

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo da Sujidade de Garrafas de Tara Retornável e da Eficiência de Remoção numa Lavadora Industrial

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

Rui Vieira Afonso

Unicer - Bebidas de Portugal, SGPS, S.A.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de Engenharia Química

Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na empresa: Doutor Pedro Rodrigues

Fevereiro de 2008

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que, directa ou indirectamente, me ajudaram na realização deste Projecto de Desenvolvimento.

Agradeço ao Prof. Adélio Mendes pela orientação, ideias e motivação fornecidas ao longo do projecto.

Ao Doutor Pedro Rodrigues pela motivação e confiança que sempre me tentou transmitir e pela visão extraordinária das potencialidades do projecto.

Ao Eng.º Gustavo Moutinho pelos conselhos e capacidade de integração, pelas ideias para o projecto e pela constante disponibilidade.

À Dr.^a Ana Bela Pinheiro, à Dr.^a Ana Queirós, à Doutora Cristina Silva, ao Eng.º António Oliveira e ao Pedro Justo pelo importante apoio prestado durante a execução do projecto e pelo óptimo ambiente de trabalho criado.

Um agradecimento especial aos operadores da Linha 3, que sempre se mostraram disponíveis para me ajudar de todas as formas possíveis.

Gostaria também de agradecer a todos quantos trabalham no Gabinete de Apoio Técnico ao Enchimento e na Direcção de Qualidade e Inovação, por toda a ajuda fornecida.

Um agradecimento ainda a todos os que, dentro da Unicer, altruisticamente me ajudaram na conclusão do trabalho.

Finalmente, gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha mãe, que sempre me apoiou em tudo o que quis fazer.

Resumo

Este projecto tinha como propósito estudar os processos de Lavagem e Inspeção de Garrafas numa Linha de Enchimento. O projecto dividia-se em duas partes: estudo da frequência de sujidades e defeitos nas garrafas de entrada da lavadora e rejeitadas nos Inspectores de Vazio e determinação da influência da temperatura, concentração de soda cáustica e concentração de aditivo na capacidade de limpeza da lavadora, para ferrugem, biofilmes e cimento.

Verificou-se que existe uma grande frequência de sujidades de natureza biológica nas garrafas de entrada da lavadora. Grande parte destas sujidades é removida na lavagem, sendo a sua frequência muito menor nas garrafas rejeitadas. De facto, 37% destas são rejeitadas pela presença de sujidades e defeitos no vidro não laváveis.

Dos três parâmetros de lavagem testados, apenas o aditivo de lavagem tem uma influência clara sobre a eficiência de lavagem, para as sujidades de biofilme e ferrugem. No entanto, os três parâmetros têm uma influência semelhante na taxa de rejeição dos Inspectores de Vazio. Para as gamas de valores testadas, o óptimo encontrado foi de 3,0 % de soda cáustica, 0,6 % de aditivo de lavagem e 78 °C de temperatura.

Abstract

This project's purpose was to study the bottle washing and inspection systems, in a Filling Line. The project had two objectives: study of the frequency of dirt and defects in bottles entering the washer and rejected in the Empty Bottles Inspectors and determination of the influence of temperature, caustic soda concentration and additive concentration in the cleaning ability of the washer, for rust, biofilms and cement.

It was found that there is a great frequency of biological dirt in entering bottles. Much of the dirt is removed during washing, and its frequency is much smaller in rejected bottles. Indeed, 37% of these were rejected due to non-washable dirt and glass defects.

Of the three washing parameters tested, only the washing additive clearly shows an influence in the washing efficiency, both for rust and biofilm. However, the three parameters have a similar influence on the rejection rate of Empty Bottles Inspectors. For the tested ranges of values, the optimum found was a concentration of caustic soda of 3,0 %, a concentration of washing additive of 0,6 % and a temperature of 78 °C.

Índice

Índice.....	i
Notação e Glossário	ii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto	1
1.2 Contributos do Trabalho.....	4
1.3 Organização da Tese	5
2 Estado da Arte	6
3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados	9
3.1 Caracterização da lavadora em estudo	9
3.2 Análise de custos	11
3.3 Caracterização do vasilhame de entrada e recuperado	13
3.3.1 Entrada	13
3.3.2 Rejeitadas	15
3.4 Estimação das Causas de Rejeição.....	20
3.5 Ensaio para a determinação da influência de diferentes variáveis operatórias ..	26
3.5.1 Ensaio com Stabicip EA.....	26
3.5.2 Ensaio com Complex VB13	30
4 Conclusões.....	37
5 Avaliação do trabalho realizado	39
5.1 Objectivos Realizados.....	39
5.2 Limitações e Trabalho Futuro	39
5.3 Apreciação final.....	39
Referências	40
Anexo 1 Valores de Eficiência de Lavagem para os testes com Stabicip EA.	41
Anexo 2 Valores de Eficiência de Lavagem para os testes com Complex VB13.....	42

Notação e Glossário

Lista de Siglas

TP	Tara Perdida
TR	Tara Retornável
IdV	Inspector de Vazio
D.P.	Desvio-padrão

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

O enchimento é uma parte central da produção na indústria de bebidas. Embora, nesta fase, o fabrico da bebida já esteja completo, o enchimento influencia decisivamente a integridade e a forma como o consumidor experiencia o produto. O enchimento ocorre numa Linha de Enchimento, onde se efectuam todas as operações necessárias ao processamento das garrafas, de forma a preparar o produto final para ser comercializado.

Na UNICER, as garrafas utilizadas podem ser de Tara Perdida (TP, só são usadas uma vez) ou de Tara Retornável (TR, podem ser devolvidas à empresa de bebidas para serem reutilizadas). As garrafas chegam e saem da linha em paletes, conjuntos de garrafas ou de sub-conjuntos de garrafas, empilhados sobre uma base de madeira ou plástico (a palete). As garrafas TP chegam empilhadas umas sobre as outras, com uma placa de cartão a separar níveis diferentes, e saem em embalagens com um número variável de unidades. As garrafas TR chegam e saem da linha dentro de grades.

Entre diferentes operações de processamento, as paletes, grades e garrafas são movimentadas sobre transportadores. A configuração de uma Linha de Enchimento de TR, com os vários equipamentos de processamento e o percurso de paletes, grades e garrafas, é apresentada na Figura 1.

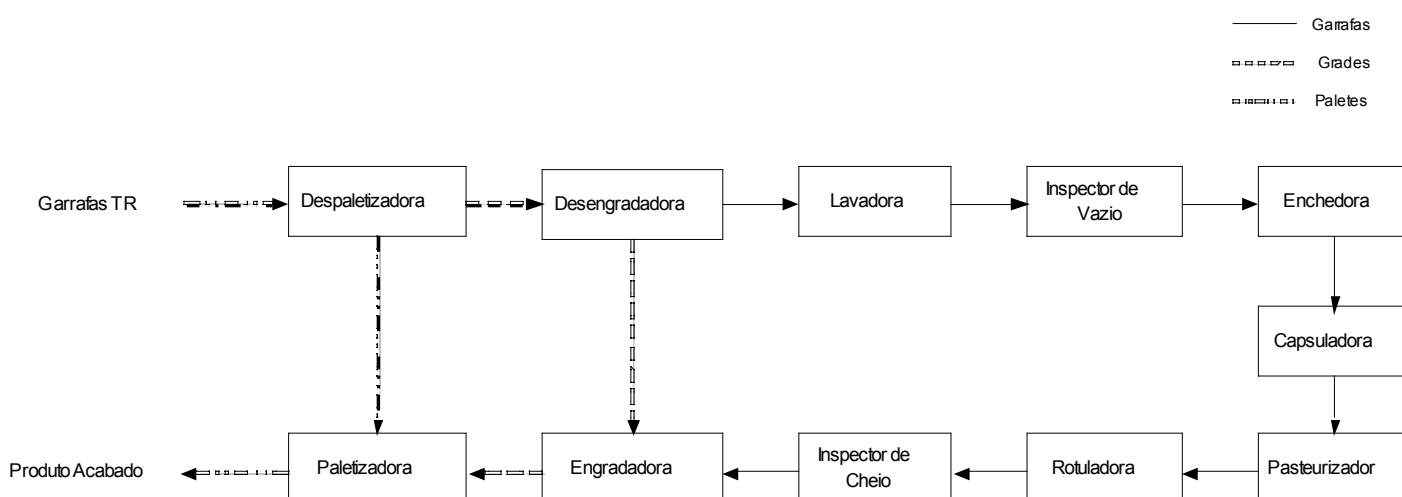


Figura 1 - Diagrama de uma Linha de Enchimento de TR.

As especificidades de processamento e embalagem de garrafas TR e TP implicam algumas variações na configuração das linhas de enchimento de cada uma. Não tendo ainda sido usadas, as garrafas TP não são lavadas, como as TR, mas apenas enxaguadas numa Enxaguadora. As garrafas TP não são transportadas em grades. Chegam à linha em paletes de garrafas não embaladas, não havendo operação equivalente ao Desengradamento e saem da linha embaladas, passando por um processo de Embalamento em vez de Engradamento.

Processo de Lavagem e Processo de Inspeção e Selecção

Numa Linha de Enchimento de TR, antes de serem enchidas, as garrafas são preparadas para o enchimento através dos processos de Lavagem e Inspeção e Selecção de garrafas, influenciando ambos directamente a qualidade do produto cheio. Na Figura 2, é possível observar o diagrama do processo, tal como está implementado na Linha 3, do Centro de Produção da UNICER de Leça do Balio.

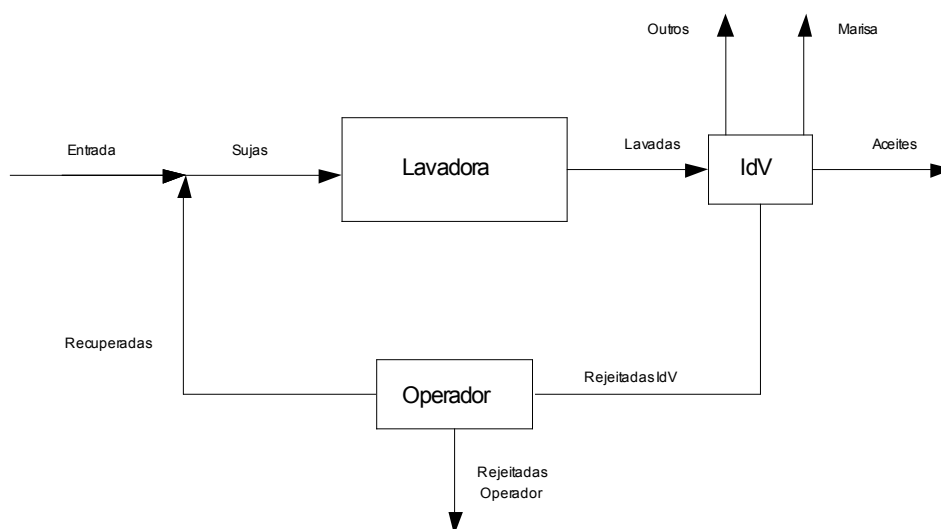


Figura 2 - Diagrama do processo de Lavagem, Inspeção e Selecção de Garrafas, tal como implementado na Linha 3 do Centro de Produção da UNICER de Leça do Balio.

Durante o processo de lavagem, que ocorre numa lavadora, tenta-se eliminar, o mais possível, os resíduos, macroscópicos e microscópicos, orgânicos e inorgânicos, existentes na garrafa. Na sua remoção estão envolvidas acções químicas e físicas.

A acção química consiste num ataque cáustico com soda quente, o qual pode ser auxiliado por aditivos (normalmente, à base de tensoactivos), e cujo papel principal é a remoção de compostos orgânicos e a solubilização de alguns compostos inorgânicos. Paralelamente a esta acção química, existe uma acção física mecânica, com imersão e jactos

de líquido dirigidos ao interior da garrafa. Com uma acção mecânica efectiva, pode ocorrer descolagem completa dos resíduos^[1].

Uma lavadora de garrafas deve ainda remover os rótulos das garrafas, razão pela qual tem sempre um desrotulador acoplado a cada tanque de lavagem. O desrotulador consiste num tambor que se encontra dentro do circuito externo de recirculação dos tanques no qual os rótulos ficam presos e são removidos para o exterior. O processo de lavagem é um dos mais dispendiosos de uma Linha de Enchimento, quer pelos seus gastos directos em utilidades, quer por ser aquele em que se perdem mais garrafas.

A lavagem, como todos os processos, não possui uma eficiência de 100 % e, para além disto, pode haver garrafas com defeitos no vidro entre as que foram lavadas. Assim, é importante que as garrafas lavadas sejam inspeccionadas e seleccionadas num Inspector de Vazio (IdV) antes de serem enchidas. No IdV, as garrafas cujas características não correspondem aos padrões exigíveis de forma e aspecto são rejeitadas, enquanto as outras seguem para enchimento.

Os IdV da Linha de Enchimento em estudo analisam cada garrafa através de fotografias digitais, tiradas de diversos ângulos, que são comparadas com fotografias de padrões. Caso sejam encontradas zonas com uma intensidade luminosa (“manchas”) diferente da do padrão, a garrafa é rejeitada. Este processo está limitado pela resolução das fotografias e pela noção de “mancha” implícita no algoritmo de processamento da imagem. Neste processo, é possível haver garrafas aceites com sujidades/defeitos (não rejeições) e garrafas rejeitadas limpas (falsas rejeições). As fracções de não rejeições e falsas rejeições são especificações do fabricante dos IdV, e devem ser verificadas periodicamente.

