



**Hélder Filipe
Salgado Silva**

**Estudo do tratamento de águas residuais da
fábrica 1 da Renova**

Renova



Universidade de Aveiro Departamento de Química
2013

**Hélder Filipe
Salgado Silva**

**Estudo do tratamento de águas residuais
da fábrica 1 da Renova**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Dmitry Evtyugin, Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e do Doutor Filipe Almeida, Diretor do Departamento Técnico da Renova – Fábrica de Papel do Almonda, S.A.

Dedico esta tese à minha família e amigos chegados que sempre estiveram a meu lado com uma palavra de encorajamento e motivação durante todo o meu percurso académico.

o júri
presidente

Prof. Doutor Carlos Manuel Santos Silva
Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

José Luís Amaral
Engenheiro Diretor do I&D Tecnológico – Instituto de Investigação da Floresta e do Papel (RAIZ)

Prof. Doutor Dmitry V. Evtyugin
Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Doutor Filipe Olivier de Almeida Santos
Diretor do Departamento Técnico da Renova – Fábrica de Papel do Almonda, S.A.

agradecimentos

Antes de mais agradeço ao Prof. Doutor Dmitry Evtugin e ao Doutor Eng.^o Filipe Almeida por toda a orientação prestada.

Devo agradecer à Renova, SA – Fábrica de Papel do Almonda, por possibilitar a realização deste trabalho nas suas instalações. Foram vários os colaboradores desta empresa que participaram ativamente e proactivamente no esclarecimento de dúvidas ou no auxílio prestado na execução de tarefas várias.

Agradeço à Eng.^a Ana Veríssimo da Ashland Technologies pela sua disponibilidade e auxílio nas análises de CBO₅ e CQO aos efluentes, as quais ter-me-iam sido difíceis de realizar autonomamente por razões de logística.

Por último mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os meus colegas académicos com quem sempre pude contar, com especial atenção ao Eng.^o Hélder Vieira, meu padrinho e grande amigo que em momento algum me deixou baixar os braços.

palavras-chave

ETAR, águas residuais industriais, indicadores ambientais, sedimentação, flotação, coagulação, floculação, sedimentação

resumo

Desde a construção da estação de tratamento de águas residuais da Fabrica 1 da Renova S.A, ocorreram alterações no processo de fabrico de papel que se refletiram numa ligeira alteração das características do efluente gerado e maior dificuldade no seu tratamento. Foi efetuado um estudo da evolução da estação de tratamento de águas residuais da Fabrica 1 e tentou-se perceber a causa por detrás desta crescente dificuldade em tratar o efluente para que possa ser descarregado em conformidade com a legislação aplicada. Procedeu-se ao estudo dos tanques de flotação com ar dissolvido no sentido de verificar se a recuperação de fibras é satisfatória. Para tal analisou-se a concentração de sólidos suspensos totais em amostras das águas de processo e nas águas clarificadas. Foram ainda identificados os trabalhos de reativação de um microfiltro de tambor rotativo para superclarificação da água de processo da máquina de papel 4. No estudo da evolução da estação de tratamento de águas residuais da Fabrica 1 verificou-se, que no decorrer do tempo, deu-se uma diminuição no seu caudal acompanhado de um aumento dos níveis de sólidos suspensos totais, carência química de oxigénio e carência bioquímica de oxigénio. A diminuição do caudal alterou variáveis importantes no processo como tempo de retenção e carga hidráulica, prejudicando a eficácia do processo. Notou-se também que a corrente de entrada da estação de tratamento de águas residuais está sujeita a grandes oscilações de caudal, prejudicando a capacidade de separação da bacia de sedimentação. O estudo do funcionamento dos tanques de flotação com ar dissolvido demonstrou que estes estão capazes de funcionar em condições ideais. A sua capacidade de recuperação de fibras varia como tipo de fibra em suspensão nas águas brancas a tratar. No entanto padecem de um controlo mais apertado e de uma resposta rápida a perturbações no processo. A avaliação do estado do microfiltro de tambor rotativo revelou algumas fragilidades estruturais e foram propostos uma série de trabalhos para a sua recuperação e reativação. Todavia não foi possível coloca-lo em funcionamento e estudar a sua eficiência e viabilidade antes do término da presente obra.

keywords

WWTP, industrial wastewater, environmental indicators, coagulation, flocculation, sedimentation, flotation

abstract

Since the construction of wastewater treatment plant in Renova S.A.'s 1st Factory there were some changes in the paper production process which resulted a slight change of the generated effluent's characteristics and a greater difficulty in its treatment. A study of the wastewater treatment plant's evolution was conducted in order to understand the cause behind this rising treatment difficulty so it can be discharged in conformity with the applied legislation. The dissolved air flotation tanks were also studied in order to verify if its fiber recovery is satisfactory. For this purpose, the inlet and outlet streams concentration in total suspended solids were measured. An assessment was also made to a rotary drum microfilter in order to identify the operations needed for its reactivation as a process water superclarifier. The wastewater treatment study revealed that, during time, there was a decrease of the water flow entering the sedimentation tank, accompanied by rise of the concentration values of total suspended solids, chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand. The decrease of the inlet flow altered important variables of the processes such as retention time, and the surface load, damaging the efficiency of the wastewater treatment plant. It was also noted that the inlet stream can suffer high oscillations in wastewater flow, which disturbs the sedimentation basin and damages the sedimentation process. The flotation tanks' study revealed that these are capable of efficient operation under ideal conditions. Its fibers recovery capacity varies with the type of fibers in suspension in the white water. Nonetheless these equipment suffer from a poor process control and slow response to variables disturbances. The evaluation of the rotary drum microfilter revealed some structural weaknesses and a series of operations were suggested in order to proceed to its reactivation as a white water superclarifier. However these operations were not concluded before the present document was finished and it was not possible to study its removal efficiency and feasibility.

Índice

Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas e Simbologias.....	xix
Motivação e Estruturação da Tese.....	xxi
CAPÍTULO I - Tratamento de efluentes industriais. Caso da indústria papelreira.....	1
1.1 - A Renova e a produção de papel.....	3
1.1.1 - Processo produtivo.....	3
1.1.2 - Gestão dos efluentes.....	5
1.1.3 - Recuperação de fibras.....	5
1.2 - Tratamento de efluentes industriais.....	5
1.2.1 - Caracterização de efluentes industriais e aspetos legais.....	6
1.2.2 - Processo de tratamento e respetivas etapas.....	7
1.2.3 - Efluentes e a ETAR1 da Fabrica 1 da Renova, S.A.....	14
1.3 - Recuperação de fibras no processo da Renova.....	16
1.3.1 - Equipamento DAF (Sveen).....	16
1.3.2 - Microfiltro Vargo.....	18
CAPÍTULO 2 - Procedimentos e metodologia de análise.....	21
2.1 - Amostragem.....	23
2.2 - Determinação dos Sólidos Suspensos totais secos a 103/105°C.....	24
2.3 - Determinação da Carência química de oxigénio.....	25
2.4 - Determinação da Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias.....	26
2.5 - Jar Test.....	27
CAPÍTULO 3 - Estudo da ETAR1.....	29
3.1 - Dados de projeto.....	31
3.2 - Valores dos indicadores do efluente bruto face o previsto em projeto.....	32
3.3 - Valores dos indicadores do efluente tratado face os VLE em vigor.....	33

3.4 - Eficiência de remoção.....	35
3.5 - Estudo do impacto da percentagem de pasta reciclada utilizada nos níveis dos indicadores da qualidade do efluente	36
3.6 - Estudo da existência de um efeito de concentração.....	38
3.7 - Observações.....	41
3.8 - Resultados da determinação da dosagem de coagulante.....	42
CAPÍTULO 4 - Recuperação de fibras. Desempenho dos tanques de flotação	45
4.1 - Retenção na Máquina de Papel 1	47
4.2 - DAF da Máquina de Papel 1	48
4.3 - DAF da Máquina de Papel 4	49
4.4 - Observações	52
CAPÍTULO 5 - Estudo do microfiltro VARGO.....	53
5.1 - Especificações técnicas do VARGO.....	55
5.2 - Estado atual do VARGO e operações necessárias à sua reativação	55
Conclusões e sugestões.....	57
Conclusões.....	57
Sugestões.....	58
ETAR1	58
Tanques de flotação (DAF)	58
Referências Bibliográficas	59
Anexo	61
Anexo A- Diagramas de processo das MP1 e MP4.....	63

Índice de Figuras

Figura 1- Esquema simplificado do processo de produção.....	3
Figura 2- Esquema de uma estação de tratamento de águas residuais típica. ^[2]	8
Figura 3- Demonstração da ação dos agentes coagulantes e flocculantes quando na bacia de sedimentação.....	10
Figura 4- Esquema processual da ETAR1.....	14
Figura 5- Sven da MP1 com o tanque de flotação (à esquerda) a rampa de recolha de pasta (à direita em cima) e corrente de água clarificada (à direita em baixo).....	16
Figura 6- Aparelho de flotação com ar comprimido.	17
Figura 7- Microfiltro com tambor horizontal rotativo. ^[12]	18
Figura 8- Procedimento experimental para determinação dos sólidos suspensos totais.	24
Figura 9- Procedimento experimental para determinação da carência química de oxigénio.....	25
Figura 10- Procedimento experimental para determinação da carência bioquímica de oxigénio.	26
Figura 11- Procedimento laboratorial de simulação de flocculação - método <i>Jar Test</i>	27
Figura 12- Evolução dos SST do efluente bruto ao longo do tempo face ao previsto em projeto.....	32
Figura 13- Evolução do CQO no efluente bruto ao longo do tempo face ao previsto em projeto.....	32
Figura 14- Evolução do CBO ₅ no efluente bruto ao longo do tempo face o previsto em projeto.....	33
Figura 15- Evolução dos SST no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.....	33
Figura 16- Evolução do CQO no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.....	34
Figura 17- Evolução do CBO ₅ no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.....	34
Figura 18- Eficiência de remoção de SST ao longo do tempo, face o previsto em projeto.....	35
Figura 19- Eficiência de remoção de CQO ao longo do tempo, face o previsto em projeto.....	35
Figura 20- Eficiência de remoção de CBO ₅ ao longo do tempo, face o previsto em projeto. ...	36
Figura 21- Evolução dos níveis de SST no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.....	37
Figura 22- Evolução dos níveis de CQO no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.....	37

Figura 23- Evolução dos níveis de CBO ₅ no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.....	37
Figura 24- Evolução dos caudais mássicos de SST bruto e tratado face o caudal volumétrico.	39
Figura 25- Evolução dos caudais mássicos de CQO bruto e tratado face o caudal volumétrico.	39
Figura 26- Evolução dos caudais mássicos de CBO ₅ bruto e tratado face o caudal volumétrico.	39
Figura 27- Impacto do <i>upgrade</i> da máquina 4 na corrente de efluente tratado.....	41
Figura 28- Retenção de fibras na mesa de formação da MP1.	47
Figura 29- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de Toalhas de Mesa na máquina de papel 1.....	48
Figura 30- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de RenovaPrinte na máquina de papel 1.....	48
Figura 31- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de Vegetal na máquina de papel 1.	49
Figura 32- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para rolos de cozinha na Máquina de Papel 4.....	50
Figura 33- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para rolos industriais na Máquina de Papel 4.....	50
Figura 34- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para guardanapos de duas folhas de cor rosa na Máquina de Papel 4.....	50
Figura 35- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para guardanapos de uma folha na Máquina de Papel 4.....	51
Figura 36- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para toalhas de mão na Máquina de Papel 4.....	51
Figura 37- Diagrama de processo de fabrico de papel na área de produção da MP1.	63
Figura 38- Diagrama do processo de fabrico de papel na área de produção da MP4.....	64

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores Limites de emissão para os efluentes gerados pela fábrica 1 da renova ^[14]	6
Tabela 2- Diferentes tipos de processos de tratamento biológicos existentes. ^[12]	12
Tabela 3- Valores de projeto da ETAR1.	31
Tabela 4- Contribuição dos diferentes tipos de fibra para os níveis dos principais indicadores da qualidade de efluentes.....	38
Tabela 5- Valores de caudal médio para os três períodos (antes, durante e depois do <i>upgrade</i> da MP4).....	40
Tabela 6- Resultados do <i>Jar Test</i> para determinação da dosagem de coagulante.....	42
Tabela 7- Dosagem de agente coagulante para valor de caudal de efluente.	43
Tabela 8- Reparações a efetuar ao VARGO para posterior reativação.	56

CAPÍTULO 1 – Tratamento de efluentes industriais.

Caso da indústria papelreira.

Nesta secção será primeiramente feita uma breve apresentação da Renova, do seu processo produtivo e da problemática do tratamento de efluentes e importância da recuperação de fibras. Será de seguida feita uma abordagem generalizada ao tratamento de efluentes industriais, da importância da caracterização de um efluente *à priori* do seu tratamento e uma breve descrição do caso específico da ETAR1, localizada na Fábrica 1 da Renova.

1.1 -A Renova e a produção de papel

A Renova S.A.- Fábrica de Papel do Almonda é uma empresa especializada no fabrico de papel *tissue* e na sua transformação, dedicando-se também à produção de papéis de escrita, embalagem e impressão. As principais matérias-primas utilizadas são pastas virgens e recicladas, sendo que a última é produzida pela própria Renova. O complexo industrial é constituído por duas fábricas. A fábrica 1 inclui parte da divisão de fabricação de papel (papel de escrita, impressão, respetiva embalagem e uma máquina *tissue*) e a divisão de produtos sanitários. A fábrica 2 integra a divisão de reciclagem, parte da divisão de fabricação (duas máquinas de produção de *tissue*), a divisão de transformação, armazém de produto final e expedição. Ambas as fábricas laboram em regime contínuo. [14]

1.1.1 -Processo produtivo

Na Figura 1 está demonstrado o processo de fabricação do papel, que pode ser seccionado em duas operações principais: preparação da pasta e produção de papel.[17]

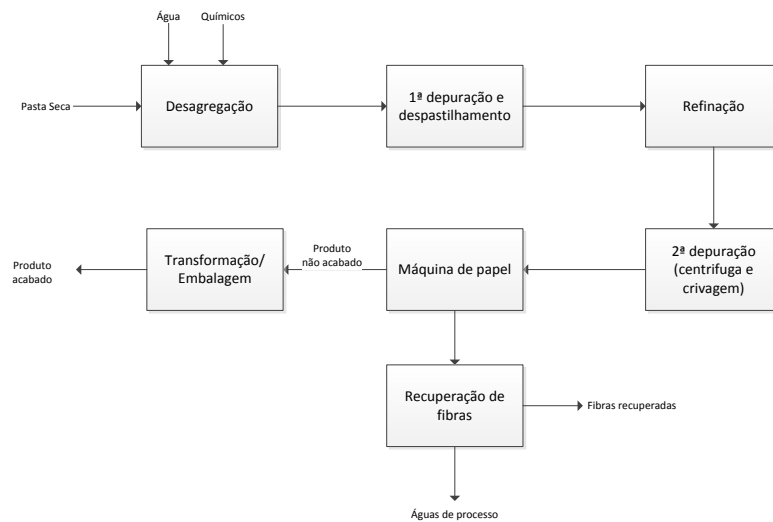


Figura 1- Esquema simplificado do processo de produção.

O processo de fabrico pode ser dividido em 6 estágios distintos:

1. Desagregação da pasta seca;
2. Despastilhagem e primeira depuração da suspensão de pasta;
3. Refinação da suspensão de pasta;
4. Segunda depuração;
5. Produção de papel;
6. Transformação do produto;

Na **desagregação**, a pasta que é recebida seca é colocada num *Pulper* juntamente com água e por meio de agitação é criada uma suspensão. Neste estágio podem ser adicionados químicos vários (aditivos, cargas minerais, corantes, entre outros), dependendo das características que se pretendem no produto final. Cada tipo de papel a produzir tem uma formulação específica de matérias primas a utilizar e respetivas quantidades. Também pode ser adicionado desperdício interno nesta fase do processo. Num segundo estágio, a pasta passa por um **despastilhador** e **depurador**. O despastilhador complementa a ação do *pulper*, desagregando os flocos de celulose de maiores dimensões. No depurador removem-se aglomerados de fibras e impurezas na matéria-prima. Na seguinte fase a pasta passa por uma **refinação**. Através de uma quebra das fibras obtém-se uma suspensão com morfologia desejada, de acordo com o papel que se pretende formar. Juntamente com a escolha da matéria-prima, este é o passo que sda na máquina de papel propriamente dita onde decorre a **produção de papel**.

Na Máquina de Papel 1, a suspensão dá entrada na caixa de chegada que opera a pressão atmosférica. A formação da folha inicia-se numa mesa tipo “*fourdrinier*” onde a água da suspensão é drenada por gravidade e vácuo seguida por uma prensagem. O papel, ainda com um elevado teor de humidade, passa por várias baterias de rolos aquecidos a vapor onde é secado. Finalmente a folha é bobinada. A Máquina de Papel 2 não será abordada neste estudo. Na Máquina de Papel 4, a suspensão entra numa caixa de chegada pressurizada e é depositada em jato contínuo numa teia esgotante. Através da aplicação de força centrífuga, processos de vácuo, prensagem e secagem obtém-se a folha. Para que a folha apresente alguma rugosidade, numa última etapa, existe uma lâmina que raspa o cilindro secador (cilindro Yankee) e guia a folha para a bobinagem. [14] Finalmente o papel passa por vários processos para transformar bobines com toneladas em produtos acabados e embalados.

