

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Optimização dos Programas de Higienização na Área da Produção de Cerveja

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

Daniel Coelho Ferraz



em colaboração com



Departamento de Engenharia Química

Unicer Bebidas, S.A

Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na empresa: Eng.^a Maria-Manuel Dantas

Fevereiro de 2009

Agradecimentos

Quero agradecer aos orientadores, Professor Adélio Mendes e Eng.^a Maria Manuel Dantas pela orientação, disponibilidade e apoio ao longo do projecto.

Agradeço, à Eng.^a Joana Queirós e ao Dr. Filipe Nogueira pelo incentivo e ajuda no esclarecimento de algumas dúvidas que surgiram durante o estágio, para além da contribuição para uma rápida integração na Unicer, e ainda, à D. Fátima e à D. Isabel pela ajuda e disponibilidade.

Agradeço a todos os técnicos e responsáveis do Serviço de Produção, pela ajuda e esclarecimento de dúvidas durante a realização deste projecto. Aos analistas do laboratório pela ajuda na compreensão dos métodos de análise, assim como, ao Rodrigo da empresa JohnsonDiversey pela ajuda e disponibilidade na compreensão de certas questões relacionadas com este trabalho.

Quero agradecer, em particular, à minha família e amigos pelo apoio que sempre demonstraram.

Por fim, gostaria de agradecer ao Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por esta oportunidade enriquecedora de contactar directamente com a indústria, assim como, à empresa Unicer Bebidas, S.A, pelas mesmas razões e pelo financiamento de um subsídio que ajudou na despesa das deslocações.

Resumo

Este projecto teve como objectivo a optimização dos programas de higienização na área de produção de cerveja. Foram propostos programas de higienização local (CIP - cleaning in place) específicos para cada área de trabalho da fábrica de cerveja, de modo a conseguir aliar a uma adequada higienização dos equipamentos, a minimização de consumos e tempos de operação. Foram analisados os CIP das cubas de fermentação, tanques de cerveja filtrada, arrefecimento de mosto, filtros e equipamentos anexos, tanques de propagação e stockagem e por fim os equipamentos do fabrico de mosto.

O projecto iniciou-se com o tratamento de limpeza extraordinário às cubas de fermentação que apresentavam incrustações inorgânicas, pois estas seriam possíveis fontes de contaminação. Seguiu-se a análise dos CIP dos diversos equipamentos tendo sido possível propor melhorias tanto ao nível dos reagentes como do protocolo de limpeza. Para o efeito foi feito o acompanhamento dos CIP e análises da concentração da soda cáustica ao longo do passo de recirculação em circuito fechado e foram realizadas análises microbiológicas das últimas águas de enxaguamento dos diversos equipamentos. Foi ainda feita a análise da água usada na esterilização do arrefecedor de mosto e correspondente linha e verificado se os parâmetros do protocolo CIP se encontravam bem definidos.

Efectuou-se ainda um estudo sobre uma possível implementação de um sistema de recuperação de produtos de limpeza de forma a reduzir o seu consumo.

Como resultado do presente estudo foi proposta a redução de tempos de operação em quase todos os equipamentos, uma redução no consumo de produtos no CIP nos tanques de cerveja filtrada e melhoria no esquema processual dos CIP.

Palavras-Chave: CIP, higienização, detergentes, soda cáustica

Abstract

This project had as purpose the optimization of the hygienic cleaning in place programs in the area of beer production.

Programs of hygienic cleaning (CIP - cleaning in place) specific for each area of work of the beer plant had been considered, in order to conjugate with one adequate hygienic cleaning of the equipment the minimization of consumptions and running times. The CIP of fermentation tanks, tanks of filtered beer, wort cooling, filters and attached equipment, propagation tanks and storage and the equipments of the wort production had been analyzed.

This project was initiated with the extraordinary treatment of cleanness to fermentation tanks that they contained inorganics incrustations, therefore these would be possible sources of contamination. It was followed analysis of the CIP of the diverse equipment, having been possible to consider improvements to the level of the reagents and of the cleanness protocol. For the effect it was made the accompaniment of the CIP and analyses of the concentration of the caustic soda throughout the step of recirculation in closed circuit and had been carried microbiological analyses of last waters of final rinse to the diverse equipments. Still it was made the analysis of the used water in the sterilization of the wort cooling unit and correspondent line and verified if the parameters of the protocol CIP having a correct formulation.

A study over a feasible implementation by one system of cleaning products recuperation has been making to reduce the products consumptions.

As a result from the actual study he went proposal the reduction of running times by nearly all of equipments, a reduction in the consumptions of cleaning products and improvements in the higienization process.

Key Words: CIP, hygienic cleaning, detergency, caustic soda

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	1
1.2	Contributos do Trabalho.....	4
2	Estado da Arte	5
3	Descrição Técnica e Discussão dos Resultados	12
3.1	Cubas de Fermentação (CC).....	12
3.2	Tanque de Cerveja Filtrada (TCF)	20
3.3	Arrefecedores de Mosto	23
3.4	Filtração e Equipamentos anexos.....	24
3.5	Propagação e Stockagem	26
3.6	Equipamentos do Fabrico	26
4	Conclusões	30
5	Avaliação do trabalho realizado.....	32
5.1	Objectivos Realizados.....	32
5.2	Limitações e Trabalho Futuro	32
5.3	Apreciação final	32
	Referências	33

Índice de Figuras

<i>Figura 1- Matérias - Primas [4,5]</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2 - Categoria de membranas [7].</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3 - Método de funcionamento das membranas em espiral [12].</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4 - Método de funcionamento das membranas tubulares [12].</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5 - Esquema representativo de uma possível instalação de regeneração de soda [13]</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6 - Imagem de um módulo de membranas [14].....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7 - Ponto de ituação da limpeza extraordinária às CC de 1000 hl.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8 - Ponto de situação da limpeza extraordinária às CC de 3000 hl.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 10 min, CC 3000 hl.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 15 min, CC 3000 hl.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 11 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 20 min, CC 3000 hl.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 12 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 15 min, CC 1000 hl.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 13 - Evolução da soda total no tanque CIP.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 14 - Representação esquemática da instalação CIP das CC.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 15 - Amostras retiradas pelo fundo do tanque de água arrasto a) imediatamente após abertura da válvula; b) alguns segundos depois de retirada a primeira amostra.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 16 - Esboço representativo da instalação CIP dos arrefecedores de mosto.</i>	<i>23</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Propriedades de uma membrana possível para regeneração da soda [12].</i>	8
<i>Tabela 2 - Desempenho e custos de membranas [7].</i>	9
<i>Tabela 3 - Dados observados durante o enxaguamento posterior à recirculação de soda.</i>	18
<i>Tabela 4 - Resultados microbiológicos das últimas águas de enxaguamento às CC.</i>	18
<i>Tabela 5 - Programa de CIP - Ácido/Desinfectante.</i>	19
<i>Tabela 6 - Resultado das amostras do enxaguamento final ao fim de 16,5 min.</i>	21
<i>Tabela 7 - Resultado das amostras do enxaguamento final ao fim de 25 min.</i>	21
<i>Tabela 8 - Resultado das provas relativas aos ensaios dos TCF.</i>	21
<i>Tabela 9 - Registo do número de CIP aos TCF efectuados semanalmente.</i>	22
<i>Tabela 10 - Resultados das amostras durante o passo de esterilização</i>	23
<i>Tabela 11 - Alterações no programa CIP do Arrefecimento de Mosto.</i>	24
<i>Tabela 12 - Passos iniciais do programa CIP à linha.</i>	25
<i>Tabela 13 - Duração do CIP dos diferentes equipamentos do Fabrico do mosto.</i>	27
<i>Tabela 14 - Divisão de CIP por linha.</i>	28

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

Este projecto foi realizado nas instalações da empresa Unicer Bebidas, S.A., Centro de Produção de Cerveja de Leça do Balio, no âmbito da disciplina de Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial, do Mestrado Integrado em Engenharia Química, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Teve como objectivo a Optimização dos Programas de Higienização na área da Produção de Cerveja.

INDÚSTRIA CERVEJEIRA

A indústria cervejeira enquadra-se na área da produção de uma bebida ligeiramente alcoólica, designada de cerveja. Foi assim que o Grupo Unicer nasceu e cresceu durante quase um século, apresentando-se hoje como uma empresa produtora e distribuidora de bebidas [1].

A cerveja é o resultado da fermentação alcoólica de um extracto aquoso de cereais germinados, mosto, adicionado de lúpulo. De seguida apresentam-se algumas das matérias-primas utilizadas na produção de cerveja, assim como, uma breve descrição do seu processo de produção.

MATÉRIAS-PRIMAS

A cerveja é um produto que se obtém a partir do tratamento e transformações de variadas matérias-primas, entre as quais, se destacam as seguintes:

Como elemento predominante no processo de produção da cerveja temos a **Água**, constituindo entre cerca de 90 a 95 % desta bebida. A água utilizada tem que ser própria para consumo humano, para além, de necessitar de uma certa composição em sais minerais, que podem ser adicionados em caso de carência.

Com um elevado teor em amido e por ter um valor económico mais acessível, utiliza-se como fonte de amido o **Gritz**. Estes grãos crus, assim denominados pelo facto de não terem sofrido um processo de maltagem, são caracterizados por: não possuírem enzimas, serem compostos por mais de 75 % de amido e conterem um máximo de 1 % de gorduras.

O **Lúpulo** é uma trepadeira perene de origem europeia, que apresenta grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais conferem à cerveja o seu característico sabor amargo [5].



Outro dos elementos mais utilizados na produção de cerveja é o **Malte**, sendo este, obtido a partir da cevada germinada. O malte é a principal fonte de enzimas, as quais, são indispensáveis para efectuarem a sacarificação do amido.



Figura 1- Matérias - Primas [4,5]

Para terminar, uma referência ao ingrediente fundamental para a fermentação do mosto, a **Levedura**. As leveduras são microorganismos unicelulares, classificados como fungos e que têm capacidade natural de sobreviverem sem oxigénio. Estes microorganismos caracterizam-se pela sua propagação em meios aeróbios, enquanto, na ausência de oxigénio, fermentam os açúcares transformando-os em álcool, factor este, essencial para a produção de cerveja.

