



## INFLUÊNCIA DO TIPO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL MECÂNICO EM TANQUES REFRIGERADORES DE LEITE A GRANEL NA ADERÊNCIA MICROBIANA

CPB1058

### **Rogério Ishikawa Hory**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Pós-graduação, Av. Eng<sup>o</sup>. Luiz Edmundo Carrijo Coube s/n<sup>o</sup>, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, São Paulo, [hory@adaptanet.com.br](mailto:hory@adaptanet.com.br).

### **Paulo César Razuk**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Eng<sup>o</sup>. Luiz Edmundo Carrijo Coube s/n<sup>o</sup>, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, São Paulo, [pcrazuk@unesp.br](mailto:pcrazuk@unesp.br)

**Resumo.** *A necessidade de se garantir condições de igualdade entre os produtores de leite nas etapas de produção, processamento e comercialização tem estimulado a fabricação de tanques refrigeradores de leite à granel. O presente estudo teve por objetivo verificar a influência do tipo de acabamento em superfícies de aço inoxidável dos tanques refrigeradores, perante a aderência bacteriológica. Posteriormente, foi estudada a eficiência de uma metodologia de limpeza e higienização que atendesse padrões de saúde pública e que ao mesmo tempo pudesse ser empregada, de maneira simplificada, pelos produtores de leite. Verificou-se que o acabamento superficial com rugosidade Ra variando entre 0,08 e 2,42  $\mu\text{m}$ , não tem influência na taxa de aderência microbiana em superfícies de aço inoxidável. A metodologia de limpeza empregada mostrou-se adequada para a redução da carga microbiana inicial a padrões considerados sanitários para todos os tipos de acabamentos estudados.*

**Palavras Chave:** *Acabamento superficial, Aderência bacteriológica, Tanque de Refrigeração de leite à granel, Aço Inoxidável AISI 304, Jateamento.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Nos tanques refrigeradores de leite à granel é desejável que a superfície do material não apresente poros, cavidades ou sulcos onde possam se alojar partículas ou bactérias. São os tratamentos superficiais de baixa rugosidade especificados informalmente como ‘sanitários’, que permitem ou facilitam a limpeza e a sanitização do equipamento e utensílio.

Muitos problemas de contaminação, falha e corrosão prematuras estão diretamente relacionadas com emprego de um tratamento superficial inadequado. O trabalho a frio decorrente do lixamento ou polimento mecânico cria grandes tensões superficiais de tração que favorecem o aparecimento de fadiga. Trata-se de uma operação onerosa e, em função da pressão utilizada, provoca o tombamento dos picos superficiais e a geração de micro bolsas de polimento mecânico. As micro bolsas armazenam impurezas, desde resíduos dos produtos do processo de polimento: óleo, grafite, cera, sebo e partículas dos materiais abrasivos – os silicatos – até resíduos do próprio produto que está sendo processado. Propiciam condições para o desenvolvimento de colônias de bactérias e, portanto, são fontes de contaminação.

Nos aços inoxidáveis a rugosidade da superfície é um conceito que está intimamente associado ao desempenho do material em um número muito grande de aplicações. Por mais planas e lisas que possam parecer a olho nu, as superfícies metálicas quando ampliadas, mostram que são formadas por uma seqüência de picos e vales. Quanto maiores forem os picos e mais profundos os vales e quanto mais freqüentes forem, tanto maior será a rugosidade do material.

De acordo com Fodra (1997) os acabamentos brilhantes ou espelhados são na maioria das vezes classificados como superfícies muito limpas, contudo, tecnicamente falando, nem sempre superfícies com baixa rugosidade são brilhantes e nem sempre superfícies brilhantes são isentas de poros ou cavidades.