Em certos pontos deste processo há libertação de efluentes que são direcionados para a ETAR. No anexo A podem ser encontrados os diagramas das máquinas de papel MP1 e MP4 mais detalhados com as linhas de saída para ETAR devidamente identificadas.

1.1.2 -Gestão dos efluentes

Há duas abordagens possíveis para gerir os efluentes: pela diminuição na fonte, que consiste na otimização de aspetos no processo produtivo que levariam a reduções no consumo de energia e matérias-primas como fibras, cargas minerais e aditivos; ou por tecnologias de tratamento específicas para os efluentes, externas ao processo produtivo.^[11]

Preferencialmente, seria sempre ideal realizar a diminuição de efluentes na fonte. No entanto, o aspeto financeiro geralmente restringe a escolha desta abordagem por apresentar custos demasiado elevados em relação ao tratamento externo dos efluentes. A abordagem interna será importante, mas terá maior relevância apenas no futuro com o decorrer de um progresso tecnológico em que as medidas internas e externas serão melhor combinadas para assim obter uma diminuição das emissões.^[11]

1.1.3 -Recuperação de fibras

Durante o processo de produção de papel há sempre uma percentagem de fibras na suspensão que permeiam a teia de formação e não participam na formação da folha. Isto representa uma perda financeira importante, pelo que se torna prioritário proceder à sua minimização. Para tal as águas que contêm estas fibras (denominadas águas brancas) passam pelo processo da sua recuperação.^[3] Nas Figuras 37 e 38 do anexo A temos os diagramas de processo da máquina de papel 1 e máquina de papel 4. Em ambos os diagramas é possível identificar uma área destinada à recuperação de fibras. Trata-se do processo de flotação com ar dissolvido (DAF ou comumente denominado Sveen). O seu princípio de funcionamento estará discutido mais à frente.

1.2 -Tratamento de efluentes industriais

No decorrer da sua atividade, a indústria utiliza água para vários fins como na preparação de matérias-primas, no processo de fabrico e na lavagem de equipamentos ou espaços.^[25] Após utilizado, o efluente é escoado para esgoto onde é conduzido até estações de tratamento de águas residuais.^[16] O efluente gerado na indústria pode conter substâncias tóxicas para o meio ambiente ou compostos

orgânicos, cuja degradação poderá levar à exaustão do oxigênio presente no corpo receptor que geralmente são lagos ou rios. O tratamento de efluentes antes da respectiva descarga também pode evitar a transmissão de doenças.^[10]

1.2.1 -Caracterização de efluentes industriais e aspetos legais

A constituição das águas residuais varia muito, dependendo do tipo de atividade de que é proveniente. Tratam-se de misturas multifásicas que podem conter agentes poluentes na forma de sólidos suspensos, sedimentados, dissolvidos e gases. Alguns dos constituintes mais comuns são: água, agentes patogénicos, partículas de matéria orgânica insolúvel, matéria orgânica solúvel, material inorgânico solúvel, material inorgânico insolúvel, sólidos de maiores dimensões, gases dissolvidos, emulsões, toxinas e produtos farmacêuticos.^[11, 13]

Estes efluentes estão impossibilitados de serem descarregados sem um tratamento prévio pois não cumprem a legislação em vigor relativamente a determinados indicadores-chave. O tratamento necessário é função das características dos efluentes a tratar. Na Tabela 1 estão alguns dos parâmetros controlados pela Renova e respetivos valores limite de emissão.

Tabela 1- Valores Limites de emissão para os efluentes gerados pela fábrica 1 da renova^[18].

Parâmetro	VLE Mensais	VLE Diários
Caudal	60 m ³ /h	120 m ³ /h
pH	6,0-9,0	6,0-9,0
Carência bioquímica de oxigénio a 5 dias (CBO ₅)	40 mg/L	80 mg/L
Carência química de oxigénio (CQO)	150 mg/L	300 mg/L
Sólidos suspensos totais (SST)	60 mg/L	120 mg/L
Fósforo Total	10 mg/L	-
Azoto Total	15 mg/L	-

A **carência bioquímica de oxigénio** é uma estimativa da quantidade de oxigénio que será consumido na degradação de material orgânico através de processos biológicos, convertido em dióxido de carbono, água e nova biomassa.^[13] Na sua determinação é utilizado o teste de CBO a 5 dias (CBO₅) que, tal como o nome indica, mede a quantidade de matéria orgânica consumida no período de 5 dias.^[24, 3, 11]

A **carência química de oxigênio** dá-nos uma medida da quantidade de oxigênio suscetível a ser consumido na degradação de matéria orgânica presente em solução por processos químicos artificiais.^[3] Tem a vantagem de ser mais rápido (um teste tem a duração de 2 a 3 horas) e também não está sujeito a possíveis interferências de agentes tóxicos.^[24] Apesar de ser um método artificial, fornece estimativas fiáveis relativamente à demanda de oxigênio de águas residuais. O teste de CQO é, por vezes, utilizado em conjunto com o ensaio de CBO₅ para determinação da quantidade de matéria orgânica em solução não é biodegradável. Regra geral, os valores de CQO equivalem a 1,3-1,5 vezes o valor de CBO₅ na mesma amostra.^[25]

Quando se descarrega água residual tratada para um corpo recetor podem ocorrer várias alterações, dependendo das características do efluente. Uma das mais significativas alterações é a promoção da eutrofização do meio recetor. Este é um fenómeno de ocorrência natural que está limitado às concentrações de certos compostos na água. Os que assumem maior importância são o carbono, fosforo e azoto. Regra geral, a substância limitante à eutrofização é o **fosforo**.^[25] Caso um efluente rico em fosforo seja descarregado para o ambiente poderá desencadear um crescimento descontrolado de plantas aquáticas. A forma mais comum em que se encontram fosfatos é em ortofostato.^[25]

Uma vez que tem um papel importante na produção de proteínas, o **azoto** também potencia o crescimento de algas e é, portanto, uma das substâncias reguladas na descarga de efluentes. ^[25]

Sólidos **suspensos totais** são todos os sólidos insolúveis que ficam retidos quando água residual é filtrada num filtro de 45 micron. A sua determinação e monitorização visa controlar a possibilidade de ocorrência de fenómenos de degradação por vias aeróbias ou anaeróbias.^[24, 25]

1.2.2 -Processo de tratamento e respetivas etapas

A estação de tratamento de águas residuais (ETAR) é a infraestrutura na qual os efluentes resultantes de determinadas atividades são tratados de forma a apresentarem níveis de poluição aceitáveis para posterior reintrodução em cursos hídricos naturais. Estes efluentes podem ser de origem doméstica ou industrial.^[16]

Uma ETAR pode apresentar vários processos de tratamento de natureza física, química e biológica combinados.^[1, 20] Na Figura 2 está representada uma estação genérica. Uma estação de tratamento não necessita, no entanto, de apresentar todos estes níveis de tratamento dependendo das características do efluente que se pretende tratar e do seu destino após o tratamento.

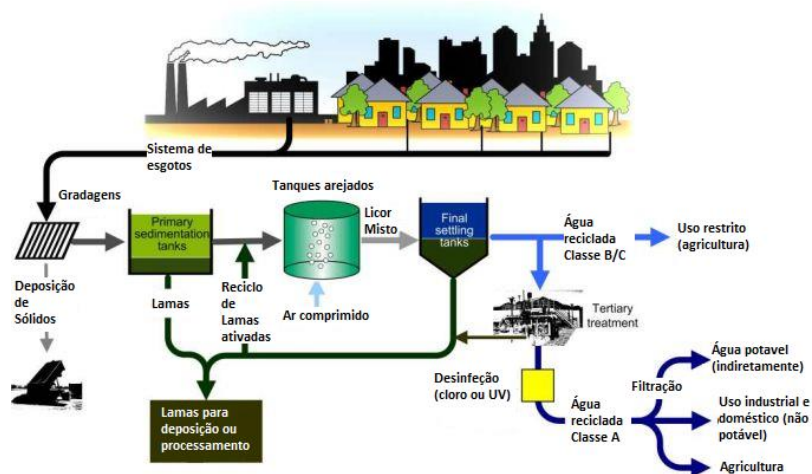


Figura 2-Esquema de uma estação de tratamento de águas residuais típica.^[2]

Uma ETAR pode ser constituída por quatro zonas distintas de tratamento.

- Pré Tratamento – também designado tratamento preliminar, tem como objetivo a remoção dos sólidos de maiores dimensões presentes na mistura;
- Tratamento primário – trata-se de um tratamento físico-químico com o objetivo de remover os sólidos sedimentáveis de maior massa molecular;
- Tratamento secundário – tratamento de componente biológica com a finalidade da remoção sólidos de massa molecular inferior;
- Tratamento terciário – qualquer tratamento que se siga ao tratamento secundário. Pode consistir numa desinfeção ou remoção de cor da água residual.

1.2.2.1 -Pré Tratamento

Trata-se de um tratamento preliminar onde se pretende remover os resíduos sólidos mais grosseiros através de dispositivos de retenção, como gradeamentos.^[19, 21, 25] Desta forma evitam-se problemas como entupimento de tubagens, de válvulas e protegem-se as bombas de eventuais danos que os sólidos provocariam.^[20] No entanto existem outros métodos como peneiras estáticas ou peneiras móveis. Também pode ocorrer a remoção de areias nas caixas de areia e remoção de gordura nas caixas de gordura. Ocorre aqui uma preparação do efluente para os seguintes estágios de tratamento. Aqui também pode ocorrer a estabilização do caudal, pH, temperatura e até um pré-arejamento.^[3, 16]

1.2.2.2 - Tratamento Primário

A principal função do tratamento primário é a remoção de partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão na água. A matéria poluente é separada da água através do processo de sedimentação. Deste tratamento temos como resultado efluente clarificado e lamas que seguem para posterior prensagem.^[3, 19]

Entende-se como sedimentação a deposição de todo o género de partículas no seio de um fluido por ação da força da gravidade, baseando-se no facto de que estas partículas têm uma densidade maior que a do fluido em que estão suspensas.^[11]

O dimensionamento de um decantador tem que ter em conta primariamente o caudal de efluente (que é dependente do processo produtivo) e da velocidade de sedimentação das partículas presentes no efluente (que depende das características da mistura).^[11] A velocidade de sedimentação pode ser determinada através de testes laboratoriais. No entanto, esta é dependente da temperatura do meio.^[20] Conhecendo a velocidade mínima de sedimentação, determina-se a carga hidráulica a partir da equação 1.

$$Ch\left(\frac{m}{h}\right) = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Em que, Q (m^3/h) é o caudal de água residual que dá entrada no decantador, A (m^2) a área de superfície de decantação e Ch (m/s) a velocidade de ascensão do nível do líquido no decantador. Só ocorrerá sedimentação se a carga hidráulica do decantador for inferior à velocidade de sedimentação das partículas.^[11] Tendo isto em conta, fica definida a área de superfície de decantação mínima. Para que isso aconteça também é necessário um escoamento laminar e sedimentação livre, o que implica uma concentração de sólidos não superior a 1 g/L. Os valores tipicamente utilizados para um decantador primário estão no intervalo de 0,8 m/h a 1,2 m/h.^[11] Outro fator importante a determinar num decantador é o tempo de retenção, que pode ser calculado pela equação 2.^[20, 21]

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Onde τ é o tempo de retenção, em horas, V é o volume útil do decantador, em m^3 , e Q é o caudal volumétrico da corrente de entrada no decantador, em m^3/h . Os valores típicos de tempo de retenção para um decantador primário estão entre 1-3 horas.^[21] Se o tempo de retenção for demasiado curto, as partículas não terão o tempo para se depositar e o processo perde eficiência. Da mesma forma, se o tempo de retenção for muito longo, poderá ocorrer a degradação das partículas provocando problemas de odor e diminuição da eficiência do decantador.^[21]

A eficiência do decantador é medida em termos de capacidade de remoção de sólidos. É calculada como o quociente entre a concentração de sólidos removidos e a concentração de sólidos que entrou no decantador.^[22] Representa-se em percentagem e pode ser calculada pela equação 3.

$$\varepsilon_{remoção} = \left(1 - \frac{C_{s,sai}}{C_{s,entra}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Onde $C_{s,sai}$ ($\frac{mg}{L}$) e $C_{s,entra}$ ($\frac{mg}{L}$) são as concentrações de sólidos nas correntes de saída e de entrada, respetivamente. ^[11]

Na clarificação ocorre remoção de 60% a 95% da matéria sólida. São fatores que influenciam a eficiência de um decantador o tempo de retenção, a temperatura, as características da água, o caudal de entrada e as características físicas do decantador.^[20] É também importante que a alimentação do decantador seja contínua, sem que sofra grandes oscilações.^[21]

Uma prática comum para aumentar a capacidade de separação de um decantador é a alimentação de químicos como coagulantes e floculantes.^[20, 22] Na Figura 3 está uma representação da ação do ponto de vista químico destes dois agentes. A adição destes químicos visa a formação de flocos que, devido às suas maiores dimensões e densidade, tornam mais rápido o processo de sedimentação.^[11, 20, 25]

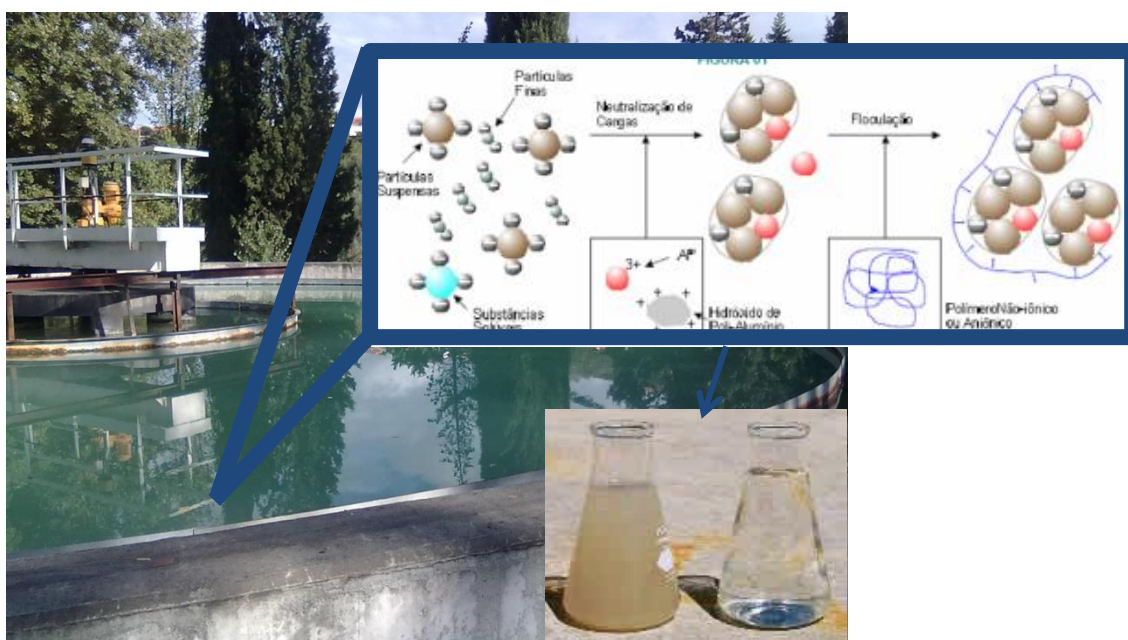


Figura 3- Demonstração da ação dos agentes coagulantes e floculantes quando na bacia de sedimentação.

O coagulante tem uma carga positiva que vai interagir com a camada superficial carregada negativamente de partículas coloidais suspensas na água residual, anulando o seu potencial zeta – ocorre uma destabilização do coloide. Desta forma promove-se a coalescência das partículas pequenas em aglomerados de maior dimensão. Os químicos mais utilizados para esta prática são o sulfato de

alumínio, cloreto de ferro e polímeros.^[9] A alimentação pode ser controlada manualmente ou automaticamente regulada de acordo com o caudal de alimentação no decantador. Para que ocorra a coagulação numa extensão satisfatória é necessária uma agitação rápida da mistura, este passo pode ser conseguido de várias formas desde um agitador integrado na tubagem, um tanque com agitação ou até a ação da própria bomba que envia o efluente para o decantador.^[21] Seguidamente deve proceder-se a uma mistura lenta para permitir que ocorra a formação de flocos. É neste ponto que se pode adicionar o floculante.

O agente floculante consiste num polieletrólito de elevada massa molecular. Se for adicionado juntamente com o coagulante, a agitação violenta irá quebrar as suas ligações e retirar as suas propriedades de floculante.^[21] A sua função é promover a conglomeração das partículas aglomeradas pelo agente floculante, promovendo assim a formação de um floco com boas qualidades de sedimentação.

Finalmente é necessário tornar mais frequente a extração de lamas no decantador, uma vez que a aplicação destes produtos químicos aumenta significativamente a taxa de deposição de sólidos no fundo do tanque.^[21]

A dosagem de coagulante e floculante depende da natureza da água residual bem como do caudal a tratar. Para determinar a dosagem mais adequada basta proceder ao teste laboratorial, *Jar Test*, um procedimento relativamente simples e cujos resultados são bastante precisos.^[21]

1.2.2.3 - Tratamento Secundário

O tratamento secundário é de natureza biológica e a sua principal função é a remoção de matéria coloidal e de sólidos dissolvidos. São utilizados reatores biológicos que consistem em tanques de grande dimensão com micro-organismos em condições aeróbicas, anaeróbicas ou anóxicas em crescimento suspenso ou suportado que consomem a matéria orgânica de forma a alimentar o seu crescimento.^[8, 11, 19, 20] Na Tabela 2 temos um resumo dos tratamentos secundários em utilização atualmente.

