

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO CONSUMO DE ÁGUA NO ENXÁGUE DE DETERGENTE ALCALINO EM PROTÓTIPO CIP

L.D. SILVA¹, R. A. MALAGONI², R. GEDRAITE^{3*}

^{1,2,3} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

*e-mail: rgedraite@ufu.br

RESUMO – *O conhecimento da dinâmica de enxágue do detergente alcalino empregado em processos de limpeza CIP (clean in place) de laticínios é de fundamental importância para planejar o tempo de parada e reduzir o consumo de água nesta etapa. O objetivo deste trabalho é investigar a dinâmica experimental do enxágue de hidróxido de sódio com diferentes vazões 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 L/min e avaliar se existe diferença estatística significativa dos volumes gastos em cada configuração e estimar o tempo necessário para completar esta etapa. Além disso, propor a melhor alternativa para execução do enxágue em plantas lácteas. Uma análise da variância One way e teste de hipótese foi proposto para avaliar o impacto dos volumes empregados. Os resultados demonstraram que os volumes médios utilizados são estatisticamente diferentes e que a maior vazão aplicada favorece a economia de água, reduz a carga de efluente gerada e ainda reduz o tempo necessário na etapa de enxágue.*

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de leite cru no primeiro trimestre de 2018 totalizou cerca seis bilhões de litros no Brasil. Dessa quantidade, aproximadamente 99,9 do volume são industrializados em 1.917 estabelecimentos inspecionados. Nesse período, o estado de Minas Gerais despontou-se como maior produtor leiteiro (IBGE, 2018).

Em geral, no processamento de alimentos e bebidas, as linhas de produção são limpas diariamente para remover sujidades, manter as taxas de transferência de calor, queda de pressão e para assegurar níveis de higienização seguros do ponto de vista microbiano para segurança alimentar (Li *et al.*, 2005). Nas indústrias de laticínios, o uso da tecnologia *clean in place* (CIP) é constante. Nessa alternativa, a principal vantagem está na higienização dos equipamentos e linhas de tubulações sem o dismantelamento da planta, assim é possível limpar o interior de superfícies de tubos, vasos e acessórios da linha sem desmontá-los (ANDRADE, 2008)

Além disso, O CIP é um método de limpeza automática que reduz a mão de obra e o tempo de limpeza necessário. Dessa forma, a etapa de limpeza é determinante no controle de qualidade dos produtos manufaturado na linha. No entanto, os sistemas CIP exigem quantidades expressivas de água, agentes químicos e energia. Esse material, ao final, produz grandes quantidades de efluentes que ocasiona despesas para tratar e dispensar o resíduo. (Lyndgaard *et al.*, 2014).

O procedimento de limpeza no processo CIP em geral é feito com enxágue inicial com água para remoção de resíduos grosseiros pouco aderidos. Em seguida, ocorre a circulação de detergente alcalino para deslocamento de resíduos orgânicos, lipídios e proteínas, à temperatura de 65 a 80 °C por cerca de 15 minutos. Após a circulação do detergente alcalino, realiza-se o enxágue com água para retirada do detergente. Por fim, circulação de ácido, a 70°C durante 10 minutos para remoção de sais minerais (ANDRADE, 2008).

As águas residuais provenientes da limpeza contem agentes poluentes corrosivos e potencial carga orgânica. A preocupação com meio ambiente, exigências da legislação e busca por economia cria a necessidade de investigar melhores condições operacionais de operação do CIP (Fan *et al.*, 2018). O efluente líquido de laticínios possui pH entre 2 e 12, devido ao uso de detergentes ácidos e alcalinos na limpeza CIP. Valores baixos e altos de pH impactam na atividade microbológica do tratamento de poluentes orgânicos e esgoto realizado pelos microrganismos (BYLUND, 2003).

Torna-se mais atrativo aos usuários do processo CIP estratégias simples para minimizar e otimizar o consumo de água, agentes químicos e tempo de inatividade em detrimento a mudanças significativas e causam custos para serem implementadas, como alteração e compra de novas tecnologias. Dessa forma, reduzir o consumo de água otimizando a vazão de operação e tempo de enxágue torna-se uma solução prática para ambiente industrial lácteo visto que a dinâmica do fluxo pode ser ajustada facilmente via sistema de controle (Yang *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi i) investigar a dinâmica de enxágue do detergente alcalino em um protótipo de sistema CIP para diferentes, ii) avaliar a diferença no consumo de água gasto na etapa de enxágue do detergente alcalino para diferentes vazões por meio análise estatística e iii) estimar o tempo de operação para cada configuração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste trabalho utilizou-se um protótipo de sistema CIP tipicamente presente na indústria de laticínios com tanque de equilíbrio com capacidade de 25L, tubulação ½ polegada, acessórios e válvulas, conforme mostrado na Figura 1. Além disso, o sistema é composto por sensor de vazão do tipo turbina, e um cupom de teste de aço inoxidável 304 que representa o material dos equipamentos e tubulações encontrados no processamento de leite.