Flint et al (2000) estudaram a influência do acabamento superficial na adesão de bactérias em chapas de aço inoxidável. Segundo os autores, foi difícil encontrar uma explicação que relacionasse a taxa de adesão das bactérias termicamente resistentes e a rugosidade das chapas. Verificou-se que para uma rugosidade Ra de 0,9  $\mu\text{m}$  houve máxima contaminação, embora este valor de rugosidade não estivesse entre os maiores. A hipótese lançada pelos autores é a de que as bactérias estudadas possuíam a mesma dimensão das depressões ou vales que compõem a rugosidade da superfície, aproximadamente 1,0  $\mu\text{m}$ .

Vanhaecke et al (1990) e Tide et al (1999) não identificaram relação entre rugosidade superficial e tendência de adesão das bactérias em superfícies de aço inoxidável. Boulange-Petermann et al (1998) definiram quantitativamente a rugosidade superficial em seus estudos de adesão das bactérias termicamente resistentes em aço inoxidável polido com acabamentos em Ra iguais a 3,2; 0,4 e 0,1  $\mu\text{m}$ . Os autores concluíram que não há uma relação precisa entre rugosidade superficial e adesão bacteriana.

Karlsson et al (1998) investigaram a influência da composição química do aço inoxidável na taxa de incrustação e nos processos de limpeza do material. Estudaram também a influência do tipo de acabamento superficial na aderência microbiana e dos diferentes pré-tratamentos químicos realizados antes da utilização industrial. Verificaram que o tipo de acabamento superficial do aço, polido ou BA, não exerce influência no processo de incrustação e limpeza do mesmo. Contudo, foi verificado que a composição química dos aços inoxidáveis AISI 304 e 316 e a passivação com agentes químicos influi na incrustação e limpeza, particularmente quando o aço é utilizado em aplicações que exigem baixas temperaturas. As superfícies que sofreram pré-tratamento químico em solução alcali e posterior passivação para formação da camada de óxido, por meio de imersão em ácido nítrico tornaram-se mais limpas do que superfícies que sofreram apenas um pré-tratamento com uma mistura altamente alcalina de hidróxido de amônia. Ainda segundo Karlsson et al (1998) superfícies sujeitas a repetidos processos de incrustação e limpeza sem renovação do pré-tratamento químico, ou seja, sem uma nova passivação apresentam taxas maiores de aderência bacteriológica e maior dificuldade na limpeza. O estudo mostrou, portanto, que a passivação com ácido nítrico é melhor do que o tratamento com solução altamente alcali na renovação das características superficiais do aço inoxidável. Quanto à composição química dos aços utilizados os autores verificaram que o AISI 316 possui maior tendência de aderir bactérias do que o 304, devido à sua composição química.

Steiner et al (2000) avaliaram vários tipos de superfícies inoxidáveis com o intuito de encontrar as mais adequadas, em termos de sanitariedade e facilidade de limpeza, para o processamento do queijo mussarela e para pasteurização do leite. Para tanto utilizaram vários tipos de acabamentos superficiais. Os produzidos pelo jateamento com esferas de vidro, de aço inoxidável, areia e arame de aço cortado denominado '*grit*'. Exames microbiológicos indicaram que o acabamento superficial produzido com areia não é aconselhável para superfícies empregadas em aplicações sanitárias, pois, apresentou altas contagens bacteriológicas, mesmo após limpeza. Revelando sua tendência à incrustação em superfícies de aço inoxidável. O jateamento com esferas de vidro também mostrou-se inadequado, pois, as esferas fraturavam em razão do impacto contra a chapa, provocando a deposição de pequenas porções de vidro na mesma, impossibilitando também, o seu uso em aplicações sanitárias. O único material para acabamento que obteve resultados aceitáveis, em termos de rugosidade superficial e sanitariedade, foi o produzido com jato de esferas de aço

inoxidável. Os exames no microscópio eletrônico revelaram que as superfícies tratadas com este tipo de esferas apresentaram os menores valores de rugosidade em relação à todos os outros tipos de jato (areia, vidro e arame cortado). Todas as chapas jateadas com esferas de aço inoxidável apresentaram contagem bacteriológica inferior a 1 UFC/ml após limpeza, partindo-se de uma superfície com contagem inicial de 2.000 UFC/ml o que revela seu alto poder de limpeza, podendo ser aplicado em condições em que se exigem sanitariedade.

