

DESEMPENHO DOS RODEIROS DA FROTA GDT

Leandro Cal Monteiro

MRS Logística

Paulo Afonso Lopes da Silva

Instituto Militar de Engenharia

Marcílio Rocha

MRS Logística S/A

RESUMO

O presente artigo apresenta uma posição acerca do desempenho dos rodeiros da frota GDT em circulação, focado principalmente nas taxas de desgastes, integridade do perfil da roda e confiabilidade dos rolamentos.

Apresenta-se uma visão geral dos vagões GDT e a estratégia de manutenção utilizada. Na sequência, foi abordado o percentual de sucateamento dos rodeiros e cálculo das taxas de desgastes em função da quilometragem.

Testes em campo foram efetivados para verificação do perfil, bem como, a utilização de distribuição de Weibull para análise da confiabilidade dos rolamentos retirados em manutenções.

Assim, diante dos resultados baseado nas verificações e medições, conclui-se um bom desempenho dos rodeiros em circulação.

Palavras-chaves: vagão GDT, manutenção do rodeiro, confiabilidade dos rolamentos.

ABSTRACT

This paper presents a position on the performance of the wheelsets of GDT fleet in circulation, primarily focused in the rates of wear, wheel the profile of integrity and reliability of the bearings.

It presents an overview of the GDT wagons and maintenance strategy used. Subsequently, (SANSON & DUARTE, 2005) (SIQUEIRA) the scrap percentage of wheel sets and calculation of wear rates depending on the mileage itwor oppreadtt.

Field tests were mede to verify the profile and the use of Weibull distribution to analyze the reliability of the bearings removed for maintenance.

Thus, in view of the results based on checks and measurements, indicate a good performance of the wheel sets in circulation.

Keywords: wagon GDT, wheelset maintenance, reliability of the bearings.

1. INTRODUÇÃO

Os vagões da serie GDT para transporte de minério, são vagões muito utilizados pelas ferrovias, por serem do tipo Gôndolas, sendo sua descarga efetuada em “Car-dumpers” nos portos.

Estes vagões possuem como característica principal o baixo custo em manutenção.

Os vagões da série GDT da empresa MRS Logística, representam 58% do total em circulação na malha da presente empresa.

Quanto a sua capacidade de carga, estão divididos entre 120 e 130 toneladas conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 1: Vagões ativos da frita GDT

VAGÕES	
FROTA	ATIVOS
GDT DUAL 120	2545
GDT DUAL 130	5743
GDT MADRINHA 120	25
GDT MADRINHA 130	50
GDT SINGELO 130	739
GDT SINGELO 120	770
TOTAL	9872

Fonte: Sislog. MRS 2015

Apesar de serem projetados para 130 toneladas, alguns vagões GDT circulam com rodeiros e truque de 120 toneladas, devido ao intercâmbio entre frotas similares que utilizam o mesmo tipo de truque e rodeiro.

Por esse motivo, ajustes estão sendo realizados através do sucateamento dos componentes, onde são substituídos por itens novos de 130 toneladas. Deste modo, estima-se até 2022 a migração de toda a frota.

Quanto aos ciclos de revisões da frota GTD são estabelecidos em função da vida útil dos materiais e componentes, sendo determinadas pela quilometragem em circulação de cada vagão, com exceção as corretivas programadas.

Em 2002, em parceria com a NRC, criou-se um projeto denominado, “roda-trilho”, com a finalidade de redução dos custos em manutenções, foi verificado e proposto alterações em estratégias e práticas de manutenções que geraram um resultado positivo para todo o material rodante e via permanente, entre elas a lubrificação de trilho e melhoria em truques que refletiram diretamente no desempenho do rodeiro (SISDELE, 2003).

Através de análises realizadas no traçado da malha da MRS, em 2009 foi proposto pela NRC à alteração no perfil da roda, migrando do perfil AAR 1 B para o perfil NRC em conjunto com a alteração na estrutura da roda, saindo da classe C para a D fabricadas em aço micro ligadas com durezas em torno de 420 HB (KALUSER, 2009).

Para maior eficiência do rodeiro e eliminação dos desgastes indesejáveis como, Shelling, Hollow e variações no friso, iniciou-se os trabalhos de melhoria nos truques denominado

“Retrofit”, com alterações fundamentais para melhor capacidade de inscrição em curvas e alinhamento rápido em retas, a lubrificação e calibração dos dimensionas foram pontos importante para a vida útil dos rodeiros .

Desta forma, com todo o processo difundido e praticado, foi determinado e parametrizado o gatilho de manutenção de cada vagão em função do tipo de truque nele instalado, procurando preservar a vida útil dos componentes e evitando falhas prematuras a manutenção foi dividida em 2 grupos principais , VR1 e VR4 (MRS E. V., 2010) cada uma com escopo determinado conforme tabela abaixo.

Tabela 2: Gatilho para manutenção

VAGÕES GDT			
Truque	Percentual da frota	KM VR1	KM VR4
Cruzaço Usinado	3%	300000	900000
Retrofitados novos	1%	300000	900000
Retrofitados MRS	65%	150000	600000
Sem Melhoria	14%	10000	600000
Swing Motion	16%	300000	600000
Escopo de manutenção			
VR1	VR4		
Inspeção em sistema de freio, truque e choque tração. Troca obrigatória de rodeiro	Recuperação do truque sistema de choque de tração e estrutura. Substituir válvula de controle cilindro e ajustador Aplicado escopo da VR1		

Fonte: Meridian MRS

2. JUSTIFICATIVA

2.1 Manutenções dos rodeiros

Em virtude da circulação dos vagões, em média a cada 15 meses os rodeiros são substituídos e destinados às oficinas, onde são inspecionados e usinados.

Atualmente, existem 39.488 rodeiros em circulação e um total de 78.976 rolamentos do tipo AP da classe K e F (TIMKEN, 1999).

Nesse sentido, o processo de usinagem consiste em restabelecer o perfil da roda ao padrão, o que lhe garante o ideal contato com o trilho e a segurança operacional dos vagões, o índice de

sucateamento das rodas mostrado na tabela abaixo, é em torno de 12 % ou seja, a cada 100 rodeiros enviados para a manutenção 12 são desmontados e suas rodas substituídas.