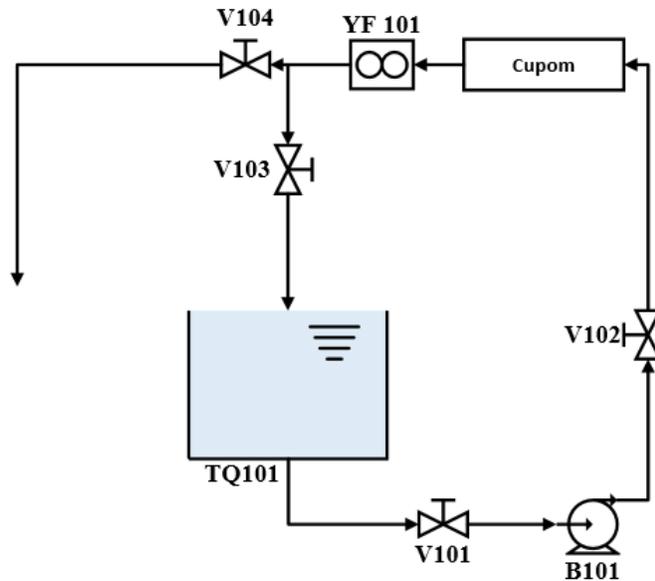


Figura 1 - Esquema do protótipo CIP utilizado

Cerca de 18 L de detergente alcalino (NaOH) com concentração 0,5% m/foram circulados em circuito fechado, válvula V104 fechada, no interior do sistema por aproximadamente 30 minutos para reproduzir o cenário observado na limpeza de plantas lácteas. Terminado este período, esgotou-se a solução de detergente alcalino do interior do sistema, com a abertura da válvula V104, para outro reservatório de armazenamento independente.

Em seguida, realizou-se a alimentação de água potável para preenchimento do tanque TQ101 e assim iniciar a etapa de enxágue da solução de hidróxido de sódio residual. Durante este estágio, o condutímetro eletrônico Gehaka micro processado foi posicionado na saída do sistema, com todas as válvulas abertas, para monitorar a dinâmica de saída do detergente residual.

O processo de enxágue foi mantido até que a condutividade final atingisse o valor da água potável $0,0735 \pm 0,008$ mS/cm com nível de confiabilidade de 95% sem variações significativas em seu valor. Além disso, a remoção do hidróxido de sódio do sistema foi constatada por meio da reação com indicador fenolftaleína para avaliar o tempo necessário de enxágue. Cada tratamento foi realizado em triplicata.

O cenário experimental foi baseado em quatro tratamento diferentes para avaliar o efeito da vazão de enxágue no volume de água gasto, Tabela 1. As vazões propostas foram definidas de forma que todas as condições estudadas promovessem um escoamento turbulento, visto que esta forma de escoamento é mais efetiva na limpeza (ANDRADE, 2008).

Tabela 1 - Configuração dos tratamentos propostos para avaliação

	Vazão [L/min]	Reynolds (Re)
Tratamento A	5,0	9.360
Tratamento B	6,0	11.230
Tratamento C	7,0	13.102
Tratamento D	8,0	14.974

O tratamento estatístico empregado busca verificar se os valores da variável resposta volume, medido nos quatro tratamentos apresentam diferença significativa ao nível de significância de 5%. Para esta finalidade utilizou-se análise da variância (ANOVA) One way. No teste de Hipótese avaliou-se se existe diferença real entre as médias dos tratamentos.

Teste de Hipótese para os tratamentos:

$$H_0: \eta_A = \eta_B = \eta_C = \eta_D$$

$$H_1: \eta_A \neq \eta_B \neq \eta_C \neq \eta_D$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras de 2 a 5 são apresentados os perfis de condutividade referente ao enxágue do detergente alcalino NaOH para os quatro tratamentos propostos. Nota-se que inicialmente ocorre uma expressiva redução na condutividade que se refere a retirada da solução detergente da tubulação.

Em seguida, no extremo da cauda não se observa notória variação analisando o gráfico na escala apresentada, pois ao final do processo a retirada de hidróxido ocorre de maneira mais lenta. Dessa forma, faz-se necessário avaliar a parte final em particularidade. Os instantes finais em uma escala mais acurada para observar a variação presente. Nesse sentido, é possível observar a mudança apresentada pelo sensor quando apresentado na faixa de 0 a 1 mS/cm.