As garrafas rejeitadas podem ser imediatamente retiradas da linha (normalmente, para um silo de vidro) ou reenviadas para a lavadora, para serem novamente lavadas. Na Linha 3 do Centro de Produção da UNICER de Leça do Balio, as garrafas rejeitadas no IdV (“Rejeitadas IdV”) são reenviadas de volta para a entrada da lavadora. De facto, embora a Figura mostre um único IdV, a linha em questão tem dois a funcionar em paralelo. De modo a impedir a acumulação progressiva de garrafas não laváveis, as garrafas rejeitadas nos IdV são analisadas pelo operador da lavadora e algumas rejeitadas (linha “Rejeitadas Operador” do diagrama), saindo do sistema.

Assim, as garrafas que entram na lavadora (“Sujas”) são o conjunto das que entram de novo (“Entrada”) e das que foram rejeitadas nos IdV e não rejeitadas pelo operador (“Recuperadas”).

Não há qualquer controlo das garrafas que entram na linha. Nas grades, que deveriam ter um único tipo de garrafas, podem vir misturados vários tipos. É, portanto, necessário

impedir que estas garrafas cheguem à enchedora. Por isto, imediatamente antes de cada IdV, existe um detector/rejeitor que identifica e rejeita todas as garrafas que não sejam do tipo que está a ser cheio. No diagrama da Figura 2, estas são representadas pela seta “Outros”.

Idealmente, só se reenviariam para a lavadora garrafas que ainda pudessem ser lavadas, eliminando do sistema imediatamente todas as outras. No entanto, isto é impossível. Há apenas um caso em que se consegue claramente identificar um a garrafa com um defeito no vidro, e que portanto pode ser eliminada, que é o das garrafas com a marisa partida. Assim, as garrafas em que for detectado este defeito são eliminadas do sistema, não sendo reenviadas para a lavadora. No diagrama da Figura 2, estas garrafas são representadas pela linha “Marisa”.

Este projecto tinha como primeiro objectivo identificar e caracterizar qualitativa e quantitativamente as sujidades e os defeitos presentes nas garrafas de entrada e recuperadas. Com esta informação, foi possível perceber quais as sujidades críticas do sistema. O segundo, e mais importante, objectivo deste projecto era determinar a influência de alguns parâmetros operatórios da lavadora na eficiência de lavagem dos tipos de sujidade críticos.

1.2 Contributos do Trabalho

O projecto atingiu todos os seus objectivos, permitindo uma caracterização extensiva dos Sistemas de Lavagem e Inspecção e Selecção de Garrafas da Linha 3 do Centro de Produção da UNICER de Leça do Balio.

Existe agora uma melhor compreensão do tipo de sujidades e defeitos presentes nas garrafas que se querem lavar e nas que são rejeitadas nos IdV. As técnicas de caracterização de vasilhame testadas neste projecto abrem caminho ao desenvolvimento de estratégias de controlo da qualidade da lavagem e inspecção de garrafas, nestes ou noutros sistemas.

O teste do efeito das diferentes variáveis operatórias na eficiência de lavagem da lavadora de garrafas permitiu compreender um pouco melhor os mecanismos químicos de limpeza do sistema, e perceber o caminho de futuras inovações processuais.

1.3 Organização da Tese

Inicialmente, é feito um pequeno resumo do funcionamento de uma Linha de Enchimento, para enquadramento dos Sistemas de Lavagem e Inspeção de Garrafas. É realçada a sua importância enquanto sistemas centrais de uma linha de enchimento, que influenciam decisivamente a qualidade do produto final da Linha.

A parte central da Tese (o Capítulo 3) descreve as actividades desenvolvidas e resultados obtidos no âmbito do projecto, focando-se nos resultados relacionados com os dois principais objectivos.

Começa-se por mostrar os resultados da caracterização de vasilhame, a frequência de diferentes tipos de sujidades e defeitos presentes nas garrafas que entram na lavadora e nas que são rejeitadas nos IdV. De seguida, são calculados alguns indicadores de funcionamento do sistema, e é quantificada a gravidade do que é possível lavar e inspeccionar.

Os vários conjuntos de resultados respeitantes ao segundo objectivo são mostrados depois, estando organizados segundo o conjunto de ensaios a que se referem e por tipo de resultado. A partir destes, são recomendadas condições de operação óptimas para a lavadora.

Finalmente, são resumidas as principais conclusões do projecto, e é feito uma pequena avaliação do trabalho realizado.

2 Estado da Arte

Uma lavadora de garrafas tem três secções principais: pré-lavagem, lavagem e enxaguamento (ver Figura 3).

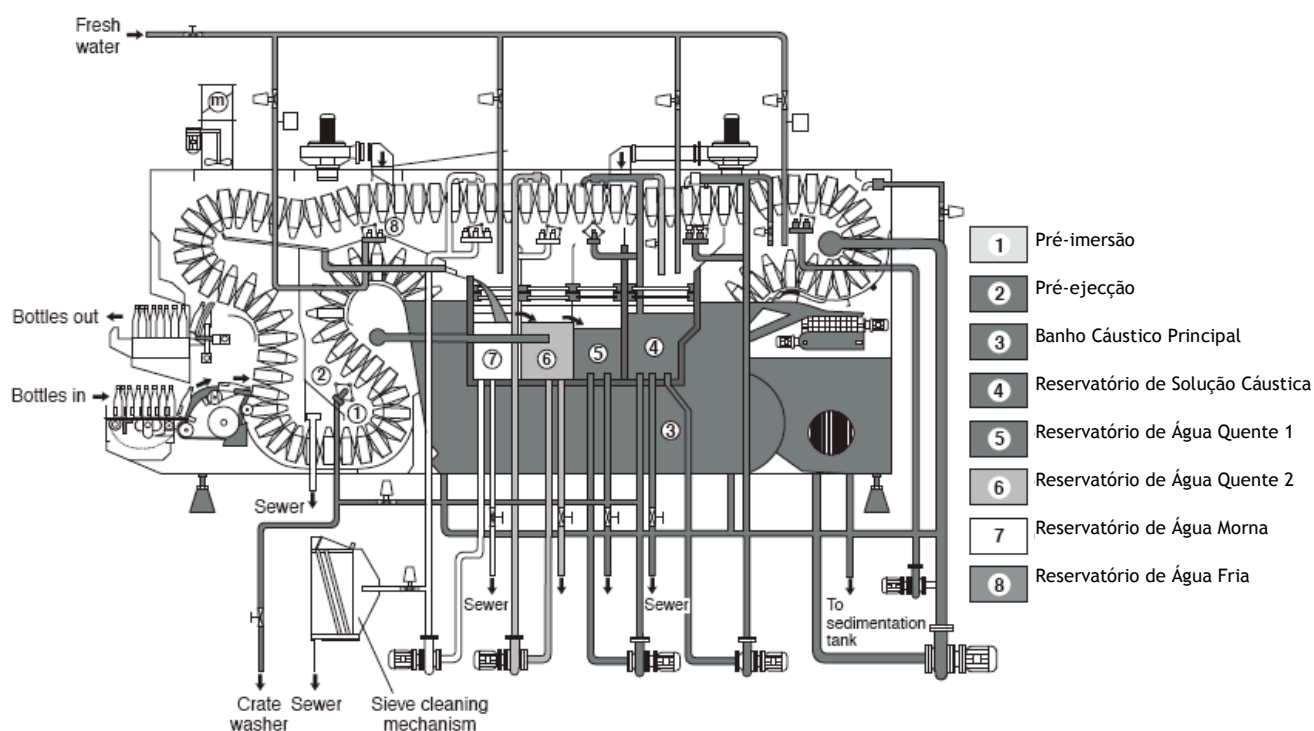


Figura 3 - Diagrama de uma lavadora de garrafas industrial; pré-lavagem, lavagem e enxaguamento. Retirado de [2].

Quando entra numa lavadora, uma garrafa é esvaziada do líquido residual que ainda possa conter, e segue para a pré-lavagem, onde é passada por banhos e jactos de água. Nesta secção, a maioria da sujidade presente inicialmente nas garrafas é removida, restando apenas resíduos de sujidades orgânicas não hidrosolúveis. Os banhos e jactos têm temperaturas sucessivamente maiores, para a preparar para a lavagem a altas temperaturas.

Na secção de lavagem, a garrafa passa por uma sequência de banhos de imersão e jactos interiores e exteriores. As temperaturas de lavagem são maiores para os banhos intermédios, para diminuir o choque térmico da garrafa. As concentrações de soda cáustica e aditivo são maiores para os primeiros banhos de lavagem, diminuindo para os subsequentes, na medida do necessário para garantir o perfeito enxaguamento das garrafas à saída da lavadora.

A secção de enxaguamento é constituída por vários jactos (e, por vezes, banhos) de água a temperaturas sucessivamente menores, de forma a remover todos os vestígios de soda cáustica e aditivo de lavagem. O número de zonas de enxaguamento e o caudal de água utilizado depende das concentrações utilizadas no último banho de lavagem. De modo a evitar a deposição de calcário nas garrafas e nos ejectores, pode utilizar-se um aditivo de enxaguamento, à base de agentes sequestrantes, nas primeiras zonas do enxaguamento.

Parâmetros de operação e configurações óptimas

A extensão e tipo de lavagem aplicada às garrafas em cada secção da lavadora é muito variável. Há inúmeras combinações de número e sequência de jactos e banhos de imersão nas três secções da lavadora. Estas são intrínsecas à lavadora, e dificilmente podem ser alteradas após a sua construção. A submersão da garrafa num banho permite um tempo de contacto prolongado com a solução de lavagem. No entanto, a pequena agitação dentro da garrafa leva à formação de uma camada limite de soda cáustica junto ao vidro e à sujidade. Para promover a renovação da solução no interior da garrafa, podem-se fazer várias passagens pelo mesmo banho. A ejeção de líquido de lavagem para dentro da garrafa também impede a formação de uma camada limite, tendo ainda a vantagem adicional de exercer uma acção mecânica muito intensa nas paredes da garrafa. Estudos desenvolvidos nesta área mostraram^[1] que uma combinação entre submersão e ejeção maximiza a qualidade da lavagem obtida.

Os parâmetros operatórios da lavadora também influenciam decisivamente a qualidade da lavagem obtida na lavadora. Estes são os perfis de temperatura, concentração de soda, concentração de aditivo e o tempo de passagem. Todos eles são ajustáveis durante a operação da lavadora, sendo, no entanto, necessário ter em atenção alguns requisitos de funcionamento.

O tempo de passagem por cada banho de lavagem e de ejeção de líquido é muitíssimo importante na definição da eficiência de lavagem^[1]. Quanto maior, mais tempo vai durar a remoção de sujidade, aumentando a fracção de garrafas limpas à saída. O tempo de passagem de uma garrafa por cada secção da lavadora depende da sua configuração inicial e da taxa de lavagem desejada. Esta está dependente da taxa de enchimento da linha onde é usada, pelo que existe pouca flexibilidade na taxa de lavagem de operação. Assim, o tempo de passagem dificilmente pode ser utilizado como parâmetro de operação que ajude a definir a eficiência de lavagem.

Uma variação de temperatura entre duas zonas de submersão ou ejeção demasiado alta causa um enfraquecimento do vidro, podendo partir a garrafa. Deve-se evitar uma variação superior a 25 °C para aquecimento, e de 35 °C para arrefecimento^[1]. A quantidade de soda cáustica e aditivo de lavagem presentes na garrafa no fim do enxaguamento não deve pôr em causa a integridade do produto.

A temperatura afecta a velocidade das reacções em que a soda cáustica é consumida. As temperaturas de lavagem são muito altas, estando o óptimo, normalmente, entre 80 °C e 83 °C^[1]. Temperaturas mais altas são de evitar, já que, a temperaturas superiores a 83 °C, a sujidade começa a saponificar^[1].

A concentração de soda cáustica influencia directamente a eficiência de lavagem nas lavadoras. Aumentando a concentração de soda cáustica nos banhos de lavagem, melhora-se a capacidade de remoção de sujidade da lavadora, mas também se aumenta a velocidade de destruição da celulose dos rótulos, o que é prejudicial à capacidade de limpeza dos banhos.

O aditivo de lavagem, normalmente à base de tensoactivos, ajuda a solubilizar as sujidades que se quer remover (depósitos minerais, orgânicos ou biológicos). No entanto, também dissolve as tintas dos rótulos, o que leva à contaminação da solução de lavagem e, potencialmente, do produto final. Além disto, promove a formação de espuma, que aumenta a quantidade de solução de lavagem transportada entre banhos, aumentando o consumo de soda cáustica e aditivo. Assim, a concentração de aditivos de lavagem deve ser definida de forma a que aqueles dois problemas sejam minimizados.

3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

O primeiro passo do estudo dos sistemas de lavagem e inspecção de garrafas foi compreender as características específicas da lavadora utilizada. Depois, foi feita uma análise de custos do processo de lavagem. Esta análise tinha como objectivo estimar o custo de lavagem de uma garrafa e perceber quais as variáveis que para ele mais contribuem. Procurava-se, assim, adquirir ferramentas que permitissem enquadrar financeiramente os resultados obtidos com as experiências a serem realizadas e traçar caminhos futuros de optimização de custos.

As restantes actividades dividem-se em dois grupos de natureza distinta, referentes aos dois objectivos centrais do projecto: caracterização de vasilhame e determinação da influência de diferentes variáveis operatórias da lavadora na eficiência de lavagem.

3.1 Caracterização da lavadora em estudo

A lavadora é da marca Crown Cork Company Belgium N.V., modelo DpS 72/4/78 CE, tendo sido montada na linha em 1991. Tem três zonas de ejeção na pré-lavagem, quatro zonas de imersão e ejeção na secção de lavagem e três zonas de ejeção na secção de enxaguamento. As condições de operação padrão, antes do início deste projecto em cada uma destas secções estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de operação padrão da lavadora.

