

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO TECNOLOGIAS DE PROTECÇÃO AMBIENTAL



AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DOS CONDENSADOS DE UMA FÁBRICA DE PASTA PARA PAPEL

CARLA MARISA DA ROCHA CRUZ

PORTO

NOVEMBRO 2009

*O homem é o agente responsável pela preservação do meio ambiente para melhor
traçar o futuro. (Autor anónimo)*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível com a generosa contribuição de diversas pessoas a quem quero apresentar os meus sinceros agradecimentos.

Ao Engenheiro Vitorino Beleza, meu co-orientador, pela valiosa orientação e a forma generosa e compreensiva que disponibilizou os seus conhecimentos.

À Engenheira Rosária Costa, minha orientadora, pela disponibilidade e compreensão que contribuíram para a realização deste trabalho.

À Portucel-Soporcel, Empresa Produtora de Pasta e Papel, S.A., que possibilitou a realização deste trabalho para poder finalizar este mestrado. Neste âmbito queria expressar o meu enorme agradecimento ao Engenheiro Fernando Martins e à Engenheira Isabel Sêco pela forma como se disponibilizaram a contribuir com os seus conhecimentos.

Ao Laboratório Central da Fábrica de Cacia, pelo apoio na realização do trabalho experimental.

Ao Centro de Estudos de Águas e à Fundação Politécnico do Porto pela oportunidade, apoio e iniciativa demonstrada.

À minha família e amigos que sempre me incentivaram e esperaram pacientemente pela conclusão desta tese.

Ao Simão, pela sua paciência e por estar sempre presente.

RESUMO

O objectivo do presente trabalho foi caracterizar os condensados produzidos na Fábrica de Cacia da Portucel-Soporcel, SA para identificar e localizar pontos da sua contaminação.

Para o efeito, foram recolhidas amostras de condensado e caracterizados os parâmetros condutividade, pH, sódio e sílica. A amostragem decorreu no período entre 15 de Setembro a 6 de Novembro de 2008.

Através da análise dos resultados obtidos para as concentrações de sílica e de sódio de cada uma das correntes, foram identificadas como contaminadas as correntes de condensado provenientes do condensador do Turbogenerador 4, da área dos Digestores Descontínuos, da Evaporação e do Aquecedor de Água Quente para o Branqueamento. A realização de um balanço pontual à sílica no tanque de condensados da Central permitiu concluir que a maior contribuição advém do condensador do Turbogenerador 4. Na Evaporação ocorre contaminação do condensado quando as secções do Concentrador 1 são colocadas em serviço após lavagem. Durante o acompanhamento do arranque da Evaporação, uma das secções (1/B) registou um valor máximo na concentração de sódio no condensado de 135 mg/L Na.

Do estudo resulta, enquanto não for reparado e/ou substituído o equipamento responsável pelas contaminações, a necessidade de admitir requisitos para controlo da qualidade da água da caldeira menos restritivos, nomeadamente para a razão sódio/fosfato. É necessário, contudo, o rigoroso acompanhamento da qualidade da água da caldeira (pH, sobretudo) para prevenir afastamentos inesperados dos limites de controlo.

Durante a realização deste trabalho foram identificadas algumas situações a melhorar, tais como a uniformização dos valores de desvio para esgoto dos condensados e das unidades utilizadas, a adequação das escalas dos aparelhos de medida para as gamas de leitura de interesse, a verificação e calibração periódica do equipamento instalado em linha, a adopção do parâmetro “Sódio” para controlo da qualidade dos condensados, a instalação de sistemas de amostragem com arrefecimento em todas as correntes de condensados e a reparação ou substituição de algum equipamento instalado em linha que se encontra em muito mau estado e ainda a manutenção do equipamento mantendo-o em boas condições de limpeza.

Palavras – chave: Contaminação de condensados, água de caldeiras, condutividade, pH, concentração de sódio e de sílica

ABSTRACT

The purpose of this study was to characterize the condensate produced in the industrial unit Cacia Portucel-Soporcel SA to identify and locate points of its contamination.

For the purpose, samples of condensate were collected and characterized the parameters of conductivity, pH, sodium and silica. Sampling took place between the period of 15 September and 6 November 2008.

By analyzing the results for concentrations of silica and sodium in each of the currents were identified as contaminated the streams of condensate from the condenser of TG4, from the area of discontinuous digesters, from the evaporation and from the hot water heater for bleaching. By performing a punctual balance of silica in the condensate tank central showed that the largest contribution comes from the condenser TG4. During evaporation the contamination of the condensate occurs when the sections of the concentrator 1 are placed in service after washing. During follow-up of the onset of evaporation, one of the sections (1/B) reached a peak in the concentration of sodium in the condensate of 135 mg/L Na.

From the results of the study we may conclude that while the equipment responsible for the contamination is not repaired and/or replaced, there is the need to admit less restrictive requirements for the control of the boilers water, especially for the ratio sodium/phosphate. It is necessary, however, a strict monitoring of the quality of boilers water (pH, mainly) to prevent unexpected deviations of the limits control.

During the performing of this work some situations needing improvement were identified, such as the standardization of the values of sewage diversion of the condensate and the units used, the appropriateness of scales of measurement devices for the range of reading interests, verification and periodic calibration equipment installed in-line, adopting the parameter "Sodium" for quality control of condensate, the installation of sampling systems with cooling in all currents of condensates and the repairing or replacement or substitution of any equipment installed in the line that is in a very bad state and finally the maintenance of the equipment keeping it in a clean condition.

Keywords: Contaminated condensate, boilers water, conductivity, pH, sodium and silica concentration

ÍNDICE

	Página
1 Introdução	1
2 Descrição do Processo de Produção	5
2.1 Preparação de madeira	5
2.2 Impregnação e cozimento da madeira	5
2.3 Lavagem e crivagem da pasta crua	6
2.4 Branqueamento	6
2.5 Tiragem de pasta branca	7
2.6 Recuperação de reagentes	7
3 Produção de Energia e Recuperação	9
3.1 Caldeira de recuperação	9
3.2 Caldeira de biomassa	11
4 Tratamento de Água e Condensados	13
4.1 Descrição geral dos circuitos de água e de vapor	13
4.2 Tratamento da água de compensação	14
4.3 Tratamento da água de alimentação	16
4.4 Tratamento da água da caldeira	17
4.5 Tratamento de condensados	18
5 Circuito de Condensados	19
5.1 Descrição do circuito de condensados	19
6 Procedimento Experimental	23
7 Resultados e sua discussão	25
7.1 Tanque de condensados da central	25
7.1.1 Condutividade	25
7.1.2 pH	27
7.1.3 Sílica	28
7.1.4 Sódio	29
7.2 Concentrador 1 A/B da evaporação	31
7.3 Digestores descontínuos	32
7.4 Máquina de papel	33
7.5 Tanque de condensados do branqueamento	34
7.5.1 Condutividade	35
7.5.2 pH	36
7.5.3 Sílica	37
7.5.4 Sódio	38
8 Conclusões e Sugestões	43
9 Bibliografia	45
10 Anexos	47

Anexo A – Características do equipamento de medida instalado em linha	48
Anexo B – Dados técnicos dos permutadores	49
Anexo C – Determinação da concentração de sódio	50
Anexo D – Registo dos valores obtidos na verificação do aparelho portátil de medida da condutividade	51
Anexo E – Resultados	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Diagrama de desmineralização da Fábrica de Cacia	14
5.1	Diagrama de fluxo das correntes de condensados com indicação dos condutivímetros instalados em linha e contribuição percentual das correntes principais.	21
7.1	Valores da condutividade medidos com medidor portátil para as correntes à entrada do tanque de condensados da Central.	26
7.2	Valores da condutividade para a corrente de saída do tanque da central e do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.	27
7.3	Valores do pH medidos com o medidor portátil para as correntes à entrada do tanque de condensados da Central.	28
7.4	Valores da concentração de sílica para as correntes à entrada do tanque de condensados da Central.	29
7.5	Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados da central.	30
7.6	Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados da Central (concentrações inferiores a 50 µg/L Na).	30
7.7	Valores da condutividade medidos com o medidor portátil para as correntes do tanque de condensados do branqueamento.	35
7.8	Valores do pH medidos com o medidor portátil para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.	37
7.9	Valores da concentração de sílica para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.	38
7.10	Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.	39
7.11	Situação actual dos condutivímetros nos digestores descontínuos.	40
7.12	Estado de conservação do tanque de condensados do branqueamento e dos condutivímetros instalados em linha.	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela		Página
4.1	Requisitos de qualidade para a água desmineralizada (água de compensação).	16
4.2	Requisitos de controlo para a água de alimentação.	17
4.3	Requisitos de qualidade para a água desmineralizada (água de compensação).	17
4.4	Requisitos para controlo para o condensado.	18
7.1	Resultados obtidos para o digestor 1.	32
7.2	Resultados obtidos para o digestor 2.	32
7.3	Resultados obtidos para o digestor 3.	33
7.4	Resultados obtidos para os condensados da máquina de papel.	34
7.5	Desvio entre o valor dado pelo aparelho de condutividade instalado em linha e o medidor portátil.	36
Anexos		
1	Equipamento instalado no tanque de condensados da central e do branqueamento.	48
2	Dados técnicos dos permutadores das unidades consideradas contaminadas.	49
3	Valores da condutividade teórica do padrão e da condutividade lida no medidor portátil.	51
4	Valores da condutividade nos condensados do turbogerador 4.	52
5	Valores da condutividade "catiónica" dos condensados do turbogerador 4.	53
6	Valores de pH dos condensados do turbogerador 4 retirado antes da resina catiónica do amostrador.	54
7	Valores de pH dos condensados do turbogerador 4 após a resina catiónica do amostrador.	55
8	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do turbogerador 4.	55
9	Valores da condutividade dos condensados do branqueamento.	56
10	Valores de pH dos condensados do branqueamento.	57
11	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do branqueamento.	58
12	Valores da condutividade dos condensados da evaporação.	59
13	Valores de pH dos condensados da evaporação.	60
14	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados da evaporação.	61
15	Valores da condutividade lida nos analisadores em linha dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.	62
16	Valores da condutividade obtidos com o medidor portátil nos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.	63
17	Valores da concentração de sódio dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.	63
18	Valores da condutividade medida em linha dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.	64
19	Valores da condutividade medida pelo aparelho portátil dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.	65
20	Valores da concentração de sódio dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.	66
21	Valores da condutividade dos condensados do digestor contínuo.	67

22	Valores de pH dos condensados do digestor contínuo.	68
23	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do digestor contínuo.	69
24	Valores da condutividade dos condensados do digestor descontínuo.	70
25	Valores de pH dos condensados do digestor descontínuo.	71
26	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do digestor descontínuo.	72
27	Valores da condutividade do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.	73
28	Valores de pH do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.	74
29	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.	74
30	Valores da condutividade dos condensados à entrada do tanque da central.	75
31	Valores de pH dos condensados à entrada do tanque da central.	76
32	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados à entrada do tanque da central.	77
33	Valores da condutividade dos condensados à saída do tanque da central.	78
34	Valores de pH dos condensados à saída do tanque da central.	79
35	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados à saída do tanque da central.	80
36	Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.	81
37	Valores de pH dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.	82
38	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.	83
39	Valores da condutividade dos condensados do tanque do reactor do dióxido de cloro.	84
40	Valores de pH dos condensados do tanque do reactor de dióxido de cloro.	85
41	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do tanque do reactor de dióxido de cloro.	86
42	Valores da condutividade dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.	87
43	Valores de pH dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.	88
44	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.	89
45	Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de água quente.	90
46	Valores de pH dos condensados do aquecedor de água quente.	91
47	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de água quente.	92
48	Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.	93
49	Valores de pH dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.	94
50	Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.	95

1. INTRODUÇÃO

A indústria papelreira, que engloba a produção de pasta e de papel, é um dos principais suportes da economia portuguesa, tendo contribuído em 2008 com cerca de 1600 milhões de euros de vendas de produtos. Portugal era em 2008 o 6º maior produtor europeu de pasta, com 5,9 % do total e o 14º maior produtor europeu de papel e cartão com 1,7% do total (CELPA, 2009). No que diz respeito ao papel esta situação foi alterada com a inauguração da nova fábrica em Setúbal com a capacidade de 500.000 toneladas por ano.

Em 2008 a fabricação de 2,02 milhões de toneladas de pasta para papel consumiu 7.155 m³ de madeira dos quais 6.382 de eucalipto (CELPA, 2009), demonstrando assim que a indústria de pasta e papel é um esteio essencial do sector florestal. Da pasta produzida 50% é exportada como tal, e grande parte da restante é exportada na forma de papel.

A indústria de pasta para papel portuguesa concentra-se em 3 grandes grupos financeiros: Altri, Portucel Viana, do grupo europeu EUROPAC, e Portucel Soporcel.

O grupo Altri tem três fábricas de pasta branqueada de eucalipto: a Celbi, com a capacidade de produção anual de cerca de 600 mil toneladas, a Caima, que é uma das poucas fábricas na Europa que produz pasta de eucalipto branqueada através do processo de sulfito, com uma capacidade de 115 mil toneladas de pasta branqueada de eucalipto do tipo Total Chloride Free (TCF) e a Celtejo, com a capacidade anual nominal de 190 mil toneladas.

A Portucel Viana, S.A., com fábrica em Viana do Castelo, produz 305 000 toneladas/ano de papel do tipo kraftliner 115 e com a capacidade para 560 toneladas/dia de pasta kraft ao sulfato que integra na totalidade no papel produzido.

O grupo Portucel–Soporcel dispõe de três complexos industriais produtores de pasta e papel, em Setúbal, Figueira da Foz e Cacia, que se destacam pela sua dimensão e nível tecnológico. A sua produção total de pasta para papel é de 1,35 milhões de toneladas/ano e a actual capacidade para produção de papel é de 1,55 milhões de toneladas/ano. O grupo Portucel Soporcel gera um volume de negócios superior a 1 100 milhões de euros. O Grupo ocupa o 3º lugar no conjunto das maiores empresas exportadoras de Portugal, sendo responsável por cerca de 3% da totalidade das exportações portuguesas (Portucel Soporcel, 2009).

A fábrica de Pasta e Papel de Setúbal inclui duas unidades industriais: uma de papel com a capacidade a 280 mil toneladas/ano de papéis finos e outra integrada com a capacidade para produzir 510 mil toneladas/ano de pasta branqueada de eucalipto e 500 mil toneladas/ano de papel.

A Fábrica de Pasta e Papel da Figueira da Foz é uma das mais eficientes unidades fabris de pasta e papel da Europa. Assegurando um volume anual de produção e transformação de papéis finos não revestidos cifrado em 770 mil toneladas, representa uma das maiores unidades industriais da Europa (Portucel Soporcel, 2009). Este papel incorpora a produção de 555 mil toneladas de pasta ao sulfato de eucalipto.

A Fábrica de Pasta de Cacia, teve origem em 1937, mas só em 1942 é que foi concedida a licença para a instalação de uma fábrica de celulose e papel. Em 1953 a então Companhia Portuguesa de Celulose iniciou a fabricação da pasta Kraft de pinho (Portucel Soporcel, 2006). Foi nesta fábrica que se produziu pela primeira vez a nível internacional pasta de papel a partir de eucalipto pelo processo *Kraft*, em 1957, tendo-se então adaptado as instalações existentes para a produção de pasta branqueada de eucalipto. Em 1975 a empresa, como outras do mesmo sector, foi nacionalizada e integrada em 1976 na empresa Portucel, Empresa de Celulose e Papel de Portugal, EP. Em 2001, na sequência da aquisição da Inapa e da Soporcel, foi constituído o grupo Portucel Soporcel, SA.

A fábrica de Cacia da Portucel Soporcel, SA, está instalada no centro de Portugal, junto a uma importante mancha florestal rica em pinheiro e eucalipto fornecedora da mais importante matéria-prima para o processo fabril: a madeira. A localização da fábrica junto do rio Vouga satisfaz a necessidade de água para o processo de fabrico. A proximidade do caminho-de-ferro e do porto de Aveiro favorece o escoamento dos seus produtos. Com cerca de 200 trabalhadores, apresenta uma produção anual de 272 mil toneladas de pasta para papel para um consumo de matéria-prima de 600 mil toneladas (Portucel Soporcel, 2009).

A indústria de pasta para papel enfrenta e enfrentou sérios problemas ambientais. Terá sido, por isso, o sector que mais investiu no desenvolvimento de processos de produção menos lesivos do ambiente e que mais tem caminhado no sentido da descarga nula. A recuperação de reagentes representa a mais importante solução técnica para protecção ambiental que o Homem desenvolveu.

Na recuperação de reagentes a caldeira de recuperação, que é na realidade um reactor arrefecido a água, produz-se uma mistura de sais fundidos que são altamente reactivos com a água, podendo mesmo levar à explosão do equipamento. Por prevenção, é dada grande importância ao tratamento da água da caldeira, adoptando-se um tipo de

tratamento designado por FOSFATO-pH COORDENADO, que exige água de alimentação de elevada qualidade.

A contaminação dos condensados recuperados dificulta significativamente o processo de tratamento da água da caldeira pelo referido método. Considerando a complexidade de uma fábrica de pasta como a de Cacia, e a qualidade exigida para o condensado recuperado, não é tarefa simples a detecção de contaminações. Contudo, é uma necessidade.

2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

O fabrico de pasta para papel na fábrica de Cacia segue o processo “*ao sulfato*” ou “*kraft*”, desde 1957, no qual a madeira de eucalipto é tratada com “*lixívia de cozimento*” (lixívia branca, constituída por sulfureto de sódio e hidróxido de sódio) em adequadas condições de temperatura, tempo e concentração de reagentes. Após o cozimento da madeira nos digestores, obtém-se a pasta que é crivada, lavada e, posteriormente, branqueada.

Nas secções que se seguem faz-se, tendo como base a monografia referida como Portucel Soporcel, 2006, uma breve descrição do processo de produção de pasta branqueada da fábrica de Cacia da Portucel Soporcel.

2.1 Preparação de madeira

A matéria-prima, madeira de eucalipto, chega à fábrica na forma de rolos com ou sem casca. Na fábrica de Cacia existem duas linhas de destroçamento, estando a de maior dimensão equipada com sistema de descasque. Após o destroçamento, e depois de passarem por um processo de crivagem, as aparas resultantes das duas linhas são transportadas por tapetes para as pilhas de armazenamento ao ar livre. Daqui são transportadas para os digestores. O material rejeitado é enviado para a caldeira de biomassa.

2.2 Impregnação e cozimento da madeira

O cozimento das aparas de madeira é feito num digestor contínuo e em quatro digestores descontínuos. No processo descontínuo os reactores são carregados, por gravidade, através dos silos individuais de cada digestor. Durante o enchimento procede-se à mistura da lixívia branca e de lixívia negra em quantidades adequadas. O cozimento realiza-se a uma temperatura entre os 145°C e os 155°C, com um tempo de cozimento que varia entre os 75 a 120 minutos para uma pressão de 5,5 bar. Após o cozimento, os digestores descarregam para o tanque de descompressão. O vapor, gerado por efeito flash pela queda de pressão, é condensado, recuperando-se o calor para aquecimento da água proveniente da central de 45°C para 75°C, para ser utilizada no processo. No digestor contínuo as aparas são alimentadas continuamente ao silo compensador e deste ao impregnador. Ao entrar no impregnador ocorre a mistura com a lixívia branca e lixívia

negra e estão criadas as condições necessárias para se iniciar a degradação da lenhina. Após esta impregnação, as aparas são transferidas para o digestor onde são aquecidas por vapor directo e onde se dá o cozimento durante 2 horas em condições controladas de temperatura, que varia de 145°C a 155°C, e pressão que oscila entre 4,0 bar e 4,3 bar. A pasta é descarregada continuamente pelo fundo do digestor e segue para um difusor atmosférico onde é sujeita a uma primeira lavagem. Nos dois processos de cozimento, ocorre a degradação de lenhina, material que liga a fibra na estrutura da madeira, por acção do hidróxido de sódio e do sulfureto de sódio (NaOH , Na_2S). A função do hidróxido de sódio é a dissolução da lenhina e a principal função do sulfureto de sódio é minimizar o impacto na estrutura da fibra (Portucel Soporcel, 2004).

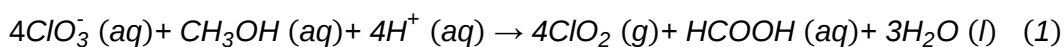
Da lavagem da pasta no difusor resulta a “lixívia negra” que contém parte dos reagentes usados no processo mais os compostos removidos da madeira. Esta lixívia apresenta concentrações em sólidos totais entre 15% e 20%.

2.3 Lavagem e crivagem da pasta crua

A pasta proveniente dos digestores segue para um crivo primário de forma a remover os nós e os “shives”. A pasta aceita no crivo é lavada antes de ser enviada para o branqueamento. O processo de lavagem opera em contracorrente com recurso a condensados limpos vindos da evaporação e/ou água quente. O filtrado obtido nos lavadores é fornecido ao difusor atmosférico para lavagem da pasta descarregada do digestor.

