

Confiabilidade dos sistemas de ordenha canalizados

Reliability of the channeled milking systems

Pedro Hurtado de Mendoza Borges¹
Záira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza²
Edwaldo Dias Bocuti³

¹ Professor Doutor. Departamento de Solos e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT. E-mail: pborges@ufmt.br

² Professora Doutora. Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT. E-mail: zaira@ufmt.br

³ Bacharel em Agronomia. Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT. E-mail: ed.bocuti@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho, avaliou-se a confiabilidade dos sistemas de ordenha canalizados, considerando-se o insuflador das teteiras como elemento crítico. Foram selecionadas cinco propriedades leiteiras, localizadas na Zona da Mata Mineira, microrregião de Muriaé. As propriedades caracterizaram-se pelo rebanho próximo de 60 vacas em lactação, prática de duas ordenhas diárias e quatro conjuntos no sistema, totalizando 20 unidades para o estudo. A vida útil das teteiras foi determinada conforme os fabricantes. Durante 90 dias, foram registradas as ocorrências de rachaduras com qualquer dimensão e/ou deformações nos insufladores. Os tempos de falhas coletados foram submetidos à análise de confiabilidade, utilizando-se o estimador de Kaplan-Meier. Concluiu-se que foi possível avaliar a confiabilidade dos sistemas de ordenha canalizados utilizando-se o método de Kaplan-Meier, os insufladores podem atingir a vida útil antes da sugerida pelos fabricantes, e a análise de confiabilidade apresentou-se como ferramenta no planejamento da manutenção em sistemas de ordenha canalizados.

PALAVRAS-CHAVE

qualidade do leite
insuflador de teteira
estimador Kaplan-Meier

ABSTRACT

In this work was evaluated the reliability of channeled milking systems, by considering the insufflator of the teatcup as the critical element. There were selected five milk farms, located in the "Zona da Mata Mineira", microregion of Muriaé. These characterized by herd near of 60 lactating cows, practice of two milking diary and four sets in the system, totalizing 20 units for study. The useful life of teatcups was determined according to the manufacturers. During 90 days were recorded the occurrences of cracks with any size and/or deformations in the insufflators. The failure times collected were subjected to reliability analysis using the Kaplan-Meier estimator. It was concluded that it was possible to evaluate the reliability of channeled milking systems by using the Kaplan-Meier method, the insufflators can attain the useful life before suggested by manufacturers and reliability analysis was presented as a tool for planning of maintenance in channeled milking systems.

KEY WORDS

*milk quality
insufflator of teatcup
Kaplan-Meier estimator*

INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais lidera a produção leiteira no Brasil, responsável por 30% do volume total, sendo que a zona da Mata ocupa a terceira posição dentre as regiões do Estado (IBGE, 2013). O perfil das propriedades dessa região é muito heterogêneo, caracterizado por pequenos, médios e grandes produtores, respectivamente, com rebanhos de até 18, 85 e 205 animais. O sistema de produção predominante dos pequenos produtores é a ordenha manual. Já, os médios produtores utilizam a ordenha mecânica, tanto balde ao pé, quanto sistemas canalizados. Devido ao elevado número de vacas em lactação, as propriedades de grandes produtores utilizam somente o sistema de ordenha canalizado.

Os sistemas de ordenha canalizados oferecem como principais vantagens uma maior produtividade e higiene do processo, pois não há contato direto com o leite. Este último aspecto é de suma importância para a produção do leite de qualidade, conforme os preceitos estabelecidos pela Instrução Normativa 51 (MAPA, 2002). Entretanto, para atingir esse objetivo, todos os componentes do sistema de ordenha canalizado devem estar em perfeito estado de conservação e funcionamento correto. Diversas pesquisas têm mostrado a influência da higiene e do estado de conservação dos equipamentos na qualidade do leite e na ocorrência de mastite (MAIA, 2010; TAFFAREL et al., 2010; BESERRA FILHO; CARVALHO, 2011).

Dentre os elementos que compõem o sistema canalizado, as teteiras ocupam uma posição relevante. Elas são formadas por um cilindro de aço inox revestido internamente por uma manga de borracha macia e flexível, conhecida como insuflador. O espaço existente entre o copo metálico e a manga de borracha denomina-se câmara de pulsação. O insuflador simula a boca do bezerro para facilitar de forma adequada a extração do leite e a massagem das úberes. O conjunto composto por quatro teteiras, o tubo curto do leite, o copo coletor e o tubo longo de leite formam a unidade de ordenha.

