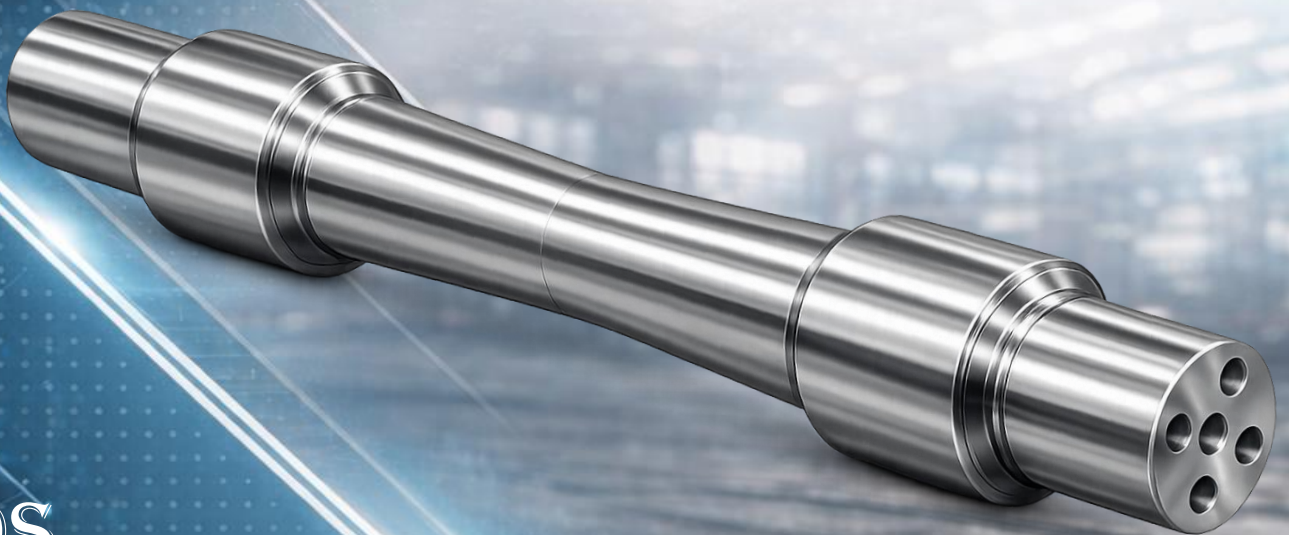




IQF

INSTITUTO DA QUALIDADE
FERROVIÁRIA

REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE



EIXOS METROVIÁRIOS

SÍNTESE:

Definir os requisitos de validação de conformidade para a produção de eixos metroferroviários.

ELABORADO POR:

Comitê de eixo metroferroviário



SUMÁRIO

1	OBJETIVO	4
2	REFERÊNCIAS	4
3	DEFINIÇÕES	4
3.1	TIPO DE EIXO	5
3.1.1	EIXOS PARA CARGA E PASSAGEIRO PADRÃO AAR M-101	5
3.1.2	EIXOS PARA CARGA E PASSAGEIRO PADRÃO EN 13261	5
4	APLICAÇÃO	6
5	ENSAIOS PARA EIXOS DE CARGA PADRÃO AAR	6
5.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	6
5.1.1	PROCESSO	6
5.1.2	ANÁLISE DE PANELA	6
5.1.3	ANÁLISE DE VERIFICAÇÃO (<i>CHECK ANALYSIS</i>)	7
5.2	METALOGRAFIA	7
5.2.1	TAMANHO DE GRÃO E MICROESTRUTURA	7
5.2.2	LIMPEZA DO AÇO (NÍVEL DE INCLUSÕES)	8
5.3	ENSAIOS MECÂNICOS	8
5.3.1	ENSAIO DE TRAÇÃO	8
5.4	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	9
6	ENSAIOS PARA EIXOS DE PASSAGEIRO PADRÃO EN 13261	9
6.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	9
6.2	METALOGRAFIA	10
6.2.1	TAMANHO DE GRÃO E MICROESTRUTURA	10
6.2.2	LIMPEZA DO AÇO	11
6.3	ENSAIOS MECÂNICOS	11
6.3.1	ENSAIO DE TRAÇÃO	11
6.3.2	ENSAIO DE IMPACTO (CHARPY)	12

6.4	CARACTERÍSTICAS DE FADIGA	13
6.5	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	16
7	PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO E CONTRA AGRESSÕES MECÂNICAS	16
8	DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS	17
9	MARCAÇÃO DO EIXO	21
10	ACABAMENTO	21
11	DEFEITOS SUPERFICIAIS	22
11.1	DEFEITOS NA SEDE DO ROLAMENTO E NO GUARDA-PÓ	22
11.2	DEFEITOS NA SEDE DA RODA E NA ENGRENAGEM	22
11.3	DEFEITOS NAS REGIÕES COMPREENDIDAS ENTRE AS RODAS	23
12	DOCUMENTAÇÃO DO EIXO	23
12.1	INFORMAÇÕES PRELIMINARES	23
12.2	RELATÓRIO DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA, CONTENDO O TEOR DE HIDROGÊNIO (H) NO AÇO	24
12.3	RESULTADOS DOS ENSAIOS EXIGIDOS	24
13	REGISTROS	24
14	PROCEDIMENTOS	25
15	CALIBRAÇÃO	25
16	COMPETÊNCIA	25
17	HISTÓRICO DAS MODIFICAÇÕES	26

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_001
		Página 4 de 26

1 OBJETIVO

Este documento define as métricas para inspeção, controle de qualidade e ensaios na fabricação de eixos metroferroviários, visando garantir o atendimento aos requisitos do projeto. O objetivo é assegurar que os eixos possuam as características técnicas, propriedades mecânicas e dimensões corretas, garantindo sua segurança e integridade.

2 REFERÊNCIAS

- NBR 5559 - Rodas e Eixos Metroferroviários – Requisitos e Métodos de Ensaio;
- AAR M-101 - *Specification for the Manufacture of Railroad Wheels*;
- EN 13261 - *Railway Applications Wheelsets and Bogies Axles Product Requirements – British Standard*;
- ISO 22163 - Sistemas Ferroviários - Sistema de Gestão da Qualidade para Ferroviárias;
- ASTN STN-TC-1A – *Personnel Qualification and Certification ins Nondestructive Testing*;
- SNQC – Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (ABENDI);
- VDA 6.3 (*Verband der Automobilindustrie*);
- ISO 4967 - *Steel — Determination of content of non-metallic inclusions — Micrographic method using standard diagrams*;
- ASTM A 370 - *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*;
- ISO/TR 9769 - *Steel and iron — Review of available methods of analysis*;
- ISO 643 - *Steels — Micrographic determination of the apparent grain size*;
- EN 10.002-1 - *Metallic materials – Tensile testing*;
- EN ISO 148-1 - *Metallic materials – Charpy impact test*;
- ASTM E 112 - Métodos de teste padrão para determinar o tamanho médio do grão.

3 DEFINIÇÕES

Os eixos metroferroviários são divididos em duas grandes famílias, eixos para carga e passageiros. No Brasil temos a predominância da norma AAR M-101 que foi concebida para área de carga, mas também é utilizada em passageiros, porém alguns vagões de passageiros de origem europeia ou asiática, tem seus eixos normalizados pela norma EN 13261, que foi idealizada para atender a área de passageiros de média e alta velocidade.