PROCESSO PRODUÇÃO

O processo de produção de cerveja inicia-se com o **Fabrico de Mosto**. Nesta etapa, decorrem as seguintes fases: recepção das matérias-primas e ensilagem, moagem e pesagem de malte, pesagem de griz, brassagem, filtração, ebulição e decantação [2,3].

Começa-se então pela recepção das matérias, as quais são ensiladas até uma posterior utilização. Antes de ser utilizado, o malte é moído de forma a transformar o grão de malte em partículas mais pequenas, para facilitar a acção das enzimas sobre o amido, sendo de seguida pesado e pronto a ser processado. Entretanto, o griz, já é recebido com o tamanho das partículas ideal, ficando, depois de pesado pronto a ser usado.

A fase seguinte, designada de **brassagem**, engloba a preparação em diferentes caldeiras, de uma mistura de água com malte, na designada caldeira de empastagem, e, na caldeira de caldas uma mistura de griz com água. Entretanto, depois de processadas estas misturas, dá-se origem a uma mistura única, pronta a ser filtrada.

Na fase de **filtração do mosto**, efectuada num filtro de placas, tem-se como finalidade a separação da fase líquida do mosto das partículas sólidas que se encontram em solução. Estas partículas, cascas de grãos de cevada, proteínas, que após a filtração ficam retidas nas placas do filtro, formam então um extracto sólido designado de drêche. Terminada a

filtração, o mosto passa para um tanque tampão, onde será armazenado e aquecido até uma determinada temperatura para ser transferido para a caldeira de ebulição.

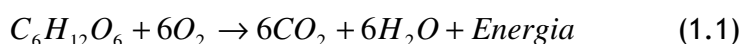
Relativamente à **ebulição do mosto**, a temperatura é elevada até próximo dos 104 °C. Nesta etapa verificam-se como principais objectivos: a esterilização do mosto, a destruição das enzimas, a dissolução dos constituintes do lúpulo, a precipitação de proteínas instáveis e a concentração do mosto. Durante a ebulição é ainda feita a adição do lúpulo, que irá transmitir ao mosto o seu amargor característico [3].

A etapa de Fabrico de mosto termina com a fase de clarificação do mosto. Esta fase consiste na obtenção de um líquido, mosto, o mais isento possível de matérias em suspensão, realizada por um processo de decantação.

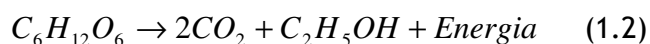
De seguida, dá-se início a uma nova etapa, com o arrefecimento do mosto que é enviado do decantador da sala de Fabrico para a Adega. Este arrefecimento pretende retirar calor ao mosto, adquirido durante a ebulição, para que a temperatura deste seja favorável ao desenvolvimento da levedura. O mosto arrefecido é entretanto transferido para uma cuba cilindro-cónica, daqui em diante designada por CC, em simultâneo com a levedura.

A **fermentação** é etapa onde se verificam as maiores transformações químicas, verificando-se a perda da característica doce por parte do mosto, resultante da transformação da maior parte dos açúcares em álcool, dióxido de carbono e energia.

Em presença de oxigénio verifica-se a seguinte reacção:



Quando o oxigénio já se encontra todo consumido, começa a fermentação, segundo a reacção:



Quando praticamente todos os açúcares se tiverem transformado em CO₂ e álcool considera-se terminada a fermentação, dando-se início à **maturação**. A maturação tem como principais funções: a eliminação dos compostos voláteis, como por exemplo o diacetilo, e a excreção de compostos, como aminoácidos ou fosfatos. Verificado o abaixamento ideal da quantidade de diacetilo segue-se para a estabilização a frio.

Durante a **estabilização a frio** verifica-se que alguns compostos, como proteínas, vão ligar-se, formando complexos que são precipitados pelo frio o que facilita a sua eliminação.

Removida grande parte das partículas que se encontravam em solução passa-se para uma nova fase, **clarificação da cerveja**. Nesta fase o objectivo é de se retirar todas as

restantes partículas, tais como: células de levedura ou precipitados de proteínas que se haviam dissolvido, e que, por alteração das condições do meio voltaram ao estado sólido. O processo utilizado é a filtração, devendo ser realizada a baixas temperaturas, para não voltar a haver dissolução das substâncias coloidais. A cerveja filtrada deve ter um aspecto claro e brilhante, com os valores de turvação e dióxido de carbono dentro das especificações. Finalmente a cerveja filtrada encontra-se em condições de ser comercializada e é enviada para tanques onde fica armazenada, tanques de cerveja filtrada (TCF), aguardando pelo enchimento.

O enchimento é efectuado em garrafa e barril, tendo-se o cuidado de garantir que não existam contaminações.

1.2 Contributos do Trabalho

Este projecto teve como objectivo a optimização dos programas de higienização, de forma a, garantindo uma adequada limpeza e desinfecção dos equipamentos, economizar os consumos de produtos utilizados assim como melhorar o desempenho destes programas.

A higienização é dos factores mais importantes e dos que requerem maiores cuidados no processo de produção de cerveja. De facto, é de extrema importância garantir-se que não haja qualquer risco de contaminação microbiológica que possa afectar a qualidade e segurança do produto.

Os programas de CIP começaram a ser implementados na indústria pelas diversas vantagens que estes fornecem ao operador. Algumas das vantagens observadas são: um maior controlo no consumo de produtos de limpeza, uma redução dos tempos de operação, não haver necessidade de desmontar equipamentos, entre outras. No entanto, é necessária uma adequada programação dos CIP para cada equipamento tendo em conta o tipo de sujidade que apresenta e o tipo de equipamento.

Existem dois tipos de sujidade que se pode encontrar, sujidade orgânica e inorgânica. Na sua grande maioria, durante o processo os equipamentos estão em contacto com levedura e/ou mosto, que pelas suas propriedades aderem às superfícies dos equipamentos. Neste caso, uma limpeza alcalina é fundamental para se conseguir remover esses resíduos.

Relativamente à sujidade inorgânica, esta pode ser causada pelos sais da água que podem precipitar.

Este projecto contribuiu assim para melhorar os níveis de higienização dos equipamentos intervenientes na produção de cerveja, garantindo a segurança e qualidade do produto, reduzir o consumo de produtos de limpeza e tempos de operação dos CIP.

2 Estado da Arte

Todo o processo de produção da cerveja, desde o tratamento das matérias-primas até obtenção do produto final, deve ser compreendido como sendo um processo muito complexo e que exige um elevado grau de higienização de forma a evitar problemas de contaminações que possam afectar a qualidade do produto.

A higienização deve remover os materiais indesejados das superfícies a um nível tal que, os resíduos que persistirem não apresentem qualquer risco para a qualidade e segurança do produto. Deve ter-se o cuidado de identificar qual a natureza da sujidade que se pretende remover e saber escolher o melhor método para assegurar a eliminação das sujidades visíveis e não visíveis e a destruição de microrganismos patogénicos [6].

Os programas de higienização são daqui em diante designados de CIP, do inglês “Cleaning in Place”. Esta designação prende-se com o facto da limpeza e desinfecção serem efectuados numa instalação específica em circuito fechado, sem haver assim necessidade de se proceder à desmontagem dos equipamentos.

Numa primeira etapa tem-se a selecção do produto de limpeza que deve ter em consideração o tipo de sujidade a limpar. Normalmente os tipos de limpeza são classificados em limpeza alcalina e limpeza ácida. Na limpeza alcalina, como o próprio nome indica, são utilizados agentes de limpeza alcalinos. Entre estes produtos incluem-se a soda cáustica, o amoníaco e o hipoclorito de sódio. Este tipo de limpeza deve ser utilizado para o tratamento de resíduos orgânicos, tais como gorduras ou proteínas. O produto mais utilizado na indústria, tanto pela sua eficácia como pelo seu baixo custo é a **soda cáustica**. No entanto, este possui o inconveniente de reagir com os sais de cálcio e magnésio presentes na água, o que pode ser resolvido com a incorporação de aditivos. Relativamente à limpeza ácida, esta é efectuada com reagentes ácidos. Os ácidos mais utilizados para o efeito são: ácido cítrico, ácido acético, ácido fosfórico, ácido sulfúrico e ácido fórmico.

Existem alguns factores que condicionam a acção dos detergentes, sendo estes a sua concentração, o tempo de contacto, a temperatura e a sua acção mecânica [6]. Em relação à concentração do produto, existe uma concentração específica que corresponde à máxima eficácia do detergente, dependendo das suas funções e composição; o tempo de contacto, que é função do tipo e quantidade de sujidade, deve ser suficiente para que o produto limpeza se difunda na camada de sujidade e haja transferência de massa da camada para o

líquido; a temperatura, que influencia a difusão, transferência de massa e outras características do fluido; e por fim a acção mecânica requerida, como o caso dos chuveiros rotativos, que necessitam de ter uma pressão suficientemente elevada para conseguir uma maior dispersão do produto e assim evitar-se a presença de zonas mortas [7].

Ainda em relação à soda cáustica, é muito importante ter em conta as suas propriedades de forma a decidir sobre a incorporação ou não de aditivos que possam melhorar a sua eficácia. Os aditivos normalmente adicionados têm a finalidade de conferir propriedades tensioactivas e sequestrantes. Os agentes tensioactivos proporcionam a diminuição da tensão superficial e melhoram a penetração na sujidade, enquanto os agentes sequestrantes, possibilitam a combinação com os sais de cálcio e magnésio formando compostos solúveis [8].

Outro factor com alguma relevância para uma adequada higienização do equipamento trata-se do estado da superfície dos equipamentos. A superfície pode apresentar-se polida ou desgastada. Esta diferença terá uma grande influência ao nível da adesão da sujidade às superfícies podendo originar problemas de contaminações microbiológicas. As superfícies polidas são então aquelas que proporcionam uma menor adesão da sujidade, fornecendo uma maior facilidade de limpeza [9].

Relativamente aos programas CIP utilizados na indústria, estes podem ser divididos em protocolos de uma só passagem e em protocolos de recirculação. No protocolo de uma única passagem a solução de limpeza é enviada para o equipamento a limpar e drenada para esgoto, enquanto no de recirculação, a limpeza é feita por recirculação em circuito fechado entre o tanque CIP e o equipamento. O protocolo de recirculação apresenta vantagens ao nível da redução de consumos de água, energia e produtos químicos.