As teteiras são manipuladas frequentemente pelo operador e, também, são os únicos elementos que entram em contacto com o animal, razão pela qual a sua higiene é de extrema importância. As partes de borracha desses componentes perdem a sua flexibilidade e maciez ao longo do tempo. A diminuição de elasticidade pode influenciar na

velocidade de ordenha, na pressão de vácuo, na ocorrência de lesões nos tetos e no alojamento de microorganismos. Devido a esses fatores, existem normas que regulam a vida útil das teteiras. Usinox (1993), Milkparts (1998) e DeLaval (s.d.) sugerem a sua substituição a cada 750 horas de uso ou 2.500 ordenhas, pois o seu funcionamento irregular pode causar sérios prejuízos na ordenha.

Apesar do tempo de vida útil estimado pelos fabricantes ser uma importante referência para a substituição de peças e componentes, estudos de confiabilidade têm revelado que elementos de sistemas elétricos, eletrônicos e mecânicos falham antes do tempo previsto (PIAZZA, 2000; COSTA, 2009; RIBEIRO, 2009). Já, outros autores concluíram que, inclusive, muitos falham durante o período de garantia (LEMES, 2006; SANTOS et al., 2008; BONETTI, 2009). Diversas podem ser as causas para essas falhas, tais como, defeitos de fabricação, materiais inadequados, operação e manuseio sem os devidos cuidados e principalmente planos de manutenção incompatíveis com as condições de uso.

Devemos salientar que o conhecimento do tempo médio de vida útil para as condições reais de operação dos insufladores é de suma importância para a elaboração de planos de manutenção mais precisos dos sistemas de ordenha canalizados. Assim, seria possível garantir o correto funcionamento dos principais componentes e providenciar a sua substituição antes da falha ou deterioração. Esse aspecto contribuiria de forma significativa para a diminuição dos riscos à saúde do rebanho leiteiro, para o aumento da qualidade do leite e evidentemente para obter melhores resultados na atividade.

De acordo com a bibliografia consultada, infere-se que o conhecimento do tempo de vida útil dos insufladores pode influir positivamente na redução dos custos por manutenção, prejuízos na ordenha e saúde do rebanho, bem como no aumento da qualidade do leite. Visando aprimorar os planos de manutenção dos sistemas de ordenha canalizados, o referido tempo pode ser estimado com base na probabilidade de falha das unidades ao longo de um período estabelecido. Essa problemática motivou a realização do presente trabalho, que teve como objetivo avaliar a confiabilidade dos sistemas de ordenha canalizados utilizados em propriedades leiteiras na Zona da Mata Mineira.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em cinco propriedades leiteiras, localizadas na Zona da Mata Mineira, microrregião de Muriaé, pertencentes aos municípios Carangola, Divino, Espera Feliz, Fervedouro e São Francisco da Glória, Estado de Minas Gerais. A vegetação da maior parte das terras da região está ocupada por pastagens naturais e artificiais (brachiárias) que suportam rebanhos bovinos, distribuídos em fazendas de pequeno e médio porte. O relevo da Zona da Mata é ondulado, predominando colinas, vales e serras com declividades variando de 20% a 45% e a altitude de 200 a 1800 m. A região caracteriza-se pelo clima tropical com temperatura e precipitação média, respectivamente, de 18° C e 1500 mm, sendo de 2 a 4 meses secos ao ano (GOLFARI, 1975).

As cinco propriedades selecionadas apresentavam características semelhantes, tais como o tamanho do rebanho próximo de 60 vacas em lactação, prática de duas ordenhas por dia e sistema canalizado com quatro conjuntos da mesma marca, totalizando 20 unidades para a pesquisa. Essas características possibilitaram a realização do trabalho em 90 dias (três meses), a saber, no período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013. Como elemento crítico, considerou-se o insuflador das teteiras, pois o seu estado de conservação influencia diretamente na qualidade do leite e na ocorrência de mastite. Também, houve entre os produtores rurais e representantes de firmas comerciais consenso de preservar a identidade das propriedades, bem como a marca das unidades de ordenha. Assim, elas foram identificadas como A, B, C, D e E.

A vida útil das teteiras foi determinada, em função do tamanho do rebanho, do número de ordenhas diárias e da quantidade de unidades, conforme as equações sugeridas por Usinox (1993), Milkparts (1998), CBQL (2002) e DeLaval (s.d.), dadas por:

$$V_{\text{útil}} = \frac{2500}{N_{\text{vezes}}}$$

$$N_{\text{vezes}} = \frac{N_{\text{vacas}} \cdot N_{\text{ordenhas}}}{N_{\text{conjuntos}}}$$

onde:

Vútil = Vida útil da teteira (dias);

Nvezes = Número de vezes de uso da unidade por dia (adimensional);

Nvacas = Número de vacas (adimensional);

Nordenhas = Número de ordenhas por dia (adimensional) e

Nconjuntos = Número de conjuntos ou unidades de ordenha (adimensional).

