



## **Contributo Para Melhoria da Qualidade da Água a Fornecer à População de São Tomé e Príncipe**

### **Estudo de Caso da Estação de Tratamento de Água “Água Amoreira I”**

**Anélsio Tavares de Sousa Pontes**

Dissertação Para Obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia do Ambiente**

Orientador (a): Doutora Rita do Amaral Fragoso.

Júri:

Presidente: Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor Associado com Agregação do (a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte Professora Catedrática Aposentada do (a) Instituto Superior de Agronomia da universidade de Lisboa;

Doutora Rita do Amaral Fragoso, Professora Auxiliar Convidada do (a) Instituto Superior de Agronomia da universidade de Lisboa.

## **DEDICATÓRIA**

Ao Senhor que tudo vê, tudo pode e tudo faz. Deus. E à minha mãe e ao meu pai.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela saúde, vida, paz, força, perseverança, coragem, persistência e por todas as coisas que pôde dar-me e proporcionar-me ao longo desses anos de batalha.

Este(a) curso/dissertação foi concluído(a) graça ao apoio provido por muitos professores, pelas instituições, familiares, amigos, conhecidos e desconhecidos, por isso deixo a seguir, em especial, um agradecimento a todos aqueles que contribuíram de uma forma direta e/ou indireta para a conclusão deste curso:

À minha Orientadora Doutora Rita do Amaral Fragoso, por primeiramente me ter concedido um suporte, ou seja, uma grande oportunidade de frequentar, trabalhar e vivenciar um mundo empresarial de elevada excelência. E em segundo lugar, por me ter dado, força, coragem, incentivo, entusiasmo, apoios e suporte, assim como as sugestões, revisões, correções dos textos para a elaboração desta dissertação. Não esquecendo, também a calma, sinceridade, paciência, simpatia, tolerância, enfim entre muitos outros aspetos durante a orientação deste trabalho. Um muito Obrigado Professora.

À empresa CIMAI- Engenharia e Química Avançada, SA., em especial ao Engenheiro Pedro Mesquita, por me conceder a oportunidade de estagiar e trabalhar na sua estimada e excelente empresa durante a elaboração desta dissertação. Também por me ter concedido a oportunidade de participar em palestra e elaboração de projetos, com foco na melhoria da qualidade de água para São Tomé e Príncipe. Ao Doutor Carlos Rodrigues, por me conceder coragem, apoio, incentivo e participação em seminários sobre tratamento de Água. Um muito obrigado a todos.

Aos meus mentores de estágio Engenheiro Alexandre Delgado e Doutora Anabela Ribeiro, por todo o apoio que me deram na elaboração de projetos que fazem parte desta dissertação e não só, como também apoio moral, apoio técnico, ensinamentos, suporte textual, coragem, perseverança, entre muitas outras aprendizagens que me proporcionaram. Não esquecendo a toda equipa da CIMAI em especial, Júlio, Heron, Cristiano, entre outros. Um muito obrigado a todos.

Ao Professor Doutor António José Guerreiro de Brito, pelo apoio, correções, suporte, incentivo, ensinamentos que me deu e proporcionou, para a elaboração desta dissertação e à Professora Doutora Elizabeth de Almeida Duarte pelos ensinamentos, transmissão e partilha dos seus conhecimentos, pelo aconselhamento e apoio durante todo este curso, bem como a elaboração deste trabalho. Muito obrigado Professores.

Ao Professor Pedro Reis, pelo apoio, correções, suporte de dados, conhecimentos, aprendizagem, incentivo, ensinamentos que me proporcionou ao longo da elaboração desta dissertação. Muito obrigado Professor.

Aos meus amigos da Empresa EMAE e outros, principalmente Vladimir Amado, Walter e Engenheira Dudene Lima, pela partilha de informações, documentos, conhecimentos e entre outros, que serviram de suporte base para a elaboração e concretização deste trabalho.

Aos meus familiares em Portugal, especialmente à minha mãe e meu pai, pela compreensão, força, amor, carinho, coragem e por todos os valores que me transmitiram e continuam a transmitir, e por tudo de bom que me proporcionaram até hoje. Aos meus irmãos primos (especialmente Waldiner Boa Morte), primas,

tios, tias, pela força e coragem, apoio. Ao meu pai em São Tomé e Príncipe, ainda pelo ânimo, força e coragem e a oportunidade que me proporcionou de vir estudar neste estimado país.

Aos meus amigos de Portugal em especial a Liliana Gomes e a Leila Satar, por estarem comigo em momentos mais difíceis e me incentivarem em tudo e a não desistir. Um muito Obrigado. Aos meus colegas e amigos africanos, da universidade, Luís Barbosa, Liliana Mósso, Sónia Ribeiro, Nuno Cristino, Fernando Lima, Erik, Samuel, Isaías Varela, Ruben Moreira, Neusa Rodrigues, Derciley Afonso entre muitos outros, pelo companheirismo, pela coragem, acolhimento e pelo apoio nos estudos nos momentos bons e difíceis. Também pelos momentos de lazer disponibilizados que me fez restringir a distância do país. Os meus colegas de curso, principalmente João Miguel Vaz, Afonso Faro, Pedro, André Duque pelos momentos agradáveis, pelo carinho, apoio nos momentos difíceis durante todo o curso. Um muito Obrigado a Todos.

A todos que contribuíram para o meu sucesso, e para a concretização deste sonho.

## RESUMO

Esta dissertação apresenta um estudo de caso do sistema de abastecimento de água de São Tomé e Príncipe (STP), Estação de Tratamento de Água (ETA) de “Água Amoreira”.

Para esta ETA, fez-se a avaliação de oportunidades de melhorias e da aplicação de novas tecnologias conducentes à garantia da qualidade e segurança da água à população. Foram estudados diferentes aspetos do sistema de abastecimento de água, tais como: Controlo, monitorização, operação, gestão, rentabilidade e segurança. Para o desenvolvimento desta dissertação baseámo-nos na metodologia descrita pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e informação sistematizadas a partir de recolha de dados junto de diversas entidades.

O trabalho desenvolvido permitiu elaborar uma descrição do sistema de abastecimento que poderá servir de base de apoio à Entidade Gestora (EG) do sistema de abastecimento de água de STP, Empresa de Água e Energia (EMAE).

Da análise efetuada verificou-se que seria conveniente proceder à monitorização em mais pontos do sistema de tratamento e abastecimento. Este aspeto é particularmente importante para garantir a adequada dosagem do agente de desinfecção. Por outro lado, recomenda-se a substituição do hipoclorito de cálcio pelo hipoclorito de sódio, uma vez que o primeiro desinfetante pode conduzir a problema de saúde pública. Neste sentido, estudou-se a hipótese de uma alteração tecnológica, introduzindo-se a produção *In-situ* de hipoclorito de sódio através da eletrólise do sal. Do estudo de rentabilidade efetuado verificou-se que esta solução era tecnicamente viável e rentável. Por último, elaborou-se uma proposta de Plano de Segurança de Água (PSA) para o sistema em estudo, tendo em conta a identificação, avaliação, monitorização e gestão dos riscos, que poderá contribuir para a melhoria do sistema. O PSA construído poderá ser adaptado a outros sistemas, contribuindo para a melhoria do serviço prestado pela EG e garantindo a segurança no abastecimento de água.

**Palavras-Chave:** Abastecimento de água, Processo de Desinfecção, Produção de hipoclorito de sódio, São Tomé e Príncipe, Tecnologias de Tratamento de água.

## **ABSTRACT**

This thesis presents a case study of the water supply system of São Tomé and Príncipe (STP), Water Treatment Plant (ETA) of "Água Amoreira I".

For this ETA, the evaluation of opportunities for improvement and for the application of new technologies were performed with the objective of ensuring the quality and safety of the water provided to the population. Different aspects of the water supply system were studied, such as: control, monitoring, operation, maintenance, profitability and security. For the development of this dissertation the methodology described by the World Health Organization (WHO) was followed and data was collected from various entities and systematized.

The work has allowed to draw up a description of the supply system that could be used as a support tool for the Management Entity (EG) of the water supply system of STP, Water and Energy Company (EMAE).

The analysis carried out showed that it would be recommended to undertake a monitoring plan in several points of the treatment and supply system. This aspect is particularly important to ensure the proper dosage of the disinfection agent. On the other hand, it is recommended to replace the calcium hypochlorite by sodium hypochlorite, once the first disinfectant may lead to public health problems. In this sense, the hypothesis of a technological change was studied, introducing an *In-situ* production of sodium hypochlorite through the electrolysis of salt. According to the profitability study performed it was found that this solution is technically viable and profitable. Finally, a proposal for a Water Safety Plan (PSA) for the system under study was prepared, taking into account the identification, assessment, monitoring and management of risks. The PSA built could be adapted to other systems, contributing to the improvement of the service provided by EG and ensuring safety of water supply.

**Keywords:** Disinfection process, Production of sodium hypochlorite, São Tomé e Príncipe, Water supply, Water Treatment Technologies.

## ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	- 1 -
1.1 Objetivos.....	- 1 -
1.2 Âmbito da Dissertação.....	- 2 -
1.3 Estrutura da Dissertação.....	- 2 -
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	- 4 -
2.1. Caracterização do arquipélago de São Tomé e Príncipe (STP).....	- 4 -
2.1.1 Caracterização dos recursos hídricos disponíveis.....	- 7 -
2.1.2 Caracterização do setor de abastecimento de água em STP.....	- 10 -
2.1.2.1 Políticas de abastecimento de água.....	- 10 -
2.1.2.2 Sistema de abastecimento de água.....	- 10 -
2.1.2.3 Sistema de tratamento de água.....	- 14 -
2.1.2.4 Levantamento de infraestruturas de controlo de qualidade ao longo do sistema de abastecimento (captação, tratamento e distribuição).....	- 16 -
2.2 Água para o consumo humano.....	- 17 -
2.2.1 Qualidade de água para consumo humano.....	- 17 -
2.3 Desinfecção de água para consumo humano - definições e conceitos.....	- 18 -
2.4. Implementação e elaboração de Plano de Segurança da Água (PSA) para sistema de abastecimento público.....	- 24 -
2.4.1 Etapas para elaboração do PSA em sistema de abastecimento público.....	- 25 -
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE.....	- 32 -
3.1. Metodologia.....	- 32 -
3.1.1. Descrição do Sistema de abastecimento - Estação de Tratamento de Água (ETA) de “Água Amoreira I”.....	- 33 -
3.1.1.1 Localização do sistema de Abastecimento de água.....	- 33 -
3.1.1.2 Sistema de captação de água bruta (água subterrânea).....	- 34 -
3.1.1.3 Sistema de tratamento e armazenamento de água bruta (água subterrânea).....	- 36 -
3.1.1.4 Sistema de distribuição e reservatório da água tratada.....	- 38 -
3.1.1.5 Representação do diagrama do sistema de abastecimento.....	- 40 -
3.1.2 Controlo do doseamento (Desinfecção) na ETA de Água Amoreira I.....	- 40 -
3.1.2.1 Avaliação da eficiência de uso de hipoclorito de cálcio na ETA de Água Amoreira I.....	- 41 -
3.1.3 Proposta de alteração do processo unitário de desinfecção -Processo de produção de cloro (hipoclorito de sódio) a partir do sal em STP (ETA de Água Amoreira I).....	- 45 -
3.1.3.1 Produção do hipoclorito de sódio na ETA de Água Amoreira I.....	- 46 -

3.1.3.2 Análise de rentabilidade da produção do hipoclorito de sódio versus o uso de hipoclorito de cálcio na ETA de Água Amoreira I .....	- 47 -
3.1.4. Proposta de um plano de segurança da água para o sistema de abastecimento de água / ETA – Água Amoreira I.....	- 53 -
3.1.4.1 Avaliação do sistema de Abastecimento/ETA de Água-Amoreira I .....	- 53 -
3.1.4.2 Monitorização Operacional para o Sistema de Abastecimento de Água de STP (ETA de Água-Amoreira I).....	- 65 -
3.1.4.2.1 Programa de controlo da qualidade de água para o sistema de abastecimento de água de STP (ETA de Água Amoreira I).....	- 65 -
3.1.4.2.2 Programa de Controlo Operacional (PCO) para a ETA de Água Amoreira I - Pontos de Controlo Crítico PCC 4 e 6: Reservatórios e Rede de Distribuição da Água.....	- 71 -
CAPITULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....	- 73 -
CAPÍTULO 5 - BIBLIOGRAFIA .....	- 74 -
ANEXO I.....	xv
ANEXO II .....	xix
ANEXO III.....	xx
ANEXO IV.....	xxi

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Variação da temperatura com altitude em STP (MIRNA, 2003).....	- 6 -
Tabela 2: População em STP no ano de 2012 (INE, 2012). .....	- 7 -
Tabela 3: Dimensões dos rios de STP (Bonfim, 2002).....	- 9 -
Tabela 4: Distribuição dos recursos hídricos por região em STP (Bomfim, 2002). .....	- 9 -
Tabela 5: Abastecimento de Água em STP (EMAE, 2016). .....	- 11 -
Tabela 6: Sistemas de abastecimento de água urbano e rural de STP (EMAE, 2016).....	- 12 -
Tabela 7: Número de Sistemas de Tratamento de Água por concelho servido na área integrante pelas fontes superficiais e subterrâneas de STP. ....	- 15 -
Tabela 8: Evolução do Sistema de Tratamento de Água em STP (EMAE, 2016).....	- 15 -
Tabela 9: Valores médios de cloro residual e pH observados no controlo de qualidade efetuado nos reservatórios de distribuição nos principais sistemas de distribuição (EMAE, 2014). .....	- 17 -
Tabela 10: Informações relevantes para a caracterização do sistema de abastecimento de água (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004).....	- 26 -
Tabela 11: Abordagem semiquantitativa - Escala de probabilidade de ocorrência (Vieira & Morais, 2005). .....	- 28 -
Tabela 12: Abordagem Semiquantitativa - Escala de Severidade das Consequências (Vieira & Morais, 2005).....	- 28 -
Tabela 13: Matriz semiquantitativa de Classificação dos riscos (OMS, 2011). .....	- 29 -
Tabela 14: Classificação de riscos (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005). .....	- 30 -
Tabela 15: Estimativa de caudal máximo diário captado na ETA de Água Amoreira (EMAE, 2014). ..	- 36 -
Tabela 16: Dados relativos à desinfecção na ETA de Água-amoreira I.....	- 42 -
Tabela 17: Cálculos sobre a dosagem e consumo de hipoclorito de cálcio para os diferentes caudais. ..	- 42 -
Tabela 18: Cálculos de produção do hipoclorito de sódio na ETA de Água Amoreira I.....	- 47 -
Tabela 19: Equipamento para produção do hipoclorito de sódio.....	- 48 -
Tabela 20: Custo de aquisição do sal para produção de hipoclorito de sódio.....	- 48 -
Tabela 21: Custo fixo de investimento de produção de hipoclorito de sódio. ....	- 48 -
Tabela 22: Custo variável de investimento de produção de hipoclorito de sódio.....	- 49 -
Tabela 23: Cálculos sobre custo total unitário de produção de hipoclorito de sódio -alternativa A.....	- 49 -
Tabela 24: Custos da compra de hipoclorito de cálcio. ....	- 50 -
Tabela 25: Cálculos sobre custo total unitário de compra hipoclorito de cálcio - alternativa B.....	- 50 -
Tabela 26: Análise de rentabilidade para diferentes períodos de vida útil do equipamento. ....	- 51 -
Tabela 27: Identificação de perigos e eventos perigosos na captação (água subterrânea).....	- 54 -
Tabela 28: Avaliação do subsistema - Fonte de captação.....	- 54 -
Tabela 29: Medidas de controlo associados aos perigos na captação. ....	- 55 -
Tabela 30: Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Tratamento: captação de água subterrânea. ....	- 55 -
Tabela 31: Avaliação do subsistema Tratamento - captação de água subterrânea. ....	- 56 -
Tabela 32: Medidas de controlo associado aos perigos no subsistema tratamento- Captação de água subterrânea. ....	- 56 -
Tabela 33: Identificação de perigos e eventos perigosos no subsistema Tratamento - conduta de transporte de água-reservatório de água bruta. ....	- 56 -

Tabela 34: Avaliação do subsistema Tratamento - conduta de transporte e reservatório de água subterrânea. ....	- 57 -
Tabela 35: Medidas de controlo associadas aos perigos no subsistema tratamento - conduta de transporte e reservatório de água subterrânea. ....	- 57 -
Tabela 36: Identificação de perigos e eventos perigosos no subsistema Tratamento- pré-oxidação no reservatório de tratamento. ....	- 57 -
Tabela 37: Avaliação do subsistema Tratamento. Pré-oxidação água subterrânea. ....	- 58 -
Tabela 38: Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema tratamento - reservatório de tratamento de água subterrânea. ....	- 59 -
Tabela 39: Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Tratamento - filtração de água subterrânea. ....	- 59 -
Tabela 40: Avaliação do subsistema Tratamento - filtração de água subterrânea. ....	- 60 -
Tabela 41: Medidas de controlo associado aos perigos no sistema de tratamento - filtração de água subterrânea. ....	- 60 -
Tabela 42: Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - reservatório de armazenamento de água tratada.....	- 61 -
Tabela 43: Avaliação do subsistema Distribuição - reservatório de armazenamento de água tratada... -	61 -
Tabela 44: Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema de tratamento - reservatório de armazenamento de água tratada.....	- 62 -
Tabela 45: Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - Desinfecção final no reservatório de distribuição. ....	- 62 -
Tabela 46: Avaliação do subsistema distribuição - Desinfecção final no reservatório de distribuição. ... -	63 -
Tabela 47: Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema distribuição. Desinfecção final no reservatório de distribuição. ....	- 63 -
Tabela 48: Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - Conduta de adução de água tratada. ....	- 64 -
Tabela 49: Avaliação do subsistema distribuição. Conduta de adução de água. ....	- 64 -
Tabela 50: Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema distribuição. Conduta de adução de água. ....	- 65 -
Tabela 51: Programa de controlo de qualidade de água na fonte de captação e tratamento de água bruta (água subterrânea). ....	- 66 -
Tabela 52: Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) Pré-oxidação.....	- 67 -
Tabela 53: Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) processo de filtração de água.....	- 68 -
Tabela 54: Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) no reservatório, rede de distribuição e conduta de adução. ....	- 69 -
Tabela 55: Programa de controlo de qualidade de água na Distribuição (desinfecção final). ....	- 70 -
Tabela 56: Programa de controlo operacional para a ETA de Água Amoreira (Decreto-Lei 306/2007 de 26 de Agosto e IRAR, 2007). ....	- 71 -
Tabela 57: Modelo 1 e 2 do equipamento de produção do hipoclorito de sódio (0,8%). (CIMAI, 2017) xvii	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Arquipélago de STP (MIRNA, 2003). .....	- 4 -
Figura 2: Rede hidrográfica de STP (Barros, 2011). .....	- 8 -
Figura 3: Fonte de captação rio Manuel Jorge (EMAE, 2016). .....	- 12 -
Figura 4: Fonte de captação de água subterrânea (Sistema de Água Amoreira I) (EMAE, 2016). .....	- 12 -
Figura 5: Demografia/Sistemas de abastecimento, captações subterrâneas e superficiais de STP (EMAE, 2016). .....	- 13 -
Figura 6: Volume anual de água captado por fonte superficial e subterrânea em STP (EMAE, 2014). .....	- 13 -
Figura 7: Tratamento de água por fonte de captação em STP (EMAE, 2014). .....	- 15 -
Figura 8: Sistema de transporte para o tratamento de água subterrânea (Sousa, 2016). .....	- 16 -
Figura 9: Sistema de tratamento de água superficial (Sousa, 2016). .....	- 16 -
Figura 10: Laboratório de análises de água da EMAE (Sousa, 2016). .....	- 17 -
Figura 11: Efeito do pH na distribuição de HOCl e OCl <sup>-</sup> na água (Rosa, 2012). .....	- 22 -
Figura 12: Comportamento de cloro na água (Rosa, 2012). .....	- 23 -
Figura 13: Curva de cloro residual representando um breakpoint. Presença de azoto amoniacal na água (1mg/L) (Rosa, 2012). .....	- 23 -
Figura 14: Implementação e desenvolvimento de PSA (Conselho de Regulação da Água (CRA), 2015). ....	- 25 -
Figura 15: Localização da ETA de Água Amoreira .....	- 34 -
Figura 16: Sistema de nascente de Água Amoreira (Google imagem, 2016). .....	- 34 -
Figura 17: Os principais cursos de água e nascentes de STP (Barros, 2011). .....	- 34 -
Figura 19: ETA de Água Amoreira. ....	- 35 -
Figura 18: Conduta de transporte de água bruta. ....	- 35 -
Figura 20: Esquema do processo de tratamento de água da ETA de Água Amoreira, adaptado de IRAR (2007). .....	- 37 -
Figura 21: Captação em nascente, sistema de distribuição e respetivos reservatórios (Adaptado de Gomes, 2016). .....	- 38 -
Figura 22: Reservatórios de distribuição. ....	- 39 -
Figura 23: Simulação de um diagrama do sistema de abastecimento de água (ETA de Água Amoreira I). ..	- 40 -
Figura 24: Programa de controlo operacional para sistema de abastecimento de STP (ETA de Água Amoreira) (Adaptado IRAR 2007). .....	- 72 -
Figura 25: Modelo 1 e 2 do equipamento de produção do hipoclorito de sódio (0,8%) (CIMAI, 2017). ..	xvi
Figura 26: Processo de produção do hipoclorito de sódio por eletrólise (CIMAI, 2017). .....	xviii
Figure 27: Esquema do processo de produção do hipoclorito de sódio (CIMAI, 2017). Na Figura 27: apresenta-se um esquema do processo acima descrito. ....	xix

## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

**APPCC** - Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controlo

**ARH- Centro** – Administração da Região Hidrográfica do Centro

**CRA** - Conselho de Regulação da Água

**DA** - Direção da Água

**DGRNE** - Direção Geral de Recursos Naturais e Energia

**EG** - Entidade Gestora

**EMAE** - Empresa de Água e Energia

**ETA** - Estação de Tratamento de Água

**INE** - Instituto Nacional de Estatística

**IRAR** - Instituto Regulador de Água e Resíduos

**LC** - Limite Crítico

**MIRNA** - Ministério de Infraestrutura Recursos Naturais e Ambiente

**MS** – Ministério da Saúde

**NTU** - Unidades Nefelométricas de Turbidez

**PALOP** - Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa

**PC** - Ponto de Controlo

**PCC** - Ponto Crítico de Controlo

**PSA** - Plano de Segurança da Água

**PMB** - Princípio de Múltiplas Barreiras

**pH** - Potencial Hidrogeniónico

**PVC** – Policloreto de Vinilo

**PEAD** - Polietileno de Alta Densidade

**R-UV**- Radiação Ultravioleta

**STP**- São Tomé e Príncipe

**UNICEF**- United Nations Children's Fund

**OMS** - Organização Mundial da Saúde

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

O controlo e/ou monitorização, são ferramentas importantes para a garantia da qualidade da água, são mecanismos relevantes para a preservação de riscos, que por sua vez, auxilia, assegura e garantem a segurança da água para o consumo humano.

Os países de desenvolvimento médio e/ou em via desenvolvimento, são por vezes caracterizados por apresentarem sistema de abastecimento de água para consumo humano muitas vezes deficientes, que por vezes não efetuam qualquer tratamento e não apresentam meios de segurança, embora a *Organização Mundial de Saúde* (OMS) tem estado a recomendar e a determinar, que toda água destinada ao consumo humano, tem por obrigação passar pelo processo de tratamento e que os sistemas de abastecimento de água, têm de apresentar um suporte de segurança para assegurar a melhoria da qualidade de água.

O funcionamento adequado de uma ETA, passa por sua máxima rentabilização em proporcionar um abastecimento de água em condições aceitáveis que primam pela eficiência da qualidade de água captada, tratada e distribuída. A operação do sistema de abastecimento depende muito da capacidade dos técnicos que operam no sistema e de muitos instrumentos instalados e muitas ações desenvolvida e implementada no sistema.

Há um conjunto de ações exercida na ETA, que sendo de relevante importância são rapidamente solucionadas com a tomada de decisão na tentativa de proporcionar e implementar melhorias para a sua correção e seu bom funcionamento. Existem outras ações que só com um espírito mais crítico se consegue avaliar se é possível a aplicação de novas alternativas ou melhorias.

Em São Tomé e Príncipe (STP), o desafio para garantir o abastecimento de água, bem como assegurar a sua segurança é enorme e ainda carece de muito esforço por parte da EG, apesar de já ser possível observar um elevado dinamismo sobre a cobertura dos serviços de abastecimento de água para o consumo humano por parte da EG. O crescimento acelerado da população, tem estado a exigir que a EG esteja capacitada para fornecer a água com qualidade a todos cidadãos, e não só, como também o rápido crescimento do país em termo de turismo e outras economias, tem estado a exigir uma maior atenção no que concerne ao abastecimento de água, pois a salvaguarda da saúde pública é um objeto de segurança. Na tentativa de garantir um abastecimento de água à toda população com a construção e remodelação dos sistemas de tratamento/abastecimento, o grau de funcionamento, operação, segurança, controlo e manutenção dos sistemas de abastecimento de água da EG tem vindo a aumentar sendo objeto de novas oportunidades de melhorias.

Esta dissertação aborda a temática da qualidade de água, focando-se no abastecimento, que inclui o tratamento (desinfecção), monitorização e segurança da água.

### **1.1 Objetivos**

O presente trabalho, tem como objetivo geral contribuir para a melhoria da qualidade e segurança da água a fornecer à população de São Tomé e Príncipe (STP), promovendo a economia local e o desenvolvimento sustentável.

De uma forma mais específica, para o desenvolvimento desta dissertação definiram-se os seguintes objetivos:

- Contribuir para a melhoria do sistema de controlo e doseamento de desinfetante por monitorização em linha da qualidade da água para o consumo humano em STP;
- Contribuir para a melhoria do programa de monitorização;
- Proposta de alteração do processo unitário de desinfecção;
- Análise de rentabilidade para produção de hipoclorito de sódio para a desinfecção de água para consumo humano.

No sentido de alcançar os objetivos desta dissertação, a análise do estudo de caso foi estruturada em quatro pontos: 1) Descrição do sistema de abastecimento de uma forma sistematizada; 2) Abastecimento e tratamento (desinfecção) de água para consumo humano em “Zona *Urbana e Rural*”; 3) Implementação de uma tecnologia simples e rentável; 4) O desenvolvimento de um PSA capaz de ajudar as entidades reguladoras e gestoras e comunidades rurais, na tomada de decisão e a aceitar novos desafios que contribuam para a melhoria da qualidade de água.

## **1.2 Âmbito da Dissertação**

A presente dissertação incidirá sobre um caso de estudo, para contribuição da melhoria da qualidade de água para o consumo humano em São Tomé e Príncipe. O desafio focou-se numa Estação de Tratamento de Água (ETA), onde a infraestrutura de abastecimento, as técnicas de tratamento de água, bem como o modelo de segurança constituem um desafio a ser estudado e implementado para a melhoria da qualidade de água para o abastecimento público.

Neste trabalho serão abordados os aspetos mais relevantes do abastecimento, tratamento e segurança da água, e irão propor-se medidas alternativas por forma a contribuir para o controlo, monitorização, rentabilidade e segurança.

## **1.3 Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos.

O primeiro capítulo reflete a introdução do tema a ser estudado, os objetivos a serem alcançados, o âmbito da aplicação e a estrutura.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica que aborda os tópicos referentes à água para o consumo humano (poluição da água, qualidade da água, desinfecção da água para o consumo humano e estrutura de implementação de Plano de segurança da água para o sistema de abastecimento público) e a caracterização do cenário de referência do tratamento e abastecimento de água em STP. No que concerne a caracterização do cenário de referência de STP, faz-se a caracterização geral do arquipélago, tendo em conta a sua situação geográfica, o clima (temperatura, humidade, precipitação), relevo, recursos hídricos existentes e a caracterização dos sistemas de abastecimento de água (captação, tratamento e distribuição da água).

O terceiro capítulo diz respeito ao estudo de caso, onde se apresenta a metodologia, nomeadamente os métodos de recolha de dados, bem como a organização e os principais tópicos a desenvolver. No estudo de caso, seleccionou-se um sistema de abastecimento e efetuou-se uma análise que levasse à proposta de melhorias que contribuíssem para a garantia da qualidade e segurança do abastecimento de água. Os tópicos desenvolvidos foram subdivididos em quatro pontos (subcapítulos), todos com o intuito de apresentar soluções convenientes para contribuir para a melhoria da qualidade de água no sistema de abastecimento de água de STP. O primeiro ponto reflete a descrição do sistema de abastecimento selecionado, fazendo uma descrição sistematizada do sistema tendo em conta a captação, tratamento e distribuição de água; O segundo ponto, reflete um estudo ao nível de controlo do doseamento de reagentes (desinfecção) para o sistema de abastecimento selecionado; o terceiro ponto apresenta uma proposta de alteração do processo unitário de desinfecção através de controlo do doseamento automático, no qual se avaliou a possibilidade de produção de hipoclorito de sódio para a desinfecção da água no sistema de abastecimento selecionado, e analisou a sua rentabilidade. O quarto ponto propõe-se um plano de segurança de água para o sistema de abastecimento selecionado.

No quarto capítulo apresentam-se as principais conclusões, considerações e recomendações do trabalho.

No quinto capítulo apresenta-se a bibliografia consultada para a realização do trabalho.



(1630 m); o pico de Calvário (1608 m) e o pico Cabumbé (1405 m), fazendo com que a ilha de São Tomé possa ser considerada como “convulsão orográfica”, uma autêntica “revolução altimétrica” (MARNA, 2003).

A ilha do Príncipe apresenta um relevo pouco acidentado e com altitude baixa em comparação com São Tomé. O relevo é mais acentuado no sul do que no norte, e um conjunto de serras atravessa a ilha entre o leste e oeste, sendo de evidenciar o Morro de S. Jorge, Conceição e o pico de Príncipe (MIRNA, 2003).