3.1 TIPO DE EIXO

O eixo utilizado em vagões deve ser classificado de acordo com a bitola e a dimensão nominal de sua manga.

3.1.1 EIXOS PARA CARGA E PASSAGEIRO PADRÃO AAR M-101

Os eixos para carga são divididos nos seguintes grupos (graus):

Grau F – Dupla normalização e revenimento (todos os eixos de vagão acima de 6 ½ polegadas de diâmetro (165,1 mm) na parte central (corpo) devem ser grau F);

Grau G – Temperado e revenido;

Grau H – Normalizado, temperado e revenido.

Classe do eixo por bitola		Dimensão nominal da manga (mm)	
Métrica (1,00 m)	Larga (1,60 m)	Diâmetro	Comprimento
A	-	95,25 (3 ¾)	177,80 (7)
B	P	107,95 (4 ¼)	203,20 (8)
C	Q	127,00 (5)	228,60 (9)
D	R	139,70 (5 ½)	254,00 (10)
E	S	152,40 (6)	279,40 (11)
F	T	165,10 (6 ½)	304,80 (12)
G	U	177,80 (7)	304,80 (12)
K	T	165,10 (6 ½)	228,60 (9)
NOTA 1: Para bitolas diferentes de 1,00 m e de 1,60 m, são admitidos eixos com outras dimensões, desde que atendam aos demais requisitos desta norma.			
NOTA 2: Os valores entre parênteses correspondem às referências internacionais em polegadas.			

Tabela 1: Classe do eixo metroferroviário

Para aplicação em carros de passageiros, o tratamento térmico do eixo classificado como grau F deve ser complementado com têmpera subcrítica, a fim de gerar tensões compressivas superficiais, melhorando o desempenho em fadiga.

3.1.2 EIXOS PARA CARGA E PASSAGEIRO PADRÃO EN 13261

Classificação do componente, com base em aspectos operacionais, que determina a lista de requisitos a serem aplicados.

A categoria 1 é geralmente selecionada quando a velocidade operacional do trem é superior a 200 km/h.

A categoria 2 é geralmente selecionada quando a velocidade operacional é igual ou inferior a 200 km/h.

Essas categorias também podem ser definidas de acordo com a especificação técnica.

4 APLICAÇÃO

Fabricação de eixos metroferroviários.

5 ENSAIOS PARA EIXOS DE CARGA PADRÃO AAR

5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

5.1.1 PROCESSO

O aço utilizado para fabricação dos eixos deverá ser desgaseificado com teor máximo de hidrogênio de 2,5 ppm (2,5 partes por milhão) medido no aço líquido antes do lingotamento, comprovado em certificado fornecido pelo fabricante. Os eixos obrigatoriamente terão que ser forjados.

5.1.2 ANÁLISE DE PANELA

Para verificar a composição química a amostra deverá ser retirada a meio raio entre o centro e a superfície do eixo com tamanho suficiente para ser analisada em espectômetro de emissão óptica. A análise de cada corrida deve ser feita pelo fabricante para determinar a composição química de acordo com a Tabela 2.

Elementos Químicos	Grau dos eixos tratados termicamente			
	Grau F		Grau G e H	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Carbono (C)	0,45	0,59	-	-
Manganês (Mn)	0,70	1,00	0,60	0,90
Fósforo (P)	-	0,045	-	0,045
Enxofre (S)	-	0,050	-	0,050
Silício (Si)	0,15	-	0,15	-
Vanádio (V)	0,02	0,08	-	-

Tabela 2: Composição química dos eixos

5.1.3 ANÁLISE DE VERIFICAÇÃO (*CHECK ANALYSIS*)

A análise de verificação deve ser feita pelo comprador em um eixo que represente a corrida. A amostra desta análise pode ser retirada da extremidade do corpo de prova de tração ou do prolongamento do eixo destinado a ensaio em um ponto entre o centro e a superfície. Se for usado o método da furação para análise com o cavaco, isto deve ser feito com broca de 15,87 mm (5/8 "). As tolerâncias permitidas são as relacionadas na Tabela 3.

Elemento Químico	Tolerância (%)
Manganês (Mn)	$\pm 0,030$
Fósforo (P)	$\pm 0,008$
Enxofre (S)	$\pm 0,008$
Silício (Si)	$\pm 0,020$
Vanádio (V)	$\pm 0,001$

Tabela 3: Variações permitidas na composição química (*check analysis*)

5.2 METALOGRAFIA

5.2.1 TAMANHO DE GRÃO E MICROESTRUTURA

A amostra para metalografia deve representar cada tipo de eixo e cada fabricante, o qual deve ser removido da cabeça do corpo de prova utilizado para o ensaio de tração. A seção para análise de tamanho de grão e microestrutura deve ser cortada da área maior do corpo de prova de tração que não tenha sido destruída no ensaio (cabeça do corpo de prova), de forma que seja transversal ao eixo.

O corpo de prova deve ser polido, livre de riscos e atacado com nital para definir a microestrutura a qual deve ser analisada com aumento de 100X. Todo corpo de prova deve mostrar uma microestrutura uniforme com tamanho de grão 5 ou mais fino, medido conforme ASTM E 112 (última revisão).

Corpos de prova de eixos grau F deverão ter microestrutura perlítica+ferrítica, nos eixos grau G e H é permitido uma fina camada de bainita superficial oriunda da têmpera.

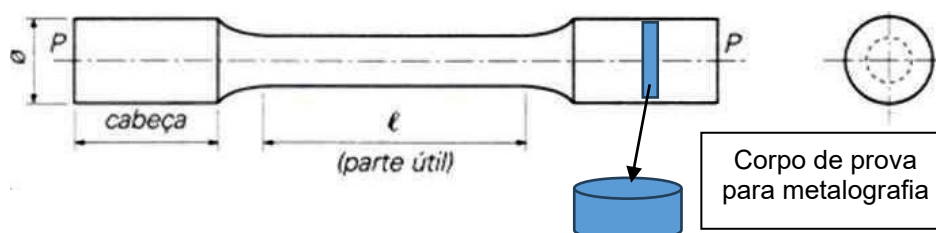


Figura 1: Corpo de prova de metalografia.

5.2.2 LIMPEZA DO AÇO (NÍVEL DE INCLUSÕES)

O corpo de prova para verificar a limpeza do aço deve representar cada tipo de eixo e cada fabricante, o qual deve ser extraído do eixo acabado conforme segue:

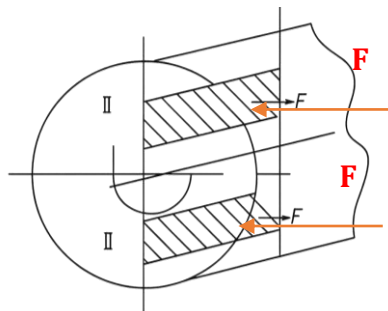


Figura 2: Corpo de prova para limpeza do aço.