Zona	Temperatura (°C)	Fracção de soda (%)	Fracção de aditivo (%)
Pré-Enxaguamento A	42,0	-	-
Pré-Enxaguamento B	46,0	-	-
Pré-Enxaguamento C	42,0	-	-
Banho I	65,0	2,0	0,3
Banho II	80,0	2,0	0,3
Banho III	80,0	1,0	0,3
Banho IV	65,0	0,5	-
Enxaguamento A	45,0	-	-
Enxaguamento B	35,0	-	-
Enxaguamento C	32,0	-	-

Em todos os tanques de todas as secções da lavadora, as temperaturas são monitorizadas e controladas (controlo on/off, com vapor de aquecimento). Nos banhos de lavagem, há também monitorização e controlo das concentrações de NaOH. As fracções de NaOH em cada banho são monitorizadas com um condutímetro, que fornece leituras de condutância (convertida para fracção de NaOH) para o controlo on/off. Não são monitorizadas nem controladas as concentrações de aditivos nos diferentes tanques. No caso do aditivo de lavagem, este é adicionado proporcionalmente à soda cáustica. A regulação e manutenção deste sistema é da responsabilidade da empresa fornecedora do aditivo.

A soda cáustica adicionada é adicionada aos dois primeiros banhos de lavagem. A concentração dos banhos seguintes é mantida com a solução de lavagem arrastada dos banhos anteriores. A concentração dos banhos de lavagem 3 e 4 é controlada através da adição de água. Utiliza-se soda cáustica a 50 % para fazer este controlo de concentração nos dois primeiros banhos.

Os aditivos utilizados, neste momento, na lavadora são o P3-Stabilon SCP na zona de lavagem e o P3-Polix XT no enxaguamento, ambos da EcoLab-Henkel.

3.2 Análise de custos

Na Figura 4, são mostradas as fracções do custo total de operação da lavadora de garrafas da Linha 3 do Centro de Produção da UNICER de Leça do Balio.

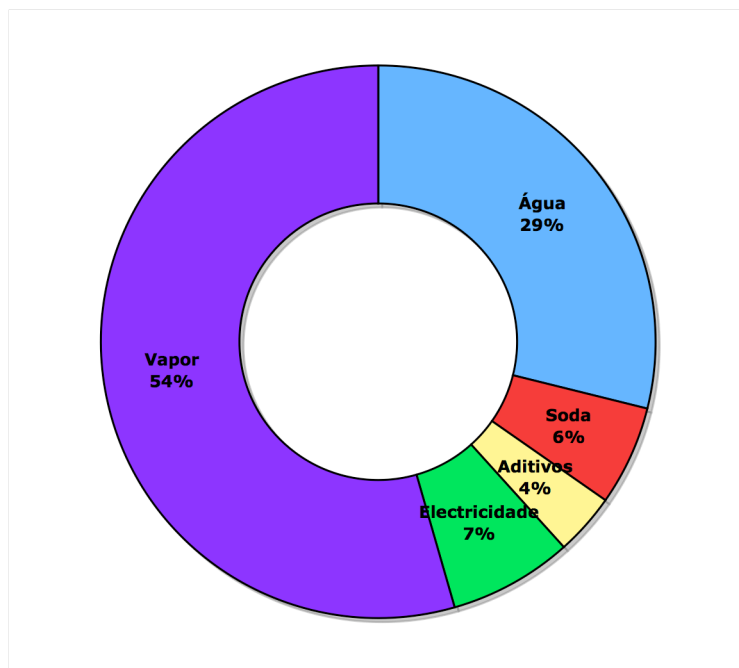


Figura 4 - Distribuição dos custos de operação da lavadora.

Na base desta estimativa, estão as condições padrão de operação antes do início deste projecto (ver Tabela 1). O custo total de operação é de cerca de 149 €/h, para uma taxa de lavagem efectiva média de 57 000 grf/h. Assim, o custo de lavagem por garrafa é de 0,26 c/grf. O consumo de água de lavagem é de 480 mL/grf. Esta estimativa de custos refere-se exclusivamente à lavadora, não incluindo os custos com pessoal nem os custos de operação da enchedora e dos transportadores. Os consumos de vapor e água foram estimados com base em medições feitas durante um período de operação normal. Para consumo de soda cáustica foi utilizado um valor estimado internamente. O custo dos aditivos está contratualizado com a empresa fornecedora, estando indexado à velocidade de lavagem. Para o consumo eléctrico foi considerado como sendo o referido no manual da lavadora.

As maiores fracções dos custos de operação são devidas ao vapor de aquecimento e à água, constituindo juntos cerca de 83 % do custo total. Os custos com electricidade, aditivos e soda cáustica são muito pouco significativos.

É importante notar que os consumos (directamente proporcionais aos custos) das diferentes utilidades não são independentes. Os consumos de vapor e água são dependentes do consumo de soda e aditivo. Maiores concentrações de soda e aditivo nos primeiros banhos exigem um maior esforço de diluição (maior consumo de água), já que nos últimos banhos a concentração tem de ser a mesma. Como a água entra a uma temperatura inferior à do banho, é necessária mais energia para aquecer o banho, o que implica maior consumo de vapor.

3.3 Caracterização do vasilhame de entrada e recuperado

O segundo passo do estudo do sistema foi tentar saber o que se está a tentar lavar, por análise das garrafas à entrada, e o que não é possível lavar, por análise das garrafas rejeitadas nos IdV. Para tal, efectuou-se, em ambos os locais, uma análise qualitativa e quantitativa das sujidades e defeitos presentes no vasilhame.

3.3.1 Entrada

Os resultados da análise das garrafas sujas recolhidas à entrada da lavadora são apresentados na Figura 5. As garrafas foram analisadas visualmente, e foi anotado o tipo e o nível das sujidades presentes em cada garrafa. Os resultados mostram a fracção de garrafas em que foi detectado cada tipo e nível de sujidade.

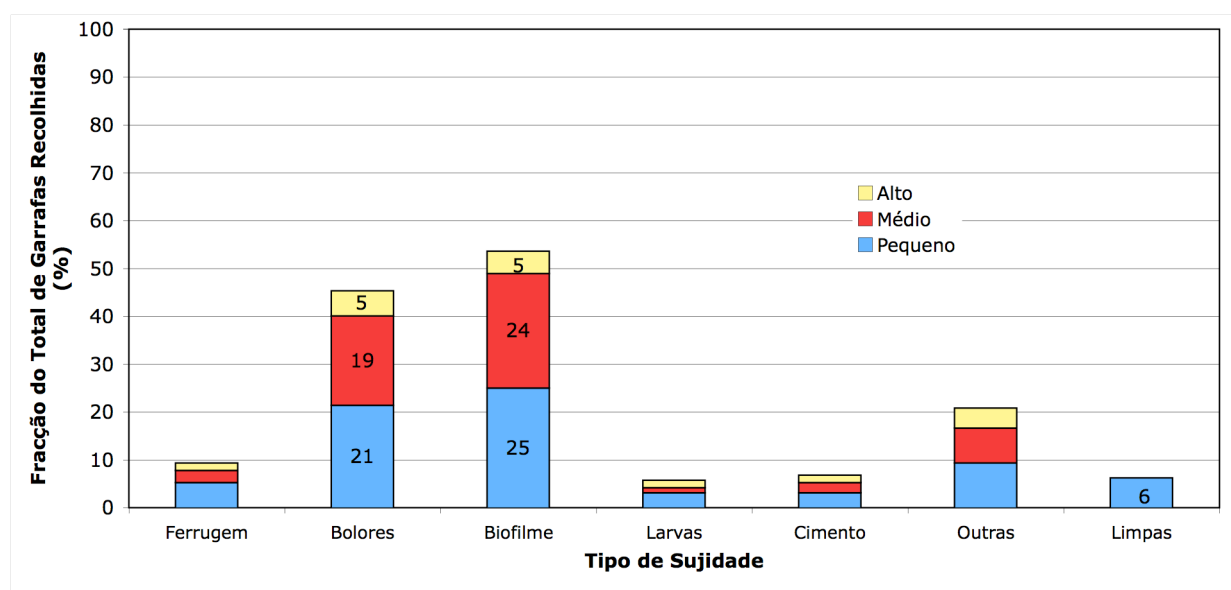


Figura 5-Tipos de sujidade encontrados em garrafas à entrada da lavadora. As fracções são relativas a uma amostra de 192 garrafas, de 1 dia de enchimento.

Nesta amostragem, as sujidades mais comuns foram os Bolores (45 %) e os Biofilmes (54 %). Isto era expectável à partida, dada a existência de resíduos de cerveja nas garrafas, que criam um ambiente propício ao desenvolvimento de microorganismos. Deve-se ter em conta que os valores apresentados referem-se a Bolores e Biofilmes visíveis, sendo que é provável

que se desenvolvam colónias de microorganismos em todas as garrafas. Os Bolores localizam-se quase exclusivamente no fundo interior da garrafa, onde ficam depositados a maioria dos resíduos de cerveja. Os Biofilmes, embora cresçam mais facilmente no fundo da garrafa, também crescem na parede interior da garrafa, e, por vezes, na exterior.

Foram agregadas na categoria “Outras”, uma das mais comuns, muitas sujidades cuja natureza não foi possível identificar por inspecção visual.

Os outros três tipos de sujidade são menos frequentes. A ferrugem (9 %) localiza-se essencialmente no gargalo, devido à cápsula metálica. As larvas de insecto (6 %) desenvolvem-se maioritariamente em garrafas contendo uma grande quantidade de líquido no interior. O cimento (6.8 %) existe quase sempre no exterior da garrafa, na base ou lateralmente, sob a forma de gotas isoladas, em camada contínua ou em pó.

Estes resultados correspondem a uma amostragem isolada, de oito grades de 24 garrafas cada, que tinha como objectivo principal identificar o tipo de sujidades que aparecem no vasilhame. Para uma análise quantitativa, este estudo deveria ter sido prosseguido por um período alargado.

A identificação foi feita, verificando-se que o vasilhame de entrada tem uma grande frequência de sujidades de natureza biológica, essencialmente no interior da garrafa. Sujidades de ferrugem e cimento encontram-se com menor frequência, localizando-se principalmente no exterior da garrafa.

3.3.2 Rejeitadas

A análise das garrafas rejeitadas foi feita durante seis semanas, tendo sido recolhidas três grades, num dia de cada semana. Para cada garrafa, foram registados a intensidade e localização de cada tipo de sujidade presente. Foram definidos três níveis de sujidade, tal como para as garrafas de entrada, e quatro localizações da sujidade na garrafas: a parede interior lateral, a base interior, o exterior da garrafa (do gargalo à base) e o exterior do gargalo. Estes quatro locais distintos foram escolhidos de acordo com a distribuição aparente de sujidade observada nas garrafas à entrada. Ao contrário do que aconteceu com as garrafas de entrada, o mesmo tipo de sujidade pôde ser contado mais do que uma vez por garrafa, se estiver presente em mais do que um local ao mesmo tempo. A Figura 6 mostra a frequência das sujidades e defeitos presentes nas garrafas recolhidas, ao longo do período de estudo.

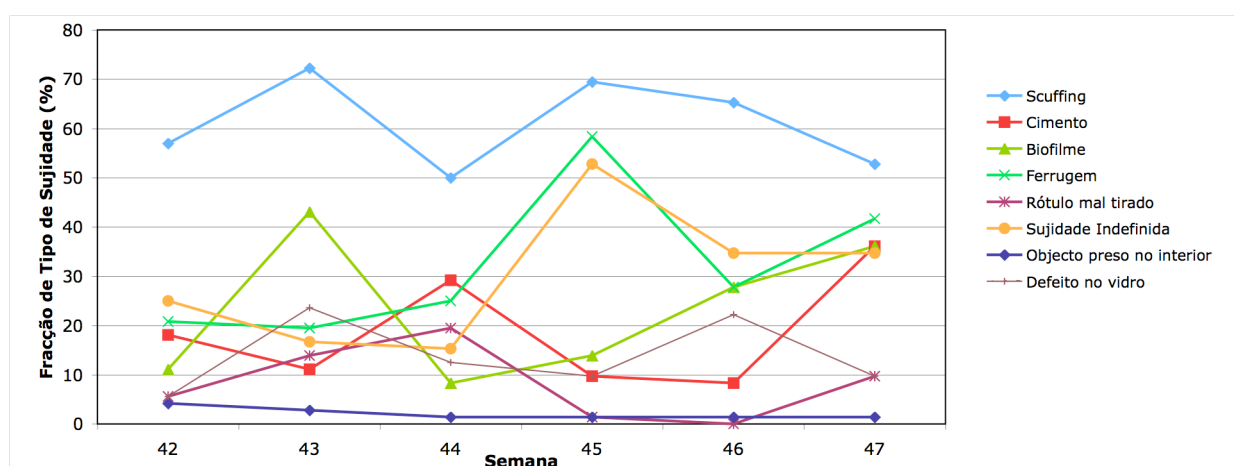


Figura 6 - Frequências de tipos de defeitos em garrafas rejeitadas, para as seis semanas correspondentes aos dias de recolha de amostras. Nota: As garrafas podem ter mais do que um defeito.

As duas últimas semanas de recolha coincidiram com os ensaios de um aditivo de lavagem (Stabicip EA, da EcoLab-Henkel) diferente do habitualmente utilizado (P3-Stabilon SCP, também da EcoLab-Henkel). As temperaturas e concentrações de soda nos banhos de lavagem também foram alteradas durante estes ensaios, pelo que os dados destas duas semanas não podem ser comparados directamente com as quatro primeiras, a que correspondem condições de operação padrão. Na Figura 7, são mostradas as médias, para os diferentes níveis de intensidade, das diferentes sujidades e defeitos. O desvio-padrão mostrado refere-se aos totais de cada tipo de sujidade/defeito (soma dos valores dos

diferentes níveis). A Tabela 2 mostra as médias dos totais e os desvios-padrão absoluto e relativo correspondentes.

