastam com a crescente preocupação com a qualidade da água que se tem assistido nos últimos anos e que se prevê cada vez mais exigente no futuro. É nos reservatórios com excessiva capacidade de armazenamento, subutilizados onde a água tem maior tempo de permanência, que os problemas com a qualidade de água tendem a ser maiores. Não é por isso seguro, nos dias de hoje, afirmar que um grande reservatório é um bom reservatório. Torna-se portanto fundamental no dimensionamento de reservatórios ter em conta a qualidade e monitorização da água que neles vai ser armazenada.

Na realidade, muitos dos reservatórios que operam hoje em dia não foram concebidos para otimizar e monitorizar a qualidade de água que neles fica armazenada, sendo por isso a dinâmica e a qualidade da água no seu interior desconhecida ou pelo menos difícil de conhecer. Este facto faz com que haja potencial para a ocorrência de fenómenos como curto-circuitos ou estratificação da água dentro do reservatório, originando zonas onde a água armazenada tem um tempo de permanência excessivo. Consequentemente problemas como o recrescimento de bactérias, necessidade de maiores quantidades de desinfetante para manter uma concentração ideal a aduzir à rede, formação suplementar de subprodutos da desinfecção nocivos a saúde humana, entre outros, podem ocorrer.

Este documento tem como objetivo por um lado rever parte do pensamento corrente sobre qualidade de água em reservatórios. Por outro analisar e testar a eficiência que uma pequena alteração, estrategicamente concebida num reservatório, tem na qualidade da água que nele circula.

### 1.1 DEFINIÇÕES

**Reservatório** – Instalação de armazenamento de água tratada em sistemas de distribuição.

**Mistura** - Processo de mistura entre a água que entra no reservatório com a água residente.

**Tempo de residência/permanência** – Duração média do tempo que a água reside dentro do reservatório.

**Recirculação** – Processo através do qual, a água após permanecer dentro do reservatório volta a circular na da rede de distribuição.

## 2

# MISTURA E RESIDÊNCIA DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

Os reservatórios são elementos fundamentais em qualquer sistema de distribuição garantindo eficiência e flexibilidade à operacionalidade do próprio sistema. No entanto considerando apenas a qualidade da água, o seu impacto é tendencialmente negativo pois os reservatórios são locais preferenciais para o decaimento da concentração de desinfetante presente na água. Consequentemente, formação de subprodutos de desinfecção, recrescimento de bactérias, entre outros podem ocorrer.

Fatores que contribuem para a contaminação da água no interior dos reservatórios são vários (e.g. acessos, revestimento das paredes), mas em muitos casos a sua deterioração é provocada por longos períodos de retenção que se deve fundamentalmente:

- À subutilização do reservatório (i.e. fracas taxas de recirculação);
- À má mistura dando origem a que a água tenha trajetórias preferenciais dentro do reservatório, criando potencial para que haja zonas do reservatório onde a água se deposita, estagna e consequentemente se deteriora.

### 2.1 ESCOAMENTO MISTURADO VS. ESCOAMENTO FIFO

Idealmente, a água pode circular dentro de um reservatório de duas maneiras: Uma em que a água desde que entra até que sai é conduzida dentro do reservatório através de muros guia sem se misturar, de modo a que a água que entra em primeiro lugar seja também a primeira a sair, um regime de escoamento FIFO (*frist in, frist out*). E outra em que a água entra dentro do reservatório e se mistura completamente com a residente criando-se uma solução homogenia dentro do reservatório.

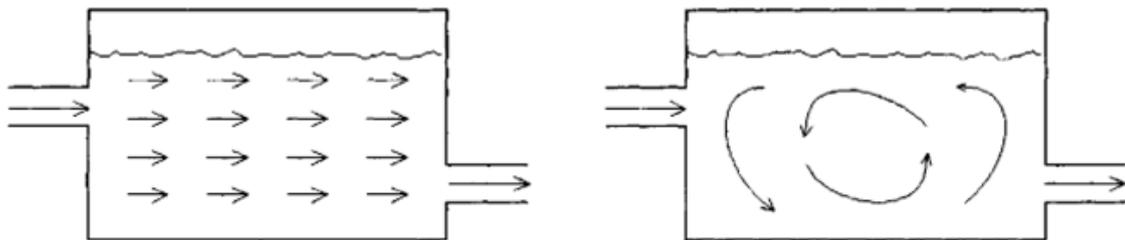


Fig.2.1 – Armazenamento sem mistura (à esquerda) e com mistura (à direita) [5]

Um regime de escoamento FIFO, exemplificado na Fig. 2.2, tem como vantagem o facto de o tempo de residência da água à saída do reservatório ser próximo do tempo teórico, (Ver eq 2.3). O que torna previsível o comportamento da água dentro do reservatório e conseqüentemente mais fácil de controlar. No entanto, para que este género de escoamento seja realmente atingido, provavelmente é necessário que um grande número de muros guia seja integrado no interior do reservatório. Estas barreiras para além de, como é óbvio, constituírem um investimento adicional do próprio reservatório e lhe retirarem capacidade de armazenamento. Como é sabido são também locais propícios ao desenvolvimento de bio-filmes que consomem o desinfetante dissolvido na água e aceleram a sua deterioração.

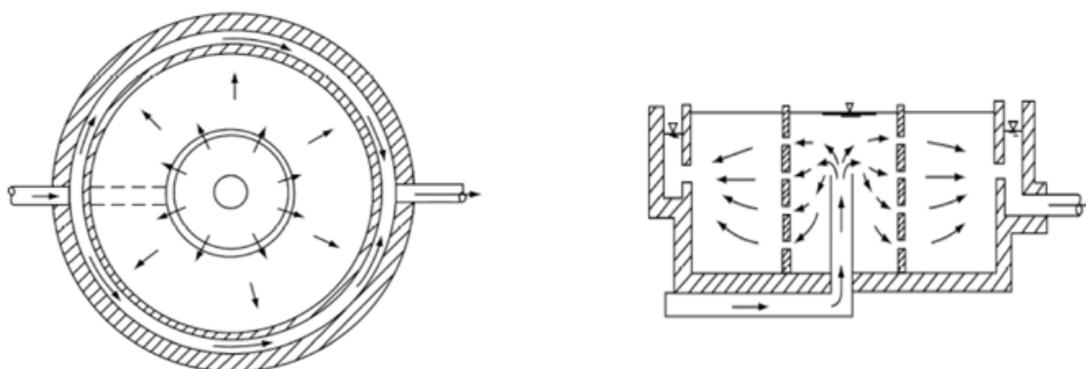


Fig 2.2 - Planta (à esquerda) e corte (à direita) de um reservatório que favorece o armazenamento sem mistura [6].

Ora o mesmo já não acontece num regime de escoamento que privilegia a mistura. Condições próximas da mistura perfeita têm sido atingidas em reservatórios apenas através do jacto de entrada de água sem o auxílio de estruturas especiais, agitadores ou difusores (Baur and Eisenbart, 1982; Boulos et al., 1996; Grayman and Clark, 1993; Hammer and Marotz, 1986; Kennedy et al., 1993; Poggenburg et al., 1981).

O facto de a taxa de decaimento de cloro presente na água ser exponencial (Fair et al., 1948), ou seja aumenta quanto maior for a concentração de cloro presente na água, constitui outra vantagem de um tipo de escoamento que privilegia a mistura. É fácil perceber que a concentração de cloro presente na água armazenada num reservatório que privilegia a mistura é periodicamente renovada, uma vez que a concentração superior de cloro presente no jacto de entrada tem tendência a dispersar-se pelas parcelas de água onde a concentração é menor. Ora o mesmo já não acontece num escoamento FIFO e por isso a concentração de cloro presente na água à entrada reservatório, neste tipo de regime, terá de ser tendencialmente maior para assegurar uma concentração ótima a aduzir a rede. Conseqüentemente, maior é também a taxa de decaimento de cloro.

Do exposto, percebe-se que para reservatórios em redes de distribuição seja preferível regimes de escoamento que privilegiem a mistura. Por seu lado os regimes de escoamento FIFO tem tendência a ser mais adequados a outro tipo de situações, como por exemplo certas etapas de tratamento onde é necessário que cada parcela de água tenha aproximadamente o mesmo tempo de contacto com o desinfetante.

## 2.2 MISTURA

Prever as trajetórias tridimensionais de um jacto de entrada de água em contacto com a água residente de uma geometria fechada, como é a de um reservatório, é algo de bastante complexo. A tarefa complica-se se entrarmos em conta com os outros fatores que também influenciam as correntes de circulação da água dentro do reservatório. Estes fatores são a diferença da temperatura entre a água de entrada e a residente, a dinâmica de entrada e saída de água que caracteriza um reservatório numa rede de distribuição, a localização e orientação da ou das condutas adutoras e de saída, ou a própria geometria do reservatório. Para que mais facilmente se ganhe alguma sensibilidade do modo como cada um influencia a mistura, estes fatores serão discutidos em seguida separadamente. No entanto, deve-se ter em conta que estes fatores estão simultaneamente presentes na dinâmica de um reservatório e que, além disso, estão intimamente relacionados.

### 2.2.1 A INFLUÊNCIA DO JACTO DE ÁGUA NA MISTURA

Do senso comum sabe-se que para misturar qualquer fluido é necessário uma fonte de energia, e em reservatórios essa fonte de energia é normalmente fornecida pelo jacto de entrada de água. Assim que o jacto entra em contacto com a água residente, transmite-lhe energia. Este facto faz com que a água residente, anteriormente estagnada, seja arrastada pelo jacto criando-se correntes de circulação. As correntes de circulação, por um lado são tanto mais fortes quanto maior for a quantidade de movimento (*produto do caudal pela velocidade*) do jacto de entrada e por outro vão-se expandindo enquanto o jacto durar, obtendo-se a mistura.

Assim sendo, para se obter uma solução homogénea em todo o reservatório é necessário que o jacto de entrada tenha uma determinada duração. A seguinte figura obtida através dos resultados dos estudos conduzidos por Duer\*, em que a cor vermelha representa a concentração máxima de traçador e o azul-escuro sem traçador, representa bem a variação do grau de mistura com o tempo de duração do jacto:

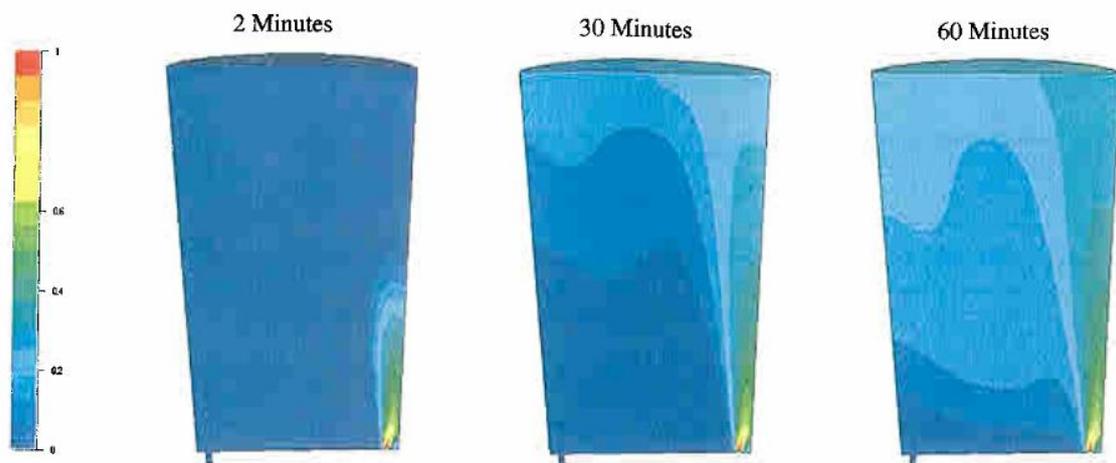


Fig.2.3 – Distribuição do traçador aos 2, 30 e 60 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada igual à residente [1]

\* Neste documento os resultados obtidos pelos estudos de Duer serão bastantes utilizados para ilustrar fenómenos que o autor pretende descrever, daí valer a pena conhecer os moldes em que os estudos foram realizados:

Os estudos de rastreio foram realizados num modelo CFD (Computacional Fluid Dynamics) de um standpipe (reservatório em que a altura é maior que o diâmetro) com capacidade para 1,5 MG (aprox. 5700 m<sup>3</sup>), 53 pés (aprox. 16,15 m) de diâmetro e uma altura de água de 94 pés (aprox. 28,65m). Com uma conduta de entrada e saída com 16 polegadas (aprox. 405 mm).

Simplificações:

- Simulações feitas apenas durante o ciclo de enchimento;
- Caudal de entrada e saída constante;
- Nível de água constante;
- Os efeitos da temperatura das paredes e da superfície da água não foram considerados (simplificação razoável visto que a água superficial ou diretamente em contacto com as paredes do reservatório representam, normalmente e neste caso específico, um volume muito inferior ao corpo total da água presente no reservatório)

Ao longo dos anos, a mistura de através de jatos tem sido utilizada em várias indústrias para misturar fluidos em instalações de armazenamento. Mais recentemente, investigadores tem usado essa experiência para a adaptar para reservatórios de água potável. A título de curiosidade o resultado de vários estudos reportando-se ao tempo necessário para se obter uma mistura completa em instalações de armazenamento são resumidos no seguinte quadro:

Quadro I – Formulas para cálculo do tempo de enchimento necessário para se obter uma mistura completa em instalações de armazenamento [5]

Investigadores	Formula	Constante	Observações
Fossett and Prosser (1949)	$\frac{KD^2}{M^{0,5}}$	K = 8	D = Diâmetro do reservatório M = Quantidade de movimento do jacto de entrada
Van de Vusse (1959)	$\frac{KD^2}{M^{0,5}}$	K = 9	
Okita and Oyama (1963)	$\frac{KH^{0,5}D^{1,5}}{M^{0,5}}$	K = 4,9	H = Nível de água
Fox and Gex (1956)	$\frac{KH^{0,5}D}{Re^{1/6}M^{2/3}g^{1/6}}$	Re < 5000 K (Depende das unidades)	Re = Numero de Reynolds g = Constante de gravidade
Rossmann and Grayman (1999)	$KV^{2/3}/M^{1/2}$	K = 10,2	V = volume do reservatório

Mais recentemente, (Grayman, et al.,2000):

$$FT = \frac{9}{3600} \times V_{min}^{2/3} \times \frac{d}{Q} \quad (2.1)$$

Onde:

FT = Duração do jacto de entrada em horas;

d = Diâmetro da conduta de entrada (ft);

Q = Caudal médio de entrada (cfs);

$V_{min}$  = Volume mínimo típico diário (ft<sup>3</sup>).

Assim é possível teoricamente calcular a duração do ciclo de enchimento (jacto de entrada) para que se obtenha uma mistura completa dentro do reservatório. Consequentemente a percentagem necessária de volume recirculado para se obter uma mistura completa, pode-se obter através da seguinte equação (Grayman, et al.,2000):

$$\% \text{ Volume recirculado} = \frac{FT \times Q}{V_{max}} \times 100 \quad (2.2)$$

Onde:

FT = Duração do ciclo de enchimento;

Q = Caudal médio de entrada;

$V_{max}$  = Volume máximo típico diário.