A análise de limpeza do aço deve ser feita conforme norma ISO 4967 – método A. A análise deve contemplar numa área plana de 200 mm² perpendicular à flexa “F” (figura 2), a meio raio entre a superfície e a parte central do eixo acabado. O corpo de prova deverá ser removido da maior seção do eixo. Os resultados deverão estar conforme tabela a seguir:

Tipo de Inclusões	Série Fina	Série Grossa
A – Enxofre (S)	1,5	2,0
B – Aluminato (Alm)	1,5	2,0
C – Silicato (Sil)	1,5	2,0
D - Óxido Globular (OG)	1,5	2,0
B + C + D	3,0	4,0

Tabela 4: Grau de limpeza do aço (ISO 4967 – método A)

5.3 ENSAIOS MECÂNICOS

5.3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Para o ensaio de tração, dois corpos de prova devem ser extraídos da mesma manga do eixo, defasados a 120° um do outro. Os corpos de prova de tração devem representar cada tipo de eixo e cada fabricante, os quais devem ser retirados da manga na posição de meio raio entre a superfície e o centro do eixo acabado e tratado termicamente. O ensaio de tração deverá ser executado conforme ASTM A 370 (última revisão).

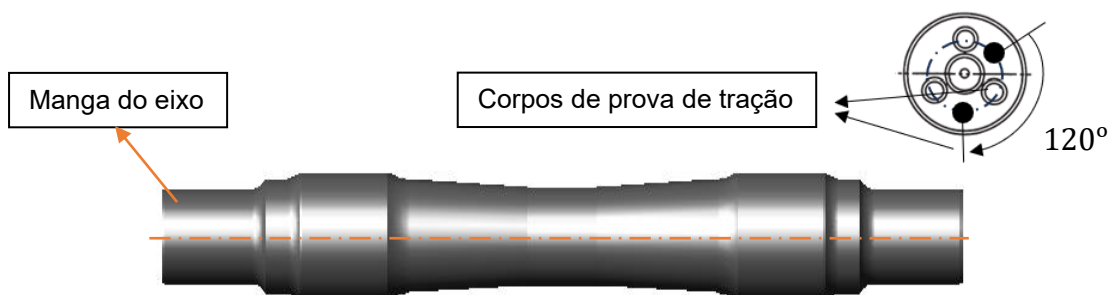


Figura 3: Eixo ferroviário com localização do corpo de prova de tração.

Os resultados dos ensaios de tração deverão estar conforme os valores da tabela a seguir:

GRAU	Diâmetro da manga (mm)		Limite de resistência (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo
F	-	203	607	345	20	35
G	-	102	620	379	20	39
	102	178	586	345	20	39
	178	254	586	345	19	37
H	-	178	793	517	16	35
	178	254	724	448	18	35

Tabela 5: Resultados para ensaio de tração em eixos para carga

5.4 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

Caso haja reprovação em qualquer ensaio exigido, o item de reprova deverá ser repetido mais duas vezes com corpos de prova extraídos do mesmo eixo conforme orientações desta especificação. Se os dois testes adicionais forem aprovados, o eixo estará aprovado, caso contrário será reprovado.

6 ENSAIOS PARA EIXOS DE PASSAGEIRO PADRÃO EN 13261

Os eixos fabricados conforme norma EN 13261 devem ser ensaios conforme as etapas a seguir.

6.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os eixos de passageiro do item 6 são classificados conforme a composição química que consta na tabela a seguir, onde a letra “T” significa material temperado e a letra “N” normalizado:

Material	C	Si	Mn	P*	S**	Cr	Cu	Mo	Ni	V
EA1N	0,40	0,50	1,20	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06
EA1T	0,40	0,50	1,20	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06
EA4T	0,22/0,29	0,15/0,40	0,50/0,80	0,020	0,015	0,90/1,2	0,30	0,15/0,30	0,30	0,06

* Concentração máxima de 0,025% de fósforo (P) deve ser concordada no momento do processo de aquisição.

** Concentração mínima de enxofre (S) que deve ser especificada no momento da aquisição, conforme o processo de fabricação do aço para assegurar que não ocorram trincas por oxigênio.

Tabela 6: Composição Química para eixos (máximo % em peso)

A amostra para composição química deverá ser retirada a meio raio entre o centro e a superfície do eixo. A verificação da composição química será feita em espectômetro de emissão óptica conforme ISO/TR 9769.

6.2 METALOGRAFIA

6.2.1 TAMANHO DE GRÃO E MICROESTRUTURA

O corpo de prova para metalografia deve representar cada tipo de eixo e cada fabricante, retirado da maior seção do eixo, analisado numa área de 200 mm², perpendicular a flexa "F", situado a meio raio entre a superfície e o centro do eixo, conforme figura a seguir:

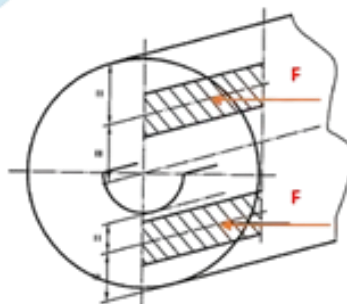


Figura 4: Localização do corpo de prova para microestrutura e tamanho de grão.

A microestrutura deverá ser apenas perlítica com tamanho de grão 5 ou mais fino conforme ISO 643 – Anexo B.

6.2.2 LIMPEZA DO AÇO

A limpeza do aço deve seguir as especificações do requisito 5.2.2 desta especificação.

6.3 ENSAIOS MECÂNICOS

6.3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os corpos de prova para ensaio de tração deverão ser extraídos de três lugares diferentes do eixo acabado conforme segue:

- Próximo à superfície do eixo;
- Meio raio entre a superfície e o meio do eixo;
- Meio do eixo.

O ensaio de tração deverá ser realizado conforme EN 10.002-1. O menor diâmetro do corpo de prova deve ter pelo menos 10 mm e comprimento de pelo menos cinco vezes o seu menor diâmetro.

A figura a seguir mostra a posição dos corpos de prova de tração.

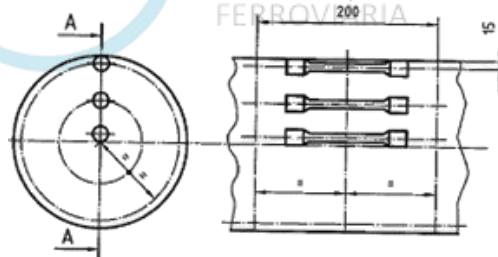


Figura 5: Localização dos corpos de prova de tração.

A tabela a seguir mostra os resultados a serem obtidos nos ensaios de tração tendo como referência o corpo de prova a meio raio:

Material	Limite de escoamento (N/mm ²)	Limite de resistência (N/mm ²)	Alongamento (%)
EA1N	≥ 320	550 – 650	≥ 22
EA1T	≥ 350	550 – 700	≥ 24
EA4T	≥ 420	650 – 800	≥ 18

Tabela 7: Resultados do ensaio de tração a meio raio

O valor de tração do corpo de prova perto da superfície deverá ser maior ou igual a 0,95 do valor da tabela 7 do item 6.3.1, bem como, o valor do corpo de prova próximo ao centro do eixo deverá ser maior ou igual a 0,8 do valor da tabela 7 do item 6.3.1.

6.3.2 ENSAIO DE IMPACTO (CHARPY)

Os corpos de prova para ensaio de impacto deverão ser extraídos de três lugares diferentes do eixo acabado com entalhe em “U” conforme segue:

- Próximo à superfície do eixo;
- Meio raio entre a superfície e o meio do eixo;
- Meio do eixo.