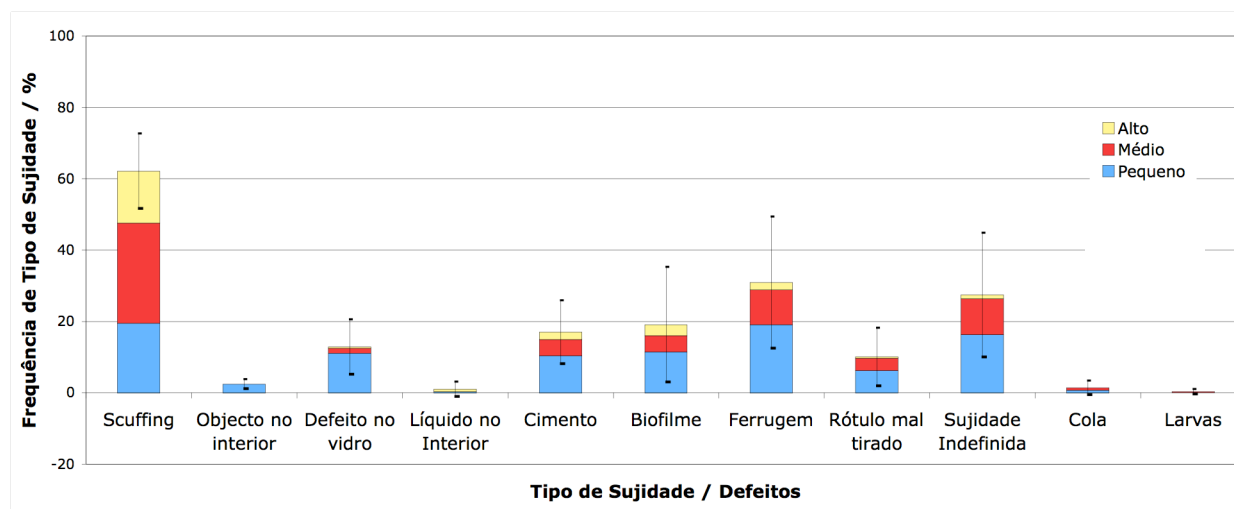


Figura 7 - Médias dos diferentes níveis de sujidade, para as semanas 42, 43, 44 e 45, da frequência de cada tipo de sujidade e defeito. Os desvios-padrão correspondem à média do total (soma dos vários níveis de sujidade).

Caracterização dos Defeitos

O defeito que se destaca claramente dos outros é o Scuffing (62 %). É também o defeito com o menor desvio-padrão relativo, o que mostra uma grande constância nas amostras recolhidas. Sendo o Scuffing da garrafa uma medida da idade (número de utilizações) da garrafa, mesmo tendo em conta o efeito normalizador da reciclagem de garrafas rejeitadas para a lavadora, o baixo desvio-padrão relativo e a elevada fracção de garrafas com Scuffing apontam para uma grande uniformidade na distribuição da idade das garrafas. Este é o tipo de sujidade/defeito cujo resultado é mais facilmente extrapolável.

O Defeito no Vidro, vidro lascado, rachado ou partido, também é bastante comum, mas tem um desvio-padrão relativo bastante maior do que o Scuffing. Isto indica uma grande variação com a qualidade do vasilhame de entrada. É importante notar que, durante todo o período em que decorreu o estágio, as garrafas rejeitadas por defeito na marisa de um dos IdV não foram eliminadas do sistema, como seria normal (ver Figura 2), sendo antes reenviadas para a lavadora juntamente com as outras rejeitadas. Estas garrafas contribuíram para os 13 % de garrafas com Defeito no Vidro. Quando aquelas garrafas voltarem a ser eliminadas do sistema, a fracção de garrafas com este tipo de defeito provavelmente será significativamente menor.

Caracterização das Sujidades

A ferrugem, com uma frequência média de 31 %, é a sujidade mais comum, situando-se quase sempre no gargalo da garrafa, na parte lateral, onde a cápsula fecha. O elevado desvio-padrão relativo da frequência de ferrugem poderia sugerir uma grande variação desta entre lotes diferentes, mas é preciso cuidado com esta avaliação. A avaliação de uma garrafa pode variar significativamente entre dias diferentes, quer por variações de sensibilidade do avaliador, quer por factores externos, como as condições de luminosidade, dependentes das condições meteorológicas e local da inspecção. No caso específico da ferrugem, a capacidade de detecção das garrafas com quantidades muito pequenas (quase residuais) de ferrugem é extremamente variável, o que pode explicar este D.P. maior.

Uma análise semelhante é válida para o Biofilme, em que a detecção de películas de largura e espessura extremamente finas é, também, muito difícil e, portanto, variável. Neste caso, o desvio-padrão relativo é ainda maior (85 %).

Para as outras sujidades e defeitos, a variabilidade da avaliação de cada tipo de sujidade é muito menor, dado que a sua detecção é mais fácil. Assim, o desvio-padrão relativo da frequência de cada uma destas sujidades ou defeito pode ser entendida como uma medida da sua variabilidade no sistema.

A sujidade “rótulo mal tirado” é aquela que apresenta maior variabilidade. A dificuldade de remoção dos rótulos é maior quando o rótulo apodrece. Assim, lotes de garrafas que ficaram muito tempo fora da Unicer serão especialmente difíceis de lavar.

Tabela 2 - Média, desvio-padrão e desvio-padrão relativo, para as semanas 42, 43, 44 e 45, da frequência de cada tipo de sujidade.

	Não Sujidades				Sujidades						
	Scuffing	Objecto preso no interior	Defeito no vidro	Líquido no Interior	Cimento	Biofilme	Ferrugem	Rótulo mal tirado	Sujidade Indefinida	Cola	Larvas
Média (%)	62	2,4	13	1,0	17	19	31	10	27	1,4	0,35
D.P. (%)	11	1,3	8	2,1	9	16	18	8	17	2,0	0,69
D. P. Relativo (%)	17	55	60	200	52	85	60	81	64	141	200

Biofilme

Das várias sujidades identificadas, o biofilme é a mais crítica, por pôr em causa a integridade do produto, quando presente no interior da garrafa. A ferrugem situada no gargalo nunca é detectada nos IdV.

Na Figura 8, são mostradas as frequências dos diferentes níveis de sujidade de Biofilme, ao longo do período de estudo. Verifica-se que, normalmente, a frequência de biofilmes é tanto maior quanto menor é o nível de sujidade. O mais comum são biofilmes de intensidade pequena, sendo muito mais variáveis do que os outros dois níveis.

Na semana 43, existe um pico na frequência do biofilme de nível pequeno. A Figura 9 permite perceber porquê. Esta Figura mostra um gráfico com os historiais da razão da fracção de garrafas com biofilmes, consoante a sua localização, sobre fracção de garrafas com scuffing. Na semana 43, existe um pico nas garrafas com biofilme no gargalo. Estas correspondem, em grande parte, a níveis de sujidade pequenos, estando portanto na origem dos dois picos. Uma variação tão grande numa única semana é fortemente anómala, e está certamente relacionada com a incerteza intrínseca ao método de análise. Dado que foi um dos primeiros conjuntos de garrafas a serem analisados, a capacidade analítica do analisador estava ainda em calibração, pelo que é possível que pequenas películas de ferrugem tenham sido confundidas com biofilmes.

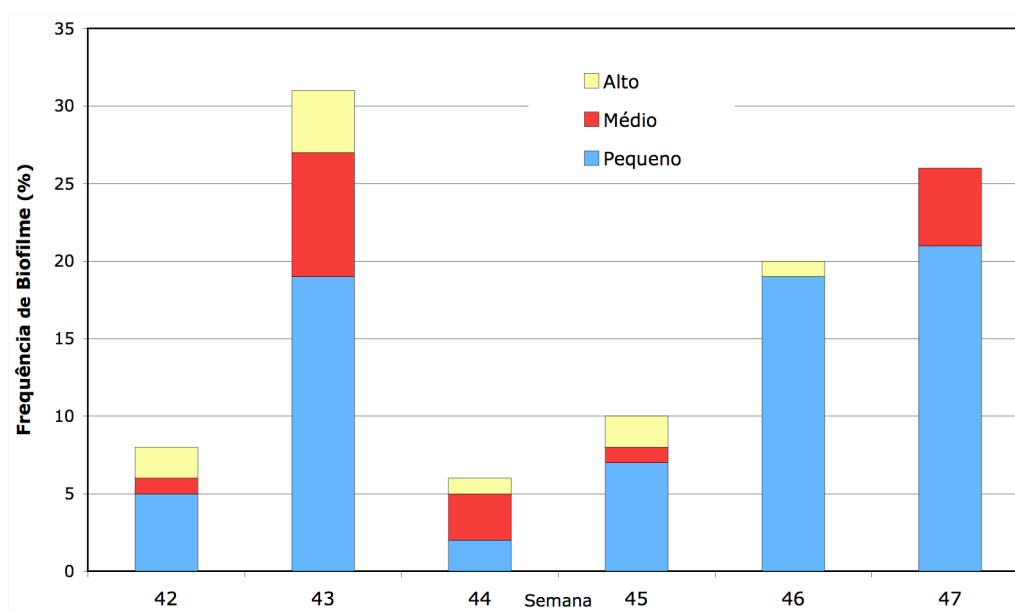


Figura 8- Frequência de garrafas com Biofilme, para graus de sujidade pequeno, médio e alto, para as seis semanas correspondentes aos dias de recolha de amostras.

Relação entre *Scuffing* e Biofilme

A Figura 9 permite fazer uma análise da relação entre a frequência de biofilmes numa determinada amostra e a fracção de garrafas com scuffing. Uma vez que o nível de scuffing funciona como um indicador da idade média das garrafas e da porosidade do vidro, qualquer relação entre as duas variáveis indicaria que a idade das garrafas influencia a formação de biofilmes difíceis de remover nas garrafas. A Figura 9 mostra que, em caso algum, é possível ver uma relação linear entre estas duas variáveis. No entanto, devido ao reduzido número de amostras e à alta variância que os resultados apresentam, esta hipótese não pode ser completamente excluída, bem como a de que a relação não seja linear.

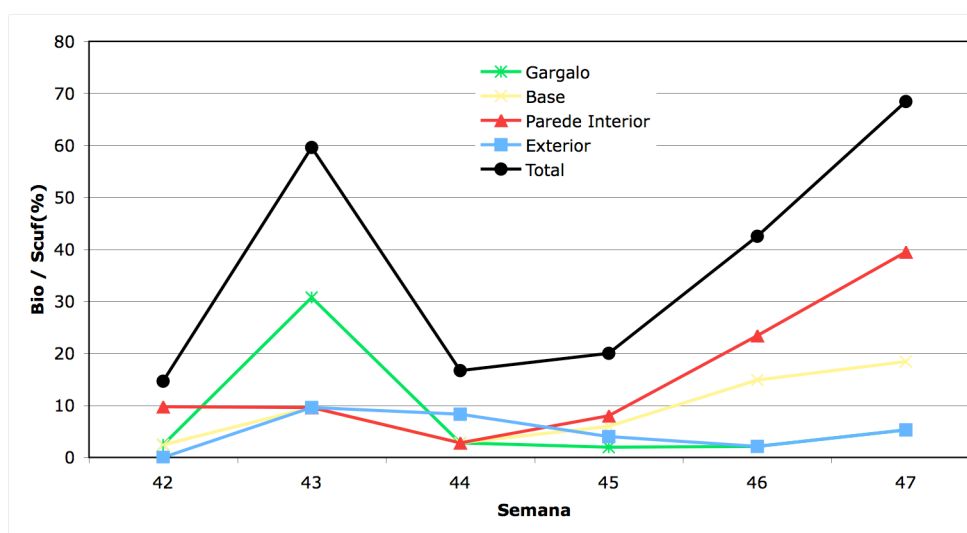


Figura 9- Frequência de Biofilmes com diferentes localizações na garrafa (gráficos de barras) e de Scuffing (linha pontuada), para as seis semanas correspondentes aos dias de recolha de amostras.

3.4 Estimação das Causas de Rejeição

A partir dos dados sobre as sujidades e defeitos presentes em cada garrafa, cujas frequências foram apresentadas anteriormente, é possível fazer uma estimativa da causa de rejeição de cada garrafa. Como muitas garrafas podem ter mais do que uma sujidade ou defeito que, plausivelmente, pode estar na origem da sua rejeição, estabeleceu-se um critério de rejeição, que dá diferentes graus de importância a cada tipo de sujidade ou defeito. Por ordem decrescente, o nível de precedência dado a cada tipo de sujidade/defeito foi: Objecto no Interior, Defeito no Vidro, Líquido no Interior, Má Lavagem e Scuffing. Uma garrafa em que nenhuma destas causas de rejeição fosse detectada, foi classificada na categoria “Outras”.

Dado que a sensibilidade de análise do analisador humano é maior do que de um IdV, nem todas as sujidades foram consideradas como causas plausíveis de rejeição. Estas foram: qualquer nível de ferrugem no gargalo, sujidade geral de nível pequeno no exterior ou no gargalo e todas as outras sujidades de nível pequeno no gargalo. Como o IdV só faz uma análise à zona superior do gargalo, pequenas quantidades da maior parte das sujidades, localizadas principalmente na parte lateral do gargalo, não serão, na maior parte das vezes, causa de rejeição. A ferrugem situa-se sempre lateralmente, pelo que é seguro dizer que nunca é causa de rejeição. Os resultados desta estimativa são apresentados na Figura 10 e na Tabela 3.