### **Composição Geo-Pedológica**

Tanto a ilha de São Tomé como a ilha do Príncipe caracterizam-se por apresentarem rochas do tipo vulcânico. Em relação à ilha de São Tomé, o tipo de rocha predominante é o basalto, principalmente no norte da ilha por haver pouca precipitação (MIRNA, 2003). Na região sul e centro da ilha, devido à predominância de chuvas fortes (torrenciais), abundantes, os basaltos, formam grandes elevações (Picos). Outras rochas relevantes na ilha, principalmente no Ocidente e no Sul, compreendem os fonolitos densos e porosos, que estão desenvolvidos na forma de agulhas isoladas, formando o que chamamos de pico de Cão Grande e pico de Cão Pequeno. “Algumas rochas como Andesitos, Traquites e Arenitos, são observáveis em alguns pontos da ilha, principalmente nos vales dos cursos médios e inferior dos rios, assim como sedimentos aluviais de pouca espessura, sendo os mais importantes os da planície de D. Eugénia na margem do Rio Ió Grande. Os sedimentos pelágicos localizam-se geralmente na foz dos rios e nas praias” (MIRNA, 2003).

Na ilha do Príncipe, a composição geológica predominante também são os basaltos, principalmente no Norte da ilha, e intercalam-se com alguns jazigos de laterite e tufos de traquite. Na região sul ocorre a maior predominância de fonolitos. Existem também na ilha, alguns afloramentos de calcário de mioceno e calcário cristalino (MIRNA, 2003).

### **Tipo de Solo**

A ilha de São Tomé caracteriza-se por apresentar o tipo de solo mais rico e mais fértil em comparação com a ilha do Príncipe. Os solos que constituem a ilha de São Tomé englobam os seguintes principais grupos: parraferralíticos, fersialíticos tropicais, barros negros e solos litólicos. Estes solos constituem um dos principais recursos da ilha de São Tomé, sendo, portanto, caracterizados por possuírem uma enorme fertilidade e serem adequados para a agricultura, embora por vezes apresentem relevante pedregosidade. São caracterizados por possuírem deficiência em fósforo e potássio e um pH normalmente ácido (5,7). Os solos que são normalmente caracterizados como sendo os mais férteis, compreendem os fersialíticos e os barros negros. Os barros negros estendem-se pela parte oriental da ilha e são mais representativos nas áreas mais áridas onde, associados aos fersialíticos, cobrem uma vasta zona que compreendem a zona de Água Izé, Monte Café, Diogo Vaz, Praia das Conchas, Rio do Ouro, Guegue, Pinheira e Uba Budo. Os litólicos e os parraferralíticos ocupam grandes extensões, particularmente na zona sul e sudoeste, acidentada e pluviosa (MIRNA, 2003).

A ilha do Príncipe, não é, em termos de solo, tão rica como a de São Tomé. Os fersialíticos tropicais são de reduzida quantidade, abundando fundamentalmente os parraferralíticos (MIRNA, 2003)

## Clima

O clima de STP é caracterizado por ser do tipo tropical/equatorial quente e húmido, sendo normalmente influenciado principalmente pela temperatura, precipitação e relevo. No arquipélago de São Tomé há duas estações: estação de húmida (precipitação intensa), entre os meses de Outubro a Maio, caracterizada por fortes chuvas e com temperaturas elevadas; e estação de seca (gravana), entre os meses Junho a Setembro, caracterizada por forte humidade, pouca precipitação e ventos estáveis. O clima da ilha do Príncipe equipara-se ao da ilha de São Tomé, apresentando temperatura média elevada ao longo do ano e com baixa amplitude. A precipitação também é elevada e muito bem distribuída durante o ano (Lima, 2011).

A formação de macro e microclimas nestas duas ilhas dá-se especialmente devido à característica do relevo. O arquipélago de STP é essencialmente composto por floresta húmida, característica do clima. Existem no arquipélago três tipos de florestas: floresta húmida de altitude baixa, onde há predominância de árvores do tipo coqueiros (*Cocos nucifera*); floresta de montanha onde predominam árvores de grandes portes como Jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus*), Fruta-pão (*Artocarpus altilis*) entre outras; e floresta de nevoeiro, onde predominam árvores de pequeno porte, impossibilitando o acesso às mesmas. As florestas de pequeno porte, vulgarmente conhecidas como obô, são cientificamente classificadas de florestas densas e com elevado nível de vegetação, ocupando a maior parte da ilha São Tomé e sul da ilha do Príncipe (Lima, 2011).

## Temperatura

As temperaturas médias mensais têm uma variação entre 17,5 e 25,5°C entre o nível do mar e o limite das zonas cultivadas, a cerca de 1000 m de altitude. A estas altitudes as temperaturas mínimas chegam a descer abaixo de 15 °C e nas zonas mais quentes, junto ao litoral, as temperaturas máximas pouco ultrapassam 30 °C. A região sul é caracterizada por apresentar temperaturas médias mensais mais baixas em comparação com a região norte. Como é óbvio a temperatura é fortemente influenciada pelo relevo nestas duas ilhas (Pontes, 2015). Na Tabela 1 apresenta-se a variação da temperatura com a altitude em STP.

**Tabela 1:** Variação da temperatura com altitude em STP (MIRNA, 2003).

Localidade	Altitude	Temperatura Média Diurna (°C)
Lagoa Amélia	1.488	18,4
Monte Café	690	22,4
Morro de Trindade	348	25,3
Aeroporto	8	26,2

## Humidade

A humidade é também muito elevada, podendo em zonas de elevada altitude, atingir uma média de 92% durante quase todo ano, enquanto em zonas de baixa altitude pode variar entre 70 e 80% ao longo do ano.

## População

A população de STP nos anos 70 era cerca de 73.600 habitantes (Lima, 2011) e, segundo o Censos de 2012 é 178.739 habitantes. Portanto, o crescimento populacional de STP é acelerado o que nos leva a prever que a longo prazo a população vai aumentar significativamente e o aumento da população, trará sem dúvida uma pressão ao nível do desenvolvimento (crescimento urbano), ambiente e recursos disponíveis (desflorestação e empobrecimento do solo), e da densidade populacional. Na Tabela 2 apresenta-se a densidade populacional correspondente aos dados do censo de 2012.

Pela análise da Tabela 2 verifica-se que a repartição da população por sexo mostra uma tendência para o equilíbrio, com uma população masculina de 49,5% e feminina de 50,5%. Convém realçar que, a população atual (2016) encontra-se na ordem de 199.910 habitantes (Banco mundial, 2016).

**Tabela 2:** População em STP no ano de 2012 (INE, 2012).

<b>Distrito</b>	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>	<b>Total</b>
Água-Grande	33.588	35.866	69.454
Mé-Zochi	22.502	22.250	44.752
Cantagalo	8.752	8.409	17.161
Caué	3.134	2.897	6.031
Lembá	7.564	7.088	14.652
Lobata	9.834	9.531	19.365
R. A. Príncipe	3.745	3.579	7.324
<b>Total</b>	<b>88.867</b>	<b>89.872</b>	<b>178.739</b>

### 2.1.1 Caracterização dos recursos hídricos disponíveis

#### A Pluviosidade e Disponibilidade Hídrica

STP caracteriza-se por apresentar precipitação regular e abundante ao longo de todo o ano. No arquipélago, devido às configurações do relevo, a pluviosidade é muito variável, podendo nas regiões onde o relevo é muito acentuado (nordeste), atingir entre os 1.000-2000 mm/ano e nas regiões pouca acidentadas (sudoeste) o nível de pluviosidade aumenta, podendo a sua média variar entre 5000-7000 mm/ano. Contudo este valor pode atingir mais de 7000 mm/ano. Esta é a média anual da pluviosidade entre as zonas baixas e as florestas de nevoeiro (Miguel, 2011; Bomfim, 2002)

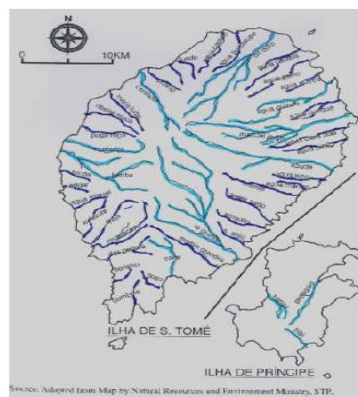
A disponibilidade hídrica em STP é elevada, sendo que 60% dos recursos hídricos localizam-se em zonas montanhosas, principalmente no sul e sudoeste das ilhas em zonas de difícil acesso (Bomfim, 2002). Por este motivo, apenas 0,4 % dos recursos estão destinadas às necessidades do país (MIRNA, 2010). Os recursos hídricos estão divididos de forma desigual por todo país, sendo que os mais explorados são os caudais regularizados pela vegetação (EMAE, 2016; MIRNA, 2010).

## Rede Hidrográfica

A rede hidrográfica, ou seja, a distribuição geográfica dos rios tem uma configuração radial a partir do centro da ilha, ocupado pelas zonas de relevos pouco acentuado (zonas rochosas) (Barros, 2011; Bomfim, 2002). A rede hidrográfica parte desta zona, em direção à linha de costa (mar). Segundo Barros (2011), existem no país, ou seja, no conjunto das duas ilhas, 116 bacias hidrográficas, sendo que estas conferem na sua totalidade 223 cursos de água que se diferenciam na sua extensão. O comprimento dos cursos de água varia entre os 5 e os 30 km, enquanto o comprimento das quedas de água varia entre os 100 e os 800 metros de altitude (Miguel, 2011; Bomfim, 2002). Na ilha de São Tomé, devido às configurações do relevo, a maior parte das nascentes situa-se em altitudes compreendidas entre os 600 e 1880 metros, enquanto no Príncipe na região norte com quedas de água em altitude de 120 e 180 metros, e na região do Sul apresenta vales com vários rios (Bomfim, 2002).

### ➤ Recursos hídricos superficiais

Os recursos hídricos superficiais representativos deste país estão avaliados em cerca de 2 mil milhões de m<sup>3</sup> por ano, o que representa 12.000 m<sup>3</sup> ano/ habitante, aproveitando-se apenas 0,045% deste potencial hídrico (Barros, 2011).



**Figura 2:** Rede hidrográfica de STP (Barros, 2011).

O arquipélago de STP é constituído por mais de 50 rios, sendo a sua distribuição pelo arquipélago irregular. O caudal dos rios é variável e irregular, pois é influenciado pelas estações do ano. Na gravana (estação seca), o caudal diminui significativamente, sendo 3 a 4 vezes inferior ao caudal médio (Bomfim, 2002). Na estação húmida, devido à elevada precipitação, o caudal dos rios aumenta de forma significativa, causando grandes cheias, levando ao aumento do nível do leito dos rios para mais de dois metros. A Tabela 3 apresenta-se os principais rios de STP (Bomfim, 2002).

**Tabela 3:** Dimensões dos rios de STP (Bonfim, 2002).

Rio	Extensão (km)	Superfície da Região Hidráulica (km <sup>2</sup> )	Sup. da bacia em relação ao território (%)
Iô Grande	22,4	105,5	12,6
Ana Chaves	14,5	27,6	4,2
Lemba	14,7	45,2	5,4
Abade	20,9	51,3	6,0
Contador	14,3	23,5	2,8
Quija	12,8	20,9	2,5
Contador	9,4	12,2	12,2
Manuel Jorge	22,9	36,4	4,4
Xufe-xufe	9,7	16,5	2,0
Rio do ouro	19,3	36,5	4,4
Papagaio	8,5	13,0	10,1
Banzú	5,1	7,36	6,2
Bibi	4,35	4,7	3,7

➤ **Recursos hídricos subterrâneos**

Os recursos hídricos subterrâneos, ainda não são conhecidos em pormenor na sua totalidade, mas são os recursos mais utilizados para o abastecimento de água à população. Os recursos aquíferos representam entre 300 a 600 milhões de m<sup>3</sup> por ano no abastecimento de água (Barros, 2011).

**Importância dos Recursos Hídricos em STP**

A disponibilidade dos recursos hídricos em STP pode considerar-se uma relevante fonte de riqueza. Os níveis de caudal dos rios de todo arquipélago é cerca de 2,1 milhões de m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (12.000 m<sup>3</sup>/pessoa), que comparativamente por exemplo com a Ásia (6.250 m<sup>3</sup>/pessoa) e a Europa (5.100 m<sup>3</sup>/pessoa), são significativamente superiores (Bomfim, 2002). A distribuição geográfica dos recursos hídricos ao longo de todo o arquipélago torna a biodiversidade e a economia do país mais enriquecidas. A desigualdade da distribuição dos recursos hídricos (Tabela 4), faz-se sentir em diversas regiões do país, sendo que a maior disponibilidade se encontra na região sudoeste que tem menos população, enquanto o Norte e o Nordeste onde habitam cerca de dois terços da população do país é a mais pobre em recursos hídricos (Bomfim, 2002).

**Tabela 4:** Distribuição dos recursos hídricos por região em STP (Bomfim, 2002).

Localização	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal superficial (m <sup>3</sup> )
Ilha de São Tomé	857	1,8
Parte Sudoeste	200	1,1
Parte Nordeste	200	0,2
Ilha do Príncipe	139	0,3
<b>Total</b>	<b>996</b>	<b>2,1</b>

A elevada disponibilidade dos recursos hídricos em STP, faz com que a maior parte dos mesmos sejam utilizados para o abastecimento público. Alguns rios, como por exemplo o Contador e rio do Ouro, servem para a produção de energia elétrica, ou irrigação de campos agrícolas. A maioria dos rios tem importância sanitária, pois servem para lavar roupa, utensílios domésticos, entre outros.

## **2.1.2 Caracterização do setor de abastecimento de água em STP**

O abastecimento de água em São Tomé e Príncipe é feito a dois níveis, a nível central e regional (EMAE, 2016). Os principais órgãos intervenientes no sector de abastecimento de água compreendem: A DGRNE - Direção Geral de Recursos Naturais e Energia; Direção da Água (DA); Empresa de Água e Eletricidade (EMAE); Câmaras Distritais e Regionais e as Organizações Não Governamentais (EMAE, 2016).

### **2.1.2.1 Políticas de abastecimento de água**

A política de água e abastecimento público em STP ainda estão em estudo, existindo atualmente a seguinte legislação (EMAE, 2016):

- Lei base da água de São Tomé e Príncipe (em elaboração);
- Decreto-Lei nº 86/2009, de 2 de dezembro, que definiu a criação da Direção Geral de Recursos Naturais e Energia (DGRNE) como responsável para a contribuição, definição e implementação das políticas para água, geologia e energia de STP. A Direção da Água (DA) faz parte da DGRNE, e é responsável pela elaboração de leis e outros instrumentos de política da água;
- Decreto-Lei nº 22/2011 de 29 de março, que aprovou os estatutos para que a EMAE, empresa criada em 1991, seja responsável por assegurar o abastecimento (captação, tratamento e distribuição) de água em todo o arquipélago de STP.

### **2.1.2.2 Sistema de abastecimento de água**

Em STP o serviço de abastecimento público de água é gerido pela Empresa de Água e Eletricidade (EMAE), a única Entidade Gestora (EG) no que concerne ao abastecimento de água para o consumo humano no país (EMAE, 2016). A EMAE, dotada de autonomia, gere individualmente todo o sistema abastecimento de água (captação, tratamento, armazenamento e distribuição), sendo a taxa de cobertura de abastecimento de água cerca de 75%, sendo os 25% restantes assegurados pelas antigas roças, comunidades ou particulares (EMAE, 2016). A EMAE gere diretamente 16 sistemas urbanos de abastecimento de água para o consumo em todos os distritos do país, e muitos sistemas de poços, furos e fontanários em comunidades rurais. Em zonas urbanas, após a captação, existe em cada sistema de abastecimento uma conduta adutora, estações de tratamento (coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção) de águas superficiais e ETA ou posto de cloragem para as águas subterrâneas, sendo que estes sistemas de tratamentos possuem reservatórios de armazenamento e regulação de caudal e rede de distribuição. Em relação ao abastecimento, em zonas rurais os sistemas de fontanários estão acoplados a um sistema de adução, posto de cloragem, reservatórios e sistema de distribuição. Na Tabela 5 apresenta-se a evolução dos sistemas de abastecimento de STP, bem como a cobertura atual e um prognóstico do abastecimento para o futuro.

**Tabela 5:** Abastecimento de Água em STP (EMAE, 2016).

<b>Indicadores</b>	<b>Situação anterior (2000)</b>	<b>Situação atual (2017)</b>	<b>Perspetivas (2018)</b>
Número de Estações de abastecimento	2	16	17
População abastecida (%)	60	75	80
Número de reservatórios	17	28	34
Cobertura fora da gestão da EMAE (%)	40	25	20
Aproveitamento do potencial hídrico (%)	0,042	0,045	0,047

Os 16 sistema de abastecimento de água urbano assegurado pela EMAE e conjunto de poços, furos e fontanários rurais assegurados pelas antigas roças, estão em operação e asseguram o abastecimento de água a um número elevado de população em diferentes localidades e/ou distritos do país (EMAE, 2016).

#### **Caracterização da fonte de captação de água**

A água subterrânea está infiltrada no subsolo e pode ser captada por nascentes, por galerias drenantes, por furos e poços até ao nível freático, ou por bombagem onde exista água acumulada (fonte). A água de superfície é captada nos rios, canais, ribeiras, lagos, bacias de retenção e albufeiras. Qualquer que seja a sua origem, raramente a água captada no meio natural pode ser distribuída sem tratamento (IRAR, 2007).

A presença de recursos hídricos subterrâneos constitui uma das grandes vantagens aquando da seleção das origens das águas, uma vez que estes recursos são por normas classificados com maior nível de qualidade para o consumo humano. É por este motivo que a EMAE, devido a elevada disponibilidade desses recursos em STP, aquando da seleção dos sistemas de abastecimento de água destina na sua maioria a captação das águas através dessa fonte, uma vez que está origem da água facilita a exploração do sistema tratamento, e permite garantir, com maior fiabilidade, a qualidade da água no ponto de consumo (EMAE, 2016). A captação de água de origem superficial também faz parte do sistema abastecimento para o consumo humano no país (EMAE, 2016). As captações são por norma, efetuadas a partir de locais elevados, zonas de vegetação densa e virgem, o que permite a existência de água segundo a EMAE, de boa qualidade. De acordo com a informação obtida no relatório de qualidade de água da EMAE (2014), dos vários sistemas de abastecimento urbano em funcionamento, existem atualmente 8 destinados a captação de água superficial e 8 destinado a captação de água subterrânea. Existem, outros a serem construídos e reabilitados por forma a cobrir a procura de água por parte da população. Muitos desses sistemas carecem de meios de segurança para assegurar a qualidade da água e meios de proteção para evitar a presença de animais e vandalismo. As Figuras 3 e 4 representam alguns sistemas de captação superficial e subterrânea em STP e a Tabela 6 apresenta-se os sistemas de abastecimento de água urbano em operação.



**Figura 3:** Fonte de captação rio Manuel Jorge (EMAE, 2016).

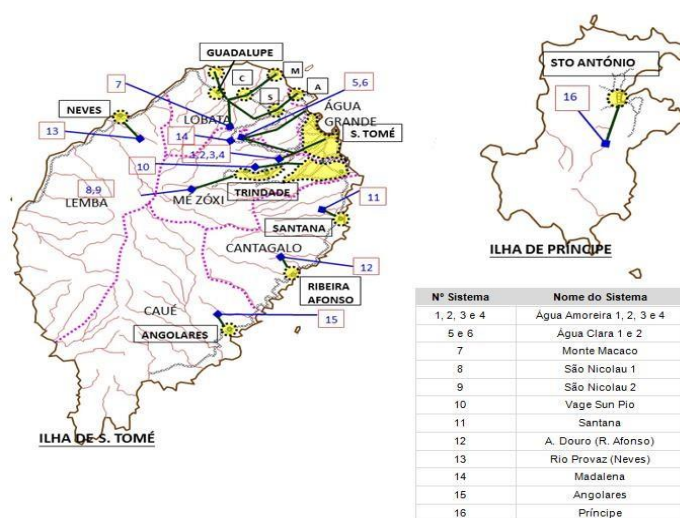


**Figura 4:** Fonte de captação de água subterrânea (Sistema de Água Amoreira I) (EMAE, 2016).

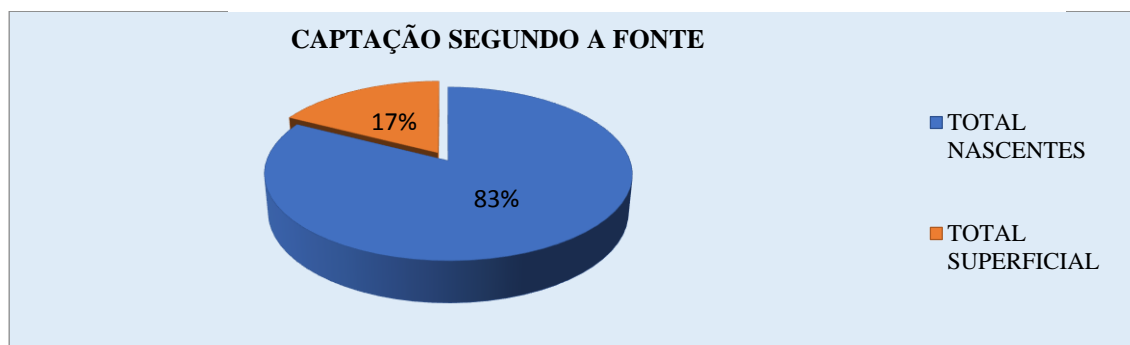
**Tabela 6:** Sistemas de abastecimento de água urbano e rural de STP (EMAE, 2016).

	Nº	Designação do Sistema	População servida (hab)	Caudal anual (m <sup>3</sup> /ano)	Captção por Distritos	Distritos de abastecimento
NASCENTES / ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	1	SANTANA	12.579	174.000	Cantagalo	Cantagalo
	2	VAJE SUM PINHO	6.775	315.000	Lembá	Mé-Zóchi
	3	ÁGUA AMOREIRA I	24.708	7.000.000	Mé-Zóchi	Água Grande e Mé-Zóchi
	4	ÁGUA AMOREIA II	22.819	1.000.000	Mé-Zóchi	Água Grande e Mé-Zóchi
	5	ÁGUA AMOREIRA IV	6.293	196.000	Mé-Zóchi	Mé-Zóchi
	6	ÁGUA CLARA I e II	18.173	2.000.000	Mé-Zóchi	Água Grande, Mé-Zochi e Lobata
	7	MONTE MACACO	20.123	842.000	Lobata	Água Grande e Lobata
	8	CHANGRA	1.874	140.000	Lobata	Lobata
ÁGUAS SUPERFÍCIAL	9	ANGOLARES	3.912	257.000	Caué	Caué
	10	RIBEIRA AFONSO	7.450	72.000	Cantagalo	Cantagalo
	11	S. NICOLAU	4.787	528.000	Mé-Zóchi	Mé-Zóchi
	12	S. NICOLAU VELHO	1.781	266.000	Mé-Zóchi	Mé-Zóchu
	13	OBOLONGO	25.065	218.000	Mé-Zóchi	Mé-Zóchi
	14	Rio do Ouro	n.d	n.d	Lobata	n.d
	15	NEVES	8.068	952.280	Lemba	Lemba
	16	PRÍNCIPE	5.000	406.000	Paguê	Paguê

Todos estes sistemas de captação de água superficial e subterrânea para as zonas urbanas, captam anualmente mais de 15.000.000 m<sup>3</sup>/ano (e abastecem mais de 157 mil habitantes) (EMAE,2016). Os dados apresentados para a população abastecida correspondem a informação disponibilizada pelo Instituto Nacional de Estatística de STP (INE), que foram estimados segundo as localidades de abastecimento, que nem sempre abrange a totalidade das captações existentes em cada distrito (tanto nas captações superficiais como nas subterrâneas). Assim sendo, será expectável que a população servida, seja superior à apresentada. A Figura 5 representa a localização geográfica das captações superficiais e subterrâneas em diferentes distritos e a Figura 6, apresenta-se o volume anual de água captado, associado às diferentes origens (subterrânea e superficial).



**Figura 5:** Demografia/Sistemas de abastecimento, captações subterrâneas e superficiais de STP (EMAE, 2016).



**Figura 6:** Volume anual de água captado por fonte superficial e subterrânea em STP (EMAE, 2014).

É, pois, observável, que as nascentes/águas subterrâneas, asseguram quase a totalidade do abastecimento de água às populações em STP. Dos 16 sistemas de abastecimento de água apresentados, outrora, somente dois asseguravam o abastecimento de água durante 24 horas/dia, são eles a estação de Água Amoreira I e Água Clara I e II (MIRNA, 2010). Mas atualmente, essa situação já foi ultrapassada e muitos sistemas já asseguram o abastecimento de água dentro este período de funcionamento. Como em zonas rurais, as captações são feitas em poço, fontanários, furos e nascentes, importa salientar que, para estas zonas, mais de metade das famílias estão situadas a menos de 30 minutos (ida e volta à habitação) das fontes de água (nascentes) mais próximas, e são

sobretudo as mulheres (56%) que são responsáveis por captar a água para as necessidades do dia-a-dia das famílias (MIRNA, 2010).

### **Qualidade da Água captada (subterrânea/nascente e superficial)**

Em relação às características físicas, as águas dos rios apresentam de uma forma geral a transparência total, sendo que em épocas de chuvas intensas, principalmente nas montanhas, as presenças de sólidos suspensos contribuem para a turvação da água. A temperatura da água em toda a rede hidrográfica varia entre os 18°C nas nascentes (fonte/montanhas) e os 26°C na foz (Bomfim, 2002).

No que concerne às características químicas, segundo Bomfim (2002), nas zonas de montanhas de grande altitude, ou seja, nas nascentes ou fontes subterrâneas, principalmente em zonas de florestas densas, o valor do pH da água está próximo da neutralidade (cerca de 6,93), este valor é característico da natureza das rochas, que são vulcânicas. No curso médio das águas (rios), o pH é semelhante ao anterior, variando entre 6,88 e 7 (Bonfim, 2002). A dureza da água varia entre 4,3 e 23 mg/L (Bonfim, 2002). No fundo dos leitos dos rios, existem depósitos de lamas, uma vez que o curso de água é atenuado, o que conduz à presença de protozoários. Na foz, como existe a confluência com a água do mar, a água é salobra, sendo o pH 7 e a presença de cloretos atinge uma concentração de 389,6 mg/L, o que ilustra a forte interação do mar com as águas dos rios.

#### **2.1.2.3 Sistema de tratamento de água**

Como já foi referenciado, STP ainda não dispõe de uma legislação para o sector de abastecimento de água e em cooperação com a agência Brasileira está em elaboração a lei base da água (MIRNA, 2010). Recentemente, foi elaborado plano de gestão integrada dos recursos hídricos, com apoio dessa agência. Os padrões da qualidade da água destinada ao consumo humano em STP são definidos segundo as normas especificadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Ao nível do tratamento de água em STP, 97% da água captada pela EMAE é tratada. Tipicamente o tratamento inclui desinfecção, com hipoclorito de cálcio; coagulação/floculação, com sulfato de alumínio; e correção do pH com hidróxido de cálcio (cal hidratada) (EMAE, 2014). Uma vez que as captações de água subterrâneas são feitas em zonas muito densas e de elevada altitude, o tratamento de água é feito através de uma filtração (caso excepcional) e desinfecção. Na Tabela 7 apresenta-se a evolução do processo de tratamento de água em STP e na Tabela 8 apresenta-se o número de sistemas de tratamento de água existentes em cada distrito de STP, incluindo os sistemas de reforço para os picos de atividade, e de funcionamento de recurso. De salientar que a existência de lacunas ao nível do preenchimento dos dados informativos tendo em conta o volume de água, população servida e sistema de fontanários etc., resultou em alguma imprecisão da contabilização dos dados apresentados.

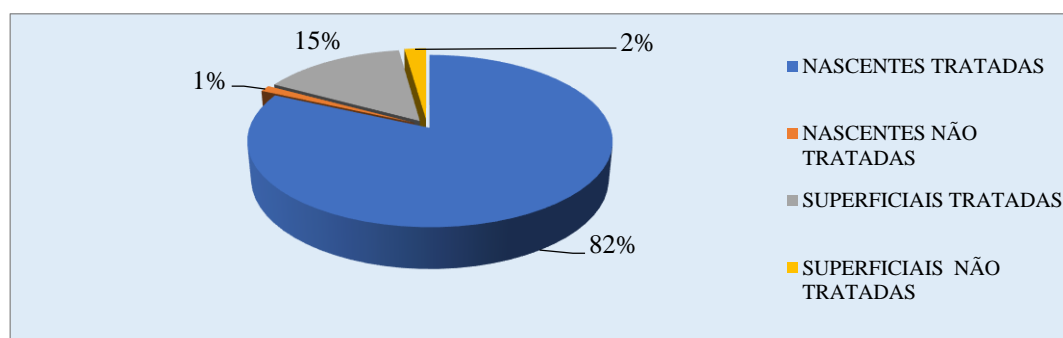
**Tabela 7:** Número de Sistemas de Tratamento de Água por concelho servido na área integrante pelas fontes superficiais e subterrâneas de STP.

Distrito de abastecim.	ETA/Posto de Cloragem			Sistema de fontanários e outros		
	Nº de Sistemas de tratam.	População Servida (hab.)	Volume Anual tratado (m <sup>3</sup> )	Sistemas de tratam. (n.º)	População Servida (hab.)	Volume Anual tratado (m <sup>3</sup> )
Água	0	46.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Cantagalo	2	20.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Caué	2	6.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Lembá	2	17.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Lobata	2	22.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Mé Zóchi	7	37.000	n.d	n.d	n.d	n.d
Paguê	1	5000	n.d	n.d	n.d	n.d

**Tabela 8:** Evolução do Sistema de Tratamento de Água em STP (EMAE, 2016).

Ano	Sist.c/tratamento	Cobertura (%)	Observações
2000	2	60	Água Amoreira I e Água clara (nascentes)
2003	5	62	(+) Angolares, S. Nicolau e Príncipe (rios)
2004	7	65	(+) Água Amoreira II e Água Amoreira IV (nascente)
2009	8	70	(+) Monte Macaco (nascente)
2010	11	72	(+) Neves e Cangá (rios), e Vage Sun Pio
2011	12	73	(+) Água Agrião (nascente)
2014	13	74	(+) Changra (nascente)
2015	14	75	(+) Rio do Ouro (rio)
Até 2018	17	80	(+) Ribeira Afonso, Santana e Neves (rios)

Existe por parte da EG uma preocupação em garantir um tratamento contínuo da água. A Entidade Gestora tem vindo a fazer um esforço por forma a garantir a água tratada para as populações e neste sentido, no ano de 2014, 97% da água foi tratada e distribuída, conforme apresentado na Figura 7.