O ensaio de impacto (*Charpy*) deve ser feito a 20 °C nas direções longitudinal e transversal em 6 posições (3 corpos de prova por posição) conforme figura 6.

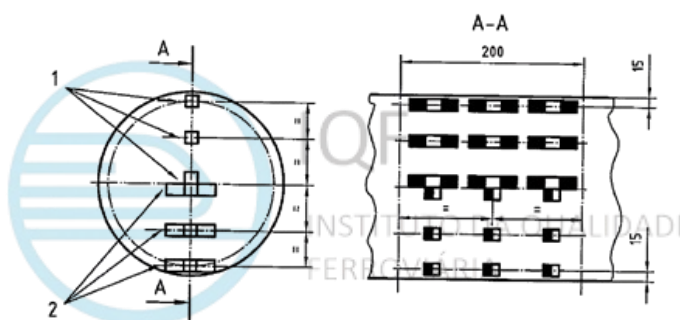


Figura 6: Posição dos corpos de prova para ensaio de impacto.

O ensaio deverá ser realizado conforme EN ISO 148-1 A média dos valores que devem ser obtidos nos raios médios para eixos sólidos conforme tabela a seguir:

Material	KU média longitudinal (J)	KU mínimo longitudinal (J)	KU média transversal (J)	KU mínimo transversal (J)
EA1N	≥ 30	≥ 21	≥ 20	≥ 14
EA1T	≥ 40	≥ 28	≥ 25	≥ 18
EA4T	≥ 40	≥ 28	≥ 25	≥ 18

Tabela 8: Resultados do ensaio de impacto a meio raio

Os valores de impacto dos corpos de prova perto da superfície deverão ser maiores ou igual a 0,95 do valor da tabela 8 do item 6.3.2, bem como, os valores dos corpos de prova próximo ao centro do eixo deverão ser maiores ou igual a 0,8 do valor da tabela 8 do item 6.3.2. O valor mínimo individual dos corpos de prova longitudinal deverá ser 70% dos valores da tabela 8 do item 6.3.2.

6.4 CARACTERÍSTICAS DE FADIGA

Deve-se determinar os limites de fadiga nas duas áreas a seguir, a fim de prever o comportamento do eixo sob tensões durante a operação:

- a) Para o material, os ensaios são realizados em corpos de prova de pequena escala, cujos formatos não dependem da geometria do produto;
- b) Para o produto, os ensaios são realizados em corpos de prova em tamanho real, com dimensões e processo de fabricação similares aos do produto final, incluindo os defeitos de fabricação admissíveis.

Os limites de fadiga definidos para corpos de prova reduzidos são utilizados para verificar se o efeito de entalhe do material utilizado na fabricação do eixo está de acordo com o coeficiente de segurança "S" definido nas normas de projeto EN 13103-1:2017+A1 e CEN/TS 13103-2. Eles são determinados a partir de:

- a) Corpos de prova de superfície sem entalhe (limite de fadiga R_1);
- b) Corpos de prova com entalhe (limite de fadiga R_2).

Os limites determinados em corpos de prova em tamanho real visam verificar se as características de fadiga estão de acordo com aquelas utilizadas para o cálculo das tensões máximas admissíveis indicadas nas normas de projeto EN 13103-1:2017+A1 e CEN/TS 13103-2.

Esses limites de fadiga se aplicam a diferentes áreas do eixo. Somente os limites de fadiga aplicáveis ao corpo do eixo são considerados neste documento.

NOTA: Os limites aplicáveis aos assentos do eixo dependem parcialmente da montagem e são referidos na EN 13260. É necessário definir dois limites de fadiga:

- a) Na superfície do corpo, limite F_1 ;
- b) Na superfície do furo, no caso de um eixo oco, limite F_2 .

Grau	F ₁ (MPa)	F ₂ (MPa)	R ₁ (MPa)	R ₂ (MPa)	q = R ₁ / R ₂ * (valores informativos)
EA1N	≥ 200	≥ 80	≥ 250	≥ 170	≤ 1,47
EA1T	≥ 200	≥ 80	≥ 250	≥ 170	≤ 1,47
EA4T	≥ 240	≥ 96	≥ 350	≥ 215	≤ 1,63

* Os limites de fadiga para amostras de corpos de prova com e sem entalhe na Tabela 4 são usados como referência para calcular os fatores de segurança na norma EN 13103-1+A1, que são válidos para: q ≤ 1,47 para EA1N e EA1T; e q ≤ 1,63 para EA4T.

Tabela 9: Valores limite de fadiga

Para a determinação dos limites de fadiga, os corpos de prova devem ser confeccionados de acordo com as especificações geométricas indicadas nas figuras a seguir:

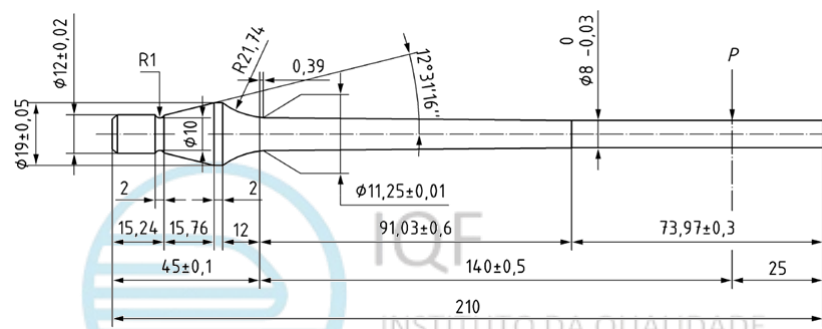


Figura 7: Corpo de prova em pequena escala para determinação do limite de fadiga do aço (exemplo 1)

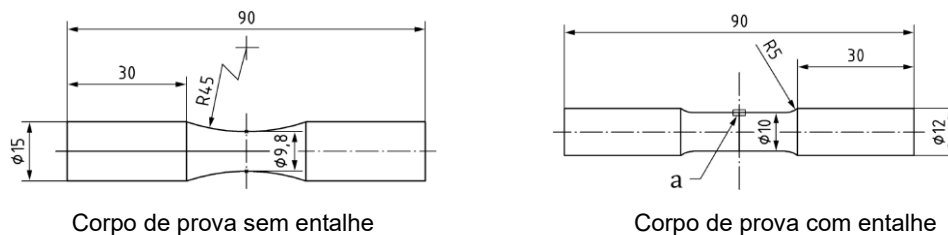


Figura 8: Corpo de prova em pequena escala para determinação do limite de fadiga do aço (exemplo 2)

Legenda: a = entalhe conforme a figura 9.