De seguida descreve-se uma sequência típica de um processo de limpeza e desinfecção. Normalmente, estes processos iniciam-se com um enxaguamento inicial. Este enxaguamento tem a finalidade de remover os resíduos grosseiros e que estejam com menor aderência à superfície. Segue-se a etapa de limpeza (alcalina, ácida ou ambas), com o objectivo de remover a totalidade da sujidade aderente à superfície. Para uma boa eficiência da limpeza deve ter-se em conta o tempo de contacto, a temperatura e a composição da solução de limpeza e acção mecânica sobre a sujidade. O ciclo de limpeza deverá terminar sempre com um enxaguamento, este com o objectivo de remover os resíduos do produto de limpeza e sujidade. Removida toda a sujidade, desinfecta-se, para assegurar a destruição dos microorganismos presentes de forma a evitar qualquer tipo de contaminação. Por fim, efectua-se um novo enxaguamento para remover resíduos do desinfectante.

Actualmente, já se começa a verificar que a desinfecção é feita em simultâneo com a limpeza de forma a reduzir o tempo de operação mas mantendo o grau de eficácia.

Em seguida dá-se um exemplo de um método de tratamento dessas soluções que se tem vindo a aplicar com maior frequência.

Regeneração da Soda Cáustica:

Os programas de higienização, CIP, têm vindo a ser aplicados em grande número na indústria, pelas suas inúmeras vantagens relativamente à limpeza manual. Para além disso, recentemente, na indústria alimentar e de bebidas tem-se vindo a aliar uma nova característica aos programas de CIP, a recuperação de produtos químicos.

Este tipo de processo, com maior aplicação relativamente à soda cáustica, consiste na remoção de partículas, gorduras, proteínas, carbonatos e outros componentes de baixo peso molecular, os quais podem ser removidos por **nanofiltração**. Na figura 2 pode-se observar as diferentes categorias de membranas.

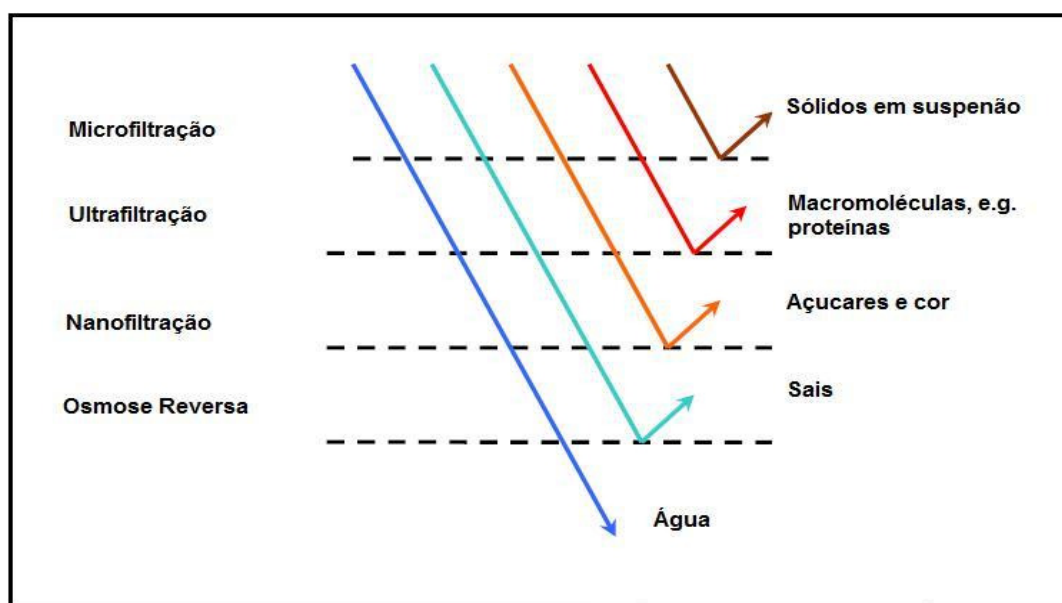


Figura 2 - Categoria de membranas [7].

Este método traria então o benefício na redução do consumo dos produtos de limpeza, menor número de descargas para esgoto e maior controlo na eficácia de limpeza da solução. Um exemplo prático desta situação é o caso da soda do tanque CIP usado na limpeza das CC, que perde rapidamente parte do seu poder de limpeza pelo facto de carbonatar quando não se consegue a remoção total do CO_2 do equipamento.

No entanto, para uma boa eficiência do processo é necessário que estas membranas apresentem excelente resistência consoante as características do produto. Nesta situação, verifica-se que geralmente as membranas com as melhores características para a regeneração da soda são as membranas cerâmicas. Algumas destas características são: possuírem excelente resistência a produtos químicos extremamente ácidos ou alcalinos, serem estáveis a temperaturas elevadas, terem uma excelente resistência mecânica, um tempo de vida extremamente longo comparadas com as membranas poliméricas e serem fáceis de lavar [11].

Para este processo foi encontrada como membrana possível de ser aplicada, uma membrana produzida pela empresa Koch Membrane Systems com as características apresentadas na tabela 1. As membranas desenvolvidas pela Koch Membrane Systems para processos de recuperação possuem uma excelente estabilidade térmica, são resistentes a soluções como: o hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, ácido fosfórico e ácido nítrico para concentrações de 10 % ou mais. Os materiais de construção foram seleccionados de forma a operar a altas temperaturas e elevadas concentrações de produtos cáusticos ou ácidos [12].

Tabela 1 - Propriedades de uma membrana possível para regeneração da soda [12].

SeIRO® MPS-34 - pH Stable Membrane Nanofiltration Spiral Modules Series - 4040 B2X, 4040 B2Z	
Típica Pressão Operação	15 - 35 bar
Temperatura Máxima	70 °C
Resistente a pH	0 - 14
Diâmetro dos poros	0,7 nm
Material dos tubos de permeado	Aço inox
Principais aplicações	Recuperação de produtos ácidos ou alcalinos

Esta implementação deverá permitir uma maior eficácia da soda como agente de limpeza, dado eliminar os carbonatos presentes em solução e pela remoção continua da sujidade por esta arrastada. Por outro lado, diminui o impacto ambiental da limpeza. Geralmente verifica-se que nos casos onde este método já foi adoptado a recuperação de soda é superior a 70 % [7].

Podemos observar na tabela 2 o desempenho e custo de diversas membranas utilizadas para a regeneração de soda cáustica [7].

Tabela 2 - Desempenho e custos de membranas [7].

Tipo Membrana	Percentagem de solução de limpeza recuperada	Tempo de vida da solução limpeza	Custo
Cerâmica Ultrafiltração	60 %	2 semanas	Custo elevado mas com tempo de vida longo \$2100 / m ²
Tubular Nanofiltração	95 %	2,5 - 4 meses	\$600 / m ²
Espiral Nanofiltração	95 %	2,5 - 4 meses	\$260 / m ²

De seguida, é ilustrado o modo de funcionamento de 2 tipos de membranas de nanofiltração na recuperação de produtos cáusticos. Relativamente aos módulos de membrana em espiral, figura 3, estas possuem algumas vantagens, tais como, um menor custo de investimento, menor consumo energético e ser resistente a altas pressões.

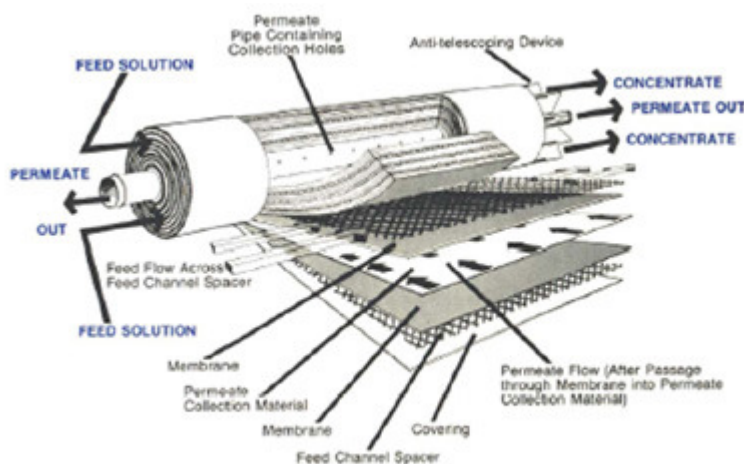


Figura 3 - Método de funcionamento das membranas em espiral [12].

As membranas tubulares, figura 4, possuem vantagens relativamente aos módulos em espirais. As membranas tubulares permitem o tratamento de suspensões com maior sujidade e no caso das membranas da Koch têm um tempo de vida útil superior.

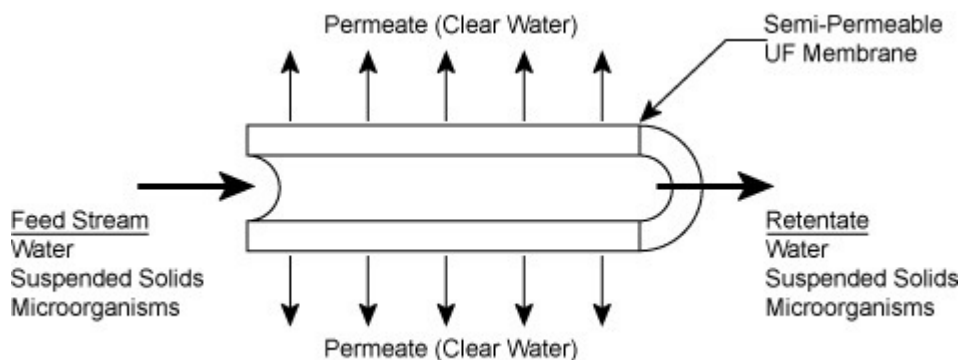


Figura 4 - Método de funcionamento das membranas tubulares [12].

Na figura 5, apresenta-se um diagrama processual do sistema de limpeza, incluindo o processo de regeneração da soda cáustica, que compreende módulos de membrana e uma bomba de alimentação.