**Figura 7:** Tratamento de água por fonte de captação em STP (EMAE, 2014).

Da análise da Figura 7, pode concluir-se que dos 97 % de água tratada, 82% são águas subterrâneas (nascentes/subterrâneas) e 15% são superficiais (rios). As Figuras 12 e 13 apresentam um dos vários sistemas de tratamento de água superficial e subterrânea em STP.



**Figura 8:** Sistema de transporte para o tratamento de água subterrânea (Sousa, 2016).



**Figura 9:** Sistema de tratamento de água superficial (Sousa, 2016).

### **Sistemas de Transporte e Armazenamento e Distribuição de Água**

O transporte de água após o tratamento é assegurado por condutas de adução. Na rede de distribuição, encontram-se instalados reservatórios de água que garantem o controlo do caudal a ser distribuído. O transporte e distribuição de água é assegurado por reservatórios e condutas de água que transportam a água por gravidade, e por isso são economicamente eficazes e eficientes (EMAE, 2016). A rede de distribuição está preparada para conduzir a água para as zonas mais afastadas das ETA. Não existem interligações na rede de distribuição, facto que faz com que os sistemas sejam autónomos e abasteçam um conjunto de áreas específicas (EMAE, 2016). Em relação ao armazenamento, a EMAE conta atualmente com um total de 31 reservatórios de dimensões variadas, entre 40 e 3.000 m<sup>3</sup>, com uma capacidade total de reserva de 9.100 m<sup>3</sup> de água (MIRNA, 2010).

#### **2.1.2.4 Levantamento de infraestruturas de controlo de qualidade ao longo do sistema de abastecimento (captação, tratamento e distribuição)**

Segundo a EMAE (2016) o controlo de qualidade é assegurado desde a captação até a distribuição, sendo que na distribuição de água, principalmente nos reservatórios, é feito o controlo de cloro residual livre e o pH. A análise de qualidade da água é feita pontualmente nesses sistemas de distribuição. São feitas muitas outras atividades com o intuito de garantir o bom funcionamento dos sistemas de abastecimento, principalmente recolha de amostras para análises laboratoriais da água bruta, tratada e distribuída. Na Tabela 9 apresentam-se valores médios de cloro residual e pH observados no controlo de qualidade efetuado nas infraestruturas de distribuição da água.

**Tabela 9:** Valores médios de cloro residual e pH observados no controlo de qualidade efetuado nos reservatórios de distribuição nos principais sistemas de distribuição (EMAE, 2014).

Sistemas de Distribuição (Reservatórios)	Cloro livre médio (mg/L)	pH médio
Água Amoreira I (Novo reservatório)	0,35	6,55
Água Amoreira I (depósito Blublu)	0,40	6,54
Água Amoreira II	0,38	6,54
Água Amoreira IV	0,42	6,58
Água Clara	0,41	7,14
Monte Macaco	0,48	6,03
Nova Moca	0,51	7,37
Angolares	0,42	7,52
Milagrosa	0,42	6,75
Vaz Sun Pinho	0,43	6,67
Neves	0,38	6,65
Príncipe	0,43	6,97

Para além do controlo de qualidade, ao longo de todo o sistema de abastecimento/tratamento de água, é feito o controlo laboratorial da água bruta e distribuída à população. As análises laboratoriais que são asseguradas no laboratório (Figura 10) compreendem a análise microbiológica (coliformes a 22°C, coliformes a 37°C, bactérias, *Escherichia Coli* e *Enterococcus*); e físico-químicas (pH, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade, cloretos, cloro residual livre, cheiro, cor e sabor).



**Figura 10:** Laboratório de análises de água da EMAE (Sousa, 2016).

## 2.2 Água para o consumo humano

### 2.2.1 Qualidade de água para consumo humano

No mundo, cerca de dois terços da água não é aproveitada pelo Homem. A disponibilidade hídrica não é uniforme em todo planeta e nem tão pouco para todos os ocupantes (Mendes *et al.*, 2004). Volumes consideráveis de água encontram-se fora do alcance das populações necessitadas, principalmente no subsolo.

O aumento da pressão do Homem sobre o ambiente tem estado a desencadear elevadas ameaças para o ambiente, conduzindo ao desequilíbrio dos ecossistemas. Segundo a UNICEF (2014), no mundo mais de 1,1 mil milhões de

pessoas não tem acesso ao fornecimento de água para consumo e estima-se que 2,6 mil milhões não tenham acesso a saneamento eficiente. A poluição da água levanta uma série de questões relevantes, uma vez que a sua utilização está condicionada pela sua qualidade. Segundo OMS (2004), “uma água considera-se poluída, quando a sua composição ou o seu estado natural tenham sido alterados de tal forma que se torne inadequada para algumas funções ou fins”.

O conceito da qualidade da água é definido como um conjunto de características biológicas, físicas e químicas que a água apresenta consoante o uso a que se destina. Uma água pode ser incolor, não ter sabor e não apresentar turvação, mas não ser adequada para consumo por estar contaminada por agentes patogénicos, e conseqüentemente representar um risco para a saúde pública (Mendes *et al.*, 2004). Assim, de modo a garantir a qualidade da água, é necessário estabelecer um conjunto de normas e critérios de qualidade, que visam assegurar que a água é adequada para o uso a que se destina, seja para recreio, consumo doméstico, industrial e/ou agrícola (Mendes *et al.*, 2004). Segundo Mendes *et al.* (2004), os parâmetros mais usados no conceito de qualidade da água pretendem sempre classificá-la de acordo com a sua potabilidade e segurança para o ser humano, bem como para o meio ambiente. Por isso que, a determinação dos parâmetros de qualidade da água, tem por objetivo assegurar um maior controlo de potabilidade da água. Mas, para assegurar a potabilidade da água, ou seja, a sua qualidade, torna-se necessário definir, elaborar, desenvolver e implementar instrumentos de segurança (Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004). Portanto, a existência de um sistema de segurança de água que incorpora procedimentos de controlo, monitorização e gestão da água é uma ferramenta importante para assegurar e garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano (Mendes *et al.*, 2004).

Um das formas para contribuir para a melhoria da qualidade da água para o consumo humano é garantir um tratamento adequado, seguindo um conjunto de etapas com o objetivo de assegurar e proporcionar uma melhor potabilidade. Por este motivo, o processo de tratamento de água inclui um conjunto de etapas de tratamento (sedimentação, pré-cloragem, remineralização, coagulação, floculação, flotação, filtração, desinfecção, tratamento de lamas, etc.), que têm como o objetivo garantir que a água esteja isenta de poluição e seja adequada para o consumo humano (OMS, 2004). De entre todas as etapas do processo de tratamento de água, a desinfecção é uma das mais importantes, uma vez que assegura a inativação ou eliminação dos microrganismos da água a ser distribuída à população. Mas, para uma correta desinfecção há que garantir a eficiência das etapas de tratamento anteriores e sua adequação à qualidade da água captada, por exemplo para as águas subterrâneas pouco poluídas, uma pré-oxidação (cloragem), filtração e desinfecção final deverá ser suficiente para alcançar o nível de qualidade pretendido. Portanto, a água para o consumo humano, tendo em conta a sua origem (superficial/subterrânea), deve ser submetida a tratamento de modo a cumprir os requisitos de qualidade para consumo humano, que em relação a Portugal estão estabelecidos no Decreto-Lei 306/2007.

## **2.3 Desinfecção de água para consumo humano - definições e conceitos**

### **Importância da desinfecção da água para consumo humano**

A desinfecção representa a etapa de tratamento de água cuja principal função é a inativação dos microrganismos patogénicos pelo uso de agentes físicos e/ou químicos (Brito *et al.*, 2012). A desinfecção não garante a destruição

completa de todos os organismos vivos (esterilização), apesar de muitas vezes o processo de desinfecção ser encadeado até ao processo de esterilização (Ministério da Saúde, 2006).

O processo de desinfecção é imprescindível no tratamento de água para o consumo humano, representando sempre uma etapa prioritária quando a água esteja contaminada. No processo de tratamento de água para consumo humano para que a desinfecção seja assegurada com eficácia e/ou eficiência, há determinados fatores que devem ser tidos em conta, dos quais se destacam (Ministério da Saúde, 2006).

- As características físico-químicas e biológicas da água;
- O tempo de contato entre o desinfetante e a água;
- O tipo e a concentração do desinfetante e o seu grau de dispersão na água;
- O tipo, a forma e a concentração dos microrganismos.

A presença de impurezas e sólidos suspensos levam a uma diminuição da eficiência da desinfecção na inativação de microrganismos patogénicos. A presença de turbidez acima de 1 NTU conduz a uma menor eficiência de remoção de coliformes na etapa de desinfecção com compostos clorados. A existência de compostos orgânicos e compostos oxidáveis condicionam a ação do agente desinfetante, caso este agente seja um oxidante sobre os microrganismos (Ministério da Saúde, 2006). O tempo de contato e as características do desinfetante são as variáveis que mais contribuem para assegurar a eficiência da desinfecção, sendo por isso as variáveis sujeitas a monitorização. A temperatura da água também representa uma variável importante no processo de desinfecção, pois influencia a sobrevivência dos microrganismos e condiciona a velocidade da reação química do agente desinfetante, tal como descrito pela relação de Van't Hoff-Arrhenius. O pH também tem um papel significativo na eficácia da desinfecção (Brito *et al.*, 2012).

#### **Tipo de processo de desinfecção- os desinfetantes mais utilizados**

O processo de desinfecção ocorre devido ao conjunto de seguintes mecanismos cujo grau de eficácia é função do tipo de desinfetante empregue (Ministério da Saúde, 2006):

- Destruição da estrutura celular do microrganismo;
- Interferência no metabolismo, levando à inativação de enzimas;
- Interferência na biossíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas.

A desinfecção é assegurada por processo físico e químico. Os processos físicos consistem na aplicação direta de energia sob a forma de calor ou luz (radiação ultravioleta ou gama), enquanto os processos químicos consistem na exposição da água a ação de diversos produtos, durante um intervalo de tempo e em concentrações adequadas, visando a inativação dos microrganismos, usualmente por meio de oxidação.

O mais antigo processo (físico) de desinfecção consiste no aquecimento térmico da água, que assegura a inativação da totalidade dos microrganismos (“99,9%”) após um tempo de ebulição considerável por exemplo “15-20” minutos. Mas, para além deste processo físico existem outros, como o uso de radiação ultravioleta, a filtração por membranas, a sedimentação, etc. Os agentes químicos mais comuns são o cloro, dióxido de cloro e ozono.

De um modo geral, existem três grupos de agentes desinfetantes utilizados no processo de tratamento das águas: **A-** cloro; **B-** ozono e **C-** radiação ultravioleta (Brito *et al.*, 2012).

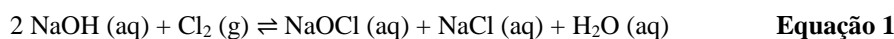
**A-** Os agentes desinfetantes, como o cloro e seus derivados começaram a ser usados no processo de tratamento de água, principalmente na América do Norte. As razões que levaram à rápida expansão do uso de cloro e seus derivados na desinfecção das águas no início do século passado foram seguintes (Ministério da Saúde, 2006):

- Rápida inativação de organismos e microrganismos patogénicos;
- A existência e observação de teor residual durante o tratamento de água;
- Pouca toxicidade para os seres humanos, quando usado na desinfecção, eliminando a presença de odores e sabor na água;
- Custo de aquisição e utilização razoável e de fácil, transporte, manuseamento, armazenamento e aplicação.

O cloro e os seus derivados são até hoje os desinfetantes mais utilizados em quase todas as atividades do dia-a-dia. A ampla utilização inclui o uso doméstico (desinfecção sanitária) até ao uso industrial. Os principais produtos ou derivados de cloro disponíveis para realização da desinfecção da água são: cloro gasoso; cal clorada; hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio (IRAR, 2007).

➤ **Hipoclorito de sódio (12%-15%<sup>1</sup>)**

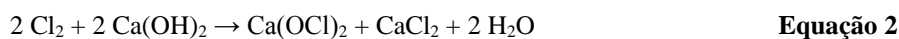
Embora o nome comercial do produto seja hipoclorito de sódio (NaOCl), este pode assumir distintas denominações. Quando destinado ao uso doméstico, normalmente usa-se em concentrações mais baixas (5 -7%), sendo denominado por “lixívia”. Quando a sua utilização se refere ao uso em piscinas é denominado por cloro líquido ou cloro (IRAR, 2007). A sua composição química é obtida segundo a seguinte reação ou equação global:



Portanto, a concentração final da solução é influenciada pela concentração inicial de hidróxido de sódio.

➤ **Hipoclorito de cálcio (65%-75%)**

O seu nome comercial é hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)<sub>2</sub>), sendo obtido segundo a seguinte reação:



A concentração final do hipoclorito de cálcio depende da concentração inicial de hidróxido de cálcio.

➤ **Hidróxido de cálcio (cal hidratada)**

Consiste num desinfetante que atua a um pH bastante elevado (11 ou mais). É obtido pela seguinte reação:



---

<sup>1</sup> 15% (m/m): 15 g de cloro ativo por 100 g de solução comercial.

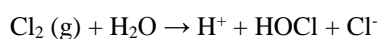
Adicionando-se hidróxido de cálcio na água de modo a estabelecer um mínimo de alcalinidade caustica, verifica-se a ação bactericida. Em algumas estações de tratamento a adição de cal, para a redução de dureza, dispensou a posterior desinfecção com cloro. As dosagens são muito variáveis devendo ser determinadas em cada caso (IRAR, 2007).

### Processo de cloragem

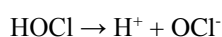
No processo de desinfecção com cloro e seus derivados, denominado por cloragem, deve garantir-se que se forneça a quantidade de cloro necessária para reagir com todas as impurezas presentes na água, o que se denomina carência de cloro. (Brito *et al.*, 2012). Na desinfecção por cloragem, recorre-se tipicamente à utilização de produtos de cloro que, conforme já descrito, são o hipoclorito de sódio (NaOCl), hipoclorito de cálcio (Ca(ClO)<sub>2</sub>) e cloro gasoso. Este último não será referenciado neste contexto.

A cloragem pode ocorrer através da utilização de cloro residual livre ou cloro residual combinado. **A cloragem com cloro residual livre (pré-cloragem)** é num processo em que se adiciona o cloro (ou derivados de cloro) diretamente à água, assim que é feita a captação. Com este método pode obter-se um residual de cloro livre significativo (0,2-0,6 mg/L) no sistema de tratamento de água (Decreto lei nº 306/2007 de 26 de Agosto). É uma estratégia que permite um controlo em todo o processo de tratamento de água para consumo humano, ou seja, aumenta a eficiência do processo de coagulação-floculação, diminui os odores no tanque de sedimentação e evita o crescimento de algas e outros microrganismos nos filtros.

No processo de pré-cloragem, quando se adiciona o cloro e os produtos clorados na água, estes dissociam-se imediatamente em ácido hipocloroso (HOCl) e ião hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). O ácido hipocloroso é a espécie mais ativa no mecanismo de desinfecção, razão pela qual é denominado de cloro ativo. O efeito germicida do ácido hipocloroso é cerca de 80 a 100 vezes superior ao do ião hipoclorito. O efeito significativo do pH da água em relação à eficiência da desinfecção conduz à dissociação do ácido hipocloroso (HOCl) e consequentemente à formação do ião hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) (Brito *et al.*, 2012). A Equação 5 apresenta a dissociação do ácido hipocloroso em ião hipoclorito.

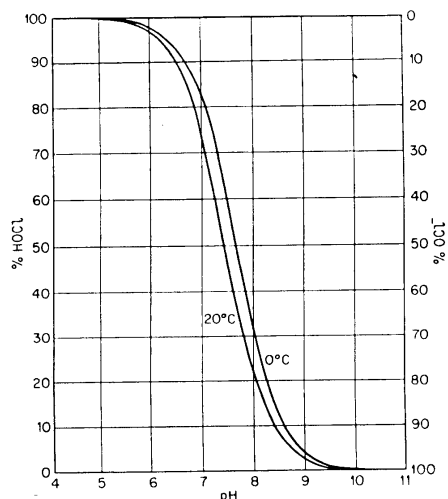


**Equação 4**



**Equação 5**

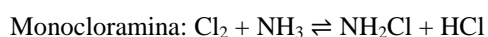
A extensão da dissociação do ácido hipocloroso em ião hipoclorito está relacionada com o valor do pH da água. Em pH ácido (4,5-6,5 onde há maior concentração do H<sup>+</sup>) existe uma maior predominância de ácido hipocloroso (processo de desinfecção mais eficiente) e em pH alcalino (menor concentração do H<sup>+</sup>) existe maior predominância de ião hipoclorito (processo de desinfecção menos eficiente) (Brito *et al.*, 2012). A Figura 11 representa a percentagem de dissociação do ácido hipocloroso e ião hipoclorito formados em função do pH, à temperatura de 20 °C.



**Figura 11:** Efeito do pH na distribuição de HOCl e OCl<sup>-</sup> na água (Rosa, 2012).

O ácido hipocloroso (HOCl), formado na reação do cloro com a água, é um desinfetante mais eficiente do que o íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>), sob mesmas condições de tempo de contato e dosagem. Dessa forma, é recomendado que a desinfecção com cloro livre seja realizada em valores de pH mais baixos, preferencialmente menores que 7 (Brito, *et al.*, 2012)

**Cloragem com cloro residual combinado** - este método é extremamente adequado para o processo de pós-desinfecção (sistema de distribuição mais longos), onde o cloro residual (ácido hipocloroso) é combinado com amoníaco e com outros compostos amoniacais para formar compostos clorados denominados cloraminas, mais persistentes do que o cloro livre. Para além da combinação, pode acontecer que algumas águas possuam compostos amoniacais que reajam com o cloro formando cloraminas, sendo, portanto, divididas em: monocloraminas, dicloraminas e tricloramina (Ministério da Saúde, 2006). As equações seguintes apresentam a formação das cloroaminas.



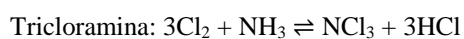
**Equação 6**



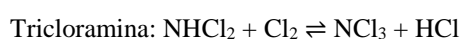
**Equação 7**



**Equação 8**



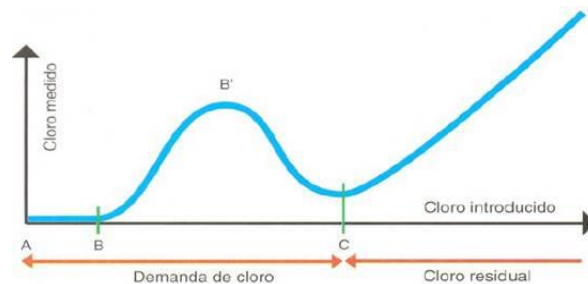
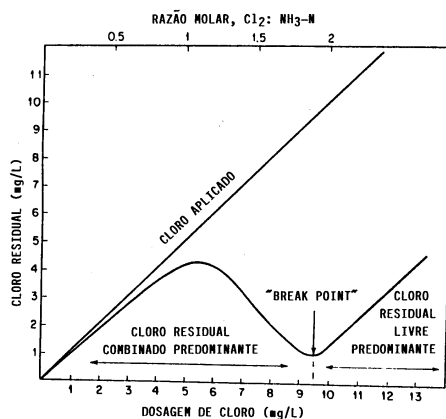
**Equação 9**



**Equação 10**

Estas reações são influenciadas principalmente pelo pH e pela temperatura da água, fatores que intervêm na dissociação do ácido hipocloroso. As monocloraminas (NH<sub>2</sub>Cl, predominante em pH superior a 8,5), as dicloraminas (NHCl<sub>2</sub>, predominantes em pH 4,5-5,5) e as tricloraminas (NCl<sub>3</sub>, predominantes em pH < 4,5) contribuem para a concentração do cloro residual combinado. Dessa forma, o cloro total disponível constitui o somatório entre o cloro livre e o combinado (Rosa, 2012; Ministério da Saúde, 2006).

Quando a carência de cloro é satisfeita pelos compostos amoniacais, o processo de cloragem conduz à oxidação das cloroaminas com a formação de HCl, N<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O (Brito *et al.*, 2012). Após a oxidação total das cloroaminas, o cloro adicionado converte-se em cloro livre, a este processo denomina-se cloragem ao ponto de rotura (*breakpoint*) (Brito *et al.*, 2010). Portanto, para doses baixas, o cloro reage totalmente com as substâncias redutoras presentes na água e com adição de mais cloro, formam-se compostos orgânicos clorados e cloroaminas. Aumentando a dose de cloro, a concentração de cloro residual livre alcança um máximo, e de seguida diminui até ao ponto de rotura (0,1-0,2 mg/L), a partir do qual o cloro reage como se estivesse na água pura (Brito *et al.*, 2012). Dosagens de cloro após o *breakpoint* asseguram a não presença de odor e sabor nas águas de abastecimento. A cloragem assegura uma desinfecção com elevada eficiência, satisfazendo a carência de cloro devido às substâncias redutoras, tanto orgânicas (fenóis, ácidos aminados) como inorgânicas (H<sub>2</sub>S, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, NH<sub>3</sub>) (Brito *et al.*, 2012). Na Figura 12 a 13 apresenta-se a curva de cloro residual representando um *breakpoint* com a presença de azoto amoniacal na água, a 1,0 mg/L e a variação da concentração de cloro residual em função da dose de cloro aplicada.



**Figura 12:** Comportamento de cloro na água (Rosa, 2012).

**Figura 13:** Curva de cloro residual representando um breakpoint. Presença de azoto amoniacal na água (1mg/L) (Rosa, 2012).

### Interpretação da curva (Figura 12 a 13)

AB: quando o cloro é introduzido/injetado na água, rapidamente é consumido pela oxidação da matéria orgânica e inorgânica. Se não houver a destruição completa destes compostos na água, não ocorrerá a desinfecção e o cloro residual será nulo; BB': o cloro combina-se com compostos amoniacais, produzindo cloro residual combinado (cloroaminas), tal como descrito anteriormente; B'C: as cloroaminas formadas na fase anterior são oxidadas pelo cloro, reduzindo assim o teor de cloro residual combinado; C (*breakpoint*): após a oxidação do cloro residual combinado, o teor de cloro residual livre aumenta tornando-o num desinfetante mais eficaz (FUNASA, 2014)

### B- Desinfecção por radiação ultravioleta

O processo de desinfecção por radiação ultravioleta ocorre a partir da absorção de radiação ultravioleta (UV) pelos microrganismos presentes na água. A absorção da radiação ultravioleta leva à destruição do seu material genético (ácido nucleico), principalmente quando a luz atravessa as células dos organismos, sendo absorvida pelo ácido nucleico. Esta absorção da radiação ultravioleta provoca um rearranjo da informação genética, que interfere com

a capacidade de reprodução da célula. Os microrganismos são, portanto, inativados pela radiação ultravioleta como resultado de um dano fotoquímico ao ácido nucleico. Uma vez que a sua capacidade de reprodução fica impedida a célula é considerada morta, pois perde capacidade de multiplicação (Ministério da Saúde, 2006)

### **C- Desinfecção por ozono**

A desinfecção por ozono consiste também na inativação das células dos microrganismos, mas apresenta um princípio de funcionamento diferente já que o ozono consegue agir diretamente sobre a parede celular dos microrganismos patogénicos, provocando a sua rutura numa fração de tempo inferior. A desvantagem da desinfecção por ozono ou radiação ultravioleta é que não é garantido um teor de desinfetante residual que evite a recontaminação (IRAR, 2007).

## **2.4. Implementação e elaboração de Plano de Segurança da Água (PSA) para sistema de abastecimento público**

As condições necessárias para assegurar a segurança da água para o consumo humano, pretendem: “o estabelecimento, por entidade competente, de metas de proteção para a saúde; sistemas de abastecimento de água com correto funcionamento e correta gestão (infraestruturas em bom estado de funcionamento, monitorização eficiente e adequada, e um planeamento do sistema de gestão adequado); e um sistema de vigilância independente” (OMS, 2011).

O Plano de segurança de água (PSA) é um instrumento de gestão de risco desenvolvido pela *Organização Mundial de Saúde* (OMS), que incorpora um conjunto de ferramentas metodológicas destinadas à monitorização, gestão e segurança dos sistemas de abastecimento de água para o consumo humano. É instrumento com uma abordagem preventiva, cujos objetivos específicos são: “Assegurar a prevenção ou minimização da contaminação dos sistemas de captação (nascentes e rios); garantir a eliminação da contaminação da água através de tratamento apropriado; assegurar a prevenção da contaminação no sistema de distribuição da água (reservatórios e rede de distribuição); e ter o propósito de ajudar/apoiar as EG de abastecimento de água na identificação e priorização de perigos e riscos nos sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água, desde os sistemas de captação até a distribuição” (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005).

O PSA é um instrumento muito recomendado pela OMS, a ser desenvolvido/implementado pelas EG dos sistemas de abastecimento de água para o consumo humano. O desenvolvimento e a implementação do PSA por parte da EG, devem ser feitos por forma a garantir uma avaliação independente de riscos que possam ocorrer nos seus sistemas de abastecimento (sistema de captação, tratamento e distribuição), ajudar na identificação e avaliação de riscos e determinação de medidas de controlo para mitigar estes mesmos riscos (OMS, 2011; OMS, 2004). A implementação do PSA, por parte da EG deve respeitar a metodologia apresentada no diagrama da Figura 14.



**Figura 14:** Implementação e desenvolvimento de PSA (Conselho de Regulação da Água (CRA), 2015).

Esta metodologia inclui procedimentos para a elaboração, implementação e desenvolvimento do PSA, e tem o intuito de oferecer uma visão geral das relações das diferentes etapas do PSA.

No desenvolvimento do PSA aplicam-se vários princípios, tais como: princípio de Múltiplas Barreiras; nas Boas Práticas; na Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controlo (APPCC); e na Análise de Risco (Davison, *et al.*, 2006; Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004). Todos estes princípios estão direcionados para que, a água captada, tratada e distribuída à população fique isenta de qualquer contaminação (biológica, física, química e radiológica), ou substâncias que constituem um potencial perigo para a saúde do consumidor (Damikouka *et al.*, 2007). O desenvolvimento do PSA, por parte da EG representa a melhoria para a salvaguarda da saúde pública; preservação do meio ambiente; melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável, entre muitas outras ações.

Como demonstra a Figura 14, o PSA é constituído pelas seguintes etapas (OMS, 2011; OMS, 2004): I Etapas preliminares; II Avaliação do Sistema; III Monitorização Operacional; IV Plano de gestão. A seguir serão descritas essas etapas ponto 2.3.1.

## 2.4.1 Etapas para elaboração do PSA em sistema de abastecimento público

### I. Etapas Preliminares

#### ➤ Constituir uma equipa e adotar a metodologia para a implementação/ desenvolvimento PSA

A equipa técnica e multidisciplinar deve englobar um responsável que coordena a equipa no desenvolvimento do PSA; técnicos que operam no sistema de abastecimento de água (captação, tratamento e distribuição e controlo de qualidade); autoridades ligadas ao sistema abastecimento ou gestão dos recursos hídricos e entre outras. Este passo é extremamente importante para a elaboração do PSA, uma vez que a gestão do risco que ocorre no sistema de abastecimento deve estar associada com a forma de trabalhar que uma empresa de abastecimento de água realiza as suas atividades por forma a fornecer a água em condições de segurança (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005).

#### ➤ Descrição de um sistema de abastecimento de água e Construção do diagrama de fluxo

A descrição do sistema de abastecimento, desde a origem da água até a distribuição, representa uma tarefa muito importante, uma vez que irá permitir à equipa obter informações e conhecimento de todo o sistema de

abastecimento (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004). O grande objetivo da descrição do sistema consiste na avaliação e gestão de risco sobre todo o sistema de abastecimento (captação, tratamento, distribuição). A recolha das informações para a descrição do sistema deve ser feita no local do sistema de abastecimento, nos arquivos e documentos relacionados com o abastecimento de água etc (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004).

Segundo Vieira & Morais (2005) e OMS (2004), na descrição do sistema deve incluir-se: um “plano geral do sistema, desde a origem até a população abastecida; descrição do esquema de captação (superficial ou subterrânea); descrição do esquema de tratamento de água, incluindo os produtos químicos adicionados; planta do sistema de distribuição (reservatórios, condutas, acessórios, entre outras); uso de solos da bacia hidrográfica; identificação de fontes poluidoras localizadas nas bacias hidrográficas; valores paramétricos de qualidade da água; caracterização da qualidade da água das origens; construção e validação do diagrama de fluxo; identificação dos materiais em contacto com a água; utilizadores da água abastecida; competências e formação do pessoal; procedimentos de gestão: de rotina e de emergência”.

Os dados históricos sobre a qualidade da água são muito importantes na avaliação do sistema, pois ajudará na compreensão das características da água (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005). Na Tabela 10 apresenta-se um conjunto de informações que devem ser recolhidas para a caracterização do sistema de abastecimento.

**Tabela 10:** Informações relevantes para a caracterização do sistema de abastecimento de água (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005; OMS, 2004).

<b>Constituintes do sistema de abastecimento</b>	<b>Informações a considerar</b>
Bacia Hidrográfica/Nascentes	Geologia, Hidrologia e Hidrogeologia; Condições climáticas e meteorológicas; Usos de Água: Atividades realizadas na bacia hidrográfica/ a bordo da nascente, com potencial impacto na qualidade da água (contaminação).
Águas Superficiais/Subterrâneas	Descrição do tipo de massa de água (rios, lagos, albufeira etc.) ou aquífero (poroso, fissurados, cársticos ou confinado); Caudal; Constituintes das águas (Físico, químico e biológico); Transporte de água; Delimitações (vegetação, casas, vedações etc.).
Tratamento	Eliminação de agentes patogénicos (desinfecção); Desinfetante residual/ tempo de contacto; Produtos químicos empregados no tratamento; Eficiência do tratamento; Características dos equipamentos (bombas doseadoras, sistema de automação, etc.).
Reservatórios de Serviço e Sistema de Distribuição	Desinfetante residual e subprodutos da desinfecção; Sazonalidade; Coberturas do sistema de distribuição, etc.; Características do sistema de distribuição; Caudal de distribuição e pressão da saída de água; Características dos reservatórios.

