

Análise de falha em jato-ventiladores

Marcelo Ferreira Moreira
Luiza Brito Fantin

Palestra apresentada no CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA, ENQUALAB, REDE METROLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, REMESP, 2023, São Paulo. 26 slides

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. REPRODUÇÃO PORIBIDA

Conaendi

2023



Abendi

TEMA: Análise de falha em jato-ventiladores

**Marcelo Ferreira Moreira
Luiza de Brito Fantin**



MINI CURRÍCULO Marcelo Ferreira Moreira

E-MAIL: mfmoreir@ipt.br

Eng. Metalurgista, mestre em engenharia
Pesquisador Líder da Área de Análise de Falhas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Professor associado da Escola de Engenharia Mauá



MINI CURRÍCULO Luiza de Brito Fantin

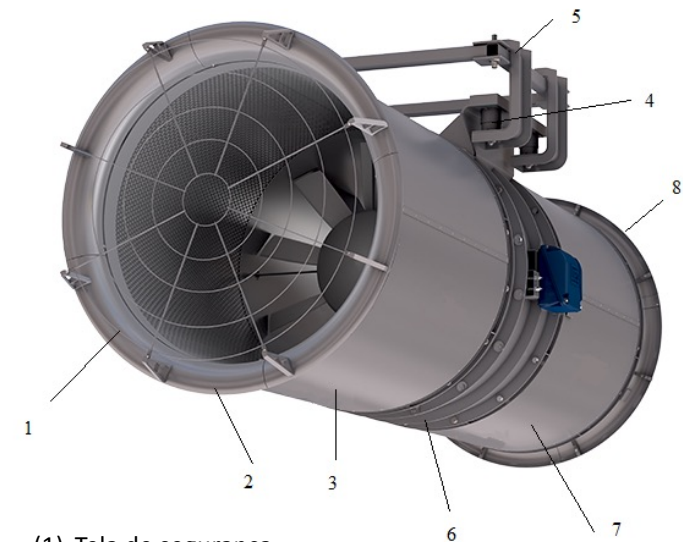
E-MAIL: luizafantin@ipt.br

Eng. de Materiais
Pesquisadora da Área de Análise de Falhas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Managing Editor da revista *Engineering Failure Analysis*

Análise de falha em jato-ventiladores

Jato-ventiladores são equipamentos de ventilação forçada utilizados em ambientes em que pode ocorrer acúmulo de gases tóxicos.

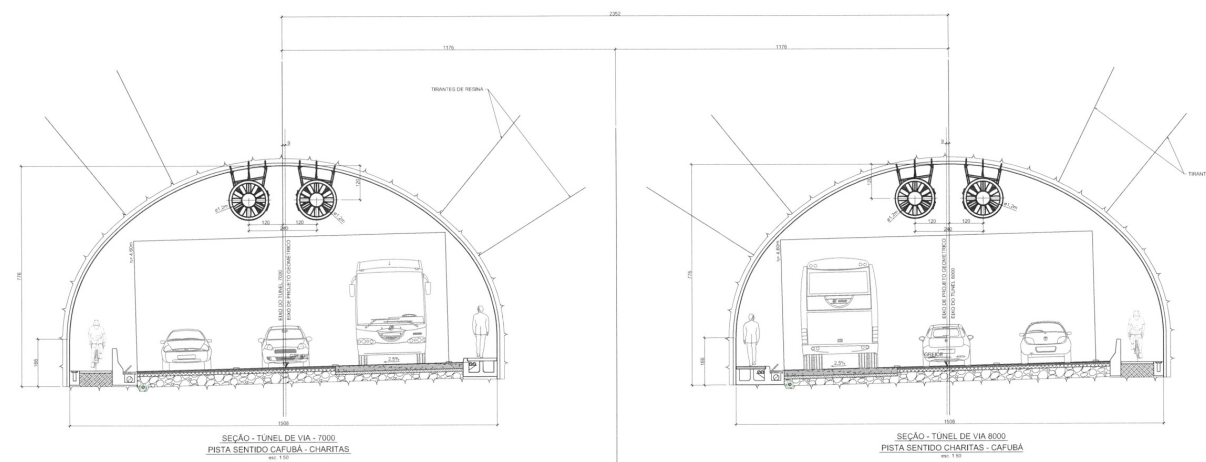
Eles são utilizados em túneis rodoviários e estacionamentos para a diluição das concentrações de CO ou de NO₂ formados com os gases de combustão [1].