2.4 Branqueamento

Após a lavagem, a pasta segue para o branqueamento de forma a remover impurezas e a sua coloração acastanhada. O processo de branqueamento é realizado em quatro estágios importantes numa sequência D0-EOP-D1-D2. No primeiro a lenhina residual na pasta crua é oxidada em meio ácido por meio de dióxido de cloro; no segundo, que ocorre em meio alcalino, ocorre a solubilização da lenhina com o apoio de dois oxidantes: o peróxido de hidrogénio e o oxigénio; nos dois últimos a brancura da pasta é desenvolvida e estabilizada através de uma solução de dióxido de cloro (ClO_2). O agente branqueador (ClO_2) é preparado através da redução de clorato de sódio (NaClO_3) com metanol em meio sulfúrico concentrado, segundo a seguinte reacção:



Após a última etapa é feita a correcção de pH e a redução do excesso de oxidantes por aplicação de anidrido sulfuroso.

2.5 Tiragem de pasta branca

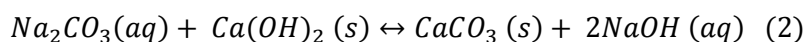
O processo de produção de pasta conclui-se com a remoção da água por processos mecânicos (drenagem de água em teia e prensagem) e secagem com o apoio do calor obtido por condensação do vapor. Com humidade da ordem dos 10%, a pasta é cortada em folhas que são agrupadas em fardos, embalada, armazenada e posteriormente expedida para os clientes.

A instalação é dotada com duas tiragens: uma com a capacidade de produção de 560 t/dia e a segunda com capacidade para 270 t/dia.

2.6 Recuperação de reagentes

A lixívia utilizada no cozimento adquire uma cor negra devido à dissolução de constituintes da madeira degradados durante aquela operação. Esta é constituída por água, compostos químicos inorgânicos, que interessam recuperar, e por compostos orgânicos que, por serem combustíveis, podem ser usados para a produção de energia. Antes da queima, a “lixívia negra” com uma concentração de 15%-20% é concentrada num evaporador até cerca de 75%, de forma a atingir condições de ser alimentada à caldeira de recuperação.

O produto obtido pela queima da lixívia negra concentrada, conhecido por “smelt” (fundido), é constituído essencialmente por carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfureto de sódio (Na_2S). O “smelt” é dissolvido em “licor fraco” (solução recuperada da lavagem de lamas no processo de caustificação) originando uma solução esverdeada denominada de “lixívia verde”. Segue para o processo de caustificação onde é tratada com uma suspensão de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que por reacção com o carbonato de sódio, dá origem a hidróxido de sódio (Gullichsen e Fogelholm, 1999), de acordo com a reacção seguinte:



Este método permite a regeneração da lixívia de cozimento e viabilizar assim ambiental e economicamente o processo de produção de pasta para papel. A instalação de caustificação da fábrica de Cacia tem capacidade para produzir diariamente cerca de 3.000 m³ de lixívia branca.

As lamas produzidas na caustificação, ricas em carbonato de cálcio, são, após lavagem e desidratação, calcinadas em dois fornos rotativos de forma a regenerar a cal que é reutilizada na caustificação. Um dos fornos tem a capacidade de 50 toneladas/dia

de cal viva e o segundo de 170 toneladas/dia. Nestes fornos são queimados os gases do “stripping” da lixívia negra, reduzindo assim a emissão para a atmosfera de gases com mau odor. As poeiras arrastadas do forno pelos gases de combustão são removidas num precipitador electrostático e reintroduzidas no forno de cal.

Num circuito fechado de regeneração dos produtos químicos, como o processo *kraft*, as perdas existentes são compensadas pela introdução de sulfato de sódio (Na_2SO_4) na caldeira de recuperação, ou de soda cáustica (NaOH) na lixívia branca, ou carbonato de sódio na caustificação e de calcário no forno de cal (Portucel Soporcel, 2004).

3. PRODUÇÃO DE ENERGIA E RECUPERAÇÃO

O processo de produção de vapor e de energia eléctrica é essencial para a viabilidade económica do Centro de Produção de Cacia da Portucel Soporcel, SA. A produção de vapor é assegurada, normalmente, por duas caldeiras: a de recuperação e a de biomassa. Estas caldeiras produzem aproximadamente 300 toneladas/hora de vapor sobreaquecido à pressão de 65 bar e à temperatura de 425°C que, depois de aproveitada parte da sua entalpia na turbina segue para o processo para fornecimento de calor (Portucel Soporcel, 2005). Existe ainda uma caldeira auxiliar a “fuel-oil” que é usada como recurso no caso de falha de uma das outras caldeiras ou por necessidade de balanceamento energético da fábrica.

A energia eléctrica é produzida em duas turbinas, uma de condensação, com capacidade de 7 MW, que apenas opera quando existe vapor em excesso, e a outra de contra-pressão com extracções de vapor controladas a 3,0 bar e a 11 bar, alimentada com vapor produzido nas caldeiras, e com a capacidade de produção de 27 MW com geração a 15 kV. Em condições normais a fábrica funciona em paralelo com a rede eléctrica pública, recebendo ou cedendo energia, em função das necessidades da fábrica (Portucel Soporcel, 2005). O vapor extraído das turbinas segue para a fábrica para ceder o seu calor latente.

3.1 Caldeira de Recuperação

A caldeira de recuperação, que queima cerca de 55 toneladas/hora de matéria seca da lixívia negra com o poder calorífico inferior da ordem dos 14200kJ/kg de matéria seca, tem três objectivos principais:

- a) Recuperação de reagentes (sulfureto de sódio e carbonato de sódio);
- b) Geração de vapor a alta pressão através da queima lixívia negra;
- c) Minimizar as descargas poluentes para o meio ambiente.

A lixívia negra queimada na caldeira de recuperação, que é um sub-produto do processo “ao sulfato” de cozimento da madeira, é constituída essencialmente pelos reagentes usados naquele processo e pelos produtos extraídos da madeira como, por exemplo, a lenhina. Como se referiu atrás, a lixívia negra é queimada com a

concentração de 65% a 85%. Antes da combustão, para além da adição de sulfato de sódio para compensar as perdas dos compostos de enxofre no processo, a lixívia negra é aquecida para controlar a sua viscosidade.

O ar de combustão e a lixívia negra são introduzidos separadamente na caldeira de recuperação. Existem três níveis de introdução de ar:

- a) Ar primário a 150°C;
- b) Ar secundário a 120°C;
- c) Ar terciário a 30°C (Adam, T. *et al*, 1997).

O ar primário e secundário (65% a 90% do ar total) são introduzidos abaixo dos injectores de lixívia e fornecem o ar de combustão para a zona de carbonização na parte inferior da fornalha. A quantidade deste ar é ligeiramente inferior à quantidade estequiométrica para a combustão completa da lixívia negra. O oxigénio do ar de combustão oxida parte da matéria orgânica, libertando calor. A deficiência de oxigénio reduz o sulfato a sulfureto, e parte da matéria orgânica é oxidada a carbonato. O calor libertado por estas reacções possibilita ainda a fusão dos compostos inorgânicos presentes.

O sulfureto de sódio e o carbonato de sódio fundidos depositam-se na soleira da caldeira donde são extraídos e dissolvidos a 65°C em lixívia branca fraca proveniente da lavagem das lamas de carbonato de cálcio. O fundido (vulgarmente denominado pelo termo inglês “*smelt*”) tem, para além dos dois sais referidos na proporção 2:1, (Sousa, G., 2003) pequenas quantidades de óxidos de ferro que conferem a cor verde à lixívia, pequenas quantidades de outros sais contendo enxofre, matéria orgânica e carvão.

Os gases de combustão (N₂, O₂, CO₂, vapor de água, SO₂, CO, compostos de enxofre, cinzas volantes) que saem da fornalha a 960°C e, depois de perderem calor ao passarem no feixe da caldeira, no economizador, no aquecedor de ar e no equipamento para tratamento de gases, são enviados para a atmosfera através de uma chaminé com 90 m de altura.

Parte do calor produzido na queima da lixívia negra é usado para a produção de vapor de alta pressão na secção convectiva de transferência de calor. Esta secção é constituída pelo sobreaquecedor, pelo ebulidor e pelo economizador. A água para a produção de vapor é introduzida nos economizadores sendo aquecida no seu trajecto até ao ebulidor, a aproximadamente 250°C. Daqui a água quente dirige-se para um colector no fundo da fornalha sendo distribuída ao longo dos tubos que constituem as paredes da

fornalha. A água ascende pelos tubos das paredes aquecendo até se formarem duas fases. A mistura vapor-líquido proveniente dos tubos eleva-se novamente até ao ebulidor onde se dá a separação de fases. A fase líquida torna a fazer o percurso pelas paredes, enquanto o vapor saturado é transportado através dos sobreaquecedores produzindo vapor sobreaquecido (Adams *et al*, 1997).

Do aquecimento da água até à formação de vapor de alta pressão resulta simultaneamente o arrefecimento dos gases de combustão que, no seu trajecto, vão depositando partículas no sobreaquecedor, feixe de convecção e economizadores, prejudicando a transferência de calor nestas zonas e podendo levar mesmo ao encravamento da área de passagem dos gases. Para minimizar estas situações os depósitos são continuamente removidos por sopragem com vapor. Uma importante quantidade das partículas presentes nos gases de combustão é removida nos precipitadores electrostáticos (electrofiltro) de alta eficiência (Gullichsen e Fogelholm, 1999).

Os gases de combustão desta caldeira são tratados em dois precipitadores electrostáticos em paralelo para recuperação de partículas sólidas. Os gases libertados do tanque de fundido (smelt) são lavados e conduzidos para a fornalha da caldeira de recuperação.

A caldeira de recuperação foi construída em aço macio. Dada a sua natureza, os problemas de operação e de segurança são muito complexos exigindo especiais cuidados e uma elevada qualidade da água de alimentação.

A produção de vapor é complementada pela caldeira de biomassa e “fuel-oil”, e que pode produzir 105 toneladas/hora de vapor a 60 bar e a 425 °C a queimar casca, ou 125 toneladas/hora no caso de queimar exclusivamente “fuel-oil”.

3.2 Caldeira de Biomassa

A caldeira de biomassa, que faz uma queima mista de biomassa (rejeitos do processo de descasque e resíduos florestais adquiridos externamente) e “fuel-oil” de suporte, tem o objectivo de gerar vapor a alta pressão a partir da água alimentada à caldeira (Bazzo, E., 1992). A sua capacidade de produção de vapor é de 125 toneladas/hora quando é utilizado “fuel-oil” como combustível, e é de 105 toneladas/hora quando se queima casca de eucalipto.

Os resíduos florestais devem estar misturados com a casca de eucalipto antes de entrarem no sistema de alimentação do combustível e isentos de impurezas não combustíveis. O caudal de biomassa para a caldeira, e para uma carga de 90

toneladas/hora, é de aproximadamente 280 m³/hora com um teor de humidade relativa de 50% (Portucel Soporcel, 2005).

4. TRATAMENTOS DE ÁGUA E DE CONDENSADOS

A caldeira de recuperação pode estar sujeita a explosões quando, por acidente, a água cai sobre o leito de fundido existente na soleira da caldeira. Nestas circunstâncias, este tipo de caldeira é extremamente exigente no que diz respeito à prevenção dos processos de sujamento e corrosão. Para o efeito, o rigor com que se controla a qualidade da água e os métodos de tratamento da água de compensação, de alimentação, da caldeira e dos condensados, é muito maior do que em outras centrais térmicas, mesmo que as caldeiras operem a pressões mais elevadas. O cuidadoso tratamento da água permite prevenir a ocorrência de fenómenos de corrosão na caldeira e noutros circuitos água/vapor, prevenindo a acumulação de depósitos e formação de espuma no interior do ebulidor (Teixeira *et al*, 2001).

4.1 Descrição geral dos circuitos de água e vapor

A água usada na fábrica de Cacia da Portucel-Soporcel, SA é captada no Rio Vouga através de 3 bombas centrífugas com uma capacidade global de 8400 m³/hora. Após crivagem, a água captada recebe cloro ou hipoclorito de sódio para oxidação da matéria orgânica e desinfecção. Posteriormente, é submetida a um processo de clarificação englobando a coagulação com apoio de sulfato de alumínio, decantação e filtração. Actualmente o consumo da fábrica ronda os 1400 m³/hora de água tratada.

A água destinada à alimentação das caldeiras resulta da mistura dos condensados recuperados com a água desmineralizada produzida em instalação própria. Antes de ser introduzida nas caldeiras a água de alimentação é aquecida em permutadores de calor, destacando-se o economizador onde se recupera o calor dos gases de combustão. Nas caldeiras o vapor saturado extraído dos respectivos barriletes superiores é sobreaquecido nos sobreaquecedores, seguindo então para a turbina de contra-pressão e o excesso, no caso de a capacidade de produção de vapor ser superior ao consumo da fábrica, para a turbina de condensação. O vapor extraído na turbina de contra-pressão é enviado para o processo onde condensa, recuperando-se o condensado para alimentação à caldeira. A taxa de recuperação dos condensados é, actualmente, superior a 80%.

4.2 Tratamento da água de compensação

Dados os elevados riscos inerentes ao funcionamento da caldeira de recuperação, o tratamento da água envolvida em todo o processo de produção de vapor é muito exigente, particularmente no que diz respeito a água de compensação que deve ter concentração muito reduzida de sais dissolvidos. Para o efeito a água captada no rio Vouga, é tratada por um processo de clarificação e desinfecção, e submetida a desmineralização por permuta iónica, como se ilustra na figura 4.1.

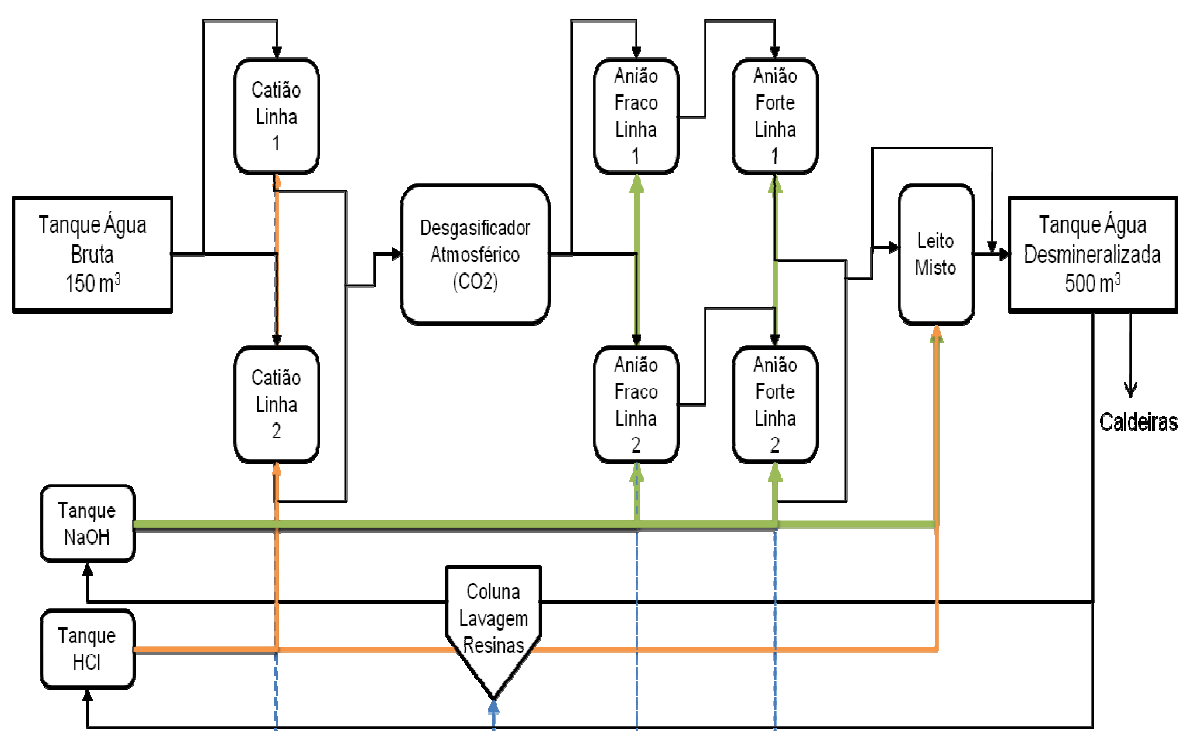


Figura 4.1 - Diagrama de desmineralização da Fábrica de Cacia.

A unidade de desmineralização é constituída por duas linhas primárias, cada uma formada por três unidades em que a primeira contém um leito de resina catiónica forte na forma H^+ , a segunda resina aniónica fraca na forma OH^- e a terceira contendo resina aniónica forte na forma OH^- . Para as duas linhas há um degasificador atmosférico instalado entre as unidades de resinas catiónicas e aniónicas que tem como objectivo a remoção do dióxido de carbono (CO_2) formado por reacção do hidrogenocarbonato presente na água com o hidrogénio cedido pela resina catiónica. As saídas das duas linhas convergem num leito misto composto por resina aniónica e catiónica fortes misturadas, que tem como objectivo remover vestígios de iões ainda presentes (Portucel Soporcel, 2008).

Tal como se pode ver na figura 4.1 a água bruta é alimentada pelo topo do leito da resina catiónica, onde os catiões presentes na água (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) são trocados por catiões hidrogénio. A água descationizada apresenta carácter ácido (pH entre 2 e 2,5 na escala Sorënsen).

Por razões processuais o dióxido de carbono (CO_2) produzido durante a passagem na resina catiónica é removido num degasificador atmosférico por um processo de transferência de massa usando-se ar como gás de arraste. O degasificador é constituído por uma coluna de enchimento sendo alimentado na sua base o ar que é insuflado com a ajuda de um ventilador. O ar e a água circulam pelo enchimento em contra-corrente.

Os aniões são trocados por OH^- sucessivamente nos leitos de resinas aniónicas fracas e aniónicas fortes. À saída deste último leito, a água ainda contém pequenas concentrações de sais correspondendo a uma condutividade de $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ainda demasiado elevado para as exigências do processo (Teixeira *et al*, 2001).

O tratamento final desta água é feito no leito misto, constituído por uma mistura de resinas aniónica e catiónica fortes. A água à saída do leito misto terá, em condições normais para ser alimentada ao processo, uma condutividade máxima de $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Quando a condutividade da água à saída das duas linhas primárias atingir o valor de $5 \mu\text{S}/\text{cm}$, ou quando o volume de água tratada atinge os 2160 m^3 , procede-se à regeneração das resinas.

A regeneração das resinas é efectuada de acordo com o seguinte método:

- Resinas catiónicas: inicia-se o processo com a descompactação da resina durante 4 minutos com um caudal, em contra-corrente, de $115 \text{ m}^3/\text{h}$ de água industrial. Segue-se a regeneração propriamente dita, que é feita com ácido clorídrico a 6% (HCl), durante 20 minutos com um caudal de $27,4 \text{ m}^3/\text{h}$ e, finalmente, efectuem-se as lavagens lenta e final durante cerca de 120 minutos com água desmineralizada.
- Resinas aniónicas: o processo, realizado em série, para as duas resinas, diferindo apenas nos seguintes aspectos: 1) descompactação da resina - 10 minutos com um caudal de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ de água industrial; 2) regenerante - hidróxido de sódio a 2% (NaOH) aplicado durante 25 minutos com um caudal de $26,1 \text{ m}^3/\text{h}$.
- A regeneração do leito misto, após um serviço de 24780 m^3 , inicia-se com a separação das resinas durante 15 minutos, seguindo-se um repouso de 5 minutos. Procede-se então à regeneração da resina aniónica durante 30

minutos e seguida de uma lavagem lenta. Segue-se a regeneração da resina catiónica durante 30 minutos seguida de uma lavagem lenta e por fim uma lavagem final de 30 minutos com um caudal de 140 m³/h. O processo termina misturando as duas resinas com auxílio de ar comprimido.

Na tabela 4.1 apresentam-se os requisitos de controlo adoptados pela empresa para controlo da água desmineralizada.

Tabela 4.1 – Requisitos de qualidade para a água desmineralizada (água de compensação)

Parâmetro	Unidade	Requisitos de controlo
pH	Escala Sorênsen	6,0-8,5
Sódio	µg/L Na	≤20
Sílica	µg/L SiO ₂	≤20
Condutividade	µS/cm	≤0,3

4.3 Tratamento da água de alimentação

Como se referiu atrás a água de alimentação resulta da mistura, nos desgaseificadores térmicos, da água desmineralizada com o condensado. Neste equipamento procede-se, por transferência de massa, à redução da concentração dos gases dissolvidos, especialmente o oxigénio que, nas condições de operação das caldeiras e nas linhas de condensados, daria rapidamente origem a picaduras e, conseqüentemente, a perfurações.

