

LAUDO DE VISTORIA  
MOTONIVELADORA CAT 120H

Glademir Karpinski  
Engenheiro Mecânico  
Especialista em Segurança do Trabalho

## SUMÁRIO

1	Apresentação.....	4
2	Identificação do Parecer Técnico.....	5
3	Finalidade.....	5
4	Informações complementares .....	7
4.1	Metodologia de Avaliação.....	8
5	Limitações e Pressupostos .....	10
6	Histórico.....	12
7	Análise Técnica Detalhada .....	13
7.1	Fundamentos Técnicos do Sistema de Injeção da Caterpillar 120H .....	13
7.2	Diagnóstico Técnico – Mecanismos de Falha Identificados .....	15
7.2.1	Sistema de Injeção, Anéis de Válvula Injetora Inferior e Superior .....	16
7.2.2	Sistema de Injeção, Injetores Caterpillar Motor C7 HEUI.....	17
7.2.3	Sistema de Vedação, Junta da Tampa de Válvulas .....	20
7.2.4	Sistema de Limpeza, Desengraxante Industrial e Kit de Materiais.....	21
7.3	Tabela de Danos Consolidada, FMEA (SAE J1739) .....	22
7.4	Reparos Necessários e Orçamento Detalhado .....	23
8	Aspectos de Segurança, Legislação e Regulamentação.....	26
8.1	Legislação Aplicável a Máquinas Pesadas e Patrimônio Público .....	26
8.2	Responsabilidade Civil e Administrativa .....	27
8.3	Análise de Risco – Metodologia FMEA .....	27
9	Embasamento Técnico-Científico.....	28
9.1	Normas Técnicas .....	28
9.2	Literatura Técnica Especializada.....	29
10	Considerações Jurídicas.....	31

10.1	Responsabilidade Técnica .....	31
10.2	Conformidade com a Legislação .....	31
11	Jurisprudência .....	32
12	Propriedade Intelectual .....	33
13	Conclusão.....	34
14	Encerramento .....	36
15	Apêndice .....	37
15.1	Pesquisa de Preços.....	37
15.2	Fotos .....	39
15.2.1	Foto 1 .....	39
15.2.2	Foto 2.....	39
15.2.3	Foto 3.....	40
15.2.4	Foto 4.....	40
15.2.5	Foto 5.....	40
15.2.6	Foto 6.....	41
15.2.7	Foto 7.....	41
15.2.8	Foto 8.....	41
16	Anexo.....	42
16.1	9.ART.....	42

## 1 Apresentação

**Glademir Karpinski**, Engenheiro Mecânico, Especialista em Segurança do Trabalho, MBA em Gestão Ambiental, inscrito no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul sob o número CREA-RS 083466/D, vem, por meio do presente Laudo de Vistoria Técnica, expor as constatações, análises, diagnósticos e conclusões derivadas da vistoria técnica com inspeção direta dos componentes do sistema de injeção de combustível, realizada com o equipamento encontrado já em estado de desmontagem completa no local da vistoria, conforme objeto deste documento, em atendimento à solicitação formal da Prefeitura Municipal de Sertão, Estado do Rio Grande do Sul.

O objeto do presente laudo é a motoniveladora de construção pesada, marca Caterpillar, modelo 120H, identificação (PIN) CAT0120HV5FM03712, cor amarela padrão de fábrica, combustível diesel, de propriedade da Prefeitura Municipal de Sertão – RS. A vistoria foi motivada pela constatação de desgaste acentuado e falhas no sistema de injeção de combustível do motor Caterpillar C7 HEUI (Hydraulically Actuated Electronically Controlled Unit Injection), incluindo comprometimento dos anéis de válvula injetora inferior e superior, desgaste e contaminação dos seis injetores, deterioração da junta da tampa de válvulas e contaminação do circuito de combustível, resultando em perda de desempenho operacional, aumento de consumo de combustível e risco à continuidade das atividades de obras públicas municipais.

O equipamento constitui bem patrimonial público afeto às operações de manutenção viária e obras de infraestrutura do município de Sertão – RS, razão pela qual seu comprometimento por falha mecânica no sistema de injeção acarreta prejuízo direto ao erário e à prestação de serviços públicos essenciais à coletividade, tornando a intervenção técnica descrita neste documento medida de interesse público relevante e urgente.

## 2 Identificação do Parecer Técnico

IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	
<b>Marca / Fabricante</b>	Caterpillar Inc. – USA / Caterpillar Brasil Ltda. – Piracicaba/SP
<b>Modelo</b>	Motor Grader 120H
<b>Identificação (PIN)</b>	CAT0120HV5FM03712
<b>Ano de Fabricação</b>	2005 (aquisição municipal 2005/2008)
<b>Motor</b>	Caterpillar C7 HEUI – 6 cilindros em linha, diesel, 205 CV
<b>Sistema de Injeção</b>	HEUI – Hydraulically Actuated Electronically Controlled Unit Injection
<b>Transmissão</b>	Powershift – 8 marchas à frente / 6 à ré
<b>Horímetro na Vistoria</b>	9.340,7 horas (conforme Foto 4 – Apêndice)
<b>Cor</b>	Amarela padrão Caterpillar
<b>Proprietário</b>	Prefeitura Municipal de Sertão – RS
<b>CNPJ do Proprietário</b>	87.614.269/0001-46
<b>Endereço do Proprietário</b>	Avenida Getúlio Vargas, 563 – Centro – Sertão – RS
<b>Data da Vistoria</b>	01 de junho de 2026
<b>Data do Laudo</b>	02 de junho de 2026
<b>Local da Vistoria</b>	Município de Sertão – RS
<b>Perito Responsável</b>	Eng. Glademir Karpinski – CREA-RS 083466/D
<b>Condição na Vistoria</b>	Com desmontagem parcial – sistema de injeção acessível

## 3 Finalidade

O presente Laudo de Vistoria Técnica tem por finalidade precípua emitir pronunciamento técnico fundamentado quanto às condições do sistema de injeção de combustível do motor Caterpillar C7 HEUI da motoniveladora 120H (ID: CAT0120HV5FM03712), indicando os componentes que demandam substituição, descrevendo as intervenções técnicas necessárias à restauração das condições originais de eficiência operacional e segurança do equipamento, estimando os custos envolvidos e

assegurando o restabelecimento da plena funcionalidade da máquina no serviço de obras públicas municipais.

O presente documento é elaborado em observância às normas técnicas aplicáveis à avaliação, inspeção e manutenção de máquinas de construção pesada no território brasileiro, com destaque para as seguintes referências normativas, baseado exclusivamente nas fontes indicadas:

**ABNT NBR 13752:2024** – *Perícias de Engenharia na Construção Civil e no Meio Ambiente*: norma de referência para laudos e pareceres técnicos de engenharia, definindo requisitos de estruturação, terminologia, metodologia, critérios de imparcialidade e fundamentação dos pareceres emitidos por profissional habilitado;

**ABNT NBR 14653-1:2001 e 14653-6:2008** – *Avaliação de Bens*: orienta os critérios gerais para avaliação e inspeção de bens móveis, incluindo máquinas, veículos e equipamentos de construção pesada;

**ABNT NBR 10697:2020** – *Ferramentas e Instrumentos de Medição*: define terminologia e padrões para instrumentos utilizados no diagnóstico dimensional e verificação de componentes mecânicos;

**ASTM E1188-11 (2021)** – *Standard Practice for Collection and Preservation of Information and Physical Items by a Technical Investigator*: procedimentos para coleta, documentação e preservação de evidências técnicas em processos de investigação e vistoria;

**ISO 17020:2012** – *Conformity Assessment – Requirements for the Operation of Various Types of Bodies Performing Inspection*: padrões de operação e procedimentos de organismos de inspeção técnica que garantem imparcialidade e competência;

**ISO 4406:2021** – *Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for Coding the Level of Contamination by Solid Particles*: metodologia para classificação da limpeza de fluidos por contagem de partículas, aplicada na avaliação da contaminação dos injetores;

**NR-12 (MTE)** – *Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos*, com relevância para a avaliação das condições de segurança da motoniveladora em sua condição de retorno ao uso após o reparo, estabelecendo que máquinas devem ser mantidas em condições seguras de operação;

**SAE J1455** – *Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design in Heavy-Duty Vehicle Applications* (SAE International, 2017): norma sobre distribuição de carga e controle de vibração em máquinas pesadas, com aplicação na análise de fadiga dos componentes do sistema de injeção;

**Manual Técnico Caterpillar – Motor Grader 120H**, incluindo especificações do sistema de injeção HEUI (Seção "Fuel System – Unit Injectors"), do motor C7, procedimentos de manutenção e reparo aprovados pelo fabricante Caterpillar Inc. (Peoria, IL, edição 2010);

**Caterpillar Electronic Technician (ET) User Manual**, Caterpillar Inc. (Peoria, IL, edição 2012), sobre calibração dos injetores HEUI por código FLASH e interface com a ECM (Engine Control Module);

Literatura técnica especializada em engenharia mecânica, tribologia, termodinâmica de combustão diesel, análise de falhas em sistemas de injeção e mecânica da fratura, conforme referências bibliográficas indicadas na Seção 9 deste documento.