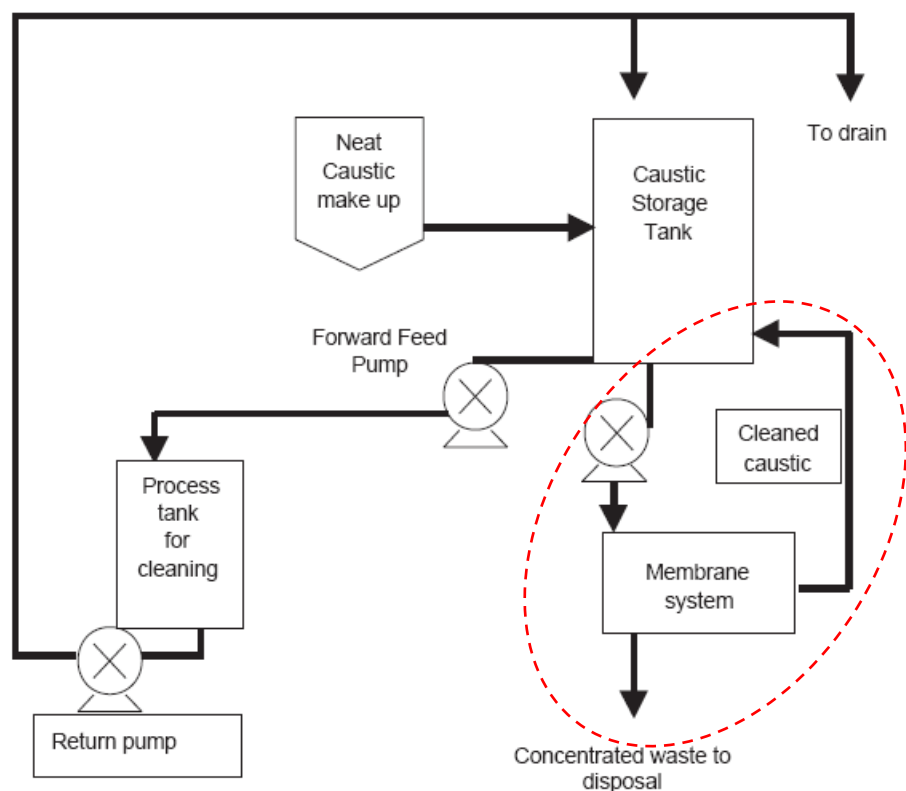


Figura 5 - Esquema representativo de uma possível instalação de regeneração de soda (adaptado de [13]).

Outras empresas, como a Inopor[ ], também fabricam membranas cerâmicas para aplicações em processos de nanofiltração, podendo-se observar na figura 6 uma imagem típica de um módulo de membranas usado em processos de filtração.



Figura 6 - Imagem de um módulo de membranas [14].

3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

Nesta secção, encontram-se dispostas e justificadas as propostas de melhoria dos Programas de CIP e respectivos resultados, divididas em secções consoante o tipo de equipamento.

3.1 Cubas de Fermentação (CC)

Foram identificadas as cubas de fermentação que apresentavam problemas de incrustações inorgânicas. Nestas cubas procedeu-se à sua detergência com um ácido mais forte para remoção das referidas incrustações.

Cada equipamento possui o seu próprio programa CIP consoante o tipo de sujidade. O CIP das CC inicia-se com um enxaguamento, efectuado com água recuperada, de forma a remover a sujidade mais grosseira do interior da cuba. De seguida prossegue-se com um passo de recirculação de soda em circuito fechado para remover a matéria orgânica que se encontra com maior adesão à superfície. Efectua-se um novo enxaguamento para remover o carácter alcalino da cuba de forma a dar-se início ao passo da recirculação do ácido em circuito fechado. O CIP termina com um enxaguamento final.

Verificou-se então para as cubas que iam ficando vazias, aquelas que precisavam de uma limpeza extraordinária e foram-se fazendo as detergências consoante a disponibilidade de utilização das cubas. Para o efeito, foi ainda realizado um procedimento para ser seguido no âmbito destas limpezas. Nas figuras 7 e 8 podem ser observadas o ponto de situação das mesmas.

Na grande maioria dos casos a limpeza extraordinária da cuba foi efectuada apenas com o ácido forte. No entanto, após a limpeza com ácido mais forte, foi ainda necessário em algumas daquelas cubas uma limpeza com um produto alcalino clorado para eliminação de polifenóis presentes.

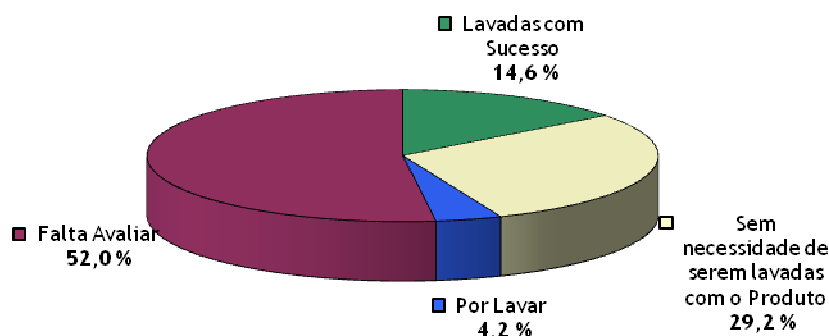


Figura 7 - Ponto de situação da limpeza extraordinária às CC de 1000 hl.

Da análise da figura 7, pode-se verificar que se conseguiu fazer inspeção a cerca de metade das cubas de 1000 hl, optando-se ou não pela limpeza extraordinária. Verificou-se que em aproximadamente 15 % das cubas as incrustações de matéria inorgânica que se encontravam à superfície foram completamente removidas, 29 % das cubas não apresentavam problemas no seu interior, e que em 4 % destas não se conseguiu solucionar o problema, devendo ser submetidas a uma nova detergência.

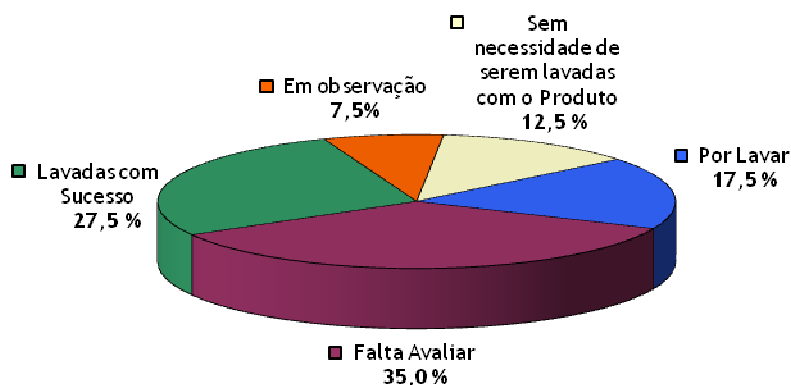


Figura 8 - Ponto de situação da limpeza extraordinária às CC de 3000 hl.

Relativamente às cubas de 3000 hl, observa-se que apenas se conseguiu inspeccionar 65 %. Destas, conseguiu remover-se as incrustações em 27,5 %, verificou-se ainda que 17,5 % necessitam de ser lavadas, 12,5 % não apresentavam quaisquer indícios de incrustações e 7,5 % encontram-se em observação depois de terem sido lavadas com o produto.

No que diz respeito ao CIP das cubas de fermentação, verificou-se que havia uma grande perda de eficácia da solução de soda utilizada durante a detergência alcalina em circuito fechado. Este facto pode verificar-se da análise das figuras 9 a 12.

Os valores referentes à Soda Total (ST) e Soda Livre (SL) à entrada da cuba ST_In e SL_In, à saída da cuba, ST_Out e SL_Out e no tanque CIP, ST_TC e SL_TC, respectivamente.

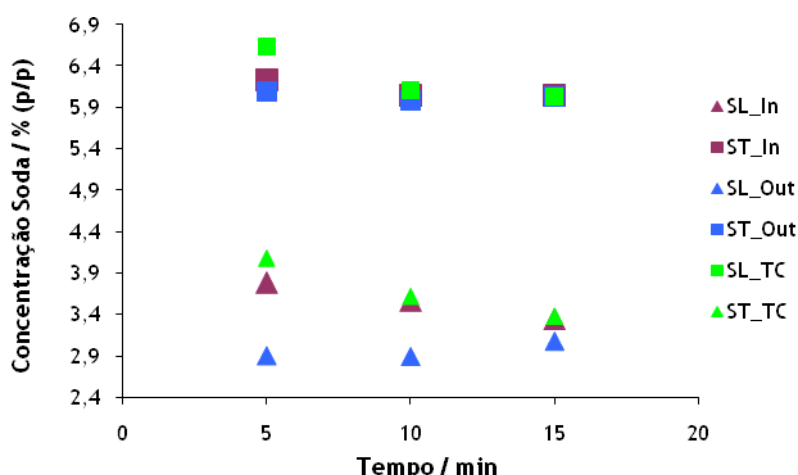


Figura 9 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 10 min, CC 3000 hl.

Como seria de esperar, os valores da soda total permanecem praticamente constantes ao longo do tempo, apesar de 5 minutos após o início do CIP existir uma ligeira diferença entre os valores, provavelmente por haver ainda água na linha. Relativamente aos valores de soda livre pode-se observar que, entre os valores no tanque de CIP e à entrada da cuba não existe diferenças muito significativas, enquanto comparando os valores à entrada e saída da cuba, verificou-se que havia uma grande perda de concentração. Este decaimento do valor da concentração deve-se ao facto do CO_2 que existia no interior da cuba não ter sido completamente removido, ocorrendo carbonatação da soda.

Foi então que se procurou maneira de conseguir remover-se na totalidade a atmosfera de CO_2 do interior da cuba. Assim, começou-se por fazer ligeiros aumentos do tempo de enxaguamento inicial e recolher amostras durante a recirculação da soda, para verificar se ocorria uma diminuição do grau de carbonatação. Porém, a diferença observada não mostrou ser significativa. Com o aumento do tempo para 15 min verifica-se ainda, como demonstra a figura 10, uma elevada carbonatação da soda.

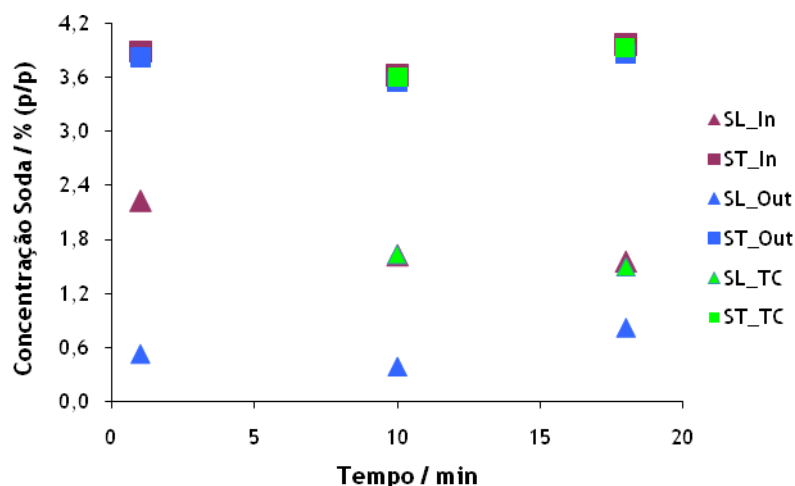


Figura 10 - Concentração da soda na fase da detergentização alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 15 min, CC 3000 hl.