A degasificação térmica é feita numa torre de pratos. A água é pulverizada no seu topo, deslocando-se através do enchimento para o tanque de água de alimentação às caldeiras. Em contra-corrente circula o gás de arraste dos gases removido, vapor de água à pressão de 0,25 bar. O excesso de vapor, contendo os gases removidos, é enviado para a atmosfera.

No tanque de água de alimentação adiciona-se carbohidrazida que, nas condições de operação se decompõe em hidrazina e anidrido carbónico. A hidrazina, como redutor, reagirá com o oxigénio remanescente. É também neste tanque que se injectam as aminas responsáveis pela correcção do pH dos condensados.

Na tabela 4.2 apresentam-se os requisitos de controlo adoptados pela empresa para controlo da água de alimentação.

Tabela 4.2 – Requisitos de controlo para a água de alimentação

Parâmetro	Unidade	Requisitos
pH	Escala Sorënsen	8,8-9,6
Oxigénio	µg/L O ₂	≤10
Sódio	µg/L Na	≤20
Cálcio	µg/L Ca	≤10
Ferro	µg/L Fe	≤20
Sílica	µg/L SiO ₂	≤20
Condutividade	µS/cm	≤10
Cobre	µg/L Cu	≤3
Hidrazina	µg/L N ₂ H ₄	20-40

4.4 Tratamento da água da caldeira

Na fábrica de Cacia da Portucel Soporcel, SA, adoptou-se há anos o tratamento de água de caldeira do tipo “*Fosfato-pH coordenado*” que difere dos outros tipos de tratamento porque, para controlar o pH da água da caldeira é adicionado, no ebulidor da caldeira, uma combinação de fosfato dissódico e fosfato trissódico. Fundamentalmente pretende-se evitar a presença de hidróxido livre (OH⁻) para prevenir os fenómenos de corrosão cáustica.

Para garantir que a qualidade do vapor produzido não é afectada pelo arrastamento de contaminantes da água da caldeira, em particular a sílica (Babcock e Wilcox, 1972) que afectaria irremediavelmente o funcionamento das turbinas, é mantida uma purga contínua de água da caldeira de modo a limitar a concentração de algumas substâncias, como se mostra na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Requisitos de qualidade para a água da caldeira

Parâmetro	Unidade	Requisitos
pH	Escala Sorënsen	9,2-9,7
Sódio	mg/L Na	≤20
Fosfato	mg/L PO ₄	2-5
Sílica	mg/L SiO ₂	≤2
Condutividade	µS/cm	<150
[Na]: [PO ₄]	-	2,3-3,0

4.5 Tratamento de condensados

Desde que não existam arrastamentos de água da caldeira, o condensado é essencialmente água ultra-pura onde se dissolvem os gases transportados pelo vapor (dióxido de carbono, oxigénio, amoníaco, aminas, azoto, etc.). Num circuito como o da

fábrica de Cacia o dióxido de carbono resultante da decomposição térmica de carbonato e hidrogenocarbonato na água da caldeira é o contaminante mais importante e que faz com que o condensado seja agressivo para o aço macio da tubagem.

Os condensados em causa são tratados por reacção do dióxido de carbono com uma mistura de aminas de baixa massa molar (ciclohexilamina, monoetanolamina e metoxipropilamina) de modo a garantir que o pH se mantenha no intervalo 8,5-9,2. Devido à sua volatilidade, as aminas são adicionadas no tanque de água de alimentação, ajustando-se o seu doseamento em função do pH dos condensados no retorno.

Na tabela 4.4 apresentam-se os requisitos de controlo adoptados pela empresa para controlo do condensado.

Tabela 4.4 – Requisitos para controlo para o condensado

Parâmetro	Unidade	Requisitos de controlo
pH	Escala Sorënsen	8,8-9,2
Sódio	$\mu\text{g/L Na}$	≤ 10
Sílica	$\mu\text{g/L SiO}_2$	≤ 20
Ferro	$\mu\text{g/L Fe}$	≤ 20
Cobre	$\mu\text{g/L Cu}$	≤ 3
Condutividade	$\mu\text{S/cm}$	≤ 10
Condutividade após passagem em resina catiónica forte	$\mu\text{S/cm}$	$\leq 0,2$

5. CIRCUITO DE CONDENSADOS

A pureza dos condensados é essencial quando se pretende utilizá-los, juntamente com a água de compensação, como água de alimentação a caldeiras de média e alta pressão. Contudo, num processo industrial eles podem estar sujeitos a ser contaminados, nomeadamente por:

- Aminas adicionadas para a correcção do pH dos condensados;
- Anidrido carbónico com origem na decomposição térmica do bicarbonato e/ou carbonato presentes na água da caldeira, ou por deficiente eliminação no desgaseificador térmico;
- Oxigénio se os processos de desgaseificação e redução na água de alimentação à caldeira não funcionarem correctamente;
- Amónia por decomposição da hidrazina e das aminas;
- Substâncias dissolvidas ou em suspensão presentes em água de arrefecimento ou em correntes processuais, no caso de fugas acidentais ou permanentes nos permutadores de calor em que o vapor é usado como fluido de aquecimento;
- Produtos de corrosão dissolvidos ou na forma de partículas sólidas.

A contaminação dos condensados por correntes processuais pode afectar negativamente o funcionamento da caldeira, sobretudo quando o tratamento da água da caldeira é do tipo “*Fosfato-pH coordenado*”. Este era a dificuldade sentida na condução das caldeiras da fábrica de Cacia, embora fosse difícil estabelecer exactamente os pontos de contaminação devido aos seus baixos níveis. A sua identificação foi o desafio que levou à realização deste trabalho em que se procurou caracterizar os condensados em toda a rede e a partir daí definir os pontos de contaminação e as condições envolvidas nessa ocorrência.

5.1 Descrição do circuito de condensados

Na Fábrica de Cacia existem dois tanques de condensados principais, o tanque de condensados do branqueamento e o tanque de condensados da central. Ao tanque de condensados do branqueamento chegam condensados provenientes do:

- Tanque de condensados da tiragem 4;
- Tanque de condensados da tiragem 3;
- Aquecedor de água branca/água morna para os lavadores 2 e 3;
- Tanque de condensados do reator de dióxido de cloro;
- Aquecedor do filtrado do estágio de branqueamento D2 para o estágio D1;
- Aquecedor de água quente;
- Aquecedor do filtrado do estágio de branqueamento D0 para diluição.

As correntes que chegam ao tanque de condensados da Central provêm:

- Evaporação;
- Digestor contínuo;
- Digestores descontínuos;
- Caldeira de recuperação 4 (CR4);
- Condensador do turbogerador 4 (TG4);
- Condensadores dos turbogeradores 1 e 3;
- Corrente de vapor de média pressão;
- Corrente de vapor de baixa pressão;
- Máquina de papel;
- Branqueamento;
- *Stripping*.

Na figura 5.1 apresenta-se o diagrama de fluxo do circuito de condensados da Fábrica de Cacia onde estão representados todos os pontos de medição das variáveis físico-químicas para controlo da qualidade dos condensados e disponíveis no Sistema Digital de Controlo.

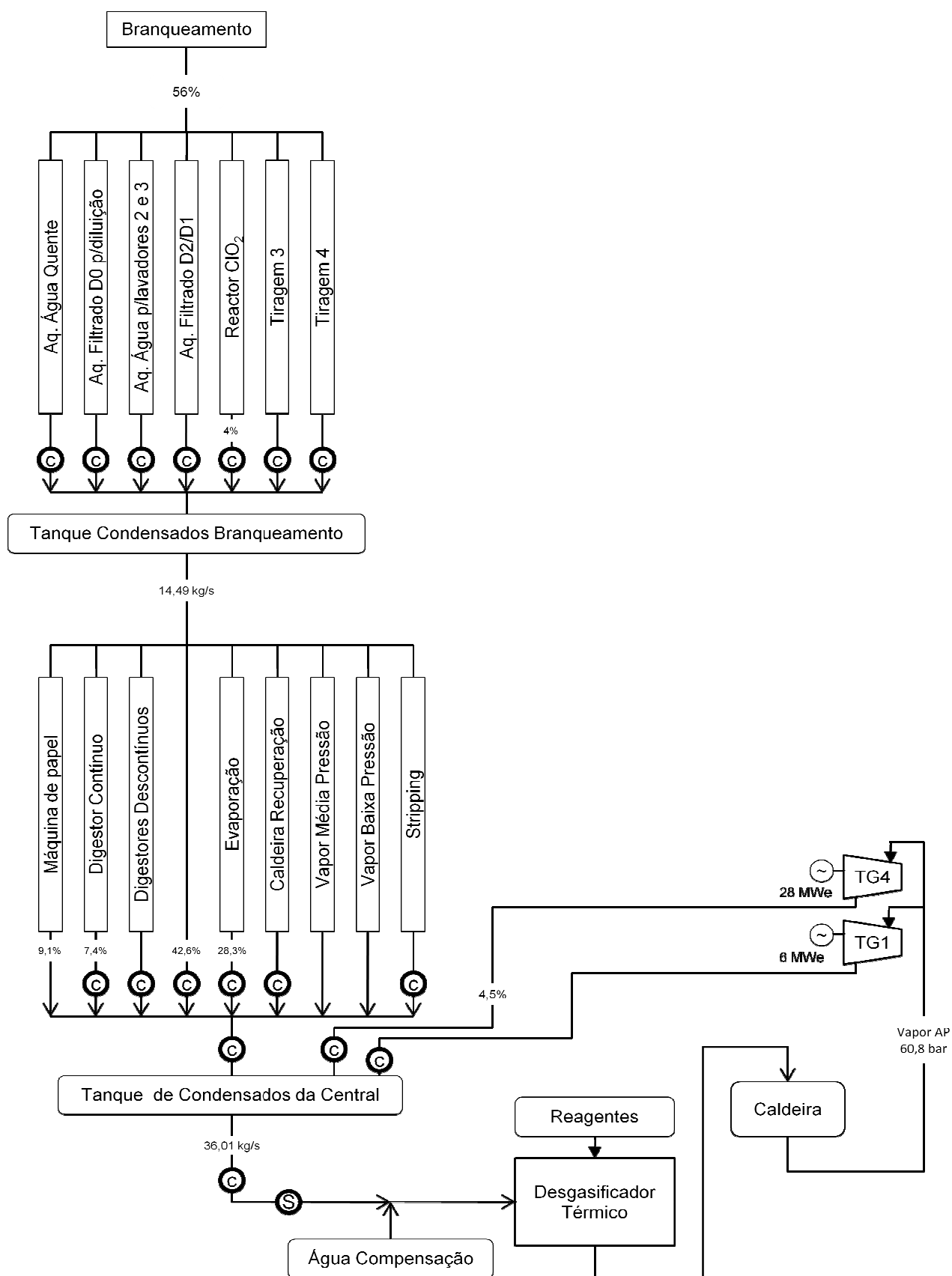


Figura 5.1 - Diagrama de fluxo das correntes de condensados com indicação dos condutivímetros instalados em linha (C) e do medidor de sódio em linha (S) e contribuição percentual das correntes principais.

No que diz respeito ao desvio de condensados para esgoto, está estabelecido que a contaminação é considerada excessiva quando a condutividade ultrapassa o valor de 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para os condensados que chegam ao tanque da Central. Para outras linhas que chegam ao tanque do branqueamento têm o valor limite de desvio para esgoto de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este trabalho foi realizado com o objectivo de detectar pontos de contaminação dos condensados de toda a unidade fabril. A verificação da qualidade dos condensados foi feita por caracterização dos seguintes parâmetros: condutividade, pH e concentração de sílica e de sódio. Fez-se ainda um levantamento das características dos condutivímetros instalados em linha (ver anexo A) para verificar se a gama de medição de cada aparelho se encontrava ajustada aos valores de condutividade seleccionado para desvio da corrente de condensados para esgoto, e também se verificou se estes valores de desvio eram os mais convenientes.

Durante o período de ensaio os parâmetros de controlo foram determinados diariamente, em todos os pontos seleccionados. A frequência de amostragem foi a seguinte: para o sódio e para a sílica uma vez por dia; para o pH e condutividade, duas vezes por dia.

De acordo com as especificações do equipamento instalado em linha, o erro admitido para os medidores de condutividade é de 1% e de 5% para o analisador da concentração de sódio. Quanto ao medidor portátil (HACH, modelo HQ30d), o erro admitido é de 0,5% para a condutividade e de 5% para o pH.

Apenas as correntes de condensados do tanque da Central dispõem de sistemas de amostragem com arrefecimento instalados em linha.

A leitura da condutividade e do pH foi feita em linha nas correntes de condensados de alimentação ao tanque da Central (Evaporação, Digestor contínuo, Digestores descontínuos, Caldeira de recuperação 4, Condensador do turbogerador 4, Máquina de papel, Branqueamento e também a saída do tanque da central), enquanto nas correntes do tanque de condensados do branqueamento (Aquecedor de água branca/água morna para os lavadores 2 e 3, Tanque de condensados do reactor de dióxido de cloro, Aquecedor do filtrado do estágio de branqueamento D2 para o estágio D1, Aquecedor de água quente, Aquecedor do filtrado do estágio de branqueamento D0 para diluição), as amostras foram recolhidas e depois arrefecidas, fazendo-se posteriormente a determinação, com o medidor portátil cedido pelo Departamento de Manutenção, do pH e da condutividade. Nas correntes onde apresentam medidor de condutividade instalado em linha foi feita a comparação do valor deste medidor e do valor

lido com o medidor portátil de forma a verificar o desvio existente, apresentando-se em anexo os resultados obtidos.

A determinação da concentração de sódio foi feita no analisador instalado em linha à saída do tanque de condensados da Central, cuja gama de medida é entre 0,00 e 9,99 mg/L Na (ver Anexo C). Também foi utilizado a fotometria de emissão de chama para uma leitura de concentrações mais elevadas de sódio (método interno do Laboratório Central da empresa). A determinação da concentração de sílica foi realizada no Laboratório Central (LC) no medidor multi-paramétrico (método interno do Laboratório Central da empresa).

A calibração do aparelho de medida de condutividade portátil foi feita semanalmente com uma solução de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A sua verificação foi feita diariamente com uma solução de 0,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para avaliar a sensibilidade do aparelho em gamas baixas de condutividade (ver Anexo D). Quanto ao medidor portátil de pH, a sua calibração foi também realizada semanalmente.

Estão instalados em linha condutivímetros para medir a “condutividade catiónica” dos condensados. A sua medição é usada para detectar contaminações que não são normalmente detectadas com a determinação da condutividade. Na realidade o condensado é obrigado a passar, antes da sonda do condutivímetro, por uma coluna de resinas catiónicas fortes na forma hidrogénio que troca catiões como o cálcio, sódio, etc., por hidrogénio, o que, em alguns casos, torna a solução ácida e com condutividade mais elevada. Quando os condensados têm aminas neutralizantes para correcção do pH, pode ocorrer uma diminuição de condutividade porque a solução passa de alcalina a neutra.

7. RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

Nas secções que se seguem apresentam-se, para simplificar a interpretação, os resultados obtidos durante o período de avaliação na forma de gráficos. Os valores propriamente ditos apresentam-se no anexo E.

7.1 Tanque de condensados da Central

Nas figuras 7.1 a 7.6 apresentam-se os resultados obtidos nas determinações efectuadas durante o período de avaliação para as correntes de condensados que alimentam o tanque de condensados da central e a de saída do tanque. O eixo das abcissas dos gráficos representa a data em que foi feita a monitorização dos parâmetros, correspondendo o ponto 1 ao dia 15 de Setembro e o ponto 16 ao dia 9 de Outubro. Porém, como foram efectuadas duas leituras diárias da condutividade e do pH, os pontos correspondentes à segunda amostra do dia estão assinalados com uma linha ('). De forma a confirmar e verificar a correspondência das amostras, a legenda do eixo das abcissas encontra-se em anexo.

A ausência de valores para as amostras de determinados pontos de monitorização corresponde à indisponibilidade do medidor portátil, à ausência de amostra no seu ponto de recolha ou à paragem da unidade fabril (dia 1 de Outubro).

7.1.1 Condutividade

A figura 7.1 apresenta os valores da condutividade para as correntes à entrada e a saída do tanque de condensados da Central.

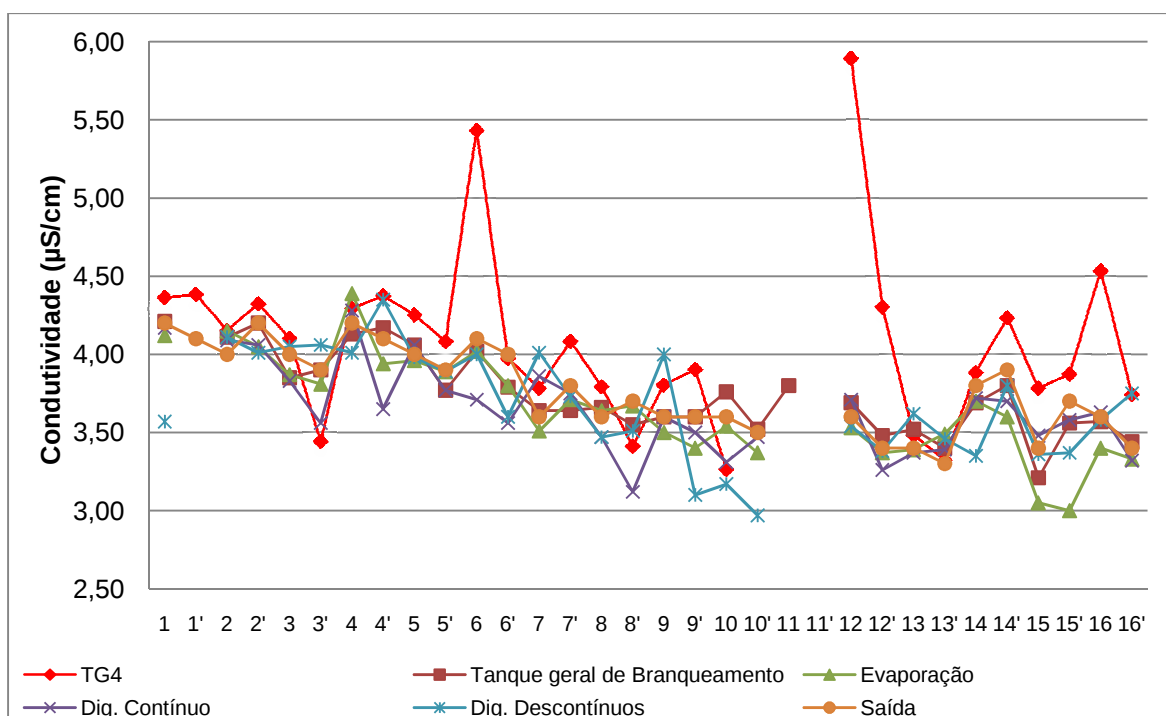


Figura 7.1 - Valores da condutividade medidos com medidor portátil para as correntes à entrada e para a saída do tanque de condensados da Central.

Verifica-se que os valores de condutividade apresentados pelas diferentes correntes são entre si da mesma ordem de grandeza e vão sofrendo uma ligeira diminuição ao longo do tempo de monitorização. Apenas a corrente de condensados do condensador do turbogerador 4 apresenta picos de condutividade e valores quase sempre mais elevados que as restantes correntes, o que indicia claramente contaminação com água de arrefecimento.

Apesar do valor da condutividade das correntes alimentadas ao tanque decrescer durante o período em análise, o seu valor continua a ser superior à condutividade estabelecida para os condensados de $3,60 \mu\text{S}/\text{cm}$, sendo este o valor médio dos valores de condutividade do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4 (ver Anexo E).

Os resultados obtidos à saída do tanque de condensados da Central foram comparados com os valores de referência de forma a verificar o desvio que ocorre entre estes valores.