Para que este tratamento funcione é necessário proporcionar condições favoráveis à sobrevivência e reprodução destes organismos. Variáveis como temperatura, pH e conteúdo em oxigénio e nutrientes devem ser controladas. ^[11, 20]

Tabela 2- Diferentes tipos de processos de tratamento biológicos existentes. [12]

Ambiente	Tipo de processo	Nome típico	Finalidade
Aeróbio	Crescimento suspenso	Lama ativada	Remoção de CBO, nitrificação
		Lagoas arejadas	Remoção de CBO, nitrificação
		Digestão aeróbia	Estabilização, remoção de CBO
	Crescimento suportado	Filtro de percolação	Remoção de CBO, nitrificação
		Contactador biológico rotativo	Remoção de CBO, nitrificação
		Reator de leito fixo	Remoção de CBO, nitrificação
Híbrido	Filtro de percolação/lama ativada	Remoção de CBO, nitrificação	
Anóxico	Crescimento suspenso	Desnitrificação em crescimento suspenso	Desnitrificação
	Crescimento suportado	Desnitrificação em crescimento suportado	Desnitrificação
Anaeróbio	Crescimento suspenso	Contato anaeróbio	Remoção de CBO
		Digestão anaeróbia	Estabilização, remoção de sólidos, destruição de agentes patogénicos
	Crescimento suportado	Leito anaeróbio fixo e fluidizado	Remoção de CBO, estabilização de resíduos, desnitrificação
	Manta de lodo	Manta de lodo com fluxo ascendente	Remoção de CBO (águas residuais fortes)
	Híbrido	Manta de lodo de fluxo ascendente/crescimento suportado	Remoção de CBO
Combinação de processo aeróbio, anóxico e anaeróbio	Crescimento suspenso	Processos de mono ou multi estágios, processo com características várias	Remoção de CBO, nitrificação, desnitrificação, remoção de fósforo
	Híbrido	Processos de mono ou multi estágios com enchimento ou crescimento suspenso	Remoção de CBO, nitrificação, desnitrificação e remoção de fósforo
Lagoas	Lagoas aeróbias	Lagoas aeróbias	Remoção de CBO
	Lagoas de maturação (terciário)	Lagoas de maturação (terciário)	Remoção de CBO, nitrificação
	Lagoas facultativas	Lagoas de floculação (aeróbio ou anaeróbio)	Remoção de CBO
	Lagoas anaeróbias	Lagoas anaeróbias	Remoção de CBO

Como dito anteriormente, o tratamento biológico pode ser aeróbico ou anaeróbico quando há presença ou ausência de oxigénio no processo, respetivamente. No primeiro caso os micro-organismos utilizam o oxigénio dissolvido para transformar os resíduos orgânicos em biomassa e dióxido de carbono.

No segundo caso não temos oxigênio presente em solução, sendo que os resíduos orgânicos são decompostos em dióxido de carbono, água e metano através de três processos – hidrólise, acidogênese e metanogênese. [4, 20]

Além disso, os processos ainda podem ser classificados como processos de crescimento suspenso, quando temos os organismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica suspensos num líquido; processo de crescimento suportado, quando os organismos estão fixos a um material inerte que oferece suporte; processos combinados, que não são mais do que uma combinação dos dois descritos anteriormente e processos de lagoa - termo genérico que define processos que são levados a cabo em lagoas ou lagos artificiais.[24, 11, 20]

No final do tratamento secundário temos uma quantidade muito reduzida de resíduos orgânicos. No entanto, nos processos de lamas ativadas temos uma elevada quantidade de micro-organismos, como tal é necessário proceder a uma decantação para a sua remoção.[11, 20] Uma vez que apresentam um nível muito baixo de matéria orgânica, muitas vezes um tratamento terciário é dispensável.

1.2.2.4 -Tratamento Terciário

O tratamento terciário é todo e qualquer tratamento que se encontre após o tratamento biológico. Na indústria do papel tratam-se geralmente de processos para remoção de cor, uma vez que os anteriormente expostos não são muito eficazes. A descoloração pode ser obtida através da ultrafiltração.[3] Usando uma membrana semipermeável através da qual o efluente é forçado a passar com a aplicação de uma pressão elevada.[10] A adsorção com carbono ativado também resulta na remoção de cor mas é um processo pouco viável.[3] O tratamento terciário também é utilizado na remoção de agentes patogénicos através de uma desinfecção e de determinados compostos como azoto ou fósforo, que induzem eutrofização das águas no meio recetor. Na desinfecção podem-se tomar várias abordagens: pode ser por adição de agentes desinfetantes, pela passagem de radiações eletromagnéticas específicas ou pelo aquecimento do efluente. Os tratamentos mais utilizados atualmente na desinfecção de águas residuais são o cloro, o dióxido de cloro, o ozono e radiação UV. [20]

Terminado o tratamento terciário, o efluente deverá estar apto para ser descarregado no meio recetor, como rios ou o mar. [13]

1.2.3 -Efluentes e a ETAR1 da Fabrica 1 da Renova, S.A.

Os efluentes resultantes da indústria de processamento de madeiras são principalmente ricos em material de madeira e químicos usados no seu processamento como corantes, cargas minerais, ácidos, bases e lamas que podem ser enviadas no efluente quando ocorrem perturbações.^[3] Apesar de os sólidos representarem maior fatia dos constituintes, este efluente também é bastante rico em material coloidal. É importante o tipo de madeira da qual as fibras são provenientes, a tecnologia envolvida, a recirculação interna dos recursos para reaproveitamento e a quantidade de água utilizada.^[17] Electroquimicamente, as espécies presentes têm geralmente uma carga negativa, com um potencial zeta geralmente entre -60 mV e -10mV. Já os níveis de azoto, bem como de fósforo, são relativamente baixos se comparados com níveis dos efluentes municipais.^[11]

O tipo de tratamento mais comumente utilizado para estes resíduos é a sedimentação, que está implementado no primeiro estágio de tratamento de efluentes. Este processo pode ser dividido em três secções: pré-tratamento, clarificação e manuseamento de lamas.

O tratamento dos efluentes industriais da Fábrica 1 é realizado na ETAR1, estando na Figura 4 o seu esquema processual. O efluente é sujeito a diversas operações para que no momento da descarga esteja em concordância com a legislação em vigor. De uma forma geral, o tratamento deste efluente consiste na estabilização do caudal e da sua composição, seguido de uma remoção dos sólidos e de material de baixo peso molecular. Neste último passo também ocorre a remoção de material de elevado peso molecular.

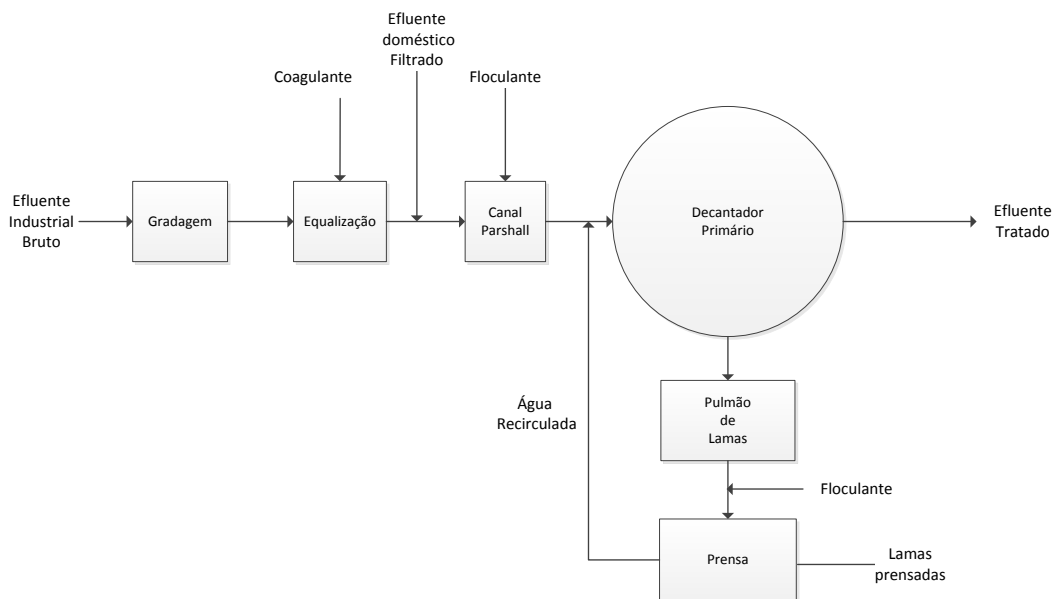


Figura 4- Esquema processual da ETAR1.

O processo consiste em três passos: gradagem, decantação e prensagem das lamas resultantes.

A **gradagem** é, de modo geral, a primeira operação realizada nas ETARs. Consiste numa filtração grosseira ao efluente, realizada por grades ou grelhas que retêm os sólidos suspensos de maiores dimensões, permeando o restante efluente. Estes sólidos retidos são designados por gradados. O permeado de seguida dá entrada no tanque de equalização. Algures nesta fase é também adicionado efluente doméstico previamente filtrado.

A **decantação** por gravidade pode ser composta por três fases em modo contínuo:

- A primeira fase consiste na passagem do efluente pelo tanque de equalização com a capacidade de 35 m³, para regulação do caudal à entrada do decantador primário. É neste ponto que se adiciona o agente coagulante. Por intermédio de até três bombas submersas, o efluente é bombeado para o canal *Parshall*;
- A segunda fase consiste na passagem do efluente pelo canal *Parshall*, que além de permitir a medição do caudal e do pH, é onde se adiciona o floculante ao efluente. Este dá entrada posteriormente na bacia de sedimentação;
- A terceira fase consiste na decantação do efluente numa bacia de decantação com capacidade para 1018 m³ e uma superfície de decantação de 254,5 m². Aqui, o efluente tem um tempo de residência em função do caudal de saída do tanque de equalização que deverá permitir a deposição dos flocos formados. As lamas resultantes são removidas mecanicamente do fundo da bacia de decantação. O efluente já clarificado sai pelo topo do equipamento por transbordo e é conduzido até ao corpo recetor, o rio Almonda.

As lamas passam pela **prensagem** de forma a retirar o máximo de água possível. Neste ponto poderá ser adicionada uma pequena quantidade de agente floculante no intuito de melhorar a consistência das lamas. A água que se obtém é reciclada para o decantador.

A **amostragem** do efluente à saída da estação de tratamento é efetuada diariamente, sendo composta por um total de 24 amostras retiradas com uma hora entre cada. Já à entrada da estação de tratamento a amostragem é semanal e pontual.

1.3 -Recuperação de fibras no processo da Renova

Para a recuperação de fibras são utilizados aparelhos de flotação com ar dissolvido que separam as fibras da água branca. Nesta operação é possível obter uma corrente de água clarificada e uma corrente de pasta concentrada a partir da água branca provenientes da máquina de papel.

Ambas as correntes são reintroduzidas no processo em locais apropriados. No anexo A temos dois diagramas de processo onde estão devidamente identificados estes equipamentos.

1.3.1 -Equipamento DAF (Sveen)

Flotação é o processo em que o motor da separação é a força da gravidade, muito em semelhança à sedimentação. São criadas bolhas de ar nas águas a clarificar. As bolhas de ar, ao se ligarem às partículas suspensas na água, tornam a densidade aparente do aglomerado sólido-bolha menor que a densidade da água.^[13, 23] Desta forma o sólido é arrastado para a superfície, onde é retirado. Ao longo do tempo foram criadas diferentes formas produzir as bolhas, dando portanto origem a diferentes processos de flotação. Existem três tipos de flotação de ar: flotação eletrolítica, flotação com ar disperso e flotação com ar dissolvido.^[13] No caso da Renova é utilizado um sistema de flotação com ar dissolvido (DAF) como o que está representado nas Figuras 5 e 6.



Figura 5- Sveen da MP1 com o tanque de flotação (à esquerda) a rampa de recolha de pasta (à direita em cima) e corrente de água clarificada (à direita em baixo).

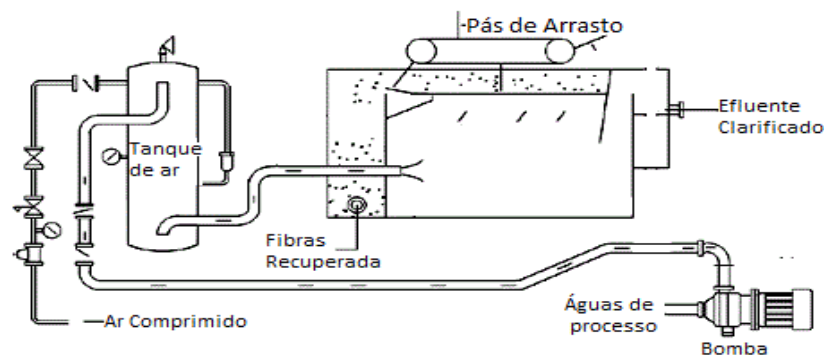


Figura 6- Aparelho de flotação com ar comprimido.

Num processo DAF o ar é dissolvido na água de processo num tanque a pressão elevada (4 a 6 bar, geralmente) e seguidamente introduzido na chamada zona de contacto de um tanque à pressão atmosférica.^[7, 11, 15] A queda súbita de pressão provoca a libertação do ar dissolvido sob a forma de pequenas bolhas (10 a 100 μm de diâmetro).^[13] Ao ascender no leito, as bolhas de ar arrastam os flocos para a superfície da água e, já na zona de separação do tanque, são separados da água clarificada.^[7, 15]

Para que o mecanismo DAF funcione com eficácia é indispensável que previamente se proceda à coagulação e floculação do influente, caso contrário será impossível formar o agregado bolha-floco.^[13] Ao chegarem à superfície, os flocos são retirados com o auxílio de um mecanismo de pás ligadas a uma corrente que percorrem a superfície da água e removem as lamas para um coletor. A água clarificada sai pela parte inferior do aparelho. Este tipo de equipamento deverá ter uma eficiência de remoção de sólidos suspensos na ordem de 95-99% e de 80%-89% para CQO.^[5, 6]

1.3.2 -Microfiltro Vargo

Este tipo de equipamento pode ser utilizado tanto na recuperação de fibras (à semelhança de um tanque de flotação) bem como para superclarificar água que já passou pela recuperação de fibras. Dependendo do seu propósito, é necessário alterar o tecido que compõe as telas filtrantes. Algumas características do tecido de maior relevância são:

- Abertura de malha – deve ser escolhida de acordo com o tipo de efluente que se pretende filtrar e a dimensão dos sólidos constituintes;
- Resistência à abrasão – uma maior resistência significa que os painéis terão que ser trocados com menor frequência;
- Resistência alcalina e resistência ácida – o material do qual é composto a tela deve ser escolhido de acordo com as propriedades alcalinas ou ácidas do efluente;

Na Figura 7 está a típica configuração de um microfiltro de tambor horizontal.

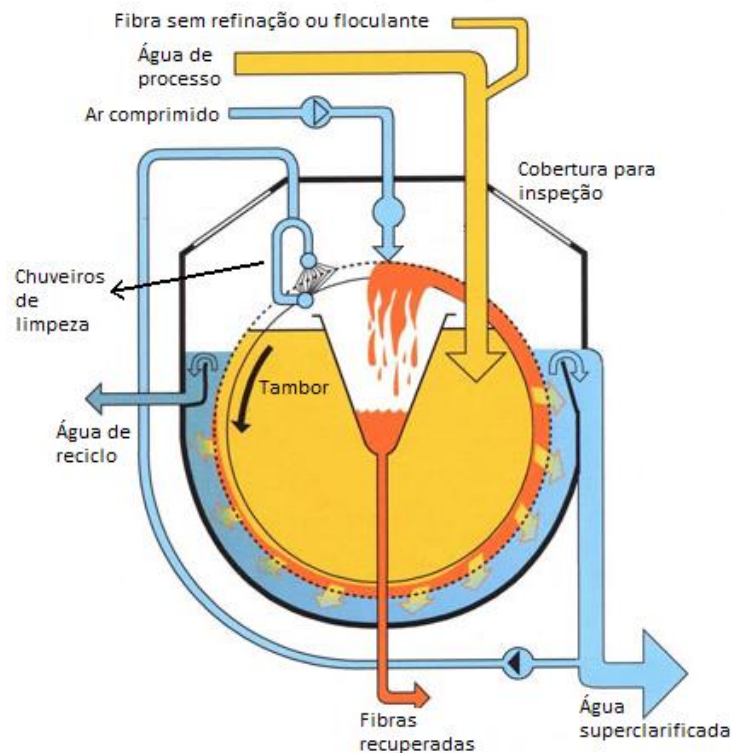


Figura 7- Microfiltro com tambor horizontal rotativo.^[12]

Na superclarificação da água de processo, a água clarificada proveniente do tanque de flotação é introduzida no tanque aberto que comunica com a parte interior do tambor horizontal que suporta a tela filtrante. A pressão exercida pela própria água dentro do tambor obriga-a a permear através da tela filtrante, onde as fibras ficam retidas. As fibras vão-se acumulando na tela enquanto o tambor faz um revolução completa e, por ação de chuveiros situados no topo do equipamento, é removida e cai num aparador. Posteriormente estas fibras são encaminhadas para uma das fossas da máquina de papel 4 e reintroduzidas no processo. A água que permeia o filtro, agora denominada superclarificada, segue para reutilização no processo, sendo que tem várias finalidades possíveis (consultar o diagrama do processo no anexo A).