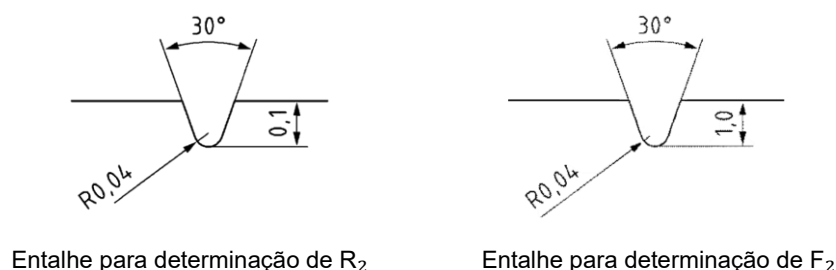


Figura 9: Entalhes do corpo de prova para ensaio de fadiga

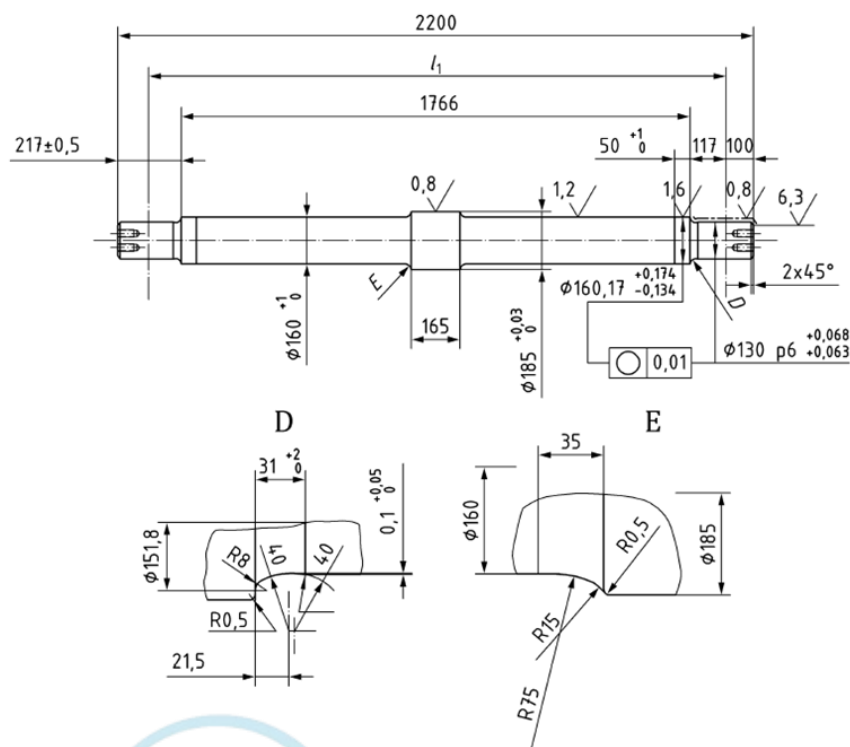


Figura 10: Corpo de prova em tamanho real para ensaio de fadiga (exemplo 1)

Legenda: l_1 = distância centro a centro dos munhões 2000.

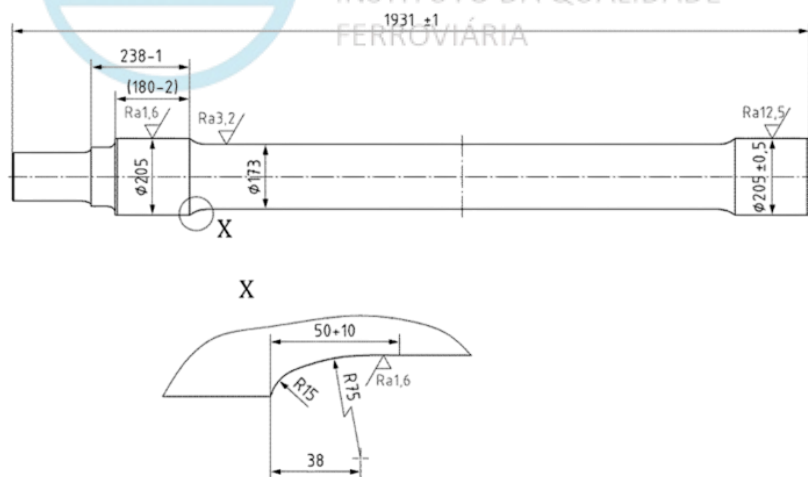


Figura 11: Corpo de prova em tamanho real para ensaio de fadiga (exemplo 2)

Legenda X = vista detalhada da área de transição.

6.5 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

Caso haja reprovação em qualquer critério exigido, o item reprovado deverá ser reavaliado mais duas vezes, utilizando corpos de prova extraídos do mesmo eixo. Se ambos os testes adicionais forem aprovados, o eixo será considerado aprovado, caso contrário, será reprovado.

7 PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO E CONTRA AGRESSÕES MECÂNICAS

Todos os eixos em uso devem ser protegidos contra corrosão nas áreas onde não há componentes instalados.

Para alguns eixos, é necessária proteção contra agressões mecânicas (impactos, abrasão por detritos etc.).

Quatro classes de proteção são definidas, de acordo com a utilização do eixo e a política de manutenção aplicada a ele:

- a) Classe 1: seções de eixos sujeitas à corrosão atmosférica e a impactos mecânicos;
- b) Classe 2: seções de eixos sujeitas à ação de produtos corrosivos específicos;
- c) Classe 3: seções de eixos sujeitas à corrosão atmosférica;
- d) Classe 4: eixos sujeitos à corrosão atmosférica sem pintura;
- e) Classes diferentes são permitidas no mesmo eixo.

A seleção entre essas quatro classes deve ser definida na especificação técnica.

Os revestimentos de proteção para cada classe são, no mínimo, definidos pelas seguintes características apresentadas na Tabela 10. Outras características também podem ser exigidas na especificação técnica, de acordo com as condições particulares de utilização dos eixos.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Espessura do revestimento	X	X	X	—
Adesão do revestimento	X	X	X	—
Resistência a impactos	X	—	—	—
Resistência à abrasão por detritos	X	X	X	—
Resistência à névoa salina	X	X	X	—
Resistência a produtos corrosivos específicos	—	X	—	—
Resistência do revestimento à flexão e/ou ensaio de embutimento	—	X	X	—
Resistência do revestimento a tensões mecânicas cíclicas (opcional)	X	X	X	—

Tabela 10: Revestimento de proteção – Requisitos para ensaios

Os ensaios deverão ser realizados conforme norma EN 13261 e as suas referências.

Antes da montagem, as áreas do eixo preparadas para receber componentes devem ser protegidas temporariamente contra corrosão e impacto, conforme as condições de entrega estabelecidas na especificação técnica.

As características dessa proteção devem ser definidas com base nas condições de transporte e armazenamento (incluindo manuseio e ambiente), conforme a especificação técnica.

Essa proteção deve permanecer eficaz por no mínimo três meses em condições atmosféricas normais, salvo indicação contrária na especificação técnica.

8 DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS

As dimensões e tolerâncias indicadas devem ser aplicadas a todos os eixos. Contudo, caso o desenho fornecido pelo comprador especifique outras dimensões e tolerâncias, a referência do comprador deve ser adotada, assumindo este a responsabilidade pela sua aplicação.

Eixos com mangas e assentos de roda semiacabados devem apresentar excesso de material, a ser usinado posteriormente (sobre metal), com variação de 3,5 mm a 6,5 mm acima do diâmetro acabado.

Os comprimentos das mangas e assentos devem apresentar sobremetal de 3,5 mm a 6,5 mm e seguir o perfil de cada alteração na seção transversal.

Os furos centrais dos eixos devem estar de acordo com as figuras abaixo. Para todos os eixos cujo acabamento dos topos seja realizado pelo comprador, o comprimento total deve exceder o comprimento mínimo especificado em 3,5 mm a 6,5 mm.