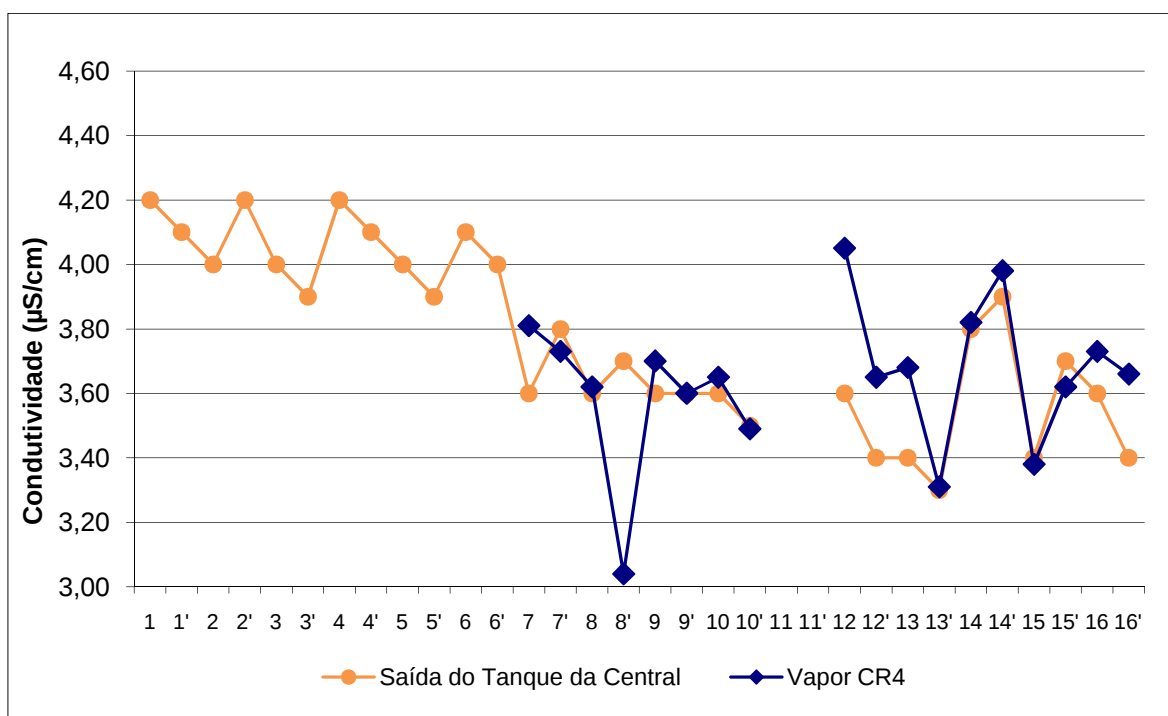


Figura 7.2 - Valores da condutividade para a corrente de saída do tanque da central e do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.

Nos pontos onde é possível a comparação dos valores das duas correntes, verifica-se que a qualidade do condensado à saída do tanque acompanha os valores de referência. Apenas no ponto 8', os seus valores são díspares e a qualidade do condensado é inferior à de referência.

7.1.2 pH

A figura 7.3. representa os valores de pH das correntes da entrada e da saída do tanque de condensados da central.

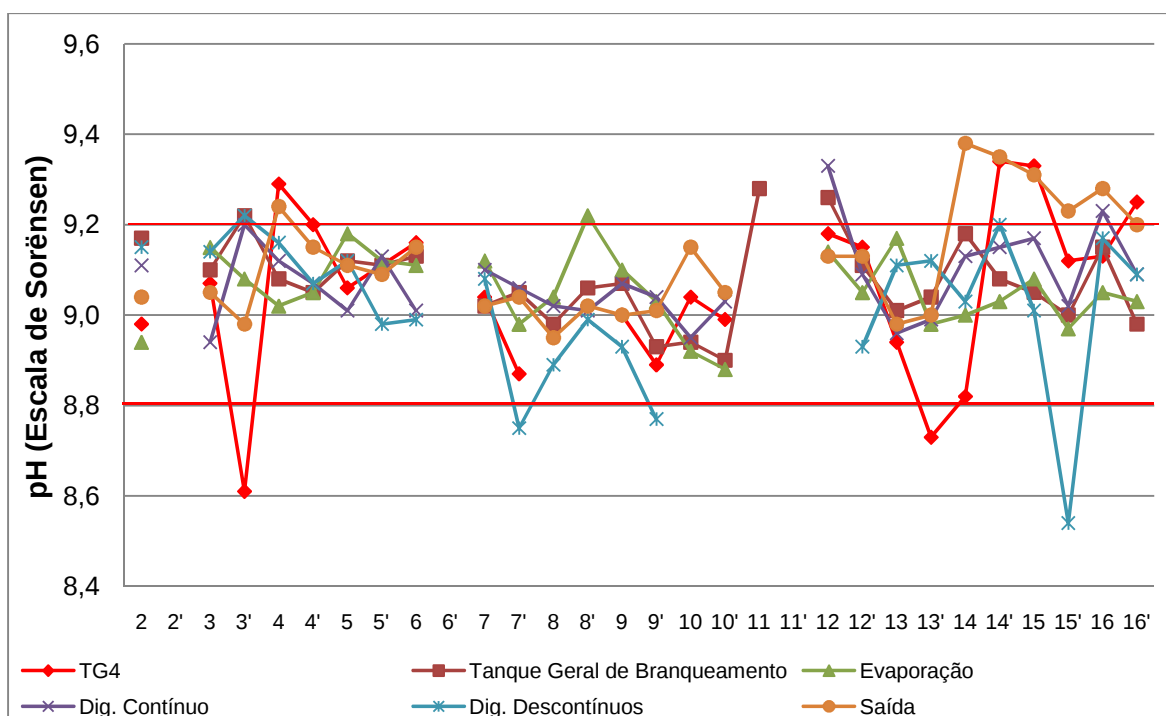


Figura 7.3 - Valores do pH medidos com o medidor portátil para as correntes à entrada e da saída do tanque de condensados da Central.

Os valores encontram-se, normalmente, dentro dos limites definidos. Chama-se apenas a atenção para alguns valores pontuais de pH baixo observados no condensado do TG4 e no condensado dos digestores descontínuos.

No que respeita ao condensado do turbogerador 4, o valor de pH baixo corresponde aos pontos 3', 13' e 14, podem ser indicativos de contaminações, uma vez que a água que circula no condensador tem um pH entre 6,0 a 7,5. Como a pressão do lado da água é superior à do lado do vapor, em caso de perfuração dos tubos há certamente contaminação (ver Anexo B).

No caso dos Digestores Descontínuos, os valores de pH baixo podem dever-se ao seu modo de operação em descontínuo, ou seja, o valor baixo de pH pode resultar de períodos de paragem prolongada da instalação, em que pode ocorrer uma dissolução de dióxido de carbono (CO_2) no condensado.

7.1.3 Sílica

Os valores relativos à concentração de sílica nas correntes de entrada e da saída no tanque de condensados da Central são apresentados na figura 7.4.

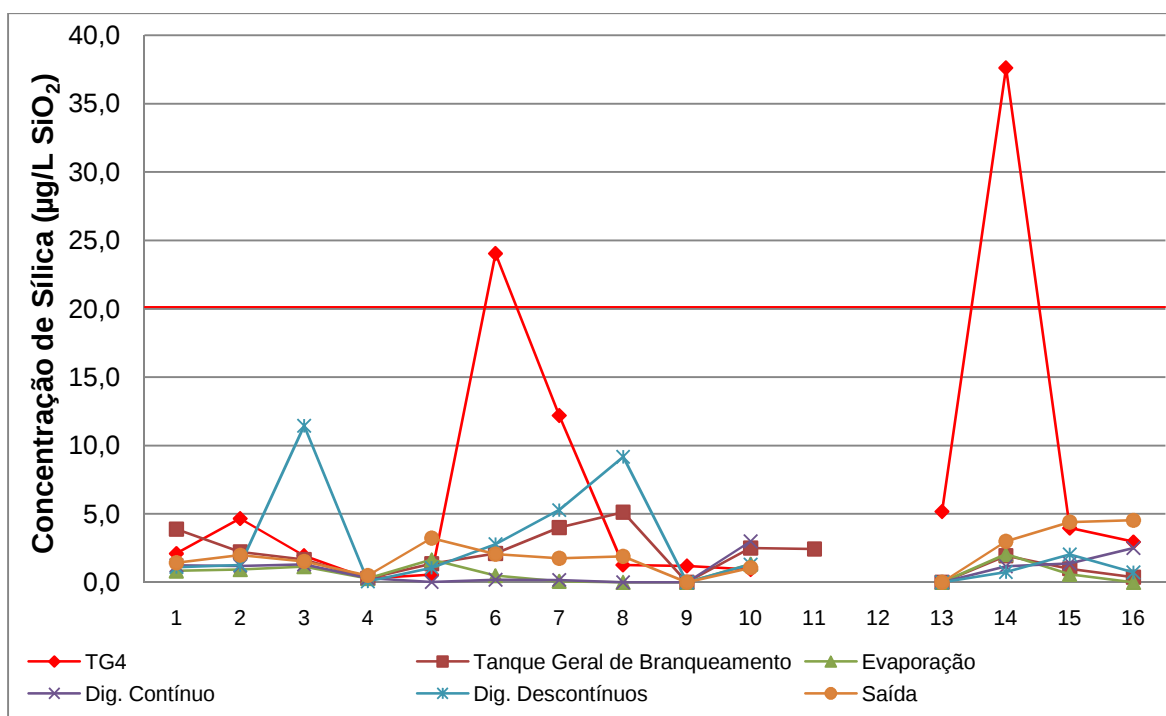


Figura 7.4 - Valores da concentração de sílica para as correntes à entrada e da saída do tanque de condensados da Central.

Verifica-se que a corrente de condensados do condensador do turbogerador 4 apresenta valores pontuais de concentração de sílica acima do limite estabelecido, o que vem confirmar a ocorrência de contaminação desta corrente. As restantes correntes apresentam valores de concentração dentro do limite, apesar da concentração de sílica nos condensados dos digestores descontínuos apresentar também alguns valores mais elevados.

7.1.4 Sódio

A figura 7.5 apresenta sob a forma gráfica os valores da concentração de sódio nas correntes de entrada e da saída do tanque de condensados da Central.

As correntes de condensados do condensador do turbogerador 4 e dos digestores descontínuos apresentam concentração de sódio sistematicamente acima do limite estabelecido (10 µg/L Na). As restantes correntes apresentam concentração de sódio abaixo do limite no período em análise. Verifica-se a ocorrência de quatro picos de sódio para o turbogerador 4 que correspondem ao ponto 6 (dia 23 de Setembro), ao ponto 12 (dia 3 de Outubro), ao ponto 14 (dia 7 de Outubro) e ao ponto 16 (dia 9 de Outubro), estes picos também ocorrem na monitorização do parâmetro condutividade (ver figura 7.1). Contudo, apesar da concentração de sódio e de sílica ultrapassar os limites, o valor

da condutividade é que determina o aproveitamento dos condensados, e o seu valor não atingiu, em nenhum ponto, o valor de desvio estabelecido. **O sódio será, portanto, o melhor parâmetro para caracterização dos condensados e aquele que melhor identifica uma situação de contaminação.**

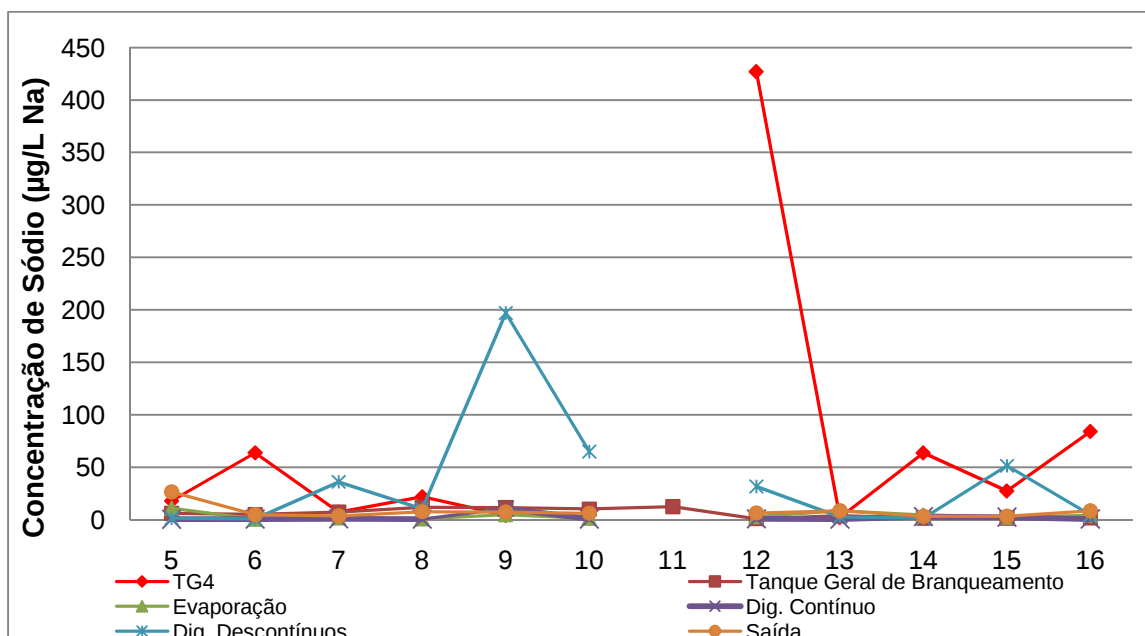


Figura 7.5 - Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados da Central.

Para melhor comparar os valores na gama baixa foram retirados os valores máximos registados para o turbogerador 4 e dos digestores descontínuos e os resultados obtidos encontram-se na figura 7.6.

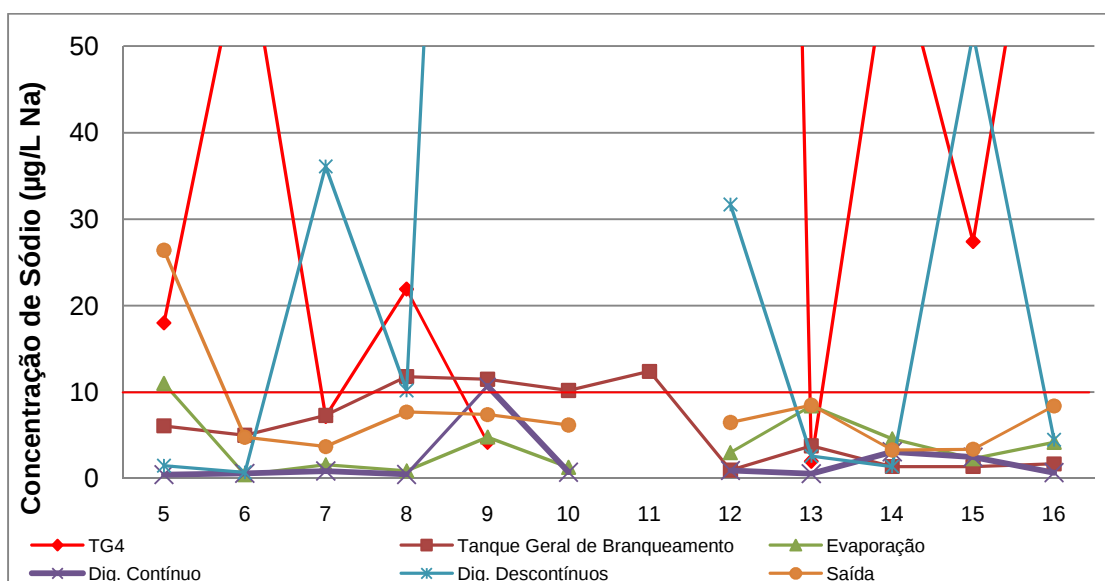


Figura 7.6 - Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados da Central (concentrações inferiores a 50 µg/L Na).

O valor da concentração de sódio nos condensados da corrente do branqueamento também ultrapassa o limite definido desde o ponto 8 (dia 25 de Setembro) até ao ponto 11 (dia 1 de Outubro). Com a monitorização dos condensados parciais que alimentam o tanque de condensados do Branqueamento, melhores conclusões se poderão tirar relativamente a esta corrente, como se verá pelos resultados apresentados mais à frente.

Apesar de os resultados apresentados nas figuras 7.1 a 7.6 não o revelarem, existe ainda contaminação dos condensados da evaporação, como também iremos ver mais à frente.

7.2 Concentrador 1 A/B da Evaporação

Como já foi referido, os condensados da corrente de evaporação apresentam contaminação que ocorre quando as secções do concentrador 1 A/B são colocadas em serviço após lavagem. Como os operadores têm conhecimento desta ocorrência, fazem, por rotina, o desvio dos condensados em modo manual, de forma a salvaguardar a qualidade dos condensados no tanque.

Os concentradores da evaporação são lavados com uma periodicidade pré-definida para manter a sua capacidade de evaporação. Durante a lavagem, apenas uma das secções do concentrador está a ser lavada e a outra está em serviço. O que se tem verificado é que no caso do concentrador 1, quando se coloca novamente em serviço a secção que esteve em lavagem, quer seja a secção A ou a B, ocorre contaminação do condensado com lixívia. Para avaliar o grau de contaminação, acompanhou-se a colocação em serviço da secção B do concentrador 1 após ter sido lavado (ver Anexo E).

Os resultados obtidos foram:

Valor máximo de condutividade:

Medidor Portátil: 832 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Medidores instalados em linha:

Saída do tanque da evaporação: 69 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Entrada do tanque de condensados da Central: 64 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Valor máximo da concentração de sódio: 135 mg/L Na

Verifica-se que ocorre uma discrepância muito elevada do valor obtido com o medidor portátil relativamente aos valores dados pelos aparelhos instalados em linha.

A quantidade de condensado desviado para esgoto durante esta operação foi estimada em cerca de 43 m³/d (considerando que o tempo de desvio são 30 minutos, um caudal médio de 12 L/s e que a operação ocorre 2 vezes por dia).

A mesma monitorização foi feita relativamente à lavagem do concentrador 2 A/B, e não foi detectada contaminação dos condensados.

7.3 Digestores Descontínuos

Com o objectivo de monitorizar os cozimentos de cada digestor descontínuo separadamente, procedeu-se à recolha de amostras dos respectivos digestores durante a fase de aquecimento. Apenas os digestores 1, 2 e 3 foram monitorizados, pois o ponto de recolha de amostra do digestor 4 encontra-se fora de serviço.

Para o digestor 1 obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Resultados obtidos para o digestor 1.

Digestor 1	Condutividade (μS/cm)	Concentração de Sódio
Amostra 1	4,3	7,1 μg/L Na
Amostra 2	4,5	7,1 μg/L Na
Amostra 3	8,0	3,5 mg/L Na
Amostra 4	11,1	2,0 mg/L Na

Verifica-se, pelos resultados obtidos, que no caso das amostras 3 e 4 o condensado estava contaminado.

Para o digestor 2 obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Resultados obtidos para o digestor 2.

Digestor 2	Condutividade (μS/cm)	Concentração de Sódio (μg/L Na)
Amostra 1	5,9	0,85
Amostra 2	5,9	16
Amostra 3	5,5	2,9
Amostra 4	5,3	0,84

Verifica-se, pelos resultados obtidos, que apenas a amostra 2 apresenta uma concentração de sódio de 16 μg/L Na acima do valor limite que é de 10 μg/L Na.

Nos digestores a contaminação deve-se à passagem de lixívia de cozimento, sendo esta constituída essencialmente por hidróxido de sódio e sulfureto de sódio e matéria orgânica.

Para o digestor 3 obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Resultados obtidos para o digestor 3.

Digestor 3	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Concentração de Sódio
Amostra 1	34,0	1,2 mg/L Na
Amostra 2	22,2	1,1 mg/L Na
Amostra 3	6,10	64 $\mu\text{g}/\text{L}$ Na
Amostra 4	6,00	45 $\mu\text{g}/\text{L}$ Na
Amostra 5	5,70	23 $\mu\text{g}/\text{L}$ Na
Amostra 6	5,40	31 $\mu\text{g}/\text{L}$ Na
Amostra 7	6,00	0,17 mg/L Na
Amostra 8	6,00	28 $\mu\text{g}/\text{L}$ Na

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que todas as amostras de condensado recolhidas estão contaminadas, é de notar que a concentração de sódio é muito elevada.

Importa ainda referir que os condensados dos Digestores Descontínuos 2, 3 e 4 não são sujeitos a medição e controlo de condutividade antes de entrar no tanque de recolha de condensados da pasta crua. Estão apenas instalados condutivímetros na linha de condensado do permutador do Digestor n.º 1, na linha de condensado à saída do tanque de condensados da pasta crua e na linha de condensado à entrada do tanque da Central. Verificou-se existir uma diferença significativa entre o valor da condutividade à saída do tanque da pasta crua e o valor à entrada do tanque da Central.

7.4 Máquina de Papel

A avaliação da qualidade dos condensados da máquina de papel (CPK) só foi realizada de forma a despistar uma possível contaminação, tendo sido apenas retiradas algumas amostras. Os resultados obtidos apresentam-se na tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Resultados obtidos para os condensados da máquina de papel.

Amostra	Condutividade medida em linha ($\mu\text{S/cm}$)	pH medido em linha (Escala Sorënsen)	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
1	3,4	9,0	0,92	1,2
2	4,2	8,8		
3	3,5	9,0	1,38	0,94
4	3,6	8,9		
5	3,7	8,9	0,00	1,5
6	4,3	8,6		

Esta corrente não tem medidor de condutividade instalado em linha porque não existe risco potencial de contaminação. Os resultados mostram de facto teores de sílica e de sódio bastante inferiores aos valores limite.