No entanto deve-se ter atenção ao facto de as equações anteriores serem independentes da diferença de temperatura entre a água de entrada e a água residente, entre outros fatores já mencionados que podem ser determinantes no processo de mistura.

## 2.2.2 O EFEITO DA TEMPERATURA NA MISTURA

A água atinge o seu pico de densidade aos 4 graus centígrados. A partir deste valor, quer aumente ou diminua a sua temperatura, a água torna-se progressivamente menos densa. Este facto faz com que, se existirem diferenças de temperatura entre a água de entrada e a água residente, se crie uma fonte adicional de movimento da água no interior do reservatório. Se, por exemplo, o jacto de água aduzida ao reservatório for mais frio que a água residente é também mais denso, pesado e portanto tem tendência a afundar-se. Quanto maior for essa diferença de temperatura maior é o potencial para que a água se afunde, dificultando a mistura na parte superior do reservatório. Ora o inverso também é válido, se água de entrada for mais quente vai flutuar até a superfície enquanto que a água residente vai permanecer no fundo. As seguintes figuras representam bem estes fenómenos:

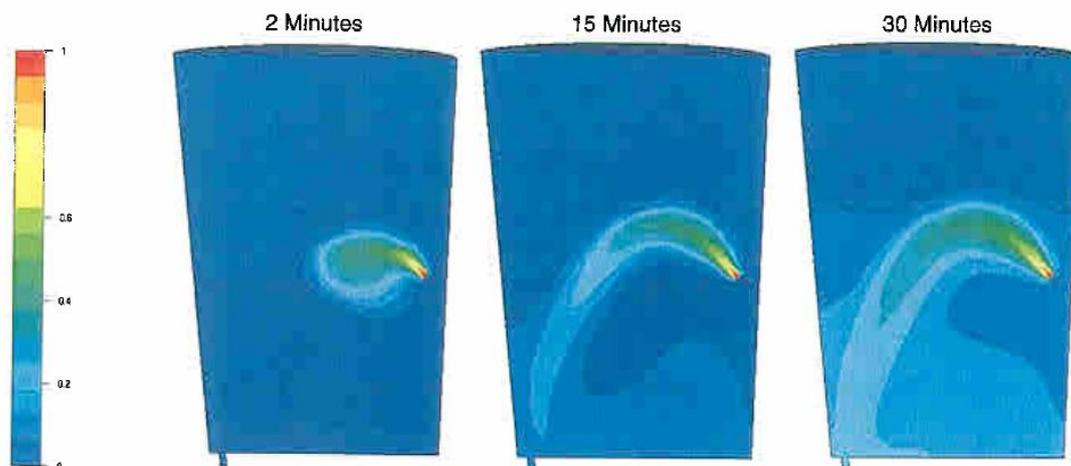


Fig.2.4 – Distribuição do traçador aos 2, 15 e 30 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente [1]

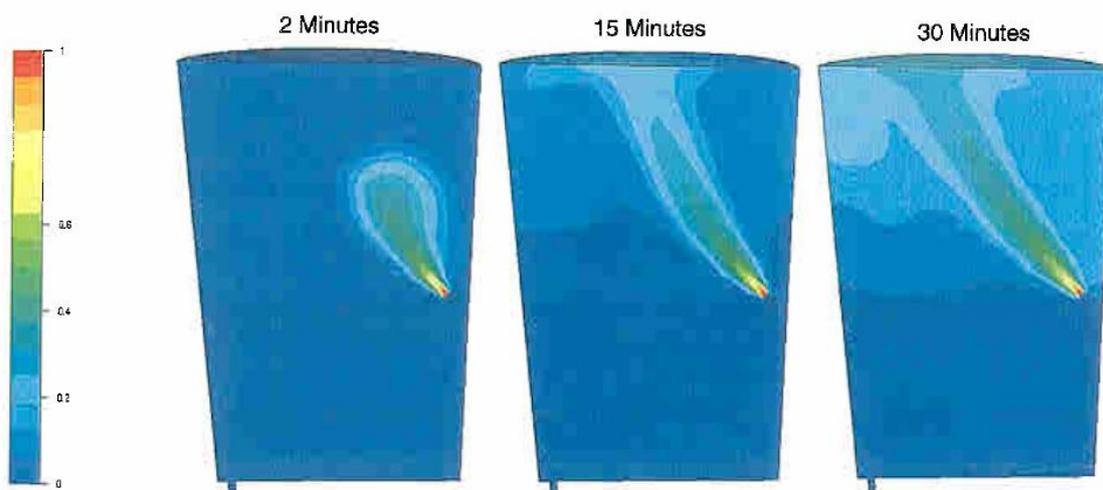


Fig.2.5 – Distribuição do traçador aos 2, 15 e 30 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais elevada residente [1]

### 2.2.3 A INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO RESERVATÓRIO, LOCAL E ORIENTAÇÃO DA CONDUTA DE ENTRADA NA MISTURA

A escolha do local e orientação da conduta de entrada pode ser determinante para a obtenção ou não de uma boa mistura. O objetivo é tirar o máximo partido do jacto de entrada maximizando a sua distância percorrida até encontrar um obstáculo (paredes do reservatório, fundo ou superfície da água). A dificuldade reside em prever a sua trajetória visto que ela depende de vários fatores.

A figura seguinte representa dois reservatórios, no caso da esquerda a conduta adutora está no fundo do reservatório e orientada na vertical, enquanto que à direita a conduta está elevada e orientada a 45° com a horizontal, as características do jacto são idênticas nos dois casos. Após 30 minutos, é fácil

verificar que o reservatório da direita tem uma percentagem de água misturada muito maior. No entanto, se a temperatura do jacto de entrada fosse superior à temperatura da água residente era de prever que o cenário se invertesse.

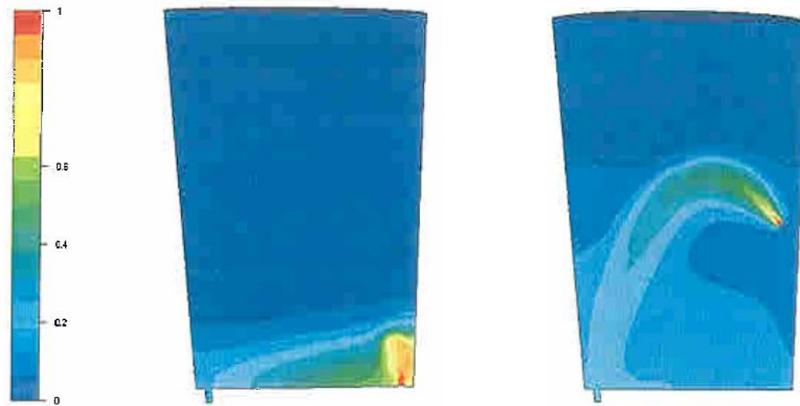


Fig.2.6 – Distribuição do traçador aos 30 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente [1]

É interessante reparar também na influência que a geometria do reservatório da direita tem na mistura. Poder-se-ia pensar que a água mais fria e densa ao embater no fundo do reservatório estagnasse, no entanto as correntes de circulação ao embaterem nas fronteiras do reservatório mudam de direção, e neste caso, fazem com que a zona debaixo do jacto fique também misturada.

Ainda que pareça óbvio, vale a pena considerar o efeito que o número de entradas de água tem na mistura:

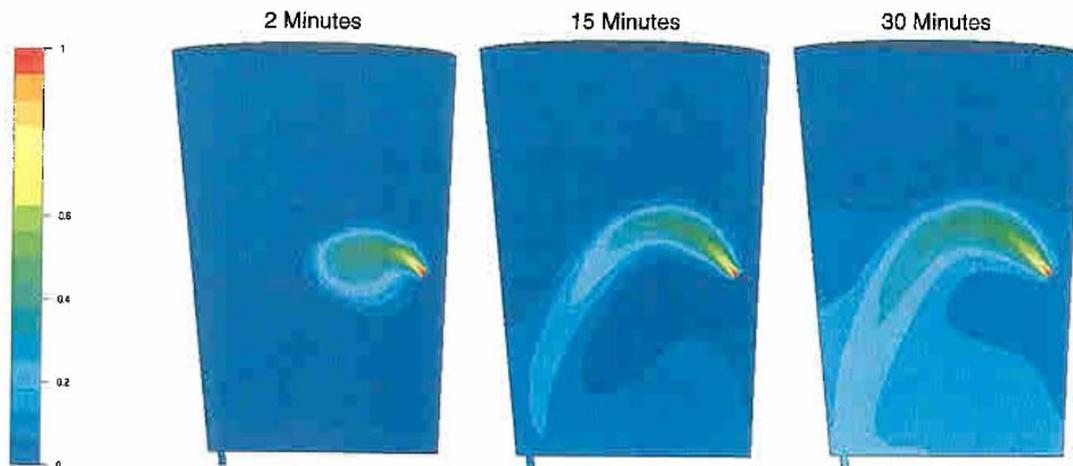


Fig.2.7 – Distribuição do traçador aos 2, 15 e 30 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente [1]

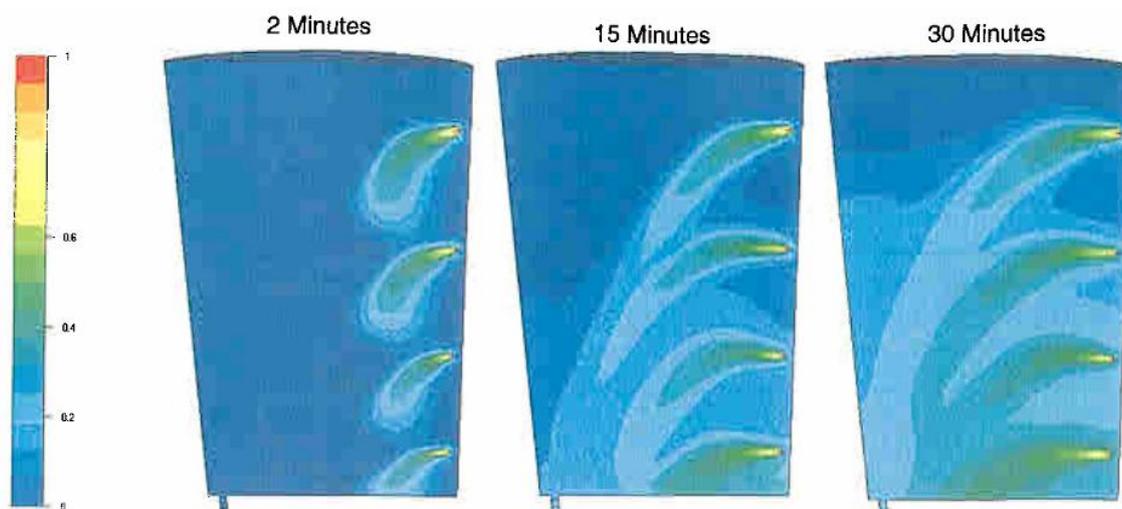


Fig.2.8 – Distribuição do traçador aos 2, 15 e 30 minutos  
Velocidade do jacto 2fps; Temperatura de 12 graus mais baixa que a residente [1]

É fácil constatar, através das figuras, que o reservatório com mais entradas obtém uma mistura muito mais rápida e eficiente. Este efeito é análogo ao das piscinas municipais que pelo facto de terem várias entradas de água ao longo do seu perímetro, obtêm uma dispersão do desinfetante mais rápida e eficiente.

#### 2.2.4. CURTO-CIRCUITO

Quando dentro de um reservatório se criam condições para que quando a água que acaba de entrar seja também a primeira a sair (*Last in, Frist out*) estamos presentes do fenómeno de curto-circuito.

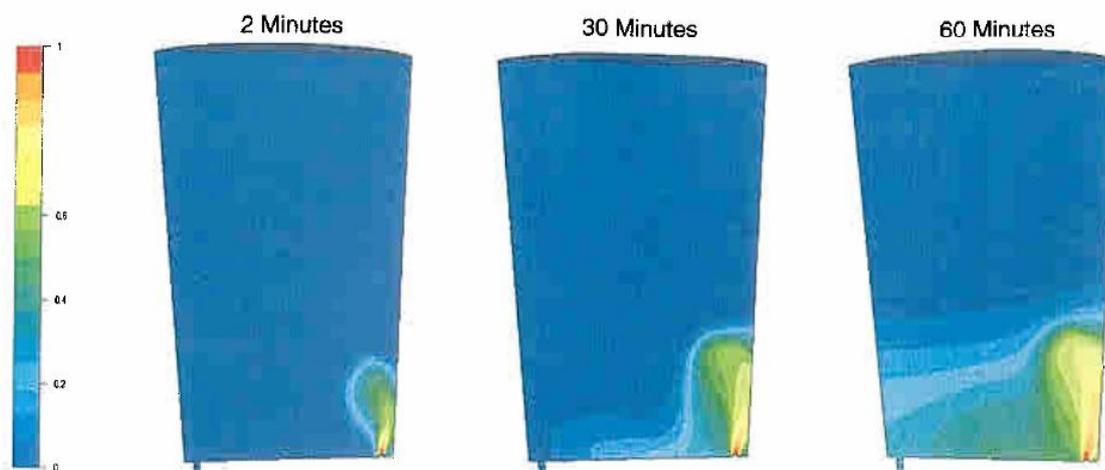


Fig.2.9 – Fenómeno de curto-circuito

A figura mostra bem o fenómeno, em que a água que entra no reservatório acaba por ser a primeira a sair. À priori o curto-circuito não é problemático se for anulado com o tempo, mas se persistir, água deteriorada pode ficar depositada no reservatório. É interessante frisar, que amostras recolhidas para análise fora do reservatório irão sempre indicar que a água é de boa qualidade até que os níveis de água do reservatório baixem para dar resposta a uma emergência (incêndio, falha de energia), fazendo com que água com elevado tempo de residência entre na rede.

### 2.2.5 ESTRATIFICAÇÃO

A água estagnada dentro de um reservatório tende a aproximar-se a temperatura ambiente, quer seja a temperatura do ar que a rodeia ou das paredes do reservatório que a envolvem. Este facto cria potencial para que, se a água estagnar, se crie diferenças de temperatura significativas entre o jacto de entrada e a água residente. Consequentemente e principalmente se este fenómeno persistir no tempo, a água presente no reservatório pode estratificar-se, ou seja formarem-se volumes de água dentro do reservatório com características diferentes que impedem a sua mistura.

Mais concretamente, um reservatório estratificado contém duas ou mais camadas imiscíveis de água no seu interior com diferentes temperaturas. Consequentemente camadas de água mais quentes ou frias podem ficar depositadas em certas zonas do reservatório, criando potencial para alterações do comportamento da água no interior do reservatório. Estas alterações podem ir desde acelerar as reações químicas no corpo da água, uma vez que a velocidade das reações químicas aumenta com o aumento da temperatura. Ou até num caso extremo, caso a camada de água estagnada seja bastante mais fria, à formação de gelo à superfície da água no reservatório. Embora neste último caso, exceção feita talvez a reservatórios elevados e apenas em certas zonas do país, é um cenário pouco provável em Portugal.