O fluxograma representativo do sistema de abastecimento de água, desde a captação até ao consumidor, é uma ferramenta essencial para a identificação dos riscos, perigos e controlos existentes, pelo que se deve garantir a sua exatidão através de um levantamento in loco.

## **II. Avaliação do sistema**

Esta etapa inclui a avaliação de todas as infraestruturas presentes, projetos de abastecimento, etc. Deve avaliar-se o sistema tendo em conta a variação da qualidade da água em função da sazonalidade. A avaliação deve ser feita regularmente, devido às características das substâncias que podem conduzir à deterioração da qualidade da água (Vieira & Morais, 2005).

A avaliação do sistema de abastecimento é sobretudo baseada no sistema de APPCC, para as diferentes etapas do processo de tratamento. Identifica-se os perigos e eventos perigosos que podem estar associados ao sistema, caracterizar-se os riscos e estabelece as medidas de controlo para esses mesmos perigos e eventos perigosos (Vieira & Morais, 2005; Damikouka *et al.*,2007).

### **➤ Identificação de perigos e eventos perigosos**

Segundo Davison *et al.* (2005a, 2006b) o perigo representa a presença de agente físico, químico ou biológico que pode causar danos para a saúde pública, enquanto evento perigoso, representa um incidente ou situação que pode conduzir ao aparecimento de um perigo. A informação existente no diagrama de fluxo e o conhecimento do funcionamento do sistema constituem as bases para a identificação dos perigos e eventos perigosos relacionados com a deterioração da qualidade da água. Portanto, os perigos/eventos que normalmente estão associados aos sistemas de abastecimento podem ser de origem química (substâncias químicas tóxicas ou perigosas), física (características estética da água como turvação, cor, pH etc.), biológica (microrganismos patogénicos) ou radiológica (contaminação da água a partir de fontes radioativas).

### **➤ Caracterização dos riscos**

Identificados os prováveis perigos e eventos perigosos, deve fazer-se a sua análise em função da sua magnitude de risco. Segundo Davison *et al.* (2005a, 2006b), entende-se por risco a probabilidade de ocorrência de um perigo. Os riscos estão associados a uma exposição que pode ter efeitos nefastos para a saúde pública, como por exemplo aparecimento de doenças, ou causa de mortes. Quando os eventos ou os perigos identificados podem causar danos populacionais durante um certo período de tempo, deve levar-se em conta a severidade da consequência dos mesmos na caracterização dos riscos (OMS, 2011). Segundo Vieira & Morais (2005), “um risco pode traduzir-se pelo produto da probabilidade de ocorrência de um acontecimento indesejado pelo respetivo efeito causado numa determinada população”. Os eventos perigosos com maior severidade de consequências e maior probabilidade de ocorrência devem ser priorizados face aos outros com impactos irrelevantes ou ocorrência improvável (Vieira & Morais, 2005).

### **• Priorização de riscos-técnicas de priorização de riscos**

Segundo Vieira & Morais (2005), avaliação dos perigos identificados, segundo a técnica de priorização de riscos, deve partir dum conhecimento específico do sistema de abastecimento, sendo crucial ter em conta a experiência dos técnicos, que trabalham no dia-a-dia nas imediações dos sistemas, a recolha de informações nos arquivos e o

conhecimento dos especialistas. Segundo Davison *et al.* (2006), as técnicas para a avaliação dos riscos podem ser qualitativas e quantitativas/semiquantitativas, sendo esta última a mais frequente. Segundo esta técnica, o primeiro passo é atribuir valores numéricos (numa escala de 1 a 5) à probabilidade de ocorrência do risco (quase certo, muito frequente, frequente, pouco frequente e raro) e severidade das consequências (catastrófica, grave, moderada, menor e insignificante) (Tabelas 11 a 12).

**Tabela 11:** Abordagem semiquantitativa - Escala de probabilidade de ocorrência (Vieira & Morais, 2005).

Classificação	Impacto	Probabilidade de ocorrência
1	Raro	Pode ocorrer em frequências excepcionais.
2	Pouco frequente	Pode ocorrer em algum instante, mas não foi detetado.
3	Frequente	Pode ocorrer em algum instante; foi detetado ocasionalmente (exemplo: mensalmente, trimestralmente, semestralmente e anualmente).
4	Muito frequente	Provavelmente irão ocorrer muitas vezes; foi detetado regularmente (exemplo: diariamente, semanalmente, mensalmente).
5	Quase certo	

**Tabela 12:** Abordagem Semiquantitativa - Escala de Severidade das Consequências (Vieira & Morais, 2005).

Classificação	Impacto	Severidade das consequências
1	Insignificante	Sem impacto detetável ou Impacto mínimo na qualidade da água para uma percentagem pequena dos consumidores.
2	Menor	Pequeno impacto sobre a qualidade organolética da água e/ou baixo risco à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.
3	Moderado	Moderado impacto e/ou risco potencial à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.
4	Grave	Potencial impacto grave e catastrófico (elevado risco) à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.
5	Catastrófico	

Posteriormente, a priorização de riscos é determinada após a classificação de cada perigo com base naquelas escalas, construindo-se uma Matriz de Classificação de Riscos. O cálculo de produto da escala de probabilidade de ocorrência (linhas) com a escala de severidade das consequências (colunas), o valor obtido permite-nos classificar os riscos. Na Tabela 13 apresenta-se uma matriz de avaliação semiquantitativa de priorização de riscos adotada por muitas entidades do sector de água, incluindo os intervalos para a pontuação dos riscos, sendo que

riscos considerados baixos têm uma classificação inferior a 6, riscos médios variam entre 6 e 9, riscos altos entre 10 e 5 e riscos muito altos superiores a 15 (Vieira & Morais, 2005).

**Tabela 13:** Matriz semiquantitativa de Classificação dos riscos (OMS, 2011).

		Severidade das consequências				
		Insignificante: 1	Menor: 2	Moderado:3	Grave: 4	Catastrófico: 5
Probabilidade / Frequência	Quase certo/1 x dia/semana Classificação: 5	5	10	15	20	25
	Muito frequente / 1 x/mês Classificação: 4	4	8	12	16	20
	Frequente/ 1 x/ano Classificação: 3	3	6	9	12	15
	Pouco frequente/ 1 x em cada 5 anos Classificação: 2	2	4	6	8	10
	Raro/ 1 x em cada 10 anos Classificação: 5	1	2	3	4	5
	Pontuação do risco	<6	6-9	10-15	>15	
Classificação do risco	Baixo	Médio	Alto	Muito alto		

Na aplicação desta metodologia, deve-se aplicar o bom senso, por forma a “distinguir-se situações que, embora apresentem pontuações semelhantes, representam situações de perigo distintas” (Vieira & Morais,2005).

Quando a classificação do risco apresenta um valor igual ou superior a 6 (médio) considera-se um Ponto de Controlo (PC) (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005). Os pontos de controlo são pontos ao longo do sistema de abastecimento, onde há um ou mais perigos possíveis de serem monitorizados. Este valor pode servir como referência, sendo que acima deste valor os riscos exigem uma atenção maior e abaixo deste valor será documentado para outras avaliações futuras (Davison *et al.*, 2006; OMS, 2004).

A Tabela 14 apresenta-se um resumo da classificação de riscos.

**Tabela 14:** Classificação de riscos (OMS, 2011; Vieira & Morais, 2005).

Escala	Classificação do Risco	Severidade das consequências
<6	Baixo	Risco tolerável, portanto, controlável através de ações de rotina. Risco não prioritário.
6-9	Médio	Risco médio, necessário adotar medidas de controlo e/ou ações de gestão ou de intervenção física, ao médio e longo prazos, devendo por precaução efetuar a monitorização e estabelecer limites críticos para os perigos identificados.
10-15	Alto	Risco alto é não-tolerável, necessário adotar medidas de controlo e/ou ações de gestão ou de intervenção física, ao médio e longo prazos, devendo por precaução efetuar a monitorização e estabelecer limites críticos para os perigos identificados.
>15	Muito alto	Risco extremo é não tolerável, necessário adotar medidas de controlo e/ou ações de gestão ou de intervenção física, ao médio e longo prazos, devendo por precaução efetuar a monitorização e estabelecer limites críticos para os perigos identificados.

- **Definição de PCC**

Após ter-se encontrado os PC, identifica-se os locais onde é essencialmente importante, prevenir, eliminar ou reduzir um perigo dentro de limites aceitáveis (Pontos de Controlo Críticos PCC). A identificação dos PCC “pode ser feita de forma estruturada e sistemática, com auxílio de uma árvore de decisão, pressupondo-se o conhecimento das medidas de controlo existente no sistema” (Vieira & Morais, 2005). A árvore de decisão baseia-se num conjunto iterativo de uma série de questões (Vieira & Morais, 2005). Segundo Vieira & Morais (2005), se os perigos (PC) identificados no sistema de abastecimento e classificados na avaliação dos riscos, não forem eliminados numa ou outra fase/etapa de tratamento de água, constitui logo um PCC. Os PCC são pontos ao longo do sistema onde há um ou mais perigos que oferecem risco para a saúde.

- **Identificação e avaliação das medidas de controlo**

A avaliação e a preparação das medidas de controlo, baseadas na identificação de perigos, devem garantir que os objetivos de saúde pública serão atingidos. Assim as medidas de controlo aplicada deve ser proporcional aos resultados obtidos na priorização dos riscos. “A identificação e aplicação das medidas de controlo deve ser baseada em princípio de múltiplas barreiras, por forma a evitar que se houver falha numa barreira, esta pode ser compensada por outras barreiras remanescentes”, por forma a evitar ocorrências de contaminações ao longo do sistema de abastecimento. As medidas de controlo servem para eliminar, reduzir perigos a um nível tolerável. Mas atenção, não existem barreiras que previnam, eliminem ou reduzam o perigo a um nível tolerável (Vieira e Morais, 2005).

### **III. Definição da monitorização operacional**

A monitorização operacional é a etapa que se realiza após a implementação das medidas de controlo e cujo objetivo é inspecionar os riscos e garantir que as medidas de controlo aplicadas num determinado ponto e a gestão operacional sistema são eficazes. Os parâmetros que normalmente são monitorizados são, o pH, o cloro residual livre, a turvação e etc. (Davison *et al.*, 2005; OMS, 2004).

#### **➤ Estabelecimento de limites críticos e ações corretivas**

Os Limites Críticos (LC) são estabelecidos por forma a verificar se durante a monitorização operacional houve ou não um incumprimento, ou seja, servem para avaliar se o perigo (PC ou PCC) está sob controlo. Caso não se verifique esse controlo há que estabelecer ações corretivas (OMS, 2011).

### **IV. Plano de gestão**

O plano de gestão deve ser um documento claro, simples, conciso e de procedimento fácil, pois constitui uma ferramenta indispensável na elaboração do PSA, e consiste num instrumento que descreve as ações a realizar em controlo de rotina (mudanças que acontecem em situações normais) e em situações específicas ou de incidentes. Este documento ajuda na organização da documentação da avaliação e monitorização do sistema, a estabelecer a comunicação dos riscos para a saúde, e na elaboração de outros programas do PSA como a validação, verificação periódica do PSA, estabelecimento de ações em situações de emergência, programas de gestão de qualidade (documentação e comunicação), programas de atualização e melhoria do sistema de abastecimento (Viera & Morais, 2005). Em situações de emergência o plano de gestão deve considerar situações de acidentes e catástrofes naturais, incidentes como descargas de produtos químicos perigosos, que comprometem a qualidade da água da bacia hidrográfica ou recursos aquíferos, e falhas no fornecimento de água (Vieira & Morais, 2005).

## **CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE**

Neste capítulo pretende-se dar um contributo para a melhoria do sistema de tratamento e abastecimento de água para consumo humano em STP. Neste sentido, selecionou-se como estudo de caso das oportunidades de melhoria a ETA de Água Amoreira I, por ser a principal instalação de tratamento de água do país e por abastecer um elevado número de população (cerca de 25. 000 habitantes). A metodologia desenvolvida poderá ser aplicada a outros sistemas do país.

### **3.1. Metodologia**

A análise efetuada ao sistema acima referido focou-se no processo de desinfeção, bem como monitorização e controlo da água. O estudo foi baseado nessas vertentes por se tratarem de casos ainda pouco estudado em sistema de tratamento e abastecimento de água do país. O processo de desinfeção, monitorização e controlo, foram abordados de forma descritiva no capítulo 2 o que possibilitou a sistematização de ideias que serviram de base à elaboração deste estudo de caso. De salientar que, a primeira, segunda e penúltima etapa deste estudo de caso, foram feitas através de recolha de informação nos arquivos, documentos e *web site* da entidade gestora de tratamento e abastecimento de água em STP (EMAE), bem como junto da empresa CIMAI - Engenharia e Química Avançada S.A. A estrutura completa da última etapa é complementada com a elaboração da primeira etapa e, importa referir que, muita informação para a sua elaboração, foi conseguida pela consulta de documentos da *Organização Mundial de Saúde* (OMS).

A metodologia utilizada para a elaboração deste estudo de caso foi dividida nas seguintes etapas:

1. Descrição do sistema de abastecimento de água - ETA de Água Amoreira I. O propósito da descrição do sistema é dar-nos uma visão geral do mesmo, tendo em conta as diferentes fases, etapas, componentes, etc. Optou-se por descrever o sistema de abastecimento de uma forma independente (captação, tratamento e distribuição), por forma a facilitar um estudo mais abrangente para a implementação das melhorias.
2. Estudo para a melhoria do processo de desinfeção (controlo do doseamento - desinfeção) dos reagentes na ETA de Água Amoreira I, por forma a garantir a sua monitorização ao longo da linha de distribuição, aquando do uso e consumo. O propósito é auxiliar os técnicos da EMAE na aplicação, consumo e uso racional dos reagentes para o tratamento (desinfeção) da água;
3. Estudo de suporte a proposta de alteração do processo unitário de desinfeção da ETA de Água Amoreira I. Neste estudo, simulou-se a produção do hipoclorito de sódio na ETA em estudo, através de uma estimativa por cálculos; comparou-se a produção do hipoclorito de sódio para o tratamento (desinfeção) de água na ETA em estudo, com o consumo de hipoclorito de cálcio atualmente utilizado na ETA; e fez-se a análise de rentabilidade da produção de hipoclorito de sódio para a desinfeção de água para consumo humano no sistema em estudo face ao uso de hipoclorito de cálcio;

4. Proposta de um plano de segurança da água para o sistema de abastecimento. A implementação deste plano de segurança tem como propósito, garantir a melhoria no processo de gestão e monitorização, bem como o controlo analítico da água abastecida à população de STP.

A metodologia desenvolvida para cada etapa foi aplicada de uma forma, racional, concisa, precisa, metódica e analista, tentando sempre fazer a ligação, interligação e correspondência para cada caso estudado e procurando sempre apresentar melhorias para o desenvolvimento sustentável do país.

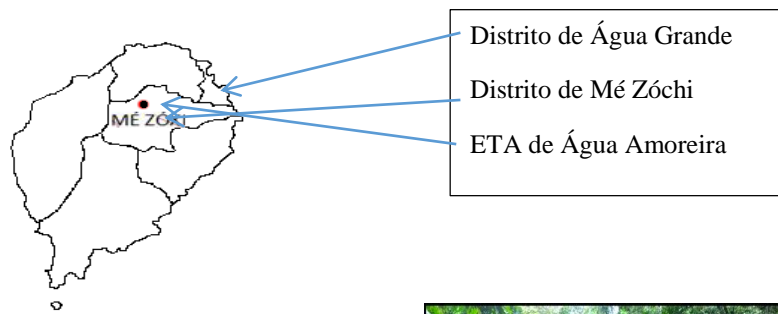
### **3.1.1. Descrição do Sistema de abastecimento - Estação de Tratamento de Água (ETA) de “Água Amoreira I”**

O estudo para descrição deste sistema de abastecimento tal como é na realidade foi difícil devido à escassez de informação. Neste sentido, a descrição do sistema foi baseada numa adaptação de alguns aspetos (sistema de captação, distribuição, reservatórios de armazenamento, diagrama de fluxo, entre outros) e descrição de casos concretos existentes no sistema (conforme detalhado no capítulo 2, no ponto 2.1.2 caracterização do setor de abastecimento de água de STP). Muitas informações para a descrição desse sistema foram obtidas com o esforço de pesquisa nos arquivos da EMAE, e até mesmo através de contatos com amigos que trabalham no seu dia-a-dia no sistema de abastecimento. Conseguiu-se obter um conjunto de informação relacionada com abastecimento de água desse sistema (captação, tratamento e distribuição, bem como sistemas que utilizam para produzir água com qualidade). Esta descrição do sistema vai principalmente ao encontro do segundo e último ponto descritos na metodologia deste caso de estudo.

Mesmo tendo conseguido descrever o sistema, torna-se importante fazer uma deslocação ao local, pois a descrição do sistema de abastecimento (para a elaboração do PSA) não deve ser baseada apenas num estudo teórico.

#### **3.1.1.1 Localização do sistema de Abastecimento de água**

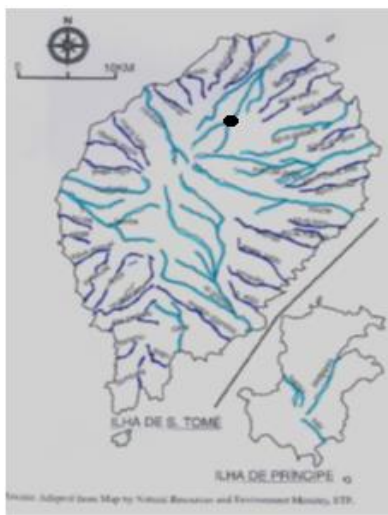
A estação de abastecimento de água ETA Água Amoreira I localiza-se no Distrito de Mé-Zóchi (Figura 15), trata-se de uma estação de abastecimento cuja fonte de captação de água bruta provém de água subterrânea, ou seja, nascente. O sistema que está a cargo da EG, a Empresa de Água e Eletricidade (EMAE), capta a água bruta, ou seja, a água subterrânea na localidade de Água Amoreira, conhecida como uma das maiores no país, com enorme potencial de recursos aquíferos de ótima qualidade e elevada quantidade (EMAE, 2014). O sistema de abastecimento serve os dois distritos mais populosos do país, que são o distrito de Água Grande e o distrito de Mé-Zóchi com uma população abastecida (estimada) na ordem de 25.000 habitantes (INE, 2012) distribuídas pelas localidades de Cidade Capital (Cidade de São Tomé), Budo-Budo, Potó-Potó, Ponte Graça, Riboque, Fruta-Fruta, Santo António, Quilombo, Ponta Mina, Vila Maria, S. Gabriel, Blublu, Madre-Deus, Chácara e Bairro Dolores (EMAE, 2016).



**Figura 15:** Localização da ETA de Água Amoreira



**Figura 16:** Sistema de nascente de Água Amoreira (Google imagem, 2016).



**Figura 17:** Os principais cursos de água e nascentes de STP (Barros, 2011).

### 3.1.1.2 Sistema de captação de água bruta (água subterrânea)

A ETA de Água Amoreira I capta a água bruta na nascente de Água Amoreira (Figura 16) e esta nascente é uma das que mais produz em termos de água para o consumo do país, tendo sido construída, segundo Eurico (ex-técnico da EMAE), no início dos anos oitenta (1980-1982). Segundo a EMAE (2014), devido ao seu potencial em termo de quantidade e qualidade, a captação desta água é destinada exclusivamente para o consumo humano, ou seja, abastecimento público (domestico e industrial). Devido a elevada capacidade de produção de água neste sistema, a EMAE teve de subdividir em outros sistemas, de tratamento ou estação de abastecimento tais como: ETA Água-Amoreira II, III (tal como detalhado no capítulo 2, no ponto 2.4, caracterização do setor de abastecimento de água de STP). As estações de abastecimento I, II e IV, são as que se encontram em funcionamento, captando e produzindo um elevado caudal de água todo o ano e abastecendo um elevado número de população, mais de 56.000 habitantes (INE, 2012). A seguir tem-se uma descrição dos componentes do sistema de captação da ETA de Água-Amoreira I.

#### Componentes do sistema de captação:

##### Clima, hidrogeologia e característica hidrogeológica

O clima presente neste sistema é característico de São Tomé e Príncipe (STP), que é considerado quente e húmido e com alternância de estações, ou seja, gravana (período de seca) e chuvas intensas. O nível de precipitação que se

faz sentir onde está instalado o sistema de abastecimento também é característico do arquipélago. Não foi possível obter informações sobre a característica do aquífero deste sistema (se é confinado ou artesiano). A litologia deste sistema é compreendida por rochas basálticas fissuradas.

### **Exposição do sistema de captação**

O Vandalismo em relação ao abate das árvores e a presença humana e de animais, domésticos ou selvagens, são exemplos da exposição a que a nascente pode estar sujeita. A presença de animais (pássaros, porcos, javalis, macacos e entre outros) é pouco observada, mas há uma especial atenção para a presença dos mesmos (principalmente os macacos) pois as suas ações podem afetar a qualidade de água.

### **Vegetação, uso de solo e atividades realizadas ao bordo da nascente**

A envolvente deste sistema de abastecimento de água é composta por floresta virgem e com vegetações do tipo Bananeiras (género *Musa*), Jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus*), Pessegueiros (*Prunus pérsica*) e entre outras. Não existe aglomerado populacional perto da estação, sendo que a presença da intervenção humana só se faz sentir no caso de vandalismo, principalmente no abate das árvores ou pelos técnicos que operam no sistema. Não existem campos agrícolas adjacentes, onde a pratica agrícola leve à utilização de compostos e/ou produtos químicos que possam afetar a qualidade da água captada devido a escorrência superficial ou percolação. De entre as atividades realizadas na periferia do sistema de captação, pode destacar-se o abate das árvores ou presença humana na procura de géneros alimentícios, entre outros.

### **Características do sistema de captação (Captações e Transporte de água bruta)**

Na nascente, a captação da água é feita por gravidade (EMAE, 2016). Existem variações pouco significativas dos caudais ao longo do ano (EMAE 2014). Na nascente estão instaladas condutas de adução que transportam a água bruta que é armazenada no sistema de armazenamento. Não existe neste sistema a influência de fontes de escorrência de água superficial (rios), e em dias de precipitação muito intensa o efeito da turvação pouco se faz sentir. A conduta de transporte da água bruta até à ETA é feita em ferro fundido (Figura 18) (EMAE, 2014)



**Figura 18:** Condução de transporte de água bruta.



**Figura 19:** ETA de Água Amoreira.

### **Sistema de proteção da ETA e fonte de captação de água (Perímetro de proteção)**

Não se obteve dados. Mas sendo comum em STP os sistemas de proteção serem feitos em estacas, cercas de arrame farrapado, cercas em bambu, ou mesmo vedações em muros. Não se obteve informação sobre os perímetros de proteção na nascente. Contudo, em caso de uma eventual implementação, seria conveniente instalar perímetro de

proteção principalmente em zonas de captação de água.

### Fontes de contaminação da água captada

No geral, a qualidade da água é influenciada por fatores naturais e antropogênicos (Mendes, *et al.*, 2004). Os fatores naturais que mais influenciam a envolvente da nascente de Água Amoreira é o clima, principalmente a intensidade da precipitação e ventos. A alternância das estações do ano, ou seja, existência de situações de seca e de chuvas intensas, contribuem para a variação do caudal e capacidade filtrante da água no solo. No caso dos fatores antropogênicos, a presença humana nas florestas ao redor da estação ou no recinto da estação pode afetar a qualidade da água distribuída. Outro fator natural como a queda de frutos provenientes das vegetações pode contribuir para a contaminação da nascente através de matéria-orgânica. A presença de animais também pode afetar a qualidade da água devido à contaminação fecal.

#### 3.1.1.3 Sistema de tratamento e armazenamento de água bruta (água subterrânea)

A ETA de Água Amoreira está instalada no local da fonte de captação. Segundo a EMAE (2014), o sistema opera 24 sobre 24 horas, e tem a capacidade máxima para tratar até 26.465 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 1.103 m<sup>3</sup>/h (Tabela 15). O caudal captado, tratado e distribuído no ano de 2014, rondou os 7.000.000 milhões de m<sup>3</sup> de água por ano.

**Tabela 15:** Estimativa de caudal máximo diário captado na ETA de Água Amoreira (EMAE, 2014).

Estação de Abastecimento	Caudal Máximo Diário (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /h (24h))	População da localidade de abastecimento	Consumos Máximo (L/dia)
ÁGUA AMOREIRA I	26.465	1.103	25.000	1.059

### Características dos constituintes do sistema de tratamento de água

Condutas instaladas (feitas em ferro fundido) proporcionando a queda de água por gravidade. Filtro do tipo rápido/lento, reservatórios de armazenamento e distribuição feitos em betão. O material do meio filtrante usado é areia de granulometria fina.

### Equipamentos de monitorização e automação no tratamento de água

Não se obteve informação em relação ao equipamento de monitorização. Mas sabe-se que se faz apenas a monitorização do pH e do teor de desinfetante residual nos ramais de sistema de distribuição (EMAE,2016). Não se obteve dados relativos à existência de um sistema de automação instalado na ETA.

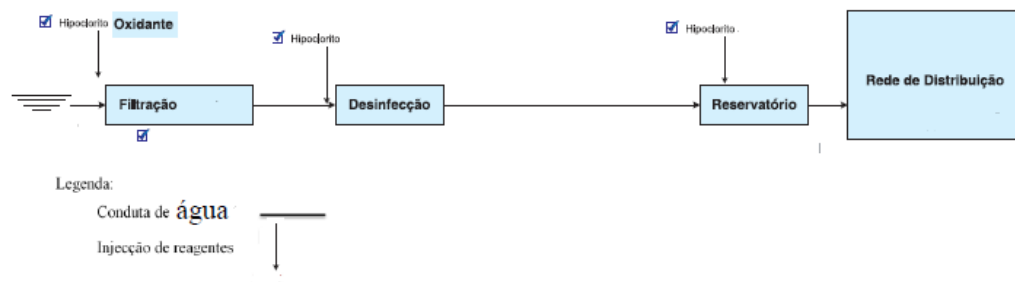
### Produtos químicos utilizados: características, proveniência, preparação e armazenamento

Conforme já referenciado, o tratamento de água em sistema de abastecimento em STP, cuja a fonte é água subterrânea, o produto químico utilizado é o hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)<sub>2</sub>). O hipoclorito de cálcio é fornecido em pastilhas que podem variar entre os 50-250 gramas. O composto vem armazenado em barris de até 50 litros. Trata-se de um composto disponibilizado comercialmente com uma concentração de cloro ativo a 65% (650 mg/L), sendo que se não for armazenado em local apropriado perde a sua eficiência de desinfecção ao longo do tempo (na

ETA o hipoclorito é armazenado em locais ventilados). É um composto com uma coloração branca, com cheiro característico a cloro. É preparada uma solução do composto para depois ser doseado.

### Processo de tratamento e doseamento de reagentes

O processo de tratamento feito na ETA de Água-Amoreira consiste num processo pouco complexo por se tratar de uma fonte de água subterrânea, que segundo a EMAE (2014), é uma água pouco ou nada poluída. A Figura 21 ilustra as etapas do processo de tratamento, bem como as dosagens de reagentes.



**Figura 20:** Esquema do processo de tratamento de água da ETA de Água-Amoreira, adaptado de IRAR (2007).

### Operações de Tratamento de água bruta

Conforme ilustra a Figura 20, o processo de tratamento de água que é feito neste sistema de abastecimento público consiste numa pré-oxidação (cloragem), filtração (rápida/lenta) com filtro de areia, correção de pH caso necessário, e desinfecção. A filtração rápida é feita em períodos de pouca precipitação, enquanto a filtração lenta é feita em períodos de precipitação intensa. A correção de pH é feita em casos excepcionais, uma vez que segundo a EMAE, o pH da água deste sistema de abastecimento encontra-se dentro do limite estipulado pela OMS (6-9).

### Pré-oxidação (cloragem)

Na etapa de pré-oxidação a cloragem é realizada pela adição do hipoclorito de cálcio diretamente à água, pouco tempo depois da sua captação, já na entrada da ETA. Este tem poder desinfetante e oxidante, reduz odores e evita o crescimento de algas e outros microrganismos nos filtros, assim como oxida ferro e manganês.

### Filtração

Esta etapa do processo de tratamento varia consoante a estação do ano. A filtração é feita por forma a assegurar a qualidade da água em termos de controlo de turvação, eliminação dos microrganismos, eliminação de precipitados de ferro e manganês e outras substâncias que podem afetar a qualidade da água. Não se obteve informações quanto a dimensão do filtro. Na ETA há um controlo do filtro em relação à necessidade de mudança do enchimento de areia e também de contra-lavagem do leito filtrante. A lavagem é realizada manualmente e é determinada pelo controlo das pressões acima e abaixo do leito filtrante. Não se obteve informações sobre os produtos que são utilizados para a higienização dos filtros. Em relação à contra-lavagem do leito filtrante, a água utilizada é conduzida a reservatórios especificamente preparados para tal e reutilizada noutros fins.

## Desinfecção

Na ETA a desinfecção é feita no tanque de desinfecção por forma a garantir a inativação de microrganismos, eliminação de odores e oxidação de ferro e manganês; e nos reservatórios de distribuição (por forma a garantir um teor residual de desinfetante). Como já foi mencionado, o produto químico utilizado no processo de desinfecção é o hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ).

### 3.1.1.4 Sistema de distribuição e reservatório da água tratada

No arquipélago de STP não existe um sistema convencional de gestão da distribuição de água como em Portugal, sistema em alta e sistema em baixa, todo o processo de abastecimento de água é assegurado pela EMAE. Após a captação, a água é tratada, é armazenada em reservatórios e de seguida distribuída pela rede. O sistema de distribuição é composto por várias condutas de adução e reservatórios, conduzindo a água até ao consumidor por gravidade (Figura 21). Não se obteve informações relativamente a sistemas de bombagens de apoio à condução e distribuição da água. Segundo a EMAE (2016) existem contadores que registam os caudais de água à saída do sistema de abastecimento.

#### Composição do sistema de distribuição (adução da água)

O sistema de adução da água é feito em ferro fundido, mas atualmente está a ser feita a substituição para o Polietileno de alta densidade (PEAD) (EMAE, 2014). No ponto de saída da água existem sempre reservatórios feitos em betão e de dimensões variadas (50, 80, 100, 150, 200 e até 600  $\text{m}^3$ ) que armazenam a água por forma a mesma ser distribuída para os consumidores. Os reservatórios estão preparados para reter o caudal de água que é tratado e distribuído (EMAE, 2014 & Gomes, 2016).