## 2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Para a realização dos ensaios de aderência bacteriológica e de rugosidade superficial, foram fabricados quatro reservatórios em aço inoxidável AISI 304. Os quatro recipientes possuíam as mesmas dimensões, diâmetro interno 210 mm, altura 220 mm, e espessura de chapa 3 mm. O acabamento superficial em cada um dos recipientes foi:

- 1: espelhado;
- 2: lixado com lixa de granulometria 320;
- 3: lixado com lixa de granulometria 180;
- 4: jateado com esferas de aço inoxidável classificação S70.

As medidas de rugosidade superficial foram efetuadas com o rugosímetro, marca Taylor Hobson, modelo SURTRONIC 3+. Utilizou-se o filtro 2CR (ISO) padronizado para uma transmissão de 75% do 'cut-off' selecionado, ou seja, do comprimento da amostra e da linha de referência utilizada para identificar as características irregulares da superfície.

Os ensaios foram divididos em três fases:

- 1ª fase: medida da rugosidade dos reservatórios;
- 2ª fase: análise da aderência bacteriológica nas superfícies dos recipientes e
- 3ª fase: eficiência da limpeza e higienização.

As medidas da rugosidade superficial dos recipientes, foram realizadas tanto na parte interna quanto na parte externa. Num primeiro instante, o recipiente foi dividido em 8 (oito) regiões angulares, separadas entre si por ângulos de 45° percorrendo assim todo o seu perímetro circular. Além disto, internamente o tanque foi dividido em mais duas regiões, uma mais próxima à borda e outra localizada entre a borda e o fundo, ou seja, em sua região mediana. Na parte interna, então, foram realizadas 16 (dezesseis) leituras de rugosidade. Na região externa além das 8 (oito) divisões angulares o recipiente foi dividido em 3 (três) regiões ao longo da sua altura de costado, uma mais próxima à borda, outra no centro do recipiente e outra localizada próxima ao fundo. Perfazendo 24 (vinte e quatro) pontos de leitura na região interna. Em cada reservatório, então, foram realizadas 40 (quarenta) leituras de rugosidade superficial. De acordo com Agostinho et al (1977) a medida deve ser feita na direção que fornece a rugosidade máxima, portanto, todas as leituras da rugosidade foram realizadas no sentido transversal às marcas deixadas pelas lixas.

A segunda fase do experimento constitui-se da análise da aderência de bactérias provenientes do leite cru bovino, nas superfícies internas dos recipientes. O leite foi adquirido de um pequeno produtor, que realizou a ordenha manualmente em condições higiênicas. O leite foi utilizado imediatamente após a sua ordenha.

Os recipientes cuja capacidade volumétrica era de 5 litros, foram cheios com leite. Após o enchimento foram levados a um refrigerador onde permaneceram durante 6 horas para que houvesse formação do biofilme nas paredes do aço inoxidável. Durante este período o leite permaneceu em estado estacionário sem nenhum mecanismo de agitação e esteve refrigerado a uma temperatura de 4°C. Após as 6 horas sob refrigeração os recipientes foram esvaziados para que, então, pudesse seguir a fase de coleta das amostras para posterior exame microbiológico. A análise microbiológica foi realizada pelo método da Contagem Padrão em Placas, indicativa de condições higiênicas do processamento e do armazenamento de produtos alimentícios. Os procedimentos utilizados para a contagem dos microorganismos deste experimento, foram desenvolvidos por

Peeler e Maturin (1992) utilizados para indicar o nível de contaminação de um produto por microorganismos.