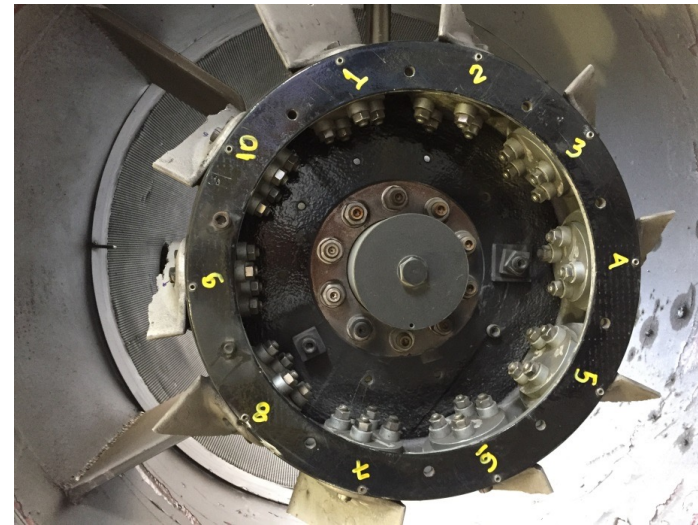
- (1) Tela de segurança.
- (2) Bocal de entrada.
- (3) Atenuador de entrada.
- (4) Amortecedor de vibração.
- (5) Estrutura de fixação no teto.
- (6) Duto central.
- (7) Atenuador de saída.
- (8) Bocal de saída.

Foi conduzida uma análise de falha em três jatos-ventiladores instalados em um túnel rodoviário equipado com dezoito jatos-ventiladores.

Neste modelo, cada jato-ventilador possui diâmetro de 1200 mm, dez pás, rotação de 1780 rpm com empuxo nominal de 1600 N.



O jato-ventilador identificado como Jv14 apresentou falha catastrófica em que todas as suas dez pás fraturaram e parte dos fragmentos caíram sobre a via.



Fratura catastrófica do jato-ventilador Jv14. Todas as dez pás fraturaram.

Exames visuais e LP conduzidos no local evidenciaram também a fratura de uma das pás no jato-ventilador Jv17 e trincas em duas das pás no jato-ventilador Jv2.



Fratura de uma das pás no JV17.

Duas pás trincadas no Jv2.

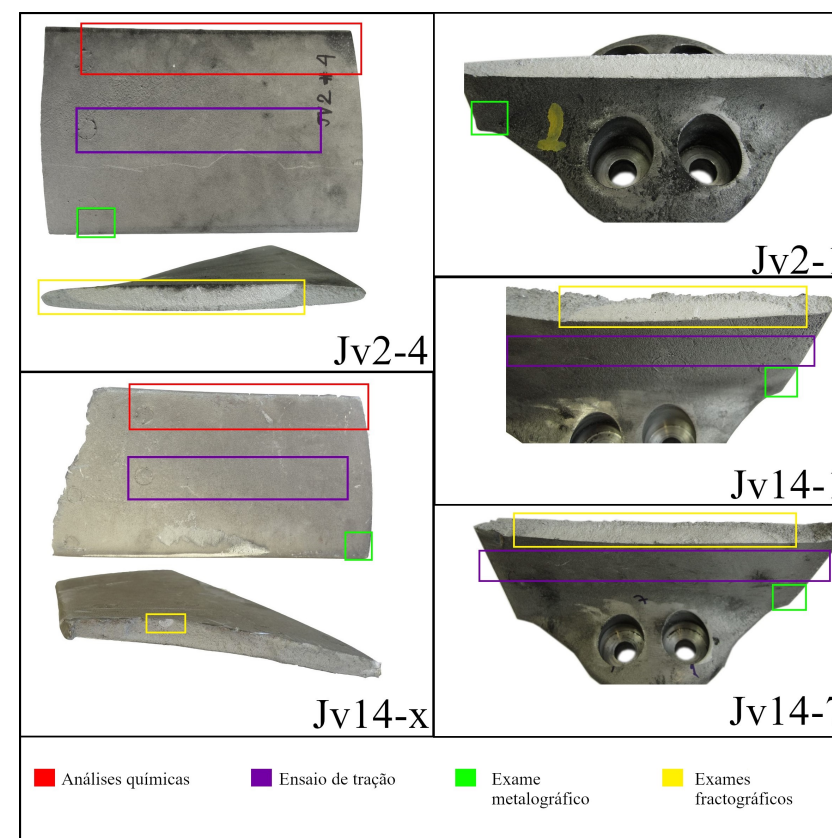


Sensores no túnel identificam as concentrações limites de gases tóxicos ou de fumaça e acionam os jato-ventiladores automaticamente.

Dados do sistema supervisório do túnel mostraram que os jato-ventiladores Jv2, Jv14 e Jv17 operaram, respectivamente, por 510,2 h, 262,2 h e 186,7 h até a detecção das falhas e, em razão disso, elas foram consideradas prematuras.

De acordo com o memorial descritivo do equipamento, as pás dos jato-ventiladores foram especificadas em liga de alumínio fundida 201.0 na condição de tratamento térmico T7.