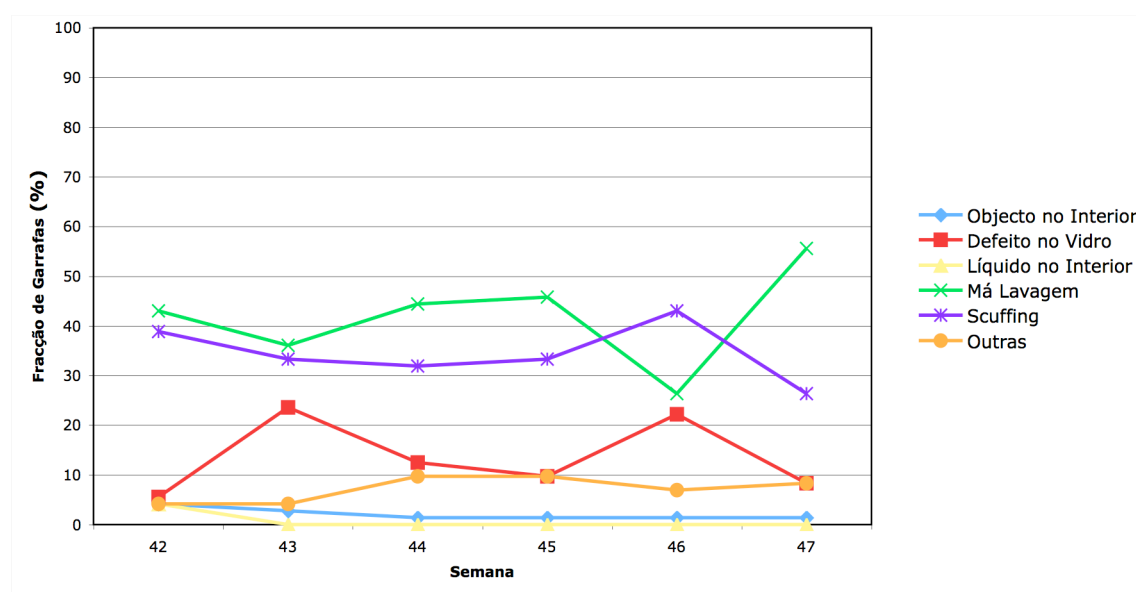


Figura 10 - Causas de Rejeição de garrafas rejeitadas ao longo de algumas semanas de operação.

A Má Lavagem é a principal causa de rejeição (42 %), seguida do Scuffing (34 %) e do Defeito no Vidro (13 %). É de notar que a variabilidade da Má Lavagem e do Scuffing são bastante baixas, tendo desvios-padrão inferiores ao Defeito no Vidro, que é muito menos frequente. As rejeições por haver um Objecto no Interior da garrafa ou Líquido no Interior são residuais.

A alta fracção de garrafas que se estima terem sido rejeitadas por Scuffing é significativamente mais alta do que seria de esperar. As garrafas, quando saem da lavadora, estão molhadas, o que ajuda muito a mascarar o Scuffing. Na linha de enchimento em estudo, se não houver paragens, as garrafas demoram cerca de 3 min a chegar aos IdV, o que, normalmente não é suficiente para as secar. Seria de esperar que somente garrafas fortemente sujas com Scuffing seriam rejeitadas nos IdV. Assim, este valor de rejeição por Scuffing deve ser visto com cuidado, sendo necessários mais dados para o confirmar. Uma boa maneira de o fazer seria comparar as fracções de garrafas com Scuffing nas garrafas aceites.

Tabela 3 - Média, desvio-padrão e desvio-padrão relativo, para as semanas 42, 43, 44 e 45, da causa de rejeição.

	Objecto no Interior	Defeito no Vidro	Líquido no Interior	Má Lavagem	Scuffing	Outras
Média (%)	2,4	12,8	1,0	42,4	34,4	6,9
D. P. (%)	1,3	7,7	2,1	4,3	3,1	3,2
D. P. Relativo (%)	55	60	200	10	9	46

Há uma quantidade significativa (6,9 %) de garrafas em que não foi possível identificar uma causa de rejeição. Algumas das sujidades consideradas não importantes podem ter causado algumas rejeições, contribuindo para este valor de garrafas sem causa de rejeição identificável. Uma parte destas será também, certamente, correspondente a falsas rejeições.

Os resultados de Causa de Rejeição permitem verificar que muitas das garrafas reenviadas para a lavadora não são laváveis. Muitas destas serão, depois rejeitadas, mas muitas continuarão no sistema, ocupando o espaço que poderia ser usado por garrafas laváveis, aumentando os custos de operação. Aliás, uma vez que as garrafas foram recolhidas em condições de operação normal, estes devem ser considerados valores de estado estacionário.

A partir dos resultados anteriores, é possível fazer uma estimativa da fracção de garrafas não laváveis nas que são reenviadas para a lavadora. Foram consideradas não laváveis as garrafas rejeitadas Scuffing de nível alto, defeito no vidro e com cimento na garrafa. A estimativa feita é mostrada nas Figuras 11 e 12. Consideraram-se, das garrafas

rejeitadas por Scuffing, só as de nível alto como não laváveis, devido às dúvidas associadas ao valor da fracção de garrafas rejeitadas por Scuffing.

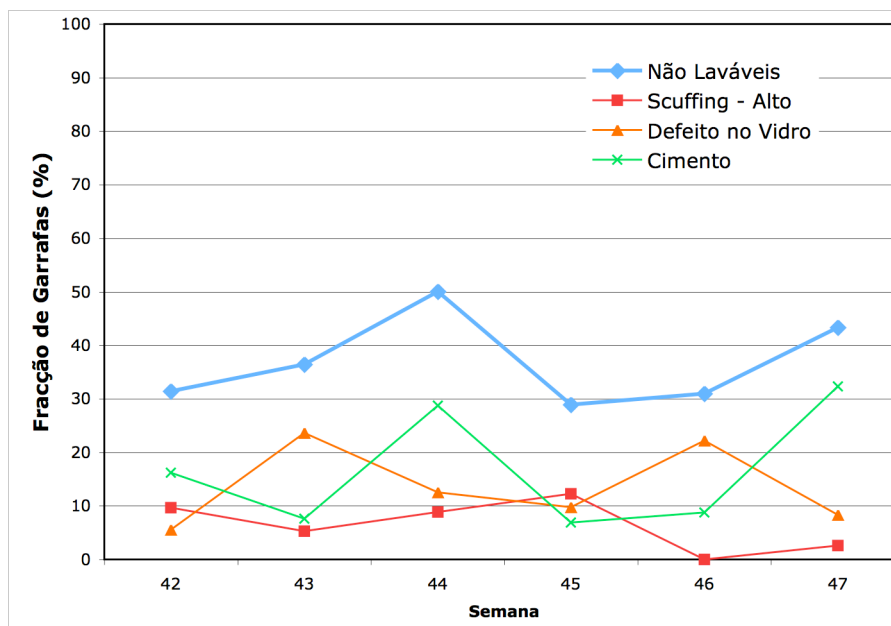


Figura 11 - Estimativa da fracção de garrafas não laváveis e dos diferentes defeitos e sujidades que foram considerados não laváveis, para as seis semanas correspondentes aos dias de recolha de amostras.

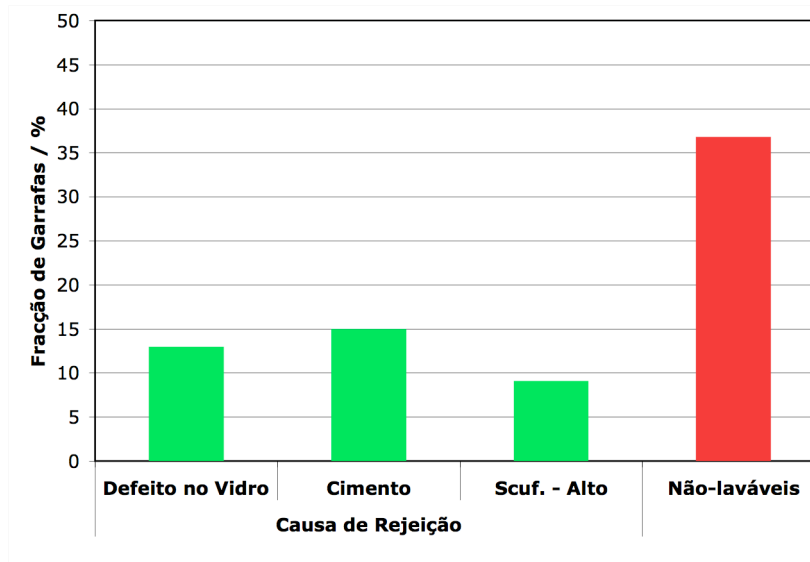


Figura 12 - Estimativa da fracção de garrafas não laváveis e dos diferentes defeitos e sujidades que foram considerados não laváveis, considerando valores das semanas 42, 43, 44 e 45.

Existe uma fracção de cerca de 37 % (considerando apenas as quatro primeiras semanas) de garrafas reenviadas para a lavadora que não são laváveis. Este valor é muito alto, tendo em conta que esta é uma estimativa conservadora.

A partir das fracções de garrafas laváveis e não laváveis, é possível fazer uma avaliação do impacto económico do reenvio de garrafas rejeitadas nos IdV de volta à lavadora.

O custo económico do reenvio de garrafas para a lavadora pode ser medido com o custo de lavagem das garrafas não laváveis de entre aquelas (37 % do total, como mostrado na Figura 12). O custo extra que implicaria não reenviar para a lavadora as garrafas rejeitadas pode ser identificado com o custo de eliminação das garrafas laváveis (63 % do total).

Para determinar estes valores, foi necessário estimar a fracção de garrafas laváveis e não laváveis que são removidas pelo operador, pois só as outras são lavadas e contam para os cálculos desejados. Foi considerado que 80 % das garrafas não laváveis e 30 % das laváveis são rejeitadas pelos operadores. Estas estimativas são baseadas na observação do trabalho dos operadores, não tendo sido feita qualquer confirmação destes valor. Eles são também muito variáveis entre vários operadores.

Sabe-se que cerca de 4 % do total de garrafas lavadas que são reenviadas para a lavadora, pelo que se pode calcular as fracções do total de garrafas introduzidas na lavadora que correspondem a garrafas lavadas mais do que uma vez, laváveis e não laváveis.

$$\text{Fracção de laváveis} = 63\% \cdot 4\% \cdot 30\% = 0,76\% \quad (1)$$

$$\text{Fracção de não laváveis} = 37\% \cdot 4\% \cdot 80\% = 1,17\% \quad (2)$$

A partir destes valores, e sabendo os custos de lavagem (0,26 c/grf) e de compra (7,7 c/grf) de uma garrafa, é possível saber os custos de eliminação das garrafas laváveis e lavagem das garrafas não laváveis.

$$\text{Custo de eliminação} = 0,76\% \cdot 60 \cdot 10^3 \text{ grf} / \text{h} \cdot 0,077 \text{ €/grf} \cdot 24 \text{ h} / \text{dia} = 842 \text{ €/dia} \quad (3)$$

$$\text{Custo de lavagem} = 1,17\% \cdot 57 \cdot 10^3 \text{ grf} / \text{h} \cdot 0,0026 \text{ €/grf} \cdot 24 \text{ h} / \text{dia} = 42 \text{ €/dia} \quad (4)$$

Verifica-se que o custo de lavagem de garrafas não laváveis é inferior em mais de uma ordem de grandeza ao de eliminação de garrafas laváveis. O sistema é, portanto, muito vantajoso do ponto de vista económico.

3.5 Eficiência de Inspeção nos IdV

Como já foi referido, os IdV não são perfeitos, e é possível que sejam aceites garrafas sujas ou com defeitos, seguindo para enchimento. Isto compromete a integridade do produto e prejudicar gravemente a sua imagem. A sujidade com maior potencial para prejudicar a imagem do produto é o biofilme de intensidade média ou alta, localizado no interior da garrafa. De forma a quantificar o risco de uma garrafa com esta sujidade ser aceite, foi feito um teste à eficiência de inspeção destas garrafas nos IdV.

Foram seleccionadas 10 garrafas sujas com biofilme de intensidade média e 10 com biofilme de intensidade alta. As garrafas de cada grupo foram passadas pelos dois IdV da linha 10 vezes, tendo sido registado o número de garrafas aceites e rejeitadas de cada vez. Os resultados globais, sob a forma de fracção de garrafas rejeitadas, são apresentados na Figura 13.

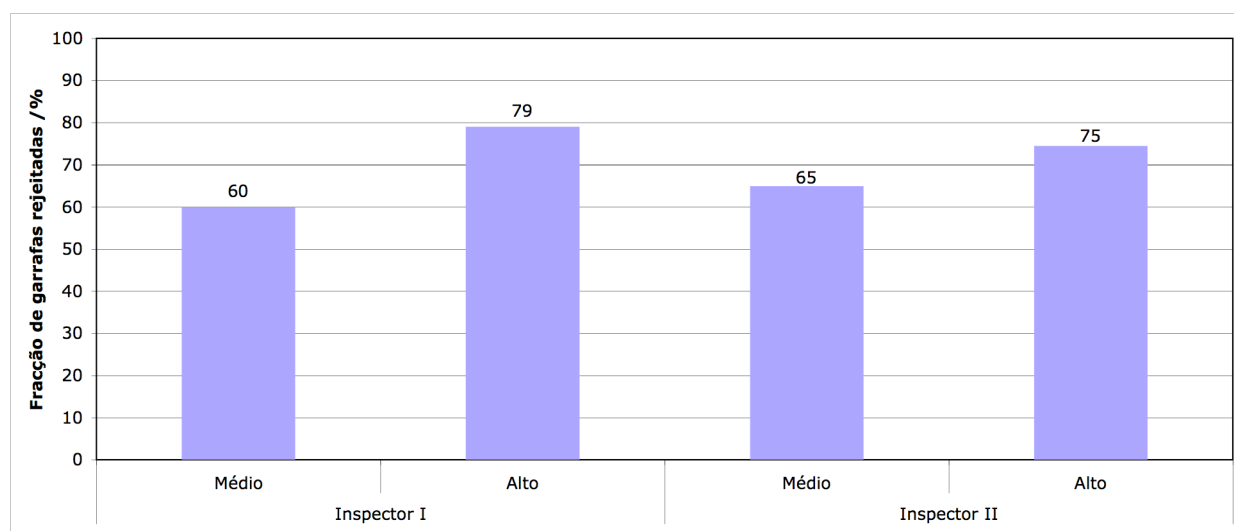


Figura 13: Fracção de garrafas sujas com biofilme interior, de intensidade média e alta, rejeitadas nos IdV I e II.