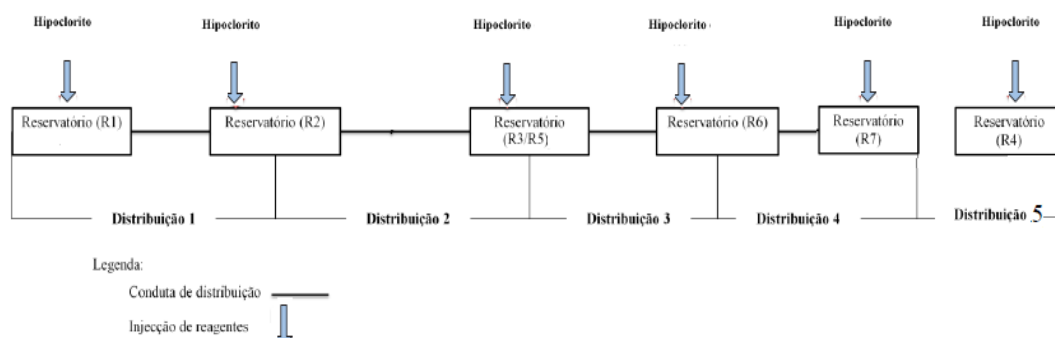


**Figura 21:** Captação em nascente, sistema de distribuição e respetivos reservatórios (Adaptado de Gomes, 2016).

**Nota 1:** este sistema foi adaptado para este caso de estudo, as localidades bem como a instalação da ETA, foram adaptadas de forma a demonstrar um cenário realista. A falta de recolha de dados para demonstrar um cenário verdadeiro, levou à adaptação deste sistema para este caso de estudo.

Pela análise da Figura 21, podemos constatar que o sistema de distribuição é composto por sete reservatórios de

distribuição com dimensão variada. Estes reservatórios formam um conjunto de 5 redes de distribuição, ou seja, zonas de abastecimento (ZA). Os reservatórios e sistema de distribuição estão ligados por diferentes condutas de transporte e distribuição. A água quando sai da ETA é conduzida para estes reservatórios onde se faz a correção do nível de cloro, utilizando o hipoclorito de cálcio. Após um tempo de contacto mínimo de 30 minutos a água é logo distribuída à rede. Na Figura 22 apresenta-se um esquema da rede de distribuição.



**Figura 22:** Reservatórios de distribuição.

**Rede de Distribuição 1 (RD1)** - a partir dos reservatórios R1-R2, rede gravítica que abastece as localidades de Cidade Capital, Budo-Budo, Ponte Graça e Potó-Potó, os reservatórios desta rede têm capacidade para um volume de água de 600 e 200 m<sup>3</sup>. Relativamente à conduta que liga esta rede, possivelmente funciona por gravidade, sendo a tubagem feita em ferro fundido, com diâmetro de cerca de 75 mm (EMAE, 2014). Não se obteve informação relativa à proteção anti-corrosão.

**Rede de Distribuição 2 (RD2)** - a partir dos reservatórios R2-R3/R5, rede gravítica que abastece as localidades de Riboque, Fruta-Fruta, S. António e Quilombo, os reservatórios desta rede têm capacidade para um volume de água de 200 e 100 (50+50) m<sup>3</sup>. A conduta desta rede funciona por gravidade, sendo a tubagem feita em ferro fundido com um diâmetro de cerca de 75 mm. Não se obteve informação relativa à proteção anti-corrosão.

**Rede de Distribuição 3** - a partir dos reservatórios R3/R5-R6, rede gravítica que abastece as localidades de Ponta-Mina, Vila Maria e San. Gabriel. Os reservatórios desta rede têm capacidade para um volume de água de 100 (50+50) e 100 m<sup>3</sup>. A conduta funciona por gravidade, sendo feita em tubo Polietileno de alta densidade (PEAD) com um diâmetro de cerca de 75 mm.

**Rede de Distribuição 4** - a partir dos reservatórios R6-R7, rede gravítica que abastece as localidades de Blublu e Madre-Deus. Os reservatórios desta rede têm capacidade para um volume de água de 100 e 150 m<sup>3</sup>. A conduta funciona por gravidade e a tubagem é em PEAD com um diâmetro que ronda 75 mm.

**Rede de Distribuição 5** - a partir dos reservatórios R7-R4, rede gravítica que abastece as localidades de Chacará e Bairro Dolores. Os reservatórios desta rede têm a capacidade para um volume de água de 150 e 80 m<sup>3</sup>. A conduta funciona por gravidade, sendo a tubagem em PEAD e ferro fundido, com diâmetro que ronda os 75 mm. Não se obteve informação relativa à proteção anti-corrosão.

### 3.1.1.5 Representação do diagrama do sistema de abastecimento

Um diagrama representativo do sistema de abastecimento de água, desde a captação até ao consumidor, é uma ferramenta fundamental para a identificação dos riscos, perigos e controlos existentes. O diagrama permite uma avaliação do sistema de abastecimento de água, uma vez que fornece uma visão clara de todas as etapas de abastecimento (OMS, 2011). O diagrama auxilia na determinação dos riscos e como os mesmos podem afetar os consumidores, ajuda a encontrar os riscos e ao mesmo tempo garantir o modo como os mesmos podem ser controlados. Importa referir que é essencial validar o diagrama com os dados obtidos no terreno por forma a comprovar a sua exatidão. Na Figura 23 apresenta-se o diagrama para o sistema de abastecimento da ETA de Água Amoreira I (fonte de captação de água subterrânea).

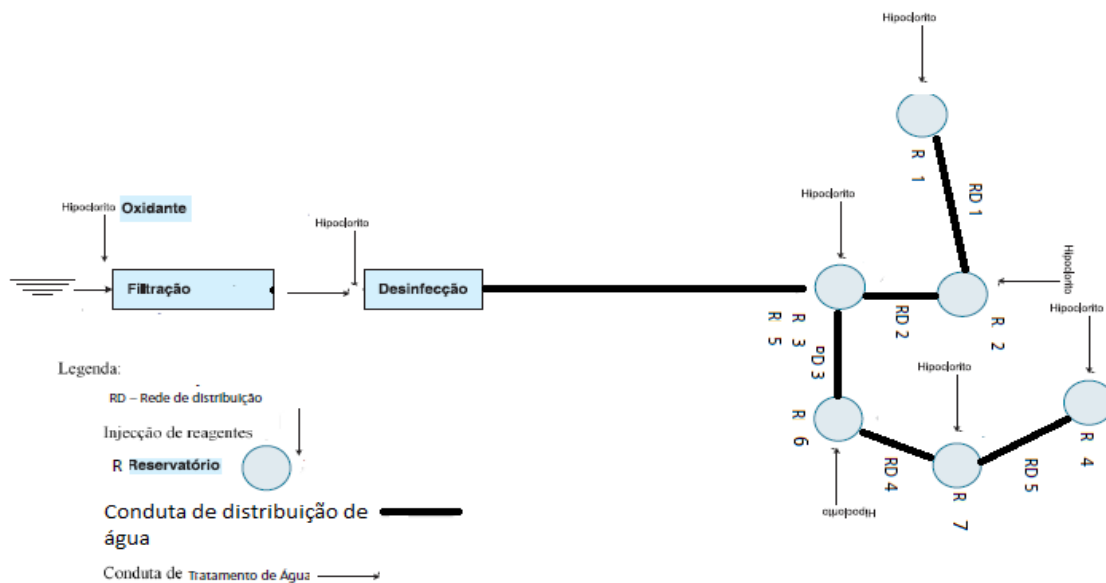


Figura 23: Simulação de um diagrama do sistema de abastecimento de água (ETA de Água Amoreira I).

### 3.1.2 Controlo do doseamento (Desinfecção) na ETA de Água Amoreira I

#### Avaliação crítica e metodologia de ação

A água é o motor da vida, por isso o uso racional dos reagentes químicos no seu tratamento deve ser encarado com grande rigor para garantir a sua qualidade.

No sistema de abastecimento em estudo, na etapa de tratamento de água (desinfecção) o produto químico utilizado para a desinfecção da água é o hipoclorito de cálcio. Face a esta utilização, neste ponto procede-se à avaliação do seu consumo e do seu modo de utilização na desinfecção e apresentam-se soluções para sua melhor utilização e controlo.

No contexto em estudo, a implementação de novas metodologias conducentes à otimização ou melhoria de eficiência de utilização (dosagem) teria uma difícil aceitação por parte da Entidade Gestora, uma vez que os resultados obtidos no tratamento de água (desinfecção), segundo a mesma, encontram-se dentro dos limites aceitáveis para o consumo humano. Se a implementação da melhoria for no sentido do uso racional de reagentes,

reduzindo despesas e assegurando a segurança (qualidade da água), preservando o meio ambiente e garantindo a qualidade de vida (saúde pública), a sua aceitabilidade será maior. Portanto, implementar uma metodologia no sentido do uso racional é o sinónimo de melhorar os procedimentos em relação ao controlo do doseamento (desinfecção) para as ETA de STP.

Os problemas relativos ao controlo do doseamento (desinfecção) que se podem encontrar numa ETA são os seguintes:

- Dose do desinfetante (reagente) em maior/menor quantidade;
- Tempo de contato do reagente insuficiente;
- Aparecimento de subprodutos; e
- Má formação dos técnicos.

No sentido de facilitar a operação de doseamento, é conveniente ter uma metodologia de cálculo com indicação do caudal a dosear em função do caudal de água a tratar, e da dosagem pretendida, uma vez que pode haver situações em que o doseamento tenha que ser ajustado, mas a capacidade do sistema (gama de funcionamento das bombas) não permita o tal ajuste para a capacidade de resposta.

### **3.1.2.1 Avaliação da eficiência de uso de hipoclorito de cálcio na ETA de Água Amoreira I**

A ETA de Água Amoreira I é a estação que apresenta o maior volume anual de captação de água para tratamento em STP (tal como detalhado no subcapítulo anterior). O caudal anual de água captado para tratamento é aproximadamente 7 milhões de m<sup>3</sup>/ano, sendo que a sua distribuição anual *per capita*, é estimada na ordem de 280 m<sup>3</sup>/pessoa.ano. A quantidade (anual) ou seja a carga mássica do desinfetante para o processo de tratamento (desinfecção) nesta ETA, situa-se na ordem de 20 t/ano, sendo que a quantidade do desinfetante para cada metro cúbico de água captado é estimada na ordem de  $2,85 \times 10^{-3}$  kg/m<sup>3</sup> (2,85 mg/L). Face a estas observações, no sentido de estimar uma metodologia de cálculo para o controlo do doseamento na ETA e avaliar a eficiência de dosagem, podemos partir de seguinte raciocínio:

O hipoclorito de cálcio utilizado é comercial e fornecido em pastilha com uma concentração em cloro ativo de 65% (650 g/L). Se a concentração pretendida for por exemplo 2 mg/L, ou seja, 2 g/m<sup>3</sup>, e sabendo o caudal de ponta máximo, o caudal médio (estimado a partir do caudal anual) e o caudal mínimo m<sup>3</sup>/h que foram captados e tratados nesta estação, sendo que segundo EMAE (2014) na ETA de Água Amoreira I para um período de funcionamento de 24 horas é captado um caudal máximo diário de 26.464,8 m<sup>3</sup>/dia (1.013 m<sup>3</sup>/h), um caudal médio diário de 20.021,35 m<sup>3</sup>/dia (834,22 m<sup>3</sup>/h) e um caudal mínimo diário de 15.223,6 m<sup>3</sup>/dia (634,319 m<sup>3</sup>/h).

Tendo estes dados por base, é possível estimar um conjunto de parâmetros de controlo do doseamento na ETA. Na Tabela 16 sistematizam-se os dados de base e na Tabela 17 os resultados dos cálculos efetuados.

**Tabela 16:** Dados relativos à desinfecção na ETA de Água-amoreira I.

Concentração pretendida (Ca) (mg/L de água tratada)	Concentração do reagente (Cr) (g/L)	Carga mássica de desinfetante (Md) (ton/dia)	Caudal máximo diário (Q <sub>máx</sub> ) (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal médio diário (Q <sub>médio</sub> ) (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal mínimo diário (Q <sub>min</sub> ) (m <sup>3</sup> /dia)
2 mg/L de água tratada	650 g/L	20 t/dia	26.464,8 m <sup>3</sup> /dia (1.013 m <sup>3</sup> /h)	20.021,35 m <sup>3</sup> /dia (834,22 m <sup>3</sup> /h)	15.223,6 m <sup>3</sup> /dia (634,31 m <sup>3</sup> /h)

Em relação aos dados sistematizados, irão ser calculados:

- Carga mássica de hipoclorito de cálcio necessário para o tratamento por hora (Cnt) (g/h);
- O caudal de hipoclorito cálcio a ser doseado pela bomba (Q<sub>hpb</sub>) (L/h);
- Carga mássica de hipoclorito de cálcio para o tratamento durante o período de funcionamento (24 h) da ETA (L/dia ou kg/dia).

Portanto, para a ETA de Água Amoreira tem-se:

**Tabela 17:** Cálculos sobre a dosagem e consumo de hipoclorito de cálcio para os diferentes caudais.

Caudal (Q) tratado na ETA (m <sup>3</sup> /h)	Carga mássica necessária para o tratamento (Cnt) (g/h)	Caudal a ser doseado pela bomba (hipoclorito puro) (Q <sub>hpb</sub> ) (L/h)	Carga mássica total para o tratamento durante as horas (24 h) de funcionamento da ETA (Chpt) (L/dia) ou (kg/dia)
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Cnt = 2,206 g/h	Q <sub>hpb</sub> = 3,39 L/h	Chpt = 89,5 kg/dia
Caudal médio (m <sup>3</sup> /h)	Cnt = 1,669 g/h	Q <sub>hpb</sub> = 2,57 L/h	Chpt = 67,7 kg/dia
Caudal mín. (m <sup>3</sup> /h)	Cnt = 1,268 g/h	Q <sub>hpb</sub> = 1,95 L/h	Chpt = 51,5 kg/dia

**Nota 2:** A carga mássica total de hipoclorito de cálcio para o tratamento (Chpt) expressa em kg/dia foi obtido considerando a densidade do desinfetante (hipoclorito de cálcio) de 1,10 g/cm<sup>3</sup>.

Neste caso de estudo, estes cálculos têm como o objetivo proporcionar o uso racional em relação ao controlo do doseamento aquando do consumo e emprego de reagentes nas ETA de STP. Vamos agora com estes cálculos analisar a dosagem e o consumo do desinfetante na ETA, efetuar uma análise ao pH, e ao mesmo tempo tentar tirar um conjunto de conclusões em relação ao controlo do doseamento dos reagentes, bem como avaliar a monitorização ao longo da linha de distribuição e concluir qual a variação do caudal que seria aceitável e a carga máxima (ou o consumo) anual do desinfetante na ETA em estudo.

- **Análise da dosagem e consumo do desinfetante na ETA de Água Amoreira I**

Apenas com base nos cálculos efetuados não podemos avaliar se o consumo e doseamento de reagente (desinfetante) nesta ETA está a ser feito com precisão ou eficiência, uma vez que não se obteve amostras de água por forma a determinar as suas características microbiológicas, físicas e químicas, nem se conhece a concentração

pretendida do desinfetante, o valor do pH da água a que se efetua a dosagem de reagentes (desinfetante) nem o tempo de contacto do desinfetante na água. Estes parâmetros são uns dos principais fatores que influenciam a eficácia da desinfecção e precisam de ser controlados durante o processo de tratamento.

As águas subterrâneas de STP são caracterizadas por serem águas de boa qualidade e consequentemente os processos tratamentos efetuados consistem numa pré-oxidação, filtração e desinfecção. Caso baixemos a concentração pretendida de desinfetante (ou seja, a concentração ótima estimada no cálculo) para 1 mg/L, tanto o consumo como a dosagem de reagentes, diminuiriam. Neste sentido, uma concentração de 1 mg/L para uma água subterrânea pouco poluída e com ausência de compostos orgânicos e inorgânicos, seria suficiente para a desinfecção da água até zonas próxima dos locais de tratamento. E esta concentração podia garantir um teor residual de desinfetante na água no sistema de distribuição nas zonas próximas da estação de tratamento, mas, eventualmente, podia não assegurar este teor para zonas mais longínquas (depende do estado da tubagem, e o tempo de contato que não se sabe). Caso a água tratada seja distribuída para zonas mais longínquas, seria necessária uma concertação superior até 3 mg/L, uma vez que ao longo de sistema de distribuição, podia haver contaminações, por fugas ou furos presentes. No entanto, uma concentração superior até 3 mg/L, podia-se estar a desinfetar a água, mas garantindo um teor de desinfetante residual superior ao limite estipulado (mg/L pela OMS ou pelo decreto lei nº 306/2007 de 26 de Agosto de Portugal que são 0,2-0,6), bem como dar sabor à água.

Face a esta análise, recomenda-se uma atenção rigorosa no controlo do doseamento de reagente na ETA de Água-Amoreira I, bem como a monitorização em diversos pontos do sistema de abastecimento e controlo microbiológico. A utilização de uma dosagem inferior à ótima, pode não estar a garantir a desinfecção da água com eficiência, o que faz com que a água desinfetada possa conter odores e alguns microrganismos patogénicos. Enquanto o consumo para a dosagem superior a ótima, pode estar a garantir a desinfecção da água, no entanto a água pode conter excesso de desinfetante, o que suscita o aparecimento de subprodutos à base do desinfetante, bem como doenças e sabor na água. Portanto, a dosagem ótima corresponderia a uma carga mássica adequada, e possibilitaria uma desinfecção ótima tanto nas zonas próximas como longínquas da estação, a obtenção de um teor de desinfetante residual livre dentro dos limites estabelecidos e a não presença de odor, sabor ou aparecimento de subprodutos de desinfecção. É importante ter em atenção que a aplicação de uma dosagem ótima neste contexto assegura a desinfecção, no entanto é “recomendável” que para as zonas longínquas, durante a distribuição haja postos de cloragem por forma a garantir um maior controlo do doseamento.

Toda esta análise pode ainda ser complementada tendo em conta a sazonalidade (estação do ano existente no país), o pH e o tempo de contato no controlo do doseamento, isto porque quando se usam desinfetantes à base de cloro, estes parâmetros também têm influência na eficácia da desinfecção, portanto, também precisam de sere controlados.

#### ➤ **O pH no controlo do doseamento na ETA de Agua Amoreira I**

No capítulo 2 (referência bibliográfica- conceito de desinfecção), apresentou-se a curva de dissociação do ácido hipocloroso em ião hipoclorito em função do pH (Figura 11). Com base nesse gráfico pode avaliar-se a capacidade de desinfecção (dosagem) destes compostos em função do pH (característico da água de subterrânea de STP), e o seu teor residual para três cenários já apresentado neste caso de estudo: (i) concentração de 2 mg/L estabelecida como a concentração desejada para o caso de estudo, (ii) concentração mínima (1 mg/L) e (iii) concentração máxima 3 mg/L.

Portanto, para uma concentração de 1 mg/L e para o pH 6,5 teremos até 90% de ácido hipocloroso na água, pelo que o seu poder desinfetante para a dosagem, ou seja, a quantidade de cloro será de 0,9 mg/L, enquanto para uma concentração de 3 mg/L e para pH 6,5 a percentagem do ácido hipocloroso também seria de 90%, o poder desinfetante, ou seja, a quantidade de cloro seria na ordem de 2,7 mg/L. E para uma concentração pretendida de 2 mg/L e para um pH de 6,5 teremos até 90% de ácido hipocloroso na água, pelo que o seu poder desinfetante, ou seja, a quantidade de cloro será de 1,8 mg/L. Caso aumentemos o pH, por exemplo para 7,5 a percentagem do ácido hipocloroso iria diminuir para metade (45%) e a concentração ótima de 2 mg/L, também iria diminuir para metade (0,9 mg/L), nesta circunstância, o efeito do ião hipoclorito começa a ser sentido, no entanto o seu poder desinfetante é baixo comparado como o ácido hipocloroso, o que neste sentido, não possibilitaria para este caso de estudo um doseamento adequado (para zonas próximas e distantes) pois como já foi mencionado esta concentração simplesmente irá garantir a desinfecção e a presença de teor residual no sistema de tratamento. Mas, aumentando o pH para 8 já haveria uma forte predominância do ião hipoclorito e, para a concentração pretendida de 2 mg/L, teríamos até 70% da presença deste ião, pelo que a quantidade de cloro seria na ordem de 1,4 mg/L, que é uma concentração com um raio de ação de desinfecção relativamente baixo comparado com o do ácido hipocloroso.

Como é obvio, face às características das águas subterrâneas de STP, trabalhar com o pH característico da água, implica aplicar uma dose ótima que garanta uma maior eficiência de dosagem, ou seja, um maior controlo do doseamento (desinfecção). Mas é importante, conforme já referenciado, que com o uso de hipoclorito o pH deva estar entre 4,5-6,5 para uma melhor desinfecção.

#### ➤ **A carga mássica do desinfetante consumida na ETA**

A carga mássica (anual) do desinfetante que é utilizado na ETA, segundo a EMAE (2014), como já foi referido é de 20 t/ano. No cálculo efetuado, viu-se que a carga mássica total do hipoclorito para o caudal médio expressa em quilograma por dia (kg/dia) corresponde a 67,8 kg/dia, se esta quantidade for estimada durante um ano de tratamento, estará na ordem de 24 t/ano. Se estimarmos as restantes quantidades, então, para o caudal máximo teríamos 33 t/ano, e para o caudal mínimo teríamos 18 t/ano de carga máxima anual. Perante estas quantidades, isto faz-nos refletir que a carga máxima anual consumida na ETA está mais próxima da carga mássica do caudal mínimo e mais afastada da carga mássica do caudal máximo, restando a carga mássica do caudal médio.

Caso a variação de caudal de água a tratar seja tida em conta no doseamento, o controlo do doseamento possivelmente não será assegurado com eficiência pois ao longo da distribuição, com a variação dos caudais poderá ocorrer o desprendimento de biofilmes eventualmente presentes nas paredes da tubagem levando ao consumo de cloro residual livre, e consequentemente a água poderá ser distribuída com a sua qualidade alterada. Se a variação do caudal a tratar não for tida em conta no doseamento, o controlo do doseamento deve seguir um critério relevante, aplicar uma dose, em função do teor residual livre do desinfetante que se pretende. Portanto, para um doseamento eficiente, ter uma dose ótima e efetuar a média ponderada da variação do caudal, ou seja, definir um caudal de operação a tratar, possibilitaria um melhor consumo de carga mássica.

Em síntese, todo este raciocínio suscita-nos a reflexão de que o controlo depende do sistema de dosagem (bombas manuais/automáticas), capacidade dos técnicos, bem como da metodologia que se usa para garantir um doseamento

eficiente. Depende ainda do funcionamento da ETA, da qualidade do sistema de adução e captação da água, do reservatório e de perdas que possam existir no tanque ou nos reservatórios.

➤ **Controlo do doseamento com cloro em zonas rurais em STP**

A maioria da água captada para consumo humano em zonas rurais de STP, é água subterrânea, ou seja, de nascentes captadas por meio de furos ou poços, que são armazenadas em reservatórios cujos caudais são na maioria das vezes fixos, ou seja, não possuem variações aquando do tratamento e/ou abastecimento.

No tratamento dessa água, caso não ocorra a variação de caudal de água a tratar, e caso tenham sido efetuados os tratamentos prévios que asseguram uma boa etapa de desinfecção (eliminação da turbidez, filtração e sedimentação, etc.), a dosagem máxima de cloro deve ficar numa concentração de cloro residual de 1,0 mg/L, para que, após um tempo de contato mínimo, se obtenha na saída do tratamento, no mínimo 0,5 mg/L (FUNASA,2014). Para águas superficiais/subterrâneas, com concentração elevada de compostos orgânicos e inorgânicos, a concentração de cloro deve ser superior (por exemplo 2 mg/L), mas deve-se assegurar que a concentração de cloro residual não ultrapassa o limite estabelecido para a água de consumo humano (0,2-0,6 mg/L).

Quando se utiliza o hipoclorito de cálcio na desinfecção de água em meio rural, e uma vez que o caudal de água a tratar é fixo, a FUNASA (2014) fornece uma metodologia de desinfecção simples e de baixo custo, que garante um teor de cloro livre na saída do tratamento no máximo de 1,1 mg/L e mínimo 0,5 mg/L; e no sistema de abastecimento e/ou ponto de consumo no máximo 1,1 mg/L e no mínimo 0,2 mg/L.

Segundo a metodologia acima referida, os procedimentos para tratar diferentes volumes de água são os seguintes:

Para 5 m<sup>3</sup> de água a tratar – pesa-se 8 gramas ou enche-se 1 (uma) tampa de garrafa (de refrigerante) PET, de hipoclorito de cálcio a 65% de cloro ativo. De seguida, dissolve-se e agita-se bem essa quantidade de hipoclorito de cálcio em aproximadamente 1,5 litros de água e coloca-se no doseador ou bomba doseadora, por último procede-se a dosagem.

Para cada aumento de volume (10, 15, 20 etc.) de água a tratar, pesa-se mais 8 gramas, ou enche-se mais uma tampa de garrafa (de refrigerante) PET de hipoclorito de cálcio a 65% de cloro ativo, mantendo sempre constante a quantidade de água em que se dissolve o hipoclorito de cálcio (1,5 litros). De seguida, procede-se como descrito acima. Esta é uma metodologia simples que pode ser adotada para muitos sistemas em zonas rurais de STP, onde a deficiência e a carência de sistema de tratamento de água se fazem sentir.

### **3.1.3 Proposta de alteração do processo unitário de desinfecção -Processo de produção de cloro (hipoclorito de sódio) a partir do sal em STP (ETA de Água Amoreira I)**

A adoção de tecnologia automatizada, é hoje uma solução em muitas ETA para controlo do doseamento (desinfecção) automático. O sistema de automatização é hoje em dia muito empregado nas ETA. Estes representam um controlo mais eficiente no consumo de reagentes e proporcionam uma maior fiabilidade aquando da dosagem dos mesmos. Na busca por um novo padrão de uso tecnológico (controlo do doseamento automático) para o processo de desinfecção na ETA em estudo, neste ponto estudou-se um conceito inovador que prima pela eficiência e rentabilidade de sistemas e pelo desenvolvimento sustentável: a produção do hipoclorito de Sódio para a

desinfecção da água nos locais de tratamento de água (ETA) de STP (ETA de Água Amoreira I). Irá efetuar-se o estudo de produção do hipoclorito de sódio na ETA e uma análise de rentabilidade da produção deste composto químico face ao consumo do hipoclorito de cálcio. Este estudo enquadra-se numa proposta de alteração da etapa do tratamento (desinfecção).

No anexo I, refere-se a importância de utilização das novas tecnologias para o tratamento de água (desinfecção), bem como a descrição do equipamento de produção de hipoclorito de sódio ao nível local.

### **3.1.3.1 Produção do hipoclorito de sódio na ETA de Água Amoreira I**

O gerador de hipoclorito de sódio, referenciado no Anexo I, para produzir o hipoclorito de sódio necessita de sal. Neste sentido, procedeu-se a um estudo de avaliação dos recursos salinos em STP.

No arquipélago de STP, a existência de recursos salinos, ou seja, minas de sal, é inexistente. Existem estudos feitos, onde se destaca a presença de hidrocarbonetos e algumas manchas de minas de sal, que são inexploráveis. Segundo MIRNA (s.d), um estudo foi feito em 1965-66, pela agência francesa de petróleo, que encontrou hidrocarbonetos e minas de sal em zonas de São João dos Angolares e de Ribeira Afonso (zonas de sul da ilha de São Tomé), em profundidades às quais não é possível executar a sua exploração.

O único recurso salino observável no arquipélago é a água do mar. Segundo Bomfim (2002) em zonas costeiras de São Tomé, junto à foz dos rios (Iô-grande entre outros), o nível de salinidade é tão elevado que a concentração de cloro chega a atingir os 389,6 mg/L (tal como detalhado no capítulo 2, no ponto 2.4). Se for possível explorar esta forma de salinidade no arquipélago podia-se obter sal em quantidade, mas a sua qualidade ainda deveria ser objeto de um estudo. Segundo Enerstina, uma cidadã residente na freguesia de Praia Gamboa (pertencente a ilha de São Tomé), outrora (nos anos 90), nesta localidade, as populações, produziam sal para o consumo doméstico, através da água do mar que se depositava num dos pântanos dessa localidade, que atualmente foi ocupado pelo rápido crescimento populacional.

Há escassez de informação, em arquivos ou bibliografia, relativa aos recursos salinos em STP devendo ser objeto de estudo no futuro.

Não tendo minas de sal ou recursos salinos exploráveis no arquipélago, este estudo não deixará de ser efetuado, uma vez que pode considerar-se a compra de sal para produzir o hipoclorito de sódio. De seguida, apresenta-se o estudo de produção do hipoclorito de sódio na ETA de Água Amoreira.

Para a elaboração deste estudo, utilizou-se a mesma metodologia aplicada no ponto 3.1.2 (controlo do doseamento). A única diferença é que se incorporou a variável carga mássica de sal que o equipamento utiliza para produzir certa quantidade de hipoclorito, e trabalhou-se exclusivamente com o caudal máximo captado na ETA. O caudal máximo, reflete o caudal de ponta, ou seja, a capacidade máxima de funcionamento da ETA e uma vez que queremos produzir o hipoclorito de sódio na ETA, o ideal é trabalhar com a gama máxima de captação de água para o tratamento.

Realça-se que o equipamento produz hipoclorito de sódio com cloro disponível a 100%, e converte-o a 0,8%, ou seja, 8 g/L. Então, um hipoclorito de sódio com cloro disponível a 100%, representa um hipoclorito de sódio com uma concentração de cloro de 1.000 g/L, é com esta concentração que irá efetuar-se o cálculo. A carga mássica de

sal necessária para produzir o hipoclorito (Csn expressa em kg/dia), representa a relação entre a quantidade de sal (Ms expressa em kg) que o equipamento utiliza para produzir certa quantidade do hipoclorito de sódio (3,5 kg de sal para produzir 1 kg de hipoclorito) e a carga mássica de hipoclorito de sódio para o tratamento durante o período do funcionamento (24 h) da ETA (Chpt expressa em L/dia ou kg/dia). A Tabela 18 apresenta o cálculo efetuado sobre a produção do hipoclorito na ETA em estudo.