Foram conduzidos exames visuais em todos os jato-ventiladores que falharam para a seleção de amostras. Nas amostras selecionadas, foram realizadas análises químicas, ensaios de tração, exames metalográficos e exames fractográficos visando-se identificar o mecanismo de fratura e a provável causa raiz da falha dos jato-ventiladores.



Os resultados das análises químicas mostraram que as amostras não atendem aos requisitos especificados para a liga 201.0 para os elementos prata (Ag), magnésio (Mg), titânio (Ti) e silício (Si).

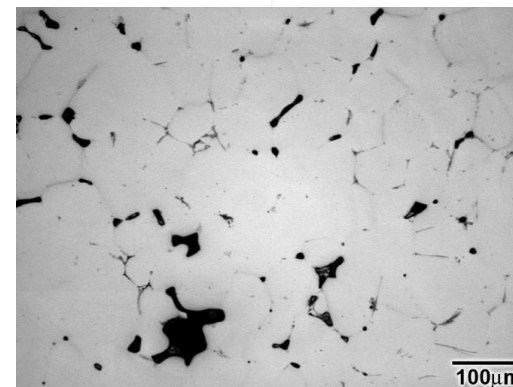
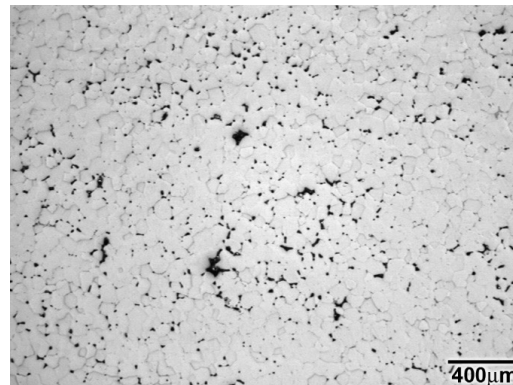
Elementos	Pá Jv2-4 [% em peso]	Pá Jv14-x [% em peso]	Requisitos de composição química para a liga 201.0
Cobre (Cu)	5,135 ± 0,561	4,148 ± 0,147	4,0 – 5,2
Prata (Ag)	< 0,005	< 0,005	0,40 – 1,00
Manganês (Mn)	0,221 ± 0,020	0,209 ± 0,006	0,20 – 0,50
Magnésio (Mg)	0,125 ± 0,012	0,136 ± 0,007	0,15 – 0,55
Titânio (Ti)	0,185 ± 0,008	0,416 ± 0,006	0,15 – 0,35
Ferro (Fe)	0,125 ± 0,017	0,136 ± 0,006	0,15 máximo
Silício (Si)	0,196 ± 0,017	0,227 ± 0,009	0,10 máximo
Alumínio (Al)	Balanço	Balanço	Balanço

Nenhum dos corpos de prova atendeu aos requisitos mínimos de resistência mecânica e de ductilidade.

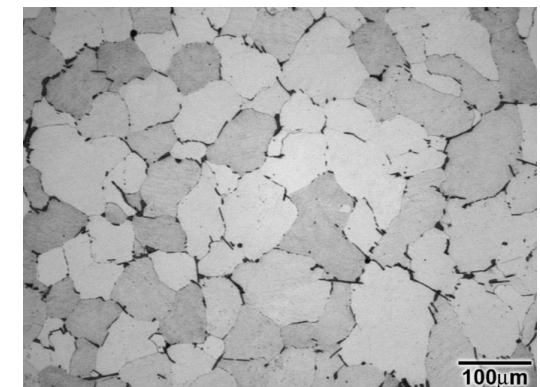
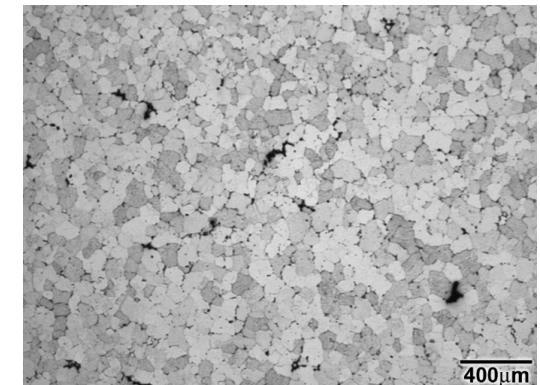
Amostra	Propriedades mecânicas			
	Tensão de escoamento 0,2% [MPa]	Resistência à tração [MPa]	Alongamento em 50 mm [%]	Redução de área [%]
Jv2-4	330 ± 3	345 ± 4	1,48 ± 0,5	3,16 ± 0,5
Jv14-x	311 ± 3	330 ± 4	1,76 ± 0,5	3,10 ± 0,5
Jv14-1	281 ± 3	332 ± 4	3,33 ± 0,5	6,05 ± 0,5
Jv14-7	290 ± 3	354 ± 4	3,15 ± 0,5	9,48 ± 0,5
Requisitos de propriedades mecânicas para a liga 201.0-T7	414 mín.	467 mín.	5,5 mín.	Não especificado

Na condição polida, microporosidades dispersas na microestrutura e precipitados interdendríticos foram observados.