CAPÍTULO 2 – Procedimentos e metodologias de análise

Neste capítulo serão descritos os procedimentos experimentais utilizados e metodologias seguidas nos estudos à frente apresentados.

Para o estudo do desempenho da estação de tratamento de resíduos da Fábrica 1 da Renova foram tratados dados de concentrações de SST, CQO e CBO₅ diárias. A partir destes valores foram calculadas as respetivas médias mensais e traçados os gráficos de interesse. Ainda dentro do estudo da ETAR1 foi efetuado um *Jar Test* para determinação da dosagem de agente coagulante consoante o caudal de água residual na corrente de entrada.

No âmbito do estudo da retenção da máquina de papel 1 foi utilizado o procedimento para determinação de concentração de SST. Para avaliar a capacidade de remoção de fibras dos tanques de flotação foram efetuados ensaios para determinação das concentrações de SST, CQO e CBO₅. Seguidamente os resultados foram traçados em gráficos.

O trabalho desenvolvido no âmbito da reativação do microfiltro de tambor rotativo consistiu num levantamento das condições mecânicas e estruturais atuais do equipamento e planificação dos trabalhos a desenvolver para que possa novamente ser utilizado, desta vez como superclarificador da água de processo.

Abaixo estão descritos os procedimentos para determinação das concentrações de SST e CQO, bem como o procedimento do *Jar Test* desde o momento da amostragem até ao trabalho desenvolvido em laboratório.

2.1 -Amostragem

No caso da ETAR1, a amostragem foi efetuada no estágio do tratamento preliminar, mais especificamente junto à gradagem antes do tanque de equalização onde é adicionado o agente coagulante.

As amostras retiradas nos DAF foram feitas em dois locais distintos:

1. À entrada do equipamento, onde ainda não ocorreu remoção dos sólidos;
2. À saída do equipamento, onde a água já está clarificada.

Para avaliação da retenção de fibras na MP1, as amostras foram retiradas:

1. Na caixa de chegada da máquina de papel;
2. Nos tabuleiros que recebem a água da mesa de formação.

Entre análises, os recipientes foram sempre lavados com água destilada. No ato da recolha foi sempre feita uma lavagem com a água de processo antes de a recolher como amostra. Os volumes de amostra variam entre 500 mL e 1000 mL.

2.2 - Determinação dos Sólidos Suspensos totais secos a 103/105°C

O procedimento para determinação de sólidos suspensos totais está descrito na Figura 8

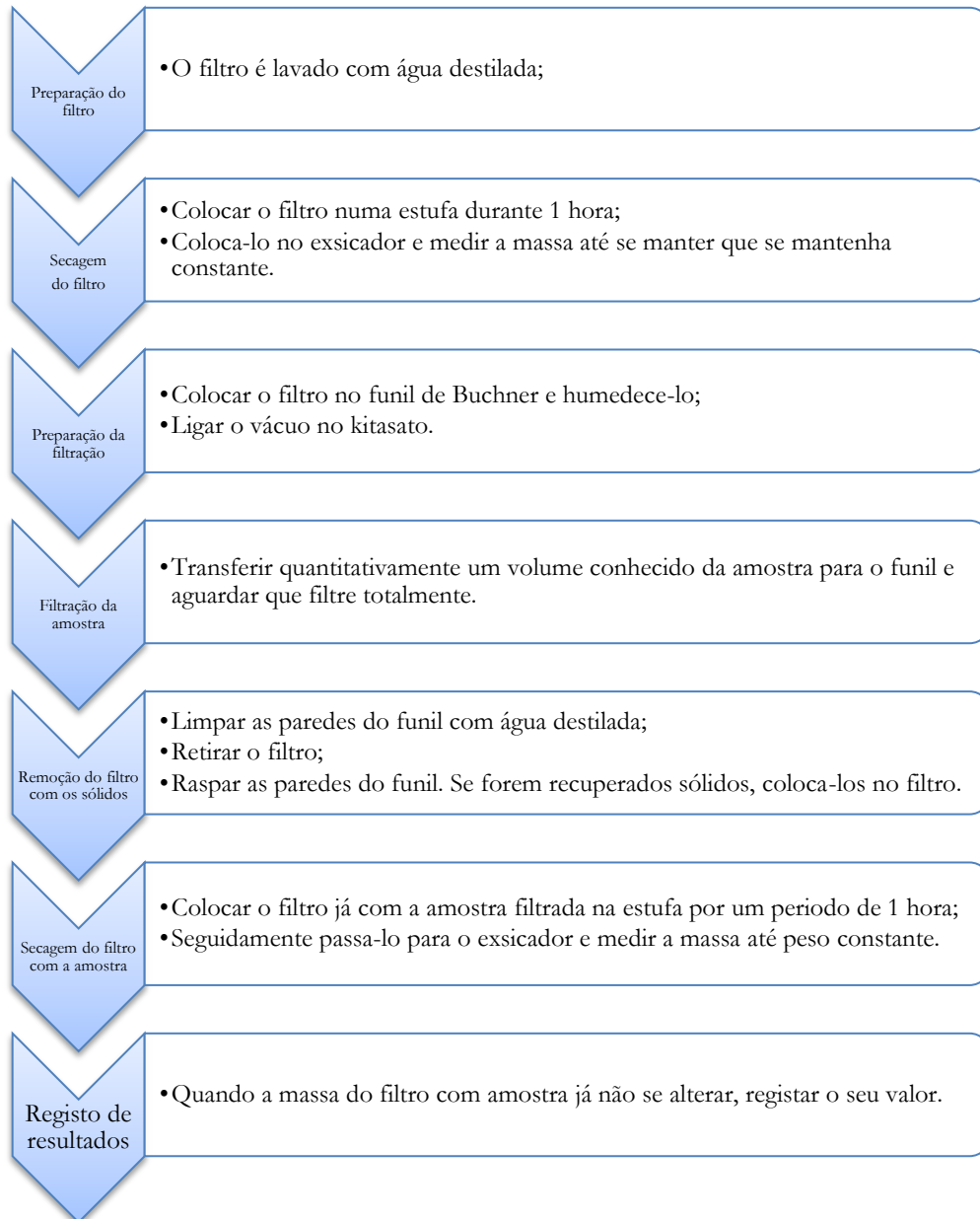


Figura 8- Procedimento experimental para determinação dos sólidos suspensos totais.

O procedimento será repetido para as amostras retiradas à entrada e saída dos equipamentos testados, como descrito na secção 2.1.

2.3 -Determinação da Carência Química de Oxigênio

Para a determinação dos níveis de CQO nas águas brancas foi utilizado o processo descrito na Figura 9.

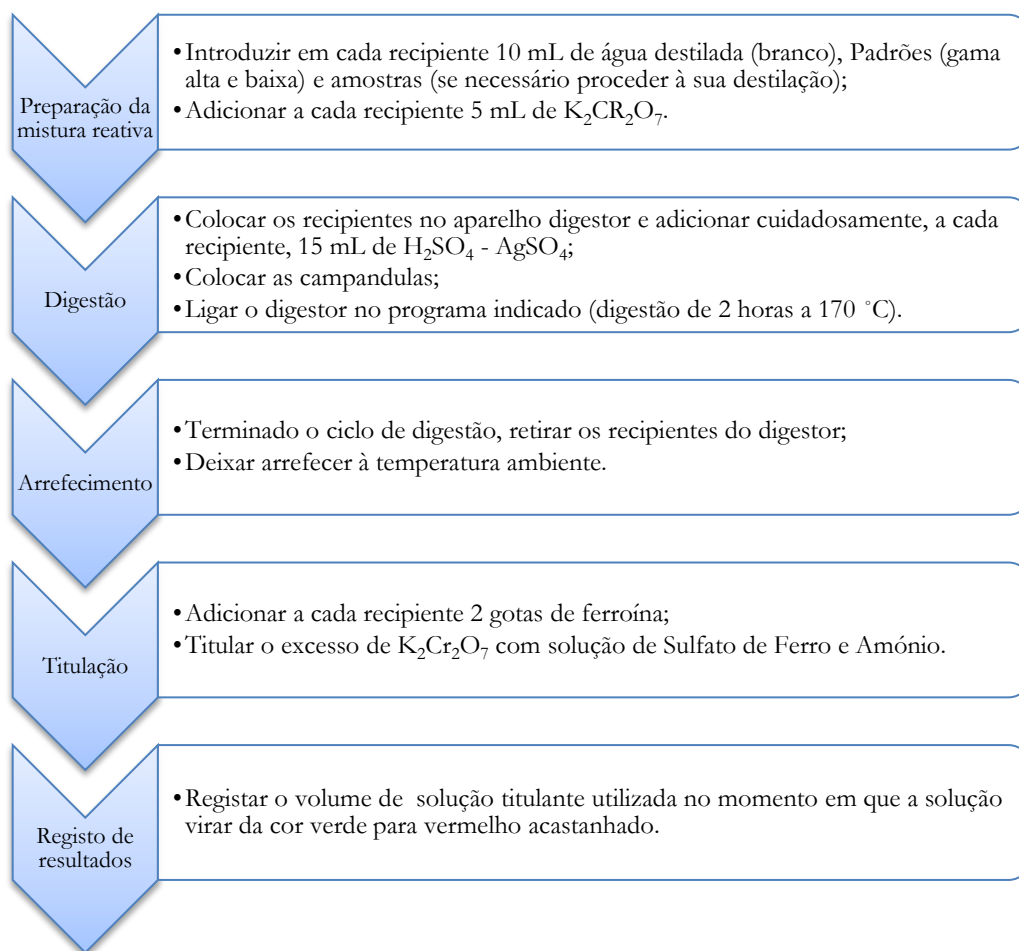


Figura 9- Procedimento experimental para determinação da carência química de oxigênio.

2.4 -Determinação da Carência Bioquímica de Oxigênio a 5 dias

Abaixo encontra-se o procedimento seguido para determinar a carência bioquímica de oxigênio a 5 dias numa amostra de água residual.

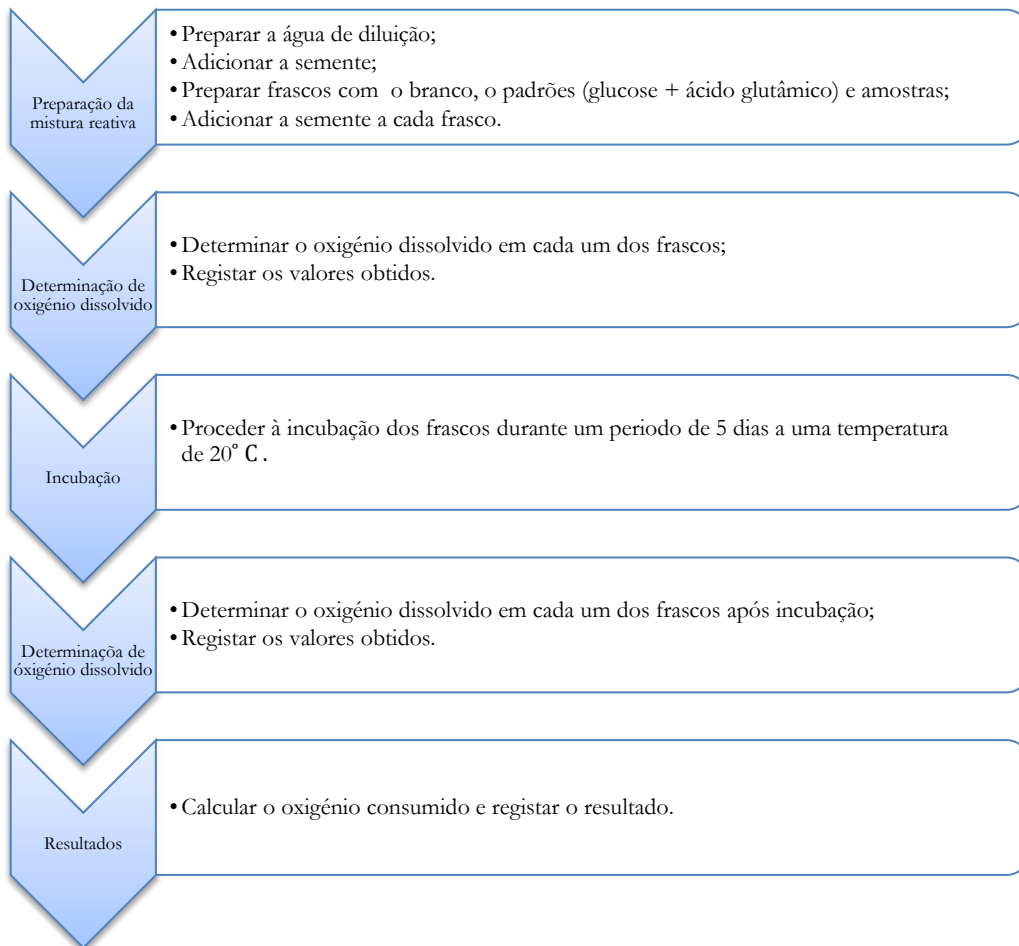


Figura 10- Procedimento experimental para determinação da carência bioquímica de oxigênio.

2.5 -Jar Test

O *Jar Test* é um procedimento amplamente utilizado para a determinação de dosagens de agentes coagulantes e floculantes a utilizar num processo em contínuo. O respetivo procedimento laboratorial encontra-se na Figura 11.

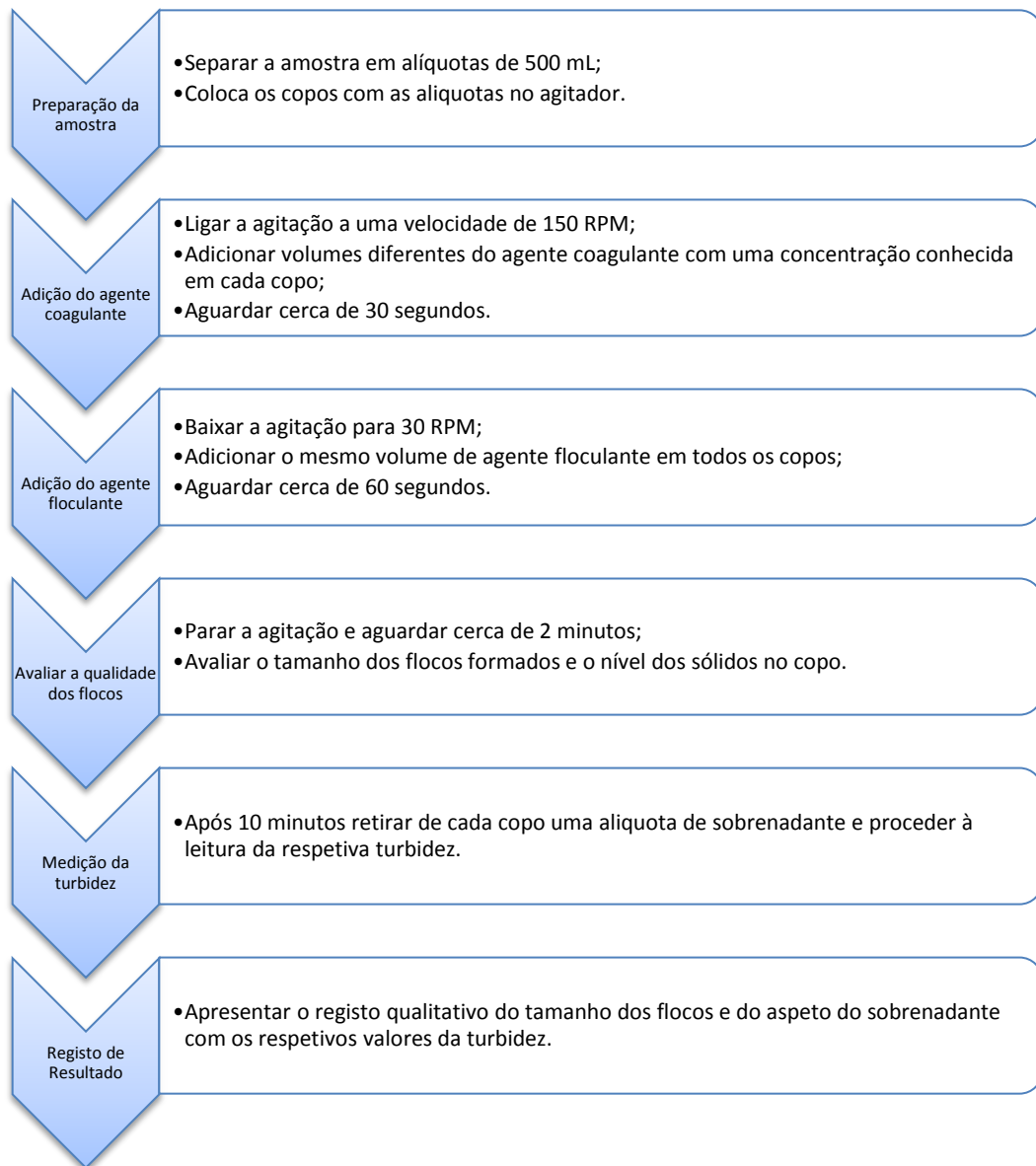


Figura 11- Procedimento laboratorial de simulação de floculação - método *Jar Test*.

CAPÍTULO 3 – Estudo da ETAR1

Neste capítulo será efetuada uma análise aos dados da ETAR1 de desde o ano 2002 até 2012 com o objetivo de estudar a sua evolução no decorrer do tempo e comparação com os valores para os quais fora projetada.