Foram identificados cinco pontos nos reservatórios para coleta das amostras, todos devidamente delimitados e com área de 100 cm<sup>2</sup>. Dois pontos foram situados no costado, dois nas soldas entre o costado e o fundo e um no fundo do reservatório. Os esfregaços foram realizados com 'swabs' devidamente esterilizados. A verificação da aderência por meio dos esfregaços com os 'swabs' nas superfícies internas dos recipientes foi realizada em dois momentos. O primeiro logo após a drenagem do leite e o segundo após a lavagem do recipiente. A lavagem foi efetuada com água, detergente neutro em concentração volumétrica de 1% e esponja de limpeza de polietileno com abrasivo tipo 'scoth brite'. Inicialmente foi realizada uma primeira lavagem para retirada da camada de leite mais espessa aderida à superfície. Depois se seguiu a segunda lavagem para retirada de algum material remanescente. Após os esfregaços, as amostras foram acondicionadas em tubos de proveta com 10 ml de água peptonada devidamente etiquetados. As amostras foram, então, enviadas ao laboratório para a devida contagem microbiológica.

### 3. RESULTADOS

Na Tab.(1), encontram-se os valores médios da rugosidade superficial dos recipientes.

Tabela 1. Valores médios, desvio padrão e margem de erro, com 95% de confiança, para rugosidade superficial dos recipientes

Recipiente	Rugosidade interna ( $\mu\text{m}$ )			Rugosidade externa ( $\mu\text{m}$ )		
	Média	Desvio padrão	Margem de erro (%)	Média	Desvio padrão	Margem de erro (%)
Jateado	1,95	0,249	1,03	2,42	0,355	1,68
Grana 180	0,21	0,067	0,70	0,34	0,056	0,30
Grana 320	0,14	0,042	0,40	0,24	0,037	0,18
Espelhado	0,08	0,042	0,01	0,10	0,027	0,00

A Fig. (1) ilustra a diferença entre a rugosidade das superfícies dos recipientes.

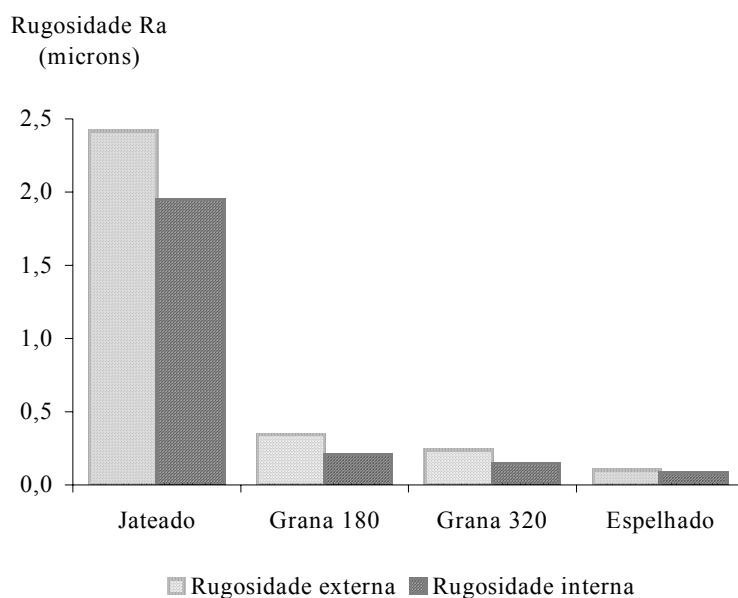
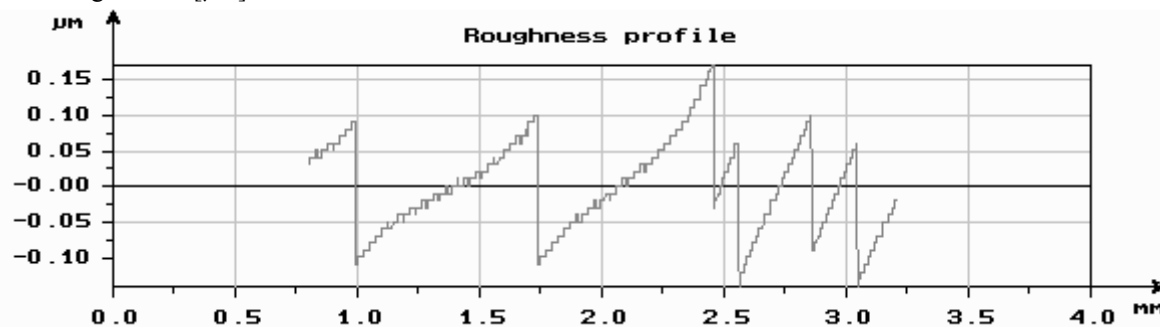


Figura 1. Rugosidade média dos recipientes.