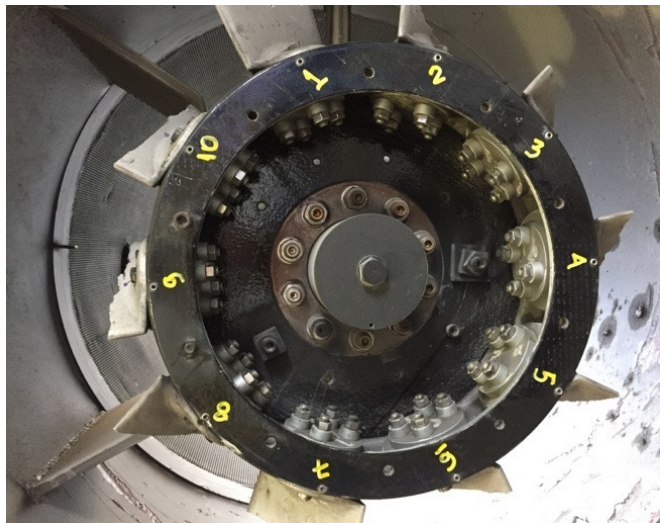
Após o ataque metalográfico, verificou-se que a microestrutura é constituída por fase α , rica em alumínio, e precipitados contendo Al, Cu e Fe nas regiões interdendríticas.



Vista geral e detalhes da microestrutura característica da amostra Jv14-x. MO, sem ataque.

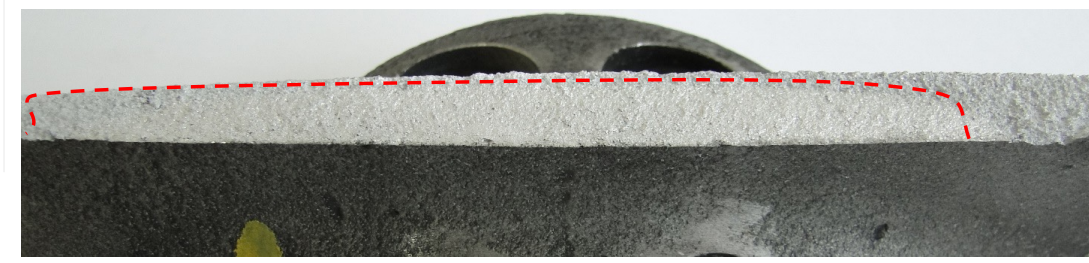
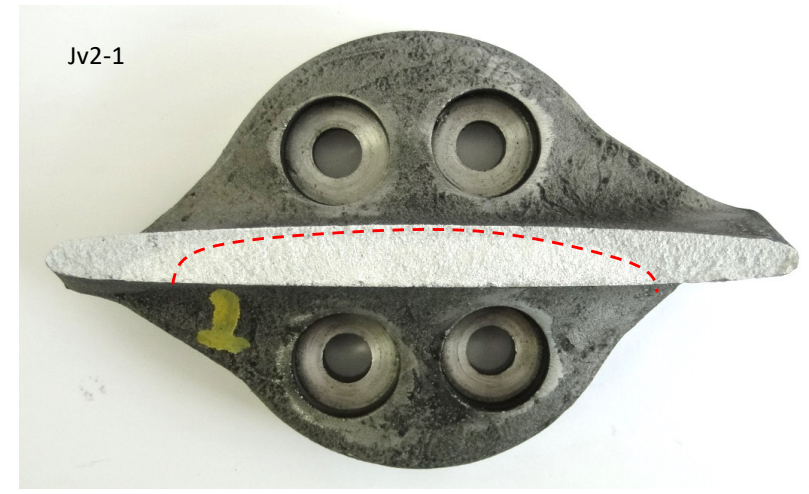
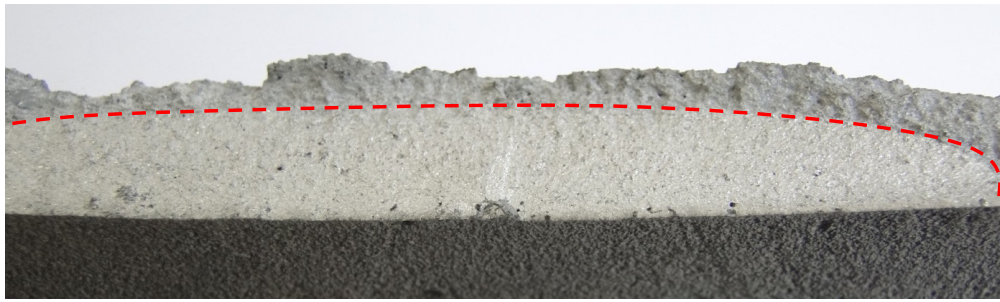
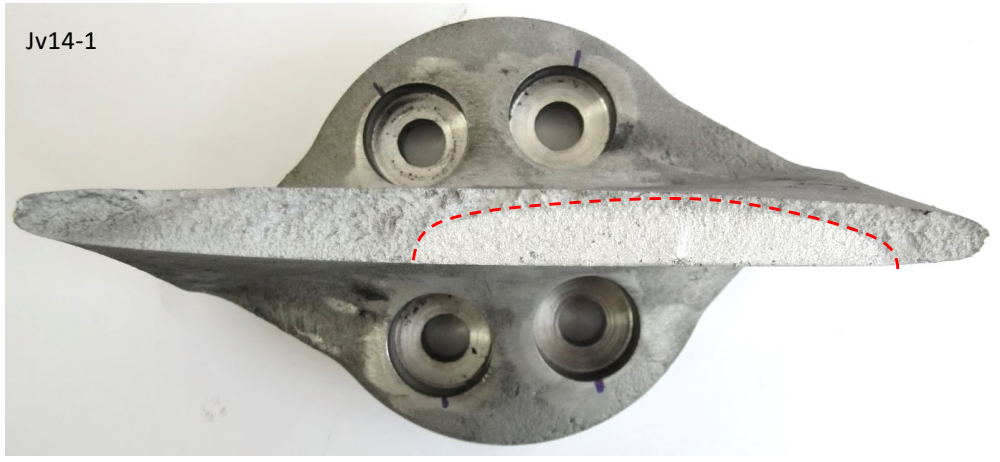