Efectuaram-se então novos ensaios, com aumentos sucessivos do tempo de enxaguamento, mas mantendo durante este passo o cone da cuba aberta durante alguns minutos, de forma a verificar se os resultados das amostras apresentam melhorias a esse respeito.

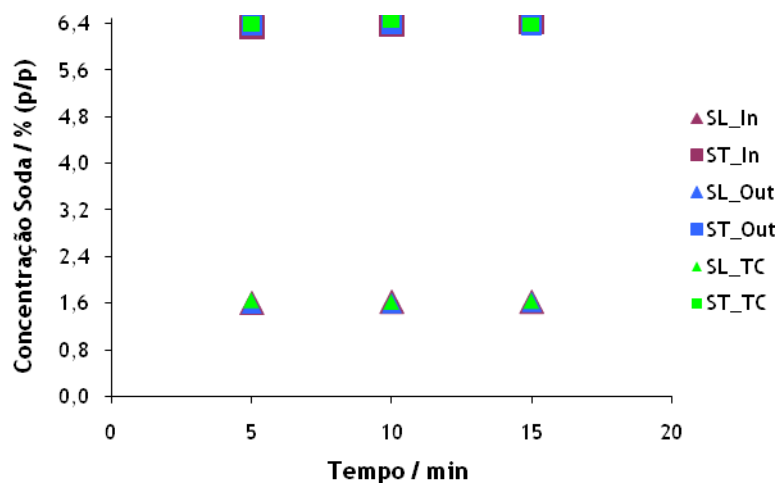


Figura 11 - Concentração da soda na fase da detergentização alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 20 min, CC 3000 hl.

Como se pode verificar pela análise da figura 11, este método mostrou ser eficaz conseguindo-se manter constante o valor da soda livre à entrada e à saída da cuba, pelo que o CO₂ terá sido completamente removido antes da circulação da soda.

Verificou-se o mesmo problema de carbonatação em relação às CC 1000 hl. Assim, seguiu-se o mesmo tipo de análise feito para as CC de 3000 hl, de maneira a evitar-se a carbonatação da soda.

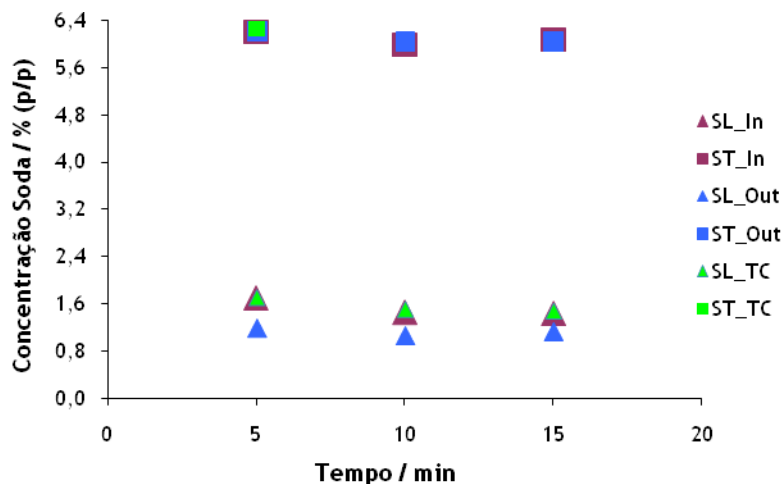


Figura 12 - Concentração da soda na fase da detergência alcalina em função do tempo de recirculação da soda, após um tempo de enxaguamento inicial de 15 min, CC 1000 hl.

Embora nesta situação, pela maior fragilidade do cone destas cubas, não exista a possibilidade de o manter aberto durante o enxaguamento, com o aumento do enxaguamento para 15 min observou-se uma menor carbonatação, figura 12.

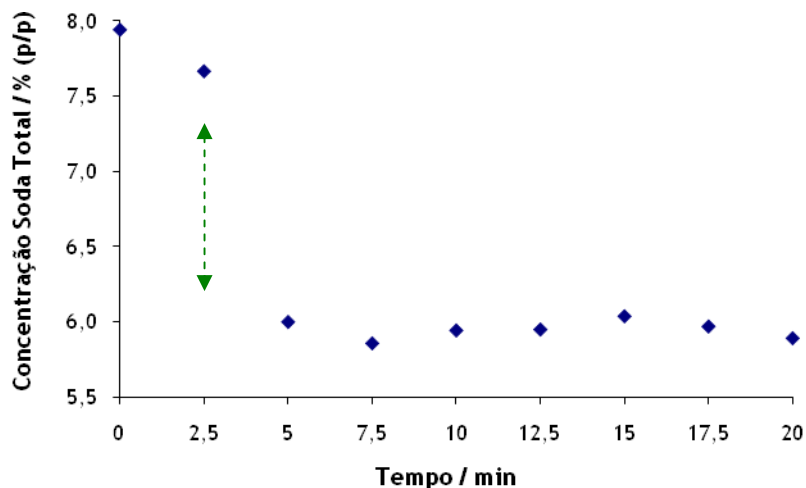


Figura 13 - Evolução da soda total no tanque CIP.

No caso da figura 13, verifica-se nos primeiros 5 minutos da fase de recirculação de soda, um decréscimo acentuado da concentração da soda total no tanque CIP. Esse decréscimo, pelo facto de acontecer relativamente à soda total, indica a presença de um

outro problema. Deve-se efectivamente a uma diluição da solução de soda, podendo-se observar na figura, uma descida de cerca de 1,7 % da concentração.

Foi então que se acompanhou atentamente o decorrer de alguns CIP às cilindro-cónicas, verificando se todos os passos estavam bem programados. Desta forma detectou-se que, no seguimento do passo de enxaguamento inicial, o tempo de esvaziamento não era suficiente para despejar toda a água utilizada no enxaguamento.

Para a resolução deste problema propuseram-se as seguintes duas soluções:

- um aumento do tempo de esvaziamento de 2 min para 6 min, para possibilitar o esvaziamento total da água de enxaguamento;
- programação da válvula superior do tanque de CIP de forma a abrir no início do passo de recirculação da soda, apenas quando o condutímetro colocado à entrada dos tanques de CIP medir cerca de 15/20 mS/cm, ver figura 14 (assinalado a verde).

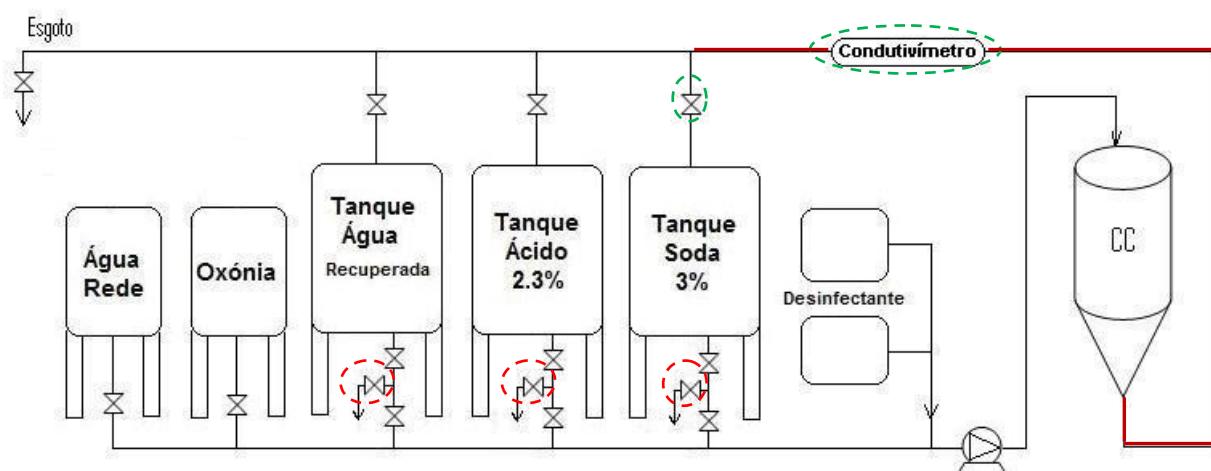


Figura 14 - Representação esquemática da instalação CIP das CC.

Verificou-se ainda uma nova falha no decorrer deste mesmo CIP. Depois de efectuado um esvaziamento de 10 min da solução de soda para o tanque de CIP, dá-se início a um enxaguamento de 9 min com retorno para o tanque de água recuperada. No início desse enxaguamento verificou-se que ainda se encontra soda na linha de CIP, assinalada a vermelho na figura 14, pelo facto de o tempo de esvaziamento efectuado não ser suficiente para recolher toda a soda. Como se pode observar pela tabela 3, que mostra a sequência decrescente do tempo de enxaguamento, passados pouco mais de 2 min desde o início deste passo perdeu-se a soda que se encontrava na linha para o tanque de água de recuperada.

Tabela 3 - Dados observados durante o enxaguamento posterior à recirculação de soda.

Tempo Enxaguamento (s)	Condutividade (mS/cm)
440	70
430	60
420	50
415	40

Para que se consiga ultrapassar o referido problema de forma a recuperar toda a soda utilizada durante o passo de recirculação, propôs-se a alteração do programa de controlo da válvula de CIP. Assim, o programa da válvula de CIP (válvula superior do tanque de CIP) deveria ser mudado para fechar quando o condutímetro colocado à chegada dos tanques de CIP meça cerca de **20 mS/cm**, abrindo de seguida a válvula superior do tanque de água recuperada. Este procedimento evita a perda de soda.

Apesar de nos passos seguintes não se registarem problemas semelhantes, aconselha-se a adoptar o mesmo critério para o início/fim da recirculação do ácido. Relativamente a este passo, que tem por finalidade remover matéria inorgânica que possa estar incrustada na superfície interna da CC, propõe-se que se reduza o tempo de recirculação do ácido em **5 minutos**. Como neste tipo de equipamento grande parte da sujidade presente é de origem orgânica, não é necessário um tempo de detergentência ácida tão longo como o tempo de detergentência alcalina.

