Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

ANÁLISE DE RECONDICIONAMENTO DE VÁLVULA DE EXAUSTÃO NAVAL

ANALYSIS OF THE RECONDITIONING OF A NAVAL EXHAUST VALVE

Brenno Santamaria da Silva, Felipe Figueiredo Guiomar, Lucas Santana Lopes dos Santos, Samuel de Souza Fernandez, Vinícius Araújo dos Santos, Willy Ank de Moraes

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica
E-mail para contato: lucassantana06@gmail.com

RESUMO – Este trabalho apresenta a caracterização preliminar de duas válvulas de exaustão de motores diesel navais de dois tempos, visando subsidiar a avaliação de seu recondicionamento. As composições químicas foram examinadas por espectrometria de emissão óptica; na amostra 1, realizaram-se ainda análises superficiais por MEV-EDS e medição de dureza Rockwell C. A amostra 1 apresentou 40 HRC e teores de Cr e Ti compatíveis com referências da liga Nimonic 80A, mas teor de Al de 2,549%, superior ao limite consultado. A amostra 2 apresentou composição parcialmente documentada. O MEV-EDS indicou heterogeneidade química superficial, sem identificação conclusiva dos mecanismos de deterioração. Os resultados constituem subsídios preliminares, mas não permitem definir a viabilidade do recondicionamento.

Palavras-chave: Válvulas de exaustão navais; Superligas à base de níquel; Caracterização química; Análise superficial por MEV-EDS; Avaliação de recondicionamento.

ABSTRACT – This study presents a preliminary characterization of two exhaust valves from two-stroke marine diesel engines to support an assessment of their reconditioning potential. Chemical compositions were examined using optical emission spectrometry; for sample 1, additional surface analyses were performed via SEM-EDS, and Rockwell C hardness measurements. Sample 1 exhibited a hardness of 40 HRC and Cr and Ti content consistent with the Nimonic 80A alloy specification; however, its Al content of 2.549% exceeded the referenced limit. The composition of sample 2 was documented only partially. SEM-EDS analysis revealed surface chemical heterogeneity, though it did not identify any definitive deterioration mechanisms. While these results provide preliminary data, they are insufficient to determine the feasibility of reconditioning.

Keywords: Marine exhaust valves; Nickel-based superalloys; Chemical characterization; SEM-EDS surface analysis; Reconditioning assessment.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna de dois tempos desempenham um papel importante na propulsão marítima, sendo empregados principalmente em embarcações de grande porte, como porta-contêineres, graneleiros e petroleiros. Sua aplicação nesse segmento está relacionada à capacidade de fornecer elevados níveis de torque em baixas rotações, aliada a um desempenho térmico eficiente, requisitos importantes para a movimentação de grandes navios. Em motores de grande porte, como os da linha ME fabricados pela MAN Energy Solutions, as rotações de trabalho ficam entre 80 e 120 RPM, com potências que podem ultrapassar 80.000 kW. Dada a operação contínua durante as navegações, os componentes desses motores estão sujeitos a esforços intensos e prolongados, o que torna a manutenção uma etapa crítica para garantir a disponibilidade das embarcações.

Dentre os componentes do motor, a válvula de exaustão tem um papel especialmente importante. Ela é responsável por controlar a saída dos gases gerados na combustão, e seu funcionamento influencia diretamente a eficiência do ciclo termodinâmico. A região de contato entre o disco da válvula e sua sede é a mais crítica, pois precisa garantir uma vedação apropriada durante milhares de horas de operação (Kim et al., 2001).

As condições às quais as válvulas de exaustão são submetidas são severas. A temperatura dos gases de exaustão pode ultrapassar 600°C na saída do cilindro, enquanto as pressões máximas de combustão chegam a mais de 150 bar (MAN DIESEL & TURBO, 2013). Além disso, a válvula abre e fecha a cada ciclo do motor, o que significa que ela executa dezenas de milhões de ciclos ao longo de sua vida útil. Essa combinação de alta temperatura, pressão e solicitação cíclica favorece o surgimento de trincas, erosão na face de assentamento, corrosão pelos gases de exaustão e deformação plástica localizada, conforme descrito por Kim et al. (2001) e Blau (2009).