7.5 Tanque de Condensados do Branqueamento

Após avaliação da qualidade dos condensados do tanque da Central, procedeu-se ao acompanhamento dos condensados alimentados ao tanque de condensados do Branqueamento. A avaliação teve início no dia 16 de Outubro e terminou no dia 6 de Novembro. As correntes de condensados que alimentam o tanque de condensados do Branqueamento, e que foram sujeitas a monitorização, foram:

1. Aquecedor de água branca para lavadores 2 e 3;
2. Tanque condensados do reactor de dióxido de cloro;
3. Aquecedor filtrado D2 p/ D1 (filtrado ácido);
4. Aquecedor de água quente;
5. Aquecedor de filtrado do D0 p/ diluição (filtrado ácido).

Nas figuras seguintes, figura 7.7 a 7.10, apresentam-se os gráficos produzidos dos resultados obtidos para as correntes de condensados que chegam ao tanque de condensados do Branqueamento. Nesses gráficos o eixo das abcissas representa a data-hora em que foi feita a avaliação dos parâmetros analisados, correspondendo o ponto 1 ao dia 16 de Outubro e o ponto 13 ao dia 6 de Novembro. Contudo como foram efectuadas duas leituras da condutividade e do pH, os pontos correspondentes à segunda amostra do dia estão assinalados com uma linha ('). De forma a confirmar e

verificar a correspondência das amostras, a legenda do eixo das abcissas encontra-se em anexo. A ausência de valores para as amostras de determinados dias de monitorização corresponde à ausência de amostra no seu ponto de recolha.

7.5.1 Condutividade

A figura 7.7 apresenta os valores da condutividade para as correntes à entrada do tanque de condensados do branqueamento.

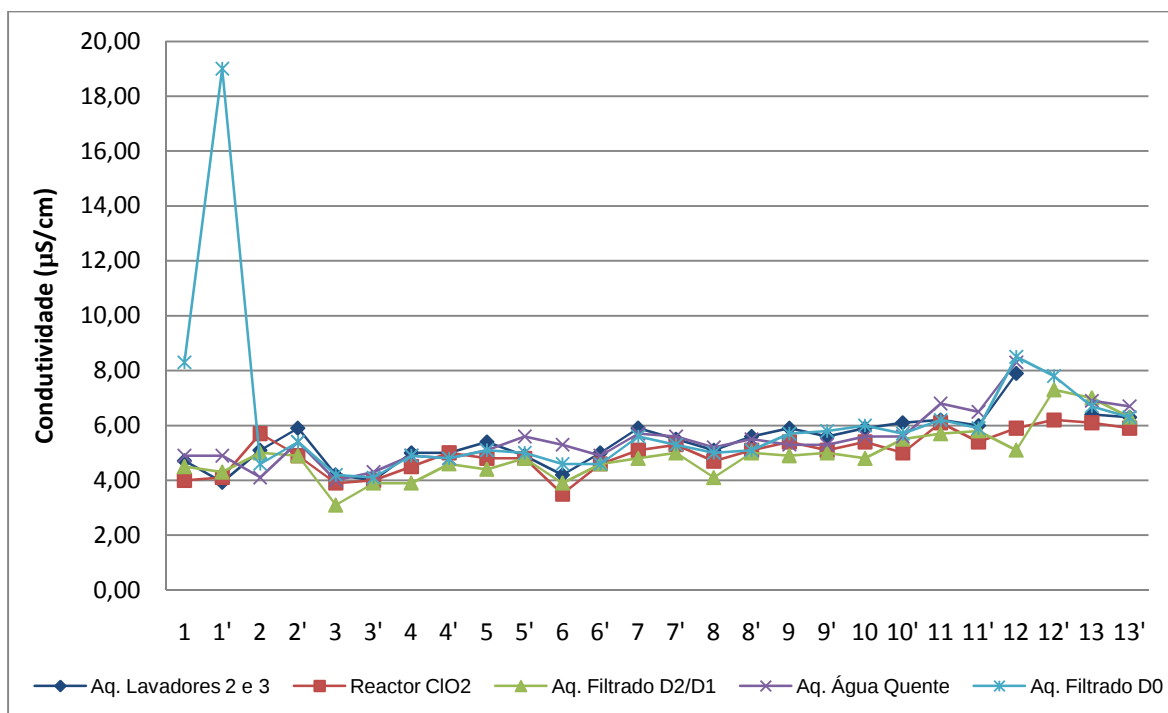


Figura 7.7 - Valores da condutividade medidos com o medidor portátil para as correntes do tanque de condensados do branqueamento.

Os valores de condutividade sofreram um ligeiro aumento ao longo do período de monitorização. Apenas a corrente de condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição apresenta um pico no ponto 1' (2ª amostra do dia 16 de Outubro). A amostragem foi feita numa situação de arranque da instalação do branqueamento e pode ter havido eventualmente variações nas pressões do aquecedor, o que pode levar à contaminação do condensado no caso de existirem rupturas nos tubos do permutador. **Sugere-se então, mais caracterizações da corrente do aquecedor de filtrado do D0 quando a produção do branqueamento estiver reduzida e determinar a concentração de cloretos no seu condensado.**

No dia 5 de Novembro (ponto 12), as amostras recolhidas coincidem com uma situação de arranque do branqueamento, o que pode justificar o ligeiro aumento observado na condutividade.

Os valores lidos no *monitor* dos condutivímetros instalados em linha e no medidor portátil apresentam desvios significativos em todos os casos. Na tabela 7.5 apresenta-se o erro máximo de cada corrente.

Tabela 7.5 - Desvio entre o valor dado pelo aparelho de condutividade instalado em linha e o medidor portátil.

Corrente de Condensados	Desvio máximo (%)
Aquecedor de água para lavadores 2 e 3	55,7
Tanque condensados Reactor de dióxido de cloro	109,6
Aquecedor filtrado D2/D1	79,2
Aquecedor de água quente	65,2
Aquecedor de filtrado do D0 para diluição	67,8

7.5.2 pH

A figura 7.8 diz respeito aos valores de pH das correntes à entrada do tanque de condensados do branqueamento.

Verifica-se que os valores de pH estão sistematicamente fora do intervalo de pH definido.

No ponto 1' (dia 16 de Outubro), e como referido anteriormente, a amostragem foi feita numa situação de arranque da instalação do Branqueamento e pode ter havido eventualmente variações nas pressões das correntes, o que pode levar à contaminação do condensado no caso de existirem rupturas nos tubos do permutador. Como o fluido a aquecer é ácido, a contaminação resulta num abaixamento do pH.

O dia 27 de Outubro, não há registo de alterações processuais significativas que justifiquem o abaixamento do pH em todas as correntes.

O condensado proveniente do aquecedor de água branca para os lavadores 2 e 3 apresenta vários valores de pH inferiores a 8,8. Como o fluido a aquecer tem um pH entre 3,9 e 4,1, estes resultados podem ser indicativos de uma contaminação, mas que não é observável a partir dos valores de condutividade apresentados na figura 7.7.

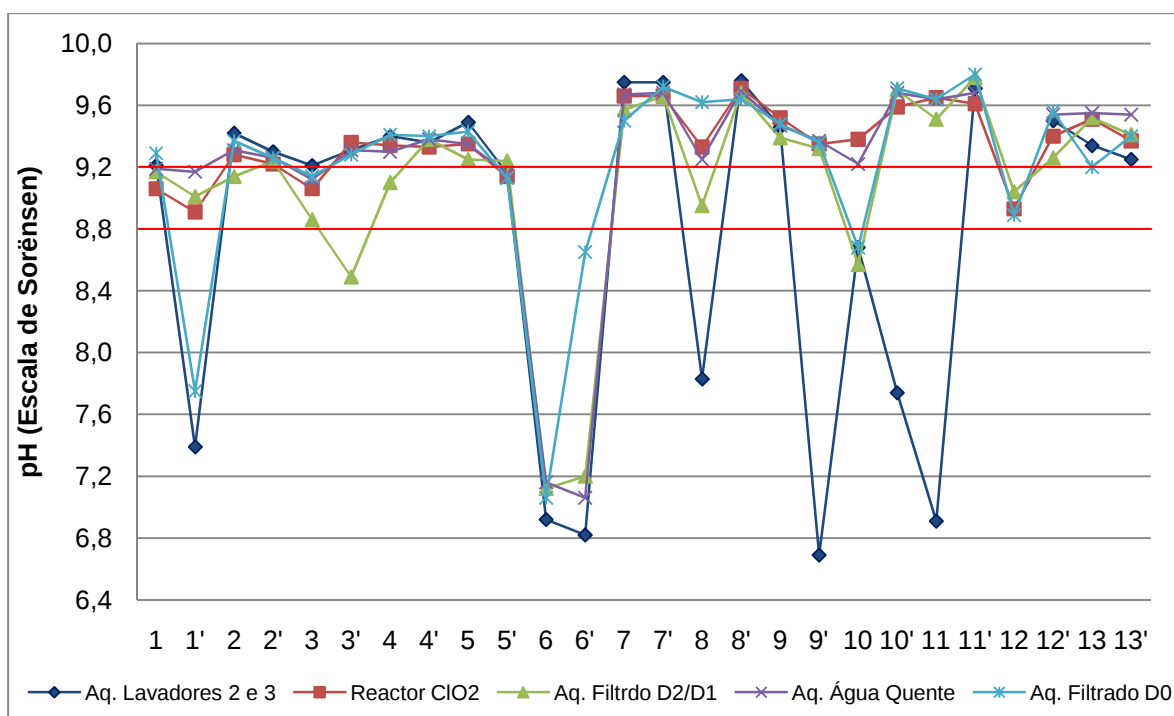


Figura 7.8 - Valores do pH medidos com o medidor portátil para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.

7.5.3 Sílica

Os valores relativos à concentração de sílica nas correntes de entrada no tanque de condensados do branqueamento são apresentados na figura 7.9.

Os valores de sílica nos condensados estão normalmente abaixo do valor limite, com exceção do condensado do aquecedor de água quente nos dias 23 de Outubro (ponto 5) e 4 de Novembro (ponto 11) e do condensado do aquecedor de filtrado do D0 no dia 5 de Novembro (ponto 12). O dia 23 de Outubro corresponde a uma situação de produção reduzida. Os dias 4 e 5 de Novembro correspondem a situações de produção reduzida e de arranque, respectivamente. Portanto, a contaminação dos condensados nestas situações pode ocorrer devido a variações de pressão nas correntes associadas à existência de rupturas nos tubos dos aquecedores.

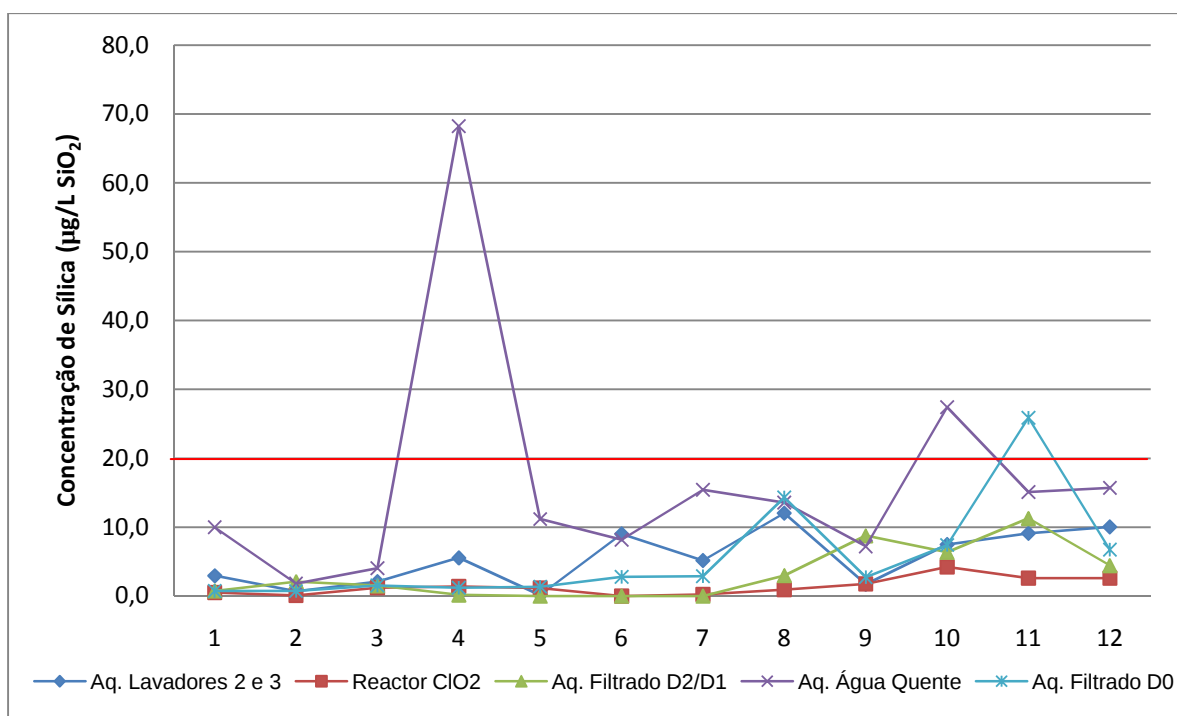


Figura 7.9 - Valores da concentração de sílica para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.

7.5.4 Sódio

A figura 7.10 apresenta sob a forma gráfica os valores da concentração de sódio nas correntes de entrada do tanque de condensados do branqueamento.

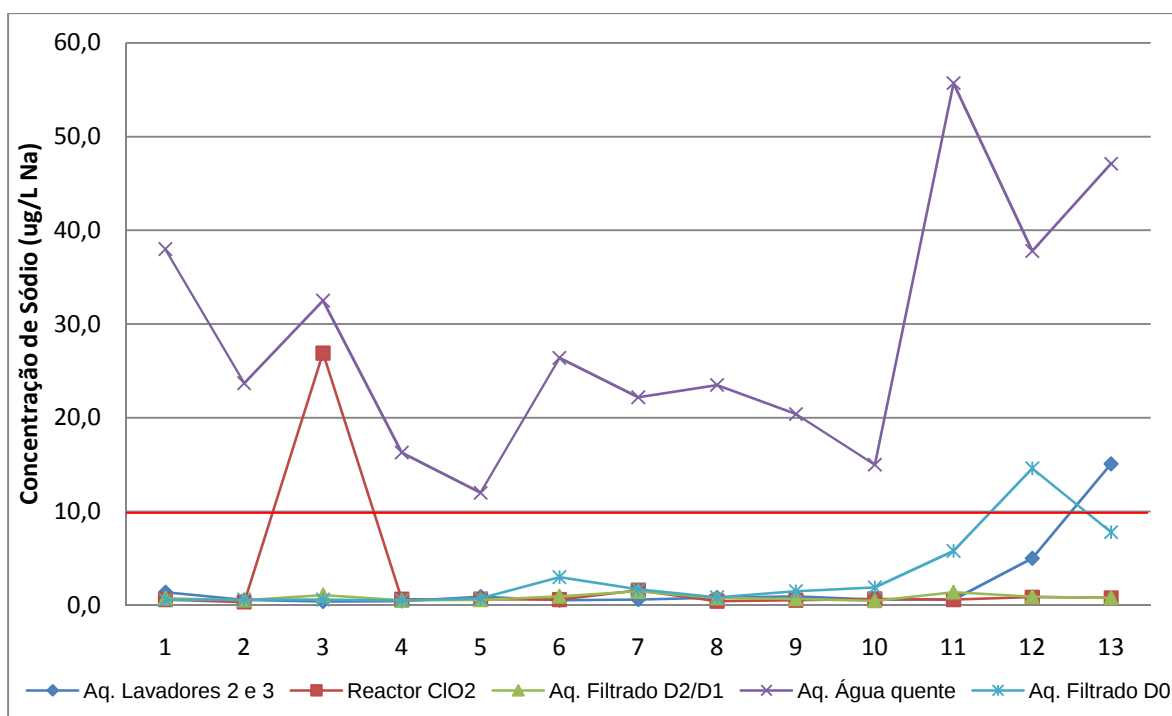


Figura 7.10 - Valores da concentração de sódio para as correntes do tanque de condensados do Branqueamento.

A concentração de sódio do condensado do aquecedor de água quente encontra-se sempre acima do limite definido ($10 \mu\text{g/L Na}$), estando por isso esta corrente contaminada. Pela análise dos dados de projecto deste permutador (ver Anexo B), a pressão do fluido de arrefecimento (água) é superior ao lado do vapor e havendo ruptura nos tubos ocorre contaminação, como é o caso.

Na corrente de condensado do reactor de dióxido de cloro, observa-se também a existência de um valor acima do valor limite definido ($10 \mu\text{g/L Na}$); no entanto, como não existe registo de alterações processuais com significado, sugere-se o acompanhamento desta corrente para verificar se de facto existem situações pontuais de contaminação.

No dia 5 de Novembro (ponto 12), observa-se ainda um valor acima de $10 \mu\text{g/L Na}$ no condensado do aquecedor do filtrado D0, que coincide com o pico observado no gráfico da condutividade e da concentração de sílica e que diz respeito a uma situação de arranque do branqueamento. No dia 6 de Novembro (ponto 13), ocorre também um valor acima de $10 \mu\text{g/L Na}$ no condensado do aquecedor de água branca para os lavadores 2 e 3, no entanto, não há registo de alterações processuais significativas que o justifiquem (produção e caudais de lavagem normais).

Sublinha-se o mau estado de conservação dos condutivímetros instalados em linha e dos quais se apresentam algumas fotografias na figura 7.11 e 7.12. Verifica-se

que nos 4 digestores descontínuos, apenas um condutivímetro se encontra em serviço, apesar de não calibrado, e os restantes foram retirados do seu local de funcionamento.



Figura 7.11 - Situação actual dos condutivímetros nos digestores descontínuos.



Figura 7.12 - Estado de conservação do tanque de condensados do branqueamento e dos condutivímetros instalados em linha.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A análise dos resultados obtidos durante o período de avaliação permite concluir e sugerir o seguinte:

- Foram identificadas como sujeitas a contaminação as correntes de condensado com as seguintes origens:

- 1) Condensador do Turbo-Gerador **TG4**;
- 2) Permutadores de calor dos **Digestores Descontínuos**;
- 3) Aquecedor de água quente para o **Branqueamento**.

Foi ainda detectada a ocorrência de contaminações pontuais do condensado proveniente da **Evaporação** quando as secções do concentrador 1 são colocadas em serviço após lavagem. Durante o acompanhamento da colocação em serviço da secção 1/B registou-se um valor máximo na concentração de sódio no condensado de 135 mg/L Na.

- Verifica-se, neste momento, que a maior contribuição de contaminação dos condensados é o condensador do Turbogenerador 4; contudo, a natureza da contaminação do condensado proveniente dos digestores descontínuos pode ser, para as caldeiras, bastante mais gravosa porque favorece a produção de arrastamentos;
- Considera-se como importante a reparação ou substituição dos permutadores onde está a ocorrer a contaminação do condensado;
- Mantendo-se a actual situação não é possível cumprir permanentemente os requisitos definidos para controlo do tratamento da água da caldeira;
- A situação actual exige uma apertada vigilância da qualidade da água da caldeira, nomeadamente no que diz respeito ao pH dado que são possíveis variações bruscas nos dois sentidos;
- Enquanto não for solucionada a questão que se prende com a contaminação dos condensados é de atenuar o rigor no controlo da água da caldeira, nomeadamente no que diz respeito à razão Na : PO₄;

- Parte do equipamento instalado em linha encontra-se em muito mau estado de conservação. É recomendável a sua reparação ou substituição;
- Sugere-se que o equipamento de medida instalado em linha tenha um programa de verificação e/ou calibração adequado e que se instalem as rotinas de manutenção aos equipamentos em linha mais adequados;
- Verifica-se que o parâmetro “Sódio” é o mais indicado para controlo da qualidade dos condensados;
- Como medidas a médio/longo prazo sugere-se que sejam montados arrefecedores de amostra em todas as linhas de condensados e, se possível, que se instalem em linha instrumentos para medir o parâmetro sódio;
- Sugere-se que sejam uniformizados os valores de desvio para esgoto dos condensados e das unidades;
- Recomenda-se que se adequem as escalas dos aparelhos de medida para as gamas de leitura. Por exemplo, escala dos aparelhos de condutividade vai até 10 mS/m, com excepção do equipamento instalado à saída do tanque de condensados da Central cuja escala vai até 4,0 mS/m, e o valor de desvio é de 1,0 mS/m ou 1,5 mS/m.