Ainda relativamente a este tipo de CIP, tem-se por fim, os resultados microbiológicos das últimas águas de enxaguamento, tabela 4.

Tabela 4 - Resultados microbiológicos das últimas águas de enxaguamento às CC.

Enxaguamento Final	Microbiologia
10 min - CC28	Sem crescimento
10 min - CC80	Sem crescimento
10 min - CC79	Sem crescimento
10 min - CC39	1 colónia
10 min - CC05	Sem crescimento

Verifica-se que, com a redução do tempo de enxaguamento de 15 min para 10 min, obtém-se da mesma forma uma limpeza da CC sem contaminações microbiológicas e valores

de pH entre seis e seis e meio. No entanto, de forma ao pH dessa água se apresentar completamente neutro, propõem-se uma redução deste passo de enxaguamento para **12 min**.

Outros tipos de CIP são utilizados na limpeza e desinfecção das CC, como é caso da limpeza designada por “ácido desinfectante”. Este tipo de limpeza é efectuado quando a cuba vai entrar em funcionamento 24h ou mais após ter sido efectuada a detergência regular, soda/ácido/desinfectante. Como se pode entender, sendo esta uma limpeza apenas utilizada por prevenção, a cuba fermentação já se encontra limpa. Desde modo apresenta-se na tabela seguinte as propostas de melhoria relativamente a este CIP.

Tabela 5 - Programa de CIP - Ácido/Desinfectante.

CIP	Tempos Actuais	Tempos Propostos
Enxaguamento Inicial	10 min (Água arrasto)	Sem enxaguamento (ou 2 min água rede)
Ácido p/ esgoto	3 min	3 min
Recirculação Ácido	25 min	17 min
Água rede p/ esgoto	15 min	12 min
Limpeza Filtro	2 min	2 min

Em relação ao enxaguamento inicial, este é efectuado com excesso de água, cuja utilização é dispensável pelo facto de a cuba já se encontrar limpa e ainda de se estar a usar para o efeito água recuperada que irá contaminar a cuba, para além de ir neutralizar-se parte do ácido que circula de seguida. Ainda pelo facto de à partida a cuba se encontrar limpa, não se justifica um tempo tão elevado da recirculação de ácido para desinfecção. Finalmente, tal como no último enxaguamento do tipo de CIP anteriormente analisado, este também não necessita dos 15 min.

Sobre os tanques de CIP, propõe-se que se programe uma purga diária destes mesmos tanques, de maneira a remover a sujidade que decanta no fundo destes, visível na fotografia de uma amostra, figura 15, abrindo para o efeito as válvulas marcadas com tracejado vermelho na figura 14 durante alguns segundos.



Figura 15 - Amostras retiradas pelo fundo do tanque de água arrasto a) imediatamente após abertura da válvula; b) alguns segundos depois de retirada a primeira amostra.

Para finalizar a análise do CIP das cubas de fermentação, verificou-se também a existência de alguns problemas relativamente ao controlo na concentração do ácido. Este ácido é formado por dois produtos diferentes. Relativamente ao produto que detém uma menor proporção, verificou-se que este por vezes não atingia a concentração adequada ou mesmo não estava presente em solução, pelo facto de por vezes a bilha (com capacidade de 200 l) se encontrar com muito pouca quantidade ou até vazia. Apesar da existência de alarmes para evitar este problema, esta situação ocorria com frequência. Assim, uma forma de evitar a regularidade deste problema seria da alteração na compra do produto, passando a comprar-se o produto em contentores (aproximadamente 900 l) em detrimento das bilhas.

3.2 Tanque de Cerveja Filtrada (TCF)

Os tanques de cerveja filtrada, como o próprio nome indica, armazenam a cerveja já sem partículas em suspensão, pelo que o seu programa de CIP é menos complexo que os restantes. Assim, o CIP destes equipamentos era efectuado de duas formas distintas. Se o CIP fosse efectuado antes de terem passado 5 dias desde o último CIP ácido/desinfectante era efectuado apenas um enxaguamento de aproximadamente 8 min, se fosse efectuado depois de terem passados os referidos 5 dias, era necessário efectuar um enxaguamento inicial (8 min), limpeza ácida (25 min) e enxaguamento final (25 min). Durante o CIP dos tanques de cerveja filtrada, recolheram-se algumas amostras dos enxaguamentos finais após a limpeza ácida de forma a avaliar se seria possível a sua redução. Nas tabelas 6 e 7 podemos observar os resultados obtidos para 3 diferentes tipos de cerveja.

Tabela 6 - Resultado das amostras do enxaguamento final ao fim de 16,5 min.

Tipo de Cerveja	Cor (EBC)	Álcool	pH
Super Bock (SB)	0.0	-0.01	6.47 / 6.48
Super Bock Barril (SBB)	0.0	0.00	6.44 / 7.03
Cristal (CR)	0.1	0.00	6.87 / 6.91

Tabela 7 - Resultado das amostras do enxaguamento final ao fim de 25 min.

Tipo de Cerveja	Cor (EBC)	Álcool	pH
Super Bock (SB)	0.0	-0.01	7.55 / 7.62
Super Bock Barril (SBB)	0.0	0.00	7.16 / 7.20
Cristal (CR)	0.1	0.00	7.17 / 7.21

Estes resultados demonstram que tal como o enxaguamento de 25 min, o enxaguamento de apenas 16,5 min não deixava resíduos de álcoois nem de cor. Em relação aos valores de pH, estes encontravam-se um pouco mais baixos para o enxaguamento de apenas 16,5 min, mas, mantendo-se em valores considerados neutros. Os resultados obtidos permitiam então avançar um pouco no sentido de reduzir-se esse enxaguamento. Fizeram-se então uns ensaios e retiraram-se amostras de cerveja para prova.

Tabela 8 - Resultado das provas relativas aos ensaios dos TCF.

TCF	Prova
4	Ok
6	Ok

Os resultados destes ensaios foram positivos podendo-se assim antever uma redução nos consumos de água e tempo de operação. Relativamente ao volume correspondente aos 8 min que se consegue reduzir, este teve de ser estimado pelo facto de não haver na instalação possibilidade de obter-se um valor exacto, tendo-se obtido um total de 3 m^3 . Como o tempo de enxaguamento intermédio no CIP às CC era o mesmo que o tempo de enxaguamento retirado nos TCF, o diâmetro das tubagens ser o mesmo e a água utilizada em ambas as situações sair do mesmo tanque, calculou-se a quantidade de água gasta nesse enxaguamento. De referir que, a pressão da bomba de CIP era diferente para as CC e para os TCF, verificando-se uma pressão de 4 bar e 5.5 bar, respectivamente. Esta situação afecta então o volume de água dispendida, pois com a maior pressão da bomba, irá passar um maior caudal, podendo-se assim dizer que o volume estimado será um volume mínimo.

Fez-se também uma verificação do número de CIP com detergência ácida que se realizaram nas recentes semanas, de forma a obter-se uma média semanal de CIP efectuados. Na tabela 9 pode ser observado esse registo.

Tabela 9 - Registo do número de CIP aos TCF efectuados semanalmente.

CIP aos TCF	Semana	Nº. CIP
	15 Dezembro 2008 - 21 Dezembro 2008	21
	22 Dezembro 2008 - 28 Dezembro 2008	16
	29 Dezembro 2008 - 04 Janeiro 2009	16
	05 Janeiro 2009 - 11 Janeiro 2009	17
	12 Janeiro 2009 - 18 Janeiro 2009	17
	19 Janeiro 2009 - 25 Janeiro 2009	15
	26 Janeiro 2009 - 01 Fevereiro 2009	20
	02 Fevereiro 2009 - 08 Fevereiro 2009	17
	09 Fevereiro 2009 - 15 Fevereiro 2009	17

Observa-se então que semanalmente são realizados em média 17 CIP com detergência ácida. Dos 17 CIP efectuados, pode considerar-se que no mínimo 14 desses são realizados em TCF que armazenavam cerveja dos 3 tipos testados.

Com o preço de compra da água definido como sendo de 1.275 euros/m³, semanalmente serem efectuados 14 CIP e reduzir-se o volume de água consumido por CIP em cerca de 3 m³, podemos calcular um valor económico aproximado da redução de custos envolvidos.

$$n^{\circ}. CIP_{Semanais} \times V_{\text{Água}} \times \text{Custo}_{\text{Água}} \times n^{\circ}.semanas_{ano} = \text{Valor Económico Pougado}$$

$$14 \times 3 \times 1.275 \times 52 = 2785 \text{ euros/ano}$$

O tempo que se consegue reduzir ao fim de um ano é de aproximadamente 4 dias e meio.

3.3 Arrefecedores de Mosto

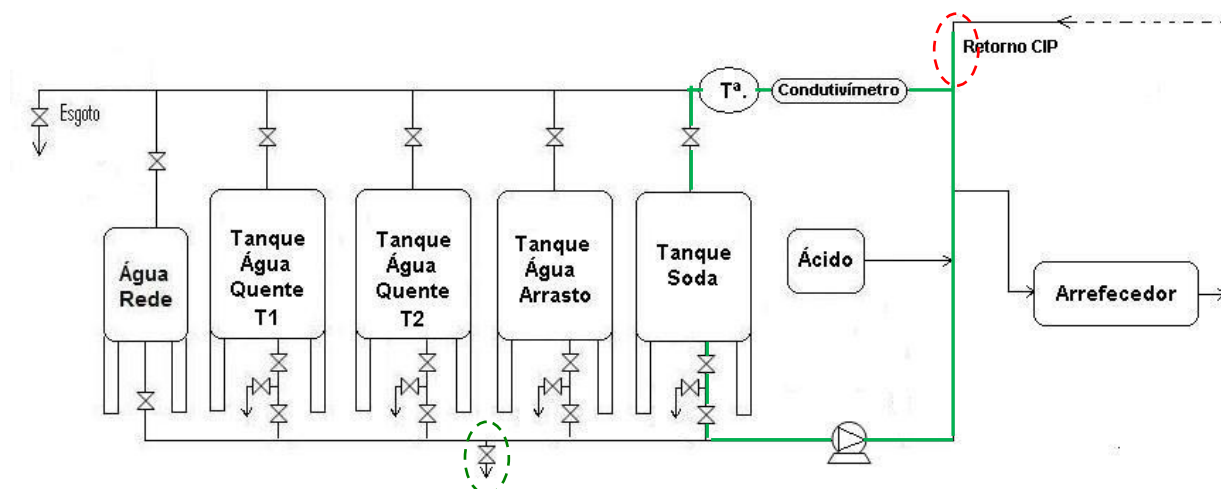


Figura 16 - Esboço representativo da instalação CIP dos arrefecedores de mosto.