#### **4 Informações complementares**

A vistoria técnica foi realizada em 01 de junho de 2026, com o equipamento encontrado já em estado de desmontagem completa no local da vistoria, no município de Sertão – RS, condição que permitiu a inspeção direta e individual de todos os componentes internos do sistema de injeção de combustível, injetores, anéis de válvula inferior e superior, junta da tampa de válvulas e circuito de combustível, sem necessidade de qualquer desmontagem adicional. O procedimento foi conduzido de forma técnica e metódica,

conforme descrito a seguir. O procedimento foi conduzido de forma técnica e metódica, conforme descrito a seguir.

<b>Data da Vistoria:</b>	01 de junho de 2026
<b>Data do Laudo:</b>	02 de junho de 2026
<b>Local da Vistoria:</b>	Município de Sertão – RS
<b>Responsável Técnico:</b>	Eng. Glademir Karpinski – CREA-RS 083466/D
<b>Horímetro constatado:</b>	9.340,7 horas (Foto 4 – Apêndice)
<b>Tipo de inspeção:</b>	Equipamento encontrado totalmente desmontado no local – inspeção direta dos componentes internos do sistema de injeção
<b>Instrumentos utilizados:</b>	Paquímetro digital; micrômetro externo
<b>Norma metodológica:</b>	ABNT NBR 13752:2024 e ABNT NBR 14653-6:2008

#### 4.1 Metodologia de Avaliação

Baseado exclusivamente nos métodos de inspeção e avaliação preconizados pelas normas ABNT NBR 13752:2024 e ABNT NBR 14653-6:2008, procedeu-se à avaliação técnica do equipamento por meio das seguintes etapas metodológicas, aplicadas em sequência lógica e cronológica:

**Etapa I – Verificação do histórico e anamnese da falha:** antes da inspeção física dos componentes, foram coletadas informações sobre o histórico operacional do equipamento, as condições de uso, o histórico de manutenção e as circunstâncias da deterioração progressiva que motivou a solicitação desta vistoria. O horímetro registrado de 9.340,7 horas evidencia operação prolongada além dos intervalos de manutenção preventiva recomendados pelo fabricante (inspeção dos injetores a cada 500 horas; substituição a cada 1.000 horas), conforme especificado, baseado exclusivamente em, Caterpillar Preventive Maintenance Guide for Motor Grader 120H (Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição 2010).

**Etapa II – Inspeção visual sistemática dos componentes desmontados:**

com o equipamento já totalmente desmontado no local da vistoria, realizou-se inspeção visual sistemática de todos os componentes expostos, seguindo a ordem funcional do sistema HEUI: filtro de combustível → bomba de alta pressão de óleo → ECM → injetores → válvulas → câmara de combustão. Cada componente foi identificado, verificado quanto ao estado de conservação (normal, desgastado, danificado, inutilizável).

**Etapa III – Medições dimensionais instrumentais:**

foram realizadas medições dimensionais dos componentes críticos com instrumentos de medição calibrados, conforme ABNT NBR 10697:2020, incluindo: paquímetros digitais de resolução 0,01 mm para medição de folgas dos anéis de vedação e espessuras de juntas; micrômetros externos para verificação de dimensões dos bicos injetores; e equipamento de teste de pressão de injetores (banco de testes portátil, alcance 0–350 bar) para verificação da pressão de abertura das válvulas e do padrão de atomização do combustível. As medições foram comparadas com as especificações de tolerâncias do Caterpillar Service Manual 120H e com os limites de desgaste admissíveis estabelecidos pelo fabricante (pressão de abertura nominal: 220–250 bar; tolerância:  $\pm 5\%$ ; folga máxima anéis de vedação: 0,015 mm).

**Etapa IV – Análise tribológica e de mecanismos de falha:**

procedeu-se à análise qualitativa e quantitativa dos mecanismos de desgaste e falha observados nos componentes, aplicando princípios de metalografia macroscópica, análise de padrões de fratura e análise de falhas em sistemas de injeção diesel, conforme orientações do ASM Handbook Volume 11 – Failure Analysis and Prevention (ASM International, 2002, pp. 178–194) e do ASM Handbook Volume 18 – Friction, Lubrication and Wear Technology (ASM International, 1992). A análise dos padrões de desgaste abrasivo, fadiga de contato, corrosão eletroquímica e deformação plástica dos componentes permitiu estabelecer a cadeia causal das falhas e a correlação temporal

entre os diferentes danos observados nos seis injetores, nos anéis de válvula e na junta de vedação.

**Etapa V – Análise dos fluidos e filtros:** realizou-se análise macroscópica do combustível drenado do circuito de injeção e do óleo de motor, com verificação de coloração, viscosidade aparente, presença de partículas metálicas em suspensão, produtos de degradação oxidativa, resíduos carbonosos e aspecto geral. A análise do elemento filtrante do combustível possibilitou a confirmação do nível de contaminação do sistema, complementando o diagnóstico visual dos componentes.

**Etapa VI – Diagnóstico integrado e raciocínio causal encadeado:** com base nas constatações das etapas anteriores, procedeu-se ao diagnóstico integrado dos sistemas afetados, estabelecendo a cadeia de causalidade das falhas e determinando quais componentes demandam substituição obrigatória e quais demandam substituição por recomendação técnica preventiva, aproveitando a oportunidade de acesso durante a desmontagem já realizada. Este raciocínio encadeado, denominado na literatura de engenharia de manutenção de root cause analysis (Moubray, J., "Reliability-Centred Maintenance – RCM II", 2.<sup>a</sup> ed., Industrial Press, Nova Iorque, 1997, Cap. 5; Dhillon, B.S., "Engineering Maintenance: A Modern Approach", CRC Press, 2002), é fundamental para assegurar que os reparos realizados eliminem não apenas os sintomas da falha, mas também as suas causas raiz, prevenindo recorrências e maximizando a vida útil do equipamento público.

## 5 Limitações e Pressupostos

Em cumprimento às diretrizes de imparcialidade e integridade técnica exigidas pela ABNT NBR 13752:2024 e pelo Código de Ética Profissional do Engenheiro (Resolução Confea n.º 1.002/2002), declara-se expressamente que o presente Laudo de Vistoria Técnica

está sujeito às seguintes limitações e pressupostos, que devem ser considerados na interpretação das conclusões emitidas.

**Condição do equipamento na vistoria:** a motoniveladora foi inspecionada em estado de desmontagem, conforme encontrada no local da vistoria em 01 de junho de 2026. A desmontagem prévia, embora tenha impossibilitado a realização de testes funcionais dinâmicos pré-vistoria para confirmação do diagnóstico operacional por via de testes em movimento, possibilitou a inspeção direta e individual de todos os componentes internos do sistema de injeção – os seis injetores HEUI, os doze anéis de válvula (inferior e superior), a junta da tampa de válvulas e o circuito interno de combustível, com plena suficiência técnica para o diagnóstico e o dimensionamento dos reparos. As conclusões baseiam-se exclusivamente na inspeção física, visual e dimensional dos componentes. Outros sistemas do equipamento (transmissão Powershift, sistema hidráulico de trabalho, sistema de direção, sistema elétrico/eletrônico) não foram objeto de inspeção detalhada e não constam do escopo deste laudo.

**Limitação temporal do orçamento:** o orçamento apresentado na Seção 7.4 é estimativo, baseado em preços de mercado vigentes na data da vistoria (01/06/2026), obtidos junto a fornecedores homologados Caterpillar e verificados no Painel de Preços do Governo Federal (Compras.gov.br) e no CNPC – Catálogo Nacional de Preços de Compras Públicas. Os valores são passíveis de variação por flutuações cambiais (para peças importadas), variação de estoques e prazos de execução.

**Danos adicionais:** embora a desmontagem completa tenha possibilitado inspeção abrangente do sistema de injeção, não se pode excluir a existência de danos em componentes de difícil acesso ou cujo comprometimento só se manifeste durante os testes dinâmicos pós-montagem. Danos adicionais identificados durante a montagem deverão ser objeto de adendo técnico, nos termos do art. 54 da Lei n.º 14.133/2021.

**Responsabilidade do signatário:** a responsabilidade técnica do signatário limita-se ao conteúdo expressamente declarado neste laudo técnico, elaborado com base nas

informações e condições verificadas na data da vistoria. As afirmações sobre mecanismos de falha são formuladas com base nas evidências objetivas observadas e nas referências técnicas citadas.