O que diz respeito à manutenção dos rolamentos, está estabelecida em função do tempo, a cada 2 anos os rolamentos são substituídos e encaminhados para manutenção, onde é realizado a inspeção dos componentes e lubrificação dos cones . Cada classe de rolamento possui um percentual de sucateamento diferenciado, conforme apresentado na tabela abaixo, o rolamento da classe K possui menor percentual, isso se explica pelo fato da empresa MRS ter iniciado a aquisição dos primeiros rolamentos em 2004, já os rolamentos da classe F são rolamentos mais antigos, do ano de 1975.

Os custos de manutenção são extremamente elevados, em 2014 a empresa MRS substituiu um total de 20.000 rodeiros, repondo aproximadamente 555 rodas e 456 rolamentos novos por mês para aplicação.

O objetivo desta análise é propor um aumento no período de manutenção dos rodeiros da frota GDT em conjunto com os rolamentos nele instalados, através de análises de desempenho e taxas de desgaste calculado em intervenções.

Tabela 3: Sucateamento de roda e rolamento

Sucateamento	2012	2013	2014	2015	Média
Roda	9,00%	12,00%	13,00%	11,00%	12%
Rolamento Classe F	5,40%	5,70%	5,30%	3%	4,85%
Rolamento Classe K	2,10%	1,20%	1,30%	1,10%	1,43%

Fonte: Base Engenharia de processo MRS

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 TAXAS DE DESGASTES

Por meio de verificações realizadas entre manutenções, foram calculadas as taxas de desgastes por tipo de truque, estabelecendo o intervalo de 1000 km, assim, os modelos radiais como, Swing-Motion e Retrofit novos, apresentaram melhor resultado, em contra partida, os truques sem melhoria apresentaram pior desempenho, por se tratar de truques ainda sem aplicação das técnicas difundidas do programa roda-trilho (CÁLCULO DE TAXA DE DESGASTE , 2014). Resultados apresentado na tabela abaixo.

Tabela 4: Taxa de desgaste por tipo de truque

DESGASTE DE BANDAGEM	
Truque	1000KM/mm
TRUQUE_CRUZAÇO_USINADO	0,0122
TRUQUE_RETROFIT- NOVO	0,0142
TRUQUE_RETROFITADO_MRS	0,0134
TRUQUE_SEM_MELHORIA	0,0136
TRUQUE_SWING_MOTION	0,0092
Média	0,00125

DESGASTE DE FRISO	
Truque	1000KM /mm
TRUQUE_CRUZAÇO_USINADO	0,0122
TRUQUE_RETROFIT-NOVO	0,0142
TRUQUE_RETROFITADO_MRS	0,0077
TRUQUE_SEM_MELHORIA	0,0087
TRUQUE_SWING_MOTION	0,0061
Média	0,00978

Fonte: Base PCM MRS

Diante das manutenções realizadas entre 2014 e 2015, uma amostra de 12.000 rodeiros retirados para usinagem e troca de rolamentos foram avaliadas e verificadas suas características, conforme resultados na tabela abaixo.

Tabela 5: Avaliação dos rodeiros em manutenção

TRUQUE SEM MELHORIA							
Desgaste Bandagem 1000KM mm	Desagaste Friso 1000KM mm	Media de retirada de material mm	Media excentricidade da roda mm	Rodas com Shelling leve	Rodas com Shelling Severo	Media de diferença de diâmetro entre rodas mm	Media de KM dos rodeiros
0,0136	0,0087	4,66	0,57	1%	0,04%	1,38	206.880,62
CONJUNTO DE TRUQUES RETROFITADOS MRS							
Desgaste Bandagem 1000KM mm	Desagaste Friso 1000KM mm	Media de retirada de material mm	Media excentricidade da roda mm	Rodas com Shelling leve	Rodas com Shelling Severo	Media de diferença de diâmetro entre rodas mm	Media de KM dos rodeiros
0,0134	0,0077	3,8	0,57	0,02	0,0001	1,27	198616,67
TRUQUE_SWING_MOTION							
Desgaste Bandagem 1000KM mm	Desagaste Friso 1000KM mm	Media de retirada de material mm	Media excentricidade da roda mm	Rodas com Shelling leve	Rodas com Shelling Severo	Media de diferença de diâmetro entre rodas mm	Media de KM dos rodeiros
0,0092	0,0061	3,96	0,54	0,005	0,0002	1,35	456557,78
TRUQUE_CRUZAÇO_USINADO							
Desgaste Bandagem 1000KM mm	Desagaste Friso 1000KM mm	Media de retirada de material mm	Media excentricidade da roda mm	Rodas com Shelling leve	Rodas com Shelling Severo	Media de diferença de diâmetro entre rodas mm	Media de KM dos rodeiros
0,0122	0,0065	3,74	0,58	0,0034	0,0001	0,81	255958,89
TRUQUE RETROFITADOS NOVOS							
Desgaste Bandagem 1000KM mm	Desagaste Friso 1000KM mm	Media de retirada de material mm	Media excentricidade da roda mm	Rodas com Shelling leve	Rodas com Shelling Severo	Media de diferença de diâmetro entre rodas mm	Media de KM dos rodeiros

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Nesse sentido, as avaliações foram verificadas que o nível de Shelling está controlado.

Defeitos superficiais que poderiam ser fatores prejudiciais à vida permanente e desempenhos do material rodante foram descartados e não levados em considerações, contudo as variações na circunferência da roda como excentricidade e diferença de diâmetros comprovam que os truques estão se inscrevendo bem em curvas.

Em seguida, as baixas taxas de desgastes dos frisos mostraram que o efeito da lubrificação dos trilhos e ajustes na estrutura dos truques gerou um bom resultado para a vida útil do rodeiro, considerando o limite de segurança para frisos desgastados de 21 mm, os rodeiros em condições normais de operação não chegariam nestas condições (MRS E. V., 2010)

3.2 ANÁLISES DO PERFIL

A origem dos movimentos ferroviários deve ser analisada para uma total compreensão da inscrição do contato das rodas com os trilhos, em função da inclinação das pistas de rolamento e da forma de inclinação dos trilhos, a inscrição poderá ocorrer de forma equilibrada ou desbalanceada.