Para resistir às condições mencionadas, é comum a utilização de superligas para a fabricação de válvulas de exaustão de motores navais de dois tempos. Sendo assim, as válvulas abordadas no presente estudo possuem uma composição compatível com superligas à base de níquel, caracterizadas por sua boa resistência mecânica em altas temperaturas e elevada estabilidade microestrutural, propriedades garantidas principalmente pelo mecanismo de endurecimento por precipitação da fase gama (γ'), promovida pela adição de alumínio e titânio

ISSN 2317-1316

(REED, 2006). Obata (1983) já destacava a importância dessas ligas no contexto de motores navais, e trabalhos mais recentes, como o de Weber e Banerjee (2016), reforçam que a composição química e o tratamento térmico são determinantes para o desempenho desses materiais em serviço.

Após um período de operação, os componentes acumulam danos que podem ou não ser recuperáveis. O recondicionamento — que costuma envolver inspeção, usinagem do assentamento, possível soldagem e controle dimensional — é uma alternativa à substituição por peça nova, e pode representar uma redução significativa de custos para os armadores. No entanto, a viabilidade técnica dessa recuperação depende diretamente do estado do material após o uso, incluindo sua composição química, integridade microestrutural e extensão dos danos superficiais (DAVIS, 1997). Sem uma caracterização adequada, não é possível determinar com segurança se o componente ainda tem condições de ser recuperado e estabelecer um processo para a recuperação.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar preliminarmente duas válvulas de exaustão retiradas de serviço, comparando os resultados de composição química com ligas de referência e avaliando, na primeira amostra, diferenças superficiais por MEV-EDS e dureza Rockwell C. Busca-se discutir a contribuição e as limitações desses resultados como subsídio a uma futura avaliação de recondicionamento, sem estabelecer, nesta etapa, a viabilidade técnica de recuperação das peças.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consiste em pesquisa aplicada, de caráter experimental e descritivo, acompanhada de revisão bibliográfica sobre materiais empregados em válvulas de exaustão de motores navais de dois tempos e possíveis mecanismos de deterioração. Foram consideradas duas válvulas retiradas de serviço, designadas neste artigo como amostras 1 e 2.

As amostras utilizadas na análise química foram retiradas da região de assentamento das válvulas por corte com esmerilhadeira e encaminhadas à espectrometria de emissão óptica (OES). Para a amostra 1, utilizou-se o laudo SGS PL2601472, revisão 1, emitido em 28 de maio de 2026, que informa o método ASTM A751:2021 (SGS DO BRASIL, 2026). Os resultados da

ISSN 2317-1316

amostra 2 foram transcritos de fotografia do ensaio, sem acesso ao laudo integral, às condições de medição e às respectivas informações de rastreabilidade.

A amostra 1 também foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS) em três pontos da superfície de assentamento. A interpretação considera a posição indicada na micrografia e os gráficos de composição elementar em porcentagem em massa (*Weight*%). Como não foram fornecidas as tabelas analíticas completas, os parâmetros de aquisição e as incertezas, os resultados foram comparados de modo descritivo, sem identificação conclusiva de fases ou compostos. Não há resultados de MEV-EDS para a amostra 2.

Na amostra 1 realizou-se uma única medição de dureza Rockwell C (HRC), em corpo de prova retirado da válvula, com durômetro analógico de bancada Heckert. Para confronto com referência expressa em Brinell, empregou-se a Tabela 3 da ASTM E140, relativa a ligas de níquel e alto teor de níquel (ASTM INTERNATIONAL, 2019). A conversão constitui estimativa tabelada, não um segundo ensaio. Não foram disponibilizados registros de repetibilidade, calibração do equipamento ou medições em diferentes posições do componente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as composições químicas das duas amostras, obtidas por espectrometria de emissão óptica (OES), juntamente com os valores nominais de diferentes ligas da família Nimonic, conforme Reed (2006), e os limites de composição da Nimonic 80A informados pela BIBUS METALS (s.d.). Os resultados da amostra 1 foram extraídos do laudo SGS, enquanto os da amostra 2 provêm de registro fotográfico, sem acesso ao relatório integral. Essa comparação permite avaliar preliminarmente a compatibilidade química dos materiais com as ligas de referência, mas não constitui identificação conclusiva nem estabelece critérios de aceitação para o recondicionamento das válvulas.