**Tabela 18:** Cálculos de produção do hipoclorito de sódio na ETA de Água Amoreira I.

Caudal máximo (Q <sub>máx</sub> ) tratado na ETA (m <sup>3</sup> /h)	Carga mássica para o tratamento (Cnt) (g/h)	Caudal a ser doseado pela bomba (Q <sub>hpb</sub> ) (L/h)	Carga mássica total produzida na ETA durante as horas (24 h) de funcionamento (Chpt) (L/dia) ou (kg/dia)	Carga mássica de sal para produzir o hipoclorito (Csn) (kg/dia)
1.013 (m <sup>3</sup> /h)	Cnt = 2,206 g/h	Q <sub>hpb</sub> = 2.206 L/h	Chpt = 52,9 L/dia, ou seja, 65,0 kg/dia	Csn =227,5

**Nota 3:** A carga mássica total de hipoclorito de sódio para o tratamento (Chpt) expressa em kg/dia foi obtida considerando a densidade do desinfetante (hipoclorito de sódio) de 1,23 g/cm<sup>3</sup>.

### **Análise comparativa de produção de hipoclorito de sódio versus consumo de hipoclorito de cálcio na ETA de Água Amoreira I**

A análise comparativa serviu como um molde por forma a entender como a produção de hipoclorito de sódio pode ser uma mais valia para a alteração da etapa do tratamento (desinfecção) da água na ETA em estudo.

Do cálculo apresentado, a produção do hipoclorito de sódio na ETA representa uma carga mássica diária de 65 kg/dia. Anualmente poderá ser produzido na ETA uma carga mássica de 24 t/ano para um caudal máximo de funcionamento, que em comparação com o consumo de hipoclorito de cálcio, face a utilização deste caudal, seria muito menor uma vez que a carga mássica estaria na ordem de 33 t/ano. Portanto, para o mesmo caudal, a produção de hipoclorito de sódio para o tratamento de água na ETA em estudo é economicamente mais rentável comparativamente ao de hipoclorito de cálcio, representando menos consumo/gasto de reagente.

Mas, só a análise da produção não basta para afirmar que trará benefícios económicos em relação ao consumo de hipoclorito de cálcio, uma vez que para se produzir o hipoclorito de sódio é necessário comprar o equipamento, e esta compra representa um custo. E também o facto de em STP não existir recurso salino para a extração de sal, para produzir o hipoclorito de sódio, este sal terá que ser comprado no exterior, e essa compra também representa um custo. Então, resta a alternativa, de comprovar a economia de produção do hipoclorito de sódio. Esta alternativa consiste em analisar a rentabilidade de produção do hipoclorito de sódio face ao consumo, ou seja, a compra do hipoclorito de cálcio por parte da EG, estimando todos os custos que podem estar relacionados tanto com a produção do hipoclorito de sódio como com a compra de hipoclorito de cálcio.

#### **3.1.3.2 Análise de rentabilidade da produção do hipoclorito de sódio versus o uso de hipoclorito de cálcio na ETA de Água Amoreira I**

A partir do conhecimento da forma como os custos variam à medida que varia a quantidade de produto é possível efetuar a chamada análise de limiar de rentabilidade. O que se irá se fazer neste estudo é uma análise de rentabilidade comparando duas alternativas: **(A) investimento em unidades de produção de hipoclorito de sódio**

*versus* **(B) compra de hipoclorito de cálcio, com base em orçamentos anuais (custos fixos e variáveis)**, considerando uma amortização linear e não contabilizando os custos financeiros (i.e. custo de um provável empréstimo ou de possíveis subsídios). No anexo II, apresenta-se a definição dos principais conceitos utilizados nesta análise (custo, custo fixo, custo variável e amortização linear).

Para a análise de rentabilidade, primeiramente estimou-se o custo para cada alternativa (A e B) apresentada. Para a alternativa **A** (produção de hipoclorito) o custo inclui o custo de aquisição do equipamento, **custo fixo unitário** (preços dos equipamentos, instalação, manutenção e transporte do equipamento) e **custo variável unitário** (custos na compra de sal, mão-de-obra e energia). Para a alternativa **B** o custo inclui o custo da compra do hipoclorito de cálcio, ou seja, **custo variável** que são todos os custos referentes à compra deste produto para o tratamento de água pela EG. As Tabelas 19 a 26, apresentam os valores estimados de todos os *inputs* e *outputs* para a realização da análise de rentabilidade das duas alternativas apresentadas e respetivos cálculos efetuados.

**Nota (importante) 4:** O custo da aquisição do hipoclorito de cálcio e do sal foram estimados com base na média do preço de mercado, estes apresentam um preço constante, ou seja, sem variações (inflação).

#### Alternativa A - Produção do hipoclorito na ETA de Água Amoreira I

**Tabela 19:** Equipamento para produção do hipoclorito de sódio.

Custo total de investimento em equipamento	
Quantidades	Capacidade de produção de NaOCl
1	70 kg/dia

**Tabela 20:** Custo de aquisição do sal para produção de hipoclorito de sódio.

Custo do Sal			
Quantidades (t/ano)	Custo (EUR/t)	Transporte (EUR/ano)	Armazenamento (EUR/ano)
84	140	7.500	1.000

As Tabelas 21 e 22 que refletem todo o raciocínio de cálculo para a análise de rentabilidade da alternativa (A).

**Tabela 21:** Custo fixo de investimento de produção de hipoclorito de sódio.

c	
Custo Fixo ou Custo de Investimento (EUR)	
Instalação do equipamento	7.700
Custo do Equipamento	78.380,00
Custo do Transporte do equipamento	1.500
<b>Total</b>	<b>87.580</b>

**Tabela 22:** Custo variável de investimento de produção de hipoclorito de sódio.

<b>Custo médio unitário do Hipoclorito de Sódio (NaOCl)</b>	
Custo variável de investimento do equipamento (EUR/ano)	
Custo de sal (compra, transporte e armazenamento)	20.260
Custo de manutenção	1.500
Custo de Energia (euros/ano)	2.000
Mão-de-Obra	1.200
<b>Total</b>	<b>24.960</b>

Com base nos dados sistematizados irá proceder-se a um conjunto de cálculos por forma a analisar a rentabilidade do projeto, irá calcular-se:

- A amortização linear;
- O custo fixo unitário; e
- O custo fixo unitário total

**Nota (importante) 5:** A componente principal do equipamento é o eletrólise que tem uma vida útil dependente das condições de funcionamento e do local, bem como a manutenção adequada. Supondo condições ideais, as células têm uma vida planeada de cerca de 7 anos, mas podem durar mais tempo (10 a 15 anos). A expectativa de vida útil do equipamento depende das horas de operação, fatores ambientais e programação de manutenção, da qualidade da água, do sal e do ambiente. Assegurando todas as condições o período de vida útil do equipamento pode ser até 25 anos.

Portanto, para a alternativa **A**, tem-se:

**Tabela 23:** Cálculos sobre custo total unitário de produção de hipoclorito de sódio -alternativa A.

<b>Amortização linear (A) (EUR/ano)</b>	<b>Custo Fixo Unitário (CFU) (EUR/t)</b>	<b>Custo Total Unitário (CTU) (EUR/ano)</b>
A = 3.504	CFU = 146	CTU = 25.106

**Nota (importante) 6:** O cálculo da amortização linear representa neste caso de estudo, a razão entre o **custo de investimento** (compra de equipamentos em euros) e o **período de vida útil do equipamento**, ou seja, anos de utilização do equipamento (25 anos). O cálculo do custo fixo unitário foi estimado tendo em conta a **amortização linear**, que neste caso representa o custo fixo anual de produção do hipoclorito de sódio. Para a obtenção do valor estimado de custo fixo unitário, dividiu-se a amortização linear pela quantidade total, ou seja, anual de hipoclorito de sódio produzido pelo equipamento na ETA em estudo (24 t/ano). O custo total unitário (CTU) = CFU + CV.

#### **Alternativa B - Compra de hipoclorito de cálcio para o tratamento de água ETA de Água Amoreira I**

As tabelas a seguir apresentam o valor estimado do custo de aquisição do hipoclorito de cálcio para o tratamento de água por parte do estado São-Tomense.

**Tabela 24:** Custos da compra de hipoclorito de cálcio.

<b>Quantidade para o tratamento (t/ano)</b>	<b>Custo (EUR/t)</b>	<b>Transporte (EUR/anos)</b>
33	1.000	6.800

**Tabela 25:** Cálculos sobre custo total unitário de compra hipoclorito de cálcio - alternativa B.

<b>Custo médio unitário Hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)<sub>2</sub>)</b>	
<b>Despesas</b>	<b>Custos (EUR/ano)</b>
Transporte (Contentores)	3.400
Compra (EUR/t)	33.000
Armazenamento	2.000
Custo alfandega	2.000
Seguro	3000
<b>Custo total (EUR/ano)</b>	<b>43.400</b>

**Nota 7:** a quantidade total de hipoclorito de cálcio calculada com o caudal máximo na ETA em estudo foi de 33 t/ano. A quantidade que é utilizada no tratamento de água está na ordem de 20 toneladas. Fixou-se as 33 toneladas uma vez que estamos a trabalhar com o caudal máximo para o nosso caso de estudo, ou seja, sem variabilidade. O sistema de tratamento/abastecimento estaria a operar na sua capacidade máxima.

Como já foi referido, para a análise de rentabilidade comparou-se o custo total unitário (CTU = CFU+ CVU) de produção do hipoclorito de sódio, com o custo total unitário da compra do hipoclorito de cálcio para a desinfecção de água na ETA em estudo. No anexo III realçaram-se algumas alternativas importantes, caso este projeto seja levado em diante.

Dos cálculos efetuados, bem como os custos estimados, a análise de rentabilidade da alternativa A, permitiu-nos obter um Custo Total Unitário de produção (CTUP) hipoclorito de sódio de 25.106 EUR/ano, enquanto a análise de rentabilidade de alternativa B, permitiu-nos obter um Custo total Unitário (CTUC) de compra de hipoclorito de cálcio de 43.400 EUR/ano. Como é observável, a produção de hipoclorito mostra-se mais rentável em relação à compra de hipoclorito de cálcio, pelo que podemos assumir que a implementação deste projeto é rentável e trará benefícios económicos para o estado São-Tomense.

Como forma de demonstrar os diferentes períodos de vida útil do equipamento, faz-se na Tabela 26 um resumo para a análise de rentabilidade de forma independente para cada período de vida útil, e comparou-se com a compra de hipoclorito de cálcio. Isto foi feito por forma a avaliar o efeito do período de vida útil do equipamento (7 a 25 anos) na rentabilidade de se ter investido na compra deste equipamento.

**Tabela 26:** Análise de rentabilidade para diferentes períodos de vida útil do equipamento.

<b>Período de vida útil (anos)</b>	<b>Amortização linear (A) (EUR/ano)</b>	<b>Custo Fixo Unitário (CFU) (EUR/t)</b>	<b>Custo Total Unitário (CTU) (EUR/ano)</b>
25	A = 3.504,2	CFU = 145,9	CTU = 25.106,0
15	A = 5.838,6	CFU = 243,3	CTU = 25.203,3
10	A = 8.758,0	CFU = 364,9	CTU = 25.324,9
7	A = 12.511,4	CFU = 521,3	CTU = 25.481,3

A análise da Tabela 26 permite aferir que, à medida que o Período de Vida Útil (PVU), do equipamento diminui, a amortização aumenta, o custo fixo unitário aumenta e o custo total unitário aumenta. Contudo, para os diferentes períodos de vida útil do equipamento, o custo total unitário de produção do hipoclorito de sódio, continua a ser inferior ao custo da compra de hipoclorito de cálcio, pelo que a implementação desse projeto continua a ser rentável.

É importante realçar que para uma análise mais próxima da realidade caso este projeto seja levado por diante, deverá ser feita uma análise de investimento, tendo em consideração as condições de pagamento, i.e., quais os pagamentos ao longo do ano. Por outro lado, há muitos fatores que não foram considerados neste estudo como: a taxa de inflação e de juro, a taxa de câmbio da moeda nacional face à desvalorização ao euro, a taxa de juro que se cobra no banco nacional de STP caso seja feito, um empréstimo e a análise do valor residual do equipamento no final do período de vida útil, todos estes fatores devem ser incluídos numa análise mais próxima da realidade. O que se pretendeu com a análise feita foi demonstrar a rentabilidade de se produzir hipoclorito de sódio face ao uso ou compra de hipoclorito de cálcio, onde se considerou ou estimou um conjunto de preços constantes e sem variações, ou seja, sem inflação.

Para além desta análise económica, há um conjunto de vantagens e desvantagens da produção/uso de hipoclorito de sódio face ao uso de hipoclorito de cálcio, a saber:

#### **Hipoclorito de Sódio**

**Vantagens** - Este composto químico tem um alto poder oxidante, mantém-se estável por longos períodos de tempo quando bem armazenado, apresenta custo de compra significativamente baixo, teor de toxicidade baixo e elevada solubilidade.

**Desvantagens** – Representa perda de concentração, por ser um produto muito volátil, é um produto que exige controlo muito apertado no transporte e armazenamento; Por ser um oxidante forte, deve ter-se muito cuidado no seu uso, uma vez que os produtos da sua oxidação são corrosivos e podem ocasionar queimaduras na pele e nos olhos, principalmente quando em altas concentrações; a reação de hipoclorito de sódio com compostos orgânicos pode dar origem a substâncias tóxicas e até cancerígenas; Pode causar irritação da mucosa pela decomposição do produto; em grande quantidade (concentração elevada) pode elevar o pH da água dos rios e solo; e em contato com ácidos ou amoníaco, liberta gases perigosos como o cloro causando danos à flora e à fauna; é usado como desinfetante no tratamento de água para consumo humano.

## **Hipoclorito de Cálcio**

**Vantagens-** Este produto químico tem um elevado teor de cloro disponível, é relativamente mais estável que o hipoclorito de sódio, é amplamente utilizado como um composto de cloro, que é altamente eficaz contra vários microrganismos, como algas, bactérias, fungos, entre outros microrganismos prejudiciais que existem no ambiente; muito utilizado nas piscinas; é usado como desinfetante no tratamento de água para consumo humano/ indústria e tratamento de água residual.

**Desvantagens -** Apesar do seu uso generalizado, o hipoclorito de cálcio tem restrições de mercado em termos de perigo para a saúde humana; inalação ou deglutição do produto químico é muito perigoso e pode ser fatal para o ser humano, causando problemas como pedras nos rins e doença de alzheimer; devido às suas fortes propriedades oxidantes, o contacto direto com qualquer parte do corpo pode causar queimaduras; o produto químico requer armazenamento em espaços refrigerados e bem ventilados o que acarreta custos de armazenamento; precisa de ser manuseado com cuidado para minimizar o risco de derrames acidentais; durante o transporte, não deve haver exposição à luz solar, calor ou humidade, bem como nenhum contacto com produtos orgânicos, óleos e ácidos; é pouco utilizado nas ETA, uma vez que pode conduzir a um conjunto de dificuldades tais como: diluição difícil; oxidação de quadros de elétricos, bombas e materiais ferrosos; excesso de cálcio causa incrustações e entupimentos em tubagens, em bombas doseadoras, diluidores, etc.; quando diluído, a concentração varia muito em função do tamanho da pastilha a ser diluída e conseqüentemente o cloro residual na rede também sofrerá tais variações; aumenta a dureza da água devido à acumulação de cálcio. O cálcio é um composto pouco solúvel e quando presente na água pode reagir com outros compostos ( $\text{CO}_2$ ), formando carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), o que pode elevar o pH da água.

## **Hipoclorito de sódio produzido no local**

**Vantagens -** A geração de hipoclorito de sódio no local tem muitas vantagens em relação à utilização de produtos de cloro comercial. As principais vantagens são a elevada segurança e custos operacionais reduzidos; solução consistente e equilibrada; eliminação tendo em conta o planeamento de gestão de segurança de processos; gestão de riscos de compra, transporte e armazenagem de produtos químicos perigosos, reduzindo subprodutos da desinfecção; a melhoria da qualidade da água; produção de hipoclorito de sódio de acordo com as necessidades do processo de tratamento de água no local; operação e satisfação garantidas; eliminação do risco associados ao uso de hipoclorito de sódio comercial; independência de fornecedores; baixo consumo de matérias-primas; desempenho garantido; redução da formação de sub-produtos na desinfecção.

**Desvantagens -** Custo no investimento; custo de instalação (operação e manutenção); custo na compra/produção de sal ( $\text{NaCl}$ ); custo de transporte de sal, entre outros.

As vantagens e desvantagens de uso de hipoclorito comercial, face à produção do hipoclorito ao nível local são claras. Nota-se que a produção local apesar de ter limitações (investimento na compra do equipamento, instalação, compra de sal, entre outras) é uma tecnologia de excelência, autossuficiente, rentável e inovadora que contribui para o desenvolvimento sustentável. O investimento em nova tecnologia, se tudo for bem programado e delineado, compensará os danos que se podem evitar ao longo do tempo e levará à utilização de recursos sem comprometer o seu uso para as gerações futuras.

### **3.1.4. Proposta de um plano de segurança da água para o sistema de abastecimento de água / ETA – Água Amoreira I**

O funcionamento da ETA, ao nível de instalação de equipamentos, operação (abastecimento e tratamento de água) e atividades de controlo do doseamento (desinfecção), precisa de meios e cuidados de segurança. Por este motivo é imprescindível, depois dos vários aspetos analisados ao longo deste trabalho, focar potenciais melhorias ao nível da segurança da água no caso em estudo.

Deste modo, procede-se uma proposta de implementação e elaboração do PSA para o sistema de abastecimento ETA de Água Amoreira. O principal objetivo deste estudo é contribuir para a melhoria do controlo analítico da água abastecida à população de STP. A melhoria do controlo analítico está focada para a criação de um instrumento de segurança, bem como um instrumento de monitorização, por forma a auxiliar a EG de abastecimento de água de STP em diversas etapas do controlo da qualidade da água.

A proposta de implementação e elaboração do PSA partirá de três das quatro etapas importantes que compõe o PSA (conforme detalhado no capítulo 2, no ponto 2.4): etapa preliminar (descrição do sistema de abastecimento), avaliação do sistema e monitorização operacional. A descrição do sistema de abastecimento foi feita no ponto 3.1.1 e englobou a representação do diagrama de fluxo que é muito importante na elaboração do PSA. Com a informação obtida na descrição do sistema, irá efetuar-se primeiramente a avaliação do sistema, e de seguida a monitorização operacional. Importa salientar que algumas ações descritas nestas duas etapas são exercidas nos sistemas de abastecimento, o que é representado aqui como melhoria é a elaboração do PSA como uma ferramenta de controlo (analítico) e gestão de risco.

#### **3.1.4.1 Avaliação do sistema de Abastecimento/ETA de Água-Amoreira I**

Através do princípio de barreiras múltiplas estudaram-se todas as etapas do sistema de abastecimento/ETA Água-Amoreira I. A avaliação do sistema foi feita de forma independente, para os processos de captação, tratamento, armazenamento e distribuição de água. Com a avaliação dos sistemas de forma independente, ou seja, através do princípio de barreiras múltiplas, identificou-se e caracterizou-se os eventos perigosos (ou pontos de controlos) e os perigos a eles associados, sendo que a identificação e a caracterização desses eventos perigosos e perigos, foi feita segundo a metodologia de priorização de riscos proposta pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2011) e Vieira & Morais (2005).

Na realização do cálculo para avaliação dos riscos utilizou-se uma abordagem semiquantitativa. Nesta, calculou-se a probabilidade de ocorrência e a severidade das consequências dos perigos e eventos perigosos para as diferentes etapas do sistema de abastecimento e obteve-se uma estimativa da magnitude dos riscos. A avaliação da magnitude dos riscos permitiu definir os Pontos de Controlo Crítico (PPC), ou seja, os locais onde será necessário reduzir, eliminar ou prevenir um perigo ou evento perigoso. A magnitude de risco para a identificação dos PCC foi feita aplicando a árvore de decisão de uma forma simplificada, tendo assumido que todos os perigos com um nível de classificação igual ou superior a 6 constituem um Ponto de Controlo (PC), e que a identificação de ponto de controlo crítico (PCC), representa os PC que não podem ser eliminados ou que apresentam uma classificação alta. Tendo efetuado estes procedimentos foi possível apresentar um conjunto de tabelas para todos os perigos e eventos perigosos que se podem identificar em cada etapa de abastecimento de água, bem com a avaliação dos eventos associados a esses perigos, e apresentar um conjunto de medidas de controlo para a segurança do sistema. A seguir

faz-se a avaliação do sistema para cada etapa de abastecimento.

### I- Fonte de captação de água de água bruta (água subterrânea)

Os principais eventos perigosos que podem conduzir ao aparecimento de perigosos que podem estar associados no processo de captação de água subterrânea (água bruta) são: Perigos de origem físico-química e origem biológica.

**Tabela 27:** Identificação de perigos e eventos perigosos na captação (água subterrânea).

Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer na captação de água bruta
Presença, humana e animais (macacos, pássaros, javalis, etc.); Pastagem de animais (ovinos, suínos, caprinos); Material fecal disponibilizado pelos animais selvagens ou da atividade pecuária; Aparecimento de pesticidas na água derivado à prática agrícola junto à captação; Constituição geológica e litológica e lixiviados.

**Tabela 28:** Avaliação do subsistema - Fonte de captação.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC1
Presença humana, dejetos de animais em dias de precipitação intensa e pastagem de animais.	Microbiológico	3	5	15	Alto	Doenças causadas por microrganismos de animais ( <i>Cryptosporidium</i> , <i>coliformes</i> ).	PCC1.1
Aparecimento de pesticidas na água derivado a prática agrícola.	Químico	2	4	8	Médio	Elevadas concentrações de substâncias químicas na água captada.	-
Constituição geológica, litológica e lixiviados.	Químico	3	4	12	Alto	Elevadas concentrações de substâncias químicas na água captada.	PCC1.2

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controle; PCC- Ponto de Controlo Crítico.

A análise da Tabela 28 permite observar que existe um evento perigoso com classificação média e dois eventos perigosos com classificação alta. Para estes eventos, os perigos associados são: microbiológico e químico. Para os perigos/eventos perigosos identificados (Ponto de controlo), foram detetados dois pontos de controlo crítico (PCC), contudo estes pontos de controlo crítico podem ser reduzidos e/ou eliminados noutra etapa de abastecimento. Uma vez que para este caso de estudo, não se tem conhecimento das medidas de controlo aplicadas na captação de água na Tabela 29 dão-se alguns exemplos de medidas de controlo simuladas para mitigar/eliminar os eventos perigosos.

**Tabela 29:** Medidas de controlo associados aos perigos na captação.

Estabelecimento e delimitação de perímetro de proteção, criando zonas de proteção imediata, intermédia e alargada.
Adoção de códigos de boa prática para o emprego de produtos químicos agrícolas e manuseamento de estrumes/chorumes.
Cercar/vedar as nascentes; Autonomia de utilização de várias origens de água de qualidade excelente quando haja deterioração na origem principal ou quando a sua captação se encontra afetada.
Monitorização contínua das captações na nascente.

## II-Tratamento de água bruta

### Fonte de captação de água bruta - conduta de transporte de água bruta

Os principais perigos que podem ocorrer em maior destaque, no tratamento aquando da captação de água bruta são de origem microbiológica, química ou física.

**Tabela 30:** Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Tratamento: captação de água subterrânea.

<b>Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer no tratamento de água bruta</b>
Seca; Precipitação intensa, proporcionando níveis elevados de turvação e matéria orgânica para a ETA; Operações de vandalismo e sabotagem.

A análise da Tabela 31 permite observar que existe um evento perigoso com a classificação média e três eventos com classificação baixa. A estes eventos, os perigos associados são: Quantidade de água indisponível para a captação; Microbiológico, Físico e Químico. Para os perigos/eventos perigosos identificados (Ponto de controle) e classificados como baixo e médio, não foi detetado ponto de controlo crítico (PCC), uma vez que estes podem ser reduzidos e/ou eliminados noutra etapa de abastecimento. Uma vez que para este caso de estudo não se tem conhecimento das medidas de controlo aplicada na captação de água apresenta-se na Tabela 32 a proposta de possíveis medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos identificados.

**Tabela 31:** Avaliação do subsistema Tratamento - captação de água subterrânea.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC1
Seca.	Quantidade de água indisponível para a captação	1	3	3	Baixo	Falta de água no tratamento e distribuição (reclamação do consumidor).	
Precipitação intensa, proporcionando o aparecimento de níveis elevado de turvação e matéria orgânica para a ETA.	Físico e microbiológico	1	5	5	Baixo	Níveis elevados de turvação e MO, podendo ultrapassar os limites estabelecidos pela OMS.	-
Aparecimento e crescimento de biofilmes no sistema de captação.	Microbiológico	2	4	8	Médio	Presença de microrganismos no subsistema tratamento.	-
Operações de vandalismo e sabotagem.	Microbiológico químico e físico	1	5	5	Baixo	Contaminação da água por microrganismos; turvação e substâncias químicas tóxicas.	

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico

**Tabela 32:** Medidas de controlo associado aos perigos no subsistema tratamento- Captação de água subterrânea.

Vedações de locais a montante do sistema de captação onde haja a presença humana e de animais selvagens.
Código de boas práticas; Revestimentos; Criação de um sistema de tratamento com capacidade de captar outra fonte de água num sistema adjacente, em dias de seca/precipitação elevada.

### Conduta de Transporte de água bruta- reservatório de água bruta

**Tabela 33:** Identificação de perigos e eventos perigosos no subsistema Tratamento - conduta de transporte de água-reservatório de água bruta.

Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer na conduta de transporte de água
Fuga e roturas na conduta e reservatório; Inadequada construção do reservatório; Acumulação de sedimentos no interior da conduta e reservatório; Reservatório mal vedado; Acesso de animais ao reservatório; Contaminação “cruzada” nas condutas e ações de vandalismo e sabotagem.

**Tabela 34:** Avaliação do subsistema Tratamento - conduta de transporte e reservatório de água subterrânea.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC1
Fugas e roturas na conduta e reservatório, inadequada construção do reservatório.	Falta de água; microbiológico e químico	2	4	8	Médio	Falta de água no tratamento (reclamações); microrganismos patogénicos e substâncias químicas tóxicas.	-
Reservatório mal vedado e acesso de animais ao reservatório.	Microbiológico físico e químico	1	4	5	Baixo	MO, Turvação e microrganismos patogénicos.	-
Acumulação de sedimentos no interior da conduta e reservatório.	Microbiológico físico e químico	2	3	6	Médio	Microrganismos prejudiciais à saúde.	-
Contaminação “cruzada” nas condutas e ações de vandalismo e sabotagem.	Microbiológico, químico e físico	1	3	3	Baixo	Contaminação da água por microrganismos, presença de substâncias químicas tóxicas e presença de turvação.	-

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico.

A análise da Tabela 34 permite observar que existem dois eventos perigosos com a classificação baixa e dois com classificação média. Os perigos associados a estes eventos são: falta de água, perigo microbiológico, físico e químico. Para os eventos/perigos identificados (Ponto de controlo) e classificados como baixo e médio, não foi detetado Ponto de Controlo Crítico, uma vez que estes perigos podem ser reduzidos e/ou eliminados noutra etapa de abastecimento. Uma vez que para este caso de estudo não se tem conhecimento das medidas de controlo aplicada na captação de água, na Tabela 35 sugerem-se algumas medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos referidos.

**Tabela 35:** Medidas de controlo associadas aos perigos no subsistema tratamento - conduta de transporte e reservatório de água subterrânea.

Instalação de alarmes contra intrusos; Realizar rondas periódicas; Construção de reservatórios adequados.
Vedação da conduta e reservatório com materiais apropriados; Limpezas das condutas e reservatórios periodicamente; Higienização das condutas e reservatórios.

#### **Pré-oxidação (cloragem) no reservatório de tratamento**

**Tabela 36:** Identificação de perigos e eventos perigosos no subsistema Tratamento- pré-oxidação no reservatório de tratamento.

**Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer no reservatório de tratamento**

Mau funcionamento das bombas doseadoras; Falhas na bomba doseadora: Doseamento incorreto do hipoclorito de cálcio; Formação de subprodutos; Desinfecção aplicada tardiamente; Doseamento em excesso de um reagente hipoclorito de cálcio; Anomalia grave / avaria do sistema de desinfecção ou interrupção por falta de carga nas bombas doseadoras.

**Tabela 37:** Avaliação do subsistema Tratamento. Pré-oxidação água subterrânea.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação do risco	Condicionantes	PCC2
Mau funcionamento da bomba doseadora.	Microbiológico	2	4	8	Médio	Presença de microrganismos prejudiciais à saúde.	-
Dosagem excessiva ou deficiência na desinfecção.	Físico, químico e microbiológico	3	4	12	Alto	Presença de microrganismos ou concentração desinfetante.	PCC2.1
Desinfecção aplicada tardiamente.	Microbiológica	4	4	16	Muito alto	Água pouco tratada, presença de microrganismos.	PCC2.2
Formação de Subprodutos.	Químico	1	4	4	Baixo	Subprodutos prejudiciais à saúde (cancro).	-
Falhas na bomba doseadora.	Microbiológico	2	4	8	Médio	Ineficiência do tratamento (desinfecção)	-

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico

A análise da Tabela 37 permite observar que existem dois eventos perigosos com a classificação média, e um evento com a classificação baixa, alta e muito alta. Os perigos associados aos eventos com classificação média são: microbiológico, físico-químico e químico. O perigo associado aos eventos classificados como alto e baixo é, sobretudo, microbiológico e químico, e para o evento classificado como muito alto o perigo associado é sobretudo microbiológico. Para o evento identificado (Ponto de controlo) e classificado como alto e muito alto foram encontrados PCC, que possivelmente não podem ser eliminados no tratamento de água. Uma vez que para este caso de estudo não se conhecem as medidas de controlo aplicadas na pré-oxidação, na Tabela 38 sugerem-se possíveis medidas de controlo a adotar para mitigar/eliminar os eventos perigosos.

**Tabela 38:** Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema tratamento - reservatório de tratamento de água subterrânea.