A figura pode ser perfeitamente usada para representar um reservatório fortemente estratificado.

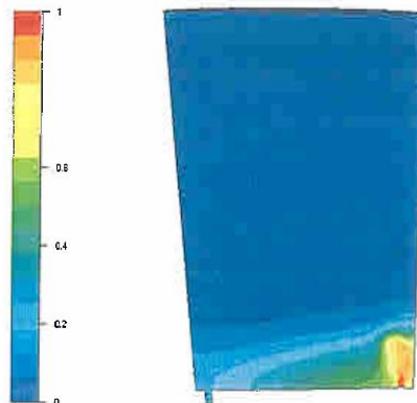


Fig.2.10 – Reservatório estratificado

A figura em baixo prova que uma estratégia eficiente para combater a estratificação num reservatório, é aumentar a quantidade de movimento do jacto de entrada. Repare-se que do caso anterior para o próximo a única variável que se altera é a velocidade do jacto de entrada e consequentemente a quantidade de movimento. Esta variação num caso real pode ser obtida, por exemplo: diminuindo a secção da conduta adutora do reservatório.

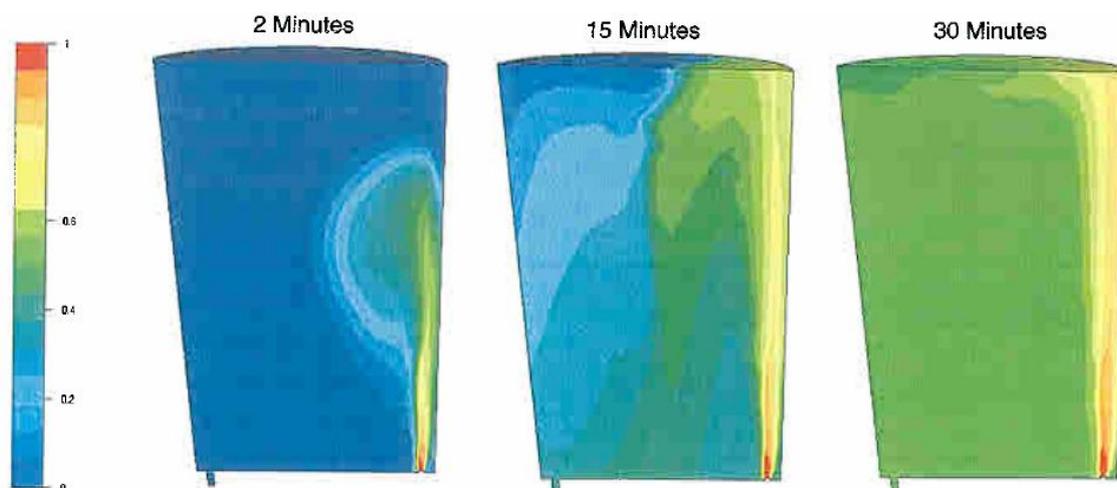


Fig.2.11 – Distribuição do traçador aos 2, 15 e 30 minutos  
Velocidade do jacto 8fps; Temperatura de entrada 12 graus mais baixa que a residente [1]

### 2.2.6 MISTURA ATIVA

Até agora, a mistura em reservatórios foi abordada numa perspetiva estática (mistura passiva). No entanto, em redes de distribuição os reservatórios são dimensionados para operar com diferentes níveis de água, variando o volume armazenado à custa de uma fonte de energia (i.e. diferenças de pressão, bombas, gravidade). Ora, estas fontes podem também ser manobradas para alterar os níveis de funcionamento dos reservatórios, minimizando por um lado o volume excessivo armazenado no reservatório, e por outro maximizando a duração dos ciclos. Como já foi referido estes fatores podem ter uma influência determinante na mistura.

Uma correta combinação entre a operacionalidade do reservatório e estilos de mistura passiva (e.g. orientação ou a quantidade de movimento do jacto de entrada), tem provado ser eficiente para atingir uma mistura completa e manter a qualidade da água dentro dos reservatórios (Duer, 2011).

## 2.3 TEMPO DE RESIDÊNCIA

A permanência excessiva da água dentro dos reservatórios é um fator importante a ter em conta no que diz respeito à sua deterioração. Como referido anteriormente, devido a uma má mistura, zonas no interior do reservatório podem se tornar propícias à deposição da água. O aumento do tempo de residência cria potencial para o crescimento de bactérias, perda de desinfetante residual que dificultam a tarefa de manter de uma forma consistente e uniforme uma concentração de cloro livre na água a aduzir à rede. No entanto é importante referir que boas condições de mistura, não é suficiente para garantir a qualidade da água dentro do reservatório. Se a água dentro do reservatório não recircular, vai se deteriorar independentemente das condições de mistura. Ou seja se demanda de água aduzida à rede representar uma pequena fração do volume da água armazenada dentro do reservatório, inevitavelmente a água vai ter dificuldade em sair do reservatório e consequentemente vai se deteriorar.

O tempo de residência (em dias) médio da água, independentemente das condições de mistura, num reservatório pode ser estimado teoricamente através da seguinte expressão (Mahmood et al, 2005):

$$\text{Tempo de residencia} = \frac{V_{max}}{V_{max}-V_{min}} \times \frac{1}{N} \quad (2.3)$$

Onde,

$V_{min}$  = Volume mínimo típico de água no reservatório em cada ciclo de enchimento / esvaziamento

$V_{max}$  = Volume máximo típico de água no reservatório em cada ciclo de enchimento / esvaziamento

$N$  = Numero de ciclos por dia que é dado pela seguinte expressão:

$$N = \frac{24}{\text{Tempo de cada ciclo (ench./esva.)}} \quad (2.4)$$

Kirmeyer et al. (1999) recomenda uma recirculação completa da água dentro do reservatório em cada 3 a 5 dias como um ponto de partida. No entanto a taxa de recirculação ideal para cada reservatório depende da qualidade da água à entrada do reservatório, da sua reatividade e das características da própria rede de distribuição em que se insere.

Tempo de residência recomendados (water reserch center, 2009):

- Menos de 4 dias é desejável
- Entre 4 e 7 dias é aceitável
- Mais de 7 dias é indesejável



# 3

## CASO DE ESTUDO

O objetivo deste estudo consiste fundamentalmente em ganhar sensibilidade para o efeito que o tempo de permanência e as condições de mistura da água tratada em reservatórios têm na qualidade da água. Mais concretamente este estudo incide nas seguintes atividades:

- Avaliar a mistura em reservatórios;
- Conceber e testar a eficiência de um método<sup>1</sup> para avaliar a mistura e o tempo de permanência da água em reservatórios;
- Avaliar o efeito que uma modificação, de baixo custo, na condução de admissão tem na mistura e consequentemente na qualidade da água no interior do reservatório.

Para isso, como caso de estudo, foram escolhidos dois dos reservatórios periféricos que abastecem o município de Barcelos:

- Reservatório Aborim/Tamel;
- Reservatório Alheira.

A água que abastece estes dois reservatórios provém do rio Cávado. A água é captada e tratada na estação de tratamento de Areias de Vilar pertencente ao sistema de abastecimento de água das Águas do Noroeste (centro operacional do Cávado). Após o tratamento, a água segue o seu trajeto até aos dois reservatórios conforme a figura 3.1.

Imediatamente após o reservatório de Oliveira existe uma estação de rechloragem onde a água recebe a injeção de cloro sob forma de hipoclorito através de um difusor. Este reforço na concentração de cloro deve-se ao facto de o reservatório de Oliveira além de abastecer os reservatórios estudados, abastecer também a população local, o que faz com que as concentrações de cloro dentro do reservatório não devam ser excessivas<sup>2</sup>. Após a rechloragem a água está preparada a ser transportada por gravidade para os reservatórios de Aborim/Tamel e Alheira conforme a figura 3.2.

É importante dar relevo ao facto de que tanto a água do reservatório de Aborim/Tamel como a de Alheira recebem o mesmo tratamento. No entanto e principalmente porque o reservatório de Alheira é abastecido por uma condução adutora de menor diâmetro<sup>3</sup>, a água chega a este reservatório em menos tempo e portanto com uma concentração de cloro superior. Este facto faz com que seja a

---

<sup>1</sup> O método é descrito no seguinte capítulo

<sup>2</sup> É política da empresa manter a concentração de cloro presente na água potável no ato de entrega entre 0,3 a 0,8 mg/l

<sup>3</sup> Esta diferença de diâmetros justifica-se não só pela diferença de consumos mas pela futura entrada de funcionamento do reservatório de Panque

concentração de cloro à saída do reservatório de Aborim/Tamel seja a menor e a que regula a dosagem da recloração em oliveira<sup>4</sup>.

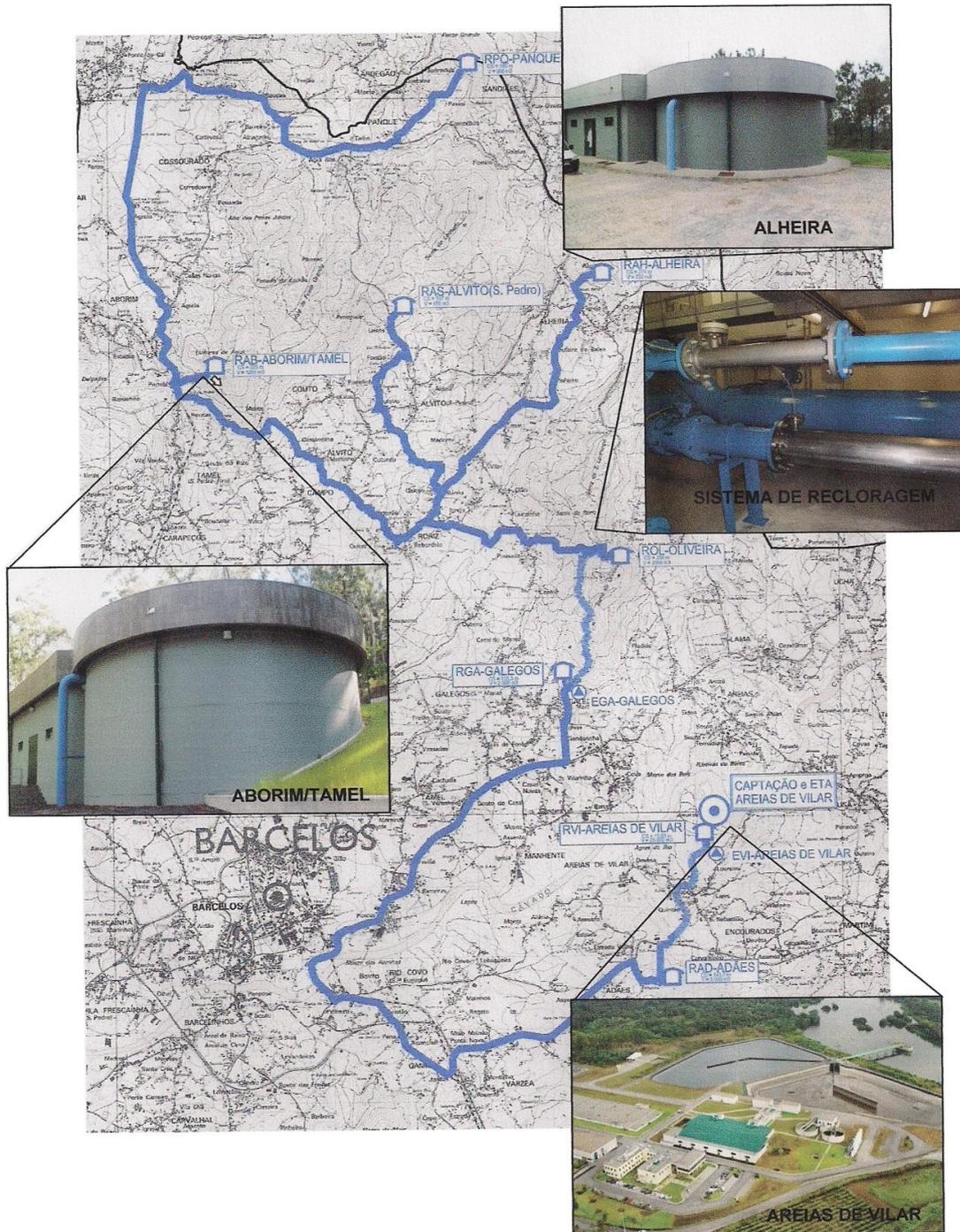


Fig. 3.1. – Mapa com o trajeto da água desde a captação até aos reservatórios estudados

<sup>4</sup> Após a recloração a água contém normalmente uma concentração de cloro de 0,8 mg/l, com pequenas alterações em alguns períodos do ano.

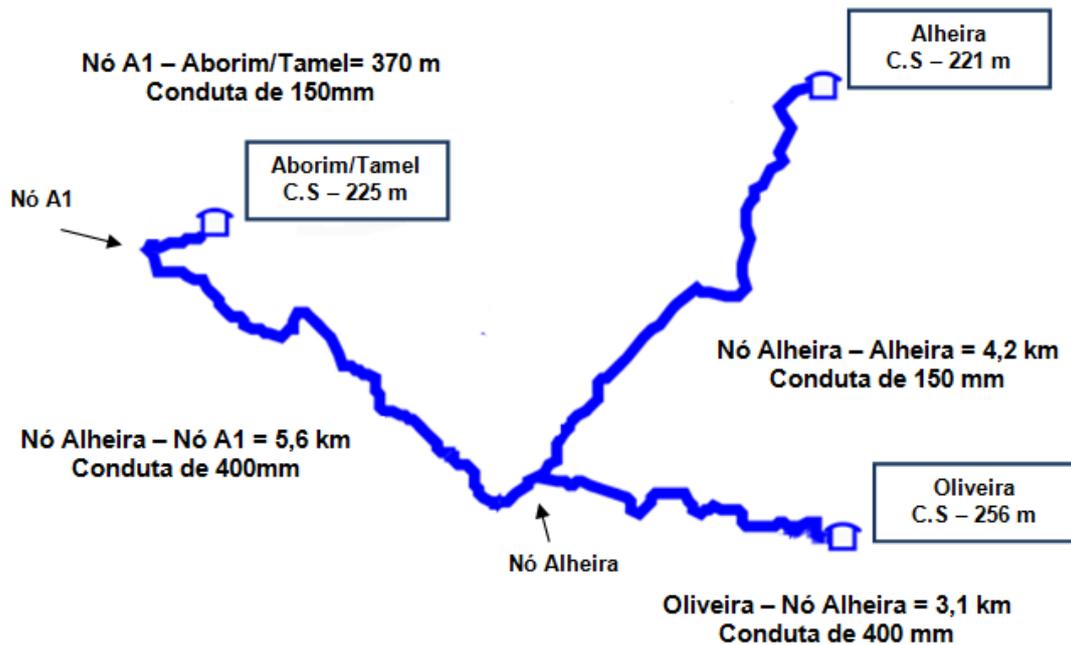


Fig. 3.2 – Trajeto da água desde o reservatório de Oliveira até aos reservatórios estudados

### 3.1. RESERVATÓRIO ABORIM/TAMEL

O reservatório de Aborim/Tamel é constituído por duas células com  $400 \text{ m}^3$  de capacidade. Em condições normais apenas uma das células está em funcionamento armazenando uma quantidade de água correspondente a 30 % do seu volume. Durante o estudo o nível de água dentro da célula foi elevado para 70 % (aprox.  $280 \text{ m}^3$ ). Este novo cenário teve como objetivo aumentar o nível de água, e ao mesmo tempo fazer com que a água permaneça-se mais tempo dentro do reservatório.