O CIP do arrefecimento é compreendido por 3 fases. Inicialmente começa por fazer-se um enxaguamento com água de arrasto (água recuperada do enxaguamento da soda) de forma a remover-se a sujidade maior que se encontra retida na tubagem e nas placas do arrefecedor. De seguida, o programa continua com uma detergência alcalina, para remover a matéria orgânica que se encontra com maior adesão às placas e tubagem, terminando-se com a circulação de água quente. Numa primeira fase, a água circula de forma a empurrar e remover toda a soda presente na linha, e por fim, já com a tubagem e arrefecedor limpo, a água quente circula para fazer a esterilização.

Estudou-se então o tempo de esterilização, obtendo-se os resultados da tabela 10. Desta forma verificou-se que a linha ficava com pH um pouco alto.

Tabela 10 - Resultados das amostras durante o passo de esterilização

Arrefecedor Mosto	Microbiologia	pH aos 10 min	pH aos 15 min	pH aos 20 min
Nordon (ND)	Sem crescimento	9.00	9.00	9.06

Fizeram-se assim alguns acompanhamentos ao CIP dos arrefecedores de mosto, tendo-se encontrado possíveis melhoramentos a implementar.

Relativamente ao Arrefecedor Nordon, durante o passo de esterilização a válvula V2076, por onde se dá o arrejamento, deveria abrir duas vezes durante 4 ou 5 minutos de forma a purgar toda a soda que se mantém nessa parte da linha.

Nos programas de CIP e de concentração de CIP também se registaram possíveis aperfeiçoamentos.

No programa de concentração de CIP observa-se que no final de se dar o aquecimento da água do tanque 1, inicia-se logo o aquecimento da água do tanque 2, pelo que este irá recolher a água do tanque 1 que permaneceu na linha. Isto provoca que se a água do tanque 1 estiver contaminada (ex: soda), o tanque 2 também irá ficar, pelo que se aconselha a fazer um empurro com água da rede para o tanque 1 até a sonda de temperatura acusar cerca de 30 °C. Em seguida irá circular a água do tanque 2 para ser aquecida, não sendo necessário qualquer empurro com água fria no final. O passo seguinte é de encher o tanque de água de arrasto, podendo neste programa estar definido que a válvula (V104) assinalada a verde na figura 10 abra durante alguns segundos para a água presente na linha sair e evitar maior diluição da soda. Por fim, a melhoria a necessitar de uma mais rápida intervenção, prende-se com a colocação de uma **válvula de retenção** na linha tracejada a vermelho. Isto porque, durante a recirculação da soda, fazendo o trajecto assinalado a verde na figura 16, parte desta desloca-se para a linha de retorno, voltando no final deste programa a descer deixando a linha com resíduos de soda. Com a colocação da válvula de retenção evitar-se-ia a passagem de soda para a linha de retorno.

No programa de CIP, fizeram-se ainda algumas alterações para certificar que a linha ficava sem resíduos de soda.

Tabela 11 - Alterações no programa CIP do Arrefecimento de Mosto.

CIP Arrefecedor Mosto		Anterior	Actual
Passo 7	Enxaguamento soda com retorno tanque de soda	4 mS/cm	1 mS/cm
Passo 8	Enxaguamento soda com retorno esgoto	300 s	210 s
Passo 13	Recirculação esterilização com retorno esgoto	20 s	200 s

No entanto, para além das alterações efectuadas propõe-se mais alterações para garantir-se uma adequada limpeza da linha, tais como, o passo 13 do CIP ao arrefecimento ser feito com a água do tanque que fizer a esterilização para que esta água empurre a água que fez a limpeza da linha e ainda aí se encontra. Deve-se também efectuar a programação de purgas na linha durante o CIP pelo facto de existirem zonas mortas.

3.4 Filtração e Equipamentos anexos

Finalmente, em relação ao CIP dos filtros e equipamentos das linhas Shenck e Orion verificaram-se alguns problemas em termos de funcionamento.

Relativamente aos tanques da linha Schenk, fizeram-se acompanhamentos do CIP destes, verificando-se um tempo global de cerca de 55 minutos. No entanto, observaram-se perdas de aproximadamente 6 m³ de ácido por CIP. Verificou-se então por onde ocorria essa perda de ácido, tendo-se detectado que a válvula de esgoto do tanque de princípios e fins de filtração apresentava sinal de fechada no autómato, mas encontrava-se continuamente a verter em grande quantidade no esgoto. Mandou-se então reparar a válvula **V118**. Para além disso, observou-se que o CIP aos tanques teria de ser sempre efectuado aos 3 tanques em simultâneo de forma a evitar-se a perda de ácido pela válvula de segurança. Retirando-se a ordem de limpeza a pelo menos 1 dos tanques a pressão de CIP iria ser maior para os outros tanques perdendo-se grandes quantidades de ácido pela válvula de segurança por esta não aguentar a pressão a que fica sujeita.

Acerca dos filtros da linha Schenk, verificaram-se no seu acompanhamento algumas dificuldades para a redução do seu tempo de operação. O filtro de kieselguhr apresenta um tempo bastante elevado, em grande parte devido ao elevado tempo de enchimento (soda, ácido) e drenagem do mesmo após as detergências e enxaguamentos. Também o filtro de PVPP, apresenta o mesmo problema, demorando cerca de metade do tempo de CIP para encher e esvaziar o filtro e tubagens.

No que diz respeito à linha Orion, nesta o CIP aos tanques, que engloba apenas o tanque de princípios e fins e tanque tampão, deve também ser efectuado em simultâneo, de forma a evitar-se a perda de ácido pela válvula de segurança. Já em relação ao filtro de PVPP, tal como na linha Schenk, perde-se bastante tempo em termos de enchimento e drenagem do filtro.

Tabela 12 - Passos iniciais do programa CIP à linha.

	PASSO	Tempo (s)	Ciclos	Caudal (hl/h)	T ^a . (°C)	T ^a . retorno (°C)	Concentração (% v/v)
P3	Enxaguar tubagem com água fria	350	---	500	---	---	---
P4	Enxaguar tubagem com soda	---	---	500	85	---	0.5
P5	Recircular soda a aquecer	---	---	500	---	80	---
P6	Recirculação de soda	(± 1572)	6 (5)	500	---	---	---

No tempo de CIP às tubagens verificou-se que se poderia reduzir um ciclo do passo de recirculação da soda, pelo facto de nos 2 passos anteriores já se fazer no mínimo um total de 2 ciclos. O primeiro é efectuado para fazer uma prévia passagem de soda para arrastar a

maior sujidade presente na linha enquanto de seguida é efectuado um ou mais ciclos até que a temperatura de chegada aos tanques CIP se encontre no mínimo a 80 °C. Com 5 ciclos no passo de recirculação da soda para limpar bem a linha, obtém-se um total de pelo menos 7 passagens de soda por todo o trajecto, que já será suficiente para remover a sujidade.

Finalmente e acerca do CIP aos tanques de ambas as linhas, verifica-se a entrada de CO₂ enquanto decorre o CIP, devendo apenas estar abertas as válvulas no decorrer dos esvaziamentos ou drenagem dos tanques.

3.5 Propagação e Stockagem

Em relação aos tanques de propagação e stockagem verificou-se que estava programado um tempo de CIP adequado. Este CIP tem a duração de cerca de 50 minutos e verificou-se pelo visor dos tanques de propagação que o seu interior se encontrava bem limpo.

3.6 Equipamentos do Fabrico

Quanto aos equipamentos utilizados no fabrico de mosto, foram feitos acompanhamentos do processo e verificou-se que nestes teria de haver um maior cuidado com o tipo de sujidade que ficava aderido na superfície devido às altas temperaturas a que a maior parte destes está sujeito.

Pelo facto de existir apenas uma instalação e linha de CIP verificou-se um tempo global de CIP extremamente elevado.

O CIP do filtro começava com o enchimento do mesmo com soda, cumprindo de seguida 3 tempos de, 20 min de repouso da soda e 6 min de recirculação pela linha. Seguiam-se 3 tempos de enxaguamento da soda para o tanque de CIP para depois ser feito uma lavagem manual. Finalmente o CIP é retomado para se encher o mesmo com ácido e permanecer em repouso 10 min até ser enviado para esgoto. Verificou-se então que nos tempos de repouso da soda de 20 minutos entre as recirculações pela linha, utilizados para remover a sujidade das placas, poderia reduzir-se esse último tempo de repouso para 15 minutos. Relativamente ao tanque tampão, utilizado para ir recebendo o mosto filtrado e fazer um aquecimento prévio antes de ser enviado para a caldeira de ebulição, verificou-se que poderia ser reduzido o tempo de recirculação superior de 10 para 5 min. Esta redução pode ser efectuada pelo facto dessa parte superior da linha não ser utilizada para passagem de mosto. No decantador verifica-se um tempo elevado de recirculações pelas diferentes linhas, podendo-se reduzir a recirculação pelo topo, por onde se dá a entrada do mosto para o equipamento de 25 para 20 min.

Tabela 13 - Duração do CIP dos diferentes equipamentos do Fabrico do mosto.

Equipamento	Início	Fim	Total
Caldeira Caldas C100	20h57m	00h47m	3h50m
Caldeira Empastagem C200	20h57m	00h47m	3h50m
Caldeira Empastagem C300	23h33m	00h54m	1h21m
Filtro	00h40m	05h38m	2h26m
Tanque Tampão	02h47m	04h47m	2h00m
Caldeira Ebulição	05h06m	08h36m	3h30m
Decantador	09h32m	11h43m	2h11m
Pião	10h40m	11h44m	1h04m
Duração Total		14h47m	

De forma a obter-se um tempo global de CIP mais reduzido, seria necessário a implementação de uma nova linha de CIP assim como da instalação de mais 2 tanques de CIP, soda e água recuperada.