Melhorar o método de desinfecção (a longo prazo); Minimizar a entrada de contaminação no sistema e prolongar os tempos de retenção no reservatório (a curto prazo); Instalar alarmes que sejam acionados quando o nível de desinfetante for baixo; Reduzir o tempo de permanência da água em reservatórios a jusante, quando possível, em períodos de reduzida procura de água.
Melhorar os processos de cloragem (a longo prazo); Instalar alarmes que sejam acionados quando o nível de desinfetante for baixo; “Reparação das instalações de cloragem para se conseguir que os equipamentos e processos tenham uma fiabilidade de 99,5%”; Controlos de monitorização em linha; Certificado de análises laboratoriais do fornecedor.

### Filtração de água

Os principais perigos que podem ocorrer na filtração são de origem física, química e biológica.

**Tabela 39:** Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Tratamento - filtração de água subterrânea.

<b>Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer no processo de filtração da água</b>
Fraco controlo de água no leito filtrante; Fraco controlo de tempo de filtração; incorreta lavagem dos filtros; Recirculação não controlada de águas de lavagem nos filtros; Ineficiência da etapa de filtração Contaminação com produtos utilizados na manutenção de filtro; deficiente controlo de tempos de filtração.

A análise da Tabela 40 permite observar que existem dois eventos perigosos com a classificação baixa e três eventos com classificação alta. Todos os eventos com a classificação alta constituem ponto de controlo crítico (PCC). Os perigos associados a estes eventos (PC) são a passagem de matéria orgânica e turvação, podendo também surgir outros perigos como presença de alumínio, ferro e manganês, proveniente da pré-oxidação. Uma vez que para este caso de estudo não se tem conhecimento das medidas de controlo aplicada na filtração de água, a Tabela 41 sistematiza um conjunto de possíveis medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos.

**Tabela 40:** Avaliação do subsistema Tratamento - filtração de água subterrânea.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC3
Fraco controlo de água no leito filtrante.	Matéria Orgânica e Turvação	3	4	12	Alto	Presença de turvação e microrganismos prejudiciais à saúde.	PCC3.1
Fraco controlo de tempo de filtração.	Matéria- Orgânica e Turvação	3	4	12	Alto	Elevada Turvação e MO/ limites superiores, microrganismos patogénicos prejudiciais à saúde.	PCC3.2
Incorreta lavagem dos filtros.	Matéria- Orgânica e Turvação	3	4	12	Alto	Presença de microrganismos prejudiciais à saúde.	PCC3.3
Recirculação não controlada de águas de lavagem dos filtros.	Microbiológico e químico e físico	1	4	4	Baixo	Contaminação da água por microrganismos, presença de substâncias químicas tóxicas e presença de turvação.	-
Ineficiência da etapa de filtração.	Matéria- orgânica e turvação	1	4	4	Baixo	Água com turbidez elevada e compostos prejudiciais à saúde.	-

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico

**Tabela 41:** Medidas de controlo associado aos perigos no sistema de tratamento - filtração de água subterrânea.

Lavagem dos filtros uma a duas vezes por dia/semana; analisar à água a seguir a etapa de filtração, por forma a verificar possíveis contaminantes na água filtrada.
Mudanças do sistema de leito filtrante (areia fina ou grossa); Vistoria periódica ao sistema do leito filtrante.

### Distribuição

#### Reservatório de armazenamento de água tratada

Os principais perigos que podem ocorrer com maior destaque, no reservatório de armazenamento de água tratada, são de origem biológica, química e física.

**Tabela 42:** Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - reservatório de armazenamento de água tratada.

<b>Perigos e Eventos perigosos que podem ocorrer nos Reservatórios</b>
Fuga de água no reservatório; Vandalismo e sabotagem; Alteração da qualidade da água no reservatório; acumulação de sedimentos no interior do reservatório; Corrosão dos materiais de construção; acumulação de sedimentos no interior do reservatório; Introdução de dejetos de animais (pássaros, etc.) por falta de vedação afetando a água tratada; materiais inadequados em contacto com a água armazenada; contaminações por reagentes.

**Tabela 43:** Avaliação do subsistema Distribuição - reservatório de armazenamento de água tratada.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC4
Fugas da água no reservatório.	Falta de água	1	4	4	Baixo	Falta de água no reservatório de tratamento (reclamações pelo consumidor).	-
Acumulação de sedimentos no interior do reservatório.	Microbiológico e Físico	1	4	5	Baixo	Turvação e MO/microorganismos patogênicos prejudiciais à saúde.	-
Alteração da qualidade da água no reservatório.	Microbiológico	2	3	6	Médio	Microrganismos prejudiciais à saúde.	-
Vandalismo e sabotagem.	Microbiológico químico e físico	1	3	3	Baixo	Microrganismos substâncias químicas tóxicas e turvação.	-
Introdução de dejetos de animais (pássaros e etc) por falta de vedação do reservatório.	Microbiológico	3	5	15	Alto	Doença provocada por microrganismos patogênicos.	PCC4.1
Materiais inadequados em contacto com a água armazenada; contaminações por reagentes.	Químico	3	5	15	Alto	Substâncias químicas perigosas.	PCC4.2

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico.

A análise da Tabela 43 permite observar que existe três eventos perigosos com classificação baixa, um evento com a classificação média e dois eventos com a classificação alta. Os perigos associados aos eventos com a classificação baixa são: falta de água; microbiológico e físico; microbiológico; químico e físico. O perigo associado ao evento classificado como médio é sobretudo microbiológico, e para os eventos classificados como alto o perigo associado

é também sobretudo microbiológico e químico. Para os eventos identificados (Ponto de controlo) e classificados como alto detetou-se PCC, pois, muitos desses eventos perigosos podem não ser reduzidos e/ou eliminados na etapa de abastecimento (tratamento) de água. Uma vez que não se conhecem as medidas de controlo aplicadas na captação de água, propõem-se a seguir um conjunto de medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos (Tabela 44).

**Tabela 44:** Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema de tratamento - reservatório de armazenamento de água tratada.

Análise de água tratada e vedação dos reservatórios; Reparação e limpeza dos reservatórios de água tratada.
Operadores bem formados e com elevada competência no controlo de água tratada.

### **Rede de distribuição - desinfecção final no reservatório**

Os principais perigos que podem ocorrer na desinfecção final são de origem microbiológica, química e física.

### **Correção de cloro nos reservatórios de distribuição**

**Tabela 45:** Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - Desinfecção final no reservatório de distribuição.

<b>Perigos e Eventos perigosos que ocorre/podem ocorrer nos reservatórios de distribuição</b>
Doseamento incorreto do hipoclorito de cálcio e conseqüente baixo teor residual; Formação de subprodutos; Paragem no doseamento de hipoclorito devido a falhas mecânicas, elétricas ou estruturais; Tempo de contacto insuficiente do desinfetante na água de distribuição; Interrupção por falta de carga no sistema de dosagem; Doseamento em excesso (concentrações elevadas de desinfetante).

A análise da Tabela 46 permite observar que existe um evento perigoso com a classificação média, três eventos com a classificação alta, e dois eventos com a classificação baixa. Os perigos associados aos eventos com classificação média é essencialmente microbiológico, e para os eventos classificados com alto, os perigos associados são microbiológicos e químicos; microbiológico; químico e físico; e químico; e para os eventos classificados com baixo os perigos associados são químicos e microbiológicos. Para o evento identificado (Ponto de controlo) e classificado como alto detetou-se o PCC, uma vez que estes não são reduzidos e/ou eliminados noutra etapa de abastecimento. Uma vez que para este caso de estudo, não se conhecem as medidas de controlo aplicada na captação de água, na Tabela 47 sugere-se um conjunto de medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos.

**Tabela 46:** Avaliação do subsistema distribuição - Desinfecção final no reservatório de distribuição.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC5
Doseamento incorreto do hipoclorito de cálcio, baixo teor residual.	Microbiológico e químico	3	4	12	Alto	Tratamento de água deficiente e presença de microrganismo	PCC5.1
Formação de subprodutos.	Microbiológico, físico e químico	1	4	4	Baixo	Produtos prejudiciais à saúde	PCC5.2
Paragem no doseamento de hipoclorito devido a falhas mecânicas, elétricas ou estruturais.	Microbiológico	2	3	6	Médio	Presença de microrganismos prejudiciais à saúde	-
Tempo de contacto insuficiente do desinfetante na água a ser distribuída.	Microbiológico, químico e físico	4	3	12	Alto	Baixa Concentração do desinfetante, presença de microrganismos	PCC5.3
Interrupção por falta de carga no sistema de dosagem.	Microbiológico e químico	2	5	10	Alto	Não funcionamento das bombas, levando a ineficiência do tratamento, e controlo e doseamento.	PCC5.4
Doseamento em excesso (concentrações elevadas de desinfetante).	Químico	1	4	4	Baixo	Concentração elevada do desinfetante, aparecimento de subprodutos.	-

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico

**Tabela 47:** Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema distribuição. Desinfecção final no reservatório de distribuição.

Inspeções de reservatórios; Educação e sensibilização do consumidor para a recolha, armazenamento e utilização da água em casa; Controlo de Desinfetante residual nos reservatórios de distribuição; Limpeza e higienização dos reservatórios de distribuição; Definição de intervalos de dosagem de cloro.
Melhorar o método de desinfecção (a longo prazo); Minimizar a entrada de contaminação no sistema e adequar o tempo de contacto no reservatório; Reduzir o tempo de permanência da água em reservatórios a jusante, quando possível, em períodos de reduzida procura de água;

## Rede de distribuição - Conduta de adução de água

Os principais perigos que podem ocorrer com maior destaque, para a distribuição da água tratada, são de origem microbiológica, química e física.

**Tabela 48:** Identificação de perigos e eventos perigosos subsistema Distribuição - Conduta de adução de água tratada.

Perigos e Eventos perigosos que ocorrem/podem ocorrer na Distribuição
Fuga/roturas de água nas condutas e reservatório; acumulação de sedimentos no interior da conduta e reservatório; Alteração significativa de caudal de distribuição; Crescimento de biofilmes e respetivo desprendimento; Interrupção de distribuição de água devido as falhas técnicas; Qualidade de água inadequada devido aos subprodutos de higienização e desinfecção.

**Tabela 49:** Avaliação do subsistema distribuição. Conduta de adução de água.

Eventos perigosos	Tipo de Perigo	P	S	R	Classificação de risco	Condicionantes	PCC6
Fuga/roturas de água nas condutas e reservatório.	Falta de água	3	4	12	Alto	Falta de água no sistema de distribuição.	PCC6.1
Acumulação de sedimentos no interior da conduta e reservatório de distribuição.	Microbiológico Físico e químico	3	4	12	Alto	Elevada Turvação e MO/ limites superiores, microrganismos patogénicos prejudiciais à saúde.	PCC6.2
Interrupção de distribuição de água devido as falhas técnicas	Microbiológico	5	3	15	Muito alto	Falta de água no sistema de distribuição.	PCC6.3
Alteração significativa de caudal de distribuição.	Químico	3	4	12	Alto	Contaminação da água por substâncias químicas tóxicas.	PCC6.4
Crescimento de Biofilmes e respetivo desprendimento.	Microbiológico	1	5	5	Baixo	Presença de microrganismos no sistema de captação (contaminação e retenção de água).	-
Qualidade de água inadequada devido aos subprodutos de desinfecção.	Químico e microbiológico	2	4	8	Médio	Produtos químicos prejudiciais à saúde.	-

**Legenda:** P - Probabilidade de Ocorrência; S - Severidade das consequências; R - Resultado; PC- Ponto de Controlo; PCC- Ponto de Controlo Crítico.

A análise da Tabela 49 permite observar que existe um evento perigoso com a classificação baixa, um evento com a classificação média, três eventos com a classificação alta e um evento com a classificação muito alta. O perigo associado ao evento com classificação baixa é a falta de água. O perigo associado ao evento classificado com médio, é sobretudo, microbiológico; para os eventos classificados com alto o perigo associado é sobretudo, microbiológico, físico e químico; para os eventos classificados como muito alto o perigo associado é sobretudo químico e microbiológico. Para o evento identificado (Ponto de controle) e classificado como alto e muito alto detetou-se o PCC, uma vez que esses perigos não são reduzidos e/ou eliminados noutra etapa de abastecimento. Na Tabela 50 apresenta-se um conjunto de possíveis medidas de controlo para mitigar/eliminar os eventos perigosos.

**Tabela 50:** Medidas de Controlo associado aos perigos no subsistema distribuição. Conduta de adução de água.

Inspeções regulares dos reservatórios (externas e internas); vedar bem os reservatórios que se encontram abertos; atualização constante dos mapas da rede de distribuição; vistorias das válvulas do sistema de distribuição.
Procedimentos de reparação das condutas adutoras e proteção das mesmas; pessoal formado (competências dos operadores); atitudes de higiene; Controlos de monitorização em linha.

### **3.1.4.2 Monitorização Operacional para o Sistema de Abastecimento de Água de STP (ETA de Água-Amoreira I)**

A monitorização está associada aos perigos classificados (PCC) no sistema de abastecimento com um risco que afeta o bom funcionamento do mesmo. Os PCC que devem ser monitorizados neste estudo de caso são os que apresentam perigos classificados com um risco alto ou muito alto.

Na ETA de Água-Amoreira, atualmente já se realiza a monitorização operacional, no entanto a criação de um programa de monitorização para os sistemas de abastecimento de STP, será uma mais valia, por forma a enquadrar os parâmetros de monitorização (PCC) no contexto operacional, facilitar a sua divulgação em boletins de análises, bem como, possibilitar aos consumidores locais a perceção sobre os parâmetros (PCC) que compõem a qualidade da água e que possam causar problemas para a saúde pública. Com base no decreto-lei português nº 306/2007 de 26 de Agosto será possível definir os parâmetros a serem enquadrados nos programas de Monitorização operacional para os PCC observados/encontrados na avaliação do risco do sistema de abastecimento, bem como os limites críticos de controlo. Quando os valores dos PCC a serem monitorizados ultrapassam os limites críticos pré-estabelecidos, devem aplicar-se imediatamente ações corretivas por forma a trazer o controlo ao sistema de abastecimento. A monitorização operacional para os PCC a ser efetuada englobará um conjunto de instrumentos de monitorização definidos no referido Decreto-lei, que são: programa de controlo de qualidade de água (PCQA) e programa de controlo operacional (PCO). No ANEXO III encontram-se as definições destes conceitos.

#### **3.1.4.2.1 Programa de controlo da qualidade de água para o sistema de abastecimento de água de STP (ETA de Água Amoreira I)**

A implementação deste instrumento de monitorização para a ETA em estudo irá promover a eficiência do abastecimento, através de procedimentos operacionais eficientes por forma a contribuir para melhoria do controlo analítico e gestão do sistema de abastecimento de água de STP.

**Observação:** A frequência de amostragem, os parâmetros, bem como as periodicidades foram definidas segundo o Guia técnico nº 10 IRAR (2007).

**PCC1- Fonte de captação de água bruta-conduta de transporte de água bruta-reservatório de água bruta**

Foram encontrados 3 pontos de controlo crítico. Nestes sistemas, os parâmetros a serem monitorizados pelos técnicos e laboratórios são: ferro, dureza, enterococos, cálcio (CI); manganês (CR2) uma vez por mês; e condutividade, turvação, pH, temperatura, cor, odor e sabor (CR2) uma vez por dia. Os parâmetros bactérias, coliformes e *E. Coli* (CR1) e nº de colónias a 22°C e 37°C e nitratos (CR2) devem ser analisados uma vez por mês. Para além destes parâmetros devem ser monitorizados os caudais captados, pelo menos uma vez por dia, e o nível da água na captação, uma vez por semana. Os pontos de amostragem destes parâmetros devem ser junto à captação de água bruta, pelo operador de serviço na ETA, através de medidores portáteis fíáveis. A amostragem deve ser realizada junto à captação de água bruta (em profundidade) e, se necessário, em um ou mais pontos a montante da captação ou a jusante das fontes poluidoras. A amostragem deve ser realizada sempre no mesmo local.

**Tabela 51:** Programa de controlo de qualidade de água na fonte de captação e tratamento de água bruta (água subterrânea).

Parâmetros	Valor Determinado		LC	Nº total de amostras		% Análises Realizadas	N.º Amostras > LC	% Amostras > LC
	Min	Máx		Prevista	Realizada			
<b>CR1</b>								
Bactérias e coliformes (N/100 ml)			0					
<i>E.coli</i> (N/100ml)			0					
<b>CR2</b>								
Odor (25°C)			3					
CE (20 °C)			2500					
Cor (mg/L Pt-Co)			20					
Mn (µg/L)			50					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)			50					
Nº Colónias 22°C (N/ml)			-					
Nº Colónias 37°C (N/ml)			-					
Sabor (25°C)			3					
NTU			4					
Temperatura								
pH			6.5-9.0					
<b>CI</b>								
Ca (mg/L)			-					
Dureza (mg/L)			-					
Enterococos (N/100ml)			0					
Fe (µg/L) (b)			200					

a) Parâmetro CR2 obrigatório apenas nas ZA; b) parâmetro não obrigatório no CR2 nas ZA (Obrigatório no CI)

### Medidas de ações corretivas para os PCC caso excedam os LC apresentados

Caso os valores das análises excedam os limites críticos, deve-se rapidamente implementar medidas de ação corretiva. No caso de haver um acidente grave a montante da captação, se necessário, deve interromper-se a captação da água e utilizar fontes de água alternativas. Na ETA deve também estabelecer-se tratamentos suplementares com capacidade de eliminar substâncias químicas perigosas.

### PCC2- Pré-oxidação (cloragem) reservatório de armazenamento

Foram encontrados 3 PCC. Quanto aos parâmetros que devem ser monitorizados nesta etapa são: Cloro livre (CR1); temperatura e o pH (CR2). Estes parâmetros devem ser monitorizados duas vezes por dia à entrada do reservatório de armazenamento quando se efetua a dosagem do hipoclorito de cálcio. É importante realizar um CI no sistema de bombas doseadoras do hipoclorito de cálcio.

**Tabela 52:** Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) Pré-oxidação.

Parâmetros	Valor Determinando		LC	Nº total de amostras		% Análises Realizada	N.º Amostras > LC	% Amostras > LC
	Min	Máx		Prevista	Realizada			
<b>CR1</b>								
Cloro Livre (mg/L)			0,2-0,6					
<b>CR2</b>								
Temperatura (°C)				s				
pH			6,5-9,0					

a) Parâmetro CR2 obrigatório apenas nas ZA; b) parâmetro não obrigatório no CR2 nas ZA (Obrigatório no CI)

### Medidas de ações corretivas para o PCC caso excedam os LC apresentados

Dosagem incorreta de hipoclorito de cálcio - deve identificar-se o problema e resolve-lo. Problemas mecânicos - reparação manual. É importante preparar a concentração adequada do desinfetante para o doseamento sempre que houver alterações nas características da água bruta. Cloro residual livre abaixo do LC - aumentar o tempo de contato ou reajustar a dosagem de hipoclorito de sódio.

### PCC3 Filtração de água

Foram encontrados 3 PCC. Nesta etapa devem ser monitorizados pelo laboratório os seguintes parâmetros: turvação, pH, manganês, alumínio residual (CR2) e ferro (CR2) duas vezes por dia, à saída do filtro, ou seja, no reservatório de água tratada. No reservatório de água tratada devem ainda serem monitorizados uma vez por mês os parâmetros *E.Coli* (CR1) e o nº de colónias a 22°C e 37°C (CR2). Semanalmente, deve monitorizar-se o *Clostridium perfringens*. A colheita para amostragem deve ser feita à saída do filtro, ou seja, na entrada do reservatório de água filtrada (tratada). Torna-se importante o controlo *online* no (s) filtro (s) da velocidade de filtração, do caudal de água que entra no(s) filtro(s), do tempo de filtração, do ponto ótimo de colmatação e da cor

da água filtrada. A cor da água filtrada deve ser controlada à saída do(s) filtro(s).

**Tabela 53:** Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) processo de filtração de água.

Parâmetros	Valor Determinado		LC	N° total de amostras		% Análises Realizada	N.º Amostras > LC	% Amostras > LC
	Min	Máx		Prevista	Realizada			
<b>CR1</b>								
Bactérias e coliformes (N/100 ml)			0					
<i>E.coli</i> (N/100ml)			0					
<b>CR2</b>								
Al residual (µg/L) (a)			0,2					
Clostridium perfringens (N/ml)			0					
Ponto ótimo de colmatação (mm)			2500					
Azoto amoniacal (mg/L NH <sub>4</sub> )			0,6					
Tempo de filtração (h)			80					
Nº Colónias 22°C (N/ml)			-					
Nº Colónias 37°C (N/ml)			-					
NTU			4					
Mn (µg/L)			50					
pH			6.5-9.0					
<b>CI</b>								
Enterococos (N/100ml)			0					
Fe (µg/L) (b)			200					

a) Parâmetro CR2 obrigatório apenas nas ZA; b) parâmetro não obrigatório no CR2 nas ZA (Obrigatório no CI)

#### **Medidas de ações corretivas para o PCC caso excedam os LC apresentados**

Para garantir uma filtração com melhor eficiência, as etapas atrás devem ser bem asseguradas e ajustadas. Portanto, devem adequar-se os parâmetros operacionais; avaliar a necessidade de manutenção corretiva e reforçar a desinfecção.

#### **PCC 4 e 6 Água Tratada - Reservatório de armazenamento de água tratada e rede de distribuição - Conduta de adução de água**

Foram detetados dois PCC4 e quatro PCC6. Para estes PCC deve efetuar-se a higienização dos reservatórios, efetuar a inspeção dos reservatórios e condutas, e avaliar o estado do reservatório e condutas, semestral ou uma vez por ano. Quando ocorre a higienização deve ser feito o CR1 (*E. Coli*, bactérias, coliformes e cloro residual livre); CR2 (nº de colónias a 22°C e a 37°C, pH, temperatura, ferro, manganês e turvação). O pH, temperatura,

turvação e cloro residual livre devem ser monitorizados diariamente em todos os reservatórios.

**Tabela 54:** Programa de controlo de qualidade de água (tratamento) no reservatório, rede de distribuição e conduta de adução.

Parâmetros	Valor Determinado		LC	N° total de amostras		% Análises Realizada	N.º Amostras > LC	% Amostras > LC
	Min	Máx		Prevista	Realizada			
<b>CR1</b>								
Bactérias e coliformes (N/100 ml)			0					
<i>E.coli</i> (N/100ml)			0					
Cloro livre (mg/L)			0,2-0,6					
<b>CR2</b>								
Cor (mg/L Pt-Co)			20					
N° Colónias 22°C (N/ml)			-					
N° Colónias 37°C (N/ml)			-					
NTU			4					
Mn (µg/L)			50					
pH			6,5-9,0					
<b>CI</b>								
Fe (µg/L) (b)			200					

a) Parâmetro CR2 obrigatório apenas nas ZA; b) parâmetro não obrigatório no CR2 nas ZA (Obrigatório no CI)

#### Medidas de ações corretiva caso o PCC excedam os LC apresentados

Ocorrência de fugas - manutenção e higienização de modo a evitar o crescimento bactérias. Após a higienização dos reservatórios, torna-se importante assegurar o cloro residual livre por forma a garantir a qualidade da água. Fechar bem as tampas dos reservatórios. Em caso de contaminação microbiológica, deve rejeitar-se a água tratada e assegurar a higienização dos reservatórios.

#### PCC 5 Desinfecção final - Adição de hipoclorito de cálcio nos reservatórios

Foram encontrados 4 PCC. Para este PCC deve-se monitorizar os seguintes parâmetros: cloro livre residual uma vez por dia (CR1), e bactérias, coliformes e *E.coli* uma vez por mês (CR1); o pH, condutividade, sabor, cheiro e temperatura uma vez por dia; alumínio, turvação, manganês e a oxidabilidade uma vez por mês (CR2); e ferro, trihalometanos (TRH), cloretos, cálcio, dureza uma vez por mês (CI) *lostridium perfringens* semanal (CR2). O ponto de amostragem deve ser nos reservatórios de distribuição. Além da realização deste processo de monitorização deve-se efetuar também a inspeção do sistema de dosagem do hipoclorito de cálcio principalmente nas bombas doseadoras.

**Tabela 55:** Programa de controlo de qualidade de água na Distribuição (desinfecção final).

Parâmetros	Valor Determinado		LC	Nº total de amostras		% Análises Realizada	N.º Amostras > LC	% Amostras > LC
	Min	Máx		Prevista	Realizada			
<b>CR1</b>								
Bactérias e coliformes (N/100 ml)			0					
<i>E. coli</i> (N/100ml)			0					
Cloro livre (mg/L)			0,2-0,6					
<b>CR2</b>								
Cheiro (25°C)			3					
Al (mg/L)			200					
CE (20 °C)			2500					
Cor (mg/L Pt-Co)			20					
Mn (µg/L)			50					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L NO)			50					
nº Colónias 22°C (N/ml)			-					
Nº Colónias 37°C (N/ml)			-					
Sabor (25°C)			3					
NTU			4					
Temperatura								
pH			6,5-9,0					
Clostridium p. (N/ml)			0					
Oxidabilidade (mg O <sub>2</sub> /L)			5,0					
<b>CI</b>								
Ca (mg/L)			-					
Dureza (mg/L)			-					
Cloretos (µg/L)			250					
Fe (µg/L) (b)			200					
THM (µg/L)			150					

a) Parâmetro CR2 obrigatório apenas nas ZA; b) parâmetro não obrigatório no CR2 nas ZA (Obrigatório no CI)

**Medidas de ações corretivas caso o PCC excedam os LC apresentados:**

Dosagem incorreta de cloro (hipoclorito de cálcio) - deve identificar-se o problema resolve-lo. Problemas mecânicos - reparação manual. É importante preparar a concentração adequada do desinfetante para o doseamento, sempre que houver alterações na característica da água bruta. Cloro residual livre abaixo do LC- aumentar o tempo de contacto ou reajustar a dosagem de hipoclorito de sódio.

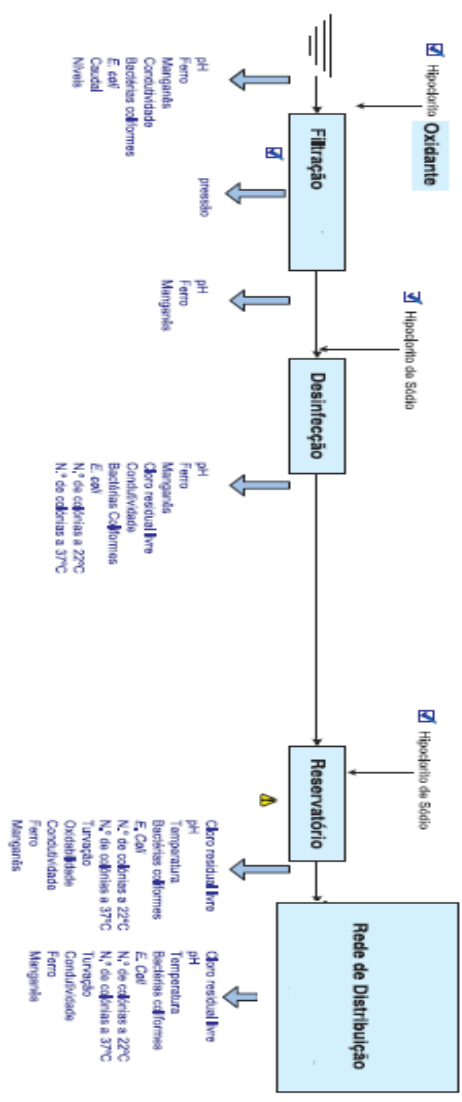
### 3.1.4.2.2 Programa de Controlo Operacional (PCO) para a ETA de Água Amoreira I - Pontos de Controlo Crítico PCC 4 e 6: Reservatórios e Rede de Distribuição da Água

A Tabela 56 apresenta os PCO a serem efetuados nos reservatórios presentes nas zonas de abastecimento Cidade Capital (Cidade de São Tomé), Budo-Budo, Potó-Potó, Ponte Graça, Riboque, Fruta-Fruta, Santo António, Quilombo, Ponta Mina, Vila Maria, S. Gabriel, Blublu, Madre-Deus, Chácara e Bairro Dolores).

**Tabela 56:** Programa de controlo operacional para a ETA de Água Amoreira (Decreto-Lei 306/2007 de 26 de Agosto e IRAR, 2007).

Programa de Controlo Operacional							
Data	Z A	Tipo de Controlo	Posto de Abast.	Parâmetros	Código	Nº Pontos Amostragem	Periodicidade de
	1, 2, 3,4, 5	CR1/CR2	R1-R2 /RD1	Temperat., pH, Cloro residual, bactérias coliformes, E.coli	ET/AA1/SUB (1)		Diária
		CR2	R2-R3/R5, /RD2; R3/R5-R6/RD3 ; R6-R7/RD4 ;	N.º colónias 22°C e 37°C, clostridium p.			Semanal
		CR2/CI	R7/RD5	Enterococos, Al residual, NTU			Quinz./Mens
	Captação	CR1/CR2/CI		Temperatura, pH, NTU CE, E.coli, bactérias e coliformes	ET/AA1/SUB		Diária/semanal
				Alcalinid. DT, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Enterococos, Fe, Mn THM, oxidabilidade, Mg, Ca, cloretos			Semanal/Mensal
				Leituras de caudais captados			Uma vez por dia
				Nível de água de captação			Uma vez por semana

**Nota 8:** a periodicidade foi estabelecida conforme especificada pelo IRAR (2007) para a captação de água subterrâneas (de acordo com a sua característica). O código da ETA foi criado pelo autor.



Legenda: ▲ Inspeção visual

✓ Verificar equipamento e doseamento

Nota: A frequência de amostragem deve ser estabelecida em função do histórico da qualidade da água e dos factores de risco identificáveis

**Figura 24:** Programa de controlo operacional para sistema de abastecimento de STP (ETA de Água Amoreira) (Adaptado IRAR 2007).

## CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Um sistema de abastecimento em condições deficientes e/ou precárias pode acarretar situações de risco para a saúde pública, conduzindo ao aparecimento de doenças e até a mortes, principalmente para as mulheres e crianças. A existência de políticas de qualidade da água para a salvaguarda deste recurso, têm proporcionado a adoção de meios, instrumentos e normas para a garantia da potabilidade da água por parte de muitos países. Um dos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) é, até 2030, assegurar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos. Contudo, há ainda um longo caminho a percorrer, para assegurar o acesso aos serviços de abastecimento de água, em condições aceitáveis de operação e distribuição, contribuindo para que países em desenvolvimento atingissem um nível mais elevado das várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico e ambiental). Nesse sentido, é fundamental que haja o envolvimento dos governos e a mobilização de meios financeiros e técnicos (tecnologia eficiente e adequada ao contexto em causa), bem como a capacitação de meios humanos.