O consumo médio mensal em Aborim/Tamel é aproximadamente  $8000 \text{ m}^3$ , o que faz com que em média circulem diariamente dentro do reservatório cerca de  $270 \text{ m}^3$  de água. Isto faz com que teoricamente cada parcela de água permaneça dentro do reservatório cerca de 25 horas.

$$\text{Tempo de residência} = \frac{400 \times 0,7}{270} \times 24 \cong 25 \text{ horas} \quad (2.1)$$

### 3.2. RESERVATÓRIO ALHEIRA

O reservatório de Alheira é constituído por duas células de  $220 \text{ m}^3$  em que, à semelhança com o reservatório de Aborim/Tamel apenas uma está em funcionamento, no entanto com 87% da sua capacidade total ocupada com água. Durante o estudo no reservatório de Alheira o volume de água armazenada será elevado para cerca de 100% da sua capacidade de armazenamento. Além disso a dosagem da recloração em Oliveira será elevada de  $0,8 \text{ mg/l}$  para  $1,0 \text{ mg/l}$ .

O consumo médio mensal é de  $4300 \text{ m}^3$ , ou seja em média cerca de  $143 \text{ m}^3$  de água circulam diariamente dentro do reservatório, o que faz com que teoricamente cada parcela de água permaneça cerca 37 horas dentro do reservatório.

$$\text{Tempo de residência} = \frac{220}{143} \times 24 \cong 37 \text{ horas} \quad (2.2)$$

O objetivo das alterações ao regime normal de funcionamento de ambos os reservatórios é o de tornar as características, principalmente a concentração de cloro livre, das várias parcelas de água dentro dos reservatórios mais sensíveis aos indicadores<sup>5</sup>, na perspectiva de tornar as conclusões mais evidentes. Embora estes cenários não correspondam à realidade de ambos os reservatórios, não são de modo algum exagerados e podem representar a realidade em outros reservatórios.

Ambos os reservatórios têm um septo central com o objetivo de conduzir a água dentro do reservatório, evitar curto-circuitos e equilibrar o tempo de residência de toda a água dentro do reservatório. O efeito que o septo central tem na mistura será também estudado.

### 3.3 MODIFICAÇÃO NA CONDUTA DE ENTRADA

Em ambos os reservatórios a admissão de água faz-se por gravidade e é regulada através de uma válvula altimétrica que adapta o caudal admitido ao caudal de saída do reservatório. A água entra no reservatório através de uma conduta de 150mm acima da superfície de água. Esta configuração faz com que por um lado, dados os consumos de cada reservatório, a capacidade de transporte da conduta de admissão seja bastante maior que os caudais aduzidos aos reservatórios. Este facto faz com que a admissão de água seja em superfície livre, sem pressão e portanto com relativamente fraca quantidade de movimento. No entanto visto que a admissão se faz acima da superfície de água, faz com que a água ao entrar no reservatório ganhe energia devido à queda de água transmitindo-a à água residente, o que favorece a mistura.



Fig 3.3. – Conduta de admissão de água em Aborim/Tamel (à esquerda); Válvula altimétrica (à direita).

A modificação na conduta de admissão, com o objetivo de melhorar a mistura dentro do reservatório, consiste em adaptar à conduta de admissão existente um troço vertical, fechado na base e furado a várias alturas conforme a seguinte figura:

---

<sup>5</sup> Este assunto é abordado no capítulo seguinte

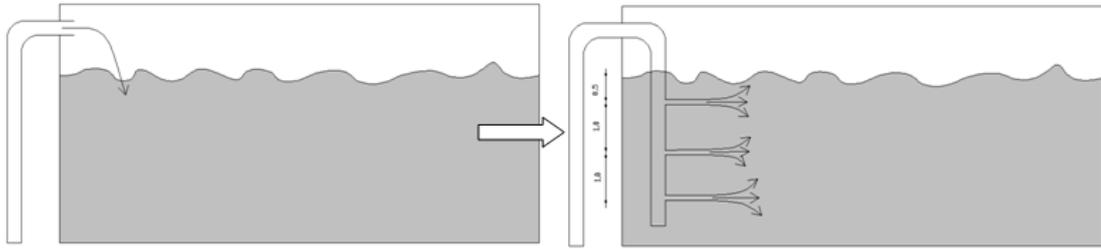


Fig. 3.4 – Modificação na condução de admissão

O objetivo da modificação assenta, teoricamente, em três pontos fundamentais:

- Em primeiro lugar submergir o jacto de entrada e assim promover a transmissão da totalidade energia do jacto de entrada a água residente<sup>6</sup>;
- Reduzir o diâmetro da admissão de água ao reservatório, e assim aumentar a quantidade de movimento do jato, que é dado pelo produto do caudal pela velocidade;
- Distribuir o caudal admitido pela profundidade da água armazenada.

Os diâmetros dos orifícios da nova condução de admissão foram calculados com recurso a um modelo em EPANET. O objetivo foi determinar o diâmetro com o qual fosse possível ao mesmo tempo, a quantidade de movimento do jacto de água desejada e escoar o caudal necessário conforme o normal funcionamento do reservatório, sempre associado a uma margem de segurança. Assim sendo o novo troço de condução terá 3 orifícios com 2 cm de diâmetro e estarão dispostos a:

- 0,5 metros abaixo da superfície de água;
- 1,5 metros abaixo da superfície de água;
- 2,5 metros abaixo da superfície de água.



Fig. 3.5 – Admissão de água após alteração

<sup>6</sup> No entanto é necessário ter em atenção que esta alteração anula a queda que a água tem ao entrar dentro do reservatório, ou seja é de esperar que alguma energia se perca.



# 4

## MÉTODO DE ANÁLISE

Para avaliar a mistura dentro de um reservatório e o efeito que uma modificação na conduta de admissão têm na qualidade da água é essencial: Por um lado, recolher dados em vários pontos do interior do reservatório de modo que a amostragem seja representativa do estado da água armazenada. Por outro, é necessário indicadores que permitam avaliar tanto a mistura como o tempo de permanência da água dentro do reservatório antes e após a modificação. Tanto o método para recolher dados como os indicadores devem ser tais que permitam o normal funcionamento do reservatório, tendo em atenção que a água a analisar será posteriormente aduzida à população local.

O fluxograma da figura 4.1 representa o procedimento do método de análise que é descrito em pormenor em seguida.

### 4.1 RECOLHA DE DADOS PARA ANÁLISE

Para recolher dados para uma conclusiva análise da evolução do estado da qualidade da água no interior do reservatório, várias questões se colocam: Como recolher os dados para análise e com que equipamento? Em que locais e com que frequência?

À partida para responder a estas questões é preciso reconhecer que cada caso é um caso, ou seja por exemplo um bom método para recolher amostras no interior de um reservatório enterrado pode não o ser para um reservatório elevado. Além disso cada reservatório tem a sua geometria e a sua acessibilidade pode variar de caso para caso, entre outros fatores que o tornam de certo modo único.

Para este caso em concreto o problema da obtenção de dados pode-se dividir em dois grupos distintos: O primeiro que diz respeito a recolha de dados à entrada e saída do reservatório que se obtém facilmente através dos pontos de amostragem associados às condutas de admissão e de saída (fig. 4.2).

O segundo que diz respeito à recolha de amostras dentro do reservatório. E aqui várias condicionantes têm de ser tidos em conta: Por um lado, os pontos de amostragem devem estar distribuídos espacialmente pela geometria do reservatório e em número suficiente para que sejam representativos do volume total da água armazenada. Por outro a técnica utilizada para recolher as amostras deve minimizar ao máximo fatores de erro que possam condicionar as análises, e também não pode contaminar a água armazenada, nem inferir com o normal funcionamento do reservatório.

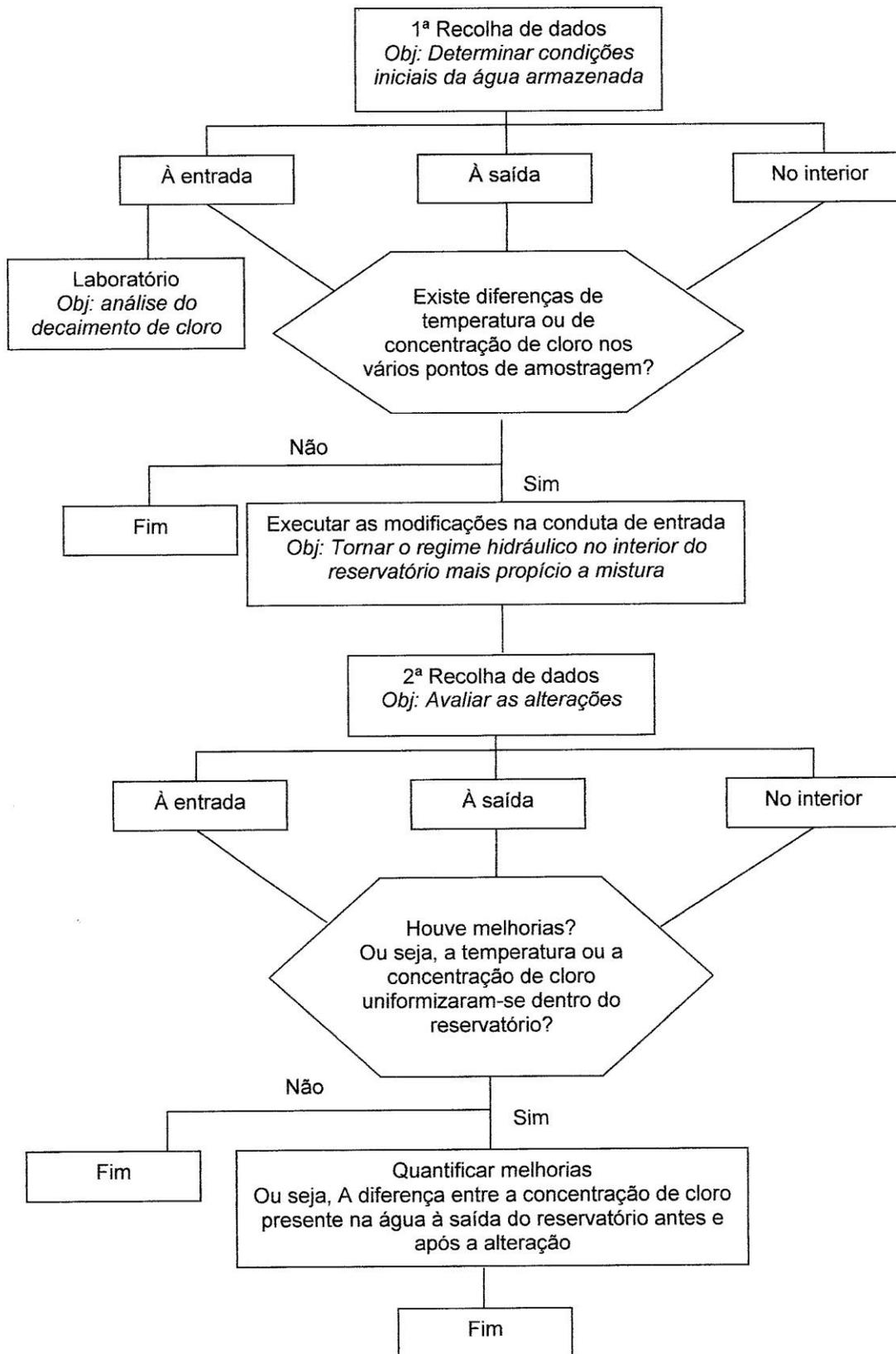


Fig.4.1 – Fluxograma com o procedimento do método de análise



Fig. 4.2. – Local de amostragem

Neste caso em concreto, o acesso ao reservatório foi feito através dos ventiladores e da escotilha. O equipamento utilizado consiste num sistema constituído por um frasco, associado a um suporte metálico denso, que lhe permite submergir. O princípio de funcionamento deste equipamento é similar ao equipamento utilizado para recolher amostras em lagos ou em reservatórios de petróleo, pelo que deste modo, os pontos de amostragem em qualquer profundidade estão assegurados.

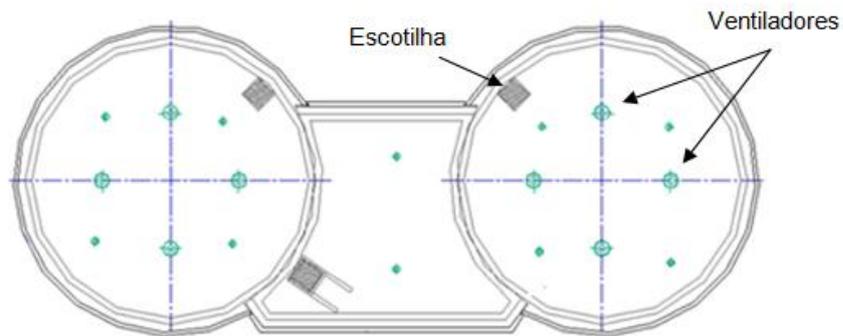


Fig. 4.3. – Acesso ao interior do reservatório para recolha de amostras



Fig. 4.4. – Colheita de amostras no interior do reservatório

À priori, um estudo completo da influência que uma determinada alteração no regime hidráulico de um reservatório tem na qualidade da água que nele circula, deveria ser feito ao longo de um espaço temporal alargado e flexível, de modo a abranger as variações sazonais do clima e dos consumos do local, uma vez que estes fatores influenciam diretamente a sua performance. No entanto, devido ao tempo disponível reduzido, os ensaios serão realizados ao longo de cerca de um mês. A recolha de amostras antes e após das alterações, de modo a podermos estabelecer um termo de comparação, é essencial. Assim sendo as amostras serão recolhidas periodicamente durante duas semanas antes da modificação na conduta de entrada, e do mesmo modo durante duas semanas após as alterações.

## 4.2 INDICADORES

### 4.2.1 INDICADORES PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE MISTURA

#### 4.2.1.1 Temperatura

Variações da temperatura da água dentro dos reservatórios afetam a mistura e podem conduzir à estratificação do reservatório. Assim diferenças de temperatura em vários pontos de amostragem no interior do reservatório sugerem potencial para a estagnação e conseqüente estratificação da água armazenada. Pela mesma razão temperatura uniforme dentro do reservatório pode ser um sinal de boa mistura.

Como exemplo podemos supor o cenário ilustrado pela figura: Neste caso, a água entra dentro do reservatório a 7°C e sai a 10°C. Uma parcela de água mais à superfície a 12°C, ou seja a uma temperatura superior à temperatura de entrada e de saída, provavelmente não se mistura com a água que circula dentro do reservatório. Conseqüentemente é também provável que esta parcela de água em particular não entra na rede e esteja estagnada. Do mesmo modo podemos concluir que uma parcela de água mais profunda a 9°C circula dentro do reservatório e que em breve irá entrar na rede.