3.1 -Dados de projeto

Na Tabela 1 estão descritas as características da água residual previstas em projeto na corrente de entrada da ETAR1 e na corrente de saída, respetivamente. Pelos valores de projeto, pode-se estimar as eficiências de remoção de sólidos suspensos totais (SST), carência química de oxigénio (CQO) e carência bioquímica de oxigénio a 5 dias (CBO₅), calculadas na mesma tabela.

Dois características importantes de um decantador são o tempo de retenção e a carga hidráulica. Com um diâmetro interno de 18 m e altura cilíndrica de 4 m que lhe confere uma superfície de decantação de 254,5 m² e um volume útil de 1018 m³, a ETAR1 está projetada para funcionar com um caudal máximo de 200 m³/h, que corresponde a um tempo de retenção de 5,1 h e a uma carga hidráulica de 0,8 m/h.

Tabela 3- Valores de projeto da ETAR1.

		Caudal	pH	Temperatura	SST	CQO	CBO ₅
Influyente (bruto)	Valor do Critério	200 m ³ /h	6,0 a 8,0	28 °C	600 mg/L	400 mg/L	120 mg/L
	Valor Específico	40 m ³ /ton			25 kg/ton	16 kg/L	4,8 kg/ton
Efluente (tratado)	Valor do Critério	200 m ³ /h	6,0 a 8,0	25 °C	60 mg/L	240 mg/L	60 mg/L
	Valor Específico	40 m ³ /ton			2,4 kg/ton	9,6 kg/ton	2,4 kg/ton
Eficiência de remoção					90%	40%	50%

3.2 -Valores dos indicadores do efluente bruto face o previsto em projeto

Nas Figura 12, 13 e 14 temos representadas as concentrações de SST, CQO e CBO5 na corrente de entrada da ETAR1. Nota-se que os valores têm uma dispersão considerável. Isto acontece porque a amostragem é muito pouco frequente além de ser pontual, pelo que é mais suscetível a picos de concentração ou ao inverso. Apesar da dispersão dos valores, é possível notar um aumento da concentração dos indicadores da qualidade da água residual bruta ao longo do tempo, sendo mais perceptível para o CQO e CBO₅. Também se nota que as concentrações estiveram na sua grande maioria acima dos valores previstos em projeto.

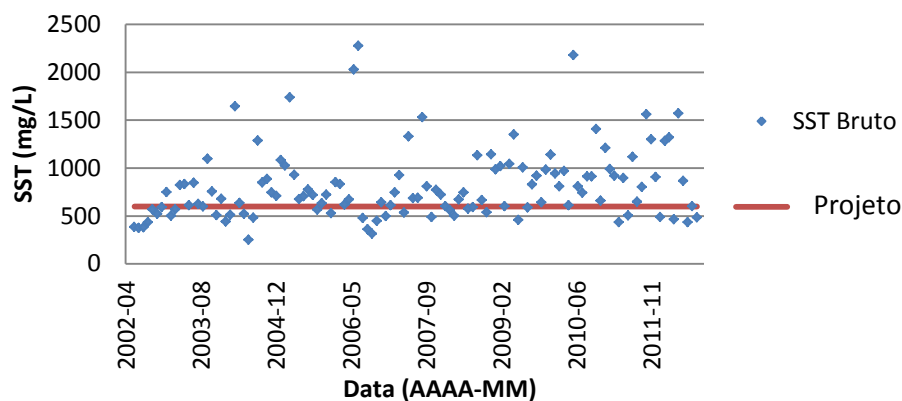


Figura 12- Evolução dos SST do efluente bruto ao longo do tempo face ao previsto em projeto.

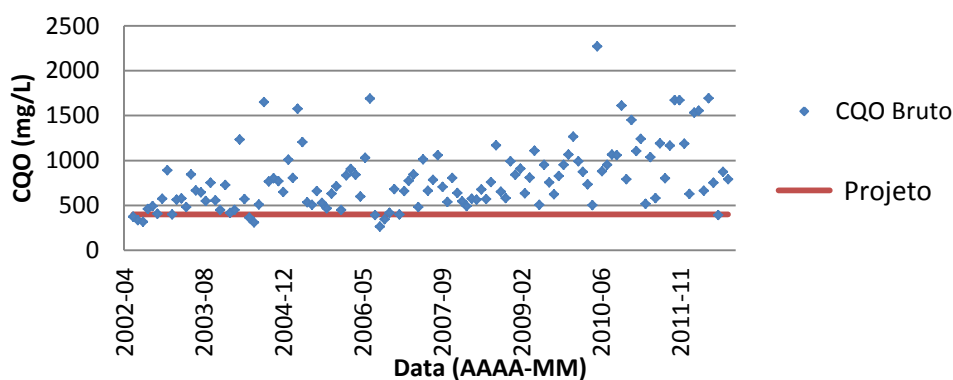


Figura 13- Evolução do CQO no efluente bruto ao longo do tempo face ao previsto em projeto.

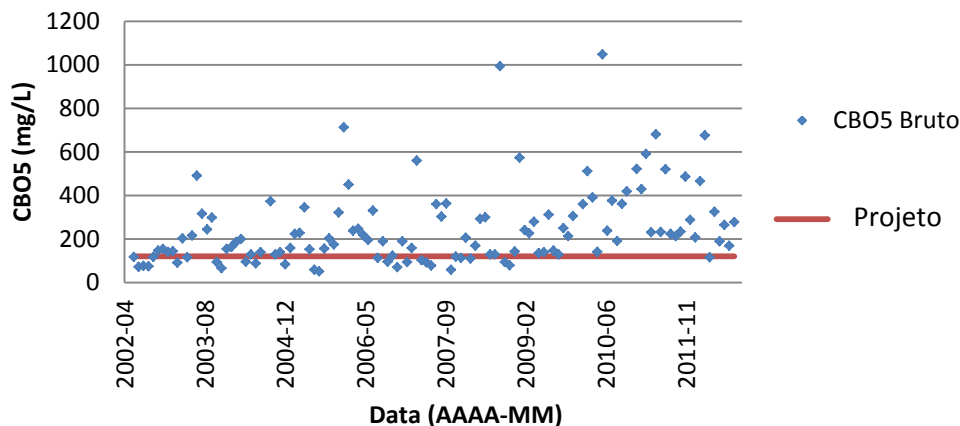


Figura 14- Evolução do CBO₅ no efluente bruto ao longo do tempo face o previsto em projeto.

3.3 - Valores dos indicadores do efluente tratado face os VLE em vigor

Nas Figura 15, 16 e 17 temos a evolução das concentrações à saída de SST, CQO e CBO₅, respetivamente, ao longo do tempo face os valores limite de emissão.

Nos sólidos suspensos totais podemos observar dois períodos distintos: o primeiro de 2002 até início de 2007 e o segundo desde 2007 até finais de 2012. No primeiro período, a concentração de SST é ligeiramente inferior, registando-se de seguida um pequeno aumento. No entanto, os SST mantiveram-se sempre abaixo do valor limite de emissão, de 60 mg/L.

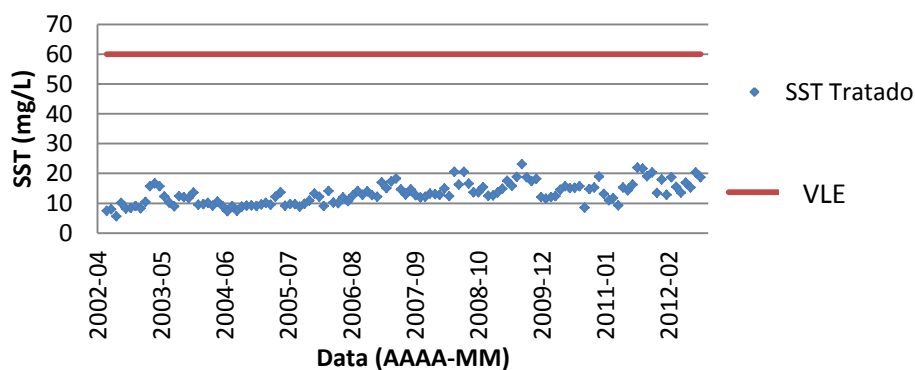


Figura 15- Evolução dos SST no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.

No caso do CQO e CBO₅ são visíveis três períodos distintos, sendo o primeiro localizado entre Junho de 2002 e Outubro de 2006, o segundo de Novembro de 2006 a Dezembro de 2008 e o terceiro em Janeiro de 2009 até Outubro de 2012. A tendência que se verifica é de aumento das concentrações de CQO e CBO₅. Em 2002 libertava-se para o corpo recetor uma água residual com concentrações médias de CQO de 48 mg/L e 11 mg/L de CBO₅ para, no último período, aumentar para 102 mg/L no caso de CQO e 25 mg/L de CBO₅ estando, em alguns momentos, em transgressão dos valores limite de emissão, de 150 mg/L para CQO e 40 mg/L para CBO₅.

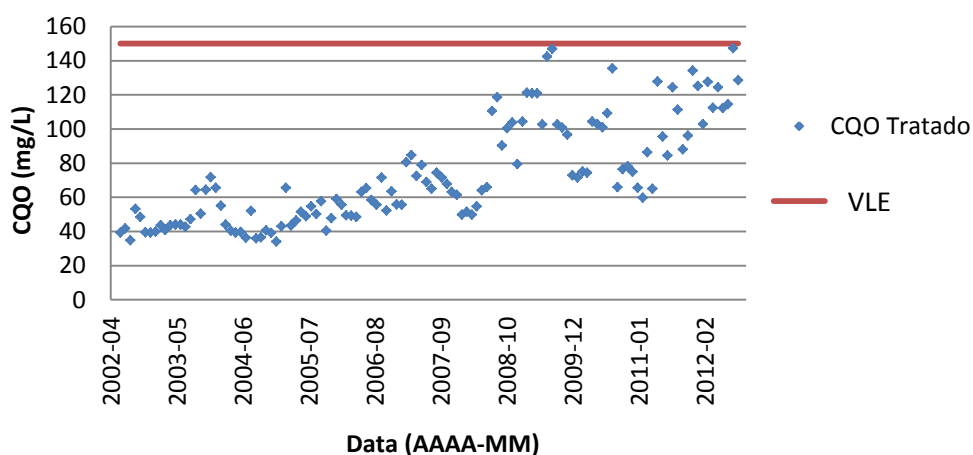


Figura 16- Evolução do CQO no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.

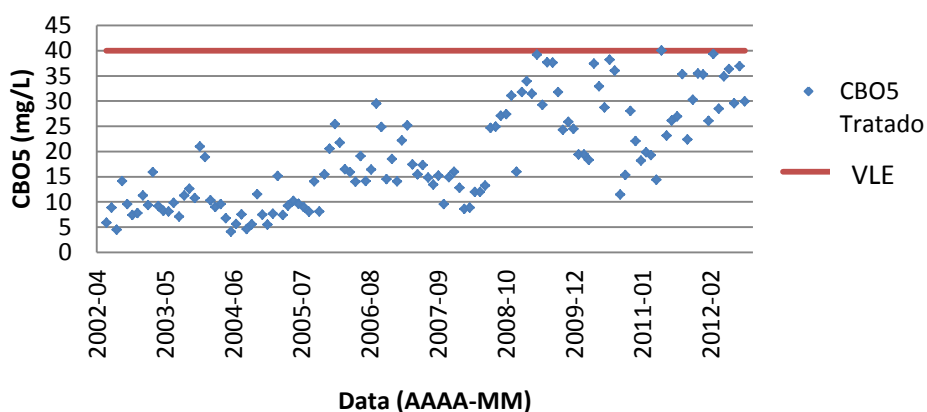


Figura 17- Evolução do CBO₅ no efluente tratado ao longo do tempo face o VLE.

3.4 -Eficiência de remoção

A partir dos dados de concentração registados nas correntes à entrada e à saída da ETAR1 foi calculada a eficiência de remoção para cada um dos indicadores. Os resultados obtidos estão expressos nas Figura 18, 19 e 20. Temos uma eficiência de remoção de SST de aproximadamente 98% contra os 90% previstos em projeto. Para o CBO₅ e CQO temos uma eficiência de remoção média de 89% e 89%, respetivamente, contra os 40% previstos para CQO e 50% para CBO₅.

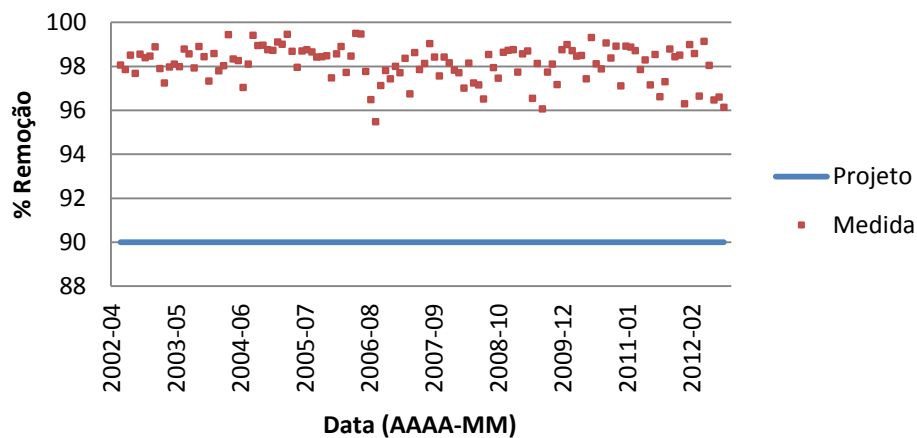


Figura 18- Eficiência de remoção de SST ao longo do tempo, face o previsto em projeto.

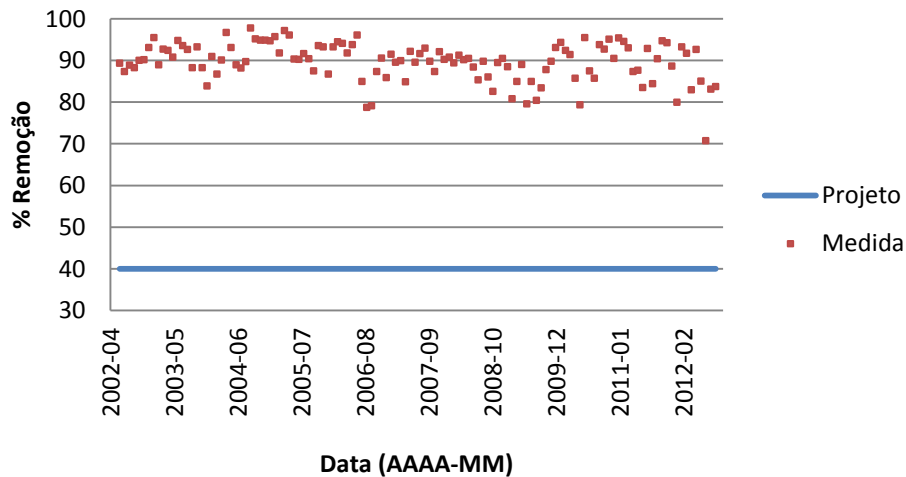


Figura 19- Eficiência de remoção de CQO ao longo do tempo, face o previsto em projeto.

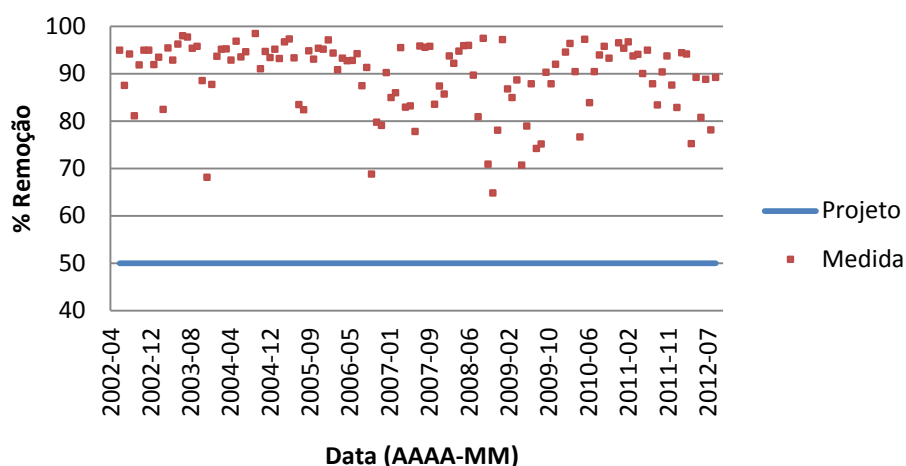


Figura 20- Eficiência de remoção de CBO₅ ao longo do tempo, face o previsto em projeto.

Apesar de a eficiência ser superior à prevista, os valores de CQO e CBO₅ têm vindo a aumentar, chegando até a ultrapassar o limite legal, como se pode constatar na secção anterior. Se analisarmos a evolução da eficiência de remoção no tempo poderemos observar que foi sensivelmente a partir de Outubro de 2006 que se começaram a registar maiores flutuações na percentagem de poluentes removidos.

3.5 -Estudo do impacto da percentagem de pasta reciclada utilizada nos níveis dos indicadores da qualidade do efluente

Para estudar o efeito da utilização de fibras recicladas na produção de papel nos indicadores da qualidade da água residual representou-se as concentrações de SST, CQO e CBO₅ ao longo do tempo face a percentagem de fibras recicladas utilizadas na produção de papel. Os resultados estão nas Figura 21, 22 e 23. Ao longo do tempo a quantidade de fibra reciclada utilizada na produção de papel aumentou e, com isso, registou-se também um aumento das concentrações dos indicadores. No entanto no período entre o início de 2007 até ao fim de 2008 em nota-se que um aumento da percentagem de fibra reciclada coincide com uma diminuição das concentrações destes indicadores. Não foi possível apurar as causas deste comportamento que vai contra a sua tendência nos períodos antes e depois do descrito. No restante período verifica-se que o comportamento das concentrações é semelhantes ao da percentagem de pasta reciclada.