A diferença entre os valores de rugosidade, evidenciada na Fig. (1), não está somente associada aos diferentes acabamentos superficiais entre os recipientes, mas também entre superfícies internas e externas dos mesmos. Essa diferença de rugosidade interna e externa deve-se ao fato do polidor dar preferência ao acabamento interno que estará em contato com o produto do que o acabamento externo. A rugosidade do recipiente jateado, embora apresentasse valores mais elevados, ainda continuava dentro dos padrões higiênicos da legislação vigente.

As Figs. de (2) à (5) ilustram os perfis de rugosidade das superfícies dos recipientes:

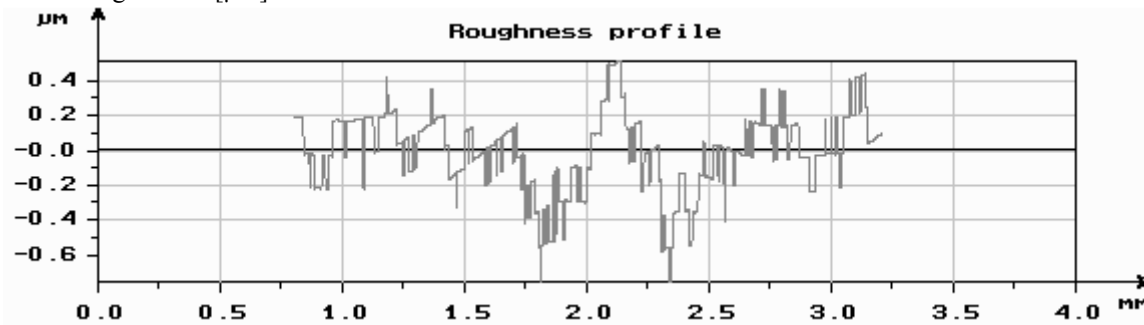
Perfil de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]



Comprimento de medição [mm]

Figura 2. Perfil de rugosidade da superfície espelhada ( $Ra_{\text{médio}} = 0,09 \mu\text{m}$ )

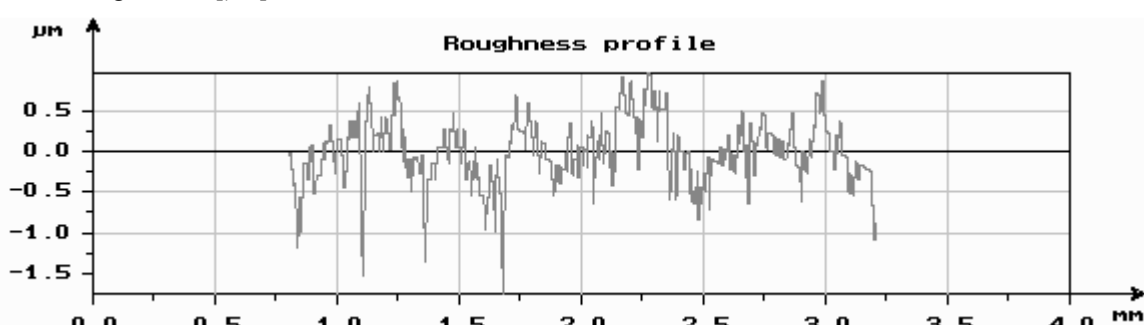
Perfil de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]



Comprimento de medição [mm]

Figura 3. Perfil de rugosidade da superfície lixada 320 ( $Ra_{\text{médio}} = 0,19 \mu\text{m}$ )

Perfil de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]



Comprimento de medição [mm]

Figura 4. Perfil de rugosidade da superfície lixada 180 ( $Ra_{\text{médio}} = 0,28 \mu\text{m}$ )