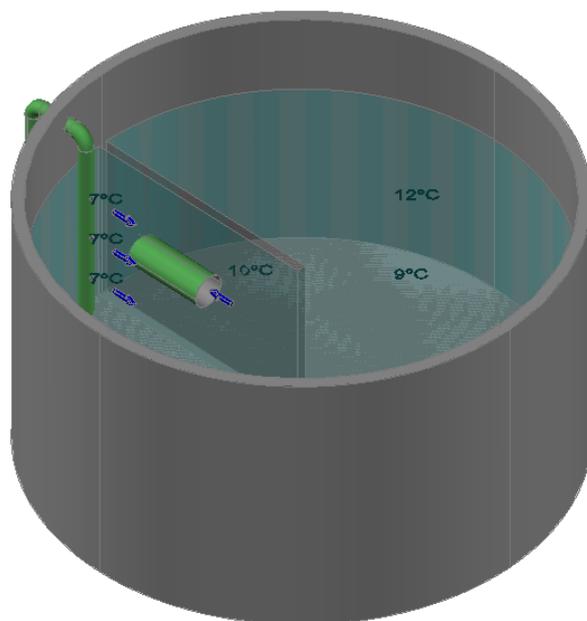


Fig. 4.5. – Exemplo da variação da temperatura em vários pontos no interior do reservatório

Para medir “*in situ*” a temperatura das várias amostras de água e a temperatura ambiente do reservatório foi usado um termómetro normal ilustrado pela figura, as medições foram realizadas imediatamente após a recolha da amostra.



Fig. 4.6. – Medição “*in situ*” da temperatura da água

#### 4.2.1.2 Concentração do cloro livre

Assim como para a temperatura, raciocínio análogo se pode aplicar se a água em vários pontos do reservatório tiver a mesma concentração de cloro. Assim e pelo mesmo motivo, uma concentração uniforme do cloro presente na água no interior do reservatório, sugere que a água residente está bem misturada.

A concentração de cloro livre dissolvida na água foi medida também “*in situ*” e imediatamente após a recolha da amostra. O equipamento utilizado foi um Kit portátil para medição do cloro livre baseado no método DPD.



Fig. 4.7. – Medição “*in situ*” da concentração de cloro presente na água

#### 4.2.2 INDICADORES PARA AVALIAR O TEMPO DE RESIDÊNCIA

##### 4.2.2.1 Decaimento do cloro

A concentração de cloro presente na água decai ao longo do tempo. Este facto faz com que, teoricamente, o decaimento da concentração de cloro presente na água possa ser utilizado para determinar o tempo de permanência da água dentro do reservatório. Para o fazer, água será recolhida à entrada do reservatório<sup>1</sup> e colocada num recipiente à parte. A evolução do decaimento do cloro dentro do recipiente será controlada e registada, para que com estes dados se possa datar a permanência de cada parcela de água dentro do reservatório, como se ilustra na figura.

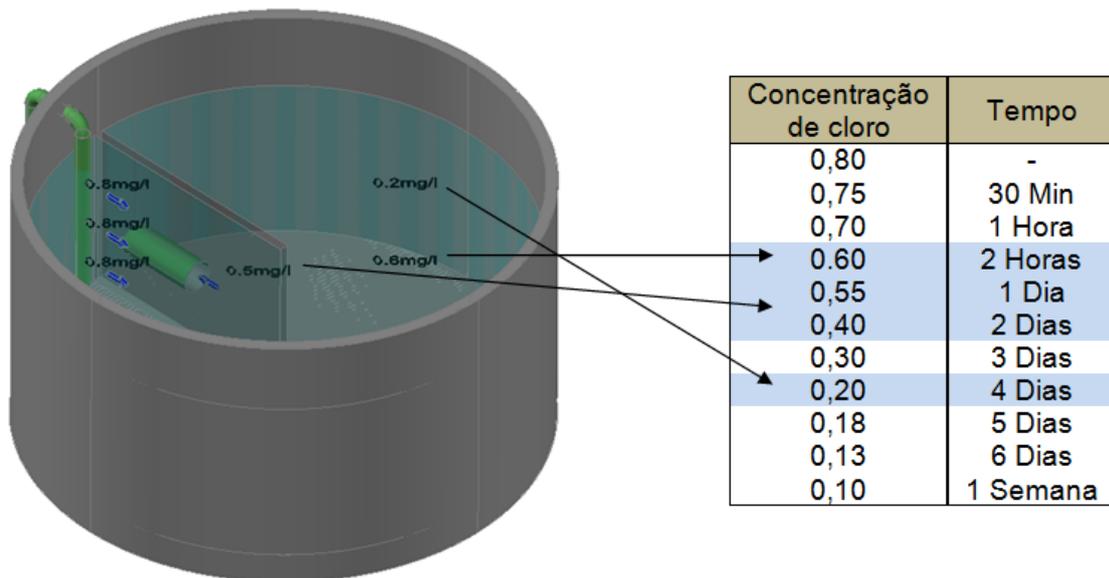


Fig. 4.8. – Exemplo do tempo de permanência da água em vários pontos do reservatório

Para que este método possa ser de algum modo fiável, é essencial que a evolução da concentração do cloro dentro do recipiente e do reservatório sejam similares. Por outras palavras os fatores que influenciam o decaimento do cloro, pelo menos os mais importantes, têm de ter a mesma contribuição quer no recipiente quer no reservatório. A taxa de decaimento de cloro em reservatórios depende sobretudo da contaminação externa, da exposição à luz solar, da temperatura uma vez que a velocidade das reações químicas aumenta com o aumento da temperatura, da própria concentração de cloro livre presente da água visto que o decaimento de cloro é tanto mais elevado quanto maior for a sua concentração, e da existência em maior ou menor quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água que reagem com o cloro.

Assim, uma vez que a água do recipiente e do reservatório têm a mesma origem e portanto, à partida, a mesma qualidade. Para que o recipiente a transportar para o laboratório possa de algum modo representar o decaimento de cloro dentro do reservatório, terá de ter as seguintes propriedades:

<sup>1</sup> Ponto de amostragem que representa o início da permanência da água dentro do reservatório e onde a concentração de cloro é mais elevada

- O material de que é feito o recipiente não pode interferir com o decaimento de cloro no seu interior;
- Ser opaco de modo a que a luz não interfira com as reações químicas no seu interior;
- Isolar o conteúdo de modo a que a temperatura exterior não interfira com as reações químicas no seu interior.



Fig.4.9 – Recipiente de armazenamento para controlo do decaimento de cloro

Assim sendo o recipiente utilizado para estimar a evolução da concentração do cloro com o tempo é isotérmico, quando fechado não deixa passar a luz solar e antes de ser utilizado foi devidamente desinfetado.

Outro problema que se coloca é a influência das paredes e do fundo do reservatório, que é impossível de representar no recipiente a transportar para o laboratório. No entanto é razoável assumir que a sua influência é insignificante, uma vez que o volume de água armazenada dentro do reservatório é bastante maior quando comparado com parcela de água diretamente exposta à superfície paredes do reservatório. Assim é possível atribuir o decaimento de cloro principalmente às reações químicas no corpo da água (Grayman et al, 2000).

É importante ter a consciência que este método tem erros associados e pode não ser razoável para estimar, de uma forma rigorosa, o tempo permanência da água dentro do reservatório. Logo à partida, o efeito da mistura não é representado dentro do recipiente, uma vez que a água não é renovada. Outro exemplo, caso a diferença entre a temperatura da água de entrada e a água presente no reservatório seja significativa, provavelmente a taxa de decaimento de cloro no recipiente vai ser diferente do reservatório e consequentemente os valores obtidos não representam a realidade. Com este método pretende-se apenas adquirir uma noção da taxa do decaimento do cloro presente na água e poder estimar de uma forma aproximada o tempo de permanência da água dentro do reservatório.

#### 4.2.2.2 Temperatura

Sabendo que a água estagnada, e portanto com maior tempo de residência tende aproximar-se da temperatura ambiente faz com que os diferenciais de temperatura possam ser também um indicador, ainda que qualitativo, do tempo de permanência da água no interior do reservatório. Por exemplo, uma determinada parcela de água dentro do reservatório com uma temperatura mais próxima da

temperatura da água afluyente do que outra, sugere que essa parcela de água está à menos tempo dentro do reservatório do que a segunda.

O interesse de ter mais do que um indicador é o facto de poder obter resultados de varias fontes, cruzalos e tirar conclusões. Ou seja, neste caso, até que ponto uma parcela de água a uma temperatura mais próxima da temperatura ambiente tem também uma menor concentração de cloro.

#### 4.2.3 INDICADORES DE MELHORIAS NAS CONDIÇÕES DE MISTURA

Caso após as alterações se verifiquem melhorias na mistura é de esperar, como já foi referido, uma maior concentração de cloro livre dentro do reservatório e também mais uniforme. Assim as melhorias que as alterações proporcionarem ao sistema, caso existam, em termos práticos serão quantificadas: Através das diferenças entre as concentrações de cloro livre à saída do reservatório e através do grau de uniformização da água presente no reservatório.

Como exemplo, a seguinte figura ilustra um possível cenário:

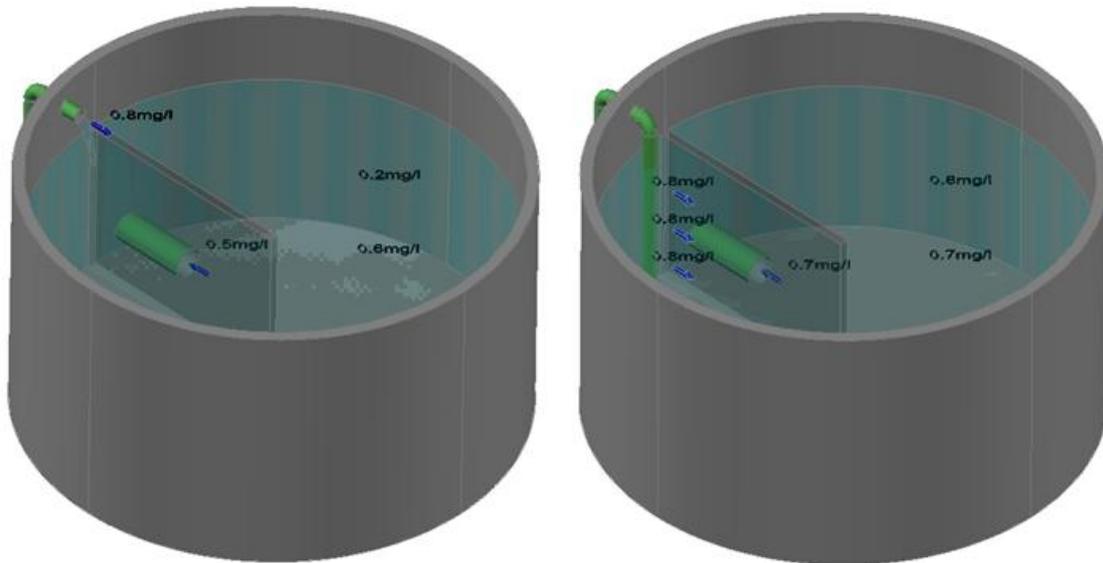


Fig. 4.10. – Exemplo da evolução da concentração de cloro presente na água em vários pontos do reservatório antes e depois da modificação na conduta de entrada

Este cenário exemplificativo sugere uma melhoria clara da mistura dentro do reservatório. Após as modificações na conduta de entrada as concentrações de cloro livre, presente nas várias parcelas de água dentro do reservatório, uniformizaram-se e o seu valor aproximou-se do valor onde a concentração de cloro é mais alta, ou seja à entrada do reservatório o que sugere menor decaimento.

# 5

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como foi referido no capítulo anterior, o acesso ao interior do reservatório foi feito através dos ventiladores e da escotilha. A seguinte figura mostra a localização dos vários pontos de amostragem. A numeração dos pontos segue o sentido do escoamento, ou seja ponto P.A.1 é também o que está mais perto da entrada de água, o P.A.4 o mais próximo da saída. Exceção feita para o ponto P.A.P. que dada a sua localização será apenas usado para medir a concentração de cloro junto do septo central.

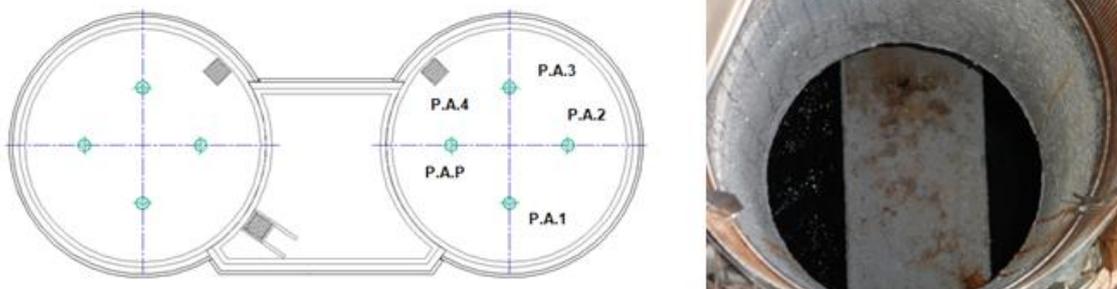


Fig. 5.1. – Localização dos pontos de amostragem

Em cada ponto as amostras são recolhidas a várias profundidades:

- À superfície;
- A um metro de profundidade;
- A dois metros de profundidade;
- No fundo do reservatório<sup>1</sup>.

Exceção é feita outra vez para o ponto P.A.P., dadas as dificuldades de recolher amostras em profundidade junto ao septo central. Por esse motivo a recolha neste ponto será feita apenas à superfície, à esquerda e à direita do septo.

<sup>1</sup> As amostras recolhidas no fundo do reservatório na realidade são recolhidas a 27 cm do fundo, que corresponde à altura do amostrador.

A representação da variação do cloro dentro do reservatório é feita conforme a próxima figura. A concentração de cloro obtida em cada ponto de amostragem é representativa de uma zona do reservatório e é ilustrada através de uma gradação de cores. A cor azul corresponde aos pontos de amostragem onde a concentração é maior e o vermelho onde a concentração é menor<sup>2</sup>.