É importante informar, que mesmo em uma condição perfeita de manutenção dos veículos e da via permanente, os efeitos da inscrição serão sentidos podendo, ou não, causar danos e instabilidade conforme as condições em que estas manutenções ocorrerem (KALOUSEK, 2009).

Vale destacar, que o parâmetro mais importante para o contato roda-trilho em tangente é a conicidade efetiva da pista de rolamento (λ), que tem uma grande influência sobre a estabilidade dos rodeiros. Com esta preocupação, medições em rodeiros retirados para manutenção foram realizadas utilizando o medidor de perfil Mini Prof, onde o perfil MV-51-10005-0005-00 representa o perfil original e os números indicam o perfil inspecionado.

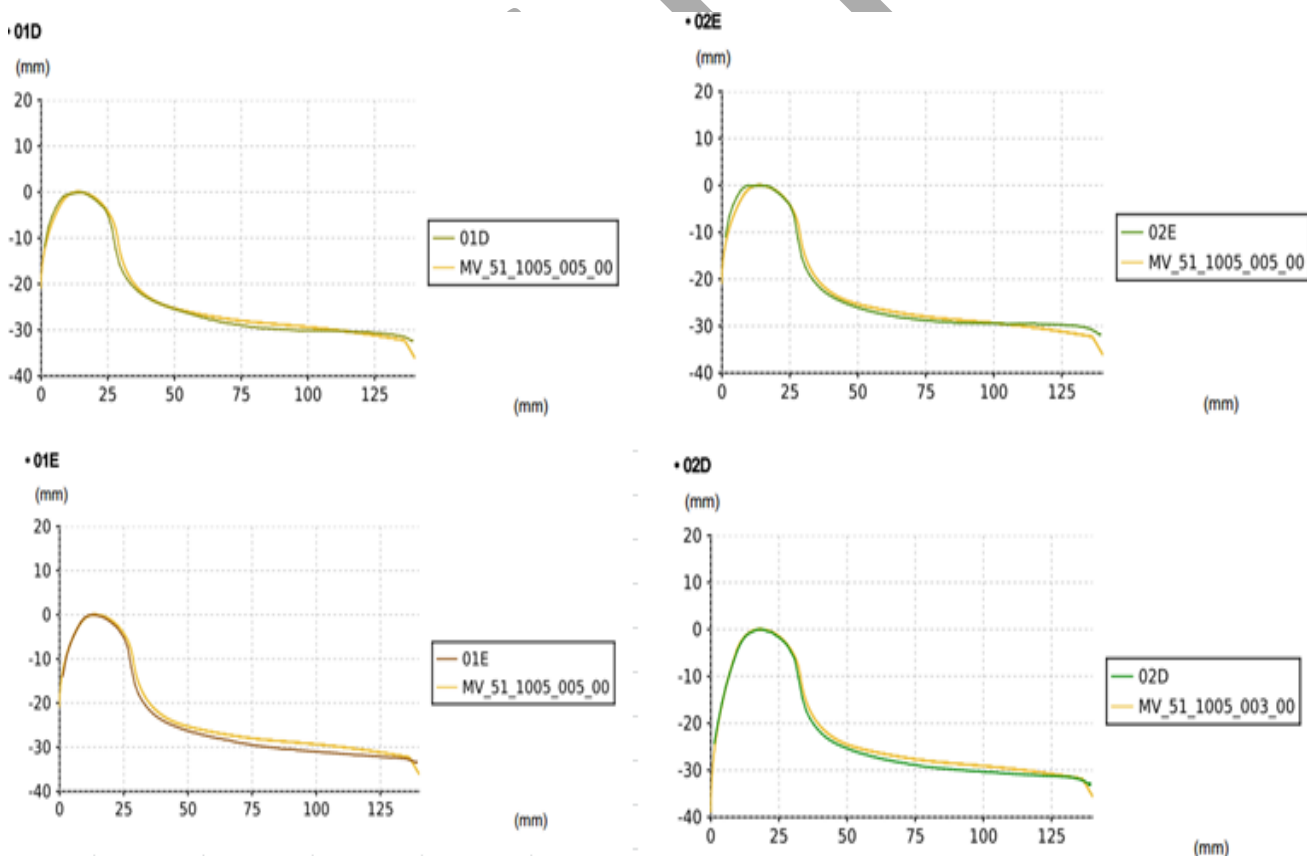


Figura 1: Perfil do rodeiro com ciclo normal de manutenção (225.000,00 km)

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Os perfis em circulação nas condições normais não apresentaram desgastes significativos, a conicidade foi preservada em toda pista de rolagem, os frisos não desgastaram no ponto de contato com o trilho. Outra observação trata-se da presença de desgastes superficiais que poderiam comprometer num maior período de circulação, fato comprovado pelo ensaio de partícula magnética nos pontos de contato da roda no trilho sem presença de desgastes conforme apresentado na figura abaixo.