BIBLIOGRAFIA

- Adams T.; Frederick, W.; Grace, T.; Hupa, M.; Iisa, M.; Jones, A.; Tran, H., "Kraft Recovery Boilers", TAPPI Press, Atlanta, 1997.
- Babcock, G.; Wilcox, S., "Steam/ its generation and use", The Babcock & Wilcox Company, 1972.
- Bazzo, E., "Geração de Vapor", Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil 1992.
- CEA/FIPP, "Relatório da avaliação efectuada aos processos de tratamento de água das instalações fabris do grupo Portucel Soporcel em Cacia", Centro de Estudos de Águas da Fundação Instituto Politécnico do Porto, 2008.
- CELPA, Boletim Estatístico da Indústria Papeleira de 2008, Associação da Indústria Papeleira, Lisboa, 2009.
- Gullichsen J.; Fogelholm C. J., *Chemical Pulping*, Volume B, Papermaking Science and Technology, Helsinki, 1999.
- Instrução técnica, "Circuito Cogeração – Supervisão e Controlo da Qualidade da Água/Vapor", Portucel-Soporcel, Centro Fabril de Cacia, 2008.
- Instrução técnica, "Descrição do Equipamento", Portucel-Soporcel, Centro Fabril de Cacia, 2004.
- Instrução técnica, "Manual de Operação da Caldeira Auxiliar", Portucel-Soporcel, Centro Fabril de Cacia, 2005.
- Kemmer, F.; McCallion, J., "The Nalco Water Handbook", McGraw-Hill, Inc, 1979.
- Portucel Soporcel "Monografia da Fábrica de Cacia", Portucel-Soporcel, Centro Fabril de Cacia, 2006.
- Prospecto, "Portucel – Empresa produtora de pasta e papel, S.A." Portucel-Soporcel, Centro Fabril de Cacia, 2005.
- Sousa, G., "Caldeira de Recuperação", RAIZ Instituto de Investigação da Floresta e Papel, 2003.
- Teixeira, F.; Pereira, I.; Santos, R.; Beleza, V., "Tratamento de água de caldeiras", Edições Politema, Porto, 2001.
- Grupo Portucel Soporcel, *O Grupo – Fábricas*, 2009, <http://www.portucelsoporcel.com/pt/group/mills.php> (acedido em 27 de Outubro de 2009)

Anexos

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE MEDIDA INSTALADO EM LINHA

De forma a verificar as características dos medidores instalados em linha foi feito um levantamento das características mais importantes dos equipamentos que se apresentam na seguinte tabela.

Tabela 1. Equipamento instalado no tanque de condensados da central e do branqueamento.

DESCRIÇÃO	DESVIO ($\mu\text{S/cm}$)	MODELO	CONST. SENSOR (cm^{-1})	GAMA ($\mu\text{S/cm}$)	GAMA DCS ($\mu\text{S/cm}$)
BRANQUEAMENTO					
Permutador Água Quente	15	RO/140/1054B C	1,0	?	0-100
Permutadores Água Tiragens	10	SP/CP10/BC3210	?	0-100	0-100
Permutador Filtrado D0	10	RO/402-12/1055	0,1	0-100	0-100
Saída Tanque Condensados SVP	10	SP/CP10/BC3210	?	0-100	0-100
Permutador Filtrado D2 p/ D1	10	SP/CP10/BC3210	?	0-100	0-100
CENTRAL					
Entrada do tanque	ND	RO/141-94-14-54-02/1054B C	0,01	?	0-100
Saída do tanque	100 $\mu\text{g/L}$ Na^+	SW/A-87720010/A.96.250.211	-	0,01-9,99 mg/L Na	?
Colector do Turbo Gerador 4	ND	SW/A82.841.030/96263011	0,01	0,055-1000	?
Branqueamento	15	RO/10140-55/1054B C	0,01	0-10	0-100
Evaporação	15	RO/10140-55/1054B C	0,01	0-10	0-100
Digestor Contínuo	15	RO/10140-55/1054B C	0,01	0-10	0-100
Digestores Descontínuos	15	RO/10140-55/1054B C	0,01	0-10	0-100
Caldeira de Recuperação 4	3,0	PO/?/9125	?	0,01-200	?

Modelo: Fornecedor/Modelo Sensor/Modelo Analisador

Fornecedor: Rosemount – RO; Spirax – SP; Polymetron – PO; Swan – SW.

ND – Não desvia para esgoto

? - Desconhecido

ANEXO B – DADOS TÉCNICOS DOS PERMUTADORES.

De forma a verificar as características dos permutadores dos diferentes processos foi feito o levantamento das características dos permutadores que se apresentam na tabela seguinte.

Tabela 2. Dados técnicos dos permutadores das unidades consideradas contaminadas.

	Material de Construção	Pressão de projecto (bar_g)	Temperatura de projecto (°C)
Condensador do Turbogeração 4			
Lado Água	CuZn28SnF33	7,5	60
Lado Vapor	Aço Inox AISI 316	4,2	170
Permutador de Água Quente do Branqueamento			
Lado Água	Aço Inox AISI 316L	4,0	75
Lado Vapor	Aço Inox AISI 316	2,8	150

Nota: não existe informação dos dados técnicos relativos ao permutador dos digestores descontínuos.

ANEXO C – DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓDIO

O método para a determinação da concentração de sódio utilizado foi o do medidor instalado em linha à saída do tanque de condensados da central.

Princípio do método:

A determinação da concentração do sódio é feita no equipamento instalado em linha. É uma medição electrométrica, usando um eléctrodo selectivo de sódio. A concentração de amónio e as interferências do pH da amostra são eliminados por um reagente adequado. Para concentrações baixas de sódio é necessário o condicionamento do pH de 10,5, utilizando Diisopropilamina (DIPA) ou amónia.

A amostra é alimentada ao equipamento num frasco de 1 litro e flui até à “cabeça constante” de onde segue para o tubo de reacção. O caudal da amostra é ajustado com a válvula reguladora de fluxo e após a medição da concentração de sódio, os resíduos seguem para esgoto.

A medição da concentração do sódio inicia-se quando o frasco estiver totalmente voltado para baixo, criando-se um desnível entre a “cabeça constante” e da célula de fluxo, provocando uma pressão negativa no tubo de reacção. Devido a esta pressão negativa, o ar saturado é aspirado para dentro do tubo de reacção, provocando um aumento da pH da amostra para um valor de 10,5 e formando um fluxo regular de bolhas de ar. O fluxo de bolhas é utilizado para monitorar o fluxo da amostra correcta com o detector de bolhas. A interrupção do fluxo da amostra provoca uma suspensão da formação de bolhas e induz a um erro do sistema. Um litro de amostra é consumido em aproximadamente em 10 minutos, em que o eléctrodo de sódio efectiva leituras constante neste período de tempo.

ANEXO D – REGISTO DOS VALORES OBTIDOS NA VERIFICAÇÃO DO APARELHO PORTÁTIL DE MEDIDA DA CONDUTIVIDADE

Visto que o medidor de condutividade foi utilizado diariamente, a sua verificação foi realizada todos os dias. A calibração não foi realizada diariamente pela indisponibilidade da solução de calibração do aparelho.

Tabela 3. Valores da condutividade teórica do padrão e da condutividade lida no medidor portátil.

Dias	Condutividade do padrão ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade lida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
15-09-2008	0,9	0,13
16-09-2008		1,00
17-09-2008		1,19
18-09-2008		1,16
22-09-2008		1,21
23-09-2008		1,23
24-09-2008		1,31
25-09-2008		1,50
29-09-2008		1,54
30-09-2008		1,70
01-10-2008		1,60
02-10-2008		1,63
06-10-2008		1,78
07-10-2008		1,73
08-10-2008		1,81
09-10-2008		1,77
15-10-2008		1,82
16-10-2008		1,79
20-10-2008		2,61
21-10-2008		2,76
22-10-2008		2,81
23-10-2008		2,86
29-10-2008		2,80

Nota: No primeiro dia foi usado o medidor do Laboratório Central, mas para os restantes foi usado o medidor portátil disponibilizado pela manutenção. Verifica-se que ao longo do tempo ocorre a degradação do padrão, no entanto como se trata apenas de uma verificação não se justifica usar sempre uma nova solução e a solução é renovada semanalmente.

ANEXO E – RESULTADOS

Nas tabelas 4 a 8 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do turbogerador 4. À saída desta corrente existe uma resina catiónica que altera os valores da condutividade obtidos da corrente, sendo feita a sua monitorização em termos de condutividade e de pH.

Tabela 4. Valores da condutividade nos condensados do turbogerador 4.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida pelo aparelho portátil ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h51	1	4,40	23,0
	15h02	1'	4,40	22,7
16-09-2008	10h25	2	4,20	28,5
	14h19	2'	4,30	28,3
17-09-2008	10h48	3	4,10	28,6
	13h55	3'	3,40	29,0
18-09-2008	9h45	4	4,30	22,8
	13h49	4'	4,40	26,4
22-09-2008	10h32	5	4,30	28,0
	14h47	5'	4,10	29,0
23-09-2008	10h16	6	5,40	23,4
	16h03	6'	4,00	27,3
24-09-2008	10h53	7	3,80	28,4
	14h40	7'	4,10	27,7
25-09-2008	11h45	8	3,80	28,6
	15h26	8'	3,40	29,0
29-09-2008	10h31	9	3,80	28,7
	14h27	9'	3,90	29,6
30-09-2008	11h19	10	3,30	21,5
03-10-2008	10h00	12	5,90	23,0
	14h32	12'	4,30	25,2
06-10-2008	10h46	13	3,50	33,5
	15h23	13'	3,30	33,6
07-10-2008	10h22	14	3,90	19,6
	14h15	14'	4,20	19,1
08-10-2008	10h21	15	3,80	18,8
	14h20	15'	3,90	19,1
09-10-2008	10h29	16	4,50	18,2
	14h36	16'	3,70	21,6

Tabela 5. Valores da condutividade “catiônica” dos condensados do turbogerador 4.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida pelo aparelho portátil ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
22-09-2008	15h49	5'	0,90	0,60	29	28,1
23-09-2008	10h27	6	1,60	2,70	73	23,7
24-09-2008	10h56	7	0,90	1,20	26	26,9
	14h43	7'	1,30	1,70	33	27,4
25-09-2008	11h44	8	1,10	1,70	60	28,3
	15h28	8'	0,60	0,80	26	29,9
29-09-2008	10h33	9	1,00	1,40	46	28,4
	14h30	9'	1,20	1,50	28	29,1
30-09-2008	11h20	10	1,10	1,40	25	22,0
03-10-2008	10h02	12	9,20	10,5	14	23,4
	14h35	12'	3,70	4,20	15	24,8
06-10-2008	10h50	13	0,70	0,90	24	32,3
	15h26	13'	0,90	1,10	30	31,4
07-10-2008	10h25	14	2,50	3,00	22	19,9
	14h17	14'	3,00	3,40	13	19,8
08-10-2008	10h23	15	1,10	1,20	14	18,6
	14h23	15'	2,40	2,60	10	19,8
09-10-2008	10h33	16	4,60	4,90	6,0	18,5
	14h37	16'	0,60	0,80	18	21,9

Tabela 6. Valores de pH dos condensados do turbogerador 4 retirado antes da resina catiónica do amostrador.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	14h34	2	9,0	28,3
17-09-2008	11h42	3	9,1	28,5
	14h52	3'	8,6	27,9
18-09-2008	11h01	4	9,3	23,4
	14h43	4'	9,2	26,8
22-09-2008	12h18	5	9,1	27,5
	15h24	5'	9,1	28,1
23-09-2008	11h04	6	9,2	23,8
24-09-2008	11h16	7	9,0	28,1
	15h02	7'	8,9	28,3
29-09-2008	11h00	9	9,0	28,3
	14h50	9'	8,9	28,7
30-09-2008	11h14	10	9,0	22,4
	15h57	10'	9,0	23,2
03-10-2008	10h33	12	9,2	22,1
	14h48	12'	9,2	25,0
06-10-2008	11h02	13	8,9	32,1
	15h51	13'	8,7	32,8
07-10-2008	11h12	14	8,8	21,3
	14h35	14'	9,3	20,1
08-10-2008	11h00	15	9,3	19,4
	14h49	15'	9,1	19,6
09-10-2008	10h52	16	9,1	18,6
	14h43	16'	9,3	22,2

Tabela 7. Valores de pH dos condensados do turbogerador 4 após a resina catiónica do amostrador.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
22-09-2008	15h33	5'	5,8	27,8
24-09-2008	11h22	7	5,8	26,9
	15h16	7'	5,4	27,9
25-09-2008	12h10	8	5,4	28,7
	15h51	8'	6,4	28,8
29-09-2008	10h56	9	6,3	28,6
	14h40	9'	5,6	28,8
30-09-2008	11h17	10	5,5	22,1
03-10-2008	10h27	12	5,2	23,1
	14h45	12'	5,1	23,8
06-10-2008	11h04	13	6,0	31,0
	15h53	13'	5,3	31,6
07-10-2008	10h50	14	4,9	19,9
	14h37	14'	6,0	20,9
08-10-2008	11h05	15	5,8	19,3
	14h51	15'	5,4	19,9
09-10-2008	10h53	16	5,2	18,8
	14h45	16'	6,2	24,8

Tabela 8. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do turbogerador 4.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica (µg/L SiO ₂)	Concentração de Sódio (µg/L Na)
15-09-2008	1	2,10	-
16-09-2008	2	4,66	-
17-09-2008	3	1,94	-
18-09-2008	4	0,28	-
22-09-2008	5	0,55	18,0
23-09-2008	6	24,0	63,8
24-09-2008	7	12,2	7,20
25-09-2008	8	1,27	21,9
29-09-2008	9	1,20	4,20
30-09-2008	10	0,93	-
03-10-2008	12	-	427
06-10-2008	13	5,17	2,00
07-10-2008	14	37,6	63,6
08-10-2008	15	3,97	27,4
09-10-2008	16	2,96	84,1

Nas tabelas 9 a 11 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do tanque de branqueamento e o erro obtido, para a condutividade, por comparação do valor medido pelo aparelho portátil e o valor do equipamento instalado em linha.

Tabela 9. Valores da condutividade dos condensados do branqueamento.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida pelo aparelho portátil ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h33	1	4,20	5,40	28	22,5
16-09-2008	11h32	2	4,10	5,20	26	24,7
	14h57	2'	4,20	5,50	31	28,5
17-09-2008	11h33	3	3,90	5,00	30	23,3
	14h28	3'	3,90	5,00	28	23,9
18-09-2008	10h05	4	4,10	5,40	31	23,9
	14h00	4'	4,20	5,70	37	27,9
22-09-2008	11h38	5	4,10	5,00	23	27,3
	15h12	5'	3,80	5,20	38	25,2
23-09-2008	10h00	6	4,00	5,20	29	24,4
	16h05	6'	3,80	5,10	35	24,8
24-09-2008	10h40	7	3,60	4,90	35	29,2
	14h25	7'	3,60	4,80	32	28,9
25-09-2008	11h27	8	3,70	4,80	31	28,3
	15h21	8'	3,60	4,90	38	27,1
29-09-2008	10h17	9	3,60	4,80	32	24,3
	14h17	9'	3,60	4,70	32	28,3
30-09-2008	10h35	10	3,80	4,90	30	25,4
	14h26	10'	3,50	3,50	0,60	29,2
01-10-2008	9h30	11	3,80	3,80	0,80	20,0
03-10-2008	9h50	12	3,70	3,80	3,0	19,5
	14h29	12'	3,50	3,60	3,4	28,4
06-10-2008	9h55	13	3,50	3,60	2,3	21,6
	15h35	13'	3,40	3,60	5,9	24,5
07-10-2008	10h29	14	3,70	3,80	3,0	27,3
	14h22	14'	3,80	3,90	2,6	29,5
08-10-2008	10h31	15	3,20	3,20	0,30	26,5
	14h38	15'	3,60	3,70	3,9	32,7
09-10-2008	11h02	16	3,60	3,60	0,80	20,7
	14h31	16'	3,40	3,60	4,7	28,7

Tabela 10. Valores de pH dos condensados do branqueamento.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	15h51	2	9,2	26,5
17-09-2008	11h55	3	9,1	27,1
	14h33	3'	9,2	23,8
18-09-2008	10h56	4	9,1	29,8
	14h35	4'	9,1	29,2
22-09-2008	11h45	5	9,1	26,7
	15h16	5'	9,1	24,7
23-09-2008	11h14	6	9,1	26,1
24-09-2008	11h18	7	9,0	26,4
	15h10	7'	9,1	26,3
25-09-2008	12h02	8	9,0	29,5
	15h44	8'	9,1	26,8
29-09-2008	10h57	9	9,1	25,1
	14h42	9'	8,9	30,8
30-09-2008	11h07	10	8,9	30,9
	14h35	10'	8,9	30,6
01-10-2008	9h32	11	9,3	19,9
03-10-2008	10h20	12	9,3	17,7
	14h27	12'	9,1	26,2
06-10-2008	11h20	13	9,0	28,3
	15h47	13'	9,0	27,2
07-10-2008	11h19	14	9,2	25,2
	14h42	14'	9,1	29,5
08-10-2008	10h43	15	9,1	25,3
	14h41	15'	9,0	28,8
09-10-2008	11h01	16	9,2	23,3
	14h30	16'	9,0	30,1

Tabela 11. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do branqueamento.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	3,88	-
16-09-2008	2	2,22	-
17-09-2008	3	1,67	-
18-09-2008	4	0,29	-
22-09-2008	5	1,35	6,10
23-09-2008	6	2,11	5,00
24-09-2008	7	4,00	7,30
25-09-2008	8	5,12	11,8
29-09-2008	9	0,00	11,5
30-09-2008	10	2,51	10,2
01-10-2008	11	2,44	12,4
03-10-2008	12	-	0,98
06-10-2008	13	0,00	3,80
07-10-2008	14	1,94	1,40
08-10-2008	15	0,99	1,40
09-10-2008	16	0,37	1,70

Nas tabelas 12 a 14 apresentam-se os valores obtidos para os condensados da evaporação e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 12. Valores da condutividade dos condensados da evaporação.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida pelo aparelho portátil ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h28	1	4,10	4,80	16	25,0
16-09-2008	11h54	2	4,20	4,70	13	22,0
	15h09	2'	4,10	5,00	24	29,5
17-09-2008	11h17	3	3,90	4,40	14	28,1
	14h15	3'	3,80	4,70	23	33,6
18-09-2008	10h23	4	4,40	4,90	12	24,8
	14h05	4'	3,90	5,50	40	28,0
22-09-2008	11h24	5	4,00	4,90	24	26,0
	14h53	5'	3,90	4,60	18	31,9
23-09-2008	10h03	6	4,00	4,50	12	29,6
	16h14	6'	3,80	5,20	37	27,8
24-09-2008	10h44	7	3,50	4,03	22	23,2
	14h38	7'	3,70	4,80	29	29,5
25-09-2008	11h16	8	3,60	4,60	26	27,2
	15h24	8'	3,70	5,80	58	28,0
29-09-2008	10h15	9	3,50	5,10	45	32,2
	14h08	9'	3,40	5,60	64	27,0
30-09-2008	10h47	10	3,50	5,10	44	30,4
	14h25	10'	3,40	3,30	2,1	31,6
03-10-2008	9h46	12	3,50	2,60	26	22,6
	14h02	12'	3,40	2,60	23	29,2
06-10-2008	9h48	13	3,40	2,70	20	25,8
	15h30	13'	3,50	3,10	11	30,7
07-10-2008	10h35	14	3,70	3,10	16	30,6
	14h21	14'	3,60	2,90	19	29,5
08-10-2008	10h33	15	3,10	2,40	21	22,5
	14h31	15'	3,00	2,80	6,7	24,2
09-10-2008	10h37	16	3,40	2,90	15	23,4
	14h21	16'	3,30	2,90	13	25,3

Tabela 13. Valores de pH dos condensados da evaporação.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorênsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	15h42	2	8,9	29,5
17-09-2008	11h58	3	9,2	26,0
	14h37	3'	9,1	26,7
18-09-2008	10h50	4	9,0	30,6
	14h28	4'	9,1	28,4
22-09-2008	11h56	5	9,2	23,6
	15h22	5'	9,1	26,5
23-09-2008	11h00	6	9,1	25,3
24-09-2008	11h07	7	9,1	23,7
	15h22	7'	9,0	29,1
25-09-2008	12h19	8	9,0	27,7
	15h47	8'	9,2	26,9
29-09-2008	10h44	9	9,1	25,2
	14h49	9'	9,0	27,5
30-09-2008	11h05	10	8,9	30,4
	14h41	10'	8,9	32,3
03-10-2008	10h16	12	9,1	21,0
	14h18	12'	9,1	28,8
06-10-2008	11h24	13	9,2	24,0
	15h45	13'	9,0	30,2
07-10-2008	10h58	14	9,0	31,7
	14h44	14'	9,0	29,3
08-10-2008	10h45	15	9,1	22,7
	14h43	15'	9,0	24,5
09-10-2008	10h39	16	9,1	23,1
	14h23	16'	9,0	24,2

Tabela 14. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados da evaporação.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	0,83	-
16-09-2008	2	0,93	-
17-09-2008	3	1,14	-
18-09-2008	4	0,27	-
22-09-2008	5	1,65	11,0
23-09-2008	6	0,49	0,45
24-09-2008	7	0,08	1,60
25-09-2008	8	0,00	0,90
29-09-2008	9	0,00	4,80
30-09-2008	10	1,33	1,30
03-10-2008	12	-	3,00
06-10-2008	13	0,00	8,40
07-10-2008	14	2,05	4,60
08-10-2008	15	0,59	2,30
09-10-2008	16	0,00	4,20

Nas tabelas 15 a 20 apresentam-se os valores obtidos para os condensados da dos concentradores da evaporação.