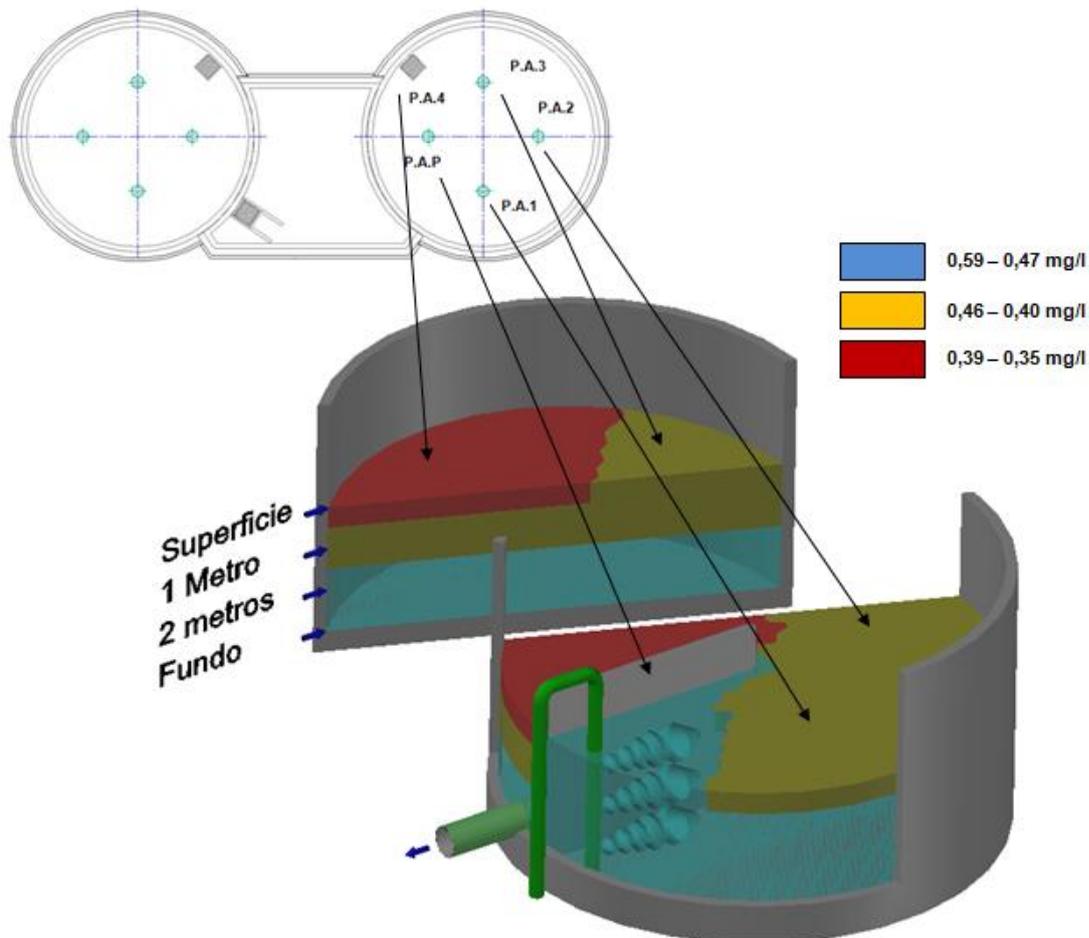


Fig. 5.2. – Representação da distribuição do cloro dentro do reservatório

### 5.1 RESERVATÓRIO DE ABORIM/TAMEL

Como já foi referido, antes de se proceder à recolha de amostras no reservatório de Aborim/Tamel, o nível da água no interior do reservatório foi elevado para um valor que correspondia a 70% da sua capacidade. O objetivo foi o de aumentar o tempo de residência da água dentro do reservatório, e ao mesmo tempo reduzir a altura da queda que a água tem ao entrar dentro do reservatório.

<sup>2</sup> Em anexo podem ser consultados os valores obtidos através das medições.

As medições no reservatório de Aborim/Tamel foram feitas apenas numa ocasião, uma semana após o enchimento do reservatório. Os resultados mostraram uma concentração de cloro presente na água à entrada do reservatório de 0,42 mg/l e 0,36 mg/l à saída, o que sugere um baixo decaimento de cloro no interior do reservatório. Dentro do reservatório a distribuição do cloro revelou-se praticamente

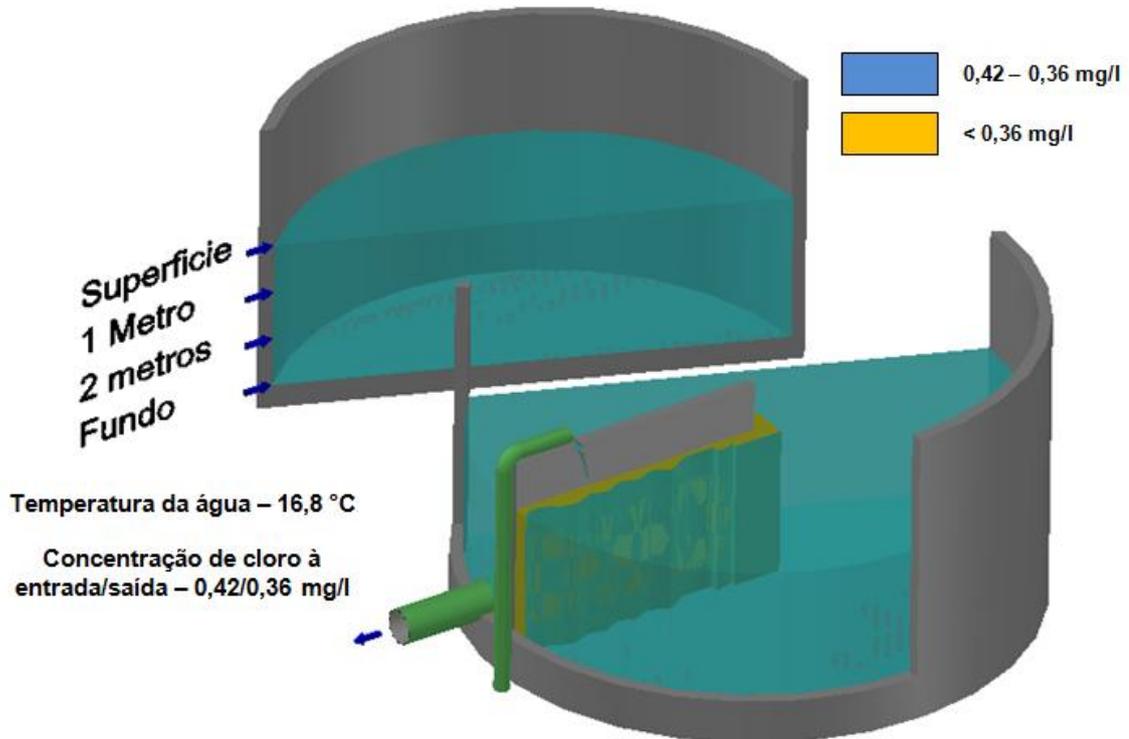


Fig. 5.3. – Medições do dia 15 de maio, uma semana após o enchimento do reservatório [A-1]

uniforme, apesar de se notar uma ligeira redução após o septo central, junto a saída de água. Nenhuma zona do reservatório revelou uma concentração de cloro abaixo da concentração de saída, salvo apenas junto ao septo o que sugere uma demanda de cloro mais acentuada nesta zona.

Com estes valores apesar de algum decaimento e de ligeiras diferenças no interior do reservatório podemos considerar, à priori que o reservatório está bem misturado. Ou seja que não existe dentro do reservatório nenhuma zona onde a água tenha dificuldade em circular, e por isso maior tempo de residência o que conduz a uma maior demanda de cloro. Por esta razão, e na impossibilidade de poder elevar o nível de água no interior do reservatório para o seu valor máximo, a modificação na conduta de entrada não foi realizada.

## 5.2 RESERVATÓRIO DE ALHEIRA

Como foi referido, a água armazenada no reservatório de Alheira tem o mesmo tratamento que a do reservatório de Aborim/Tamel. No entanto a água tem um tempo de percurso até Alheira inferior<sup>3</sup>, principalmente devido à diferença de diâmetro das condutas, o que faz com que a concentração de cloro à entrada de Alheira seja maior do que em Aborim. Esta foi a razão pela qual o reservatório de Alheira foi escolhido como caso de estudo em detrimento do anterior. Por um lado, com uma maior

<sup>3</sup> Tempos de percurso calculados através dos caudais médios aduzidos a cada um dos reservatórios, comprimentos e diâmetros das condutas. Valores que podem ser consultados no capítulo 3.

concentração de cloro a saída do reservatório, aumentamos a margem de manobra para partirmos para cenários dentro do reservatório com maior decaimento de cloro. Caso contrário, pode correr-se o risco de aduzir água à rede com concentrações de cloro abaixo dos níveis mínimos estipulados pela entidade gestora<sup>4</sup>. Por outro, uma maior concentração de cloro associado a um maior tempo de permanência, por si só já aumentam o potencial para o agravamento decaimento de cloro.

No entanto, com o reservatório a funcionar em condições normais, mais uma vez a diferença entre as concentrações de cloro entre a entrada e a saída do reservatório são baixas. A temperatura assim como a concentração de cloro mostraram-se praticamente constantes em todo o reservatório. Em ambos os reservatórios, Alheira e Aborim/Tamel, a mistura obtida pela transmissão da energia da queda do jacto de entrada à água residente, nestes casos revelou ser suficiente para fazer circular a água dentro do reservatório, evitando assim grandes decaimentos.

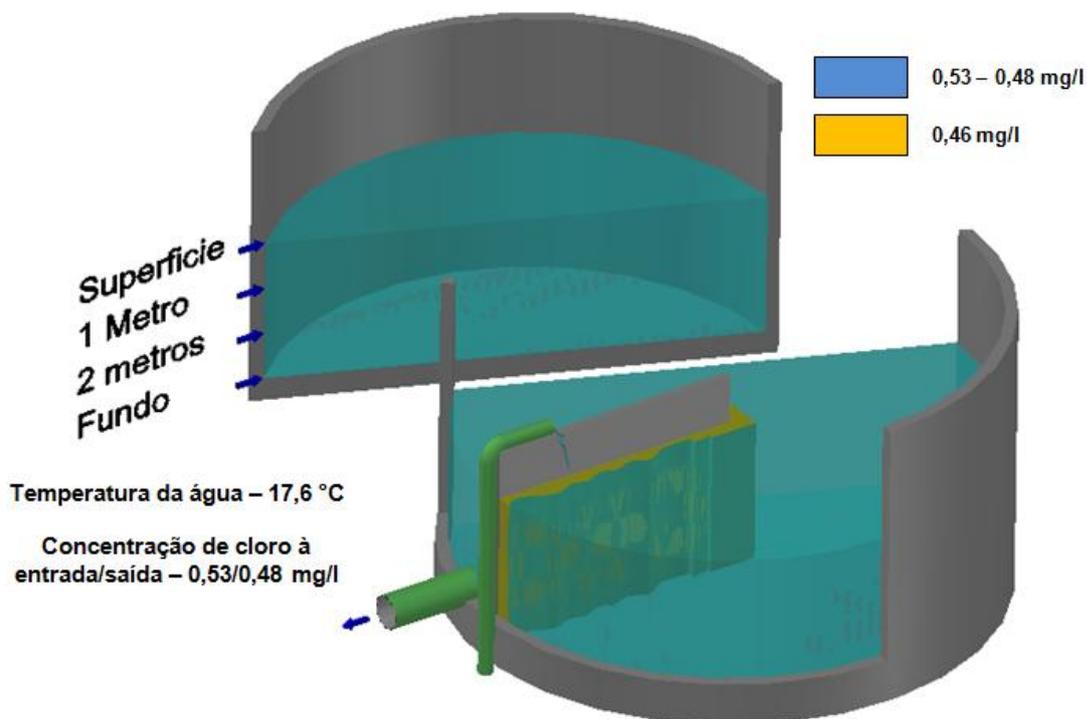


Fig. 5.4. – Medições do dia 21 de maio, com o reservatório a funcionar em condições normais [A-2]

Com o objetivo de provocar o decaimento de cloro no interior do reservatório, o nível de água foi aumentado de 87% para cerca de 100%, maximizando assim o tempo de permanência da água dentro do reservatório, mas principalmente minimizando a queda que a água tem ao ser aduzida ao reservatório<sup>5</sup>. Com o mesmo objetivo a dosagem de cloro em Oliveira foi aumentada, uma vez que teoricamente quanto maior for a concentração de cloro maior o seu decaimento. A partir de Oliveira a concentração de cloro presente na água passou de 0,80 mg/l para 1,00 mg/l. A próxima figura representa o resultado

<sup>4</sup> Como já foi referido o valor mínimo para a concentração de cloro presente na água no ato da entrega, definido pela Águas do Noroeste, é de 0,3 mg/l. Repare-se que a concentração à saída do reservatório de Aborim/Tamel já está próximo deste valor.

<sup>5</sup> A geometria do reservatório pode ser consultada em anexo [A-8].

das medições feitas 5 dias após estas alterações, período a partir do qual se admitiu que as propriedades da água, dentro do reservatório, já estivessem em equilíbrio.

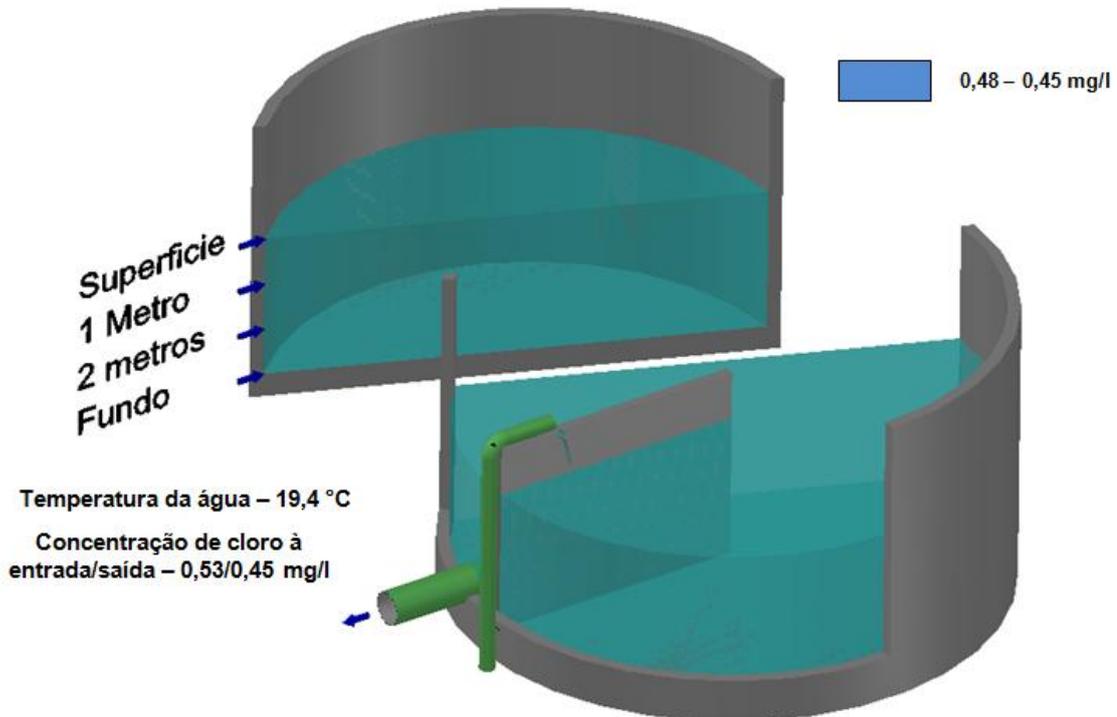


Fig. 5.5. – Medições do dia 12 de junho, 5 dias após enchimento do reservatório e o aumento da dosagem de cloro [A-5].