Para verificar a confiabilidade das teteiras, durante o período de tempo descrito anteriormente, as unidades de ordenha foram inspeccionadas visualmente com auxílio de uma lupa a cada cinco dias, até constatar a presença de rachaduras de qualquer dimensão, deformações ou alterações na superfície da boca ou do interior do insuflador. Assim, foram computados os tempos e os números correspondentes de unidades com falhas (rachaduras, deformações ou alterações). Uma vez que a distribuição das falhas nos insufladores não era conhecida, optou-se pelo método não paramétrico do produto limite para a função de confiabilidade proposto por Kaplan e Meier (1958), descrito a seguir como:

$$\hat{S}_{KM}(t) = \prod_{j=1}^k \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right) = \prod_{j=1}^k \left(1 - \frac{d_j}{n_j} \right)$$

onde:

$\hat{S}_{KM}(t)$ = Estimador de Kaplan - Meier,

d_j = Número de falhas ou rachaduras no tempo t_j ;

n_j = Número de unidades sob risco no t_j (não falhou e não foi censurado).

Com base no estimador do produto limite (Método de Kaplan-Meier) determinou-se para cada tempo até a falha a confiabilidade, o desvio padrão, os limites do intervalo de confiança para 95%, bem como o tempo médio para a rachadura ("Mean Time to Failure" – MTTF), isto é, o tempo esperado para a falha de sistemas ou equipamentos não-

reparáveis, como é o caso das teteiras. No processamento analítico e gráfico dos dados, utilizaram-se a planilha eletrônica EXCEL e o programa STATISTICA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresentam-se as características principais das propriedades leiteiras avaliadas, bem como a vida útil média das teteiras determinada conforme as equações sugeridas por Usinox (1993), Milkparts (1998), CBQL (2002) e DeLaval (s.d.). Deve-se salientar que os valores de vida útil propostos pelos fabricantes são baseados em testes de laboratório e uso de produtos adequados para a limpeza, entretanto, na realidade, esses valores podem ser inferiores devido à manutenção e condições de manipulação incompatíveis com as especificadas, dentre outras.

Tabela 1 – Características principais das propriedades e vida útil das teteiras, conforme os fabricantes

Variável	Propriedade				
	A	B	C	D	E
Número de vacas	60	58	61	59	60
Unidades de ordenha	4				
Ordenhas por dia	2				
Uso diário	30	29	30,5	29,5	30
Vida útil (dias)	83,33	86,21	81,97	84,75	83,33
Vida útil média (dias)	83,92				

As estimativas de Kaplan-Meier para os tempos correspondentes à presença de rachaduras nos insufladores das unidades de ordenha mecânica podem ser constatadas na Tabela 2. Nesta Tabela, pode-se verificar que, a partir dos 80 dias, apenas 4 unidades de ordenha (20%)

continuaram funcionando sem rachaduras nos insufladores. De acordo com esses resultados, pode-se inferir que somente esses conjuntos tiveram uma vida útil próxima da estimada pelas equações propostas por Usinox (1993), Milkparts (1998), CBQL (2002) e DeLaval (s.d.). Nota-se, ainda, que o tempo médio para a rachadura dos insufladores foi de 72,5 dias. Esse período foi 13,6% inferior ao tempo de funcionamento esperado, conforme os fabricantes (Tabelas 1 e 2).

Tabela 2 – Estimativas de Kaplan-Meier para os tempos de falhas (rachaduras ou alterações na superfície) dos insufladores das teteiras

Tempo (dias)	Unidades em risco	Unidades falhas	Confiabilidade	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior
45	20	1	0,95	0,04873	0,8545	1,0000
50	19	1	0,90	0,06708	0,7685	1,0000
55	18	1	0,85	0,07984	0,6935	1,0000
60	17	1	0,80	0,08944	0,6247	0,9753
65	16	2	0,70	0,10247	0,4992	0,9008
70	14	2	0,60	0,10954	0,3853	0,8147
75	12	3	0,45	0,11124	0,2320	0,6680
80	9	5	0,20	0,08944	0,0247	0,3753
85	4	3	0,05	0,04873	0	0,1455
90	1	1	0			

Tempo médio para a falha (“*Mean Time to Failure*”) - MTTF: 72,5 dias

Na Figura 1, apresenta-se o estimador de Kaplan-Meier e intervalos de confiança para a função de confiabilidade das teteiras. Observa-se que o tempo para o aparecimento de falhas (rachaduras e ou deformações) nas 10 primeiras unidades (50%) foi maior do que o tempo para as restantes, respectivamente, 30 e 15 dias. Isso concorda com o esperado, pois, à medida que nos aproximamos do tempo de vida útil, a frequência de falhas aumenta consideravelmente, isto é, a probabilidade de equipamentos continuarem funcionando sem defeitos diminui. Esses resultados sugerem a revisão e controle mais rigoroso das unidades a partir da metade do tempo previsto para a troca das teteiras.