Tabela 15. Valores da condutividade lida nos analisadores em linha dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.

Timestamp	Condutividade à saída da evaporação ($\mu\text{S/cm}$)	Condutividade à entrada do tanque da Central ($\mu\text{S/cm}$)
09-25-2008 13:30	5,80	4,90
09-25-2008 13:35	5,08	5,00
09-25-2008 13:40	4,06	4,90
09-25-2008 13:45	4,60	5,00
09-25-2008 13:50	4,40	5,10
09-25-2008 13:55	5,20	5,00
09-25-2008 14:00	6,10	4,80
09-25-2008 14:05	6,10	4,80
09-25-2008 14:10	6,00	4,90
09-25-2008 14:15	6,10	4,80
09-25-2008 14:20	39,5	6,10
09-25-2008 14:25	69,0	64,0
09-25-2008 14:30	12,1	27,0
09-25-2008 14:35	14,4	11,6
09-25-2008 14:40	22,2	12,8
09-25-2008 14:45	29,1	29,6
09-25-2008 14:50	10,9	19,5
09-25-2008 14:55	6,60	6,40
09-25-2008 15:00	6,10	5,30
09-25-2008 15:05	5,00	5,20
09-25-2008 15:10	5,50	5,10
09-25-2008 15:15	6,00	5,40
09-25-2008 15:20	6,20	5,60
09-25-2008 15:25	6,20	5,60
09-25-2008 15:30	7,00	6,00

Tabela 16. Valores da condutividade obtidos com o medidor portátil nos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.

Amostra	Tempo Hora:minuto	Condutividade à entrada do tanque da Central ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	14:08	3,90
2	14:15	3,90
3	14:16	3,90
4	14:19	4,30
5	14:23	5,90
6	14:24	239
7	14:25	411
8	14:26	747
9	12:27	832
10	12:28	741
11	14:36	14,5
12	14:37	17,3
13	14:38	19,8
14	14:39	20,3
15	14:40	18,6
16	14:44	54,8
17	14:48	49,6
18	14:52	9,90

Tabela 17. Valores da concentração de sódio dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 1 A/B.

Amostra	Concentração de Sódio ($\mu\text{g}/\text{L Na}$)
1	10,0
2	30,0
3	114×10^2
4	135×10^3
5	620

Tabela 18. Valores da condutividade medida em linha dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.

Timestamp	Condutividade à saída da evaporação ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade à entrada do tanque da Central ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
09-30-2008 11:40	5,50	4,50
09-30-2008 11:41	5,50	3,30
09-30-2008 11:42	5,05	3,30
09-30-2008 11:43	5,40	3,30
09-30-2008 11:44	5,50	3,30
09-30-2008 11:45	5,50	3,20
09-30-2008 11:46	5,60	3,40
09-30-2008 11:47	5,60	3,40
09-30-2008 11:48	5,50	3,30
09-30-2008 11:49	5,60	3,20
09-30-2008 11:50	5,90	3,30
09-30-2008 11:51	6,00	3,30
09-30-2008 11:52	5,90	3,30
09-30-2008 11:53	6,10	3,30
09-30-2008 11:54	5,90	3,30
09-30-2008 11:55	5,60	3,30
09-30-2008 11:56	5,00	3,40
09-30-2008 11:57	4,50	3,40
09-30-2008 11:58	5,30	3,40
09-30-2008 11:59	6,00	3,30
09-30-2008 12:00	5,70	3,40
09-30-2008 12:01	5,60	3,50
09-30-2008 12:02	5,60	3,40
09-30-2008 12:03	5,60	3,50
09-30-2008 12:04	5,60	3,50
09-30-2008 12:05	5,60	3,30
09-30-2008 12:06	5,70	3,40
09-30-2008 12:07	5,80	3,30
09-30-2008 12:08	5,70	3,30
09-30-2008 12:09	5,70	3,30
09-30-2008 12:10	5,60	3,30
09-30-2008 12:11	5,70	3,30
09-30-2008 12:12	5,70	3,40
09-30-2008 12:13	5,60	3,30
09-30-2008 12:14	5,50	3,30
09-30-2008 12:15	5,60	3,40
09-30-2008 12:16	5,60	3,50
09-30-2008 12:17	5,70	3,50
09-30-2008 12:18	5,70	3,50
09-30-2008 12:19	5,50	3,40
09-30-2008 12:20	5,60	3,50

Tabela 19. Valores da condutividade medida pelo aparelho portátil dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.

Amostra	Condutividade e à entrada do tanque da Central (µS/cm)
1	3,20
2	3,30
3	3,30
4	3,20
5	3,00
6	3,40
7	3,60
8	3,80
9	3,70
10	3,40
11	3,40
12	3,70
13	3,80
14	3,80
15	3,70
16	3,40
17	3,70
18	3,90
19	3,50
20	3,30
21	3,30
22	3,30
23	3,30
24	3,40
25	3,40
26	3,40
27	3,20
28	3,30
29	3,40
30	3,20
31	3,20
32	3,20
33	3,40

Amostr a	Condutividade e à entrada do tanque da Central (µS/cm)
34	3,40
35	3,30
36	3,20
37	3,30
38	3,40
39	3,30
40	3,30
41	3,20
42	3,30
43	3,40
44	3,30
45	3,40
46	3,20
47	3,30
48	3,40
49	3,20
50	3,20
51	3,20
52	3,30
53	3,30
54	3,40
55	3,40
56	3,40
57	3,40
58	3,30
59	3,20
60	3,20
61	3,30
62	3,20
63	3,20
64	3,30
65	3,70
66	3,60

Amostr a	Condutividade e à entrada do tanque da Central (µS/cm)
67	3,70
68	3,60
69	3,40
70	3,50
71	3,10
72	3,30
73	3,40
74	3,70
75	3,40
76	3,40
77	3,30
78	3,40
79	3,50
80	3,30
81	3,40
82	3,60
83	3,40
84	3,60
85	3,50
86	3,50
87	3,40
88	3,50
89	3,40
90	3,50
91	3,40
92	3,40
93	3,40
94	3,40
95	3,40

Tabela 20. Valores da concentração de sódio dos condensados da evaporação após lavagem do concentrador 2 A/B.

Amostra	Concentração de Sódio (µg/L Na)
1	11
2	1,7
3	7,8
4	5,2
5	1,2
6	2,0

Nas tabelas 21 a 23 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do digestor contínuo e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 21. Valores da condutividade dos condensados do digestor contínuo.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida pelo aparelho portátil ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h23	1	4,20	8,30	99	24,5
16-09-2008	12h05	2	4,10	7,70	88	22,3
	15h17	2'	4,10	8,30	10×10^{-1}	28,6
17-09-2008	11h25	3	3,80	7,00	83	28,6
	14h21	3'	3,60	8,00	12×10^{-1}	29,0
18-09-2008	10h29	4	4,30	5,80	36	30,2
	14h10	4'	3,70	11,8	22×10^{-1}	27,8
22-09-2008	11h29	5	4,10	5,00	23	27,1
	15h01	5'	3,80	5,00	33	29,8
23-09-2008	10h10	6	3,70	5,00	35	30,0
	16h18	6'	3,60	2,20	38	33,4
24-09-2008	10h46	7	3,90	4,60	19	28,5
	14h53	7'	3,80	6,70	79	28,6
25-09-2008	11h30	8	3,50	7,40	11×10^{-1}	30,3
	15h16	8'	3,10	7,60	14×10^{-1}	24,1
29-09-2008	10h26	9	3,60	8,40	13×10^{-1}	24,9
	14h09	9'	3,50	7,60	12×10^{-1}	30,7
30-09-2008	10h53	10	3,30	7,30	12×10^{-1}	26,7
	14h22	10'	3,50	3,70	6,6	27,2
03-10-2008	9h47	12	3,70	4,00	7,8	20,7
	14h10	12'	3,30	3,00	8,0	25,7
06-10-2008	9h51	13	3,40	4,00	19	28,1
	15h32	13'	3,40	3,40	0,30	31,3
07-10-2008	10h21	14	3,70	2,30	38	29,1
	14h19	14'	3,70	2,20	40	25,1
08-10-2008	10h36	15	3,50	0,90	74	29,1
	15h10	15'	3,60	1,00	72	31,2
09-10-2008	10h43	16	3,60	2,90	20	24,6
	14h27	16'	3,30	3,00	9,6	28,0

Tabela 22. Valores de pH dos condensados do digestor contínuo.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	15h46	2	9,1	28,6
17-09-2008	12h06	3	8,9	33,0
	14h41	3'	9,2	25,6
18-09-2008	10h54	4	9,1	29,7
	14h30	4'	9,1	28,3
22-09-2008	12h04	5	9,0	27,6
	15h28	5'	9,1	27,9
23-09-2008	10h46	6	9,0	28,8
24-09-2008	11h10	7	9,1	28,3
	15h20	7'	9,1	27,5
25-09-2008	12h06	8	9,0	28,4
	15h38	8'	9,0	23,5
29-09-2008	10h41	9	9,1	27,3
	14h46	9'	9,0	27,4
30-09-2008	11h09	10	9,0	29,1
	14h33	10'	9,0	28,7
03-10-2008	10h18	12	9,3	20,0
	14h21	12'	9,1	27,4
06-10-2008	11h15	13	9,0	29,5
	15h46	13'	9,0	31,1
07-10-2008	11h06	14	9,1	27,8
	14h41	14'	9,2	27,2
08-10-2008	10h47	15	9,2	26,4
	15h13	15'	9,0	29,0
09-10-2008	10h47	16	9,2	23,1
	14h24	16'	9,1	24,3

Tabela 23. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do digestor contínuo.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	1,24	-
16-09-2008	2	1,20	-
17-09-2008	3	1,30	-
18-09-2008	4	0,30	-
22-09-2008	5	0,01	0,46
23-09-2008	6	0,18	0,62
24-09-2008	7	0,17	0,88
25-09-2008	8	0,00	0,48
29-09-2008	9	0,00	10,7
30-09-2008	10	3,00	0,74
03-10-2008	12	-	0,93
06-10-2008	13	0,00	0,57
07-10-2008	14	1,17	3,10
08-10-2008	15	1,38	2,50
09-10-2008	16	2,51	0,70

Nas tabelas 24 a 26 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do tanque dos digestores descontínuos e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 24. Valores da condutividade dos condensados do digestor descontínuo.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h42	1	3,06	4,20	17	33,4
16-09-2008	11h39	2	4,10	3,90	5,1	20,3
	15h24	2'	4,00	3,80	5,2	27,3
17-09-2008	11h07	3	4,10	2,70	33	24,5
	14h10	3'	4,10	2,50	38	26,7
18-09-2008	10h35	4	4,00	3,90	2,7	26,5
	14h15	4'	4,40	4,20	3,4	29,9
22-09-2008	11h18	5	4,00	3,70	7,0	25,4
	14h43	5'	3,90	2,90	25	30,2
23-09-2008	10h07	6	4,00	3,90	2,5	29,0
	16h22	6'	3,60	2,30	36	25,4
24-09-2008	10h50	7	4,00	3,90	2,7	25,6
	14h33	7'	3,70	2,90	22	26,8
25-09-2008	11h12	8	3,50	2,00	42	27,5
	15h12	8'	3,50	3,30	6,0	24,9
29-09-2008	10h14	9	4,00	4,20	5,8	24,2
	14h21	9'	3,10	2,60	16	24,6
30-09-2008	10h57	10	3,20	3,10	2,2	24,4
	14h20	10'	3,00	2,90	2,4	26,6
03-10-2008	10h03	12	3,50	2,00	44	20,9
	14h00	12'	3,40	3,20	5,3	29,3
06-10-2008	9h45	13	3,60	2,60	28	30,4
	15h27	13'	3,50	2,60	25	31,6
07-10-2008	10h43	14	3,40	3,40	1,5	26,1
	14h28	14'	3,80	3,50	7,9	20,9
08-10-2008	10h50	15	3,40	3,20	4,8	26,1
	14h32	15'	3,40	2,40	29	21,5
09-10-2008	10h45	16	3,60	3,50	2,2	24,5
	14h25	16'	3,80	2,60	31	22,2

Tabela 25. Valores de pH dos condensados do digestor descontínuo.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	15h30	2	9,2	26,1
17-09-2008	12h08	3	9,1	25,8
	14h44	3'	9,2	24,9
18-09-2008	10h41	4	9,2	25,3
	14h25	4'	9,1	31,6
22-09-2008	12h13	5	9,1	27,7
	15h35	5'	9,0	27,1
23-09-2008	10h41	6	9,0	27,1
24-09-2008	11h05	7	9,1	27,2
	15h05	7'	8,8	27,1
25-09-2008	12h17	8	8,9	24,9
	15h56	8'	9,0	28,9
29-09-2008	10h52	9	8,9	23,1
	14h44	9'	8,8	25,7
30-09-2008	11h01	10	8,3	23,2
	14h37	10'	8,1	32,2
03-10-2008	10h13	12	8,1	22,6
	14h16	12'	8,9	28,0
06-10-2008	11h30	13	9,1	28,3
	15h42	13'	9,1	28,8
07-10-2008	10h53	14	9,0	26,2
	14h32	14'	9,2	21,0
08-10-2008	10h48	15	9,0	27,1
	14h44	15'	8,5	23,5
09-10-2008	10h41	16	9,2	26,4
	14h29	16'	9,1	28,3

Tabela 26. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do digestor descontinuo.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	1,11	-
16-09-2008	2	1,27	-
17-09-2008	3	11,4	-
18-09-2008	4	0,07	-
22-09-2008	5	1,06	1,50
23-09-2008	6	2,79	0,73
24-09-2008	7	5,28	36,1
25-09-2008	8	9,17	10,2
29-09-2008	9	0,00	197
30-09-2008	10	1,30	64,9
03-10-2008	12	-	31,7
06-10-2008	13	0,00	2,60
07-10-2008	14	0,75	1,40
08-10-2008	15	2,03	51,4
09-10-2008	16	0,72	4,50

Nas tabelas 27 a 29 apresentam-se os valores obtidos para os condensados da caldeira de recuperação 4.

Tabela 27. Valores da condutividade do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
24-09-2008	10h13	7	3,80	22,4
	13h59	7'	3,70	22,9
25-09-2008	10h55	8	3,60	22,7
	16h00	8'	3,00	23,2
29-09-2008	9h34	9	3,70	22,4
	13h51	9'	3,60	23,1
30-09-2008	10h18	10	3,70	22,2
	13h58	10'	3,50	22,9
03-10-2008	9h31	12	4,10	20,3
	14h55	12'	3,70	20,7
06-10-2008	9h31	13	3,70	18,9
	16h00	13'	3,30	20,0
07-10-2008	10h04	14	3,80	20,1
	14h03	14'	4,00	19,9
08-10-2008	9h31	15	3,40	19,4
	14h10	15'	3,60	20,2
09-10-2008	9h25	16	3,70	19,6
	14h12	16'	3,70	20,0
			3,60 $\pm$ 0,02	

Tabela 28. Valores de pH do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
24-09-2008	10h15	7	9,2	22,5
	14h01	7'	9,2	23,2
25-09-2008	10h58	8	9,2	23,0
	16h03	8'	9,0	23,9
29-09-2008	9h37	9	9,2	22,6
	13h53	9'	9,2	23,8
30-09-2008	10h21	10	9,2	22,6
	14h01	10'	9,1	23,9
03-10-2008	9h34	12	9,3	20,9
	14h54	12'	9,3	20,9
06-10-2008	9h33	13	9,4	19,1
	15h58	13'	9,2	20,7
07-10-2008	10h06	14	9,4	20,5
	14h05	14'	9,4	20,6
08-10-2008	9h35	15	9,0	22,0
	14h14	15'	9,3	20,8
09-10-2008	9h27	16	9,2	19,8
	14h14	16'	9,3	20,4

Tabela 29. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio do vapor sobreaquecido da caldeira de recuperação 4.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
24-09-2008	7	0,99	0,58
25-09-2008	8	0,00	0,71
29-09-2008	9	0,00	1,10
30-09-2008	10	0,00	0,62
03-10-2008	12	-	0,57
06-10-2008	13	0,00	0,60
07-10-2008	14	0,68	0,34
08-10-2008	15	1,21	1,10
09-10-2008	16	2,45	0,95

Nas tabelas 30 a 32 apresentam-se os valores obtidos para os condensados à entrada do tanque da central e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 30. Valores da condutividade dos condensados à entrada do tanque da central.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h58	1	4,20	4,00	4,8	23,7
	15h10	1'	4,10	3,70	8,9	23,8
16-09-2008	10h27	2	3,90	4,00	2,6	22,4
	14h25	2'	4,20	4,20	1,2	29,5
17-09-2008	10h51	3	3,90	4,00	2,0	23,6
	14h00	3'	3,90	4,00	3,9	33,3
18-09-2008	9h48	4	4,10	4,10	0,5	22,8
	13h53	4'	4,10	4,10	0,2	30,1
22-09-2008	10h36	5	4,00	4,00	0,7	24,8
	14h58	5'	4,00	3,90	2,0	23,9
23-09-2008	10h30	6	4,00	4,10	2,7	28,3
	16h10	6'	3,80	3,80	0,0	24,2
24-09-2008	10h58	7	3,60	3,70	0,8	26,1
	14h56	7'	3,90	3,80	2,6	23,9
25-09-2008	11h47	8	3,60	3,60	1,4	24,1
	15h33	8'	3,70	3,70	1,6	25,7
29-09-2008	11h35	9	3,60	3,60	1,7	23,8
	14h32	9'	3,50	3,60	1,4	33,2
30-09-2008	10h51	10	3,60	3,60	0,6	22,6
	14h15	10'	3,20	3,40	4,6	24,5
03-10-2008	10h04	12	3,60	3,70	0,8	23,0
	14h40	12'	3,50	3,50	0,9	21,1
06-10-2008	10h55	13	3,40	3,60	5,3	22,9
	15h37	13'	3,50	3,50	0,0	21,9
07-10-2008	10h32	14	3,80	3,90	1,9	20,7
	14h25	14'	3,90	3,90	0,0	20,9
08-10-2008	10h26	15	3,30	3,50	5,2	19,4
	14h36	15'	3,60	3,60	0,6	20,9
09-10-2008	11h06	16	3,60	3,60	0,3	19,3
	14h40	16'	3,40	3,40	1,5	20,3

Tabela 31. Valores de pH dos condensados à entrada do tanque da central.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	14h38	2	9,0	31,7
17-09-2008	11h44	3	9,1	27,9
	14h55	3'	9,2	25,1
18-09-2008	11h03	4	9,2	23,6
	14h48	4'	9,0	30,5
22-09-2008	12h20	5	9,2	24,5
	15h38	5'	9,2	24,2
23-09-2008	11h16	6	9,1	24,7
24-09-2008	11h26	7	9,1	25,3
	15h17	7'	9,0	24,7
25-09-2008	12h23	8	9,0	27,1
	15h53	8'	9,0	25,9
29-09-2008	11h00	9	9,0	27,4
	14h50	9'	8,9	30,7
30-09-2008	11h14	10	9,0	24,0
	15h57	10'	9,0	24,7
03-10-2008	10h33	12	9,2	21,6
	14h48	12'	9,2	22,1
06-10-2008	11h10	13	9,2	22,4
	15h55	13'	9,1	24,2
07-10-2008	11h14	14	9,3	21,0
	14h38	14'	9,3	21,4
08-10-2008	11h11	15	9,2	19,8
	14h53	15'	9,2	21,3
09-10-2008	10h56	16	9,2	19,9
	14h47	16'	9,1	21,3

Tabela 32. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados à entrada do tanque da central.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	1,59	-
16-09-2008	2	1,63	-
17-09-2008	3	0,99	-
18-09-2008	4	0,02	-
22-09-2008	5	0,59	13,8
23-09-2008	6	1,97	3,70
24-09-2008	7	2,44	5,40
25-09-2008	8	4,10	89,4
29-09-2008	9	0,00	13,6
30-09-2008	10	1,05	13,4
03-10-2008	12	-	5,40
06-10-2008	13	0,00	2,20
07-10-2008	14	3,90	3,60
08-10-2008	15	3,51	2,90
09-10-2008	16	4,18	4,90

Nas tabelas 33 a 35 apresentam-se os valores obtidos para os condensados à saída do tanque da central.