Na amostra 1, os teores obtidos de Cr (19,790%), Ti (2,429%) e C (0,053%) são compatíveis com os intervalos de referência de 18,0–21,0% e 1,8–2,7% e estão abaixo do limite de 0,10% de C informados pela BIBUS METALS (s.d.) para a liga 80A. Em contrapartida, o teor de Al (2,549%) excede o teor máximo de referência de 1,8%, em 0,749 ponto percentual. Esse resultado indica divergência composicional em relação à consulta, não permitindo

ISSN 2317-1316

identificar em definitivo a liga e nem a origem de seu desvio. O laudo da SGS assinalou Al, Ti e Ni como fora do escopo de acreditação do laboratório. (SGS DO BRASIL, 2026).

Tabela 1. Composição das amostras por OES, valores nominais e limites de referência da família Nimonic (% em massa).

Liga/amostra	C (%)	Cr (%)	Ti (%)	Al (%)	Co (%)	Mo (%)	Ni (%)
Amostra 1	0,053	19,790	2,429	2,549	0,040	0,030	base
Amostra 2	0,061	18,670	ND	1,604	ND	0,030	base
Nimonic 80A	0,07	19,5	2,4	1,4	n.i.	n.i.	base
Nimonic 90	0,08	19,5	2,4	1,4	17	n.i.	base
Nimonic 105	0,13	15,0	4,7	1,3	20	5,0	base
Nimonic 115	0,15	14,5	3,8	5,0	13	3,3	base
Nimonic 80A (BIBUS)	≤0,10	18–21	1,8–2,7	1–1,8	≤2,0	n.i.	base

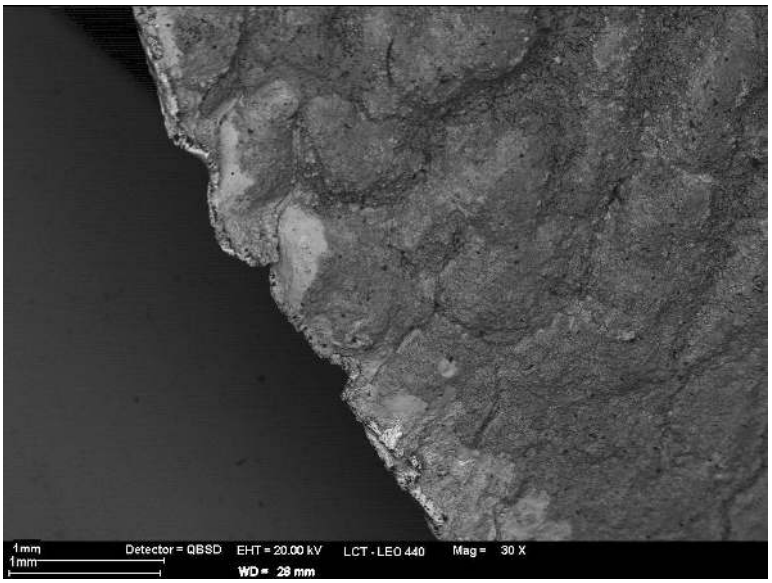
Fonte: SGS DO BRASIL (2026); registros dos autores (2026); Reed (2006); BIBUS METALS (s.d.).
Nota: ND = não determinado/informado; n.i. = não informado; Bal. = balanço de Ni na referência ou indicação no laudo. Dados de Reed são nominais; limites da última linha provêm da BIBUS METALS e não são critérios de recondicionamento.