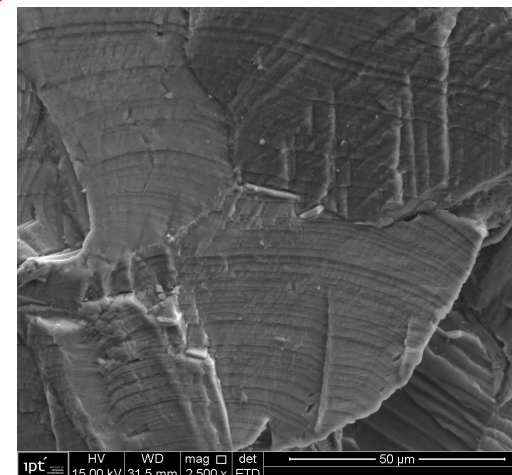
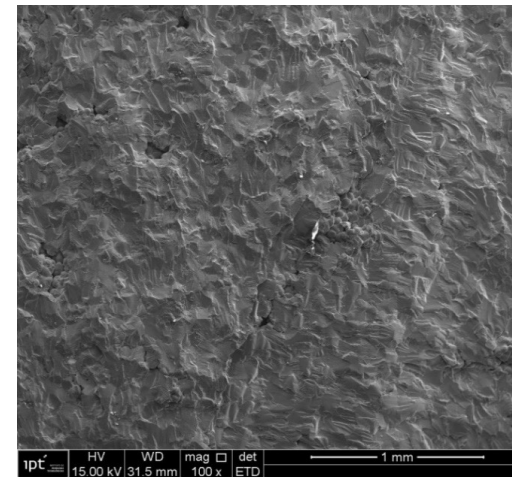
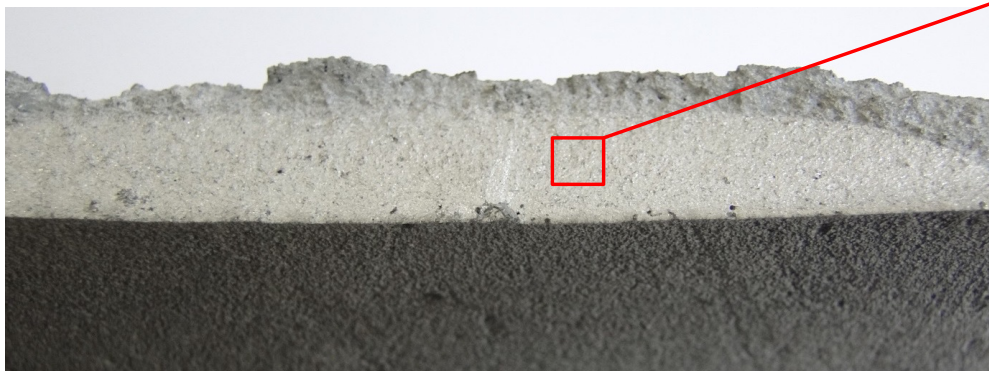
Vista geral e detalhes da microestrutura característica da amostra Jv14-x. MO, HF 0,5%.



Vista geral das fraturas das pás do jato-ventilador Jv14.