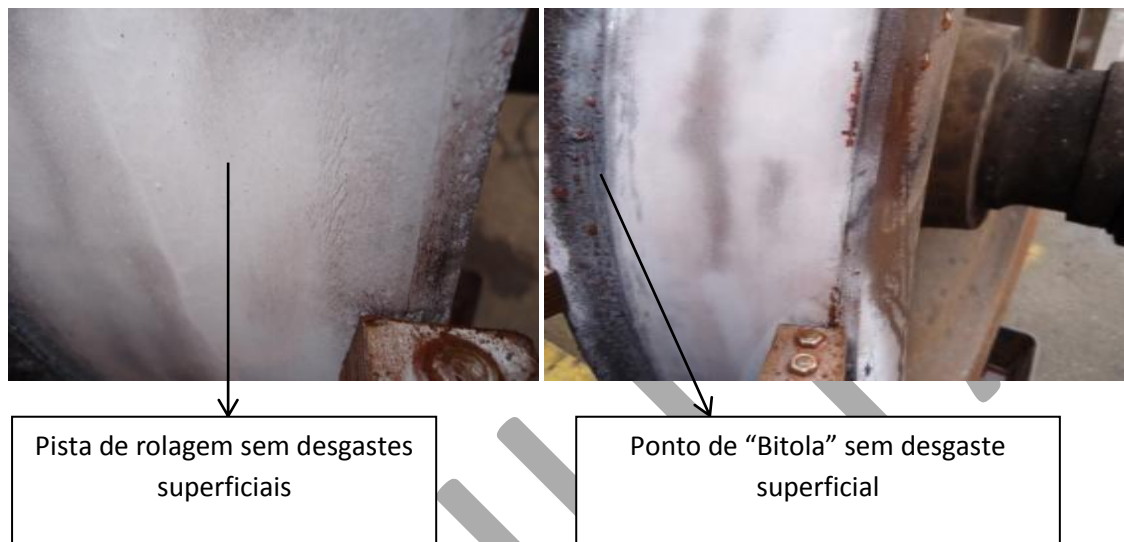


Figura 2: Avaliação de partícula magnética

Fonte: Engenharia de Processo MRS

O comportamento das rodas quanto ao perfil, não é o mesmo em todas as ferrovias, muitas possuem particularidades diferentes que exige o desenvolvimento de um perfil próprio (MINICUCCI, 2006).

No entanto, ainda não possui estudos comprovando o período ideal de manutenção dos rodeiros antes do início dos desgastes, portanto, para verificação da eficiência das rodas ensaio em rodeiros com Km acima das condições estabelecidas, foi realizado conforme resultado apresentado nas figuras abaixo.

MV-51-10005-0005-00
PERFIL ORIGINAL MRS

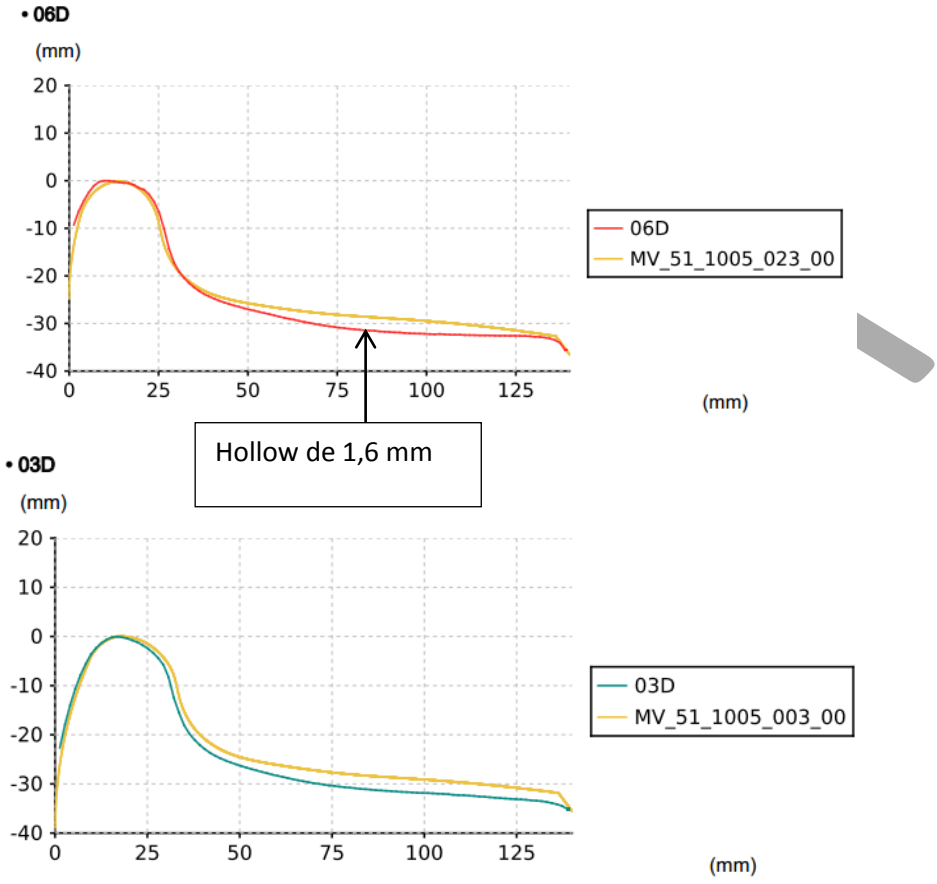


Figura 3: Perfil com km acima das condições estabelecidas (478.435,00 km)

Fonte: Engenharia de Processo MRS



Figura 4: Avaliação de partícula magnética com 478.435,00 km

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Observa-se nos defeitos apresentados acima, a perda de conicidade da pista de rolamento (λ). Este fato pode ser verificado pela concavidade formada na região da pista de rolagem denominada de Hollow, com deformação em torno de 1,6 mm na região do contato da roda com o trilho.

Os desgastes superficiais são gerados pelo acúmulo de ciclos de alta tensão e alta tração na pista de rolamento da roda causando uma fina camada que progressivamente deforma na direção da carga aplicada, já a deformação plástica na superfície uma vez iniciada, endurece e eventualmente trincam, podendo se propagar com os carregamentos subsequentes e se ligar com outras chegando ao descascamento ou escamação de materiais da superfície (“shelling”).

Apesar dos defeitos superficiais e a perda da conicidade da roda apresentada, não houve alterações nas taxas de desgaste dos rodeiros. Estudos comprovam que o hollow abaixo de 2 mm não interfere no contato da roda com o trilho (TOURNAY, 2002). Os desgastes superficiais estão em níveis iniciais e não geraram impacto sobre o trilho.