Na amostra 2, obtiveram-se teores de C (0,061%), Cr (18,670%) e Al (1,604%) os quais se situam dentro dos limites de referência da ficha da BIBUS METALS (s.d.), porém o registro fotográfico não pôde informar os teores de Ti e Co, tampouco permitiu confirmar o elemento-base, recordando que ND não significa ausência do elemento. Sem o laudo completo e uma composição abrangente, não é possível identificar a liga nem estabelecer qualquer equivalência entre as amostras para determinar qual válvula teria melhores condições de recondicionamento.

A superfície de assentamento da amostra 1 foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), conforme ilustrado na Figura 1. A Figura 2 apresenta um detalhe da região analisada, com a identificação dos três pontos selecionados para avaliação química por EDS. Os resultados correspondentes estão reunidos na Figura 3, permitindo comparar a distribuição dos elementos identificados nas diferentes posições.

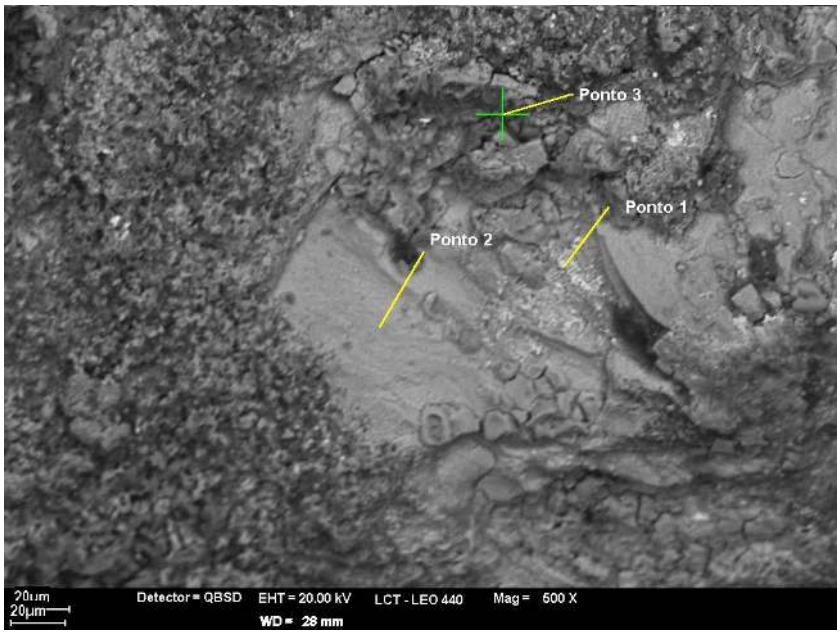
ISSN 2317-1316

Figura 1: Aspecto da superfície de assentametno na amostra 1.



Fonte: registros experimentais dos autores (2026).

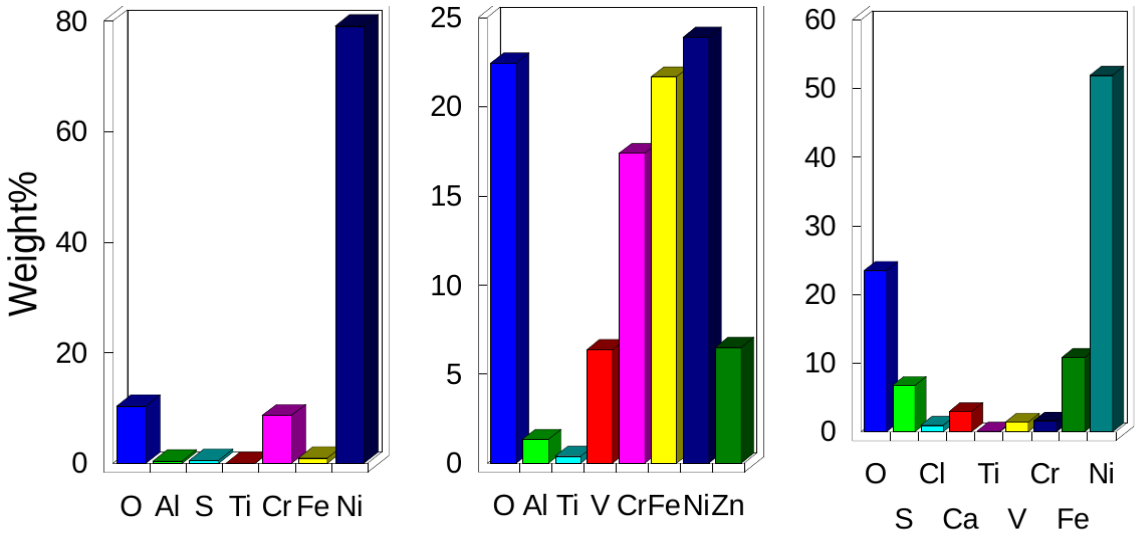
Figura 2: Regiões selecionadas para análise pontual por MEV-EDS na amostra 1.