Dimensões dos furos centrais, em milímetros, para as diversas mangas de eixos.

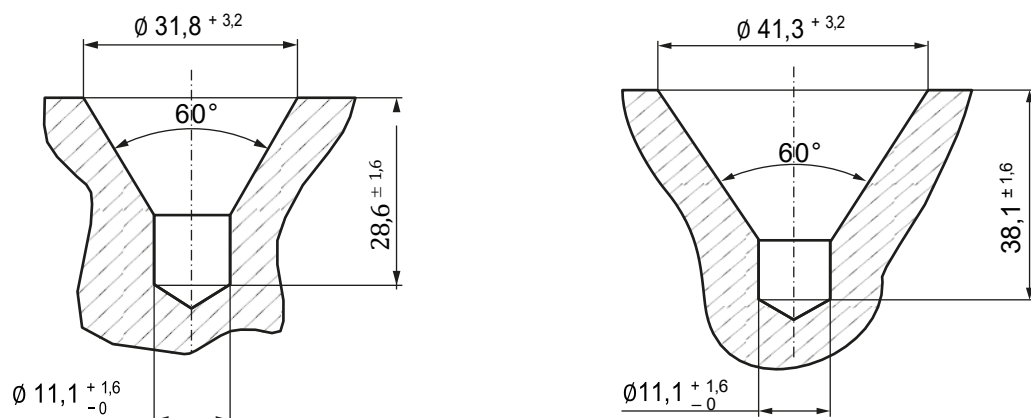


Figura 12: Vagão de carga – mancal de rolamento

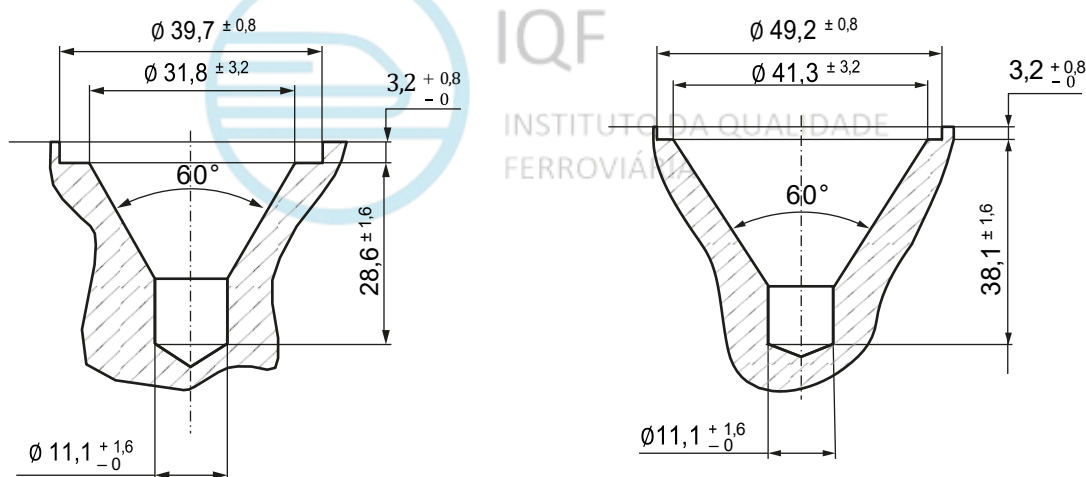
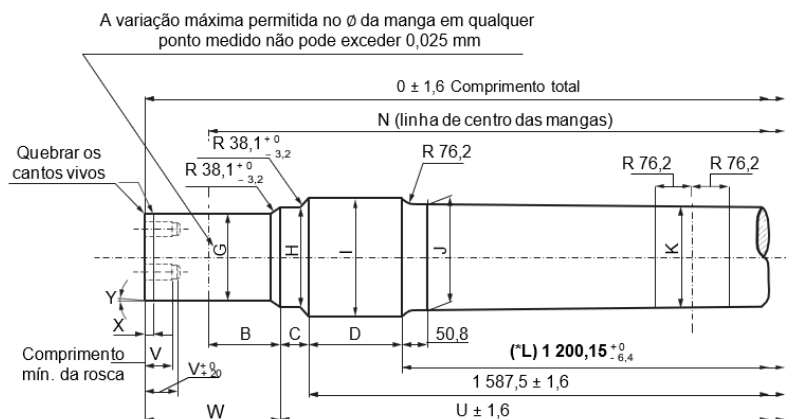


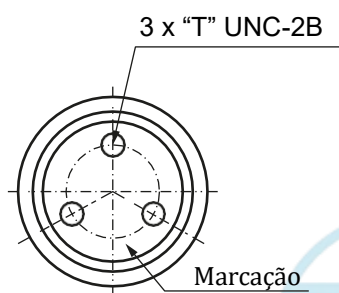
Figura 13: Vagão de passageiros - Mancal de rolamento

A profundidade do furo central no eixo bruto deve ser aumentada para compensar o material a ser retirado durante a usinagem das faces. Os eixos utilizados devem ser devidamente centrados. O diâmetro e a profundidade podem ser aumentados o suficiente para garantir a produção de um ângulo preciso de 60°.

As dimensões dos eixos devem estar em conformidade com as figuras e tabelas apresentadas a seguir:



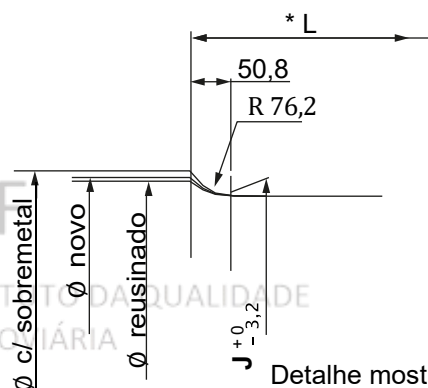
* O comprimento da dimensão "L" não precisa ser acabado cada vez que a sede da roda for usinada.



R 1,6 a 3,2

Detalhe mostrando o raio opcional quando o contorno é retificado.

Nos eixos novos, o raio de 76,2 mm na dimensão "L" é especificado para qualquer diâmetro de sede da roda.



Detalhe mostrando a condição da junção da parte central do eixo com a sede da roda.

Figura 14: Dimensional do eixo

NOTA 1: Dimensão I: tolerância de $\pm 0,381$ mm;

NOTA 2: A excentricidade máxima entre G e H é de 0,1524 mm;

NOTA 3: A excentricidade máxima entre G e I é de 0,2032 mm;

NOTA 4: Para a manga 7" x 12", o chanfro na extremidade é de 4"15' x $15,9 \pm 3,2$ mm;

NOTA 5: O diâmetro H é tolerado com acabamento de no máximo 3,18 μm (125 μin).

Dimensão - Região	Rugosidade
	Máximo
G - Manga do rolamento	1,6 μm (63 μin)
H - Guarda pó	3,18 μm (125 μin)
I - Sede de roda	3,18 μm (125 μin)
J/K - Corpo (entre Sedes de rodas)	6,35 μm (250 μin)

Tabela 11: Acabamento (rugosidade)

A excentricidade da manga na cota G, entre os centros, não pode ser superior a 0,381 mm durante a rotação do eixo.

As dimensões B e N são consideradas como dados de engenharia para o desenho do truque e não precisam, necessariamente, estar em conformidade com as tolerâncias de fabricação.