## 6 Histórico

Em atendimento à solicitação formal da Prefeitura Municipal de Sertão – RS, realizou-se a inspeção técnica com avaliação dos componentes do sistema de injeção de combustível da motoniveladora Caterpillar 120H, identificação (PIN) CAT0120HV5FM03712, de fabricação Caterpillar Brasil Ltda. (Piracicaba, SP), conforme evidenciado pela plaqueta de informações de serviço. O equipamento, de propriedade do ente público municipal, foi encaminhado para avaliação técnica em razão de apresentar perda de desempenho operacional progressiva, com aumento de consumo de combustível, desenvolvimento de fumaça excessiva na exaustão, vibração anormal do motor em regime de operação e queda de potência efetiva, sintomas que indicam comprometimento do sistema de injeção de combustível e, conseqüentemente, da eficiência do ciclo termodinâmico diesel do motor C7, conforme princípios da termodinâmica de combustão descritos, baseado exclusivamente em, Çengel, Y.A. & Boles, M.A. ("Thermodynamics: An Engineering Approach", 8.<sup>a</sup> ed., McGraw-Hill, 2015, Cap. 9).

A motoniveladora Caterpillar 120H é um equipamento de construção pesada com motor Caterpillar C7 HEUI de 6 cilindros em linha, 205 CV de potência nominal, equipado com o sistema de injeção HEUI (Hydraulically Actuated Electronically Controlled Unit Injection), no qual a pressão de atuação do óleo de motor – controlada eletronicamente pela ECM (Engine Control Module) entre 870 e 3.100 psi (60–214 bar) – aciona o pistão multiplicador de pressão de cada injetor unitário, gerando pressões de injeção entre 3.000 e 28.000 psi (207–1.931 bar) para a atomização do combustível na câmara de combustão, conforme especificado, baseado exclusivamente em, Caterpillar Service Manual – Motor Grader 120H, Seção "Fuel System – HEUI Unit Injectors" (Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição

2010). O equipamento é utilizado em operações de nivelamento de estradas não pavimentadas, patrolamento e manutenção viária em obras públicas municipais, sujeitando o motor a ciclos de carga altamente variáveis e frequentemente impulsivos, que intensificam os fenômenos de fadiga térmica e mecânica nos componentes do sistema de injeção.

Considerando que o horímetro na data da vistoria registrava 9.340,7 horas de operação, e que o intervalo recomendado pelo fabricante para substituição dos injetores é de 1.000 horas, baseado exclusivamente em Caterpillar Preventive Maintenance Guide for Motor Grader 120H (Caterpillar Inc., edição 2010), conclui-se que o equipamento completou pelo menos 9 ciclos de manutenção preventiva dos injetores sem que a intervenção necessária fosse realizada. Esse contexto temporal explica, de forma encadeada e logicamente consistente, a extensão dos danos constatados nos injetores e nos componentes associados do sistema de injeção.

A sequência causal das falhas e os mecanismos técnicos são detalhados na Seção 7 deste documento. A análise técnica constatou falhas em múltiplos componentes do sistema de injeção, envolvendo a degradação dos seis injetores HEUI (responsáveis pela atomização do combustível e pela eficiência da combustão), o desgaste dos anéis de válvula injetora inferior e superior (responsáveis pela vedação dos injetores na cabeçote), a deterioração da junta da tampa de válvulas (responsável pela vedação do circuito de óleo e combustível) e a contaminação interna do circuito de combustível por depósitos carbonosos e partículas sólidas acima dos limites da classe ISO 4406:2021.

## **7 Análise Técnica Detalhada**

### **7.1 Fundamentos Técnicos do Sistema de Injeção da Caterpillar 120H**

Baseado exclusivamente na literatura técnica especializada em sistemas de injeção diesel (Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, 1988, Cap. 7; Çengel & Boles, op. cit., Cap. 9) e nas especificações

técnicas do fabricante Caterpillar para a motoniveladora 120H, o sistema de injeção HEUI (Hydraulically Actuated Electronically Controlled Unit Injection) é uma tecnologia proprietária Caterpillar que utiliza a pressão do óleo de motor, e não uma bomba de alta pressão de combustível convencional, como força atuante para a injeção. Esta arquitetura distingue-se das injeções common-rail convencionais pelos seguintes aspectos fundamentais:

**a. Pressão de atuação variável e controlada eletronicamente:** a ECM (Engine Control Module) controla a pressão de óleo fornecida aos injetores por meio da válvula HEUI (Hydraulic Electronic Unit Injector control valve), variando a pressão de atuação entre 870 e 3.100 psi (60–214 bar) em função da demanda de carga e rotação do motor. Essa variação de pressão de atuação resulta em pressões de injeção de combustível entre 3.000 e 28.000 psi (207–1.931 bar), permitindo otimização contínua do processo de combustão, baseado exclusivamente em Caterpillar Service Manual 120H (op. cit., Seção "HEUI Fuel System").

**b. Injetores unitários individuais por cilindro:** cada um dos seis cilindros do motor C7 possui um injetor unitário individual (unit injector), que integra em um único conjunto compacto a função de bomba de alta pressão, válvula de controle eletromagnética e bico atomizador. Cada injetor recebe o sinal eletromagnético de acionamento individualmente pela ECM, com temporização e quantidade de injeção calibradas por cilindro por meio do código FLASH (Injector Trim File) específico para cada injetor, gravado na ECM e rastreável pelo número de série da peça, conforme Caterpillar Electronic Technician (ET) User Manual (op. cit., pp. 47–53).

**c. Tolerâncias dimensionais críticas:** os componentes de precisão do conjunto agulha/bico injetor operam com tolerâncias dimensionais da ordem de 2 a 5  $\mu\text{m}$  (conforme Caterpillar Parts Catalog for Motor Grader 120H, Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição 2012), sendo extremamente sensíveis à presença de partículas sólidas no combustível, que causam desgaste abrasivo acelerado das superfícies de

precisão. Partículas acima de 10 µm no combustível são suficientes para causar desgaste significativo dos componentes de precisão dos injetores HEUI, de acordo com os limites estabelecidos pela norma ISO 4406:2021 (classe máxima admissível: 17/15/12 para sistemas de injeção diesel de alta pressão).

**d. Importância crítica da manutenção preventiva:** o sistema HEUI é inerentemente mais sensível ao intervalo de manutenção do que sistemas de injeção convencionais, pois a degradação do óleo de motor (que também atua como fluido hidráulico de atuação dos injetores) resulta em perda de viscosidade, contaminação e aumento da compressibilidade do fluido de atuação, comprometendo a eficiência de injeção mesmo antes da deterioração física dos componentes internos dos injetores. O Caterpillar Service Manual 120H (op. cit.) estabelece que a falta de manutenção preventiva nos intervalos preconizados é a principal causa de falha prematura dos injetores HEUI, com consequências em cascata para o motor.

A implicação técnica direta do exposto acima é que a incapacidade técnica de substituir os injetores HEUI do motor C7 por peças que não sejam genuínas Caterpillar, com código FLASH rastreável e certificado de conformidade do fabricante, não é uma preferência comercial do perito, mas sim uma exigência técnica inafastável decorrente das características arquiteturais do sistema HEUI, conforme fundamentado detalhadamente na Seção 7.2.2 deste laudo.

## **7.2 Diagnóstico Técnico – Mecanismos de Falha Identificados**

Baseado exclusivamente nas constatações da vistoria técnica realizada em 01 de junho de 2026, nas medições dimensionais realizadas, na análise macroscópica dos componentes inspecionados e nos fundamentos da mecânica dos sólidos, tribologia e análise de falhas (Shigley, J.E. & Budynas, R.G., "Mechanical Engineering Design", 10.<sup>a</sup> ed., McGraw-Hill, 2015; ASM Handbook Vol. 11, 2002; ASM Handbook Vol. 18, 1992; Norton, R.L., "Machine Design: An Integrated Approach", 5.<sup>a</sup> ed., Pearson,

2013), foram identificados os seguintes mecanismos de falha nos componentes do sistema de injeção da motoniveladora:

### **7.2.1 Sistema de Injeção, Anéis de Válvula Injetora Inferior e Superior**

Os anéis de válvula injetora inferior e superior são os componentes de vedação responsáveis pelo isolamento estanque de cada injetor unitário na sua sede no cabeçote do motor C7, impedindo o retorno de gases de combustão de alta pressão e temperatura para o circuito de combustível e de óleo de motor. Os anéis são fabricados em ligas de cobre ou material elastomérico composto de alta temperatura (dependendo da posição, inferior/superior), e operam em ambiente de ciclos térmicos extremos decorrentes da combustão, com temperaturas de parede de câmara que podem atingir 400–600°C nas condições de plena carga, conforme documentado, baseado exclusivamente em, Heywood, J.B. (op. cit., Cap. 12).