A presente dissertação pretendeu dar um contributo para a melhoria da qualidade da água a fornecer à população de STP. Nesse sentido, desenvolvemos um estudo de caso, focado no sistema de abastecimento de água do país, tendo sido selecionado o sistema Água Amoreira I para realização do estudo de oportunidades de melhorias, podendo posteriormente servir como exemplo para outros sistemas.

O trabalho desenvolvido permitiu elaborar uma descrição do sistema de abastecimento que poderá servir de base de apoio à Entidade Gestora (EG) do sistema de abastecimento de água de STP, Empresa de Água e Energia (EMAE). A descrição do sistema permitirá à EG efetuar um estudo mais detalhado deste sistema e, por outro lado, servirá de base de suporte para a análise dos restantes sistemas de abastecimento do país, ou seja, sistematizar informações dispersas.

No que refere ao controlo do doseamento (na etapa de desinfecção) e produção de hipoclorito de sódio, apresentaram-se propostas de melhorias que irão auxiliar à EG a garantir o bom funcionamento da ETA e dar suporte à tomada de decisão durante o tratamento de água, garantindo o uso mais eficiente de reagentes, adequação da dose de desinfetante e controlo do doseamento. Por outro lado, recomenda-se a substituição do hipoclorito de cálcio pelo hipoclorito de sódio, uma vez que o primeiro pode conduzir a um problema de saúde pública. De salientar ainda, ter sido possível demonstrar a rentabilidade da implementação da tecnologia de produção de hipoclorito de sódio *In-situ* através do eletrólise do sal. Verificou-se que esta solução era tecnicamente viável e rentável, de acordo com o estudo de rentabilidade efetuado. Por último, elaborou-se uma proposta de Plano de Segurança de Água (PSA) para o sistema em estudo, tendo em conta a identificação, avaliação, monitorização e gestão dos riscos, que poderá contribuir para a melhoria do sistema. O PSA construído poderá ser adaptado a outros sistemas, contribuindo para a melhoria do serviço prestado pela EG e garantindo a segurança no abastecimento de água.

Portanto, considera-se que esta dissertação pode coadjuvar a atividade da EG de abastecimento de água de STP, permitindo a capacitação dos recursos humanos bem como a transferência de conhecimento e de tecnologia, com o objetivo final de garantir o controlo, monitorização e segurança da água abastecida à população. Dada a importância do tema, considera-se que há muito caminho a percorrer no campo da qualidade de água, sendo que em STP esta temática representa uma oportunidade para futuros estudos de investigação aplicada.

## CAPÍTULO 5 - BIBLIOGRAFIA

- ARH do Centro - Administração da Região Hidrográfica do Centro (2012). Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lis, Mondego e Vouga. [PDF]. Acedido em: 13/01/2017, em: [www.apambiente](http://www.apambiente)
- Barros, L. (2011). A gestão integrada de recursos hídricos e de águas residuais em São Tomé e Príncipe como suporte da segurança alimentar, energética e ambiental. Direção Geral de Recursos Naturais e Energia. São Tomé e Príncipe.
- Banco Mundial (2016). População de São Tomé e Príncipe.
- Bonfim, S. (2002). Ecosistema de águas interiores [PDF] São Tomé e Príncipe.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde) [PDF]. Acedido em: 13/01/2017, em: [bvsms.saude.gov.br](http://bvsms.saude.gov.br).
- Brito, A.G., Oliveira, J.M. & Peixoto, J.M. (2012). *Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial – Elementos Teórico-práticos*. Engenho e Média, Lda/Grupo Publindústria, Porto.
- Costa, J. (1995). Caracterização e constituição do solo. Ed. 5. Serviço de Educação/Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- CIMAI (2017). Ficha técnica do equipamento de produção de hipoclorito de sódio.
- CRA- Conselho Regulação de Águas, (2015). Manual para o Desenvolvimento de Plano de Segurança da Água (PSA) em Moçambique [PDF]. Acedido em: 12/03/2017 em: [www.cra.org](http://www.cra.org).
- Damikouka, I., Katsiri, A., e Tzia, C. (2007). *Application of HACCP principles in drinking water treatment. Desalination*, [PDF]. Acedido em: 12/01/2017, em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Davison, A., Deere, D., Stevens, M., Howard, G., & Bartram, J. (2005). *Water Safety plan Manual* [PDF]. Acedido em: 19/01/2017, em: [www.who.int](http://www.who.int).
- Davison, A, Deere, D, Stevens, M, Howard, G, & Bartram, J. (2006). *Water Safety plan Manual* [PDF]. Acedido em: 13/02/2017, em: [www.who.int](http://www.who.int).
- Decreto-Lei nº 306/2007 de 26 de Agosto de Portugal [PDF]. Acedido em 03/04/2017, em: [www.iasaude.pt](http://www.iasaude.pt).
- Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 de Agosto de Portugal [PDF]. Acedido em: 07/05/2017, em: [ambiente.maiadigital.pt](http://ambiente.maiadigital.pt)
- EMAE-Empresa de Água e Eletricidade, (2014) - Relatório de Qualidade de Água, Direção da Água, 20p
- EMAE - Empresa de Água e Eletricidade, (2016). Estudo de diagnóstico de necessidades e gaps de capacidades nas entidades gestoras de serviços de águas – São Tomé e Príncipe, Direção da Água (DA).
- FUNASA-Fundação Nacional de Saúde, (2014). Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades, Fundação Nacional de Saúde, Brasília: Coordenação de Comunicação Social, [PDF] 36. Acedido em: 25/07/2017, em: [www.funasa.gov.br](http://www.funasa.gov.br),

IRAR- Instituto Regulador de Água e Resíduos (2007). Recomendação IRAR n.º 05/2007. Desinfecção da água destinada ao consumo humano. Acedido em: 27/ 04/2017, em: [www.azslide.com](http://www.azslide.com)

Instituto Nacional de Estatística (INE), (2012). *Inquérito Demográfico e Sanitário (IDS)*, São Tomé e Príncipe.

Instituto Nacional de Estatística (INE), (2012). *Recenseamento, Dados Nacionais e Distritais, Distrito de Água Grande e Mé-zochi*, São Tomé e Príncipe. Acedido em: 24/03/2017, em: [www.ine.st](http://www.ine.st).

Gomes, F. (2016). Situação atual do abastecimento de água de São Tomé e Príncipe. [pdf]. Acedido em: 15/05/2015, em: [www.ppa.pt](http://www.ppa.pt).

Google imagem (2016), exemplo de nascente de São Tomé e Príncipe.

Mendes, B. & Oliveira, J.F.S. (2004). *Qualidade da água para consumo humano*. LIDEL – Edições Técnicas, Lda, Lisboa.

Miguel, J. (2011). A água, o saneamento básico e os resíduos sólidos urbanos no desenvolvimento de São Tomé e Príncipe. Dissertação em Economia, Políticas e Culturas. Faculdade de Ciência Política, Lusofonia e Relações Internacionais - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa 88pp.

Ministério da Saúde (2006), Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para minimização de risco à saúde, manual para os responsáveis pela vigilância e controle, secretária de vigilância em saúde, coordenação-geral de vigilância em saúde ambiental, Brasília [PDF]., Acedido em: 12/05/2017, em: [www.cvs.saude.sp.gov.br](http://www.cvs.saude.sp.gov.br)

Ministério da Saúde (2006) Vigilância e Controle da Qualidade de Água para Consumo Humano, secretaria de vigilância em saúde, coordenação-geral de vigilância em saúde ambiental, Brasília [PDF]. Acedido em: 15/05/2017, em: [bvsmms.saude.gov.br](http://bvsmms.saude.gov.br).

Legner, C. (2013), Revista TAE- *Tratamento de águas subterrâneas.*, Acedido em: 15/06/2017 em: [www.revistatae.com.br](http://www.revistatae.com.br).

Lima, M. (2011) – O sector privado em São Tomé e Príncipe: a qualificação da mão-de-obra e as condições de trabalho no sector do turismo (Mestrado Em Estudo Africano). Disponível em: [www.repository.utl.pt](http://www.repository.utl.pt). Acedido a 17/01/2017

MIRNA-Ministério de Infraestrutura Recursos Naturais e Ambiente (2003) - Plano Nacional do Ambiente e Desenvolvimento Durável (PNADD), Direção Geral dos Recursos Naturais e Energia, São Tomé e Príncipe.

MIRNA-Ministério de Infraestrutura Recursos Naturais e de Ambiente (2010). Estratégia participativa de São Tomé e Príncipe para Água e Saneamento, Direção Geral do Recursos Naturais, São Tomé e Príncipe.

Pontes, A. (2016) Sistema de Tratamento de Água e Produção Artesanal de Bagaço. Unidade Curricular: Tecnologias de Tratamento de Água e Águas Residuais, Instituto Superior de Agronomia - Universidade Lisboa, Lisboa, 45pp.

Rodrigo, C., Lopes, J., Saúde, M., Mendes, R. & Casimiro, R. (2007). Controlo Operacional em Sistemas Públicos, de Abastecimento de Água, IRAR-Instituto Regulador de Água e Resíduos (2007) [PDF]. Acedido em: 15/01/2017, em: [www.apda.pt](http://www.apda.pt).

Rosa, U. (2012). A química do cloro e do fluor nas águas para abastecimento público[PDF]. Acedido em: 01/02/2017, em: [www.ebah.pt](http://www.ebah.pt).

Sousa, M. (2016). Estado Atual do Abastecimento de água em São Tomé e Príncipe. Acedido em: 24/01/ 2017, em: [www.ppa.pt](http://www.ppa.pt).

United Nations Children's Fund (UNICEF) (2014) Water, Sanitation and Hygiene- Annual report 2013. 52pp.

Vieira, J. & Morais, C. (2005). Plano de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimentos [PDF]. Instituto Regulador de Água e Resíduos (IRAR); Universidade do Minho. Acedido em: 14/04/2017 em: [repositorium.sdum.uminho.pt](http://repositorium.sdum.uminho.pt).

WHO -World Health Organization (2011) *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: WHO. Fourth edition [PDF]. Acedido em: 17/06/2017, em: [apps.who.int](http://apps.who.int).

WHO (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 3ª ed., Vol. 1: Recommendations. World Health Organization. Geneva. Acedido a 12/03/2017, em: [apps.who.int](http://apps.who.int).

WHO & UNICEF (2014). *Progress on sanitation and drinking-water. 2010 Update*. World Health Organization and UNICEF.

## ANEXO I

### **Produção de hipoclorito de sódio ao nível local - Controlo de doseamento automático**

Após a revolução industrial, ocorreram durante séculos, mudanças tecnológicas ao nível de saneamento, abastecimento, tratamento entre muitas outras formas de garantir a qualidade da água. Contudo, é no final do século XIX e início do século XX, que se observou uma mudança e o impacto tecnológico no sector industrial, e hoje percebe-se que com esta mudança, o mundo caminha a passos largos para um desenvolvimento tecnológico em muitos sectores industriais.

Atualmente, percebe-se que o modelo tradicional de tratamento de água (desinfecção) associados aos países subdesenvolvidos não é capaz de atender aos requisitos ou obrigações impostas pelas autoridades nacionais ou internacionais de uma forma sustentável, uma vez que proporcionam situações que podem conduzir a problemas ambientais gravíssimos como: desastres ambientais causados por transporte de produtos químicos que suscitam um controlo e cuidado apertado, degradação e perda da qualidade de água, perda da biodiversidade, poluição do rio e entre outras; Problemas sociais como: perda populacional (doenças, mortes e etc.); Problemas económicos como: impacto no setor industrial e turísticos. Avaliando este cenário, ideias de descentralização e operação integrada de sistemas de tratamento de água (desinfecção) começam a ganhar força como alternativas para conceção de um novo modelo de uso tecnológico em quase todas as infraestruturas de tratamento e abastecimento de água comuns (ETA e ETAR) ou até mesmo industriais (ETARI) ao nível mundial.

Existe uma grande quantidade de equipamentos automáticos para o controlo do doseamento do cloro, desde os mais simples até aos mais complexos, sendo todos confiáveis e com a capacidade de produzir derivados de cloro, ao mesmo tempo que os controlam e os doseiam, permitindo aos técnicos um maior controlo do doseamento. Além de que, para as pequenas e grandes ETA, existem equipamentos que são fáceis de usar pelos operadores do sistema de abastecimento, como é o caso do sistema de produção de hipoclorito ao nível local o OSEC, disponibilizado pela CIMAI (Engenharia e Química Avançada S.A), que foi projetado para produzir, medir e controlar, reagentes à base de cloro, pH, e Cloro residual livre, tanto para o tratamento de água de piscinas, como também para a água de consumo humano.

Estes equipamentos de produção do hipoclorito, principalmente o de sódio ao nível local, são sistemas com uma tecnologia inovadora e ambientalmente sustentável utilizado por muitos países ao nível mundial (Brasil, Nigéria, Argentina, Costa de Marfim, etc.). São sistemas com tecnologias que propõe a descentralização ou a independência na compra e uso de desinfetantes quimicamente perigosos (e de elevada concentração) que são comercializados em muitos mercados ao nível mundial. É um sistema com uma tecnologia de produção rentável, onde é possível garantir a produção e uso de hipoclorito de sódio de baixa concentração (0,8%). Com esta concentração, o produto produzido não é considerado um composto químico perigoso (CIMAI, 2017).

Muitos desses sistemas quando são instalados localmente na estação de tratamento de água (ETA), estão dotados de tecnologias autónomas que são capazes de dosear, uma certa concentração ótima do desinfetante, consoante o nível de caudal de água a tratar, e controla-los ou monitoriza-los durante o tratamento de água. Mas para que esses sistemas sejam utilizados para produzir quantidades significativas

de desinfetantes, estes precisam de serem instalados, no entanto, a instalação desses sistemas, carece de um estudo prévio.

### Equipamento de Produção do hipoclorito de sódio ao nível local

#### Gerador de hipoclorito de Sódio- “OSEC-LC PLUS ELECTROLYSER”

O sistema “OSEC-LC PLUS ELECTROLYSER” de produção de hipoclorito de sódio (NaOCl) no local, é um dos vários sistemas com a capacidade de gerar uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 0,8%, combinando um conjunto de bens bastante comuns: Sal, água e eletricidade (CIMAI, 2017). O equipamento OSEC-LC PLUS ELECTROLYSEUR, Figura 25 e Tabela 18, produz hipoclorito de sódio a partir de salmoura (água saturada com sal) passando-a através de uma corrente de alta intensidade. É produzido hipoclorito de sódio com cloro disponível a 100%, ou seja, cloro puro, mas em solução (concentração) a 0,8%, ou seja, 8 g/L.



Modelo1 : OSEC LC PLUS ELECTROLISERS  
(6-12 kg de NaOCl)



Modelo 2: OSEC®-B PAK (open cell  
electrolyzers) (30-120 kg de NaOCl)

**Figura 25:** Modelo 1 e 2 do equipamento de produção do hipoclorito de sódio (0,8%) (CIMAI, 2017).

**Tabela 57:** Modelo 1 e 2 do equipamento de produção do hipoclorito de sódio (0,8%). (CIMAI, 2017)

Especificação técnica do equipamento de produção de hipoclorito de sódio (modelo1).

Capacidade	6kg /12kg Cloro por dia
Sal requerido	3.5 Kg Sal por 1 kg Cloro
Abastecimento de água	Pressão 2-5bar/Temperatura 10-25°C
Consumo de água	125 litros por 1 kg Cloro
Potência de abastecimento	220v/1PH/50Hz
Power Rating	3.5 KVA (6kg) 6.5 KVA (12kg)
Corrente Elétrica	4.5kw (DC) por 1 kg Cloro
Temperatura ambiente	5 - 40°C
Painel de Controlo	Operação baseada em PLC
Equipamento Padrão	Skid de Montagem
	Saturador de sal de 90 litros
	200 litros de Tanque de Produto
	Descalcificador de água
	Bomba de salmoura
	Interruptor de fluxo de água de diluição
	Eletrólise
	Fonte de alimentação de eletrólise
	Ventilador de ar
	Painel de controlo
Equipamentos opcional	Bombas de medição
	Monitor de gases (H <sub>2</sub> )
	Interface PLC Control Touch Screen
	Tanques de armazenamento em massa
Dimensão	x 1600 (W) x 750 (L)

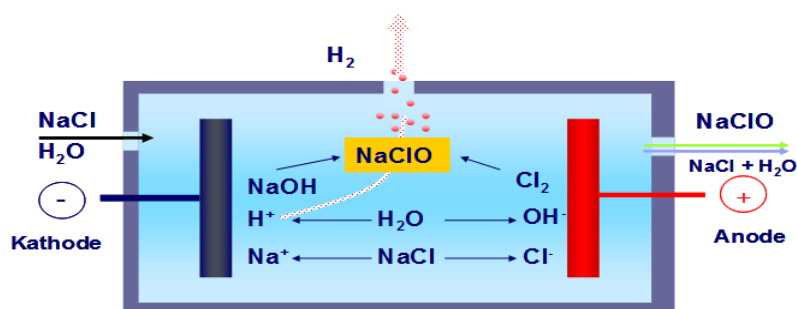
### Capacidade, Funcionamento e Manutenção

O Gerador de hipoclorito de sódio “OSEC-LC PLUS ELECTROLYSERS” (modelo 1) é um equipamento com a capacidade de produzir entre 6 a 12 kg/dia de hipoclorito de sódio a 0,8 %, de solução de hipoclorito de sódio o que quer dizer que com este equipamento, consegue-se produzir entre 750 e 1500 L/dia de solução a 0,8%. O sistema opera num modo contínuo para manter um fornecimento de 12 a 36 horas de solução diluída de hipoclorito de sódio para dosagem. Trata-se de um equipamento que utiliza fontes elétricas, ou fontes eletrificas alternativas, e que está equipado com um painel de controlo baseado em PCL, cuja função é o controlo automático e monitorização de todos os parâmetros do processo (corrente, tensão, temperaturas, vazões) para garantir o funcionamento adequado. É um equipamento totalmente automatizado, projetado para instalação rápida e económica, operação segura e de fácil manutenção. O equipamento assegura o controlo e doseamento do hipoclorito de sódio, quando utilizado no processo de desinfecção de água. No modo automático, o painel de controlo (PLC) inicia e desliga o sistema de forma a controlar o nível de hipoclorito no tanque de armazenamento (CIMAI, 2017).

O equipamento varia em capacidade de produção, sendo o “OSEC-LC PLUS ELECTROLYSERS” o modelo de menor capacidade. O equipamento está projetado para funcionamento contínuo e não requer qualquer manutenção especial. O componente mais sensível do equipamento é o reator eletrolítico, que apesar do sistema de limpeza automática, pode eventualmente precisar de limpeza manual. Pode realizar-se manutenção preventiva bimensal e corretiva quando necessário no período de 12 meses e em diante após o início de operação do equipamento.

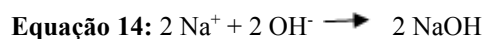
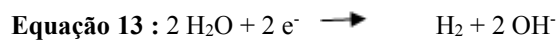
### Processo de produção de hipoclorito de sódio

A água proveniente de uma fonte de captação passa através de um amaciador de filtro de cálcio, magnésio, ferro e manganês por forma a reduzir a sua dureza. De seguida, a água amaciada é usada para preparar a solução de salmoura. Quando a solução de salmoura (NaCl) passa através da corrente do eletrodo, por ação de uma corrente de alta intensidade (DC), o cloro ( $\text{Cl}_2$ ) é gerado no ânodo, enquanto que o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidrogénio ( $\text{H}_2$ ) são produzidos no cátodo, o cloro e o hidróxido de sódio reagem-se para produzir hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}^-$ ). A Figura 26: explica o processo.

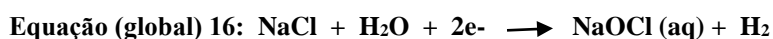
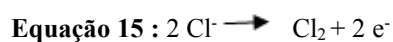


**Figura 26:** Processo de produção do hipoclorito de sódio por eletrólise (CIMAI, 2017).

**Reação de Cátodo:**

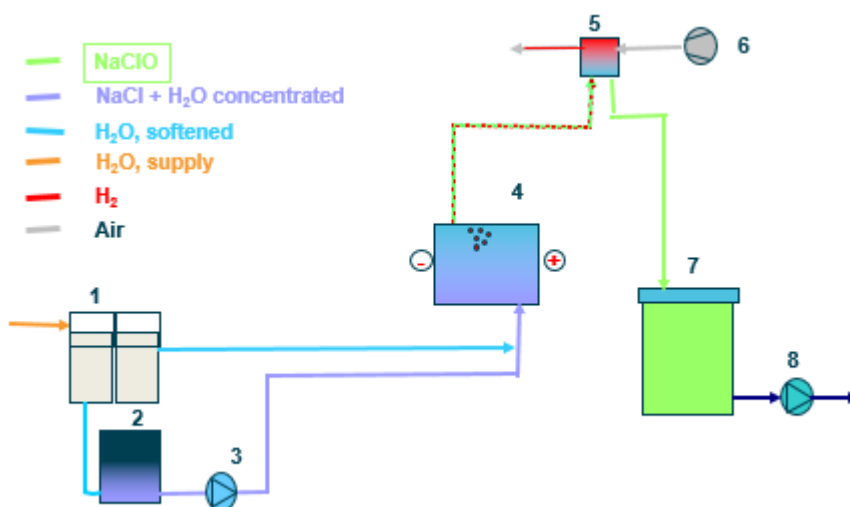


**Reação de Ânodo:**



A solução de hipoclorito de sódio a 0,8%, bem como o hidrogénio produzido são armazenados num tanque, o qual é sujeito a ventilação forçada, de modo a manter a concentração de hidrogénio no seu interior num nível seguro. Este tanque é projetado para um ou mais dias de funcionamento, de acordo com a dosagem de hipoclorito desejada.

*Figure 27: Esquema do processo de produção do hipoclorito de sódio (CIMAI, 2017).Na*



**Figura 27:** apresenta-se um esquema do processo acima descrito.

**Legenda:** 1 – Amaciamento; 2 – Tanque de Salmoura; 3 – Bomba de Salmoura; 4-Célula eletrolítica; 5 – Tanque de Desgasificação de Hidrogénio; 6- Ventilador; 7-Tanque de armazenamento; 8- Bomba de dosagem

## ANEXO II

### Conceito de Custo, custo fixo, custo variável e amortização

O **Custo** é entendido como, gastos relativos ao consumido na produção de outros bens ou serviços. Estes podem ser fixos ou variáveis. A classificação de fixo ou variável está unicamente interligada a volume de

produção. Portanto, “um **custo fixo** é um custo que não depende da quantidade de produto produzido” enquanto que “um **custo variável** é um custo que depende da quantidade de produto produzido”.

A **amortização é entendida como** processo de extinção de dívidas através de pagamentos por etapas. A amortização linear “é uma forma de amortização (de um empréstimo) por prestações (que incluem os juros), amortizando assim partes iguais do valor total do empréstimo. Neste sistema o saldo devedor é reembolsado em valores de amortização iguais. Desta forma, o sistema de amortização linear o valor das prestações é decrescente, já que (os juros) diminuem a cada prestação. O valor da amortização é calculado dividindo-se o valor do principal pelo número de períodos de pagamento, ou seja, de parcelas. A principal característica da amortização linear é que ele amortiza um percentual fixo do valor principal (emissão), desde o início do financiamento. Esse percentual de amortização é sempre o mesmo, o que faz com que a parcela de amortização da dívida seja maior no início do financiamento, fazendo com que o saldo devedor caia mais rapidamente do que em outros mecanismos de amortização”.

### **ANEXO III**

#### **Previsões futuras para a implementação do projeto de produção de hipoclorito de sódio e consequente avaliação de rentabilidade**

Este caso de estudo focou-se num incentivo, ao estado São-tomense por forma a adotar nova tecnologia de tratamento de água, que é uma componente inovadora e sustentável. É uma componente que vai ao encontro do desenvolvimento de STP, uma vez que o país está no caminho de se tornar numa Indústria turística. E sendo um País turístico, a qualidade de água deve ser garantida e deve ser exigida tanto pelos cidadãos nacionais como também, pelos visitantes em busca de áreas de lazer e um ambiente agradável, confortável e sustentável.

Neste estudo, nós vimos que para a produção do hipoclorito de sódio na ETA, o custo mais elevado no processo operacional, é o custo de sal. O sal é o fator dominante no processo de produção, pelo que a análise de rentabilidade de produção do hipoclorito através do equipamento, está intimamente dependente, ou seja, condicionada pela existência deste recurso. A inexistência de minas sal em STP, não condicionou a rentabilidade do projeto, e caso houvesse este recurso, seria de esperar que a rentabilidade seria ainda maior e com um enorme benefício económico para o estado São-tomense. Não só benefícios económicos como ambientais e sociais.

Muitos equipamentos que a CIMAI, ou seja, a EVOQUA, disponibilizam, têm a característica e a capacidade de usar a água do mar. portanto se a produção do hipoclorito de sódio ao nível local em último caso, fosse feita através de instalação de equipamentos com a capacidade produzir o hipoclorito através de água do mar isto talvez pudesse trazer benefícios económicos ao país, porque o uso desse recurso salino, eliminaria todos os custos no que concerne a compra de sal, e eliminando o custo da compra de sal, poderia se tirar o proveito de utilizar este custo para a implementação de uma usina que pudesse captar a água do mar para a produção de hipoclorito, ou avançar para um projeto de produção de sal ao nível local, contudo, a produção de sal ao nível local deve ser objeto de estudo. A utilização da água do mar seria uma estratégia

e alternativa importante de forma ao estado não se tornar dependente dos produtores de sal como por exemplo no caso de CPLP, Brasil e/ou Portugal, ou no caso de PALOP, Angola e/ou Cabo-verde. A alternativa de usar o recurso salino proveniente da água do mar, provavelmente poderia contribuir para uma melhor implementação desse projeto e poderia aumentar mais a rentabilidade caso esse projeto seja levando a diante. Por isso uma análise, ou seja, a seleção para compra e instalação desses equipamentos também seria umas das alternativas as ser estudada caso o Estado São-tomense queira implementar este projeto.

## **ANEXO IV**

### **Programa de controlo de qualidade de água e controlo operacional (PCQA e PCO)**

#### **Programa de Controlo de Qualidade da Água (PCQA)**

Segundo o Decreto-Lei nº 306/2007 de 26 de Agosto de Portugal, o Programa de Controlo da Qualidade da Água (PCQA) consiste num documento estratégico ao nível do processo de controlo da qualidade da água para consumo humano, onde as Entidades Gestoras, que devendo o seu conteúdo devem respeitar os requisitos mínimos aplicáveis (LC) para a água de consumo humano. O grande objetivo do PCQA, consiste que, durante a monitorização da qualidade da água, pretende-se com que a qualidade da água distribuída, seja adequada para o consumo humano por forma a garantir e/ou assegurar saúde pública. Para isso, a análise dos parâmetros de qualidade da água deve ser verificada e cumprida. O PCQA, é um documento estratégico e nele define-se um conjunto de conteúdos destinados a garantia da qualidade da água tais como: controlo de parâmetros analíticos para a verificação da qualidade da água na rede de distribuição; controlo de parâmetros analíticos para a verificação operacional da rede de distribuição; controlo de parâmetros analíticos para a verificação operacional dos pontos de armazenamento de água.

#### **Programa de Controlo Operacional (PCO)**

Segundo IRAR (2007) entende-se por controlo operacional como - conjunto de observações, avaliações analíticas e ações que contribuem para a obtenção de uma água de qualidade adequada para consumo humano. Para tal, a EG deve submeter o funcionamento de todo o sistema (captação, tratamento, adução, elevação, armazenamento e distribuição) a uma observação permanente e contínua, com vista a detetar e corrigir, em tempo útil, as alterações que eventualmente ocorram na qualidade da água. Este programa engloba a exigência de monitorizar as condições de higiene de toda a rede de distribuição, verifica a necessidade de intervenções na rede e definir/acompanhar o comportamento de zonas de risco de contaminação, tais como, pontas de rede e locais de baixo consumo. Em simultâneo com o PCQA desenvolve-se o Programa de Controlo Operacional (PCO). Neste PCO são analisados vários parâmetros químicos que já pertencem ao PCQA, mas justifica-se o aumento da sua frequência, de maneira expedita, para intervir corretivamente caso seja necessário. Diariamente deverão ser executadas as análises de controlo expedito, também parte integrante do Programa de controlo operacional pelos operadores.

Segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, os parâmetros monitorizados na monitorização operacional, são analisados e subdivididos em dois grupos: Controlo de Rotina e Controlo de Inspeção. O Decreto-Lei define o **Controlo de Rotina** como: controlo que tem como objetivo fornecer regularmente

informações sobre a qualidade organolética e microbiológica da água destinada ao consumo humano, bem como sobre a eficácia dos tratamentos existentes, especialmente a desinfecção, tendo em vista determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos no presente decreto-lei. Este controlo subdivide-se em dois grupos: Controlo de Rotina 1 (CR1) e Controlo de Rotina 2 (CR2).

**O Controlo de Rotina 1 (CR1)** “compreende-se os parâmetros microbiológicos. É aquele em que os parâmetros têm que ser analisados mais frequentemente, pois os eventuais perigos para a saúde pública são mais imediatos no caso de contaminação microbiológica”, enquanto que **O Controlo de Rotina 2 (CR2)** “engloba os parâmetros organoléticos e de natureza físico-química no qual as análises efetuadas, são menos frequentes que as do grupo CR1”. Para além desses dois grupos, existem os chamados o controlo de inspeção. **O Controlo de Inspeção** “tem como objetivo obter as informações necessárias para verificar o cumprimento dos valores paramétricos do presente decreto-lei. Neste grupo não se inclui o parâmetro radioativos na qualidade da água, pois ainda não são conhecidas as definições a nível europeu”. Este **Controlo de Inspeção (CI)**, inclui os grupos de parâmetros considerados como substâncias indesejáveis e outros correspondentes a substâncias tóxicas. As análises deste grupo são feitas ainda em menor número e em intervalos de tempo mais longos”.