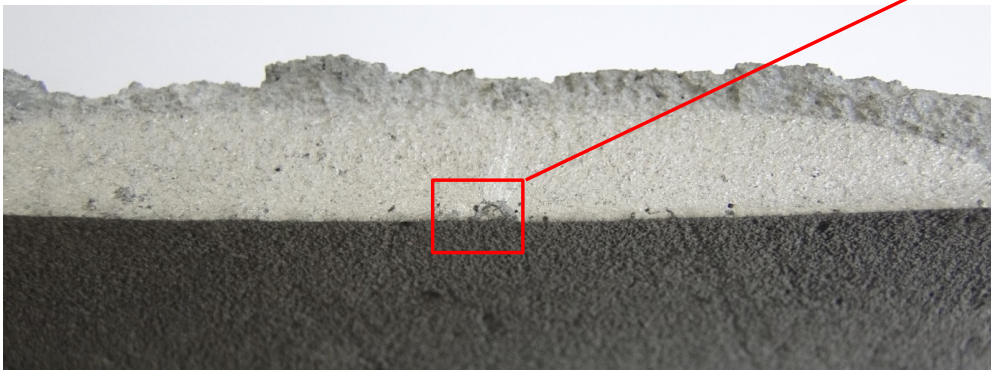






Pá Jv14-1

Região de propagação estável por fadiga

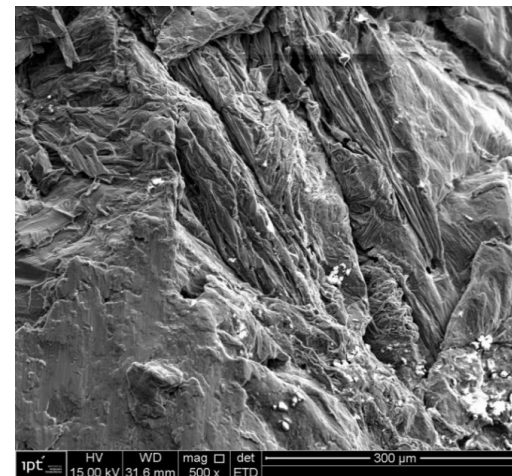
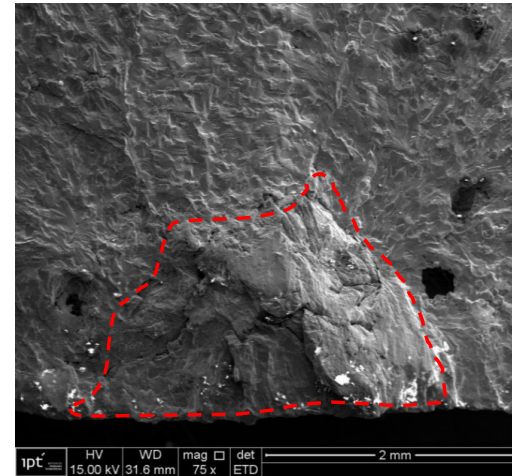


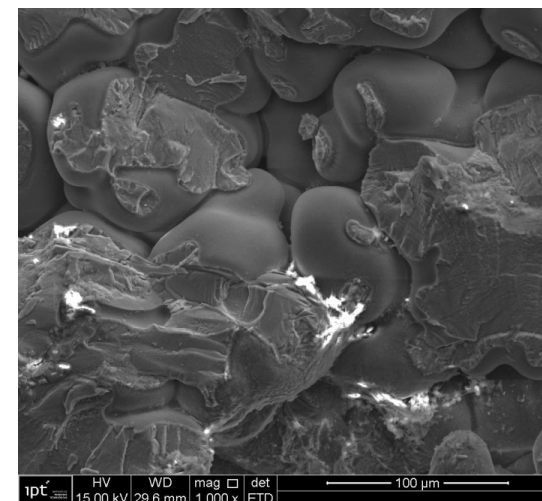
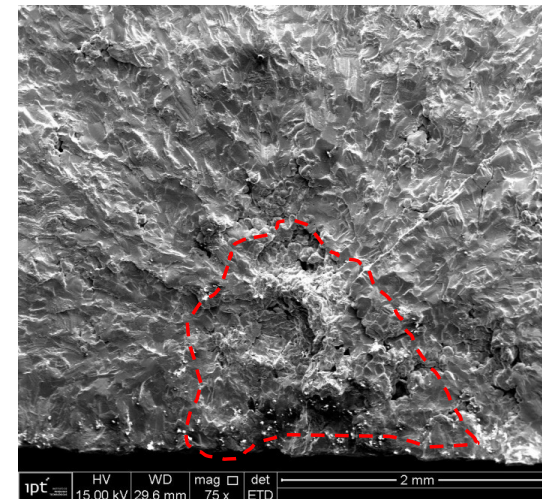
Resultados