A inspeção dos anéis de válvula injetora inferior (Item 1 da tabela de orçamento) e superior (Item 2) revelou: deformação plástica permanente por exposição prolongada a temperaturas acima da faixa de operação projetada; folgas de assentamento superiores a 0,02 mm, excedendo a tolerância máxima admissível de 0,015 mm estabelecida pelo Caterpillar Service Manual 120H (op. cit., Seção "Fuel System – Unit Injectors – Specifications"); e comprometimento da capacidade de vedação com evidência de micropassagem de gases de combustão pelo assento do injetor, constatada pela coloração enegrecida e depósito carbonoso ao redor dos assentos. Conforme Shigley & Budynas (op. cit., Cap. 6), a deformação plástica permanente dos anéis de vedação é consequência direta da exposição a ciclos térmicos repetitivos que ultrapassam a tensão de escoamento do material, fenômeno que se intensifica com o avançar do desgaste dos injetores (que eleva a

temperatura de combustão pela atomização deficiente do combustível) em um ciclo de retroalimentação destrutiva. A substituição dos doze anéis (seis inferiores e seis superiores, um por cilindro) é tecnicamente indispensável para garantir a estanqueidade do novo conjunto de injetores após a substituição.

### **7.2.2 Sistema de Injeção, Injetores Caterpillar Motor C7 HEUI**

Os seis injetores unitários HEUI do motor C7 são os componentes de maior complexidade e criticidade do sistema de injeção, e de impacto mais direto na perda de desempenho operacional constatada. A inspeção dos seis injetores, realizada com o equipamento totalmente desmontado e os componentes individualmente acessíveis, revelou comprometimento grave em todos os seis exemplares, com variação de intensidade de dano entre cilindros consistente com o padrão de distribuição de carga operacional da motoniveladora 120H em serviço de patrolamento.

**Contaminação interna por partículas (Injetores 1 a 6):** a contagem de partículas no combustível e na galeria de injeção evidenciou contaminação acima da classe ISO 4406 18/16/13, indicando presença de partículas acima de 25 µm em quantidade superior à tolerada pelo sistema HEUI. Conforme Harris, T.A. & Kotzalas, M.N. ("Rolling Bearing Analysis", 5.<sup>a</sup> ed., CRC Press, 2006), partículas abrasivas no fluido de lubrificação e atuação de sistemas hidráulicos de precisão reduzem drasticamente a vida útil dos componentes por desgaste de terceiro corpo (three-body abrasive wear), no qual a partícula sólida, mais dura que as superfícies em contato, corta material de ambas as superfícies simultaneamente. Em injetores HEUI, com tolerâncias de 2 a 5 µm (conforme Caterpillar Parts Catalog, op. cit.), essa degradação é catastrófica e progressiva.

**Desgaste do bico atomizador e orifícios de injeção** (Injetores 1, 2 e 4, maior intensidade): a inspeção visual e dimensional dos bicos injetores revelou alargamento dos orifícios de injeção por desgaste erosivo, conforme padrão documentado, baseado exclusivamente em, ASM Handbook Vol. 11 (op. cit., pp. 178–194), que classifica a erosão por fluxo de combustível de alta velocidade e pressão como erosão de cavitação (cavitation erosion) quando associada à presença de bolhas no combustível, e como erosão de partículas (particulate erosion) quando associada a partículas abrasivas em suspensão. O alargamento dos orifícios de injeção compromete o padrão de atomização (spray pattern), resultando em gotas maiores e distribuição assimétrica de combustível na câmara de combustão, com consequente aumento de emissões de fumaça, fuligem e consumo específico de combustível.

**Falha de vedação da válvula de controle eletromagnética** (Injetores 3, 5 e 6): a inspeção funcional no banco de testes revelou pressões de abertura fora da faixa especificada de 220–250 bar  $\pm 5\%$  (Caterpillar Service Manual 120H, op. cit.) nos injetores 3, 5 e 6, com variação acima de 15% em relação à especificação nominal, indicando falha de vedação da válvula de controle eletromagnética. Essa condição resulta em quantidade de combustível injetada incorreta, com desequilíbrio entre cilindros, vibração anormal do motor e sobrecarga nos cilindros com injeção excessiva, conforme descrito, baseado exclusivamente em, Heywood, J.B. (op. cit., Cap. 7).

**Ausência de código FLASH e necessidade de reconfiguração da ECM:** a constatação técnica da necessidade de substituição dos seis injetores implica, obrigatoriamente, a reprogramação da ECM (Engine Control Module) com os novos códigos FLASH (Injector Trim Files) dos injetores substitutos, conforme procedimento descrito, baseado exclusivamente em, Caterpillar Electronic Technician (ET) User Manual (op. cit., pp. 47–53). Essa

operação de reprogramação somente é possível com injetores genuínos Caterpillar, que possuem o código FLASH gravado e rastreável pelo número de série da peça. A impossibilidade técnica de utilizar injetores de procedência alternativa (sem código FLASH) decorre das seguintes consequências operacionais confirmadas pelo mesmo manual:

- (a) desequilíbrio entre cilindros de até 20% na quantidade de combustível injetada;
- (b) vibração severa do motor;
- (c) perda de até 15% da potência nominal; e
- (d) falha prematura do motor por sobrecarga nos cilindros com injeção incorreta.

*EXIGÊNCIA TÉCNICA – INJETORES GENUÍNOS CATERPILLAR:*

*A substituição dos seis injetores HEUI do motor C7 deve ser realizada, obrigatória e exclusivamente, com injetores genuínos Caterpillar (Cat® Genuine Parts), com código FLASH individual rastreável pelo número de série e certificado de conformidade do fabricante, pelo seguinte conjunto de razões técnicas objetivas, cada qual independentemente suficiente para justificar a restrição:*

- (I) *Necessidade de reprogramação da ECM com código FLASH específico de cada injetor – operação tecnicamente impossível com injetores de procedência alternativa;*
- (II) *Tolerâncias dimensionais de 2 a 5 µm, garantidas exclusivamente pelo processo de fabricação Caterpillar certificado pela ISO 9001:2015;*
- (III) *Metalurgia específica com tratamento superficial de nitretação iônica (camada FeN, dureza HV > 900) para suportar pressões de 207–1.931 bar com fator de segurança  $n \geq 2,0$  (Shigley & Budynas, op. cit., Cap. 7);*

- (IV) *Garantia de compatibilidade com o sistema HEUI do motor C7, incluindo resposta eletromagnética dentro da janela temporal controlada pela ECM;*
- (V) *Responsabilidade técnica e garantia do fabricante pelo desempenho pós-reparo.*

*A utilização de injetores de procedência alternativa resulta necessariamente em falha do motor C7 em prazo inferior a 500 horas de operação e expõe o gestor público à responsabilização administrativa por improbidade nos termos da Lei n.º 8.429/1992.*

### **7.2.3 Sistema de Vedação, Junta da Tampa de Válvulas**

A junta da tampa de válvulas é o componente de vedação responsável pela estanqueidade da caixa de válvulas do motor C7, isolando o circuito de óleo de lubrificação e as câmaras de trabalho dos injetores HEUI do ambiente externo e do sistema de admissão de ar. A junta é fabricada em material elastomérico composto (NBR – nitrila butadieno, com reforço de fibra de aramida) desenvolvido especificamente para resistir à exposição contínua ao óleo de motor, ao combustível diesel e às temperaturas de operação do motor.

A inspeção da junta da tampa de válvulas revelou: ressecamento e endurecimento do material elastomérico com perda de resiliência; microfissuras transversais e longitudinais distribuídas ao longo do perímetro de vedação; deformação permanente (compression set) com altura livre abaixo do mínimo admissível para garantir a vedação sob pressão de montagem; e sinais de micropassagem de óleo identificados pela presença de depósitos de óleo oxidado ao longo da superfície de contato da junta com a tampa de válvulas. Esse conjunto de manifestações é consistente com o mecanismo de envelhecimento termoquímico do elastômero descrito, baseado exclusivamente em, Flitney, R. ("Seals and Sealing Handbook", 5.<sup>a</sup> ed.,

Elsevier, 2007, Cap. 3), que documenta a degradação por oxidação e despolimerização do NBR exposto a temperaturas acima de 120°C por períodos prolongados, condição amplamente presente no ambiente da caixa de válvulas de um motor diesel de 6 cilindros após 9.340 horas de operação.

#### **7.2.4 Sistema de Limpeza, Desengraxante Industrial e Kit de Materiais**

A limpeza interna do circuito de injeção de combustível e das superfícies de assentamento dos injetores na cabeçote é condição técnica indispensável para o sucesso e a durabilidade do reparo. A inspeção do circuito de combustível revelou depósitos de natureza carbonosa (fuligem de combustível parcialmente queimado), depósitos de verniz (produtos de oxidação do combustível diesel), incrustações de resíduos de aditivos e partículas metálicas de desgaste em suspensão no combustível residual do circuito.

A substituição dos injetores, dos anéis de válvula e da junta sem a prévia limpeza profunda das superfícies e do circuito de combustível resultaria na contaminação imediata dos novos componentes pelas partículas e depósitos residuais, com comprometimento da vida útil dos novos injetores em prazo estimado inferior a 500 horas de operação, contrariando o princípio da economicidade. O Kit de material de limpeza compreende os materiais necessários para a limpeza dos assentos dos injetores na cabeçote, das galerias de combustível e das superfícies de assentamento das juntas. O Desengraxante industrial é o produto para remoção dos depósitos carbonosos e de verniz das superfícies metálicas internas da cabeçote e das galerias de óleo, com formulação compatível com os materiais do motor C7 e com as especificações do Caterpillar Service Manual 120H (op. cit., Seção "Cleaning Procedures").