Tabela 33. Valores da condutividade dos condensados à saída do tanque da central.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
15-09-2008	11h54	1	4,20	23,2
	14h51	1'	4,10	22,4
16-09-2008	10h23	2	4,00	28,5
	14h50	2'	4,20	27,6
17-09-2008	10h55	3	4,00	28,0
	13h52	3'	3,90	29,2
18-09-2008	9h43	4	4,20	22,1
	13h47	4'	4,10	26,4
22-09-2008	10h46	5	4,00	28,0
	14h36	5'	3,90	28,4
23-09-2008	9h52	6	4,10	23,3
	16h01	6'	4,00	27,5
24-09-2008	10h32	7	3,60	28,0
	14h36	7'	3,80	27,1
25-09-2008	11h33	8	3,60	28,2
	15h18	8'	3,70	32,7
29-09-2008	10h29	9	3,60	27,8
	14h24	9'	3,60	29,3
30-09-2008	10h39	10	3,60	21,7
	14h13	10'	3,50	22,8
03-10-2008	9h54	12	3,60	23,0
	14h32	12'	3,40	24,9
06-10-2008	10h53	13	3,40	30,0
	14h38	13'	3,30	30,5
07-10-2008	10h18	14	3,80	19,7
	14h14	14'	3,90	19,6
08-10-2008	10h20	15	3,40	19,1
	14h19	15'	3,70	20,0
09-10-2008	10h26	16	3,60	18,8
	14h35	16'	3,40	20,4

Tabela 34. Valores de pH dos condensados à saída do tanque da central.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-09-2008	14h48	2	9,04	27,7
17-09-2008	11h39	3	9,05	28,1
	14h48	3'	8,98	27,7
18-09-2008	10h59	4	9,24	22,9
	14h39	4'	9,15	26,8
22-09-2008	12h15	5	9,11	27,8
	15h19	5'	9,09	28,5
23-09-2008	10h58	6	9,15	24,0
24-09-2008	11h14	7	9,02	27,9
	15h00	7'	9,04	28,1
25-09-2008	11h52	8	8,95	27,8
	15h40	8'	9,02	27,6
29-09-2008	10h48	9	9,00	27,5
	14h36	9'	9,01	28,2
30-09-2008	11h12	10	9,15	23,1
	14h52	10'	9,05	24,2
03-10-2008	10h32	12	9,13	22,0
	14h47	12'	9,13	25,0
06-10-2008	10h59	13	8,98	30,0
	15h49	13'	9,00	30,5
07-10-2008	10h48	14	9,38	19,7
	14h34	14'	9,35	19,6
08-10-2008	10h59	15	9,31	19,1
	14h48	15'	9,23	20,0
09-10-2008	10h51	16	9,28	18,8
	14h42	16'	9,20	20,4

Tabela 35. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados à saída do tanque da central.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
15-09-2008	1	1,43	-
16-09-2008	2	1,98	-
17-09-2008	3	1,53	-
18-09-2008	4	0,50	-
22-09-2008	5	3,23	26,4
23-09-2008	6	2,06	4,80
24-09-2008	7	1,76	3,70
25-09-2008	8	1,89	7,70
29-09-2008	9	0,00	7,40
30-09-2008	10	1,06	6,20
03-10-2008	12	-	6,50
06-10-2008	13	0,00	8,50
07-10-2008	14	2,99	3,30
08-10-2008	15	4,40	3,40
09-10-2008	16	4,53	8,40

Nas tabelas 36 a 38 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3 e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 36. Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
16-10-2008	9h40	1	4,70	3,80	19	25,5
	14h08	1'	3,90	2,60	34	29,0
20-10-2008	9h34	2	5,10	5,70	12	24,0
	13h49	2'	5,90	4,90	16	26,7
21-10-2008	9h18	3	4,20	3,70	11	25,9
	13h59	3'	4,00	3,60	11	20,1
22-10-2008	9h20	4	5,00	6,60	33	22,9
	14h13	4'	5,00	7,70	53	24,9
23-10-2008	9h51	5	5,40	7,80	44	23,4
	14h28	5'	4,90	6,70	37	34,8
27-10-2008	9h33	6	4,20	6,60	56	21,0
	14h14	6'	5,00	6,10	23	25,2
28-10-2008	10h21	7	5,90	7,00	20	21,0
	15h04	7'	5,50	7,40	34	26,1
29-10-2008	9h25	8	5,10	7,10	40	21,0
	14h17	8'	5,60	7,10	26	22,3
30-10-2008	9h31	9	5,90	6,10	3,2	26,8
	14h13	9'	5,60	6,50	17	33,3
03-11-2008	9h30	10	5,90	7,70	31	19,5
	14h10	10'	6,10	7,60	24	23,5
04-11-2008	9h35	11	6,20	7,50	21	22,6
	13h59	11'	6,00	4,80	20	20,9
05-11-2008	14h09	12	7,90	3,90	51	31,6
06-11-2008	9h24	13	6,40	4,40	31	21,3
	14h39	13'	6,30	4,50	29	28,4

Tabela 37. Valores de pH dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorênsen)	Temperatura (°C)
16-10-2008	9h40	1	9,2	25,5
	14h08	1'	7,4	29,0
20-10-2008	9h34	2	9,4	24,0
	13h49	2'	9,3	26,7
21-10-2008	9h18	3	9,2	25,9
	13h59	3'	9,3	20,1
22-10-2008	9h20	4	9,4	22,9
	14h13	4'	9,4	24,9
23-10-2008	9h51	5	9,5	23,4
	14h28	5'	9,2	34,8
27-10-2008	9h33	6	6,9	21,0
	14h14	6'	6,8	25,2
28-10-2008	10h21	7	9,8	21,0
	15h04	7'	9,8	26,1
29-10-2008	9h25	8	7,8	21,0
	14h17	8'	9,8	22,3
30-10-2008	9h31	9	9,5	26,8
	14h13	9'	6,7	33,3
03-11-2008	9h30	10	8,7	19,5
	14h10	10'	7,7	23,5
04-11-2008	9h35	11	6,9	22,6
	13h59	11'	9,7	20,9
05-11-2008	14h09	12	9,5	31,6
06-11-2008	9h24	13	9,3	21,3
	14h39	13'	9,3	28,4

Tabela 38. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de água para lavadores 2 e 3.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
16-10-2008	1	-	1,40
20-10-2008	2	3,0	0,58
21-10-2008	3	0,7	0,39
22-10-2008	4	2,1	0,45
23-10-2008	5	5,6	0,91
27-10-2008	6	0,1	0,54
28-10-2008	7	9,0	0,60
29-10-2008	8	5,2	0,83
30-10-2008	9	12,0	0,95
03-11-2008	10	1,73	0,62
04-11-2008	11	7,47	0,61
05-11-2008	12	9,10	5,00
06-11-2008	13	10,05	15,1

Nas tabelas 39 a 41 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do tanque do reactor do dióxido de cloro e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 39. Valores da condutividade dos condensados do tanque do reactor do dióxido de cloro.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
16-10-2008	9h44	1	4,00	6,20	56	25,7
	14h05	1'	4,10	6,40	58	28,2
20-10-2008	9h32	2	5,70	4,60	20	24,3
	13h48	2'	4,90	7,10	44	27,0
21-10-2008	9h16	3	3,90	6,30	62	24,9
	13h57	3'	4,00	6,30	57	19,9
22-10-2008	9h22	4	4,50	7,20	61	22,7
	14h11	4'	5,00	8,20	65	24,9
23-10-2008	9h41	5	4,80	8,70	82	23,7
	14h26	5'	4,80	8,80	84	33,7
27-10-2008	9h25	6	3,50	7,40	11x10 ¹	20,8
	14h13	6'	4,60	7,00	53	25,0
28-10-2008	10h19	7	5,10	8,10	59	21,6
	14h59	7'	5,30	8,20	54	23,7
29-10-2008	9h20	8	4,70	7,40	58	20,7
	14h16	8'	5,10	8,10	58	21,2
30-10-2008	9h30	9	5,40	8,20	53	26,6
	14h10	9'	5,10	7,30	45	30,6
03-11-2008	9h27	10	5,40	8,20	53	19,7
	14h11	10'	5,00	8,00	61	23,4
04-11-2008	9h32	11	6,10	9,30	52	21,8
	13h58	11'	5,40	7,10	31	21,6
05-11-2008	9h33	12	5,90	6,50	10	20,2
	14h07	12'	6,20	7,30	18	29,1
06-11-2008	9h22	13	6,10	7,40	21	27,3
	14h40	13'	5,90	7,20	22	27,2

Tabela 40. Valores de pH dos condensados do tanque do reactor de dióxido de cloro.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-10-2008	9h44	1	9,1	25,7
	14h05	1'	8,9	28,2
20-10-2008	9h32	2	9,3	24,3
	13h48	2'	9,2	27,0
21-10-2008	9h16	3	9,1	24,9
	13h57	3'	9,4	19,9
22-10-2008	9h22	4	9,3	22,7
	14h11	4'	9,3	24,9
23-10-2008	9h41	5	9,4	23,7
	14h26	5'	9,1	33,7
27-10-2008	9h25	6	7,0	20,8
	14h13	6'	7,1	25,0
28-10-2008	10h19	7	9,7	21,6
	14h59	7'	9,7	23,7
29-10-2008	9h20	8	9,3	20,7
	14h16	8'	9,7	21,2
30-10-2008	9h30	9	9,5	26,6
	14h10	9'	9,4	30,6
03-11-2008	9h27	10	9,4	19,7
	14h11	10'	9,6	23,4
04-11-2008	9h32	11	9,7	21,8
	13h58	11'	9,6	21,6
05-11-2008	9h33	12	8,9	20,2
	14h07	12'	9,4	29,1
06-11-2008	9h22	13	9,5	27,3
	14h40	13'	9,4	27,2

Tabela 41. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do tanque do reactor de dióxido de cloro.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
16-10-2008	1	-	0,60
20-10-2008	2	0,51	0,35
21-10-2008	3	0,10	26,9
22-10-2008	4	1,19	0,65
23-10-2008	5	1,41	0,64
27-10-2008	6	1,14	0,61
28-10-2008	7	0,00	1,60
29-10-2008	8	0,23	0,44
30-10-2008	9	0,93	0,54
03-11-2008	10	1,76	0,68
04-11-2008	11	4,22	0,60
05-11-2008	12	2,61	0,87
06-11-2008	13	2,60	0,80

Nas tabelas 42 a 44 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do aquecedor filtrado D2/D1 e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 42. Valores da condutividade dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
16-10-2008	9h42	1	4,50	4,20	6,3	25,4
	14h01	1'	4,30	4,10	4,7	29,2
20-10-2008	9h30	2	5,00	4,10	18	23,8
	13h55	2'	4,90	4,60	6,1	26,9
21-10-2008	9h17	3	3,10	3,90	27	25,5
	13h55	3'	3,90	4,00	3,9	21,1
22-10-2008	9h17	4	3,90	6,70	72	22,7
	14h10	4'	4,60	6,80	47	23,8
23-10-2008	9h45	5	4,40	7,60	72	22,9
	14h24	5'	4,80	6,80	43	30,2
27-10-2008	9h27	6	3,90	6,90	79	20,7
	14h12	6'	4,60	7,20	56	24,1
28-10-2008	10h23	7	4,80	7,30	53	21,4
	15h00	7'	5,00	7,30	47	22,5
29-10-2008	9h23	8	4,10	7,30	78	20,7
	14h15	8'	5,00	7,20	43	23,4
30-10-2008	9h33	9	4,90	6,70	37	27,2
	14h09	9'	5,00	6,60	32	32,2
03-11-2008	9h28	10	4,80	8,10	68	19,5
	14h12	10'	5,50	8,10	47	22,9
04-11-2008	9h30	11	5,70	8,10	43	22,0
	13h57	11'	5,80	5,20	9,7	18,6
05-11-2008	9h30	12	5,10	4,50	11	20,2
	14h05	12'	7,30	6,70	7,6	29,8
06-11-2008	9h20	13	7,00	5,40	22	24,9
	14h41	13'	6,30	5,20	17	28,2

Tabela 43. Valores de pH dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-10-2008	9h42	1	9,2	25,4
	14h01	1'	9,1	29,2
20-10-2008	9h30	2	9,1	23,8
	13h55	2'	9,2	26,9
21-10-2008	9h17	3	8,9	25,5
	13h55	3'	8,5	21,1
22-10-2008	9h17	4	9,1	22,7
	14h10	4'	9,4	23,8
23-10-2008	9h45	5	9,3	22,9
	14h24	5'	9,2	30,2
27-10-2008	9h27	6	7,1	20,7
	14h12	6'	7,2	24,1
28-10-2008	10h23	7	9,6	21,4
	15h00	7'	9,7	22,5
29-10-2008	9h23	8	9,0	20,7
	14h15	8'	9,7	23,4
30-10-2008	9h33	9	9,4	27,2
	14h09	9'	9,3	32,2
03-11-2008	9h28	10	8,6	19,5
	14h12	10'	9,7	22,9
04-11-2008	9h30	11	9,5	22,0
	13h57	11'	9,8	18,6
05-11-2008	9h30	12	9,0	20,2
	14h05	12'	9,3	29,8
06-11-2008	9h20	13	9,5	24,9
	14h41	13'	9,4	28,2

Tabela 44. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor filtrado D2/D1.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
16-10-2008	1	-	0,75
20-10-2008	2	0,75	0,55
21-10-2008	3	2,08	1,10
22-10-2008	4	1,51	0,53
23-10-2008	5	0,16	0,58
27-10-2008	6	0,00	0,96
28-10-2008	7	0,00	1,50
29-10-2008	8	0,00	0,79
30-10-2008	9	2,99	0,68
03-11-2008	10	8,76	0,49
04-11-2008	11	6,35	1,40
05-11-2008	12	11,27	0,91
06-11-2008	13	4,44	0,79

Nas tabelas 45 a 47 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do aquecedor de água quente e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 45. Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de água quente.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
16-10-2008	9h57	1	4,90	5,70	16	25,9
	14h12	1'	4,90	6,90	41	28,1
20-10-2008	9h36	2	4,10	5,10	25	24,0
	13h47	2'	5,40	8,40	55	26,1
21-10-2008	9h12	3	4,00	4,90	22	25,5
	13h53	3'	4,30	6,30	48	20,3
22-10-2008	9h14	4	4,90	4,00	19	23,6
	14h09	4'	4,80	6,60	37	24,3
23-10-2008	9h36	5	5,10	5,60	8,2	23,5
	14h22	5'	5,60	8,10	44	31,4
27-10-2008	9h22	6	5,30	4,10	22	20,7
	14h18	6'	4,90	8,10	65	25,0
28-10-2008	10h11	7	5,70	4,50	21	21,3
	14h58	7'	5,60	4,70	15	22,9
29-10-2008	9h14	8	5,20	4,70	9,2	20,7
	14h21	8'	5,50	5,80	6,1	23,7
30-10-2008	9h21	9	5,30	6,10	14	24,0
	14h08	9'	5,30	5,60	6,3	31,0
03-11-2008	9h19	10	5,60	4,30	25	19,2
	14h06	10'	5,60	4,90	12	23,0
04-11-2008	9h23	11	6,80	5,20	24	22,3
	13h54	11'	6,50	8,30	27	23,6
05-11-2008	14h03	12	8,30	5,20	38	29,1
06-11-2008	9h14	13	6,90	4,30	38	21,1
	14h37	13'	6,70	5,50	19	26,3

Tabela 46. Valores de pH dos condensados do aquecedor de água quente.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-10-2008	9h57	1	9,2	25,9
	14h12	1'	9,2	28,1
20-10-2008	9h36	2	9,3	24,0
	13h47	2'	9,3	26,1
21-10-2008	9h12	3	9,1	25,5
	13h53	3'	9,3	20,3
22-10-2008	9h14	4	9,3	23,6
	14h09	4'	9,4	24,3
23-10-2008	9h36	5	9,4	23,5
	14h22	5'	9,2	31,4
27-10-2008	9h22	6	7,2	20,7
	14h18	6'	7,1	25,0
28-10-2008	10h11	7	9,7	21,3
	14h58	7'	9,7	22,9
29-10-2008	9h14	8	9,3	20,7
	14h21	8'	9,7	23,7
30-10-2008	9h21	9	9,5	24,0
	14h08	9'	9,4	31,0
03-11-2008	9h19	10	9,2	19,2
	14h06	10'	9,7	23,0
04-11-2008	9h23	11	9,6	22,3
	13h54	11'	9,7	23,6
05-11-2008	14h03	12	9,5	29,1
06-11-2008	9h14	13	9,6	21,1
	14h37	13'	9,5	26,3

Tabela 47. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de água quente.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L}$)
16-10-2008	1	-	38,0
20-10-2008	2	9,98	23,7
21-10-2008	3	1,81	32,5
22-10-2008	4	4,04	16,3
23-10-2008	5	68,25	12,0
27-10-2008	6	11,18	26,4
28-10-2008	7	8,17	22,2
29-10-2008	8	15,44	23,5
30-10-2008	9	13,58	20,4
03-11-2008	10	7,20	15,0
04-11-2008	11	27,41	55,7
05-11-2008	12	15,10	37,8
06-11-2008	13	15,69	47,1

Nas tabelas 48 a 50 apresentam-se os valores obtidos para os condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição e o erro encontrado pela comparação dos valores obtidos da condutividade.

Tabela 48. Valores da condutividade dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Condutividade medida ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutividade do equipamento em linha ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
16-10-2008	9h46	1	8,30	3,90	53	25,8
	14h17	1'	19,0	6,10	68	28,5
20-10-2008	9h29	2	4,60	5,00	9,6	23,9
	14h03	2'	5,40	4,50	16	26,4
21-10-2008	9h15	3	4,20	3,60	13	24,0
	14h00	3'	4,10	3,70	9,1	20,1
22-10-2008	9h18	4	4,90	4,30	12	23,3
	14h12	4'	4,80	4,20	12	23,2
23-10-2008	9h48	5	5,10	4,20	19	23,1
	14h25	5'	5,00	4,00	20	31,0
27-10-2008	9h31	6	4,60	4,00	13	20,7
	14h11	6'	4,60	4,00	13	23,2
28-10-2008	10h17	7	5,60	4,80	16	21,2
	15h02	7'	5,30	4,60	14	21,3
29-10-2008	9h19	8	5,00	4,50	10	20,8
	14h14	8'	5,10	4,60	11	24,1
30-10-2008	9h28	9	5,70	5,10	10	28,3
	14h12	9'	5,80	4,70	18	42,4
03-11-2008	9h26	10	6,00	4,80	20	19,4
	14h09	10'	5,70	4,80	16	22,1
04-11-2008	9h28	11	6,20	5,30	15	22,2
	13h56	11'	5,90	5,10	14	18,8
05-11-2008	9h28	12	8,50	0,20	97	20,1
	14h08	12'	7,80	5,10	35	29,1
06-11-2008	9h18	13	6,70	4,50	32	19,3
	14h42	13'	6,30	4,30	31	28,8

Tabela 49. Valores de pH dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.

Dias	Hora	Ponto correspondente no eixo das abcissas	pH (escala Sorënsen)	Temperatura (°C)
16-10-2008	9h46	1	9,3	25,8
	14h17	1'	7,8	28,5
20-10-2008	9h29	2	9,4	23,9
	14h03	2'	9,3	26,4
21-10-2008	9h15	3	9,1	24,0
	14h00	3'	9,3	20,1
22-10-2008	9h18	4	9,4	23,3
	14h12	4'	9,4	23,2
23-10-2008	9h48	5	9,4	23,1
	14h25	5'	9,1	31,0
27-10-2008	9h31	6	7,1	20,7
	14h11	6'	8,7	23,2
28-10-2008	10h17	7	9,5	21,2
	15h02	7'	9,7	21,3
29-10-2008	9h19	8	9,6	20,8
	14h14	8'	9,6	24,1
30-10-2008	9h28	9	9,5	28,3
	14h12	9'	9,4	42,4
03-11-2008	9h26	10	8,7	19,4
	14h09	10'	9,7	22,1
04-11-2008	9h28	11	9,6	22,2
	13h56	11'	9,8	18,8
05-11-2008	9h28	12	8,9	20,1
	14h08	12'	9,6	29,1
06-11-2008	9h18	13	9,2	19,3
	14h42	13'	9,4	28,8

Tabela 50. Valores da concentração de sílica e da concentração de sódio dos condensados do aquecedor de filtrado do D0 para diluição.

Dias	Ponto correspondente no eixo das abcissas	Concentração de Sílica ($\mu\text{g/L SiO}_2$)	Concentração de Sódio ($\mu\text{g/L Na}$)
16-10-2008	1	-	0,58
20-10-2008	2	0,73	0,61
21-10-2008	3	0,72	0,62
22-10-2008	4	1,54	0,52
23-10-2008	5	1,21	0,74
27-10-2008	6	1,36	3,00
28-10-2008	7	2,78	1,70
29-10-2008	8	2,89	0,84
30-10-2008	9	14,30	1,50
03-11-2008	10	2,72	1,90
04-11-2008	11	7,40	5,80
05-11-2008	12	25,89	14,6
06-11-2008	13	6,72	7,80