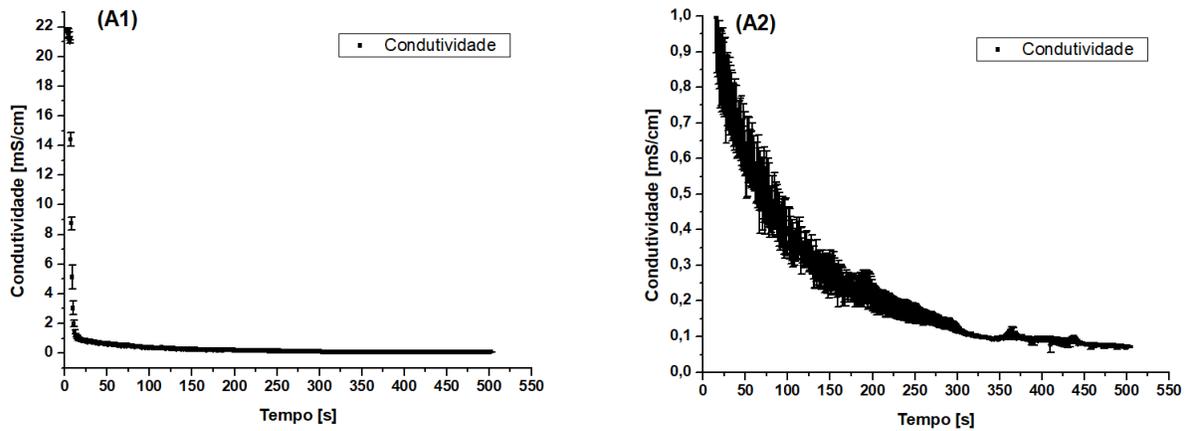


Figura 2 - Dinâmica de enxágue do detergente alcalino para vazão de 5 L/min (A1) Instantes finais (A2).

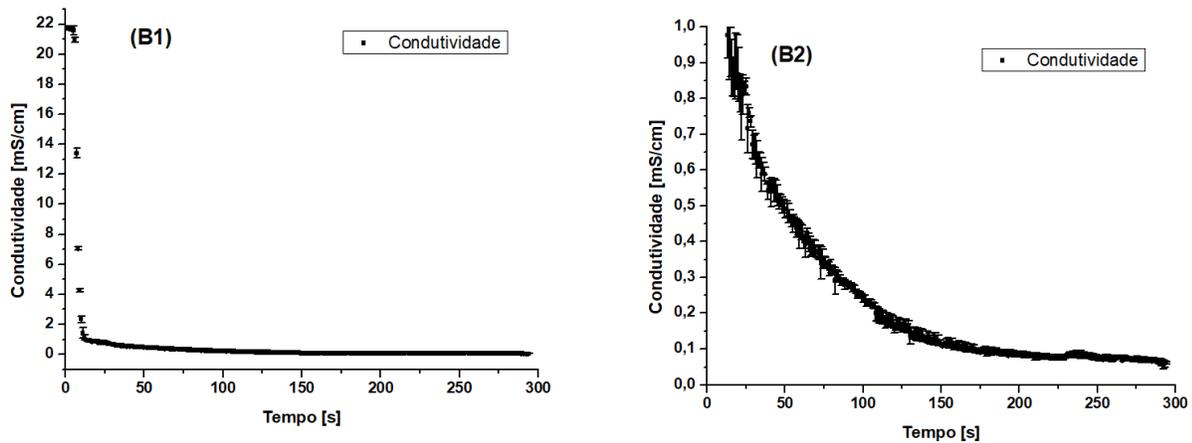


Figura 3 – Perfil de enxágue de detergente alcalino para vazão de 6 L/min (B1) Instantes finais (B2).