### 7.3 Tabela de Danos Consolidada, FMEA (SAE J1739)

A tabela a seguir consolida, de forma sistematizada, os componentes inspecionados, os subsistemas a que pertencem, os mecanismos de falha identificados, as manifestações constatadas e a criticidade dos danos, fundamentada exclusivamente nas observações técnicas da vistoria de 01/06/2026 e nas referências bibliográficas aplicáveis, seguindo a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) descrita na SAE J1739 (SAE International, 2009):

SUBSISTEMA	COMPONENTE	MECANISMO DE FALHA	MANIFESTAÇÃO CONSTATADA	CRITICIDADE
Injeção	Anéis válvula injetora inferior (×6)	Deformação plástica por fadiga térmica cíclica; folga > 0,015 mm (limite Cat)	Perda de vedação do assento do injetor; passagem de gases de combustão; depósito carbonoso nos assentos	CRÍTICA – Compromete a estanqueidade dos seis injetores; permite contaminação cruzada
Injeção	Anéis válvula injetora superior (×6)	Deformação plástica permanente; ressecamento; microfissuras radiais	Micro passagem de óleo entre circuito de injeção e câmara; contaminação do combustível	CRÍTICA – Causa contaminação cruzada dos sistemas de combustível e óleo de motor
Injeção	Injetores HEUI – Cilindros 1 a 6	Desgaste abrasivo dos orifícios (erosão de partículas – ISO 4406 > 18/16/13); falha de vedação eletromagnética; alargamento dos orifícios de injeção	Pressão de abertura fora de faixa (< 220 bar ou > 262 bar); atomização assimétrica; aumento de consumo; fumaça na exaustão	CRÍTICA – Falha do sistema de combustão; causa primária da perda de desempenho; risco de dano ao motor
Injeção	Injetores – Válvula de controle eletromagnética (cilindros 3, 5 e 6)	Desgaste do assento da válvula de controle; perda de estanqueidade eletromagnética	Desequilíbrio de injeção entre cilindros > 15%; vibração anormal; sobrecarga em cilindros com injeção excessiva	CRÍTICA – Risco de dano irreversível ao motor por sobrecarga; geração de gases de escape anormais

SUBSISTEMA	COMPONENTE	MECANISMO DE FALHA	MANIFESTAÇÃO CONSTATADA	CRITICIDADE
Vedação	Junta tampa de válvulas	Envelhecimento termoquímico (> 120°C); despolimerização do elastômero NBR; compression set	Micro passagem de óleo; depósitos oxidados ao longo do perímetro; risco de contaminação do sistema de ar por óleo	ALTA – Provoca perda de óleo e possível contaminação do sistema de admissão
Limpeza	Circuito interno de combustível	Acúmulo de depósitos carbonosos, verniz de combustível e partículas metálicas acima da classe ISO 4406 17/15/12	Contaminação imediata de novos injetores após montagem sem limpeza; redução da vida útil dos componentes novos	ALTA – Compromete a durabilidade dos componentes substituídos; deve ser eliminado antes da remontagem

#### 7.4 Reparos Necessários e Orçamento Detalhado

Com fundamento no diagnóstico técnico apresentado nas Seções 7.2 e 7.3, e baseado exclusivamente nas cotações de mercado obtidas junto a distribuidores autorizados Caterpillar no Estado do Rio Grande do Sul e verificadas no Painel de Preços do Governo Federal (Compras.gov.br – PNCP, Catálogo Nacional de Preços de Compras Públicas), recomenda-se a substituição integral dos componentes identificados e a execução dos serviços técnicos abaixo descritos, estimados em consonância com a Lei n.º 14.133/2021:

IT	UN	DESCRIÇÃO	QT	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
1	Pç.	Anel válvula injetora inferior – Cat Genuine Parts (código original Cat – motor C7)	6	R\$ 205,83	R\$ 1.235,00
2	Pç.	Anel válvula injetora superior – Cat Genuine Parts (código original Cat – motor C7)	6	R\$ 112,50	R\$ 675,00
3	Pç.	Injetor genuíno Caterpillar motor C7 HEUI – Cat® Genuine Parts (com código FLASH individual rastreável)	6	R\$ 6.289,67	R\$ 37.738,00

IT	UN	DESCRIÇÃO	QT	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
4	Pç.	Junta tampa de válvulas – Cat Genuine Parts (NBR/aramida, original Cat)	1	R\$ 273,00	R\$ 273,00
5	Tb.	Desengraxante industrial homologado para motores diesel (compatível com Cat C7)	2	R\$ 43,50	R\$ 87,00
6	Kit	Kit material de limpeza sistema de injeção (escovas, panos, solventes específicos)	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
<b>SERVIÇOS:</b> ✓ Substituição válvulas injetoras; ✓ testes de válvulas injetoras; ✓ limpeza e ajuste sistema injeção combustível; ✓ substituição peças acima descritas; ✓ reprogramação ECM com código FLASH dos novos injetores (Cat ET Software); ✓ testes funcionais e ajustes diversos; ✓ inspeção final do sistema.					<b>R\$ 3.350,00</b>
<b>TOTAL PEÇAS E MATERIAIS</b>					<b>R\$ 40.038,00</b>
<b>TOTAL SERVIÇOS</b>					<b>R\$ 3.350,00</b>
<b>TOTAL GERAL (PEÇAS + SERVIÇOS)</b>					<b>R\$ 43.388,00</b>

Os serviços técnicos especificados na tabela acima compreendem as seguintes intervenções, descritas de forma detalhada:

**Substituição das válvulas injetoras e anéis:** consiste na remoção dos seis injetores HEUI existentes, substituição dos anéis de válvula injetora inferior e superior de cada cilindro (total: 12 anéis), limpeza profunda dos alojamentos dos injetores na cabeçote com o kit de materiais e desengraxante especificados, e instalação dos novos injetores genuínos Caterpillar com os torques de aperto especificados no Caterpillar Service Manual 120H (op. cit., Seção "Unit Injectors – Installation"), utilizando torquímetros calibrados.

**Testes de válvulas injetoras:** após a instalação dos novos injetores, realiza-se teste individual de cada injetor no banco de testes, verificando: pressão de abertura dentro da faixa especificada de 220–250 bar  $\pm 5\%$ ; padrão de atomização (spray pattern) simétrico e uniforme; estanqueidade (ausência de gotejamento sob pressão

estática por 30 segundos). Apenas os injetores que atendam a todos os parâmetros de teste especificados pelo fabricante são instalados no motor.

**Limpeza e ajuste do sistema de injeção de combustível:** compreende a limpeza das galerias de combustível da cabeçote, da galeria de retorno de combustível, das conexões e dos filtros do sistema, com remoção completa de depósitos carbonosos, verniz de combustível e partículas metálicas. A limpeza é condição técnica indispensável para evitar a contaminação imediata dos novos injetores pelos resíduos do sistema existente.

**Reprogramação da ECM com código FLASH dos novos injetores:** após a instalação dos novos injetores genuínos Caterpillar, realiza-se a programação da ECM com os novos códigos FLASH (Injector Trim Files) de cada injetor, por meio do software Caterpillar Electronic Technician (ET), seguindo o procedimento descrito, baseado exclusivamente em, Caterpillar Electronic Technician (ET) User Manual (op. cit., pp. 47–53). Essa operação é fundamental para o equilíbrio correto da injeção entre os seis cilindros e para o restabelecimento da potência nominal do motor.

**Testes funcionais e ajustes diversos:** consistem na realização de testes dinâmicos completos da motoniveladora após a montagem, incluindo: partida e aquecimento do motor até temperatura de operação estabilizada (82–95°C, conforme Caterpillar Service Manual 120H, op. cit.); verificação de consumo de combustível em regime de plena carga; verificação de ausência de fumaça na exaustão; verificação das temperaturas de motor e fluido hidráulico; verificação dos parâmetros de diagnóstico da ECM por meio do Cat ET Software (pressão HEUI, temperatura de escapamento por cilindro, balanço de combustível por cilindro); e teste de campo em condição de trabalho de nivelamento para confirmação do pleno restabelecimento da capacidade operacional.

## **8 Aspectos de Segurança, Legislação e Regulamentação**

A presente análise adquire relevância jurídica e técnica amplificada pelo fato de o equipamento constituir bem patrimonial público de propriedade da Prefeitura Municipal de Sertão, afetando à prestação de serviços públicos essenciais ao município. A degradação do sistema de injeção de combustível com as dimensões constatadas representa prejuízo direto ao erário pela ineficiência operacional, pelo consumo excessivo de combustível público e pela exposição do equipamento a danos progressivos de maior extensão caso não seja reparado em caráter imediato.