No caso dos SST, o seu comportamento foi sempre semelhante ao da percentagem de pasta reciclada, levando a admitir que a maior utilização de fibras recicladas poderá ser uma das causas que levou ao aumento da concentração dos indicadores.

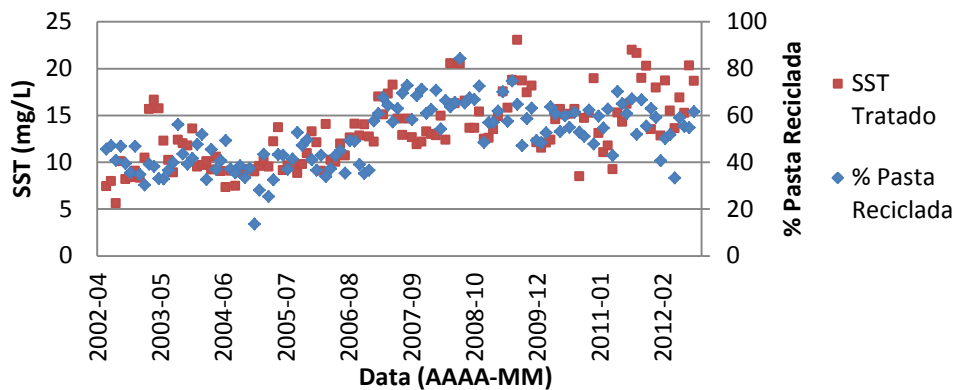


Figura 21- Evolução dos níveis de SST no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.

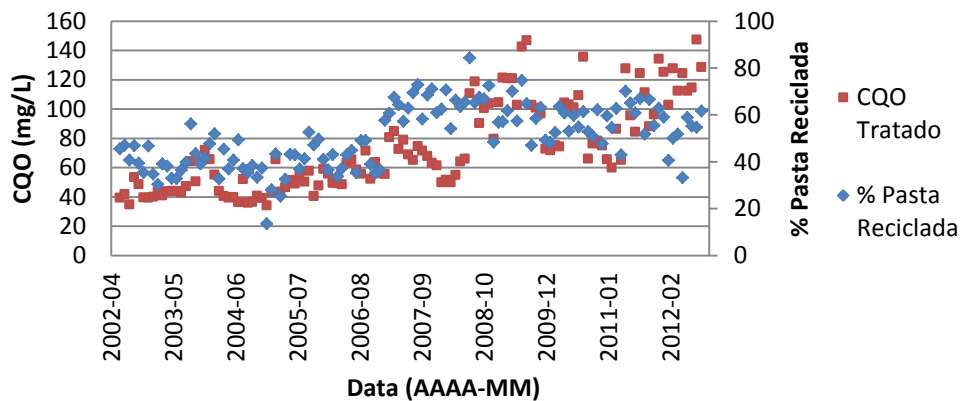


Figura 22- Evolução dos níveis de CQO no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.

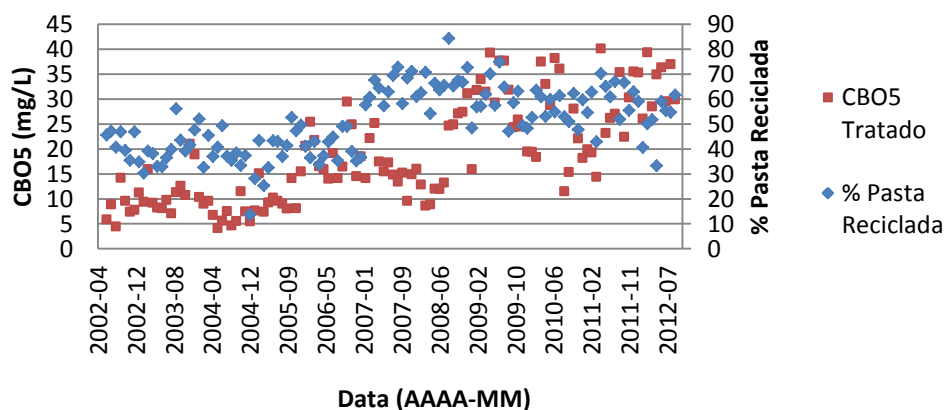


Figura 23- Evolução dos níveis de CBO5 no decorrer do tempo, face a percentagem de pasta reciclada utilizada.

Para comprovar se, de facto, a pasta reciclada tem uma maior contribuição para os indicadores da qualidade de um efluente, foram efetuados alguns ensaios de CQO À água permeada através de um filtro de 45 μm (semelhante a uma mesa de formação da máquina de papel) com fibras virgens (de origem resinosa e folhosa), fibra mecânica e fibras recicladas (alfa e *strange*). Os resultados obtidos estão na Tabela 4.

Tabela 4- Contribuição dos diferentes tipos de fibra para os níveis dos principais indicadores da qualidade de efluentes.

Tipo de fibra	CQO Filtrado 0,45 μm (mg/L)
Resinosa	6,3
Folhosa	10,2
Mecânica	72,1
Alfa	46,8
Strange	66,8

A contribuição das pastas virgens para o nível de CQO confirma-se desprezável face à contribuição das pastas recicladas e mecânica. Note-se que a pasta mecânica é a que mais contribui. No entanto à escala industrial não terá grande impacto uma vez que a percentagem de pasta mecânica utilizada por carga é muito reduzida em relação às pastas virgens e recicladas. Dentro da categoria de pasta virgem, é a pasta derivada de folhosas que mais contribui para o CQO. Relativamente à pasta reciclada, a *strange* é a que confere níveis mais elevados de CQO à água residual.

A partir destes resultados preliminares é possível admitir que a utilização crescente de pasta reciclada poderá estar a contribuir para o aumento dos indicadores da qualidade do efluente.

Isto acontece porque a pasta reciclada apresenta um teor em finos superior que não participam na formação da folha e permanecem no efluente. No entanto um estudo mais aprofundado é aconselhável.

3.6 -Estudo da existência de um efeito de concentração

Para estudar se ocorreu um efeito de concentração no decorrer do tempo calculou-se o caudal mássico médio mensal de cada um dos indicadores de qualidade da água residual para as correntes de entrada e saída na ETAR1. De seguida representou-se face o caudal volumétrico. Os resultados estão nas Figura 24, 25 e 26.

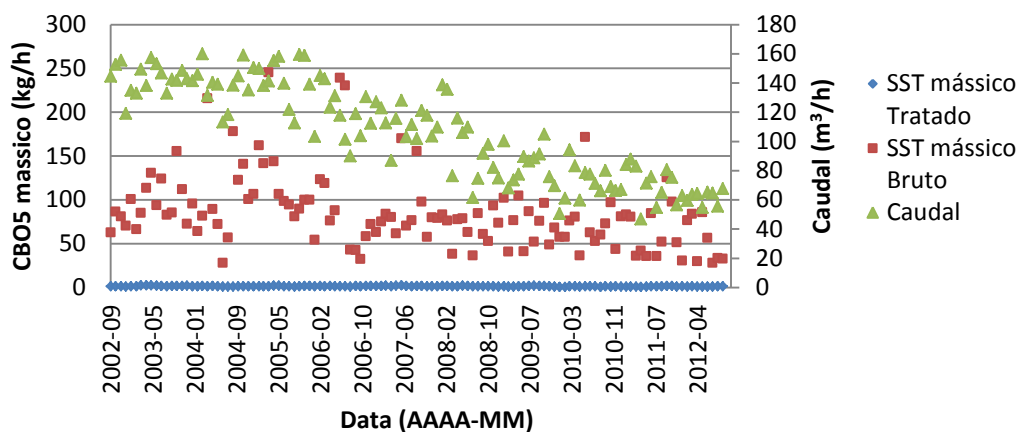


Figura 24- Evolução dos caudais mássicos de SST bruto e tratado face ao caudal volumétrico.

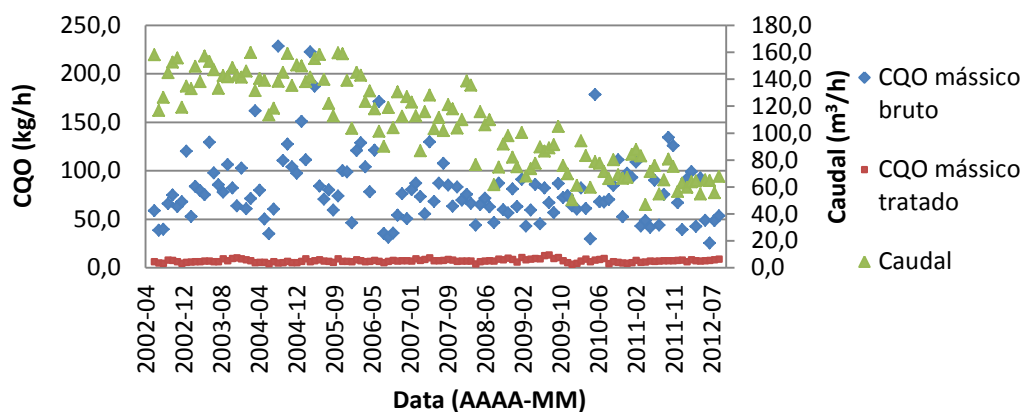


Figura 25- Evolução dos caudais mássicos de CQO bruto e tratado face ao caudal volumétrico.

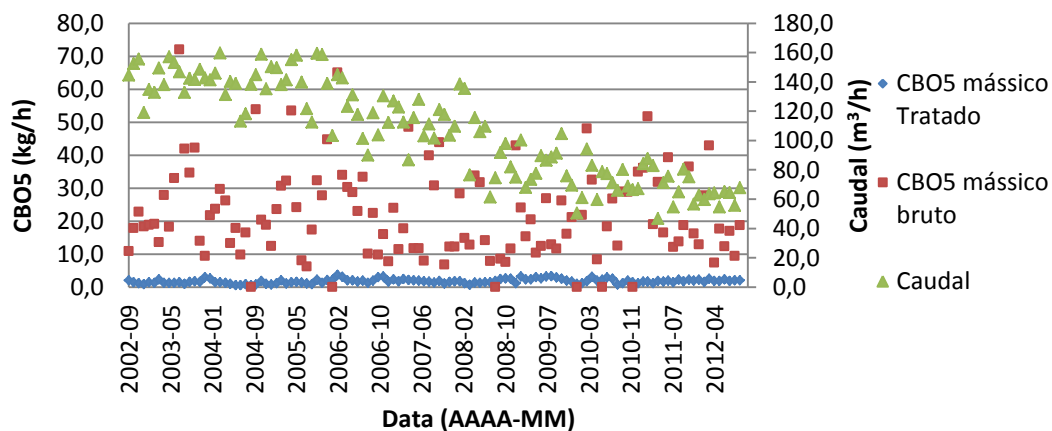


Figura 26- Evolução dos caudais mássicos de CBO5 bruto e tratado face ao caudal volumétrico.

De facto, ao avaliar os resultados, é possível identificar a existência de um efeito de concentração. Temos que o caudal volumétrico diminuiu ao longo do tempo, resultando em um decréscimo de 47% no período do qual temos dados. Já os caudais mássicos dos indicadores na corrente de entrada e saída têm-se mantido relativamente constantes. Isto traduz-se num aumento da concentração, como se pode ver na Tabela 5. Outra consequência da diminuição do caudal é o aumento do tempo de retenção na bacia de sedimentação. No primeiro período registado na Tabela 5 o tempo de retenção correspondente era de 7 horas, um valor já acima do previsto em projeto e do tempo de retenção habitualmente utilizado neste tipo de processo, segundo a literatura. No último período o tempo de retenção subiu para 14 horas. Tempos de retenção muito elevados podem levar à degradação da matéria orgânica em suspensão, afetando o desempenho do decantador.

Tabela 5- Valores de caudal médio para os três períodos (antes, durante e depois do *upgrade* da MP4)

	Caudal (m ³ /h)	Indicadores de qualidade					
		SST (mg/L)		CQO (mg/L)		CBO ₅ (mg/L)	
		Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Jun 2002 - Out 2006	137	752,2	10,5	668,7	48,7	180,3	11,4
Nov 2006 - Dez 2008	107,4	735,4	14,7	692,0	72,2	177,0	17,5
Out 2008 - Jan 2012	72,3	916,6	15,6	1009,6	102,6	315,7	28,4

Uma das possíveis causas da existência de um efeito de concentração será o *upgrade* da máquina de papel 4, que consistiu no fecho do seu circuito. Numa tentativa de economizar recursos hídricos, os circuitos das máquinas de papel têm sido cada vez mais fechados. Desta forma é necessária menos água para produzir a mesma quantidade de papel. No entanto, uma vez que a água permanece mais tempo no circuito, quando é renovada sai com uma concentração em agentes poluentes superior.

Na Figura 27 estão representados a concentração de CQO (a título de exemplo) e o caudal a tratar ao longo do tempo. Estão também identificados no tempo os momentos do início e fim dos trabalhos de fecho do circuito de águas da máquina 4.

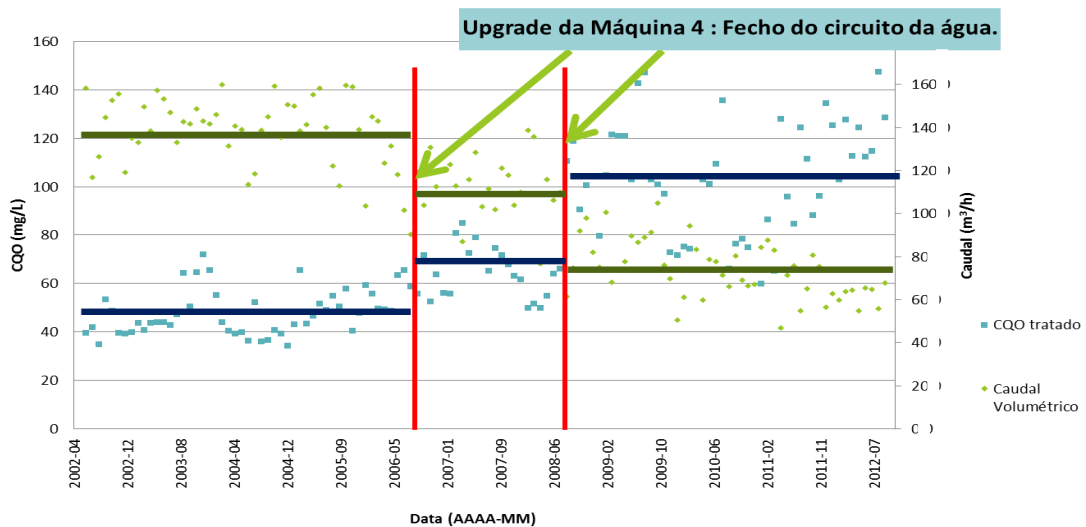


Figura 27- Impacto do *upgrade* da máquina 4 na corrente de efluente tratado.

Os patamares a azul-escuro representam a concentração mássica média para cada um dos períodos. De forma análoga, os patamares a verde-escuro representam o caudal volumétrico médio em cada um dos três períodos. De facto, os momentos do início e fim do *upgrade* da máquina 4 coincidem com as alterações da concentração de CQO na corrente de saída da ETAR1. A partir do momento em que se dá início aos trabalhos de fecho de circuito de água na máquina de papel 4 há uma diminuição do caudal que chega à ETAR1 e um aumento da concentração de CQO do mesmo. Na data que marca o fim dos trabalhos do *upgrade* dá-se uma nova diminuição do caudal acompanhado de aumento da concentração do CQO. O *upgrade* da máquina de papel 4 surge então como uma das causas do aumento da dificuldade de tratamento do efluente.

3.7 -Observações

No decorrer deste estudo foi possível observar o espaço físico da ETAR1 e o seu funcionamento. Daqui surgiram algumas observações que serão pertinentes mencionar. São elas:

- A extração e prensagem de lamas pode ter uma interrupção que chega a dias. Isto poderá levar a uma acumulação excessiva de lamas e saturação da bacia de sedimentação;
- As bombas submersíveis no tanque de equalização que enviam o efluente para o canal *Parshall*, quando funcionam as três, só param quando o nível no tanque está muito

baixo, interrompendo por completo a alimentação do decantador. Como resultado temos grandes oscilações de caudal de alimentação do decantador;

- A introdução do agente coagulante no tanque e respetiva dosagem é controlada manualmente. Desta forma acontece que, por vezes, a dosagem do químico é igual quer tenhamos um caudal máximo ou mínimo;
- O local de introdução do agente coagulante é a no tanque de equalização e não numa picagem na tubagem que envia o efluente para o decantador;
- O agente floculante é introduzido já no canal *Parshall*, tornando mais difícil avaliar o seu desempenho uma vez que não é dado tempo para obter uma boa mistura antes de seguir para a bacia de sedimentação;

3.8 -Resultados da determinação da dosagem de coagulante

Foram executados três ensaios a alíquotas de uma amostra da corrente de entrada da ETAR1 para determinar a dosagem de agente coagulante em função do caudal. O agente coagulante é o policoreto de alumínio e o agente floculante é poliamida. Os resultados estão na Tabela 6.

Tabela 6- Resultados do *Jar Test* para determinação da dosagem de coagulante.