Não existe uma grande diferença na eficiência de inspeção dos dois IdV, para ambos os níveis de sujidade. A Fracção de Garrafas Rejeitadas média dos dois IdV é de 62,5% para nível de sujidade médio e de 77% para nível de sujidade alto. Estes valores são bastante baixos em relação ao que seria desejável. Eles significam que cerca de 30% das garrafas sujas com biofilme claramente visível que passam pelos IdV da linha são aceites e seguem para enchimento.

A análise de garrafas rejeitadas, cujos resultados são mostrados no Capítulo 3.3, mostrou que, nas garrafas rejeitadas, há 4,5 % de garrafas com biofilme de intensidade média e 3,1 % de intensidade alta. Tendo em conta os dados mostrados na Figura 13 e considerando que cerca de 4 % das garrafas que passam pelo IdV são reenviadas para a lavadora, é possível calcular a fracção de garrafas com biofilme de intensidade média e alta nas garrafas aceites que seguem para enchimento.

$$\text{Fracção de garrafas aceites com biofilme médio} = \frac{4\% \cdot 4,5\%}{62,5\%} \cdot (100\% - 62,5\%) = 0,180\% \quad (5)$$

$$\text{Fracção de garrafas aceites com biofilme alto} = \frac{4\% \cdot 3,1\%}{77\%} \cdot (100\% - 77\%) = 0,038\% \quad (6)$$

Estas fracções são muito altas, e não estão de acordo com outros dados recolhidos anteriormente na Unicer. Assim, devem ser encarados com alguma reserva, sendo necessário confirmá-los com mais dados de outros ensaios.

3.6 Ensaios para a determinação da influência de diferentes variáveis operatórias

Com base nos dados dos pontos anteriores, foi feito um plano de ensaios que envolve a alteração das condições de ataque químico na lavagem, tendo sido avaliado o resultado utilizando os três tipos principais de sujidade: biofilme no interior da garrafa, ferrugem no gargalo e cimento no exterior.

3.6.1 Ensaios com Stabicip EA

Durante o estágio, surgiu a oportunidade de fazer o acompanhamento dos ensaios industriais de teste do aditivo de lavagem Stabicip EA, realizados a pedido da empresa EcoLab-Henkel. Foi um teste de capacidade de remoção de cimento, biofilme e ferrugem, com um desenho Factorial Completo, a três factores e três níveis (27 pontos experimentais). Os factores testados foram a temperatura, concentração de soda e concentração de aditivo dos banhos de lavagem. Os três níveis utilizados para os diferentes factores são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis dos vários factores, dos ensaios de Stabicip EA.

Nível	Temperatura (°C)				Fracção de Soda (%) - Banhos 1 e 2	Fracção de Aditivo (%) - Banhos 1 e 2
	B1	B2	B3	B4		
-1	70	75	75	65	2,0	0,5
0	70	80	80	70	2,5	1,0
+1	70	85	85	70	3,0	1,5

Utilizaram-se 12 garrafas sujas com biofilme, 12 com ferrugem e 6 com cimento, em todos os ensaios. As garrafas sujas com biofilme e ferrugem foram divididas em três níveis de intensidade de sujidade e as de cimento em dois. As garrafas de cada nível e tipo de sujidade estavam identificadas com um elástico colocado perto do gargalo (uma “zona cega” do IdV). Para cada ensaio, depois de definidos os parâmetros operatórios desejados, as garrafas foram introduzidas na lavadora, sendo posteriormente recolhidas à saída. As garrafas foram reanalisadas para se determinar o nível de sujidade depois de lavadas. Considerando três

níveis de sujidade à entrada (biofilme e ferrugem), uma garrafa lavada pode ter um nível de sujidade de 0, 1, 2 ou 3. O nível 0 corresponde a uma garrafa lavada. Para dois níveis (cimento), eles podem ser 0, 1 e 2.

A capacidade de remoção da lavadora em cada ensaio foi avaliada através da variável “Eficiência de Lavagem”, que serve como medida da quantidade de sujidade retirada de cada garrafa. Esta variável foi definida como:

$$\text{Eficiência de Lavagem (\%)} = \frac{\text{Nível de sujidade inicial} - \text{Nível de sujidade final}}{\text{Nível de sujidade inicial}} \times 100 \quad (7)$$

Uma Eficiência de Lavagem de 100 % significa que foi removida toda a sujidade da garrafa, enquanto 0 % significa que nenhuma sujidade foi removida. Para cada ensaio, a média da Eficiência de Lavagem de todas as garrafas de um determinado tipo de sujidade foi tomada como a Eficiência de Lavagem desse tipo de sujidade.

Os resultados, em Eficiência de Lavagem Média, são mostrados nas Figuras 14, 15 e 16, para concentração de aditivo, temperatura e concentração de soda, respectivamente. Os resultados dos ensaios não mostram claramente uma influência das variáveis concentração de soda e temperatura. Só foi possível verificar um efeito da variável concentração de aditivo. Os mesmos resultados são mostrados em Anexo, sob a forma de tabela.

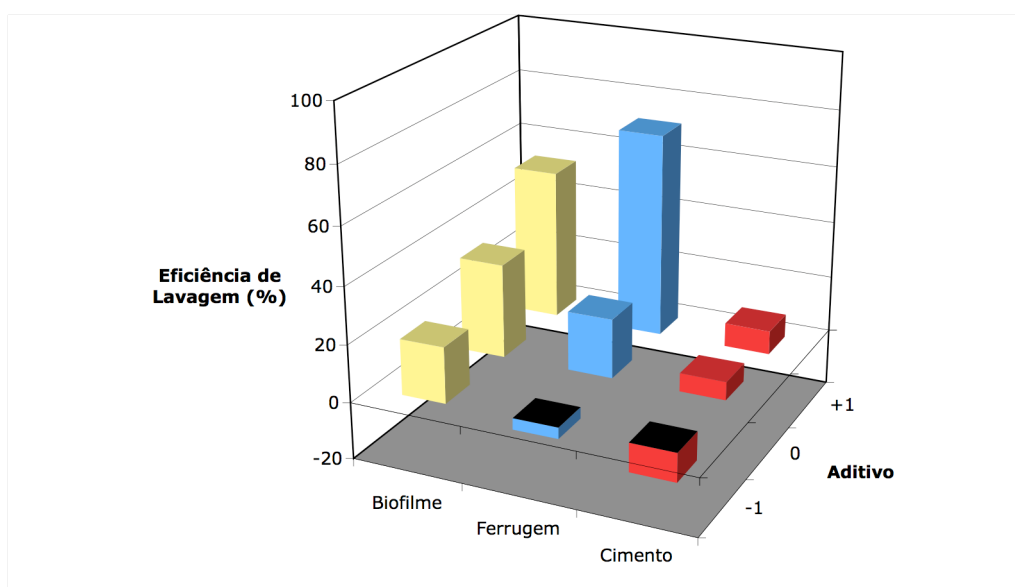


Figura 14 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem Stabicip EA, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da quantidade de aditivo adicionado aos tanques de lavagem.

No caso do aditivo, a influência na Eficiência de Lavagem de biofilme e ferrugem é muito clara, sendo consistentemente maior para maiores fracções de aditivo nos banhos de lavagem. Para além disto, os valores absolutos de Eficiência de Lavagem são muito altos, chegando aos 72 % para o caso da ferrugem e aos 53 % para o caso do biofilme. Tendo em conta que, para os valores mais baixos de aditivo adicionado, a Eficiência de Lavagem da ferrugem é, na prática, nula, o aumento é enorme. Este deve-se, provavelmente, ao EDTA contido no aditivo de lavagem, que ajuda à sua solubilização. No caso do biofilme, o aumento não é tão significativo (20 % para 53 %, correspondendo a um aumento de 115 %), e deve-se essencialmente à presença de tensoactivos, e, provavelmente, não do EDTA. Para o cimento, verificam-se muito poucas diferenças para diferentes fracções de Aditivo adicionado.

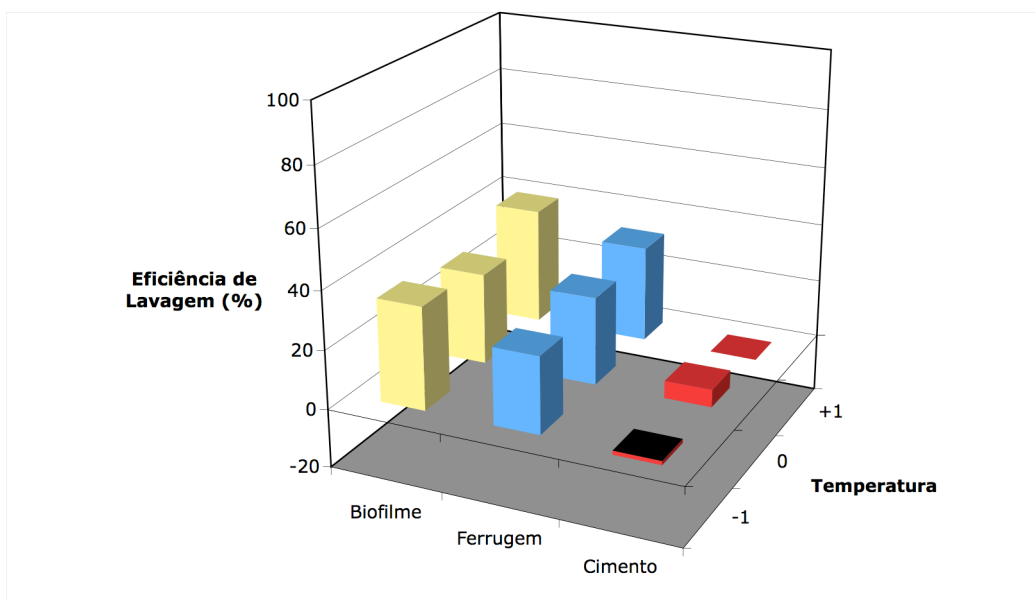


Figura 15 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem Stabicip EA, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da temperatura dos tanques de lavagem.

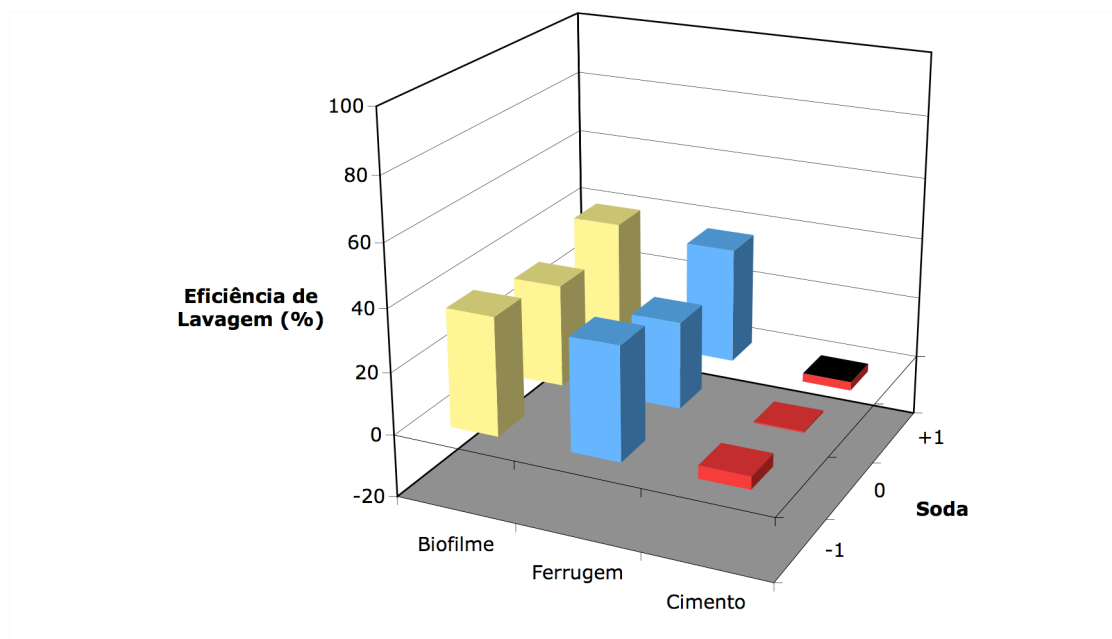


Figura 16 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem Stabicip EA, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da quantidade de soda cáustica nos tanques lavagem.

3.6.2 Ensaio com Complex VB13

Foram realizadas experiências para testar a influência dos mesmos três factores, mas utilizando um aditivo diferente, o Complex VB13, da Johnson-Diversey.

Estes ensaios apresentam três grupos de resultados distintos. Para além dos ensaios de entrada controlada, também feitos nos ensaios com Stabicip EA, foram recolhidos os dados dos IdV durante o período em que decorreram os ensaios e tiradas amostras de garrafas rejeitadas nos IdV no fim de cada ensaio. Para que estes resultados dependessem o mais possível das condições experimentais do ensaio e não das que o antecederam, o tempo de duração destes foi de 5 h. Novamente, foram testados três níveis para cada factor testado. Estes são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis dos vários factores, dos ensaios de Stabicip EA.