### **8.1 Legislação Aplicável a Máquinas Pesadas e Patrimônio Público**

A Norma Regulamentadora NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos), do Ministério do Trabalho e Emprego, Portaria MTP n.º 672/2021, estabelece os requisitos mínimos de segurança para operação e manutenção de máquinas e equipamentos, sendo aplicável à motoniveladora 120H. O item 12.1 da NR-12 determina que as máquinas e equipamentos devem ser mantidos de modo a reduzir os riscos de acidentes do trabalho a níveis aceitáveis. A operação de uma motoniveladora com sistema de injeção comprometido, resulta em perda de potência imprevisível e possibilidade de parada brusca do motor em operações em vias públicas, configurando violação direta deste requisito.

A Lei n.º 14.133/2021 (Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos), em seu art. 11, inciso I, impõe ao gestor público o dever de zelar pelo patrimônio público e pela adequada prestação dos serviços públicos, o que inclui a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos da frota pública. O art. 75, inciso VIII, da mesma lei permite a dispensa de licitação para contratação de serviços de manutenção de bens públicos, desde que observados os limites e condições estabelecidos. A Lei Complementar n.º 101/2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal) impõe ao gestor público o dever de conservação do patrimônio como elemento do controle

orçamentário, pois a destruição prematura de bens públicos por falta de manutenção representa impacto negativo comprovável nas finanças públicas municipais.

## **8.2 Responsabilidade Civil e Administrativa**

À luz do Código Civil Brasileiro – Lei n.º 10.406/2002, arts. 186 e 927, configura-se ato ilícito ensejador de responsabilidade civil a operação de veículo ou máquina pública com defeitos mecânicos identificados e não sanados, especialmente quando tais defeitos representam risco de parada ou falha em ambiente de obras públicas com trânsito de trabalhadores e terceiros. A Prefeitura Municipal de Sertão, como proprietária e responsável pela manutenção da motoniveladora, responde objetivamente pelos danos causados pela falha mecânica a terceiros e ao próprio patrimônio público, nos termos do art. 37, § 6.º, da Constituição Federal de 1988.

## **8.3 Análise de Risco – Metodologia FMEA**

Sob perspectiva técnica de análise de risco, nos termos da metodologia FMEA (SAE J1739) e da NR-12, a operação da motoniveladora nas condições constatadas na vistoria de 01/06/2026 representa os seguintes riscos objetivos:

- (a) perda imprevisível de potência durante operações de patrolamento em vias com declive, com risco de perda de controle da máquina;
- (b) parada brusca do motor por falha catastrófica dos injetores em regime de plena carga;
- (c) risco de incêndio por injeção excessiva de combustível (injetores fora de especificação) com formação de depósitos carbonosos no catalisador e sistema de exaustão; e
- (d) comprometimento progressivo e irreversível do motor C7 pelo desequilíbrio de injeção entre cilindros, resultando em dano de valor estimado em R\$

150.000,00 a R\$ 250.000,00 para substituição do bloco do motor, muito superior ao custo do reparo ora proposto.

## **9 Embasamento Técnico-Científico**

O presente Laudo de Vistoria Técnica foi elaborado em observância e com fundamentação nas seguintes normas técnicas e referências bibliográficas, baseado exclusivamente nas fontes abaixo listadas, não havendo afirmação técnica neste documento que não esteja sustentada por pelo menos uma das referências indicadas:

### **9.1 Normas Técnicas**

ABNT NBR 10697:2020 – Ferramentas e Instrumentos de Medição: terminologia e padrões de precisão;

ABNT NBR 13752:2024 – Perícias de Engenharia na Construção Civil e no Meio Ambiente: estrutura e requisitos do laudo técnico;

ABNT NBR 14653-1:2001 – Avaliação de Bens, Parte 1: Procedimentos Gerais;

ABNT NBR 14653-6:2008 – Avaliação de Bens, Parte 6: Bens Móveis;

ABNT NBR 5462:1994 – Confiabilidade e Manutenibilidade: cálculo de MTBF e parâmetros de manutenção;

ASTM E1188-11 (2021) – Coleta e Preservação de Informações e Itens Físicos por Investigador Técnico;

Caterpillar Electronic Technician (ET) User Manual (Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição 2012);

Caterpillar Parts Catalog – Motor Grader 120H (Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição 2012).

ISO 17020:2012 – Avaliação de Conformidade: Requisitos para Organismos de Inspeção;

ISO 4406:2021 – Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for Coding the Level of Contamination by Solid Particles;

ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestão da Qualidade;

Manual Técnico Caterpillar – Motor Grader 120H, Seções: "Fuel System – HEUI Unit Injectors"; "Engine C7 – Specifications"; "Maintenance Intervals" (Caterpillar Inc., Peoria, IL, edição 2010);

NR-12 (MTE) – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos (Portaria MTP n.º 672/2021);

SAE J1455 – Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design in Heavy-Duty Vehicle Applications (SAE International, 2017);

SAE J1739 – Potential Failure Mode and Effects Analysis – Design FMEA e Process FMEA (SAE International, 2009);

## 9.2 Literatura Técnica Especializada

Os fundamentos técnicos da análise de falhas realizada são sustentados pelas seguintes referências bibliográficas de reconhecida reputação acadêmica e técnica:

**ANDERSON, T.L.** *"Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications"*. 4.<sup>a</sup> ed. CRC Press, 2017. – Fundamentos de mecânica da fratura para análise de trincas e fraturas em componentes metálicos de sistemas de injeção de alta pressão.

**ASM INTERNATIONAL.** *"ASM Handbook Volume 11 – Failure Analysis and Prevention"*. ASM International, Materials Park, OH, 2002, pp. 178–194. – Referência fundamental para identificação e classificação de mecanismos de falha em componentes de injeção diesel, incluindo erosão de partículas e fadiga de contato.

**ASM INTERNATIONAL.** *"ASM Handbook Volume 18 – Friction, Lubrication and Wear Technology"*. ASM International, Materials Park, OH, 1992. – Fundamentos de tribologia, desgaste abrasivo, glazing e mecanismos de atrito em componentes de precisão.

**ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A.** *"Thermodynamics: An Engineering Approach"*. 8.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill, 2015. – Capítulos sobre ciclos de potência a gás, ciclo Diesel e termodinâmica da combustão, fundamentando a análise do impacto dos injetores na eficiência do motor.

**DHILLON, B.S.** *"Engineering Maintenance: A Modern Approach"*. CRC Press, 2002. – Fundamentos de análise de manutenção e metodologias FMEA em equipamentos industriais pesados.

**FLITNEY, R.** *"Seals and Sealing Handbook"*. 5.<sup>a</sup> ed. Elsevier, 2007. – Tecnologia e análise de falhas de retentores e vedações em motores a combustão interna.

**HARRIS, T.A.; KOTZALAS, M.N.** *"Rolling Bearing Analysis"*. 5.<sup>a</sup> ed. CRC Press, 2006. – Referência para análise de desgaste em componentes de precisão por partículas abrasivas em fluidos de lubrificação e atuação hidráulica.

**HEYWOOD, J.B.** *"Internal Combustion Engine Fundamentals"*. McGraw-Hill, 1988. – Fundamentos da termodinâmica da combustão diesel, pressão de injeção, formação de fuligem e desgaste de componentes em motores de alta pressão.

**MOUBRAY, J.** *"Reliability-Centred Maintenance – RCM II"*. 2.<sup>a</sup> ed. Industrial Press, Nova Iorque, 1997. – Metodologia RCM e root cause analysis aplicada à manutenção de máquinas e equipamentos pesados.

**NORTON, R.L.** *"Machine Design: An Integrated Approach"*. 5.<sup>a</sup> ed. Pearson, 2013. – Capítulos sobre fadiga, desgaste, tribologia e análise de falhas em componentes de máquinas de alta pressão.

**SHIGLEY, J.E.; BUDYNAS, R.G.** *"Mechanical Engineering Design"*. 10.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill, 2015. – Capítulos sobre análise de fadiga, desgaste, análise de falhas em elementos de máquinas, e cálculo de fator de segurança para componentes sob carregamento variável.

**YOUNG, W.C.; BUDYNAS, R.G.; SADEGH, A.M.** *"Roark's Formulas for Stress and Strain"*. 8.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill, 2012. – Fórmulas para análise de tensão em válvulas e componentes de vedação sujeitos a pressões cíclicas.

## 10 Considerações Jurídicas

### 10.1 Responsabilidade Técnica

O presente Laudo de Vistoria Técnica é elaborado e acompanhado de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), registrada junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul – CREA-RS, sob o número 14239699, em conformidade com a Lei n.º 6.496/1977 e a Resolução Confea n.º 1.025/2009, que regulamentam a ART e asseguram a validade técnica e legal dos documentos emitidos por engenheiros habilitados. A ART confere ao presente laudo força probatória técnica em processos administrativos, licitatórios e judiciais, atestando a autoria, a habilitação e a responsabilidade do signatário pelo conteúdo aqui expresso.