Logo à partida, há uma observação a fazer no que diz respeito a concentração do cloro presente na água à entrada do reservatório. Uma vez que coincide com a concentração antes do aumento da dosagem do cloro em Oliveira, o que não faz sentido. É de esperar que o aumento da dosagem de cloro em Oliveira se reflita na concentração de cloro à chegada em Alheira. A isto, podemos juntar o facto de todas as medições efetuadas em Alheira após o aumento da dosagem, registarem concentrações de cloro acima dos 0,56 mg/l à entrada do reservatório. Este facto faz com que este valor, 0,53 mg/l, obtido à entrada de Alheira provavelmente tenha uma duração curta, ou seja derivado de um erro de medição<sup>6</sup>. No entanto, neste momento vale a pena frisar que as medições não representam mais que uma “fotografia” das características da água dentro do reservatório num determinado instante. Para não haver dúvidas, a medição da concentração do cloro em contínuo e imediatamente antes da entrada do reservatório seria indispensável, o que não foi possível concretizar.

Comparando as duas medições anteriores, ou seja antes e após as alterações mencionadas, é evidente o agravamento no decaimento de cloro. Apesar do aumento na dosagem do cloro, a concentração média de cloro presente na água do reservatório baixou. Vale a pena também notar que a distribuição do cloro dentro do reservatório se manteve à mesma uniforme. Este facto sugere que independentemente das condições de mistura, a concentração de cloro livre tende a homogeneizar-se dentro de

<sup>6</sup> Durante as medições o clorímetro revelou-se não ser muito preciso e bastante sensível aos desvios ao procedimento de medição.

reservatório. Sugerindo que a concentração de cloro tende a uniformizar-se também por difusão molecular.

No entanto, estes resultados revelam o aumento na demanda do cloro, provocado provavelmente pela estagnação da água à superfície do lado da saída de água, facto que foi confirmado pelo autor no momento das medições. Com o agravamento da mistura dentro do reservatório e consequente estagnação da água, é natural que certas parcelas de água comecem a ter mais dificuldade em deixar o reservatório, aumentando o seu tempo de residência. Assim, estas parcelas por difusão criam um acréscimo na demanda de cloro, que antes das alterações mencionadas não sucedia.

A próxima figura representa o resultado das medições realizadas cinco dias após a modificação na conduta de admissão de água ao reservatório, já descrita anteriormente. O volume de água armazenado foi mantido a cerca de 100% da capacidade do reservatório, assim como a concentração do cloro presente na água à saída de Oliveira.

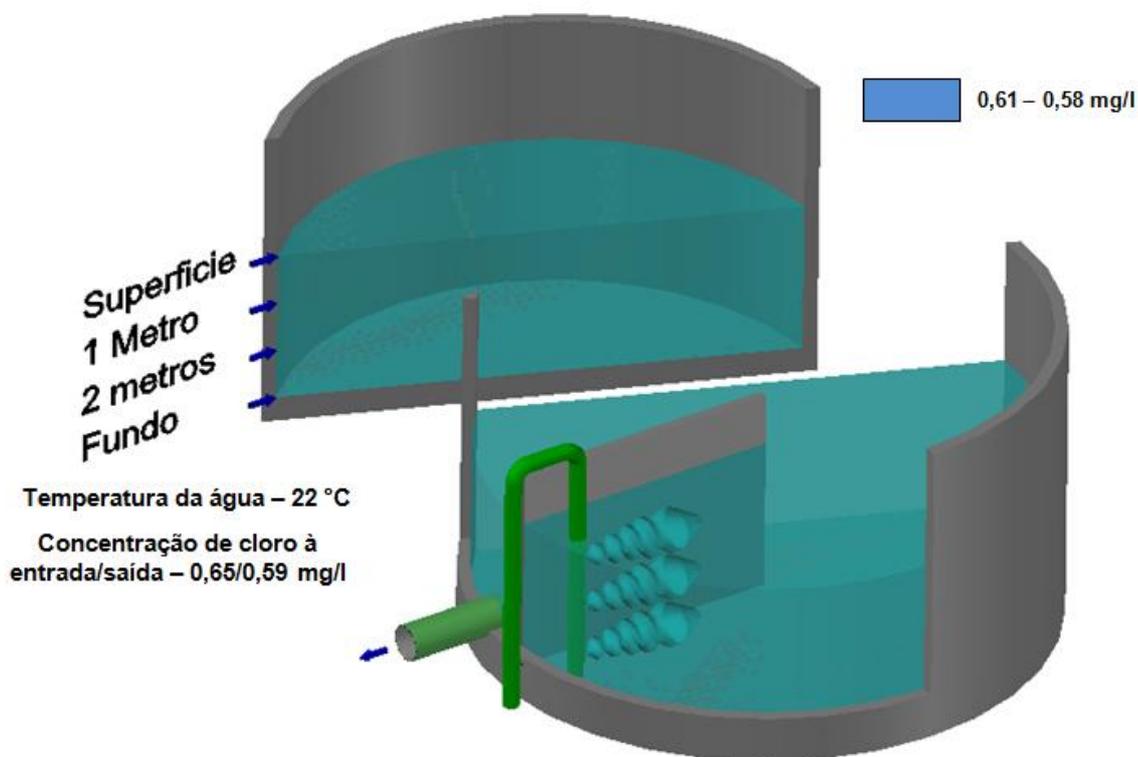


Fig. 5.6. – Medições do dia 26 de junho, 5 dias após a modificação na conduta de entrada e o enchimento do reservatório [A-5].

Logo à partida, a primeira alteração registada foi o ligeiro aumento da turbulência à superfície da água junto à saída de água. Após a alteração na conduta de entrada o nível médio da concentração de cloro dentro do reservatório voltou a aumentar e com ele a concentração do cloro à saída<sup>7</sup>. A diferença entre as concentrações de entrada e de saída também diminuiu. Assumindo que a única alteração foi as condições de mistura, podemos afirmar que aumento da quantidade de movimento do jacto de entrada de água e a sua distribuição pela profundidade da água residente, provocada pela nova conduta de entrada foi suficiente para reduzir o decaimento dentro do reservatório.

<sup>7</sup> Note-se que a concentração do cloro à entrada do reservatório também aumentou significativamente.

É interessante também comparar as medições realizadas um dia após o enchimento do reservatório quer na primeira ocasião de 87 para 100%, quer após a modificação na conduta de entrada de 0 para 100%. Uma das consequências do enchimento do reservatório, como é óbvio, é expor a água residente a zonas da parede do reservatório que antes não estavam submersas. Este contacto provoca um grande acréscimo, ainda que limitado no tempo, da taxa de decaimento do cloro. É claro que à partida as taxas de decaimento nas duas ocasiões não são idênticas. Por um lado fazer subir o nível de 87 para 100% é diferente de fazer subir o nível de 0 para 100%. Por outro, o reservatório antes de entrar em serviço após alteração na conduta de entrada foi devidamente lavado. No entanto, o acréscimo na taxa de decaimento pode “pôr a descoberto” as parcelas de água mais estagnadas. Admitindo, para este fim, que as parcelas de água que realmente circulam dentro do reservatório, nunca teriam valores na concentração de cloro abaixo da concentração de cloro à saída.

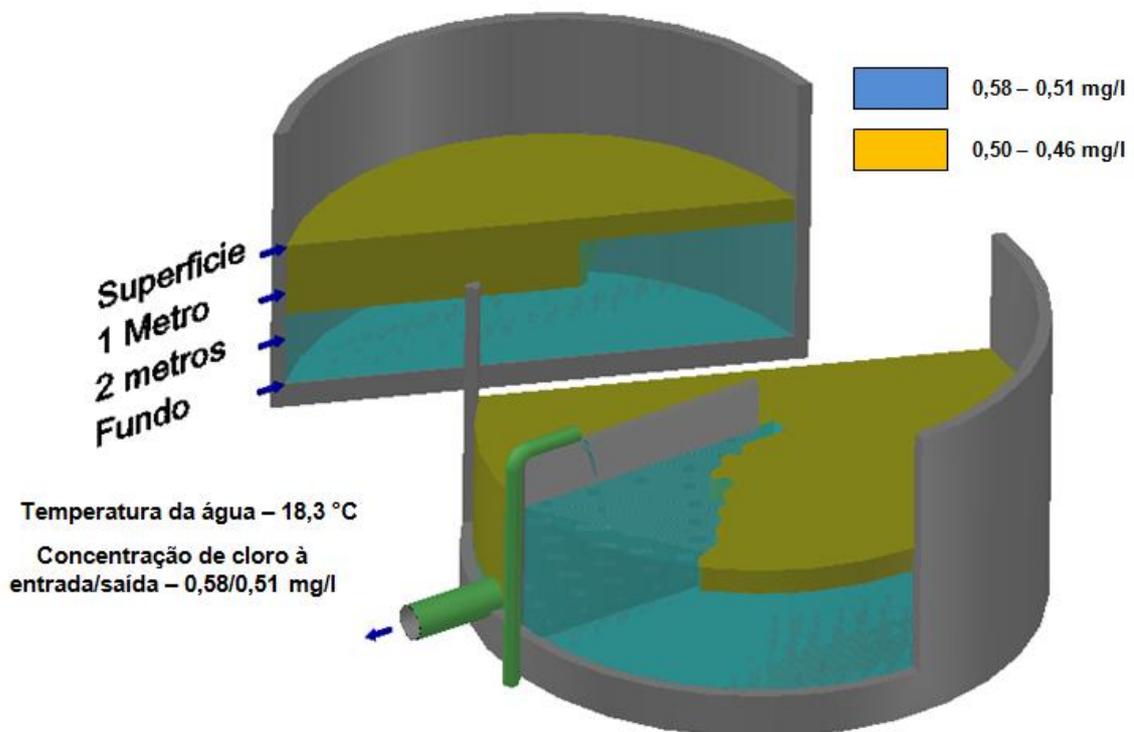


Fig. 5.7. – Medições do dia 29 de maio, 1 dia após enchimento do reservatório e o aumento da dosagem de cloro [A-3].

Seguindo esta linha de pensamento, nas duas figuras anteriores a cor azul representa o intervalo entre as concentrações de cloro presentes na água à de entrada e à saída do reservatório. A cor amarela representa as concentrações de cloro abaixo desse intervalo, ou seja as zonas do reservatório onde a água está mais estagnada. Ao analisar as figuras é evidente que após a modificação na conduta de entrada, a zona onde a água está mais estagnada é muito menor. Este facto leva a crer uma melhoria significativa nas condições de mistura.



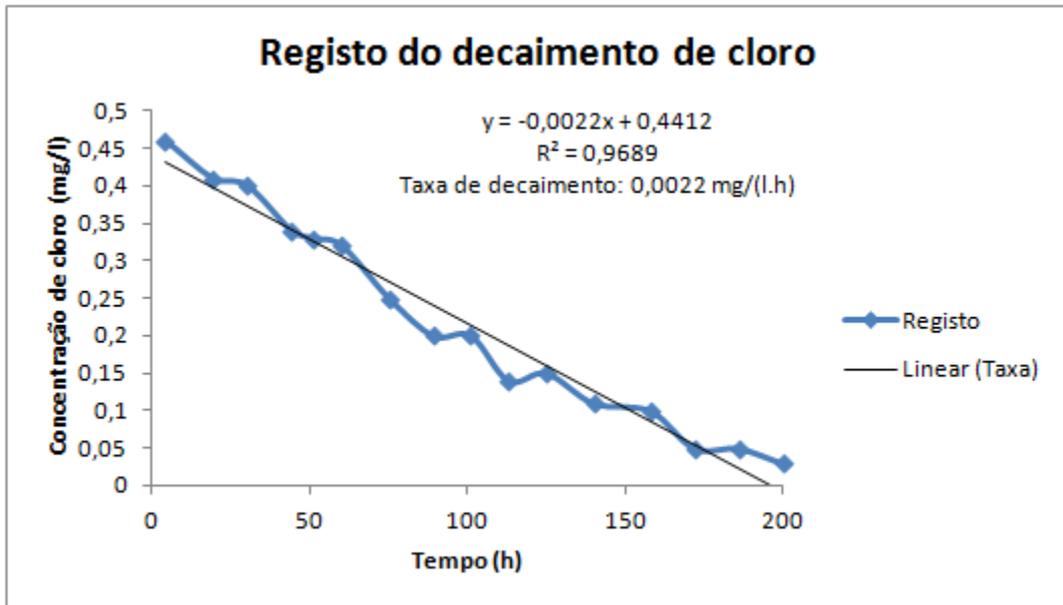


Fig. 5.9. – Registo do decaimento de cloro

Aborim/Tamel a 70% de sua capacidade  
Tempo de permanência teórico: 25 horas  
Diferença entre a concentração de entrada e saída: 0,06 mg/l  
Utilizando a taxa de decaimento de cloro no recipiente: 0,0506 mg/l

Alheira a 87% da sua capacidade  
Tempo de permanência teórico: 32 horas  
Diferença entre a concentração de entrada e saída: 0,05 mg/l  
Utilizando a taxa de decaimento de cloro no recipiente: 0,0704 mg/l

Alheira a 100% da sua capacidade (sem a modificação na conduta de entrada)  
Tempo de permanência teórico: 37 horas  
Diferença entre a concentração de entrada e saída: 0,08 mg/l  
Utilizando a taxa de decaimento de cloro no recipiente: 0,0814 mg/l

Alheira a 100% da sua capacidade (com a modificação na conduta de entrada)  
Tempo de permanência teórico: 37 horas  
Diferença entre a concentração de entrada e saída: 0,06 mg/l  
Utilizando a taxa de decaimento de cloro no recipiente: 0,0814 mg/l



# 6

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir este documento, vale a pena começar por dar relevo a alguns aspetos que podem ter condicionado as conclusões deste estudo. Conclusões que, como já foi dito, refletem apenas a interpretação do autor, fundamentada na bibliografia consultada e na experiência que foi adquirindo ao longo do estudo, e não verdades absolutas.

Como já foi referido, o próprio equipamento utilizado para medir a concentração de cloro livre presente na água, não teve a precisão necessária para que fosse possível admitir que os resultados fossem realmente credíveis, apesar de terem sido feitos vários duplicados. Ao clorímetro junta-se também o próprio método utilizado para conhecer o estado da água dentro do reservatório, antes e após a alteração na conduta de admissão de água. O método utilizado baseia-se apenas em medições periódicas que não representam mais do que “fotografias” do estado da água num determinado instante. Sem a medição em contínuo do caudal, da temperatura e da concentração de cloro admitidas ao reservatório, é impossível garantir a igualdade de circunstâncias antes e após as alterações, indispensáveis para serem devidamente comparadas.

Tendo isto presente, e agora no papel de um possível leitor apesar da dificuldade que isso representa, chegado a este ponto é possível afirmar que foi ganha alguma sensibilidade para a mistura, e como esta influencia o modo como a concentração de cloro e a temperatura da água evoluem dentro de reservatórios. No entanto, é necessário ter a consciência, que cada reservatório tem a sua geometria, o seu modo de exploração entre outras características que o tornam de algum modo único, ou seja consequentemente cada caso é um caso.

Neste caso de estudo, após a modificação na conduta de admissão, as melhorias apesar de evidentes, não foram muito significativas. Contudo, não se pode esquecer que o reservatório de Alheira não foi escolhido para caso de estudo por ter problemas com o decaimento de cloro, mas sim pela facilidade de acesso a vários pontos do seu interior. Noutro reservatório, cujas condições promovam um maior decaimento de cloro é natural que estas diferenças sejam mais expressivas, ao ponto de poder se justificar a modificação.