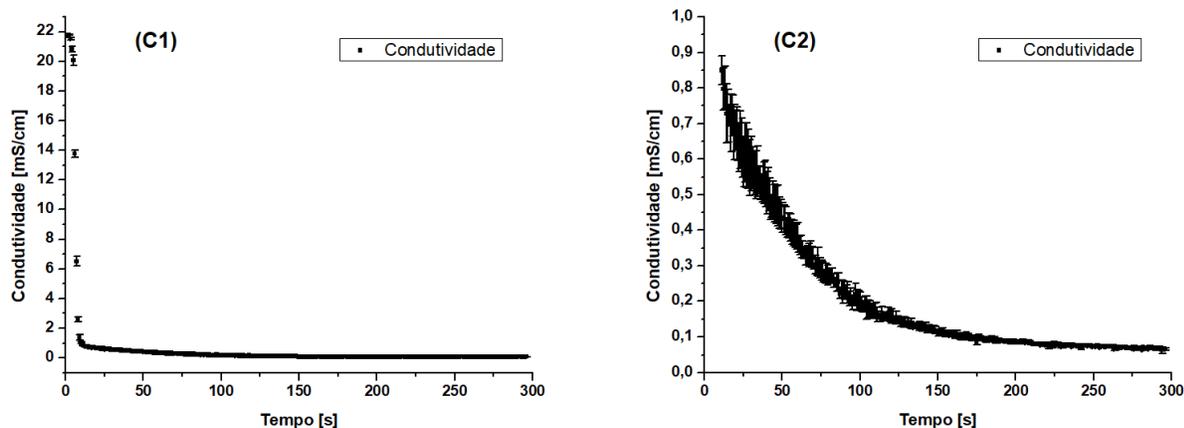


Figura 4 – Perfil de enxágue de detergente alcalino para vazão de 7 L/min min (C1) Instantes finais (C2).

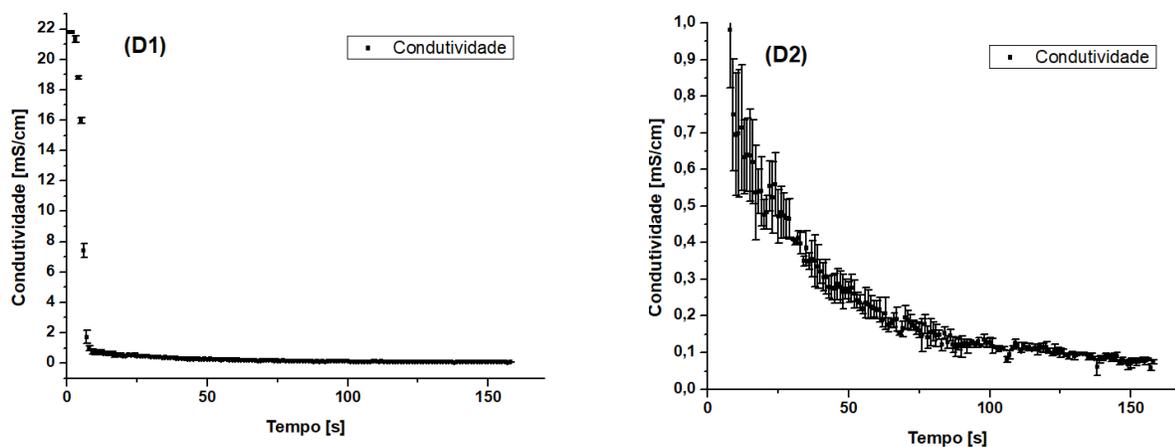


Figura 5 – Perfil de enxágue de detergente alcalino para vazão de 8 L/min min (D1) Instantes finais (D2).

A partir do comportamento médio da dinâmica de enxágue de hidróxido de sódio, pode-se estimar o tempo de enxágue necessário para retirada do agente químico residual assim como é possível calcular o volume de água gasto no enxágue. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado médio do tempo de enxágue e o volume de água gasto para cada tratamento.

	Tempo [s]	Volume [L]
Tratamento A	440	$36,7 \pm 2,95$
Tratamento B	211	$21,0 \pm 0,74$
Tratamento C	231	$26,9 \pm 1,82$
Tratamento D	142	$18,5 \pm 1,56$

Ocorre uma tendência de diminuição do tempo necessário para retirada do detergente com o aumento da vazão empregada. Esse fato pode ser atribuído ao aumento da tensão de cisalhamento na superfície da tubulação que favorece a remoção do hidróxido. O incremento da vazão favorece a turbulência na tubulação, de forma que o escoamento cresce do centro na direção radial na medida em que a velocidade média é aumentada. Dessa forma, a parede do tubo experimenta uma maior tensão e redução da camada-limite, o que provoca aumento da taxa de transferência do fluido até a superfície (ANDRADE, 2008).

A adequação do tratamento *One way* pode ser com base na análise dos resíduos. Observa-se que os resíduos de forma conjunta e individual para cada tratamento estão distribuídos aleatoriamente em torno de zero - Figura 6. Além disso, os valores dos resíduos em função dos valores estimados também estão distribuídos em torno de zero, Figura 7, o que indica que a variância constante para os valores da resposta. A adequabilidade mostra que as amostras são aleatórias de quatro populações normais com mesma variância, mas com médias populacionais diferentes.