	Temperatura (°C) - Banhos 2 e 3	Soda (%) - Banhos 1 e 2	Aditivo (%) - Banhos 1 e 2
-1	73	2,0	0,2
0	78	2,5	0,4
+1	83	3,0	0,6

Efeito dos parâmetros testados na Eficiência de Lavagem

Os resultados, em Eficiência de Lavagem Média, são mostrados nas Figuras 17, 18 e 19, para Temperatura, Concentração de Soda e Concentração de Aditivo, respectivamente. São mostrados resultados para o biofilme e a ferrugem. Tal como para os ensaios com o Stabicip EA, não foi possível verificar qualquer influência dos factores Fracção de Soda e Temperatura. A dependência com a quantidade de aditivo de lavagem adicionada foi semelhante à dos ensaios com o Stabicip EA, o que seria de esperar, já que a composição dos dois aditivos é semelhante.

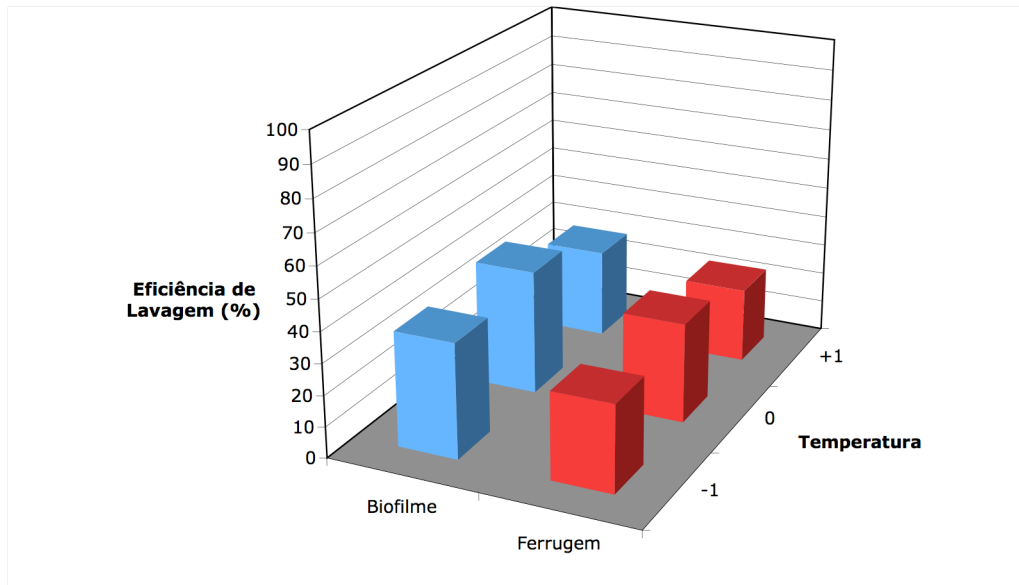


Figura 17 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem do Complex VB13, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da temperatura dos tanques de lavagem.

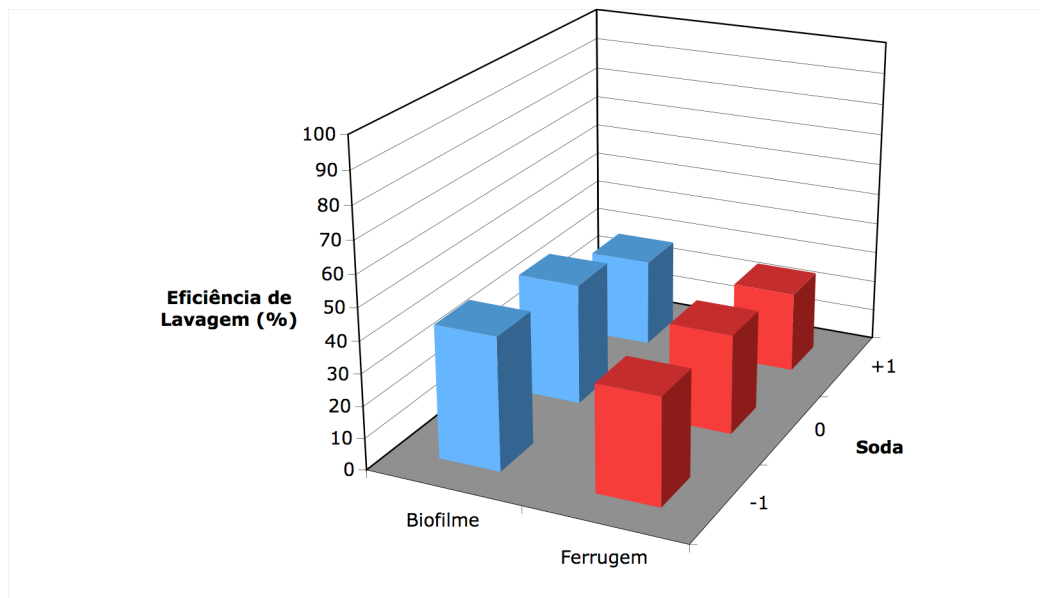


Figura 18 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem do Complex VB13, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da fracção de soda nos tanques de lavagem.

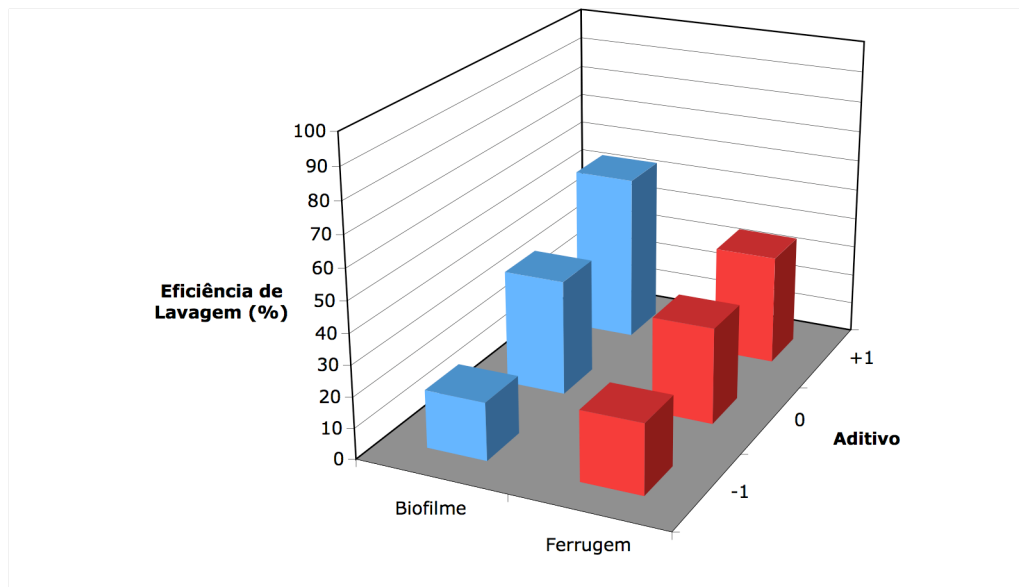


Figura 19 - Resultados dos ensaios de teste do aditivo de lavagem do Complex VB13, representando a Eficiência de Lavagem para cada tipo de Sujidade, em função da fracción de aditivo adicionado aos tanques de lavagem.

As eficiências de lavagem do Complex VB13 são um pouco inferiores às do Stabicip EA. No entanto, dado terem sido utilizadas quantidades de aditivo significativamente menores, o Complex VB13 parece ser ligeiramente mais eficaz na remoção, quer de biofilme, quer de ferrugem. A escolha de qualquer um dos aditivos tem de ter também em conta os seus custos, que são desconhecidos, de momento.

Efeito dos parâmetros testados nas taxas de rejeição dos IdV

Os resultados das Taxas de Rejeição dos IdV, no período em que duraram os ensaios, são apresentados nas Figuras 20 e 21, para a Taxa de Rejeição por Parede Lateral e Taxa de Rejeição Global, respectivamente.

Ao contrário do que acontece com os resultados de Eficiência de Lavagem, as duas Taxas de Rejeição apresentam uma tendência com a variação de Temperatura e Fracção de Soda. Aumentando a Fracção de Soda vê-se uma diminuição das Taxas de Rejeição, e, para a temperatura, verifica-se a existência de um óptimo para o valor intermédio.

Para o aditivo, a variação das Taxas de Rejeição não é constante, mas existe uma certa tendência de diminuição com o aumento da sua concentração.

Esta diferença de resultados é difícil de explicar, mas pode dever-se à especificidade dos testes de Eficiência de Lavagem, que apenas se referem a um único tipo de sujidade.

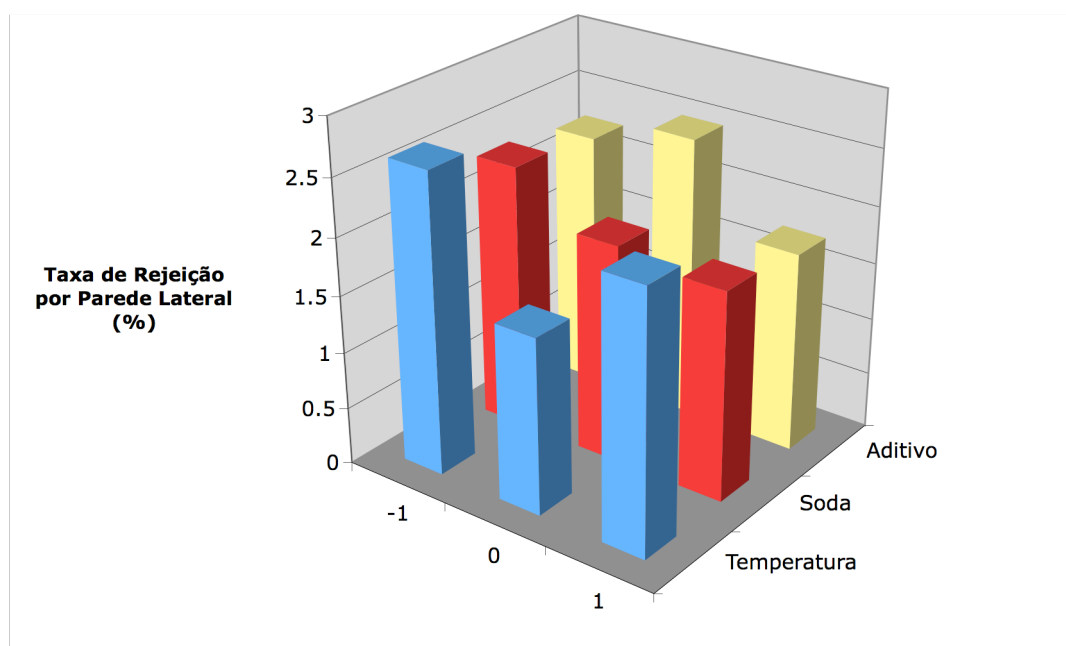


Figura 20 - Taxa de Rejeição por Parede Lateral média para cada nível de cada factor. Menor é melhor.

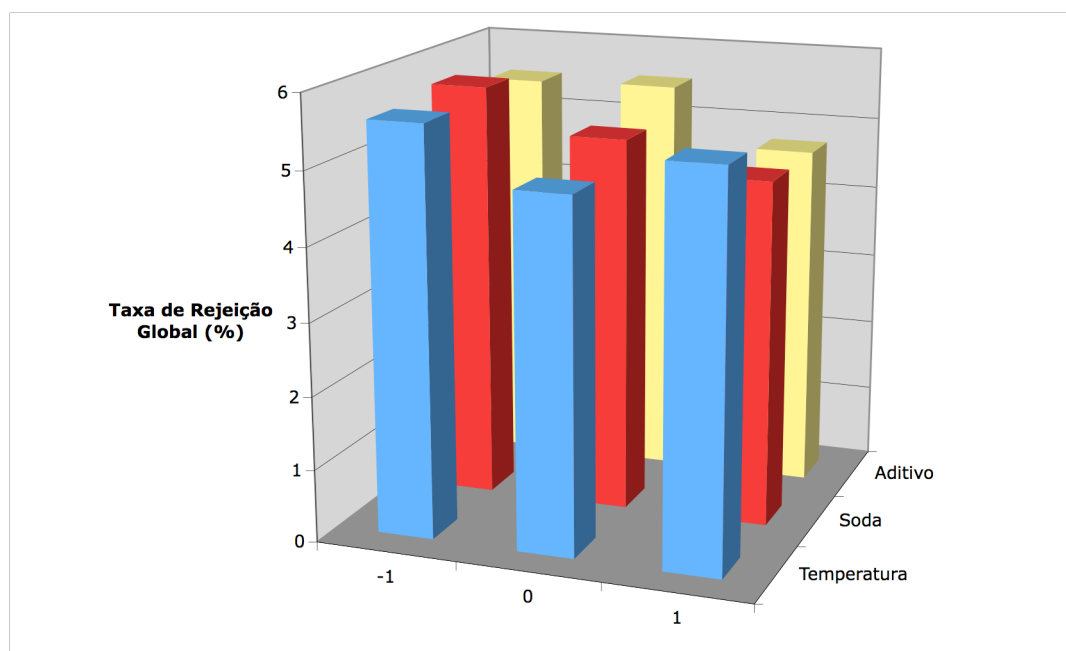


Figura 21 - Taxa de Rejeição Global média para cada nível de cada factor. Menor é melhor.

Os valores das várias Taxas de Rejeição registadas pelos IdV, num período de operação de acordo com as condições padrão, são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores registados das Taxas de Rejeição dos dois inspectores de vazio, no período entre o princípio de Setembro e o fim de Novembro de 2007.

	IdV 1				IdV 2			
	Total	Marisa	Fundo	Parede	Total	Marisa	Fundo	Parede
Média (%)	4,7	1,0	0,49	3,3	5,3	1,4	0,61	2,8
D.P. (%)	1,3	0,6	0,47	1,3	1,8	0,7	0,53	1,1
D.P. Relativo (%)	27	63	96	38	33	47	87	41

Verifica-se que a utilização do Complex VB13 não trouxe uma melhoria significativa na Taxa de Rejeição Global, mas houve uma melhoria clara nas Taxa de Rejeição por Parede Lateral. Todos os valores mostrados na Figura 20 se situam abaixo de 3 %, a média de operação normal mostrada na Tabela 6. Dado que a principal sujidade que pode surgir nesta zona é o biofilme, estes dados indicam claramente para uma melhor eficiência de remoção de biofilme utilizando o Complex VB13 do que o Stabilon SCP, actualmente em uso.