Caso as sedes de rolamento sejam torneadas e roletadas, o acabamento obtido por torno não pode ultrapassar 3,18 µm (125 µin), enquanto o acabamento roletado não deve ultrapassar 0,41 µm (16 µin).

Tipo de eixo	Tamanho da manga	B	C	D	E	G	H	I	J	K	M
D	139,7 x 254	139,700	44,450	193,675	76,2	131,684	161,925	192,087	171,45	149,225	1 587,50
	5 ½" x 10"					131,839					
E	152,4 x 279,4	150,812	46,037	193,675	76,2	144,564	178,613	209,550	185,737	163,512	1 587,50
	6" x 11"					144,539	178,562				
F	165,1 x 304,8	163,512	46,037	193,675	76,2	157,264	191,313	222,250	200,25	187,325	1 587,50
	6 ½" x 12"					157,239	191,262				
G	177,8 x 304,8	150,812	58,737	193,675	76,2	177,902	203,251	241,300	217,487	203,200	1 587,50
	7" x 12"					177,876	203,200				
K	165,1 x 228,6	123,266	86,284	193,675	76,2	157,264	191,313	222,250	200,025	187,325	1 587,50
	6 ½" x 9"					157,239	191,262				
L	152,4 x 203,2	113,208	83,642	193,675	76,2	144,564	178,613	209,550	185,737	163,512	1 587,50
	6" x 8"					144,539	178,562				
M	177,8 x 228,6	120,650	88,900	193,675	76,2	165,202	191,313	241,300	217,487	203,200	1 587,50
	7" x 9"					165,176	191,262				

Tabela 12: Dimensões de eixos para vagão de carga com rolamento (B a M)

Tipo de eixo	Tamanho da manga	N	O	R	T	U	V	W	X	Y
D	139,7 x 254	1 955,80	2 187,575	44,450	7/8" - 9	1 676,400	47,625	255,587	31,750	2°8"
	5 ½" x 10"								+0 - 6,35	
E	152,4 x 279,4	1 981,20	2 235,200	49,212	1" - 8	1 679,675	50,800	277,812	31,750	2°8"
	6" x 11"								+0 - 6,35	
F	165,1 x 304,8	2 006,60	2 276,475	53,975	1 1/18" - 7	1 679,675	53,975	298,450	31,750	2°8"
	6 ½" x 12"								+0 - 6,35	
G	177,8 x 304,8	2 006,60	2 266,950	58,737	1 1/4" - 7	1 704,975	57,150	280,987	15,875	4°15"
	7" x 12"								± 3,175	
K	165,1 x 228,6	2 006,60	2 213,762	53,975	1 1/8" - 7	1 760,068	53,975	226,847	6,350	10°
	6 ½" x 9"								± 5,08	
L	152,4 x 203,2	1 981,20	2 171,700	49,212	1" - 8	1 754,784	50,800	208,458	NA	NA
	6" x 8"									
M	177,8 x 228,6	2 006,60	2 222,500	53,975	1 1/8" - 7	1 765,300	53,975	228,600	NA	NA
	7" x 9"									

NOTA NA = Não se aplica.

Tabela 13: Dimensões de eixos para vagão de carga com rolamento (N a Y)

9 MARCAÇÃO DO EIXO

Os eixos devem ser marcados em um de seus topos com as seguintes informações:

- Marca do provedor;
- Data de fabricação, representada pelo número correspondente ao mês e pelos dois últimos algarismos do ano;
- Número de identificação do eixo, atribuído pelo fabricante;
- Grau do eixo;
- Letra "B", quando fornecido semiacabado;
- Letra "T", quando verificado por ultrassom.

O número de identificação do eixo está correlacionado ao número da corrida.

É vetada qualquer marcação no eixo, por gravação, fora de seu topo.

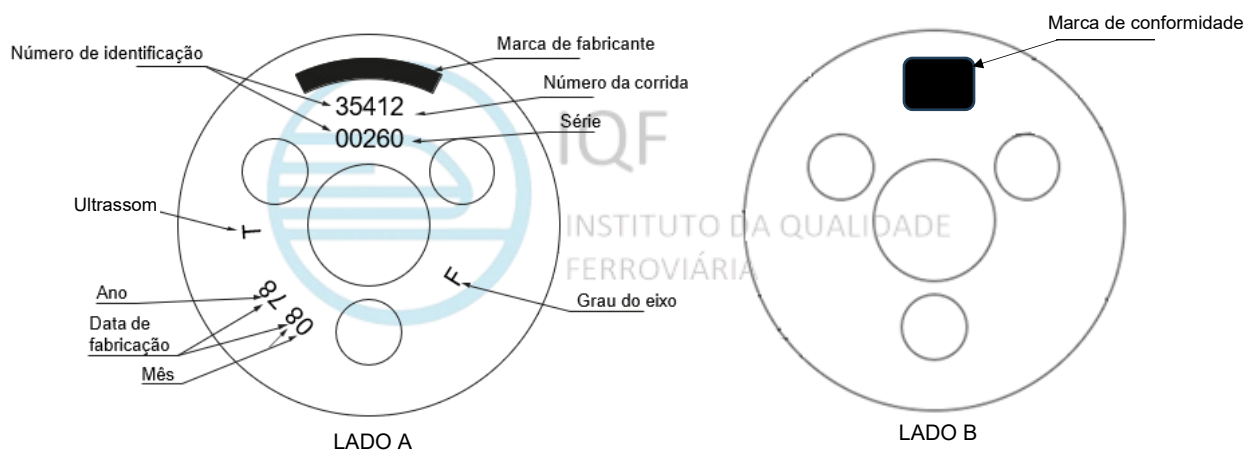


Figura 15: Marcação no topo do eixo metroferroviário

10 ACABAMENTO

O eixo deve ser usinado de modo a garantir um acabamento contínuo entre as sedes das rodas. As sedes da roda e do rolamento devem ser usinadas com rugosidade controlada, ficando isentas de quaisquer marcas de trincas ou sulcos. As definições de acabamento de cada umas das regiões dos eixos estão definidas na tabela constante no item 8 e poderão ser passíveis de alterações mediante definição própria do comprador.

Além disso, o eixo deve ser protegido contra corrosão e acondicionado de forma a evitar danos durante o transporte e o armazenamento.

11 DEFEITOS SUPERFICIAIS

A presença de qualquer um dos defeitos a seguir resulta na rejeição do eixo, ficando o comprador com o direito de definir outros defeitos adicionais que o eixo não pode apresentar (requisitos específicos):

- a) Linha;
- b) Sulco;
- c) Trinca de qualquer natureza;
- d) Escamação no sentido circunferencial, independentemente da profundidade;
- e) Descontinuidade longitudinal;
- f) Risco nos canais usinados.

Linhas ocultas, marcas de sombreamento ou outras descolorações visíveis a olho nu, desde que não evidenciem separação metálica, não devem ser consideradas defeitos, independentemente de sua localização.

11.1 DEFEITOS NA SEDE DO ROLAMENTO E NO GUARDA-PÓ

Descontinuidades finas longitudinais nas superfícies acabadas, como linhas térmicas, riscos e marcas de manuseio, não são qualificados como defeitos, desde que atendam às seguintes condições:

- a) Não se estendam até os canais ou guarda-pó;
- b) Não apresentem comprimento superior a 19,05 mm na sede do rolamento ou 12,7 mm individualmente na sede do guarda-pó;
- c) A soma das imperfeições com comprimento superior a 6,35 mm não ultrapasse 50,8 mm em qualquer extremidade do eixo.