Fonte: registros experimentais dos autores (2026).

ISSN 2317-1316

Figura 3: Gráficos de composição elementar por EDS (% em massa) na amostra 1: da esquerda para a direita, pontos 3, 2 e 1.



Fonte: registros experimentais dos autores (2026).

Os gráficos da Figura 3 apresentam diferenças consideráveis. No ponto 3 (gráfico à esquerda), há um predomínio de Ni além da presença de O, Cr e outros elementos em menores teores. No ponto 2 (gráfico central), O, Cr, Fe e Ni apresentam uma presença mais expressiva, além de registros adicionais de V e Zn. Enquanto isso no ponto 1 (gráfico à direita), o teor de Ni permanece majoritário, acompanhado de O e Fe, além da presença de teores menores de S, Cl, Ca, V e Cr. Essas diferenças evidenciam heterogeneidade elementar entre as regiões superficiais avaliadas, mas não representam a composição química global das válvulas, determinada por OES.

O alto teor de oxigênio, metais e elementos adicionais sugere a formação de óxidos (produtos de oxidação) ou o acúmulo de resíduos submetidos a altas temperaturas na região de assentamento. Entretanto, os gráficos disponíveis não permitem distinguir quantitativamente a camada de óxido, os resíduos e o material-base, tampouco estabelecer a origem de V, Zn, S ou Cl.

A observação é coerente com a possibilidade de interação entre desgaste e oxidação em válvulas de exaustão (BLAU, 2009), porém não é suficiente para comprovar, de forma isolada, corrosão, erosão ou outro mecanismo específico. Para isso seriam necessárias seções

ISSN 2317-1316

metalográficas, análises complementares e histórico operacional. Em estudo de válvulas de composição distinta, Pouranvari et al. (2024) destacam a necessidade de associar evidências microestruturais ao exame de falhas; seus resultados não podem nem como devem ser transferidos diretamente às amostras deste trabalho.

A medição de dureza realizada na amostra 1 apresentou resultado de 40 HRC, equivalente a aproximadamente 363 HB pela conversão indicada na ASTM E140 para ligas de níquel (ASTM INTERNATIONAL, 2019). A Figura 4 apresenta o posicionamento do corpo de prova no durômetro e a leitura obtida.

Figura 4: Ensaio de dureza Rockwell C realizado na primeira válvula de exaustão: (a) posicionamento do corpo de prova no durômetro Heckert; (b) leitura do resultado no mostrador analógico.



Fonte: registros experimentais dos autores (2026).

O valor convertido mostrou-se próximo aos 350 HB indicados pela Sandvik Coromant (2011) para a liga Nimonic 80A na condição envelhecida, correspondendo a uma diferença nominal de 13 HB. Entretanto, essa proximidade não comprova a identificação da liga nem sua adequação ao serviço, especialmente porque foi realizada apenas uma medição e não foram avaliadas possíveis variações de dureza ao longo do componente.

Para avaliar efetivamente o recondicionamento, ainda são necessárias inspeções de integridade superficial, como ensaio por líquido penetrante quando tecnicamente aplicável, verificação dimensional, avaliação da região de vedação e comparação com critérios de aceitação do fabricante do motor ou componente. As análises químicas, os gráficos de EDS e a medição isolada de dureza não substituem essas etapas nem permitem determinar segurança funcional ou vida remanescente.