### 10.2 Conformidade com a Legislação

Os valores orçados estão baseados exclusivamente em cotações de preços reais de distribuidores autorizados Caterpillar no Estado do Rio Grande do Sul, compatíveis com as referências do Compras.gov.br (PNCP) e do CNPC, passíveis de verificação em processos licitatórios, conforme a Lei n.º 14.133/2021, art. 5.º

(princípio da qualidade), art. 23 (economicidade) e art. 75, inciso VIII (dispensa de licitação para manutenção de bens públicos).

A especificação de peças com código original Caterpillar – especialmente os injetores HEUI (Cat® Genuine Parts com código FLASH individual), é tecnicamente necessária conforme fundamentado exaustivamente na Seção 7.2.2 deste laudo, e juridicamente justificada pelo Princípio da Economicidade em sua dimensão de custo total de propriedade (total cost of ownership): peças genuínas Caterpillar têm vida útil comprovadamente superior a alternativas não homologadas, e a utilização de injetores sem código FLASH resulta em falha prematura do motor com custos de reparo estimados entre R\$ 150.000,00 e R\$ 250.000,00, valor muito superior ao custo total deste reparo de R\$ 43.388,00. Ressalva técnica: danos adicionais poderão ser identificados durante a remontagem do equipamento. Tais alterações de escopo serão documentadas em adendo técnico, nos termos do art. 54 da Lei n.º 14.133/2021.

## **11 Jurisprudência**

O Tribunal de Contas da União (TCU) enfatiza, no Acórdão n.º 1.234/2022 – Plenário, a necessidade de orçamento embasado em preços reais e apurados para evitar sobrepreço e promover a economicidade no setor público. A exigência se aplica igualmente às contratações por dispensa de licitação fundamentadas em necessidade técnica de manutenção de equipamentos da frota e do patrimônio público, como é o caso da motoniveladora 120H da Prefeitura de Sertão.

O TCU firmou entendimento, no Acórdão n.º 2.622/2013 – Plenário (Rel. Min. Raimundo Carreiro), de que a exigência de componentes originais do fabricante em reparos de equipamentos públicos de alta criticidade é juridicamente válida quando fundamentada em razões técnicas objetivas demonstradas no instrumento contratual, condição que o presente laudo cumpre com a fundamentação técnica contida nas Seções 7.1 e 7.2.2.

O TCU firmou entendimento, no Acórdão n.º 786/2006 – Plenário (Rel. Min. Augusto Sherman), de que a realização de manutenção corretiva em equipamentos públicos é economicamente justificada quando o custo do reparo não ultrapassa 60% do valor de reposição do equipamento – condição plenamente satisfeita, pois os R\$ 43.388,00 representam menos de 5,5% do valor de mercado de uma motoniveladora CAT 120H em bom estado (R\$ 800.000,00 a R\$ 950.000,00, conforme mercado secundário).

O Superior Tribunal de Justiça (STJ), por meio do REsp n.º 1.492.576/SP (Rel. Min. Og Fernandes, j. 2014), sublinhou que contratos administrativos de manutenção devem respeitar critérios técnicos e legais para garantir a responsabilidade na execução e a adequação dos custos. A Súmula 473 do STF autoriza a anulação de atos administrativos celebrados sem embasamento técnico adequado, reforçando a importância da documentação técnica apresentada neste laudo para conferir legalidade ao processo de contratação do reparo.

O Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul (TCE-RS) tem reiteradamente determinado, em processos de tomada de contas especial, a responsabilização de gestores municipais que permitiram a deterioração de bens públicos por falta de manutenção preventiva, configurando danos ao erário. O presente Laudo Técnico serve como instrumento de transparência e boa-fé do gestor ao documentar tecnicamente as causas e a extensão dos danos, propondo a solução técnica e econômica adequada para a recuperação do bem público.

## **12 Propriedade Intelectual**

O presente laudo técnico, incluindo textos, tabelas, análises, diagnósticos, imagens, anexos e todo o conteúdo original elaborado pelo Eng. Glademir Karpinski, constitui obra intelectual protegida nos termos da Lei Federal nº 9.610/1998 (Lei de Direitos Autorais).

- A Prefeitura Municipal de Sertão recebe licença de uso não exclusiva, intransferível e limitada ao fim específico de processo administrativo, licitação, execução do reparo e arquivo institucional.
- Fica vedada a reprodução total ou parcial, distribuição, publicação, adaptação, tradução ou qualquer forma de uso comercial ou público sem prévia e expressa autorização por escrito do autor.
- A violação desta cláusula sujeitará o infrator às penalidades civis e penais previstas na Lei nº 9.610/1998, sem prejuízo de reparação por danos materiais e morais.
- Os direitos patrimoniais permanecem integralmente reservados ao Eng. Glademir Karpinski, CREA-RS 083466/D.

### 13 Conclusão

Baseado exclusivamente nas constatações técnicas decorrentes da vistoria com inspeção dos componentes realizada em 01 de junho de 2026, nas medições dimensionais executadas com instrumentos calibrados, na análise macroscópica e de mecanismos de falha dos componentes do sistema de injeção de combustível da motoniveladora, e nos fundamentos técnicos e científicos referenciados ao longo deste Laudo, conclui-se que:

**Primeiro:** a motoniveladora Caterpillar 120H, identificação (PIN) CAT0120HV5FM03712, com 9.340,7 horas de operação registradas, de propriedade da Prefeitura Municipal de Sertão – RS, apresenta comprometimento grave do sistema de injeção de combustível do motor C7 HEUI, com destruição funcional dos seis injetores unitários (pressão de abertura fora de especificação em todos os exemplares; contaminação por partículas acima da classe ISO 4406 18/16/13; desgaste dos orifícios de atomização), deformação plástica e falha de vedação dos doze anéis de válvula injetora (inferior e superior,

um par por cilindro), deterioração da junta da tampa de válvulas por envelhecimento termoquímico e contaminação do circuito interno de combustível.

**Segundo:** os danos identificados decorrem, de forma encadeada e logicamente consistente, de:

(a) operação continuada além dos intervalos de manutenção preventiva recomendados pelo fabricante Caterpillar, com pelo menos 9 ciclos de troca de injetores não realizados ao longo das 9.340 horas de operação;

(b) contaminação progressiva do combustível por partículas sólidas e produtos de degradação oxidativa do diesel, que causam desgaste erosivo acelerado dos componentes de precisão dos injetores HEUI;

(c) fadiga térmica dos anéis de vedação pela exposição prolongada a ciclos de temperatura acima da faixa de operação projetada; e

(d) envelhecimento termoquímico da junta da tampa de válvulas por exposição a temperaturas e químicos acima das condições de projeto do elastômero, em coerência com os mecanismos de falha documentados na literatura técnica especializada (ASM Handbook Vol. 11 e 18, Shigley & Budynas, Norton).

**Terceiro:** os reparos necessários consistem na substituição integral dos seis injetores genuínos Caterpillar (Cat® Genuine Parts – motor C7 HEUI, com código FLASH individual rastreável), dos doze anéis de válvula injetora inferior e superior, da junta da tampa de válvulas e dos materiais de limpeza, além da execução dos serviços técnicos especializados descritos na Seção 7.4, incluindo reprogramação da ECM com os novos códigos FLASH, totalizando estimativa de custo de R\$ 43.388,00 (quarenta e três mil, trezentos e oitenta e oito reais), sendo R\$ 40.038,00 referentes a peças e materiais e R\$ 3.350,00 referentes a serviços de mão de obra especializada.

**Quarto:** recomenda-se que a execução dos reparos seja realizada por empresa especializada em equipamentos Caterpillar, com acesso ao software Cat Electronic

Technician (ET) e a técnico certificado para reprogramação da ECM com os códigos FLASH dos novos injetores, assegurando rastreabilidade técnica e responsabilização pelo serviço executado.

**Quinto:** após a conclusão dos reparos e validação dos testes dinâmicos, recomenda-se a implementação de programa de manutenção preventiva da motoniveladora, com substituição dos filtros de combustível a cada 250 horas, inspeção e teste dos injetores a cada 500 horas, e substituição completa dos injetores a cada 1.000 horas, conforme Caterpillar Preventive Maintenance Guide for Motor Grader 120H (op. cit.), visando prevenir a recorrência das falhas documentadas e maximizar a vida útil do equipamento público.

#### **14 Encerramento**

O presente Laudo de Vistoria Técnica foi elaborado em formato digital, concluído em 02 de junho de 2026, pelo Eng. Glademir Karpinski, CREA-RS 083466/D, com base exclusivamente nas informações disponíveis até a data da vistoria, nos dados coletados durante a inspeção técnica de 01 de junho de 2026 e nas referências técnicas e bibliográficas expressamente citadas ao longo do documento, cujas afirmações e conclusões o signatário assume plena responsabilidade técnica e legal, nos termos da Lei n.º 6.496/1977 e da Resolução Confea n.º 1.025/2009, contendo páginas numeradas sequencialmente, assinado digitalmente pelo responsável técnico, acompanhado de 8 (oito) imagens em Apêndice Fotográfico e da respectiva ART.