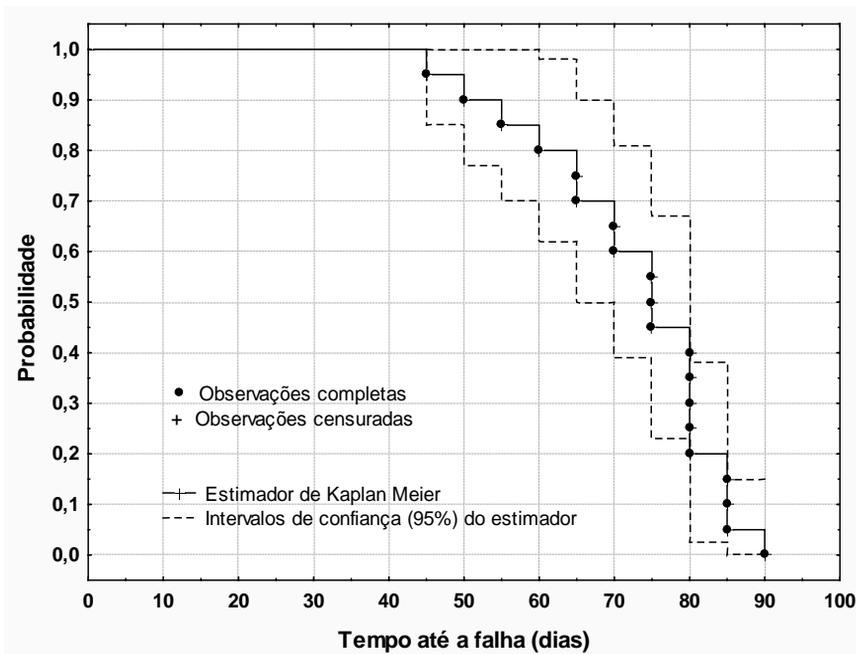


Figura 1 – Estimador de Kaplan-Meier e intervalos de confiança para a função de confiabilidade das teteiras.

Com base nos intervalos de confiança para a função de confiabilidade das teteiras, deduz-se que, a partir do tempo médio para a falha (72,5 dias), devem continuar funcionando sem defeitos, no máximo, 60% das unidades, isto é, com 95% de probabilidade pode-se afirmar que, até esse tempo, 40% dos equipamentos devem ter apresentado rachaduras e/ou deformações (Figura 1). Na própria Figura, pode-se constatar, ainda, que próximo do tempo previsto para a troca das teteiras, aproximadamente 15% dos equipamentos funcionarão em condições adequadas.

O tempo de vida útil conforme o estimador Kaplan-Meier foi 13,6% inferior ao estimado com base nas equações propostas por Usinox (1993), Milkparts (1998), CBQL (2002) e DeLaval (s.d.). Essa discrepância deve-se, dentre outras causas, aos procedimentos de manutenção e limpeza das teteiras e principalmente ao gerenciamento do rebanho leiteiro. Nesse sentido, deve-se salientar que, em três das proprieda-

des selecionadas (B, D e E), o número de vacas em lactação, em várias ocasiões, foi maior do que a quantidade declarada para a pesquisa de dois a quatro animais. Esse fato sem dúvida interferiu para a redução do tempo de troca previsto, confirmando-se a necessidade de elevar o controle do uso das unidades.

Tomando como referência os trabalhos de Maia (2010); Taffarel et al. (2010); Beserra Filho e Carvalho (2011), sobre a influência do estado de conservação das teteiras na qualidade do leite e na mastite, considera-se que os valores de probabilidade obtidos nesta pesquisa para o funcionamento correto das unidades durante o seu período de uso são baixos. Esses resultados indicam que, a partir de 85% do tempo de vida útil, as teteiras podem ser responsáveis pelo surgimento de mastite e pela redução da qualidade do leite, uma vez que rachaduras de qualquer dimensão facilitam o acúmulo de microorganismos.