No entanto o verdadeiro objetivo deste documento, não é de modo algum demonstrar que esta modificação na conduta de entrada é eficiente para reduzir a estagnação da água, e consequentemente diminuir o decaimento de cloro num reservatório. Até porque como esta alteração existem muitas outras, limitadas apenas pelo engenho e criatividade do projetista ou investigador que as cria. O verdadeiro objetivo deste documento é sem dúvida, o de mostrar que manipular o jacto de admissão de água de um modo inteligente ou o modo como operamos os reservatórios, pode ser uma possibilidade a ser considerada para evitar a estagnação da água, e consequente decaimento do cloro excessivo dentro dos reservatórios de distribuição. E assim combater as consequências negativas que daí advêm.



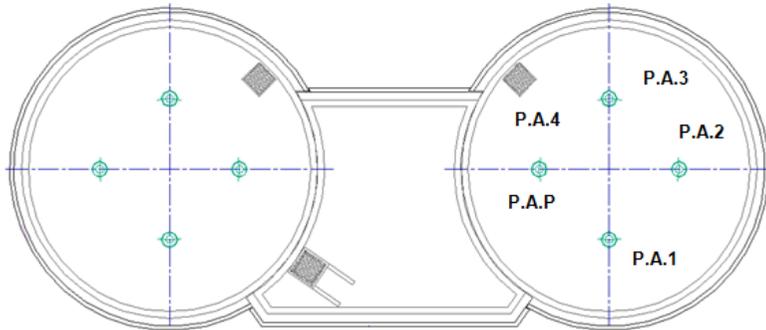
## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Duer, M.J. Use of CFD to Analyze the Effects of Buoyant Inlet Jets on Mixing in Standpipes. Proc. 2003 AWWA Annual Conference. Anaheim, CA, 2003.
- [2] Duer, M.J. The science of mixing water storage tanks. 2011.
- [3] Chowdhury Z.K., Hill C.P., Mahmood F., Slimenti M.J., Krasner S.W., Valenti C., Summers R.S. Evaluation of disinfection and practices for DBP and precursor occurrence in consecutive systems, 115-143, Water Research Foundation, Denver. CO, 2009.
- [4] Walski, T.M. Hydraulic Design of Water Distribution Storage Tanks. In Water Distribution Systems Handbook, 10.1-10.20, McGraw-Hill, New York. NY, 2000.
- [5] Grayman, W.M., Kirmeyer, G.J. Quality of water in storage. In Water Distribution Systems Handbook, 11.1-11.22, McGraw-Hill, New York. NY, 2000.
- [6] Department of Environment and Conservation. Evaluation of potable water storage tanks in Newfoundland and Labrador and their effect on drinking water quality. Government of Newfoundland & Labrador, St. John's, 2011.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency. Effects of water age on distribution system water quality. Office of water, Washington DC, 2002.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency. Finished water storage facilities. Office of water, Washington DC, 2002.



# **ANEXOS**

## Registo de colheitas - Aborim/Tamel (15 - maio - 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,42/0,36 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,36/0,28 (mg/l)

Temperatura da água – 16,8 °C

Uma semana após o encher o reservatório

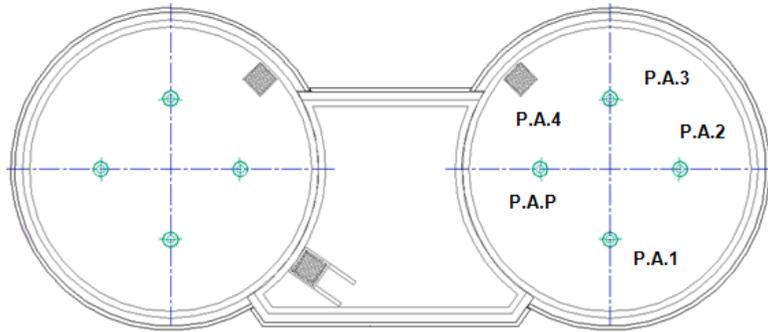
P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.39	-
Amostra 2	1	-	0.42	-
Amostra 3	2	-	0.44	-
Amostra 4	Fundo	-	0.44	-

P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.39	-
Amostra 2	1	-	0.36	-
Amostra 3	2	-	0.39	-
Amostra 4	Fundo	-	0.38	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.38	-
Amostra 2	1	-	0.36	-
Amostra 3	2	-	0.39	-
Amostra 4	Fundo	-	0.38	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.36	-
Amostra 2	1	-	0.40	-
Amostra 3	2	-	0.36	-
Amostra 4	Fundo	-	0.40	-

## Registo de colheitas - Alheira (21 - maio - 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,53/0,48 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,46 (mg/l)

Temperatura da água – 17,6 °C

Reservatório a funcionar em condições normais

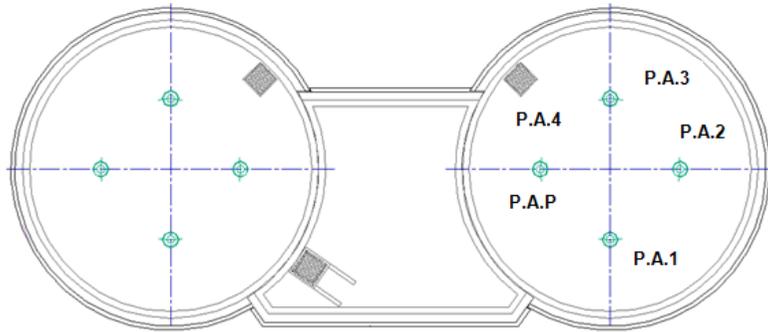
P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,49	-
Amostra 2	1	-	0,52	-
Amostra 3	2	-	0,52	-
Amostra 4	Fundo	-	0,53	-

P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,52	-
Amostra 2	1	-	0,52	-
Amostra 3	2	-	0,52	-
Amostra 4	Fundo	-	0,51	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,45	-
Amostra 2	1	-	0,48	-
Amostra 3	2	-	0,49	-
Amostra 4	Fundo	-	0,49	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,48	-
Amostra 2	1	-	0,51	-
Amostra 3	2	-	0,51	-
Amostra 4	Fundo	-	0,50	-

## Registo de colheitas - Alheira (29 – maio – 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,58/0,51 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,51/50 (mg/l)

Temperatura da água – 18,3 °C

1 dia após aumentar o nível de água dentro do reservatório e aumentar a dosagem de cloro

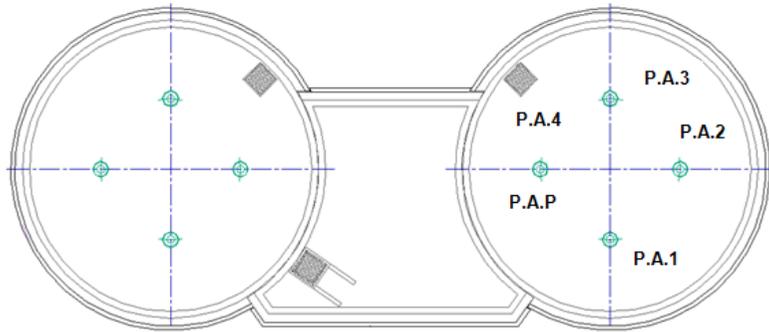
P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.48	-
Amostra 2	1	-	0.52	-
Amostra 3	2	-	0.51	-
Amostra 4	Fundo	-	0.51	-

P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.49	-
Amostra 2	1	-	0.51	-
Amostra 3	2	-	0.52	-
Amostra 4	Fundo	-	0.52	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.49	-
Amostra 2	1	-	0.49	-
Amostra 3	2	-	0.52	-
Amostra 4	Fundo	-	0.51	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.46	-
Amostra 2	1	-	0.48	-
Amostra 3	2	-	0.48	-
Amostra 4	Fundo	-	0.49	-

## Registo de colheitas - Alheira (12 – junho – 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,53/0,45 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,46/0,45 (mg/l)

Temperatura da água – 19,4 °C

5 dias após aumentar o nível de água dentro do reservatório e aumentar a dosagem de cloro

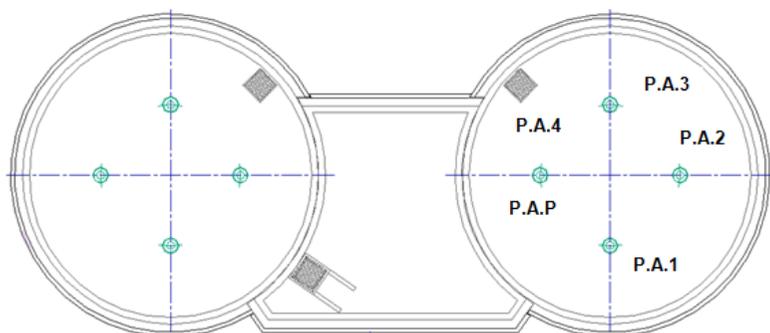
P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,46	-
Amostra 2	1	-	0,47	-
Amostra 3	2	-	0,47	-
Amostra 4	Fundo	-	0,48	-

P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,44	-
Amostra 2	1	-	0,47	-
Amostra 3	2	-	0,44	-
Amostra 4	Fundo	-	0,45	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,45	-
Amostra 2	1	-	0,46	-
Amostra 3	2	-	0,45	-
Amostra 4	Fundo	-	0,45	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,46	-
Amostra 2	1	-	0,44	-
Amostra 3	2	-	0,46	-
Amostra 4	Fundo	-	0,46	-

## Registo de colheitas - Alheira (15 – junho – 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,59/0,47 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,49 (mg/l)

Temperatura da água – 19,0 °C

1 dia após a alteração na conduta de entrada e o enchimento do reservatório

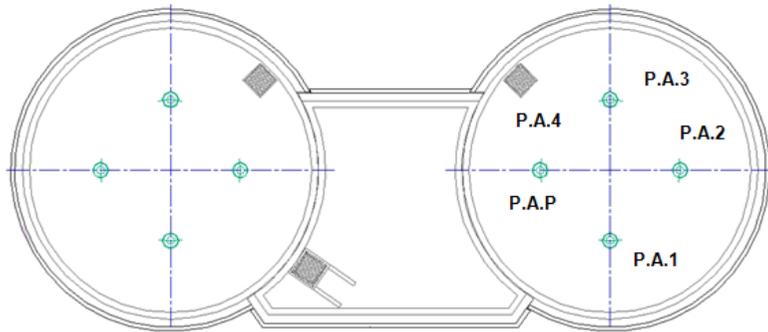
P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,49	-
Amostra 2	1	-	0,52	-
Amostra 3	2	-	0,53	-
Amostra 4	Fundo	-	0,53	-

P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,49	-
Amostra 2	1	-	0,50	-
Amostra 3	2	-	0,54	-
Amostra 4	Fundo	-	0,54	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,46	-
Amostra 2	1	-	0,51	-
Amostra 3	2	-	0,50	-
Amostra 4	Fundo	-	0,52	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0,46	-
Amostra 2	1	-	0,49	-
Amostra 3	2	-	0,53	-
Amostra 4	Fundo	-	0,49	-

## Registo de colheitas - Alheira (26 – junho – 2012)



**Observações:** Concentração de cloro à entrada/saída – 0,65/0,59 (mg/l)

Concentração de cloro à direita/esquerda do septo central – 0,58 (mg/l)

Temperatura da água – 22 °C

5 dias após a modificação da conduta de entrada

P.A 1	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.61	-
Amostra 2	1	-	0.57	-
Amostra 3	2	-	0.59	-
Amostra 4	Fundo	-	0.60	-

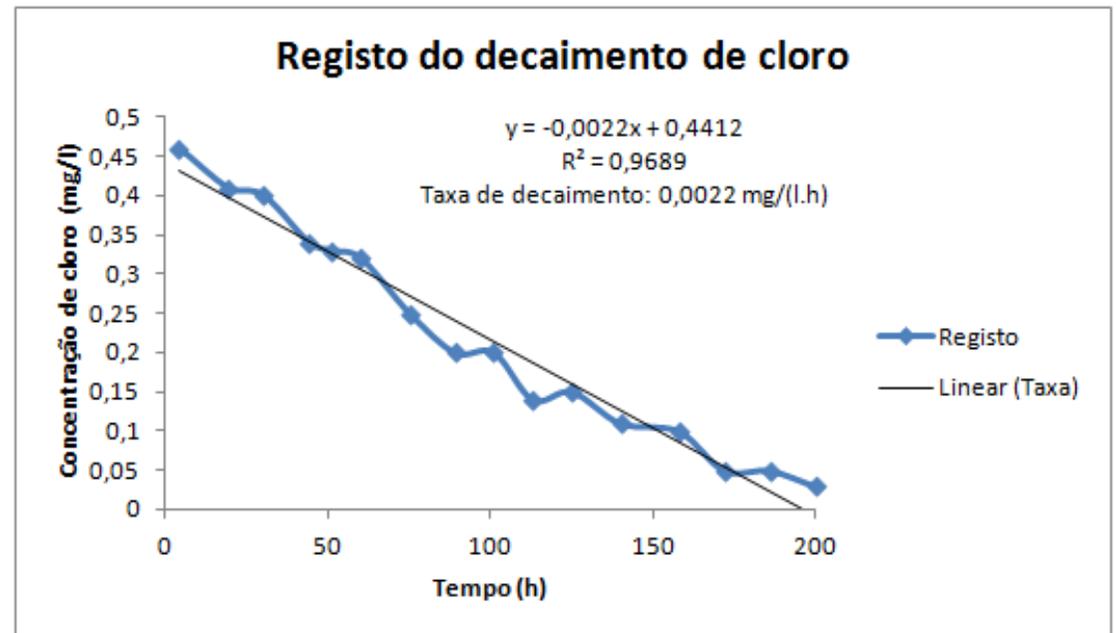
P.A 2	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.60	-
Amostra 2	1	-	0.60	-
Amostra 3	2	-	0.58	-
Amostra 4	Fundo	-	0.59	-

P.A 3	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.60	-
Amostra 2	1	-	0.60	-
Amostra 3	2	-	0.59	-
Amostra 4	Fundo	-	0.61	-

P.A 4	Profundidade (m)	Hora	Cloro res. livre no local (mg/l)	Temperatura (°C)
Amostra 1	0	-	0.57	-
Amostra 2	1	-	0.58	-
Amostra 3	2	-	0.58	-
Amostra 4	Fundo	-	0.58	-

## Registo do decaimento de cloro

Registo do decaimento de cloro		
Tempo após colheita (h)	Concentração de cloro (mg/l)	Temperatura (°C)
4	0,46	19,4
19	0,41	19,2
30	0,40	19,2
44	0,34	19,1
51	0,33	19,1
60	0,32	19,1
75	0,25	19,1
89	0,20	19,3
101	0,20	19,4
113	0,14	19,6
125	0,15	19,7
140	0,11	19,7
158	0,10	19,7
172	0,05	19,5
186	0,05	19,5
200	0,03	19,4



# Geometria do reservatório de Alheira