Pá Jv14-1

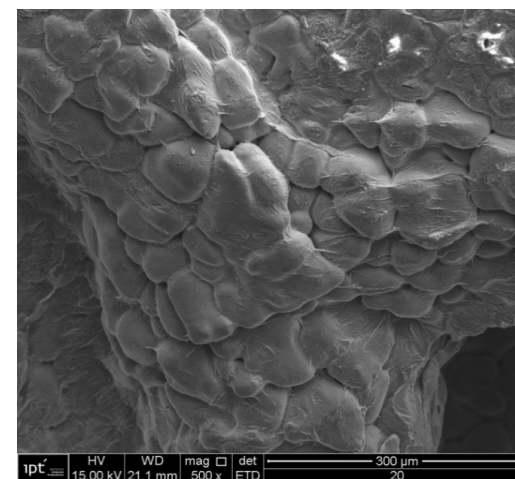
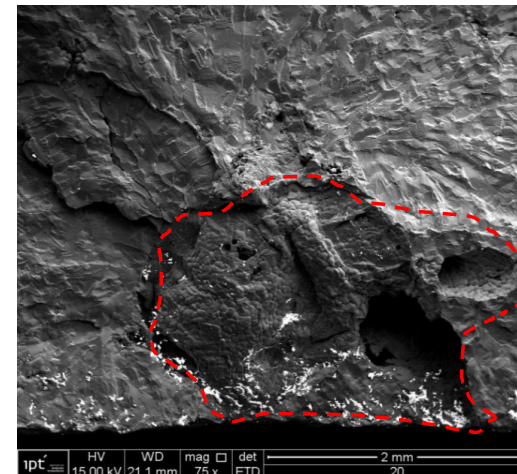
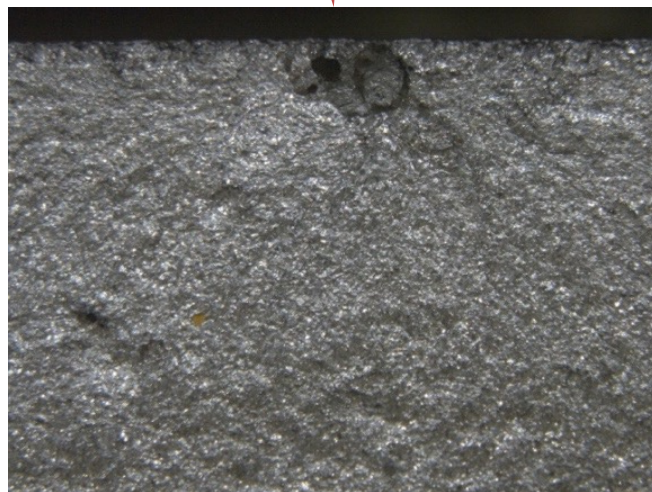
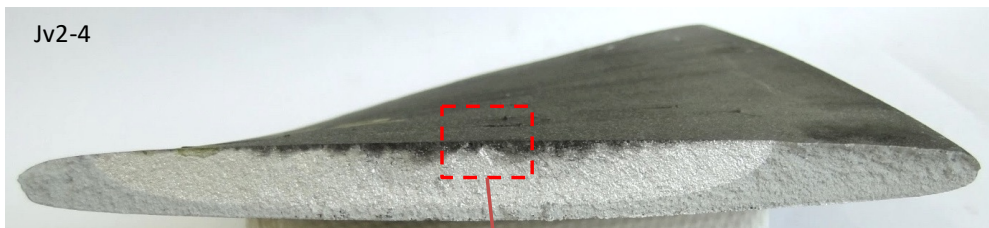
Região de origem





Pá Jv14-7

Região de origem



Pá Jv2-4

Região de origem

As análises químicas evidenciaram que as pás dos jato-ventiladores foram fundidas em liga do sistema Al-Cu que não atende aos requisitos dos elementos prata (Ag), magnésio (Mg), titânio (Ti) e silício (Si) estabelecidos para a liga 201.0.

As pás foram fundidas em liga de composição química próxima à da liga 206.0, que não possui prata na composição.

A prata é um elemento de liga empregado nas ligas 7009, A201.0, 201.0 e B201.0 e é adicionada em teores entre 0,25 % e 1,0 % [3].

Adições de Ag promovem uma alteração significativa na resposta ao endurecimento por precipitação pela formação de fase metaestável Ω em ligas do sistema Al-Cu-Mg [5].

Também é bem estabelecido que elas aumentam a resistência à fluência em ligas Al-Cu-Mg-Ag [6].

Os ensaios de tração evidenciaram que as pás não atenderam aos requisitos mínimos das propriedades mecânicas estabelecidas para a liga 201.0 na condição T7 (414 MPa e 467 MPa).

Mesmo se considerarmos os requisitos de propriedades esperadas para a liga 206 T7, (350 MPa e 430 MPa) a liga utilizada nas pás não atende.

Em nossa avaliação, os valores mais baixos de propriedades mecânicas resultaram de dois fatores: da ausência de prata na composição química e das microporosidades dispersas na microestrutura.