Como se pode observar na tabela 13, o tempo de CIP correspondente às caldeiras C100 e C200, que é efectuado em simultâneo, mais o tempo de CIP correspondente à C300, demorou-se o tempo global de 3h57m, o qual corresponde aproximadamente a 1h20m para cada caldeira. No entanto, esse tempo de CIP poderia nesta situação ser reduzido em alguns minutos se existisse mais uma linha de CIP, pois verifica-se uma paragem do CIP às C100 e C200 para se iniciar o CIP à C300 e no final uma paragem do CIP à C300 para terminar o CIP à C100 e C200. Também se verifica que o CIP à C300 apenas se inicia passado 2h36m desde que se iniciou o mesmo às C100 e C200 no entanto, como o tempo de preparação da mistura na caldeira é de cerca de 50 minutos e mais o tempo de envio da mesma para o filtro não demora um total de 2h36m verifica-se que a C300 permanece alguns minutos à espera de se poder dar início ao CIP. A mesma situação verifica-se entre os restantes equipamentos, talvez com maior evidência no decorrer do CIP ao filtro.

No caso de existência de uma nova linha, por exemplo paralela à existente, poderia fazer-se a seguinte divisão, evitando tempos de paragem entre o CIP aos diversos equipamentos.

Tabela 14 - Divisão de CIP por linha.

Equipamento	Linha 1	Nova linha
Caldeiras C100 + C200	x	
Caldeira C300		x
Filtro	x	
Tanque Tampão		x
Caldeira Ebulição		x
Decantador + Pião	x	

Esta divisão possibilitaria então evitar-se o tempo de paragem do CIP às C100 e C200, pois poderia terminar-se com a linha 1 esse CIP e entretanto iniciar-se o mesmo à C300 pela nova linha. Mal o filtro ficasse disponível dar-se-ia início ao CIP do filtro, passando para a nova linha o CIP ao tanque tampão e caldeira de ebulição, terminando-se com a linha 1 para o CIP ao decantador e pião.

Outro factor com influência no elevado tempo global de CIP é o funcionamento das sondas de volume dos diversos equipamentos. Durante o CIP verifica-se que alguns passos são controlados por estas sondas. Como exemplo destas situações temos os momentos de esvaziamento dos equipamentos, que só terminam quando estas sondas se apagam. Por vezes verifica-se que as caldeiras já se encontram vazias, no entanto, o facto de possuírem a sonda de saída actuada não permite o avanço para o passo seguinte, atrasando assim o tempo de CIP. Para o efeito está a ser testada num dos equipamentos uma nova sonda de maneira a tentar evitar esta situação.

Procedimento Experimental

Análise das soluções de detergência alcalina e ácida.

Análise da Concentração da Soda (Total e Livre)

Pipetou-se 20 ml da amostra para um matraz. Adicionou-se a este 10 ml da solução de cloreto de bário e ainda 2/3 gotas do indicador fenoftaleína.

Titulou-se com HCl 1 mol/l até viragem de cor. Anotou-se o volume gasto.

Colocou-se de seguida 2/3 gotas do indicador laranja de metilo. Titulou-se novamente com HCl 1 mol/l até nova viragem de cor. Anotou-se o volume gasto.

Análise da Concentração dos Ácidos

Pipetou-se 10 ml da amostra para um matraz. Colocou-se 2/3 gotas do indicador fenoftaleína. Titulou-se com NaOH 0.1 mol/l até viragem de cor. Anotou-se o volume gasto.

Dilui-se 10 vezes a amostra de ácido. Registou-se por espectrofotometria a absorvância lida.

4 Conclusões

Este trabalho teve como objectivo a optimização dos programas de higienização, CIP, da fábrica de cerveja da unidade de Leça do Balio da UNICER.

Relativamente à limpeza extraordinária efectuada às cubas de fermentação, pôde constatar-se que naquelas em que foi necessário uma intervenção, os resultados foram um sucesso tendo-se conseguido a remoção das incrustações inorgânicas.

Da análise do programa CIP das cubas de fermentação, tanques de cerveja filtrada, arrefecedores de mosto, filtros e equipamentos anexos e equipamentos do fabrico de mosto, concluiu-se ser possível efectuar diversas alterações de forma a aumentar os níveis de higienização e reduzir os consumos e tempos de operação.

Relativamente ao CIP das cubas de fermentação (CC), concluiu-se que existia uma grande carbonatação da soda durante o passo de circulação dada a existência de CO₂ nestas. Desta forma, para as cubas de 3000 hl foi proposto um aumento do tempo de enxaguamento inicial para 20 min, dos quais os 15 min iniciais deverão ser efectuados com a cuba aberta. Para as CC 1000 hl foi proposto um aumento do enxaguamento para 15 min. Concluiu-se também que seriam necessárias algumas alterações na programação das válvulas dos tanques de CIP de forma a evitar-se a perda de soda e diluição da mesma. Relativamente ao programa de CIP usado para desinfecção da cuba de fermentação concluiu-se que este proporcionava algumas situações bastante inconvenientes e que implicavam um tempo de operação mais elevado do que o necessário assim como um maior consumo de produtos. Para melhorar este programa, propuseram-se alterações nalguns passos, tais como, retirar o tempo de enxaguamento inicial que estava a ser efectuado com água recuperada, o que provocava na recirculação do ácido a degradação de parte deste, diminuir o tempo de recirculação de ácido de 25 para 17 min e tempo de enxaguamento final de 15 para 12 min.

No CIP tanques de cerveja filtrada, concluiu-se que o tempo de enxaguamento final era excessivo, tendo-se conseguido uma redução de cerca de 3 m³ de água por CIP para os tanques de cerveja filtrada das cervejas Super Bock, Super Bock Barril e Cristal.

No programa de CIP do arrefecimento do mosto, também se encontraram algumas deficiências que necessitam de intervenção, tais como a colocação de uma válvula de retenção na linha de retorno de CIP de forma a evitar que ficassem resíduos de soda na linha e que durante o aquecimento da água dos tanques de CIP pudesse haver contaminação da mesma.

Relativamente aos restantes CIP, verificou-se que havia uma grande perda de ácido pela válvula do “tanque de princípios e fins” da linha Schenk que necessitou de ser reparada; e a possibilidade de redução de alguns tempos de recirculação nos equipamentos do Fabrico e na limpeza da linha Orion, entre outras pequenas intervenções.

Finalmente, concluiu-se que com numa nova linha de CIP na área do fabrico de mosto, poderá reduzir-se o tempo do ciclo de operações. Concluiu-se ainda que uma possível implementação de um processo de recuperação de soda por nanofiltração permitiria uma maior qualidade das soluções de soda e redução do seu consumo.

5 Avaliação do trabalho realizado

5.1 Objectivos Realizados

Os objectivos deste trabalho passavam pela optimização dos programas de higienização, nomeadamente na redução de tempos de operação, consumo de produtos e melhorias dos programas. Globalmente estes objectivos foram realizados com sucesso, tendo-se conseguido nalgumas situações a redução de consumo de água, reduzir-se tempos de CIP e encontrado soluções para evitar alguns problemas existentes no decorrer das detergências.

5.2 Limitações e Trabalho Futuro

Após a conclusão deste trabalho pode-se referir que o tempo de estágio foi de certa forma curto.

Pela existência de apenas uma linha de CIP na sala de Fabrico Nordon, encontraram-se algumas dificuldades para a redução dos tempos de operação, assim como, pelo facto de a sala Meura não ter os CIP automatizados não foi possível analisá-los correctamente. Também relativamente ao CIP dos filtros de ambas as linhas, encontraram-se algumas limitações pela maior dificuldade de acessibilidade para alteração dos parâmetros durante os acompanhamentos. Em comum, estes CIP tinham também a particularidade de serem geralmente efectuados ao fim de semana.

Relativamente a possíveis trabalhos futuros, a montagem de uma nova linha de CIP no Fabrico de mosto, tal como, a implementação de um sistema de regeneração de soda, que pode ser bastante vantajoso em diversas áreas da empresa, são direcções a ter em conta nos próximos anos.

A possível implementação de um sistema de membranas para recuperação de produtos de limpeza num futuro próximo é um caso a ter em consideração pelas suas vantagens e pelos aumentos significativos no custo da soda cáustica durante o ano de 2008.

5.3 Apreciação final

Este projecto revelou-se uma experiência muito enriquecedora. Durante a sua realização, foi possível contactar com vários tipos de equipamentos, o que, permitiu adquirir mais conhecimentos acerca destes. Foi também enriquecedor ter a oportunidade de realizar este trabalho, pela importância que este tem de forma a garantir a qualidade e segurança do produto.

Referências

1. <http://www.unicer.pt/gca/index.php?id=407>, acedido em 08/02/2009.
2. Kunze, W. Technology Brewing and Malting, 3rd Edition, VLB Berlin, 2004.
3. Carvalho, B.M.S. Manual do Curso de Produção de Cerveja, Unicer, E.P. Leça do Balio, 1985.
4. <http://www.cervejasdomundo.com/Ingredientes.htm>, acedido em 08/02/2009.
5. www.cervejacaseira.com/ingredientes.shtml, acedido em 08/02/2009.
6. Manual de Higienização - Indústria Alimentar, acedido em 20/11/2008.
(www.esac.pt/noronha/manuais/Manual_higienizacao_aesbuc.pdf)
7. Palmowski, Dr. L., Baskaran, Prof. K., Wilson, Dr. H., Watson, Mr. B., Clean in Place - A Review of Current Technology and its Use in Food and Beverage Industry, Report for general circulation, October 2005.
8. Velings, N. Surfactant, surface tension, rinse-ability, 29th International Congress of European Brewery Convention, Dublin - Ireland, 2003.
9. Weigl, B., Sommer, K. Cleaning process optimization of microbiologically contaminated surfaces, 29th International Congress of European Brewery Convention, Dublin - Ireland, 2003.
10. Evers, H. Evaluation of CIP-systems with methods of the process engineering, 29th International Congress of European Brewery Convention, Dublin - Ireland, 2003.
11. http://ceramfil.jimdo.com/cm_f_membrane.php, acedido em 06/02/2009
12. <http://www.kochmembrane.com/alkasave.html>, acedido em 10/02/2009.
13. General Guidance for the Dairy and Milk Processing Sector, págs. 75/76.
(<http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/13-GEHO1205BJZG-e-e.pdf>)
14. <http://www.inopor.com/>, acedido em 06/02/2009.