3.3 ROLAMENTOS

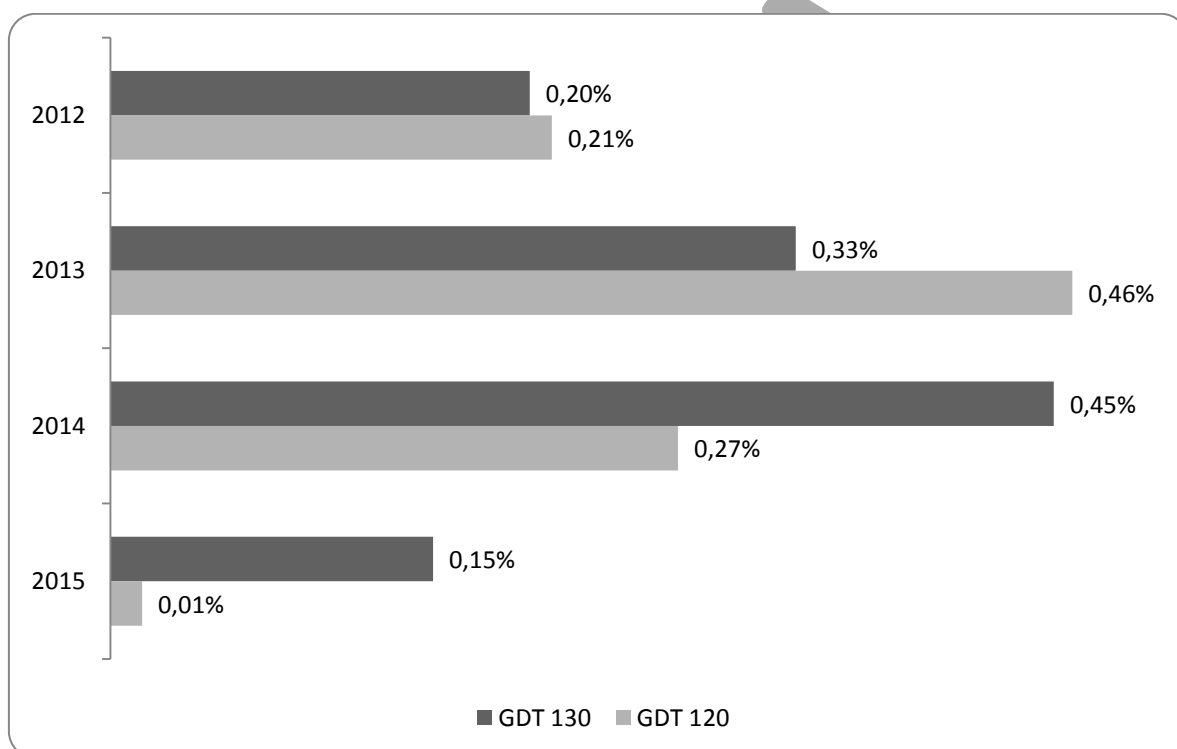
Falhas em rolamentos podem ser causadas por níveis de tensão de contato excessivamente elevados, desalinhamentos, imperfeições no material, folgas internas, excentricidades, corrosão, contaminação do óleo lubrificante, etc. Geralmente, as falhas se manifestam como defeitos nas pistas, nos elementos girantes e/ou na gaiola. O defeito mais frequente em rolamentos é a fadiga, que se caracteriza pelo aparecimento de minúsculas trincas abaixo da superfície do material laminado pela ação das esferas ou roletes.

O monitoramento da frota em circulação é realizado de forma preditiva pelos sensores instalados ao longo da ferrovia. São dois tipos de equipamentos com a finalidade de informar

o início de uma possível falha: o sensor Raillbam que indica o nível de ruído apresentado nos rolamentos, e o sensor de Hot Box que indica as variações de temperatura dos rolamentos, evitando um possível acidente ferroviário ou uma falha mais agravante no vagão.

Para a avaliação dos alarmes gerados em rolamentos da frota GDT analisando os últimos quatro anos com base no sistema Automa Web, foram coletados os dados apresentado na tabela abaixo, totalizando 78.976 rolamentos em circulação.

Tabela 6: Alarmes gerados na frota GDT entre 2012 a 2015



Fonte: Automa Web 2012-2015

O fato do ano de 2012 termos um baixo percentual em relação ao ano de 2013 e 2014 se explica pelos ajustes realizados nos sensores baseado nas evoluções das análises de falhas do período.

A vida útil dos rolamentos está diretamente associada ao aparecimento dos primeiros sinais de fadiga, que se inicia geralmente com a formação de pequenas ranhuras internas que, com o tempo tende a crescer e acabam por comprometer o desempenho do rolamento. A seleção de um rolamento é feita baseado num tempo teórico de vida, em que pelo menos 90 % dos rolamentos utilizados atinjam este tempo, definido como vida L10. Para realizar tal cálculo utiliza-se a equação (FERREIRA, 2010), abaixo apresentada.

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p \quad (1)$$

em que L_{10} : é a vida nominal

C: capacidade de carga dinâmica [N];

P: carga dinâmica equivalente sobre o rolamento [N];

p: é o expoente da fórmula de vida, sendo 3 para rolamentos de esfera e 10/3 para rolamentos de rolos.

Portanto, para avaliar as condições de operacionalidade de um rolamento é necessário considerar o comportamento estatístico de sua vida, desta forma, utilizando como base os rolamentos retirados para manutenção entre 2014 e 2015 estratificados por classes F (120 t) e k (130t).

Para se descrever a distribuição da taxa de falha e confiabilidade dos rolamentos foi utilizada a distribuição de Weibull, o desenvolvimento desta distribuição está relacionado ao problema de falha por fadiga (SANSON & DUARTE, 2005). O resultado desta verificação está apresentado nas figuras 5 e 6 para o rolamento classe F e 7 e 8 para a classe K, estabelecendo o tempo de uma revisão geral do vagão de 2190 dias (6 anos) como foco principal da análise.

A função da confiabilidade e taxa de falha permite estimar a probabilidade de que um componente não venha a falhar durante um determinado intervalo de tempo (SIQUEIRA).