A redução nas propriedades mecânicas e a presença de microporosidades também afeta a resistência à fadiga e a tenacidade à fratura.

Os exames macrofractográficos evidenciaram que o trincamento e a fratura das pás dos jato-ventiladores resultaram de um processo de fadiga com nucleação múltipla de trincas em descontinuidades decorrentes do processo de fundição.

O processo de fadiga se deu pela ação de tensões cíclicas associadas ao acionamento e ao desligamento dos jato-ventiladores e tensões associadas ao fluxo de ar nas pás.

A presença de descontinuidades do processo de fundição teve um efeito significativo sobre a resistência à fadiga, reduzindo o período de nucleação das trincas e, conseqüentemente, a vida-fadiga [4,11–13]

- Os resultados obtidos mostraram que as pás dos jato-ventiladores foram fundidas em liga de alumínio do sistema Al-Cu que não atende aos requisitos dos elementos prata (Ag), magnésio (Mg), titânio (Ti) e silício (Si) estabelecidos para a liga 201.0.
- Os resultados dos ensaios de tração mostraram que o material das pás não atende aos requisitos de propriedades mecânicas estabelecidas para a liga 201.0 na condição T7.
- A falha catastrófica do jato-ventilador Jv14, as trincas nas duas pás do jato ventilador Jv2 e a fratura de uma das pás no jato-ventilador Jv17 foram provocadas pelo mecanismo de fadiga com a nucleação múltipla de trincas em descontinuidades decorrentes do processo de fundição.
- A causa raiz das fraturas e dos trincamentos foi atribuída a dois fatores: à nucleação prematura de trincas de fadiga em inclusões de óxidos e/ou microporosidades resultantes do processo de fundição e à menor resistência à fadiga do material utilizado nas pás.

- [1] Vilares CP, Facuri R. VENTILADORES DE INDUÇÃO E JATOS VENTILADORES : CONSIDERAÇÕES PARA OTIMIZAÇÃO DO PROJETO E DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO MECÂNICA E EXTRAÇÃO DE FUMAÇA EM GARAGENS E PARQUES DE ESTACIONAMENTOS - PAPER 28. XVII CONBRAVA - Congr. Bras. Refrig. ar-condicionado, Vent. aquecimento e Trat. ar, São Paulo: 2021, p. 14.
- [2] DIN. DIN EN ISO 6892-1 Metallic Materials -Tensile testing - Part 1: Method of test at room Temperature 2009:70.
- [3] Cayless RBC. Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys. ASM Handb. v.2 Prop. Sel. Nonferrous Alloy. Spec. Mater. 10th ed., ASM International; 1992, p. 41–7.
- [4] Rooy EL. Aluminum and Aluminum Alloys. ASM Handb. v.15 Cast. 10th ed., ASM International; 1992, p. 1622.
- [5] Ringer SP, Sakurai T, Polmear IJ. Origins of hardening in aged Al-Cu-Mg-(Ag) alloys. Acta Mater 1997;45:3731–44. doi:10.1016/S1359-6454(97)00039-6.
- [6] Lumley RN, Polmear IJ. The effect of long term creep exposure on the microstructure and properties of an underaged Al-Cu-Mg-Ag alloy. Scr Mater 2004;50:1227–31. doi:10.1016/j.scriptamat.2004.02.001.
- [7] Zolotarevsky VS, Belov NA, Glazoff M V. Casting Aluminum Alloys. Elsevier Ltd.; 2007. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045370-5.X5001-9.
- [8] Spittle JA. Grain refinement in shape casting of aluminium alloys. Int J Cast Met Res 2006;19:210–22. doi:10.1179/136404606225023444.
- [9] Ashby MF. Materials Selection in Mechanical Design. 2nd ed. Butterworth-Heinemann; 1999.
- [10] Brooks CR. Heat treatment of aluminum alloys. ASM Handb. v.4 Heat Treat., ASM International; 1991.
- [11] Moreira MF, Fuoco R. Characteristics of Fatigue Fractures in Al-Si Cast Components. Trans Am Foundry Soc 2006;114:1–15.
- [12] Moreira MF, Fuoco R. Fatigue cracks in aluminum cylinder heads for diesel engines. Int J Met 2010;4.
- [13] Ammar HR, Samuel AM, Samuel FH. Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys. Mater Sci Eng A 2008;473:65–75. doi:10.1016/j.msea.2007.03.112.

Conaendi

2023

SÓCIOS PATROCINADORES

BRIT&KERCHE

Eddyfi
Technologies

Eletrobras
Furnas

MAGNAFLUX

METAL-CEK

MISTRAS
SOUTH AMERICA
9001 14001 45001

POLIEND
Grupo Priner

Tenaris

vallourec

VILLARES METALS

USIMINAS U

Conaendi



2023

Obrigado!



Abendi