		V_{amostra} (mL)	$V_{\text{floculante}}$ (mL)	$V_{\text{coagulante}}$ (mL)*	Turbidez (NTU)	Observações
Ensaio 1	Copo 1	500	0,2	1	5,5	Não se verifica grande alteração na sedimentação entre os copos. Possivelmente a dose mínima de floculante já é superior ao necessário.
	Copo 2	500	0,2	2	12	
	Copo 3	500	0,2	3	8,9	
	Copo 4	500	0,2	4	6,9	
	Copo 5	500	0,2	5	6,3	
Ensaio 2	Copo 1	500	0,1	1	13	É visível que a sedimentação é muito ligeiramente melhor no copo 1.
	Copo 2	500	0,1	2	10	
	Copo 3	500	0,1	3	7,6	

Ensaio 3	Copo 1	500	0,05	1	5,90	Os copos 2 e 3 decantaram significativamente mais rápido. Não se observou uma formação de flocos no copo 4. Dos três ensaios notou-se uma melhor decantação no copo 1 do ensaio 3 (mais rápido e com formação de melhores flocos)
	Copo 2	500	0,05	2	6,80	
	Copo 3	500	0,05	3	7,40	
	Copo 4	500	0,05	0	8,30	

*A solução de coagulante usada foi diluída (1 mL de reagente em 100 mL de água).

Os testes efetuados mostraram que o volume de 1 ml de agente coagulante é suficiente para uma boa sedimentação. Segundo indicações do fornecedor, cada uma das bombas submersíveis do tanque de equalização debitam 70 m³/h de efluente. Na Tabela 7 estão os caudais de agente coagulante a utilizar para quando temos uma, duas ou as três bombas a funcionar em simultâneo.

Tabela 7- Dosagem de agente coagulante para valor de caudal de efluente.

	Caudal de efluente (m³/h)		
	70	140	210
Caudal de Coagulante (L/h)	1,4	2,8	4,2

No entanto é aconselhável um acompanhamento da ETAR1 após a implementação de um sistema de caudal de alimentação de agente coagulante variável em função do caudal de efluente a tratar no sentido de avaliar a qualidade da floculação e sedimentação e proceder a uma otimização se necessário.

CAPÍTULO 4 – Recuperação de fibras.

Desempenho dos tanques de flotação

Nesta secção será inicialmente efetuado uma análise da capacidade de retenção de fibras da máquina de papel 1. Seguidamente serão dispostos os resultados da análise ao desempenho dos equipamentos de flotação, e a sua discussão.

4.1 -Retenção na Máquina de Papel 1

No início dos trabalhos foi efetuado um estudo à capacidade de retenção de fibras da máquina de papel 1. Na Figura 28 estão os resultados para a retenção fibras.

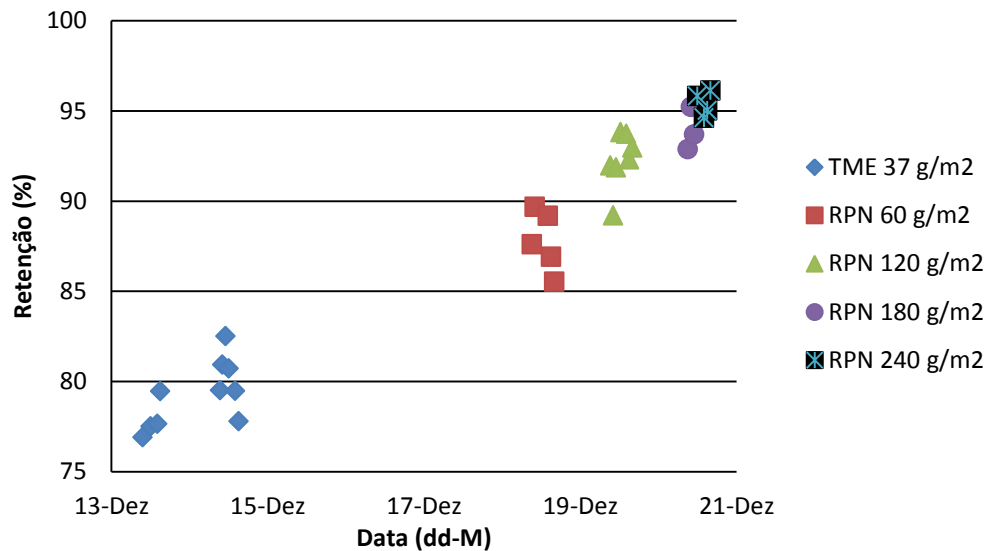


Figura 28- Retenção de fibras na mesa de formação da MP1.

De facto é notável que nunca se aproveita a totalidade das fibras que chegam à mesa de formação, sendo que a quantidade de fibras que permeiam a teia é tanto menor quanto mais elevada for a gramagem do papel em produção. Isto poderá ser explicado pelo facto de ao aumentar a espessura camada de suspensão que é aplicada na teia de formação, as primeiras fibras irão colmatar a teia e fornecer um suporte para as camadas acima, prevenindo que estas permeiem.

Está aqui a confirmação de uma problemática importante. É crucial que as fibras que se perdem nesta fase sejam posteriormente recuperadas, de forma a mitigar as perdas financeiras inerentes.

4.2 -DAF da Máquina de Papel 1

Na máquina de papel 1 foi monitorizada a recuperação de fibras para fabricos de:

1. Toalhas de Mesa (TME);
2. Renova Printe (RP/N);
3. Papel Vegetal (VA/A).

Abaixo, nas Figura 29, 30 e 31, estão os respectivos resultados, pela mesma ordem.

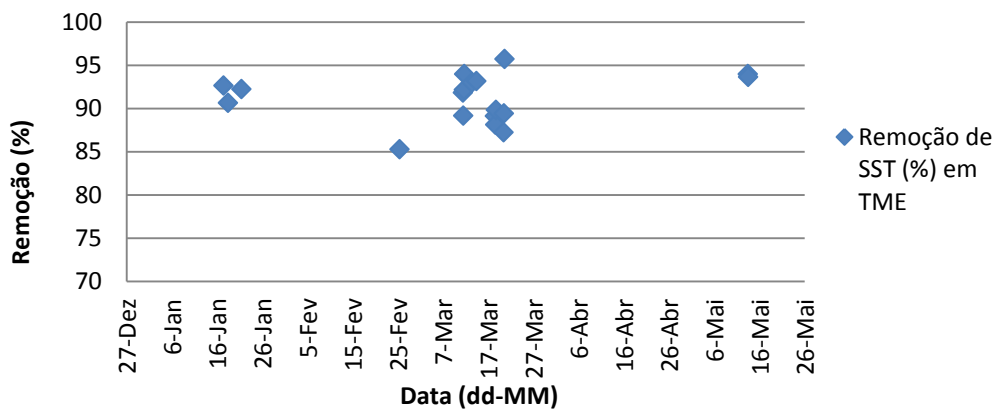


Figura 29- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de Toalhas de Mesa na máquina de papel 1.

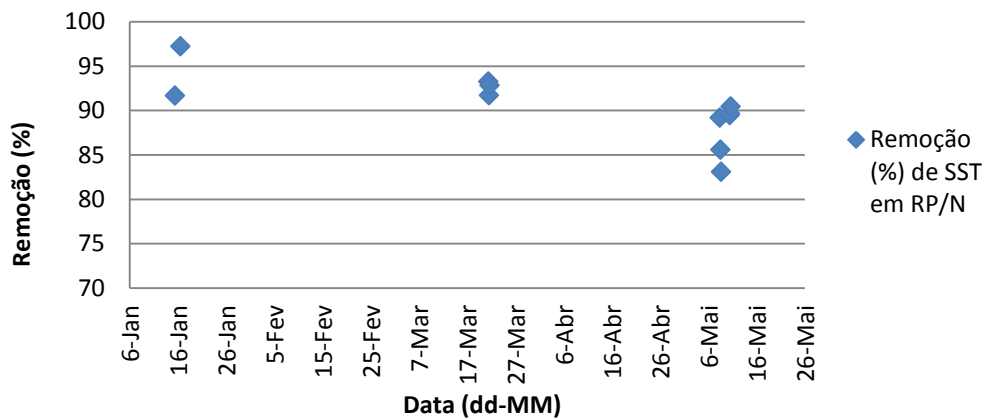


Figura 30- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de RenovaPrinte na máquina de papel 1.

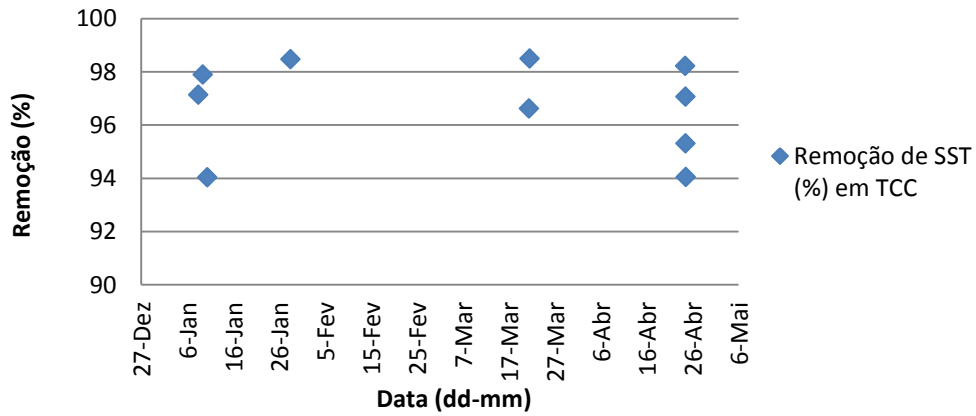


Figura 32- Eficiência de remoção do Sween para uma produção de tissue para rolos de cozinha na Máquina de Papel 4.

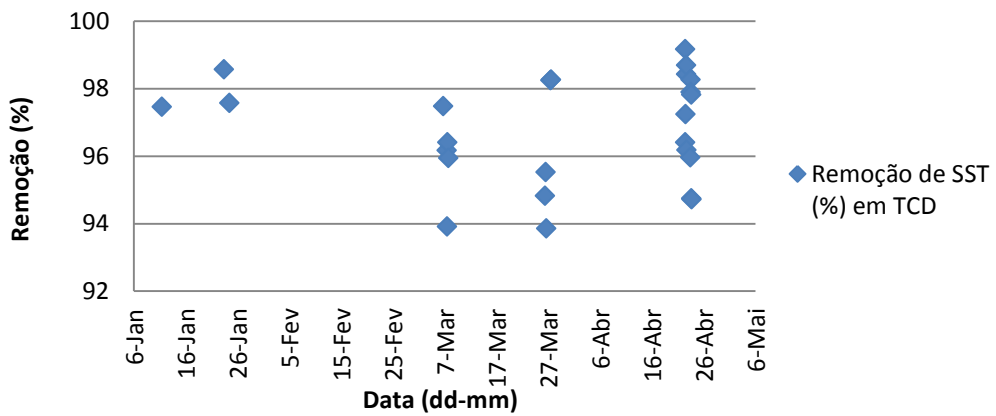


Figura 33- Eficiência de remoção do Sween para uma produção de tissue para rolos industriais na Máquina de Papel 4.

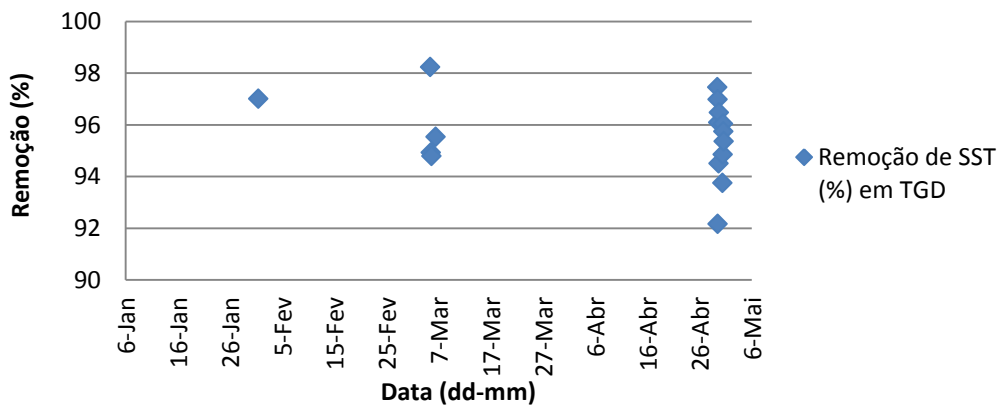


Figura 34- Eficiência de remoção do Sween para uma produção de tissue para guardanapos de duas folhas de cor rosa na Máquina de Papel 4.

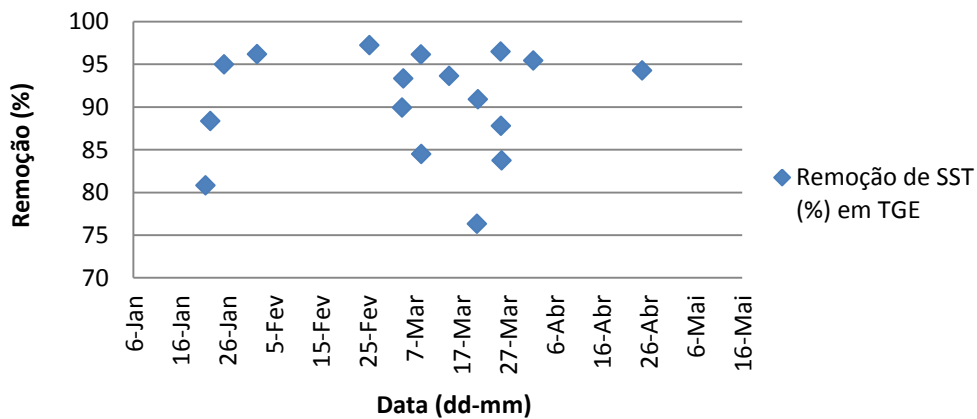


Figura 35- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para guardanapos de uma folha na Máquina de Papel 4.

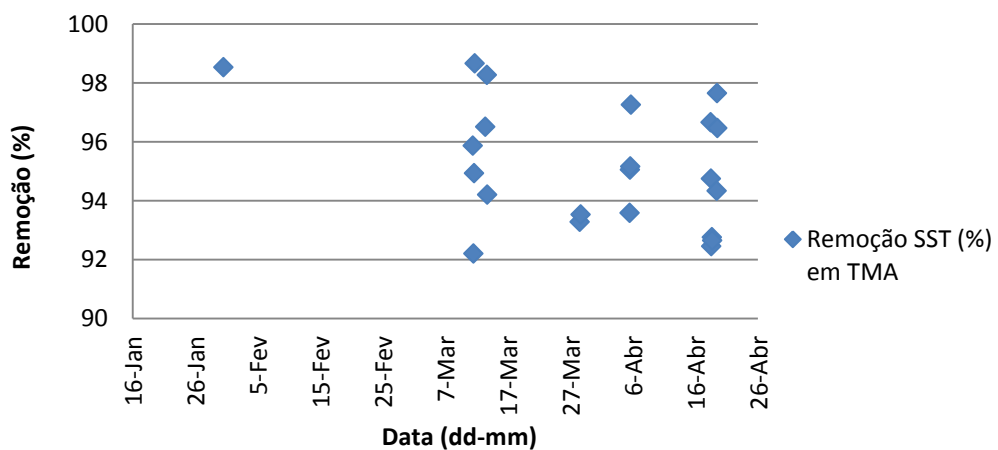


Figura 36- Eficiência de remoção do Sveen para uma produção de tissue para toalhas de mão na Máquina de Papel 4.

De forma idêntica ao Sveen da MP1, também o da MP4 demonstra uma capacidade de remoção de sólidos suspensos totais satisfatória. À exceção do fabrico de TGE, todos os restantes têm uma remoção de SST acima de 90%. No caso de TGE verifica-se uma dispersão maior, estando no intervalo de 80% a 97%.

4.4 -Observações

Após uma observação ao funcionamento dos tanques de flotação notaram-se algumas limitações ao seu funcionamento ótimo como:

- A alimentação dos agentes coagulante e floculante ocorre já no interior do tanque de flotação, pelo que os reagentes poderão não ter o tempo suficiente para atuar;
- O controlo sobre o funcionamento do tanque é relativamente pobre, sendo que só é vigiado pelos colaboradores intermitentemente. Isto resulta por vezes numa resposta lenta a perturbações no sistema, que pode levar à criação de problemas no processo de fabrico. Uma vez que a água clarificada é utilizada na máquina de papel, uma elevada concentração de sólidos pode entupir os chuveiros ou sujar os rolos da máquina.

CAPÍTULO 5 – Estudo do microfiltro VARGO

Neste capítulo será colocado o estudo efetuado ao microfiltro VARGO, mais concretamente às operações necessárias a proceder para a sua reativação.

5.1 -Especificações técnicas do VARGO

Trata-se de um microfiltro de tambor rotativo cujo princípio de funcionamento já foi explicado na secção 1.3.2. As suas especificações técnicas são:

- Comprimento: 5 m;
- Diâmetro do tambor: 2,4 m;
- Perímetro: 7,54 m;
- Largura útil: 11 m;
- Área filtrante: 85 m²;
- Número de telas: 30;
- Área filtrante por painel: 2,9 m²;
- Número de chuveiros de lavagem da tela: 2 (um interior e um exterior);
- Concentração de fibras na água clarificada: 10 a 100 mg/L.

A dobra em “V” das telas aumenta 2,3 vezes a largura útil da tela, passando de 5 m (largura do tambor) para 11,3 m. À semelhança da Figura 7, o VARGO também tem a possibilidade de instalação de bicos de jato de ar no topo.