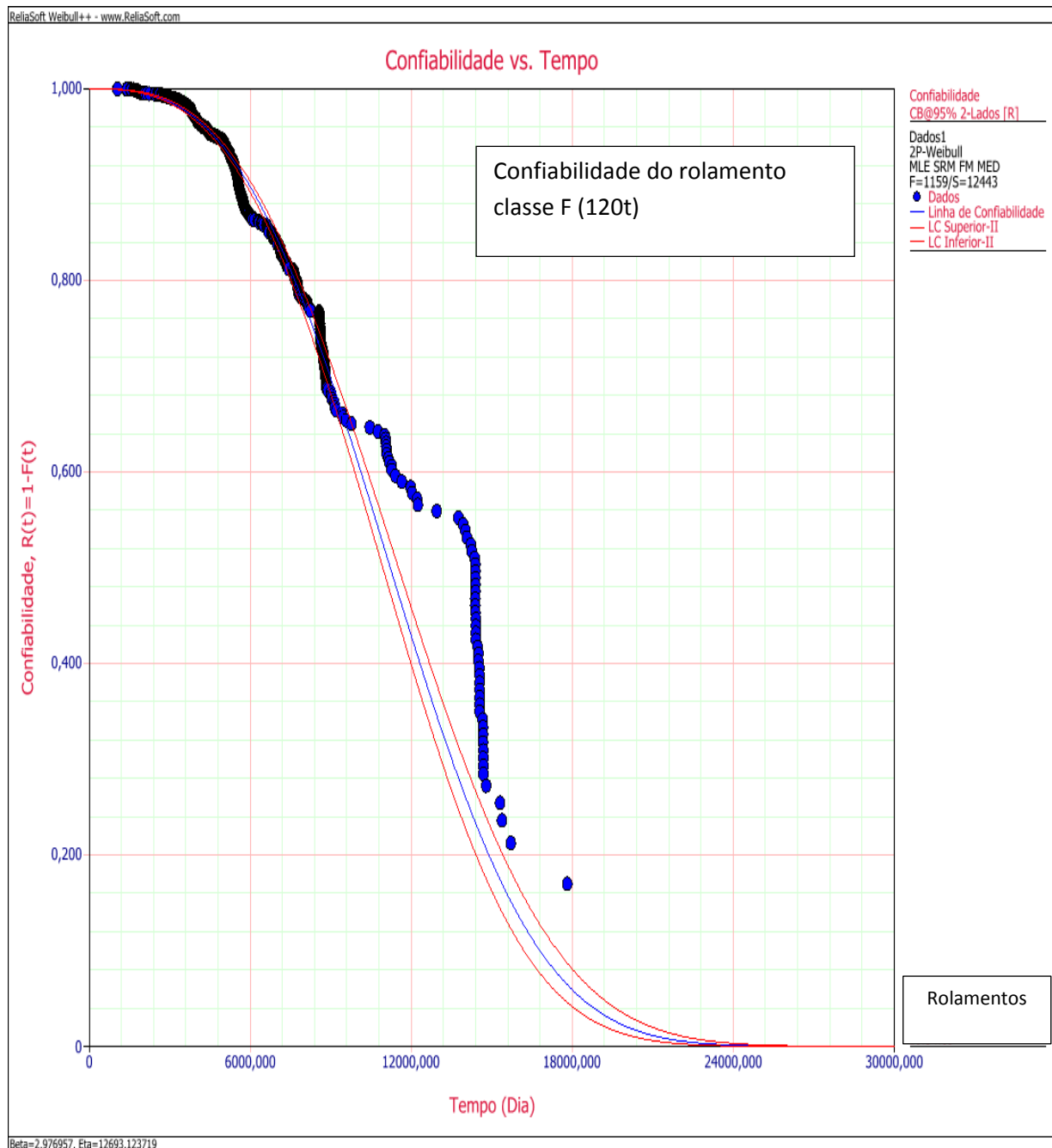


Figura 5: Distribuição de Weibull ,confiabilidade do rolamento classe F

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Confiabilidade de 99,9% para 2190 dias (6anos)