Perfil de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]

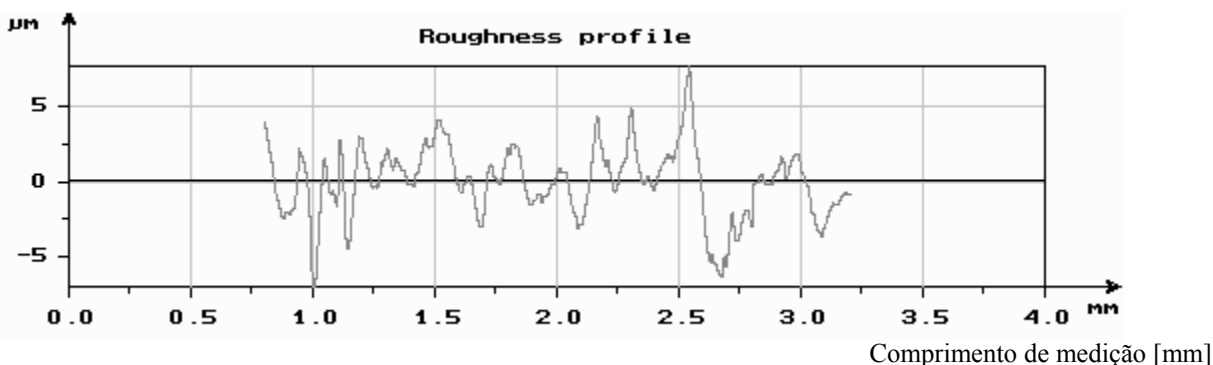


Figura 5. Perfil de rugosidade da superfície jateada ( $Ra_{\text{médio}} = 2,19 \mu\text{m}$ )

A Tab. (2) apresenta os resultados obtidos para contagem bacteriológica nas superfícies dos recipientes antes da lavagem, ou seja, logo após a drenagem de todo o leite que permaneceu sob refrigeração durante 6 horas.

Tabela 2. Resultado da contagem bacteriológica nas superfícies dos recipientes antes da lavagem

Contagem microbiológica UFC/cm <sup>2</sup> ( $\times 10^4$ )				
Ensaio	Espelhado	Grana 320	Grana 180	Jateado
1	1,28	6,50	1,54	6,50
2	19,50	6,50	6,50	16,00
3	13,50	5,46	18,50	17,20
4	6,50	3,30	1,30	6,50
5	19,50	19,50	19,50	19,50

A contagem microbiológica apresentada na Tab. (2), revela que a superfície de aço inoxidável AISI 304 é produtora de biofilme, pois, apresentou contagens acima de  $10^4$  UFC/cm<sup>2</sup> em 6 horas de contato.

A Tab. (3) revela o número de colônias remanescentes nas superfícies após lavagem com detergente.

Tabela 3. Quantidade de colônias remanescentes nas superfícies após lavagem

Contagem microbiológica (UFC/cm <sup>2</sup> )				
Ensaio	Espelhado	Grana 320	Grana 180	Jateado
1	2	13	7	0
2	0	0	0	0
3	10	0	0	0
4	0	0	0	0

A Fig. (6) apresenta, em forma de gráfico, a taxa de aderência bacteriológica em cada uma das superfícies dos recipientes antes da lavagem:

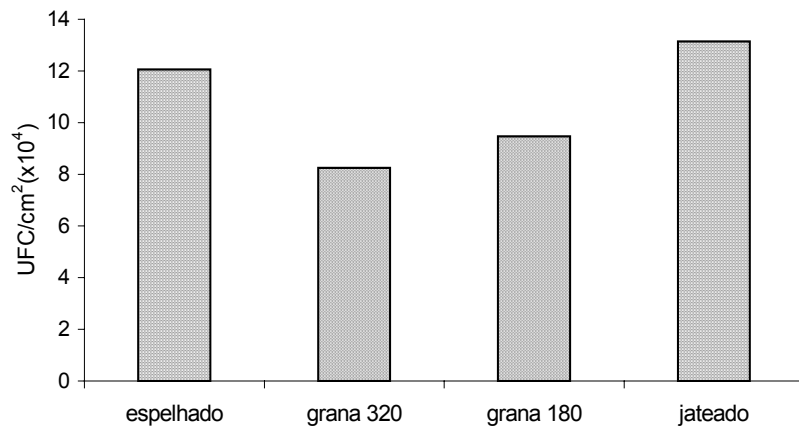


Figura 6. Bactérias aderidas às superfícies antes da limpeza.