ISSN 2317-1316

4 CONCLUSÃO

A caracterização das válvulas de exaustão navais evidenciou diferenças composicionais e alterações superficiais relevantes para a avaliação de seu recondicionamento. A amostra 1 apresentou teores de Cr, Ti e C compatíveis com os limites de referência da liga Nimonic 80A, mas teor de Al (2,549%) superior ao máximo indicado, impedindo sua identificação conclusiva. As análises por MEV-EDS revelaram heterogeneidade química superficial, sem permitir determinar os mecanismos de deterioração. A dureza de 40 HRC, equivalente a aproximadamente 363 HB, mostrou-se próxima à referência da liga envelhecida, mas não constitui evidência suficiente de sua adequação ao serviço. Para a amostra 2, a composição química parcialmente documentada também impossibilitou a identificação da liga. Assim, os resultados fornecem subsídios à investigação do recondicionamento, cuja viabilidade técnica ainda depende de análises complementares, inspeções de integridade e verificações dimensionais, considerando os critérios de aceitação do fabricante.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Santa Cecília pela disponibilidade dos laboratórios e biblioteca, e ao orientador Prof. Me. Willy Ank de Morais pelo direcionamento ao longo do trabalho.

6 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração e revisão deste trabalho, foram utilizadas as ferramentas Gemini e ChatGPT como apoio à revisão textual e à organização da discussão técnica. A seleção e a conferência dos dados experimentais, das fontes e das conclusões cabem integralmente aos autores.

7 REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. ASTM E140-12b(2019)e1: Standard Hardness Conversion Tables for Metals. West Conshohocken: ASTM International, 2019. DOI: 10.1520/E0140-12BR19E01.

ISSN 2317-1316

BIBUS METALS. Technical datasheet: Alloy 80A / W-Nr. 2.4631. [S. l.]: BIBUS METALS, [s. d.]. Disponível em: https://www.bibusmetals.com/fileadmin/materials/PDF/BM_Datasheets/BM_datasheet_alloy_80A.pdf. Acesso em: 14 out. 2026.

BLAU, P. J. A wear model for diesel engine exhaust valves. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2009. (ORNL/TM-2009/259). DOI: 10.2172/1039217.

DAVIS, J. R. (ed.). ASM specialty handbook: heat-resistant materials. Materials Park, OH: ASM International, 1997.

KIM, Y. et al. Failure analysis of an exhaust valve in a marine diesel engine. Engineering Failure Analysis, v. 8, n. 2, p. 109–117, 2001.

MAN DIESEL & TURBO. Service Letter SL2013-573/JAG: exhaust valve condition — in relation to low load operation. Copenhagen: MAN Diesel & Turbo, 2013. Documento oficial. Acesso em: maio 2026.

OBATA, E. Present situation of heat resisting alloys for marine diesel engine valves. Denki-Seiko, v. 54, n. 4, p. 238–245, 1983. DOI: 10.4262/denkiseiko.54.238.

POURANVARI, M.; AZGHANI, N.; GHASEMI, A.; SING, S. L. The role of microstructure stability in the failure of exhaust valves in heavy-duty diesel engines. Journal of Materials Research and Technology, v. 33, p. 9843–9852, 2024. DOI: 10.1016/j.jmrt.2024.12.010.

REED, R. C. The superalloys: fundamentals and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. DOI: 10.1017/CBO9780511541285.

SANDVIK COROMANT. Heat resistant super alloys: application guide. Sandviken: Sandvik Coromant, 2011. Disponível em: https://cdn.sandvik.coromant.com/files/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/en-gb/c-2920-034.pdf. Acesso em: 10 out. 2026.

SGS DO BRASIL. Relatório de ensaio PL2601472, revisão 1. 28 maio 2026. Documento fornecido pelos autores.

WEBER, J. H.; BANERJEE, M. K. Nickel-based superalloys: alloying. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2016.