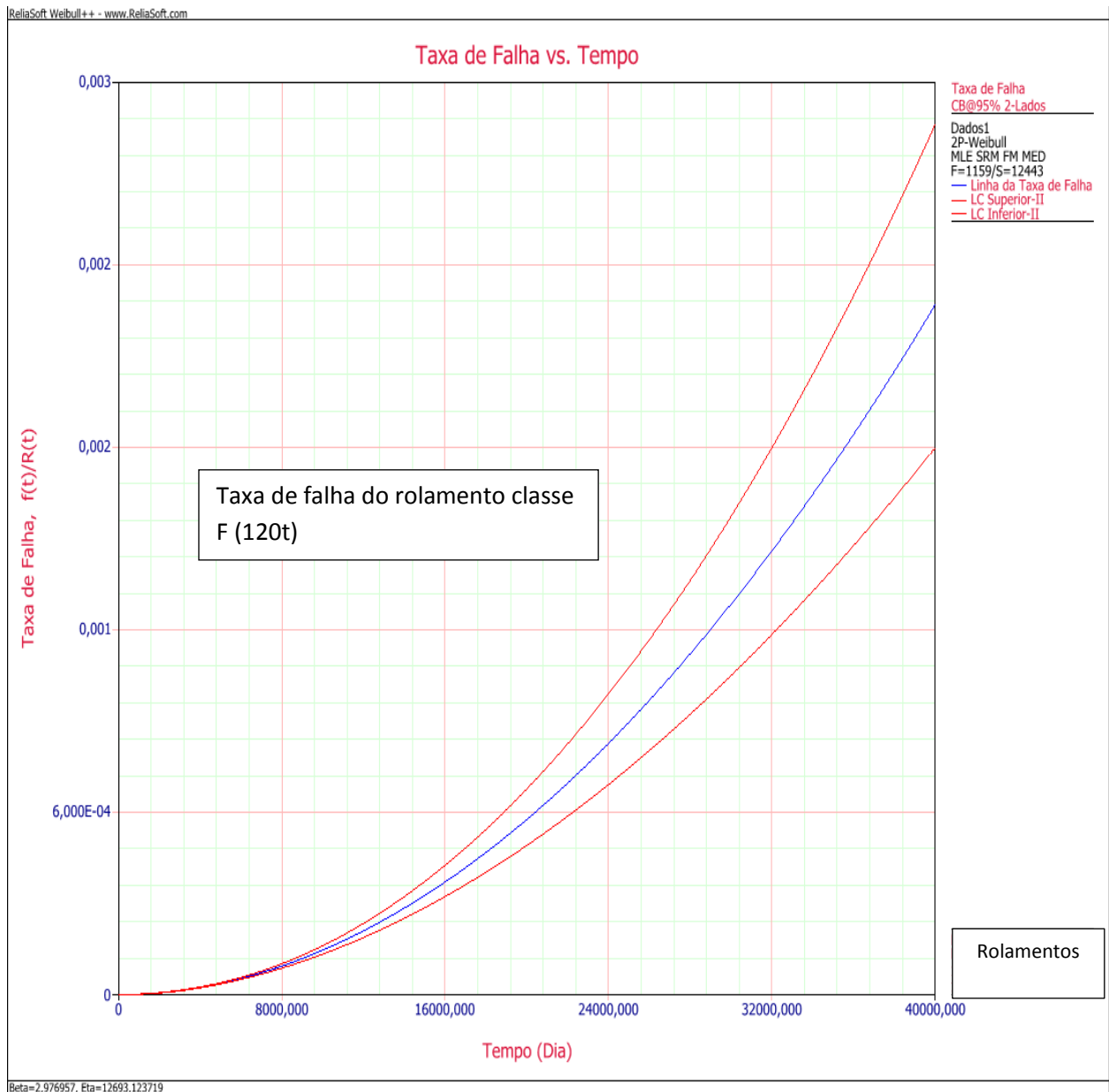


Figura 6: Distribuição de Weibull ,taxa de falha do rolamento classe F

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Taxa <6,000E-04 para 2190 dias (6 anos)

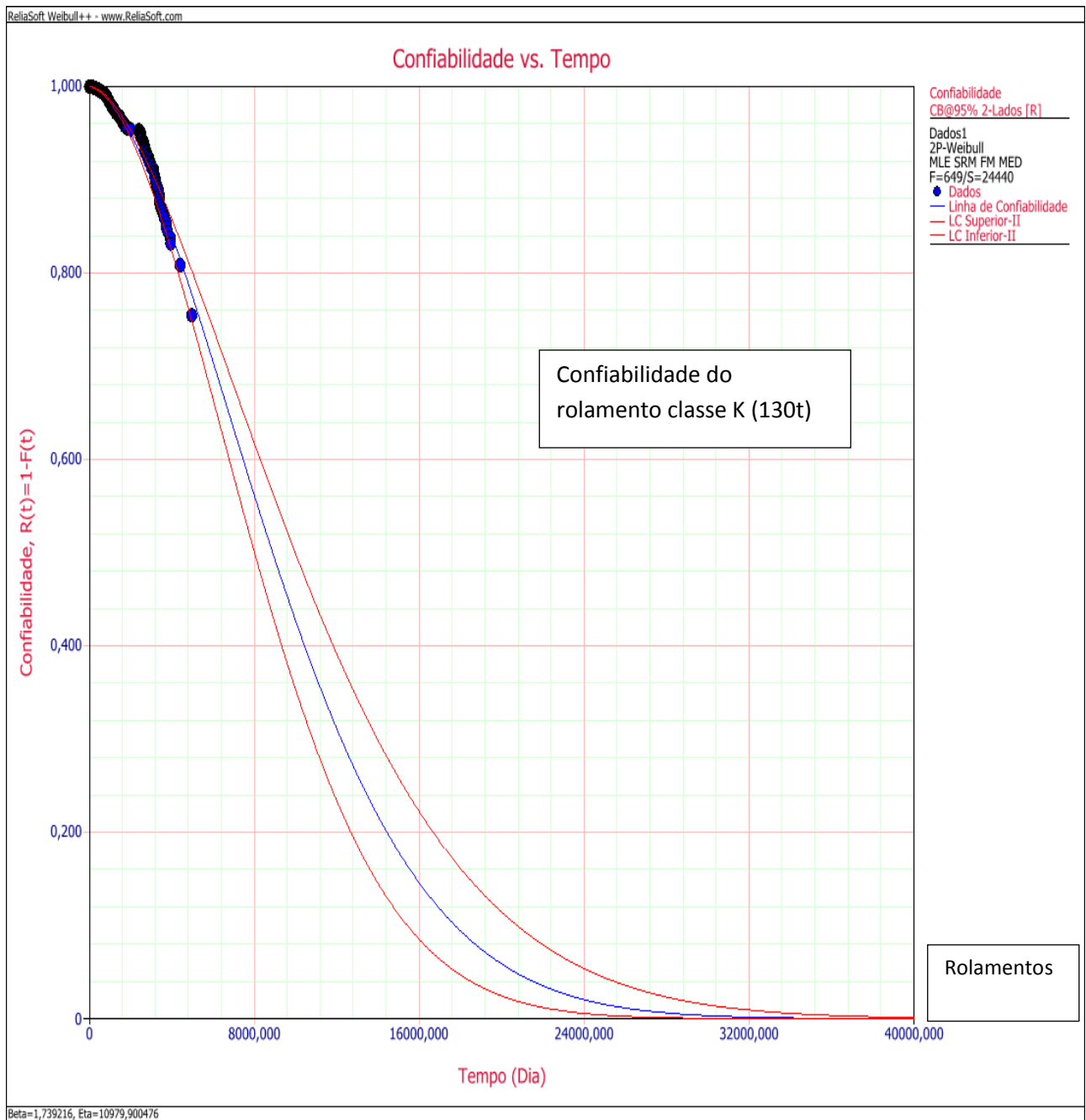


Figura 7: Distribuição de Weibull ,confiabilidade do rolamento classe K

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Confiabilidade de 99% para 2190 dias (6anos)