5.2 -Estado atual do VARGO e operações necessárias à sua reativação

Para avaliar as operações necessárias à reativação do microfiltro, foi feito previamente um levantamento das condições físicas e mecânicas do aparelho e operações necessárias para a respetiva reparação. O resultado encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8- Reparções a efetuar ao VARGO para posterior reativação.

Situações a requerer reparação	Operações de reparação e manutenção	Observação
Foram detetadas fragilidades estruturais no tambor (fendas)	Reparação das fendas	
Externamente, as tubagens estão em boas condições gerais	Não necessita de reparação	Antes do arranque do equipamento deverá proceder-se à lavagem prévia da tubagem
O dreno da regadeira está danificado	Reparação ou substituição do tubo	
Apenas o chuveiro que lava a parte externa do filtro se encontra instalado	Será necessário retirar o chuveiro para manutenção e instalação de um manómetro	
Os bicos de jato de ar foram removidos	Não necessita de reparação	Numa fase inicial não serão utilizados
A atual bomba de alimentação não preenche os requisitos para essa função	Substituição por uma bomba com um caudal de 120-150 m ³ /h à altura manométrica de 17m	
A bomba de alimentação dos chuveiros está funcional	Não necessita de reparação	Atualmente esta bomba já serve os chuveiros da MP4
Tanque 406 está a transbordar para tanque 408 e não o contrário	Inversão do sistema de transbordo	
Todas as telas filtrantes se encontram inutilizáveis	Substituição da totalidade da tela filtrante	A tela passará agora a ter uma abertura de malha inferior

Além das operações descritas acima também será necessário alterar a tubagem da saída do tanque principal para o silo bem como da tubagem do aparador das fibras recuperadas. Através da instalação de interligações e de válvulas será possível isolar o Vargo do restante circuito da MP4, caso seja necessário proceder a operações de manutenção. Desta forma não se correrá o risco de perturbar o processo de fabrico. Até ao momento do término deste documento foram executadas algumas das operações. No entanto ainda faltam mais alguns procedimentos para que possa ser testado como superclarificador, pelo que não foi possível testar a sua eficiência e viabilidade.

Conclusões e sugestões

Conclusões

Ao longo dos últimos anos, a Fábrica 1 da Renova, S.A. sofreu alterações no seu processo de fabrico como a crescente utilização de pasta de papel reciclada e o fecho do circuito da máquina de papel 4. Como consequência, o efluente que chega à estação de tratamento de resíduos sofreu uma alteração nas suas características. Ocorreu uma diminuição do caudal médio, acompanhado de um agravamento das concentrações dos indicadores de qualidade do efluente como o SST, CQO e CBO₅. Um caudal agora menor refletiu-se num aumento do tempo de retenção do efluente na bacia de sedimentação, que chegou a valores muito superiores aos de projeto e ao aconselhado pela literatura para este tipo de tratamento. Apesar de a ETAR1 ter vindo a conseguir tratar o efluente (até com uma eficiência superior à prevista) de forma a respeitar os valores limite de emissão impostos, é importante que se proceda a algumas alterações no processo e a um controlo mais apertado. Em decantadores para tratamento primário, a eficiência do equipamento pode ser adversamente afetada por grandes oscilações no caudal de entrada. Ao ligar e desligar das bombas do tanque de equalização que antecede o decantador temos uma grande variação de caudal na corrente que alimenta o decantador. Esta variação no caudal vai provocar um aumento ou diminuição no tempo de residência do decantador. Quando um decantador é subitamente alimentado com um caudal muito elevado de água residual pode ocorrer levantamento de lamas já depositadas no fundo do tanque ou que estavam em sedimentação. Os decantadores primários estão preparados para lidar com pequenas variações no caudal, no entanto não devem ser sujeitos a períodos de elevados caudais ou completa interrupção na alimentação. Quanto mais estável for a alimentação melhor será a eficiência. Tanto o tanque de flotação da máquina de papel 1 como o da máquina de papel 4 reúnem condições para uma capacidade de remoção de fibras satisfatória. No entanto no decorrer deste estudo verificou-se que as características das águas brancas por vezes se alteram, refletindo-se na eficiência do aparelho e exigindo alguns ajustes no seu funcionamento. Visto que não existe um controlo contínuo, por vezes a resposta corretiva a estas alterações é tardia, resultando eventualmente em repercussões no processo de fabrico, visto que a água clarificada serve componentes da máquina de papel.

Após um levantamento das condições do microfiltro VARGO foram iniciados os trabalhos de reparação para operação como superclarificador. Porém não foi possível terminar estes trabalhos antes do término do documento presente. Uma vez reativado será efetuado um estudo à sua eficiência e viabilidade.

Sugestões

Algumas sugestões para otimização do funcionamento da ETAR1 e dos tanques de flotação, resultado da observação e estudo do seu funcionamento.

ETAR1

- A extração e prensagem de lamas poderá ser levada a cabo com maior frequência e por períodos de tempo menores;
- Tornar o controlo sobre o nível do tanque de bombagem mais gradual de forma a evitar grandes oscilações no caudal de alimentação do decantador ou até a sua completa interrupção;
- Instalação de um equipamento de amostragem regular da água residual bruta (por exemplo uma electroválvula) de forma a ter uma amostra composta da corrente de entrada da ETAR1;
- Instalação de um sistema dosagem variável do agente coagulante em função do caudal da corrente de entrada no decantador;
- Introdução do agente coagulante numa picagem na tubagem imediatamente à saída do tanque de equalização;
- Introdução do floculante na tubagem antes da entrada no canal Parshall, de forma a que o químico tenha mais tempo para reagir e se torne mais fácil avaliar a qualidade da floculação antes da alimentação do decantador.

Tanques de flotação (DAF)

- Alimentar o agente coagulante junto à bomba que alimenta o tanque de flotação, desta forma existe uma melhor mistura e o químico tem mais tempo para reagir;
- Alimentar o agente floculante numa picagem antes da entrada do tanque de flotação, para que haja uma melhor mistura;
- Instalação de um controlador que permita ao condutor da máquina acompanhar em tempo real a qualidade da água clarificada e possibilitando uma resposta mais rápida a perturbações. Uma possibilidade seria a instalação de um turbídimetro.

Referências Bibliográficas

1. Al-Muzaini, Saleh - Industrial wastewater management in Kuwait. *Desalination*. Vol. 115. (1): 57-62(1998).
2. Australian & New Zealand Biosolids Partnership. <http://www.biosolids.com.au/>; Australian Water Association, 2009. Disponível em WWW: <<http://www.biosolids.com.au/images/sewage-treatment-process.jpg>>.
3. Biermann, C.J. - Handbook of Pulping and Papermaking. 2nd. United States of America: Elsevier Science, 1996.
4. Chan, Yi Jing; Chong, Mei Fong; Law, Chung Lim; Hassell, D. G. - A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 155 (1-2): 1-18(2009).
5. Charles, C. R.; Brandon M. S.; Valentine, G.E. Jr - Rethinking Dissolved Air Flotation (DAF) Design for Industrial Pretreatment. Em WEF and Purdue University Industrial Wastes Technical Conference, Atlanta, Georgia, 2000.
6. Colic, M.; Morse, D.; Morse, W.; Miller, J. D. - New Developments in Mixing, Flocculation and Flotation for Industrial Wastewater Pretreatment and Municipal Wastewater Treatment. University of Utah, Salt Lake City: Clean Water Technology Inc., 2005.
7. Edzwald, James K. - Dissolved air flotation and me. *Water Research*. Vol. 44 (7):2077-2106 (2010).
8. Francisco, Ana Rita Gomes - Estudo da Eficiência da ETAR da Zona Industrial da AutoEuropa por Análise Biológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2008.
9. Gebbie, Peter - A Dummy's Guide to Coagulants. Em 68th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Schweppes Centre - Bendigo, 2005.
10. Henley, E.J.; Seader, J.D.; Roper, D.K. - Separation Process Principles. John Wiley & Sons, Limited, 2011.
11. Hynninen, P. - Papermaking Science and Technology: Environmental control. Book 19. Gummerus Printing, Jyväskylä, Finland: Fapet Oy, 1998.
12. Inc., Telcumseth Filtration - Rotary Drum Microfilter Mill Leakage Study. 2010.
13. Letterman, R.D.; Association, American Water Works - Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5ª Edição. McGraw-Hill, INC, 1999.
14. Licença Ambiental - Renova - Fábrica de Papel do Almonda, S.A. LA n. 51/2007.
15. Lundh, Måns; Jönsson, Lennart; Dahlquist, Jan - The influence of contact zone configuration on the flow structure in a dissolved air flotation pilot plant. *Water Research*. Vol. 36 (6): 1585-1595 (2002).
16. New York State Department of Environmental Conservation, US EPA Region 2, Environmental Finance Center, New York Water Environment Association - Handbook on Wastewater Management for Local Representatives. (2007).
17. Pokhrel, D.; Viraraghavan, T. - Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. *Science of The Total Environment*. Vol. 333 (1-3): 37-58 (2004).
18. Renova - SGA - Sistema de Gestão Ambiental.
19. Sonune, Amit; Ghate, Rupali - Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*. Vol. 167 (0): 55-63 (2004).
20. Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D.; Metcalf; Eddy - Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill, 2003.
21. Tillman, G.M. - Primary Treatment of Wastewater Treatment Plants. Chelsea: Lewis Publishers, 1992.

22. Wahlberg, E. J., Tarpey, T. - Primary Clarifier Optimization Study Methodology. In: TAPPI International Environmental Conference, 2003.
23. Wang, Hui; Chen, Xiao-lei; Bai, Yang; Guo, Chao; Zhang, Li - Application of dissolved air flotation on separation of waste plastics ABS and PS. *Waste Management*. Vol. 32 (7): 1297-1305 (2012).
24. Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. Berlin: Springer, 2002.
25. Wookdard, F. - Industrial Waste Treatment Handbook. United States of America: Butterworth-Heinemann, 2001.

Anexos

Anexo A- Diagramas de processo das MP1 e MP4

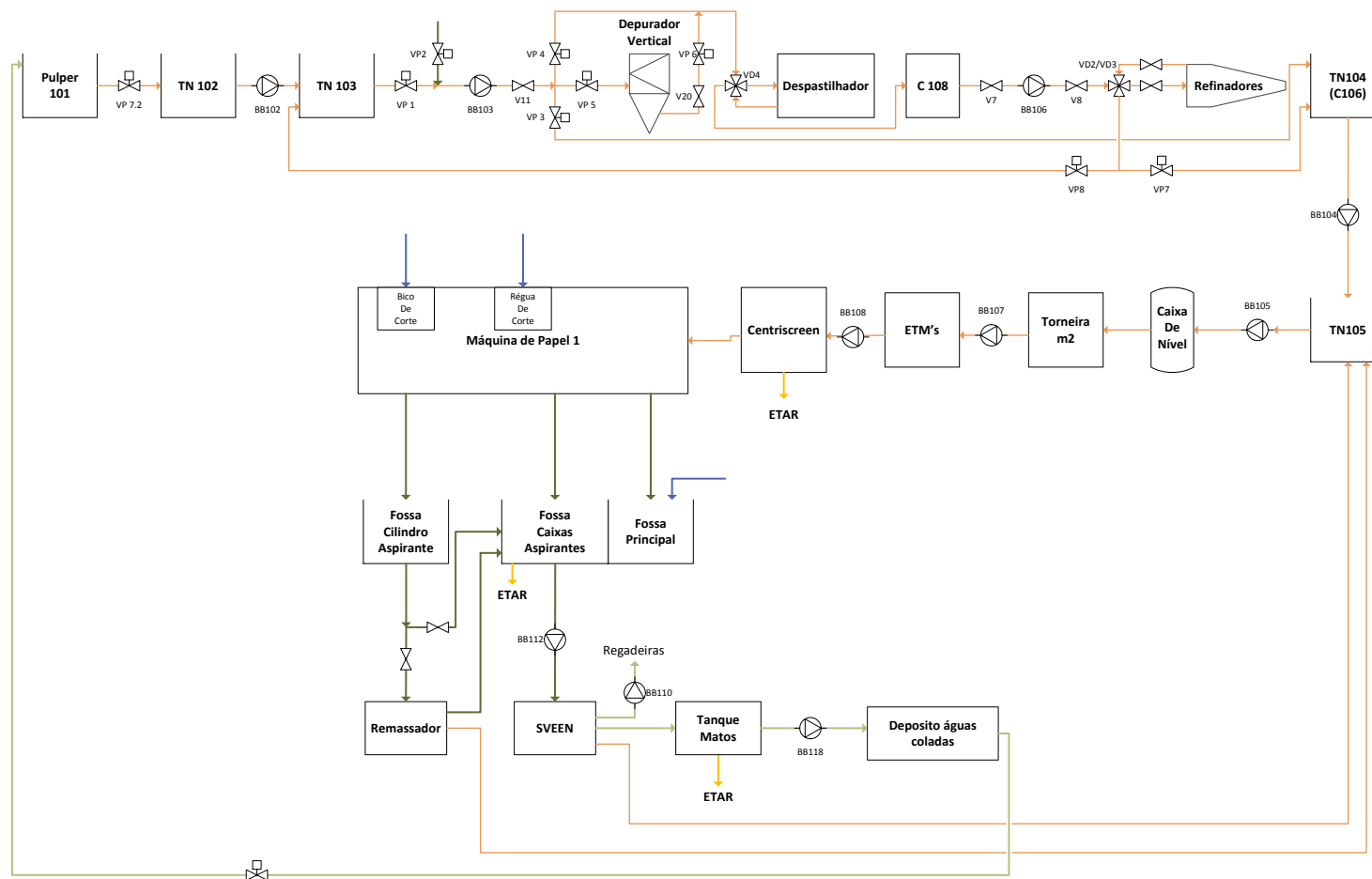


Figura 1- Diagrama de processo de fabrico de papel na área de produção da MP1.

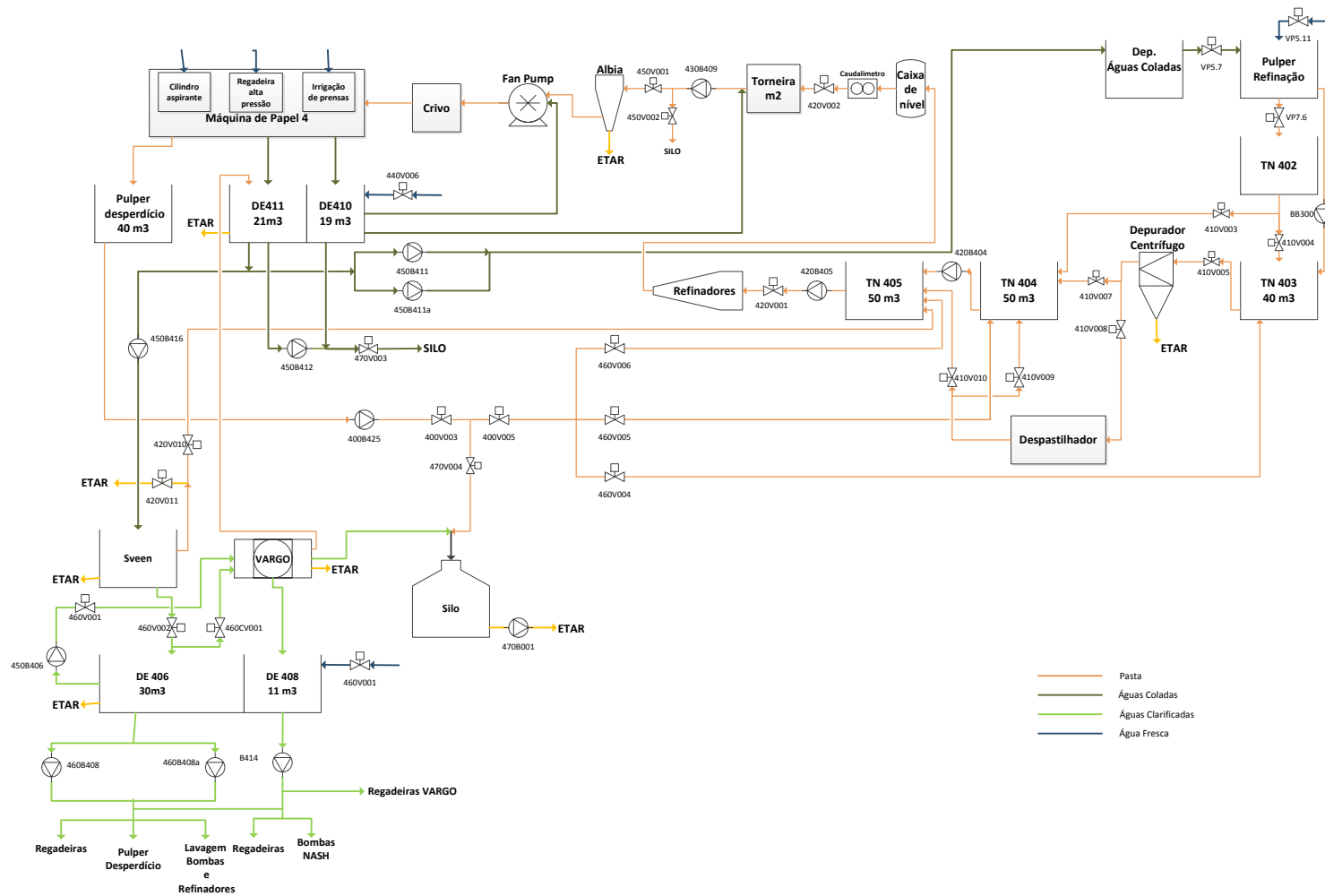


Figura 2- Diagrama do processo de fabrico de papel na área de produção da MP4.