Já a Fig. (7) apresenta a média do número de bactérias aderidas nas superfícies dos recipientes após a lavagem.

Observando-se as Figs. (6) e (7), verifica-se que, embora, os recipientes tenham apresentado uma taxa de aderência bacteriológica da ordem de  $10^4$  UFC/cm<sup>2</sup> antes da lavagem, após a lavagem, apresentaram níveis satisfatórios de contaminação bacteriológica. Este resultado evidencia dois fatos importantes:

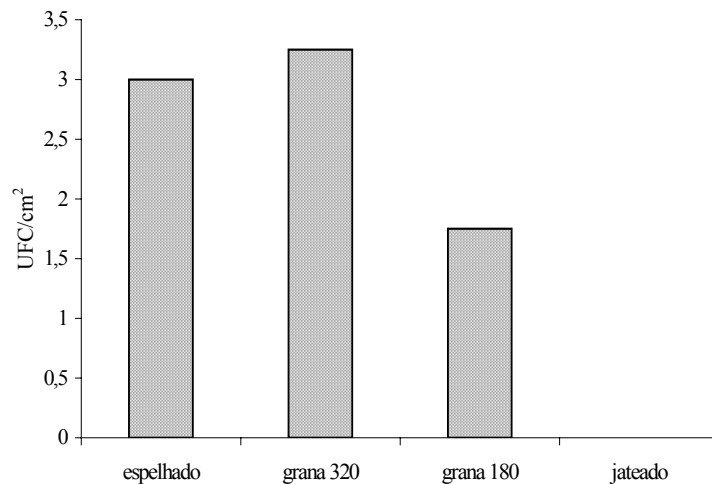


Figura 7. Bactérias aderidas às superfícies após limpeza.

- 1º. Embora o recipiente jateado tenha apresentado valores de rugosidade maiores do que os outros tipos de acabamentos superficiais, não apresentou aderência bacteriológica após a lavagem e higienização e
- 2º. a metodologia utilizada para limpeza e higienização das superfícies dos recipientes em aço inoxidável, mostrou-se eficiente em todos os casos.

O fato da superfície jateada não ter apresentado contaminação após a lavagem se deve à formação das endentações na superfície do aço ao invés das micro bolsas de lixamento mecânico. As micro bolsas de lixamento acumulam impurezas e são fontes de contaminação, como pôde ser observado em todas as superfícies que sofreram acabamento lixado. As endentações possuem uma rugosidade mais homogênea com um perfil de onda maior onde as bactérias são facilmente removidas com uma limpeza mecânica. Já superfícies lixadas apresentam rugosidades menores, contudo com frestas e sulcos de menores dimensões onde o contato com o agente mecânico de limpeza é mais difícil.

#### 4. CONCLUSÕES

No presente trabalho pôde-se concluir que os diferentes acabamentos superficiais mecânicos manuais, realizados por meio de rodas de lixa de granulometrias 180, 320, polido e jateado, em superfícies de aço inoxidável AISI 304, não apresentaram diferenças significativas no que se refere à adesão de bactérias provenientes do leite bovino cru.

A análise experimental dos corpos de prova revelou que a rugosidade Ra média variou entre 0,08 e 2,42  $\mu\text{m}$ . O método experimental utilizado revelou que esta faixa de rugosidade pode ser considerada como adequada no emprego em tanques refrigeradores de leite à granel no que se refere à sanitariedade. A limpeza empregada para higienização das superfícies também mostrou-se adequada para redução do número de bactérias.