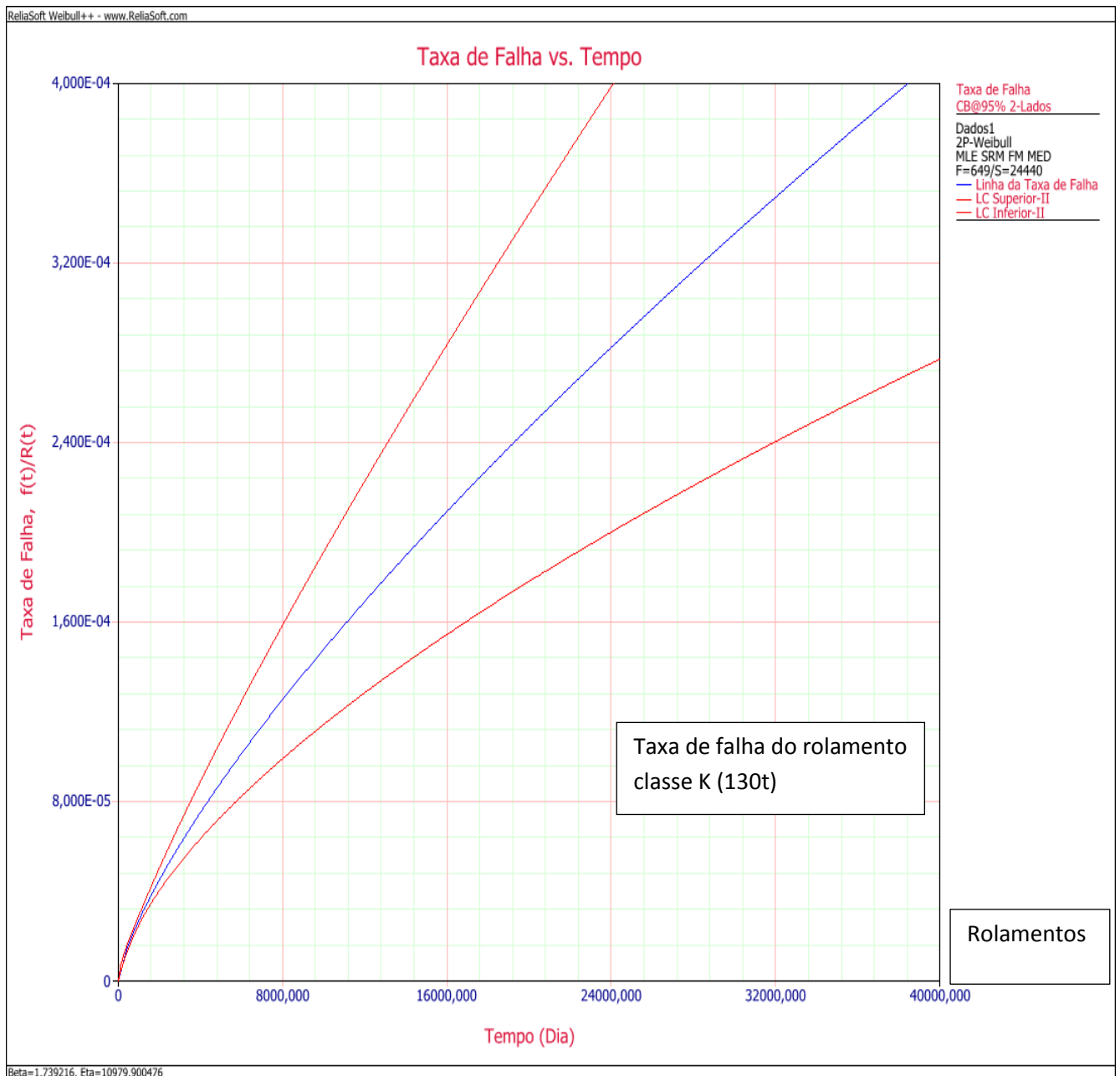


Figura 8: Distribuição de Weibull ,taxa de falha do rolamento classe K

Fonte: Engenharia de Processo MRS

Taxa <8,000E-05 para 2190 dias (6 anos)

4. CONCLUSÕES

Diante do exposto, pode-se concluir que o presente trabalho apresentou uma metodologia para verificar a eficiência dos rodeiros da frota GDT em função do período de manutenção estabelecido pela vida útil dos componentes.

Sendo observada uma baixa taxa de desgastes das rodas entre manutenções, comprovando que o perfil original esta sendo preservado. Apesar dos rodeiros com Km elevados terem apresentado perda de conicidade e Hollow acima do estabelecido pela Engenharia da empresa MRS, estudos comprovam que ainda podem circular por mais um período sem comprometer a eficiência do material rodante.

Com relação aos rolamentos, verificou-se que o tamanho da amostra que falhou foi relativamente pequena, em média de 0,35% do total em circulação.

Diante dos resultados obtidos, constatou que a metodologia proposta é consistente, pois as curvas obtidas se ajustam muito bem aos resultados experimentais. Além disso, considerando o período atual de manutenção de 2 anos, pode-se afirmar que os rolamentos do tipo AP cartuchos são projetados para 100.000 Km entre recondicionamentos (TIMKEN, 1999) , mas podendo variar para cada ferrovia.

Ademais, o gerenciamento dos rodeiros no momento em que as ferrovias buscam aumentar a eficiência do transporte e reduzir seus custos, é uma questão estratégica para a empresa MRS.

Por fim, os estudos aqui apresentados, comprovam que os rodeiros da frota GDT estão com boa performance em circulação, podendo circular 20% a mais do praticado atualmente , em conjunto com o rolamento que pode chegar a 4 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÁLCULO DE TAXA DE DESGASTE , POP-ENG-1006 (2014).

FERREIRA, A. P. (2010). ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DEFEITOS EM ROLAMENTOS FERROVIÁRIOS. BRASÍLIA.

KALOUSEK, J. (2009). *MRS WHEEL/RAIL*. JUIZ DE FORA .

MINICUCCI. (2006). *DESGASTE DE RODAS FERROVIÁRIAS*.

MRS. (2012-2015). AUTOMA WEB.

MRS. (s.d.). *MERIDIAN*.

MRS PROCESSOS , ENGENHARIA DE PROCESSO .

MRS. (s.d.). *SISLOG*.

MRS, E. V. (2010). MANUTENÇÕES DO GDT. Juiz De Fora.

SANSON, F., & DUARTE, J. L. (2005). *CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO*.

SIQUEIRA, I. P. (s.d.). *MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE* .

SISDELE, A. (2003). *RODA TRILHO*.

TIMKEN. (1999). *APTTM BEARING INSTALLATION AND MAINTENANCER INSTRUCTIONS*.

TOURNAY. (2002). *RAIL/WHEEL INTERACTION FROM A TRACK AND VEHICLE* .