De acordo com os resultados obtidos, o estimador de Kaplan-Meier apresentou-se como uma ferramenta satisfatória para determinar a vida útil dos equipamentos de ordenha mecânica. Assim, pode-se definir com adequada precisão a probabilidade de falha, em função do tempo com um pequeno número de observações e sem a necessidade do prévio conhecimento da distribuição dos dados. O excelente desempenho do referido método estatístico tem sido confirmado em outras importantes áreas do conhecimento como Medicina e Engenharia (HAVIARAS, 2005; BASTOS; ROCHA, 2007; SALGADO, 2008; COSTA 2009; RIBEIRO 2009; MARTINS; WERNER, 2010).

CONCLUSÕES

Foi possível avaliar a confiabilidade das teteiras nos sistemas de ordenha canalizadas utilizando-se o método de Kaplan-Meier.

Há necessidade de um eficiente controle dos insufladores para detectar a presença de rachaduras, pois nem sempre estes atingem a vida útil sugerida pelos fabricantes.

A análise de confiabilidade apresentou-se como uma ferramenta para modificar ou aprimorar os planos de manutenção dos equipamentos de ordenha canalizada.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, J.; ROCHA, C. Análise de sobrevivência. Métodos não paramétricos. *Arquivos de Medicina*, v. 21, n. 3-4, p. 111-114, 2007.
- BESERRA FILHO, J.; CARVALHO, J. M. Contagem de células somáticas em leite cru refrigerado após implantação da instrução normativa 51, no nordeste. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grade, v. 13, n. 2, p. 137-142, 2011.
- BONETTI, L. V. *Dados de garantia e análise qualitativa de especialistas como base para estudo de confiabilidade no setor de máquinas agrícolas*. 2009. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- CONSELHO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE COMITÊ DE EQUIPAMENTOS – CBQL. *Equipamentos de ordenha*. São Paulo: [s.n.], 2002. 26 p.
- COSTA, M. L. O. *Estudo do torque de acionamento e vida útil de um projeto de válvulas industriais*. 2009. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- DELAVAL. *Sistemas de ordenha*. [s.d.]. Disponível em: < <http://www.delaval.com.br/Products/Milking/default.htm>>. Acesso em: 18 dez. 2007.
- GOLFARI, L. *Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento*. Belo Horizonte: CPFRC, 1975. 65p. (Série Técnica, 3).
- HAVIARAS, G. J. *Metodologia para análise de confiabilidade de pneus radiais em frotas de caminhões de longa distância*. 2005. 128p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária*. Brasília: [s.n.], 2013. 43p.
- KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, v. 53, n. 282, p. 457-481, 1958.
- LEMES, D. V. *Proposta de método de análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos empregando dados de retorno em garantia*. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MAIA, P. V. A manutenção do equipamento de ordenha é fundamental para evitar a ocorrência de mastite. *ReHAgro* (Artigos Técnicos), Belo Horizonte, n. 1, 2010. Disponível em: <rehagro.com.br/plus/modulos/noticias/imprimir.php?cdnoticia=1948>. Acesso em: 28 ago. 2013.

MARTINS, V. L. M.; WERNER, L. Análise não paramétrica de falhas ao longo do calendário para alto-falantes. *Revista Produto & Produção*, v. 11, n. 3, p. 07-18, out. 2010.

MILKPARTS. *Manual de instruções* - sistemas de ordenha. Teutônia: [s.n.], 1998. 22p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Instrução Normativa n. 51, de 18 de setembro de 2002. *Diário Oficial da União*, de 20 de setembro de 2002, Seção 1, p. 13. 2002.

PIAZZA, G. *Introdução à engenharia de confiabilidade*. Caxias do Sul, RS: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2000. 128p.

RIBEIRO, S. E. C. *Análise da confiabilidade de vigas de concreto armado com plástico reforçado por fibras*. 2009. 152p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Estrutura) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

SALGADO, M. F. P. *Aplicação de técnicas de otimização à engenharia de confiabilidade*. 2008. 152p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

SANTOS, G. T.; FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D.; RAUSAND, M. Aplicação de um modelo de riscos concorrentes na análise de confiabilidade de dados de garantia. *Produto & Produção*, v. 9, n. 3, p. 55-65, 2008.

TAFFAREL, L. E.; COSTA, P. B.; BRAGA, G. C.; OLIVEIRA, N. T. E.; ZONIN, W. J. Impactos de diferentes sistemas de ordenha sobre a contagem bacteriana do leite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 20., 2010, Palmas, TO. *Resumos...* Palmas: ABZ – Associação Brasileira de Zootecnia, 2010. CD Rom.

USINOX. *Manual do proprietário* – ordenhadeiras. Batatais: [s.n.], 1993. 8p.