Efeito dos parâmetros testados na frequência de sujidades e defeitos nas garrafas rejeitadas nos IdV

No fim de cada ensaio, foram recolhidas garrafas (três grades) rejeitadas nos IdV, que foram caracterizadas em relação à sua frequência e tipo de sujidades e defeitos. Para cada ensaio, foi possível obter dados semelhantes aos apresentados na Figura 7, do Capítulo 3.3.2. A frequência de um tipo de sujidade ou defeito de cada ensaio podem ser comparados e agregados como as Eficiências de Lavagem e as Taxas de Rejeição.

Os resultados do efeito dos parâmetros testados nas frequências de biofilme na parede interior e de ferrugem no gargalo são mostrados nas Figuras 22 e 23.

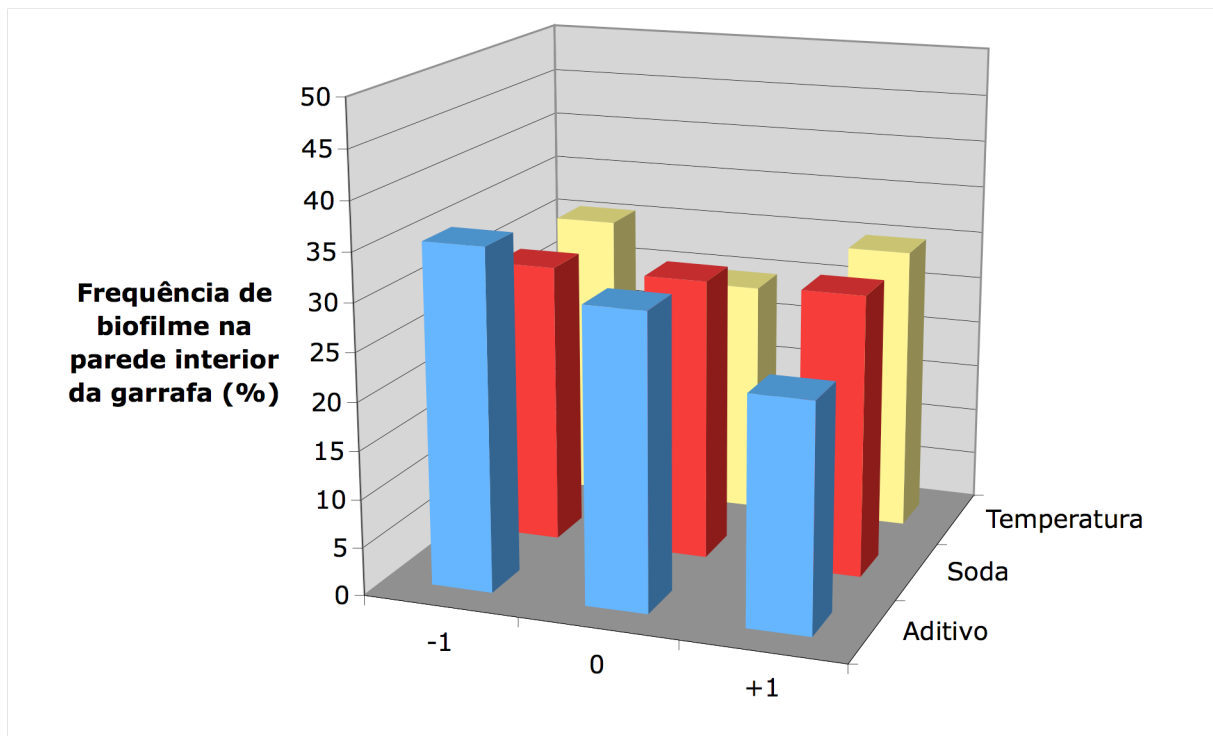


Figura 22 - Frequência de biofilme na parede interior das garrafas rejeitadas nos IdV em função dos diferentes níveis dos três factores testados.

Em ambos os casos, verifica-se claramente que o aumento da concentração de aditivo de lavagem diminui a frequência das duas sujidades nas garrafas rejeitadas. Este é um sinal claro de que estas sujidades são mais bem removidas com uma concentração maior de aditivo, tal como seria de esperar. Estes resultados são coincidentes com os obtidos para os ensaios de Eficiência de Lavagem.

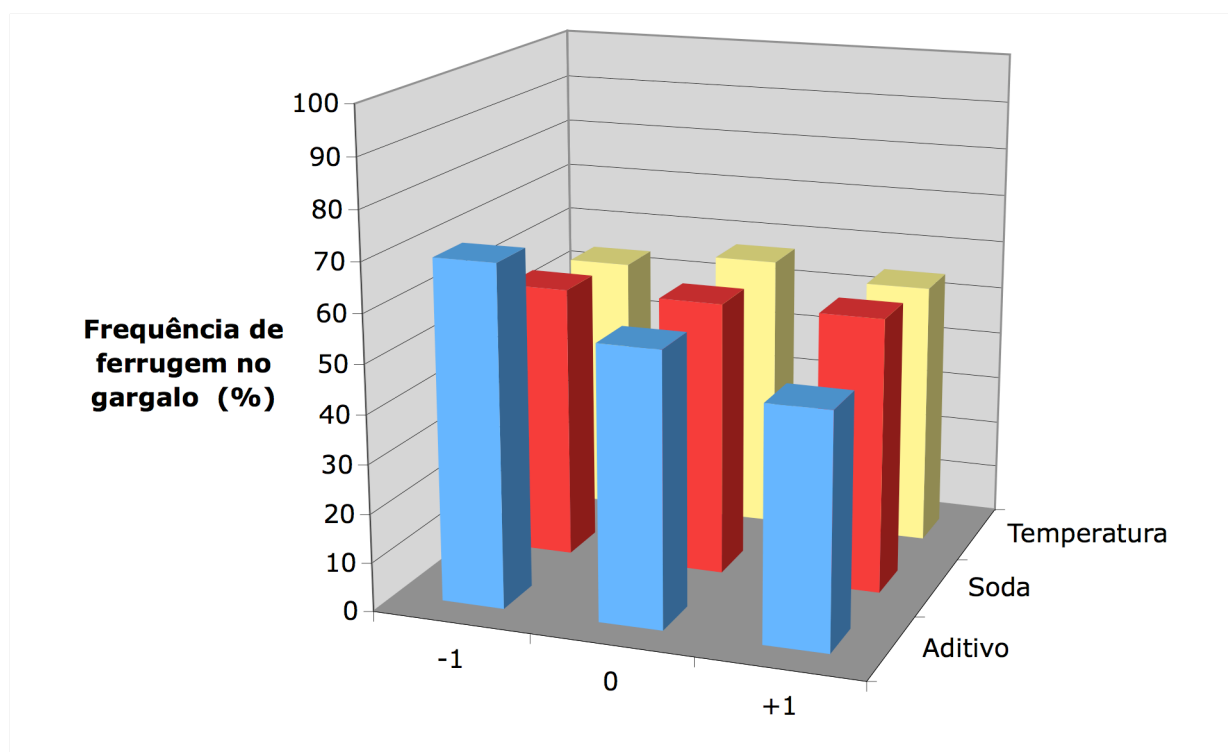


Figura 23 - Frequência de biofilme na parede interior das garrafas rejeitadas nos IdV em função dos diferentes níveis dos três factores testados.

Os resultados destes testes não mostram qualquer efeito da concentração de soda cáustica na frequência dos dois tipos de sujidade considerados. Para o biofilme, seria de esperar um efeito claro da concentração de soda cáustica^[1], uma vez que as reacções de hidrólise ocorrem mais depressa. Os testes de Eficiência de Lavagem também apresentaram resultados semelhantes de dependência com a concentração de soda cáustica. O facto de nestes dois testes não se observar qualquer efeito é difícil de explicar, e pode dever-se simplesmente ao erro associado ao método analítico. Os testes das Taxas de Rejeição dos IdV mostram um efeito positivo do aumento da concentração de soda cáustica, mas este, ao contrário dos outros dois, não é específico de um tipo de sujidade.

Para a temperatura, o valor intermédio foi o que apresentou melhores resultados, para ambas as sujidades. Resultados semelhantes foram obtidos para as Taxas de rejeição dos IdV, em que a melhor temperatura de operação foi a inferior. Os resultados do teste de Eficiência de Lavagem, não permitem tirar qualquer conclusão acerca da influência da temperatura. No entanto, os mesmos testes com Stabicip EA, de biofilme, apontam na mesma direcção, tendo o valor intermédio de temperatura (naquele caso, de 80°C) sido o melhor.

4 Conclusões

Este trabalho permitiu chegar a várias conclusões relativas ao sistema em estudo.

1. Existe uma grande frequência de sujidades de natureza biológica nas garrafas TR devolvidas à UNICER, encontrando-se essencialmente no interior da garrafa. As sujidades de ferrugem e cimento são menos frequentes, encontrando-se essencialmente no exterior da garrafa.
2. Nas garrafas rejeitadas, embora 42,4 % das garrafas sejam rejeitadas por má lavagem, muitas são rejeitadas por outras causas, sendo 37 % delas não laváveis.
3. Neste momento, é economicamente vantajoso fazer a recuperação de garrafas rejeitadas nos IdV, dado que o custo de eliminação de garrafas rejeitadas laváveis é muito superior ao custo de lavagem de garrafas rejeitadas não laváveis.
4. Os aditivos de lavagem têm uma enorme influência na Eficiência de Lavagem de biofilmes e ferrugem dos gargalos. No entanto, o efeito nas Taxas de Rejeição dos IdV é semelhante para a temperatura, concentração de soda cáustica e concentração de aditivo.
5. Para as gamas de valores testadas, o óptimo de lavagem é de 78°C nos banhos 2 e 3 da lavadora, 2,0 % de soda nos banhos 1 e 2 e 0,3 % de aditivo nos banhos 1 e 2.
6. Aparentemente, o poder de lavagem do Complex VB13 é superior ao do Stabicip EA.

7. A utilização de Complex VB13 permite uma remoção mais eficaz do biofilme do que o aditivo actualmente em uso, Stabilon SCP.

8. Foi validada uma nova ferramenta de análise dos Sistemas de Lavagem e Inspeção e Selecção de uma Linha de Enchimento. Mostrou-se que é possível caracterizar o funcionamento destes sistemas com base na análise da frequência de tipo e nível de sujidades e defeitos nas garrafas rejeitadas nos IdV.

9. Foi desenvolvido um inovador procedimento de teste de novos aditivos de lavagem, que pode ser aplicado no futuro, baseado em três testes do efeito do aditivo nos diferentes tipos de sujidade do sistema e em parâmetros globais de *performance*.

5 Avaliação do trabalho realizado

5.1 Objectivos Realizados

Foram alcançados os principais objectivos do trabalho. Foi efectuada uma caracterização das garrafas de entrada e recuperadas de uma Linha de Enchimento, bem como determinada a influência de vários parâmetros operatórios de lavagem na capacidade de remoção de tipos específicos de sujidades e na Taxa de Rejeição dos IdV do sistema.

5.2 Limitações e Trabalho Futuro

O número de análises da frequência de sujidades e defeitos das garrafas rejeitadas é ainda muito pequeno. Será necessário continuar esta análise, de modo a desenvolver um histórico que permita a construção de um indicador da *performance* do sistema.

Seria também interessante que, sempre que são analisadas garrafas retiradas da linha, fossem analisadas simultaneamente garrafas de entrada, rejeitadas e aceites. Isto permitiria que calcular índices de eficiência de lavagem na Lavadora e de inspecção nos IdV, para os diferentes tipos de sujidades e defeitos.

O estudo da influência das diferentes variáveis operatórias precisa de ser aprofundado. De forma a facilitar uma optimização económica dos sistemas, dever-se-iam testar gamas mais alargadas dos parâmetros operatórios em que o óptimo coincide com o máximo da gama de teste e também registar valores de consumo de utilidades durante os ensaios.

5.3 Apreciação final

Este projecto teve um elevado grau de dificuldade e foi altamente inovador. A informação conseguida com ele foi extremamente importante, e abre as portas a novas formas de controlar os processos de lavagem e selecção de garrafas.

Referências

1. Browne, J. e Candy, E., *Excellence in Packaging of Beverages*, Binsted Group Plc, 2001.
2. Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A. e Stevens, R., *Brewing: Science and Practice*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2004.

Anexo 1 Valores de Eficiência de Lavagem para os testes com Stabicip EA.

Tabela 7 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da temperatura dos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Cimento	-1,4	6,0	0
Ferrugem	26,2	29,8	32,7
Biofilme	35,0	31,0	39,7

Tabela 8 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da quantidade de soda cáustica nos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Cimento	4,2	0,5	-2,8
Ferrugem	36,1	27,8	37,3
Biofilme	37,8	32,9	39,8

Tabela 9 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da quantidade de aditivo nos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Cimento	-10,2	6,5	8,3
Ferrugem	-4,0	20,9	71,9
Biofilme	19,6	33,2	52,9

Anexo 2 Valores de Eficiência de Lavagem para os testes com Complex VB13.

Tabela 10 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da temperatura dos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Ferrugem	28,1	32,2	24,2
Biofilme	37,0	40,2	28,7

Tabela 11 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da quantidade de soda cáustica nos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Ferrugem	33,6	31,7	25,8
Biofilme	41,9	38,6	28,2

Tabela 12 - Eficiência de Lavagem, em %, para cada tipo de Sujidade em função da quantidade de aditivo nos tanques de lavagem.

	-1	0	+1
Ferrugem	22,7	31,4	35,8
Biofilme	18,8	37,6	54,6