11.2 DEFEITOS NA SEDE DA RODA E NA ENGRENAGEM

Descontinuidades longitudinais na sede da roda de eixos não são classificadas como defeitos, desde que atendam às seguintes condições:

- a) Não se estendam até a região dos guarda-pós ou dos canais;
- b) Não apresentem comprimento superior a 50,8 mm;
- c) A soma das imperfeições com comprimento entre 6,35 mm e 50,8 mm não ultrapasse 101,6 mm em qualquer extremidade do eixo.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_001
		Página 23 de 26

11.3 DEFEITOS NAS REGIÕES COMPREENDIDAS ENTRE AS RODAS

Descontinuidades longitudinais nas superfícies acabadas, como linhas provenientes de tratamento térmico e riscos, não são qualificadas como defeitos, desde que atendam às seguintes condições:

- a) Não se estendam às regiões adjacentes de assentamento da roda ou da engrenagem;
- b) Não apresentem comprimento superior a 12,7 mm individualmente;
- c) A soma das imperfeições com comprimento entre 6,35 mm e 12,7 mm não ultrapasse 38 mm em um comprimento total de 304 mm no corpo do eixo.

As descontinuidades descritas no corpo do eixo podem ser removidas preferencialmente por recuperação localizada, por meio de adoçamento da região defeituosa. É terminantemente vetada a recuperação utilizando solda, metalização a quente ou qualquer outro processo que envolva aquecimento do eixo.

12 DOCUMENTAÇÃO DO EIXO

A documentação do eixo deverá ser devidamente retida pelo fabricante, como parte do processo de fabricação do eixo. Essa documentação é essencial para garantir que os eixos atendam aos requisitos técnicos e normativos estabelecidos.

12.1 INFORMAÇÕES PRELIMINARES

A documentação deverá incluir as seguintes informações:

- a) Número de série dos eixos;
- b) Número da corrida do aço;
- c) Data de emissão da documentação;
- d) Data de fabricação dos eixos;
- e) Tipo do eixo;
- f) Classe da proteção final contra corrosão e agressão mecânica.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_001
		Página 24 de 26

12.2 RELATÓRIO DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA, CONTENDO O TEOR DE HIDROGÊNIO (H) NO AÇO

A análise de cada corrida deve ser conduzida pelo fabricante, a fim de determinar a porcentagem dos elementos químicos presentes, incluindo carbono (C), manganês (Mn), fósforo (P), enxofre (S), silício (Si) e vanádio (V). Esses dados são fundamentais para garantir a qualidade e as propriedades desejadas do material. A composição química obtida deve ser devidamente informada ao comprador, sendo imprescindível que esteja em conformidade com os parâmetros estabelecidos nos itens 5.1 e 6.1.

12.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS EXIGIDOS

Os resultados dos seguintes ensaios, conforme requisitados nas normas aplicáveis, deverão ser retidos por 10 anos.

- a) Propriedades mecânicas e metalográficas;
- b) Microestrutura;
- c) Características de fadiga;
- d) Ultrassom;
- e) Ensaio de partícula magnética (para eixos acabados);
- f) Macroscópicos (quando solicitado pelo comprador);
- g) Outros ensaios solicitados pelo comprador (requisitos específicos).

Os registros dos ensaios deverão conter informações detalhadas, incluindo a corrida, número de série, data de realização e outros dados conforme estabelecido nas normas de referência, a fim de garantir a rastreabilidade e a conformidade dos processos.

13 REGISTROS

Os registros dos resultados individuais de todos os ensaios realizados nos eixos devem ser elaborados de forma que seja possível sua impressão, contendo, de maneira individual, a corrida, o número de série e a data de inspeção. Esses registros devem ser mantidos por um período mínimo de dez anos a partir da data de fabricação e estarem disponíveis para consulta sempre que solicitados.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_001
		Página 25 de 26

14 PROCEDIMENTOS

A organização deverá reter informações documentadas e disponibilizá-las para uso, incluindo os procedimentos necessários para a fabricação do eixo, assim como os relativos a ensaios, inspeção, armazenamento e expedição.

15 CALIBRAÇÃO

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para garantir resultados válidos e confiáveis sempre que o monitoramento ou a medição forem utilizados para verificar a conformidade de produtos e serviços com os requisitos. A organização deve assegurar que os recursos fornecidos:

- Sejam adequados para as atividades específicas de monitoramento e medição realizadas;
- Sejam mantidos de forma a garantir que permaneçam continuamente apropriados para seus objetivos.

A organização deverá manter registros da calibração dos equipamentos utilizados nos ensaios requeridos. Esses equipamentos deverão ser calibrados, no mínimo, uma vez por ano e sempre que receberem manutenção que possa afetar o sistema de desempenho. Os registros deverão ser mantidos por um período mínimo de dez anos.

Além disso, a organização deverá reter registros da validação semestral do bloco de referência para ensaio de ultrassom, contendo o nome do inspetor, a data de revalidação e o acabamento da superfície medida do bloco de referência. Esses registros devem ser mantidos por um período mínimo de dez anos.

16 COMPETÊNCIA

A organização deve:

- Determinar a competência necessária das pessoas que realizam trabalhos sob seu controle, os quais possam afetar o desempenho e a eficácia do sistema de gestão da qualidade;
- Assegurar que essas pessoas possuam a competência necessária, com base em educação, treinamento ou experiência apropriados;
- Quando aplicável, tomar ações para adquirir a competência necessária e avaliar a eficácia das ações implementadas;
- Retter informações documentadas adequadas como evidência da competência.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_001
		Página 26 de 26

NOTA: As ações aplicáveis podem incluir a oferta de treinamento, mentoria, readequação de funções dos colaboradores atuais ou, se necessário, a contratação de profissionais qualificados.

Além disso, todo o pessoal que realizar operações de inspeção ultrassônica deve ser qualificado em testes não destrutivos (NDT) ultrassônicos (UT), com, no mínimo, nível 1. A qualificação deve estar em conformidade com a Prática Recomendada SNT TC-1A da *American Society for Nondestructive Testing* (ASNT) ou do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (SNQC - ABENDI), na edição mais recente.

Todo o pessoal responsável pela configuração dos sistemas de inspeção ultrassônica deve ser qualificado em NDT UT Nível 2, no mínimo. A qualificação deve estar em conformidade com a prática recomendada SNT TC-1A da ASNT ou do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (SNQC - ABENDI), na edição mais recente.

Cada fabricante deve contar com os serviços de um indivíduo qualificado, no mínimo, em NDT UT Nível 3. A qualificação deve estar em conformidade com a Prática Recomendada SNT TC-1A da ASNT ou do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (SNQC – ABENDI), na edição mais recente.

17 HISTÓRICO DAS MODIFICAÇÕES		
REV.	DATA	DESCRIÇÃO DA MODIFICAÇÃO
00	19/12/2025	Emissão Inicial
01	08/04/2026	Alterações no item 5: limites da composição química, microestrutura do eixo, descrição das análises de panela e verificação, título do item 5.2.2.