Após a limpeza, o acabamento jateado apresentou nível zero de contaminação, isso se deve ao fato deste tipo de acabamento produzir, na superfície da chaparia, as endentações, que não possibilitam acúmulo de bactérias. Já os acabamentos lixado e polido apresentam as micro bolsas, que são fontes de contaminação.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEPEM/KEPLER WEBER, Bauru/ SP, pelo fornecimento dos recipientes em aço inoxidável, a USC-Universidade do Sagrado Coração, Bauru/SP, pela análise bacteriológica das amostras de leite e à CAPES pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

#### 6. REFERÊNCIAS

Agostinho, O.L., Rodrigues, A.C.S., Lirani, J., 1977, "Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões", Ed. Edgard Blücher, S.Paulo, Brazil, 295 p.

Boulangé-Petermann, L., Rault, J., Bellon-Fontaine, M.N., 1998, "Adhesion of *Streptococcus thermophilus* to stainless steel with different surface topography and roughness", Biofouling, Vol. 11, pp. 201-216.

Flint, S.H., Brooks, J.D., Bremer, P.J., 2000, "Properties of the stainless steel substrate, influencing the adhesion of thermo-resistant streptococci", Journal of Food Engineering, s.n., Vol. 43, pp. 235-242.

Fodra, L.V.F., 1997, "Acabamentos dos aços inoxidáveis", S. Paulo, 50 p.

Karlsson, C.A.C., Wahgren, M.C., Tragardh, A.C., 1998, "Some surface-related aspects of the cleaning of new and reused stainless-steel surfaces fouled by protein, International Dairy Journal, Vol. 8, pp. 925-933.

Peeler, J.T., Maturin, L.J., 1992, "Bacteriological analytical manual", AOAC International, pp. 17-26, ISBN 0-935584-49-8.

Steiner, A.E., Maragos, M.M., Bradley, R.L., 2000, "Cleanability of stainless steel surfaces with various finishes", Dairy Food and Environmental Sanitation, Vol. 20, n<sup>o</sup>. 4, pp. 250-260.

Tide, C et al., 1999, "The influence of welding procedures on bacterial colonization of stainless steel weldments, Journal of Food Engineering, Vol. 42, pp. 85-96.

Vanhaecke, E et al., 1990, "Kinetics of *Pseudomonas aeruginosa* adhesion to 304 and 316L stainless steel: role of cell surface hydrophobicity", Applied and Environmental Microbiology, Vol. 56, pp. 788-795.

### **THE INFLUENCE OF MECHANICAL SURFACE TREATMENT IN TANKS FOR GRANARY MILK REFRIGERATION IN THE MICROBIAN ADHESION.**



**Rogério Ishikawa Hory**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Pós-graduação, Av. Eng<sup>o</sup>. Luiz Edmundo Carrijo Coube s/n<sup>o</sup>, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, São Paulo, [hory@adaptanet.com.br](mailto:hory@adaptanet.com.br).

**Paulo César Razuk**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Eng<sup>o</sup>. Luiz Edmundo Carrijo Coube s/n<sup>o</sup>, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, São Paulo, [pcrazuk@unesp.br](mailto:pcrazuk@unesp.br)

***Abstract.** The need to guarantee equal conditions among milk producers, in the fases of production, processing and commercialization, have stimulated the manufacture of tanks for granary milk refrigeration. The main objective of the present study was to first verify the influence of standards of surface treatment in refrigeration tanks, considering the rate of bacteriological adhesion. Secondly, efficiency of a methodology of cleaning and higienization was studied, which could follow criteria of standardization in public health and simultaneously used in a simple way, by the milk producers. It was concluded that surface treatment does not have influence the rate of bacteriological adhesion on surfaces of stainless steel. Cleaning methodology used has proved itself adequate for reducing initial microbial rate to sanitary levels.*

**Keywords:** Surface Treatment, Bacteriological Adhesion, Tanks of Refrigeration, Stainless Steel AISI 304, Shot Peening