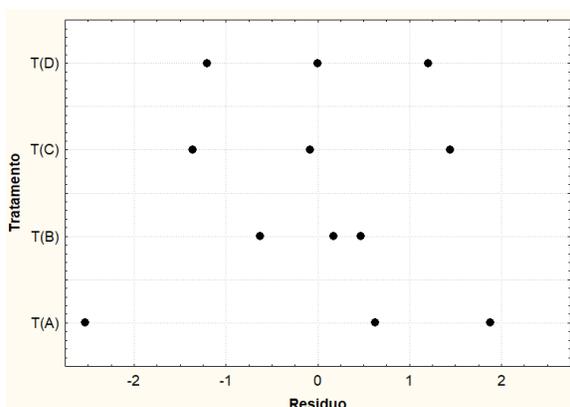


Figura 6 - Análise dos resíduos para cada tratamento.

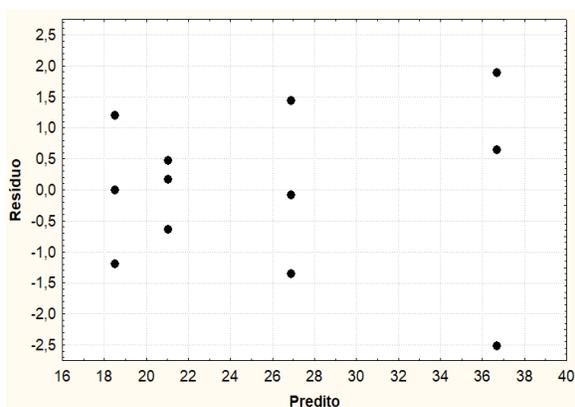


Figura 7 - Gráfico do resíduo em função do valor predito.

Tabela 3 - Análise da Variância ANOVA.

	Soma Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	p
Intercessão	7982,521	1	7982,521	3590,003	0,000000
Tratamento	586,412	3	195,471	87,910	0,000002
Erro	17,788	8	2,224		

Com base no resultado da probabilidade p apresentado no quadro ANOVA, Tabela 3, infere-se que se trata da região de rejeição de H_0 . Dessa forma, entende-se que os volumes gastos nos

tratamentos são estatisticamente diferentes. Isso indica que de fato existe um menor consumo de água associado a maior vazão. Portanto, essa configuração apresenta-se como a mais adequada visto menor volume de água gasto, associado ainda ao menor tempo de parada da planta na etapa de enxágue.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo investigou-se a dinâmica de enxágue de tubulações pelo processo CIP tipicamente empregado em plantas lácteas. Foram analisados quatro tipos de tratamentos para vazão de escoamento do enxágue. Os perfis obtidos e a análise estatística indicaram que o incremento da vazão reduz o tempo de inatividade necessário na etapa de enxágue. A análise estatística indicou que existe diferença significativa entre os volumes gastos em cada configuração. Nesse contexto, a maior vazão de enxágue favoreceu a remoção do agente químico alcalino residual de forma a reduzir o tempo desta operação assim como reduziu o volume de água empregado e conseqüentemente geração a efluente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia pela estrutura física disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa no Laboratório de Cristalização.

6. REFERÊNCIAS

- IBGE. Banco de dados [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2018. Acessado em 10 Julho 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/leite/brasil>.
- ANDRADE, N. J. D. Higiene na indústria de alimentos: avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos. São Paulo: Livraria Varela, 2008. 412 p.
- BYLUND, G. Dairy processing handbook. Cornell University. Tetra Pak Processing Systems AB, 2003. 452 p.
- LI, G. HALL, P., MILES, N., WU, T. Improving the efficiency of ‘Clean-In-Place’ procedures using a four-lobed swirl pipe: A numerical investigation. *Computers & Fluids* (108): 116-128. 2015.
- FAN, M. PHINNEY, D. M. HELDMAN, D. R. The impact of clean-in-place parameters on rinse water effectiveness and efficiency. *Journal of Food Engineering*. (222): 276-283. 2018.
- YANG, J. JENSEN, B. B. B. NORDKVIST, M. RASMUSSEN, P. GERNAEY, K. V. KRÜHNE, U. CFD modelling of axial mixing in the intermediate and final rinses of cleaning-in-place procedures of straight pipes. *Journal of Food Engineering*. (221): 95 – 105. 2018.
- LYNDGAARD, C.B., RASMUSSEN, M.A., ENGELSEN, S.B., THAYSEN, D., VAN DEN BERG, F. Moving from recipe-driven to measurement-based cleaning procedures: monitoring the Cleaning-In-Place process of whey filtration units by ultravioleta spectroscopy and chemometrics. *J. Food Eng.* (126): 82-88. 2014.
-