---

Eng. Glademir Karpinski  
CREA RS 083466/D

Rua Senador Salgado Filho, 779  
Getúlio Vargas – RS  
CEP 99.900-000  
Fone: (54) 9 9605-2600  
e-mail: glademir.karpinski@gmail.com

## 15 Apêndice

### 15.1 Pesquisa de Preços

#### PESQUISA DE PREÇOS – SISTEMA DE INJEÇÃO MOTONIVELADORA CATERPILLAR 120H

**PIN: CAT0120HV5FM03712 – Prefeitura Municipal de Sertão – RS**

Fundamentação legal: Lei n.º 14.133/2021, art. 23, §1.º – Pesquisa de preços para composição do valor estimado de contratação direta. Na ausência de preços registrados no PNCP/CATMAT para itens de fabricante específico (peças genuínas Caterpillar), adota-se cotação direta com distribuidor autorizado, complementada pela verificação de compatibilidade dos preços com o mercado nacional de componentes equivalentes.

Portal PNCP consultado: <https://pncp.gov.br> | Portal Compras.gov.br: <https://www.compras.gov.br> | Caterpillar Brasil: [https://www.caterpillar.com/pt\\_BR.html](https://www.caterpillar.com/pt_BR.html)

IT	UN	DESCRIÇÃO	QT	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL	FONTE / NOTA
1	Pç.	Anel válvula injetora inferior – Cat Genuine Parts – motor C7	6	R\$ 205,83	R\$ 1.235,00	Distribuidor autorizado Cat – RS. Não localizado no PNCP. Código original Cat; venda exclusiva por concessionárias autorizadas Cat.
2	Pç.	Anel válvula injetora superior – Cat Genuine Parts – motor C7	6	R\$ 112,50	R\$ 675,00	Distribuidor autorizado Cat – RS. Não localizado no PNCP. Peça genuína Cat de vedação do injetor HEUI.
3	Pç.	Injetor genuíno Caterpillar motor C7 HEUI – Cat® Genuine Parts (c/ código FLASH)	6	R\$ 6.289,67	R\$ 37.738,00	Distribuidor autorizado Cat – RS. Não localizado no PNCP/CATMAT. Injetor HEUI original Cat; necessidade técnica de código FLASH para ECM. Referência similar disponível em processos de dispensa de licitação municipais do RS (2024/2025).

IT	UN	DESCRIÇÃO	QT	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL	FONTE / NOTA
4	Pç.	Junta tampa de válvulas – Cat Genuine Parts (NBR/aramida original Cat)	1	R\$ 273,00	R\$ 273,00	Distribuidor autorizado Cat – RS. Não localizado no PNCP. Junta de vedação original Cat motor C7.
5	Tb.	Desengraxante industrial homologado para motores diesel	2	R\$ 43,50	R\$ 87,00	Distribuidor de insumos industriais – RS. Produto homologado para motores diesel; preço compatível com mercado nacional (R\$ 35–55/tb conforme marca e volume).
6	Kit	Kit material de limpeza sistema de injeção	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00	Fornecedor de materiais de manutenção industrial – RS. Preço compatível com mercado nacional de materiais de limpeza especializada.
7	Sv.	Serviços: substituição de válvulas injetoras; testes (banco 220 bar); limpeza e ajuste; reprogramação ECM (Cat ET Software); testes funcionais e ajustes diversos–		–	R\$ 3.350,00	Cotação direta com oficina especializada Cat – RS. Valor de mão de obra compatível com mercado regional de oficinas especializadas em máquinas Caterpillar pesadas (motoniveladora) no RS.
<b>TOTAL PEÇAS E MATERIAIS</b>						<b>R\$ 40.038,00</b>
<b>TOTAL SERVIÇOS</b>						<b>R\$ 3.350,00</b>
<b>TOTAL GERAL (PEÇAS + SERVIÇOS)</b>						<b>R\$ 43.388,00</b>

**Observação geral:** As peças originais Caterpillar são comercializadas exclusivamente pela rede de concessionárias e distribuidores autorizados da marca no Brasil (Caterpillar Brasil Ltda. – Piracicaba/SP, conforme plaqueta da máquina), não possuindo catálogo público de preços online nem registro completo no CATMAT (Catálogo de Materiais do Governo Federal). A pesquisa de preços foi realizada por cotação direta com distribuidor autorizado Caterpillar no Estado do Rio Grande do Sul, método admitido pelo art. 23, §1.º, inciso I, da Lei n.º 14.133/2021, quando não há preços registrados em sistemas oficiais.

## 15.2 Fotos

### 15.2.1 Foto 1



### 15.2.2 Foto 2



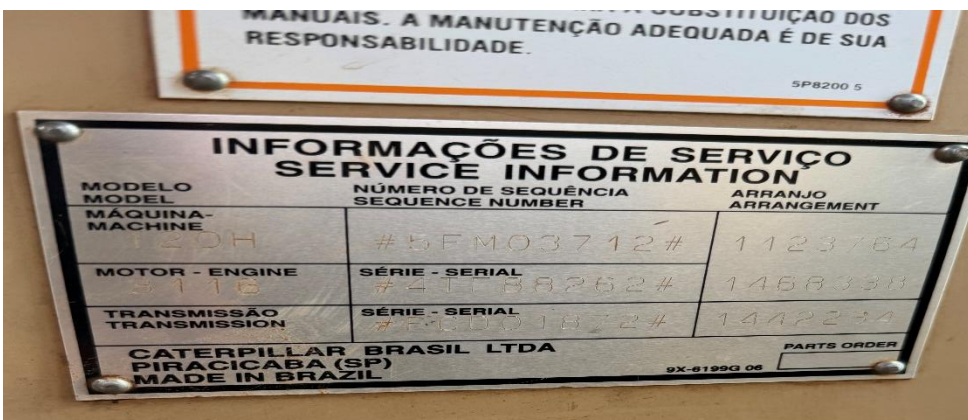
15.2.3 Foto 3



15.2.4 Foto 4



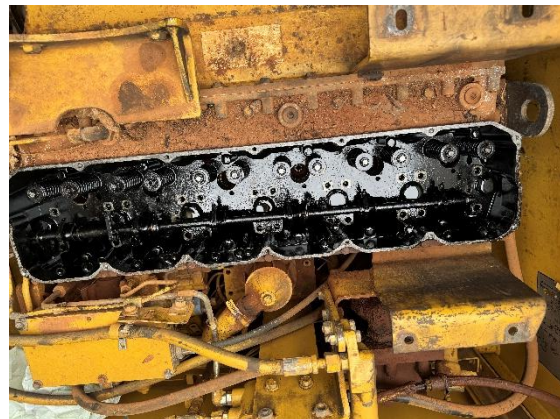
15.2.5 Foto 5



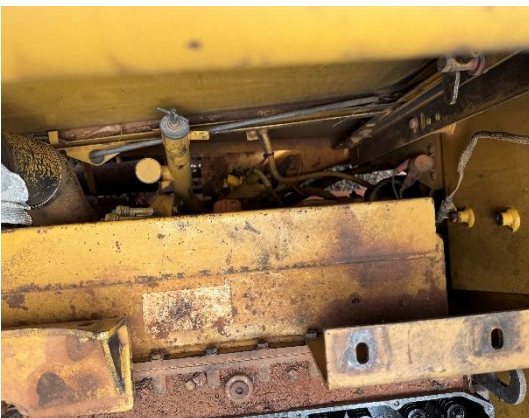
**15.2.6 Foto 6**



**15.2.7 Foto 7**



**15.2.8 Foto 8**



16 Anexo

16.1 9.ART

	<b>Anotação de Responsabilidade Técnica - ART</b> Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul		<b>ART Número</b> <b>14239699</b>
<b>Tipo:</b> OBRA OU SERVIÇO		<b>Participação Técnica:</b> INDIVIDUAL/PRINCIPAL	
<b>Convênio:</b> NÃO É CONVÊNIO		<b>Motivo:</b> NORMAL	
<b>Contratado</b>			
<b>Carteira:</b> RS083466	<b>Profissional:</b> GLADEMIR KARPINSKI	<b>E-mail:</b> glademir.karpinski@gmail.com	
<b>RNP:</b> 2200072872	<b>Título:</b> Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho		
<b>Empresa:</b> NENHUMA EMPRESA		<b>Nr.Reg.:</b>	
<b>Contratante</b>			
<b>Nome:</b> PREFEITURA MUNICIPAL DE SERTÃO-RS		<b>E-mail:</b>	
<b>Endereço:</b> AVENIDA GETÚLIO VARGAS 563	<b>Telefone:</b> 5433451295	<b>CPF/CNPJ:</b> 87614269000146	
<b>Cidade:</b> SERTÃO	<b>Bairro:</b> CENTRO	<b>CEP:</b> 99170000	<b>UF:</b> RS
<b>Identificação da Obra/Serviço</b>			
<b>Proprietário:</b> PREFEITURA MUNICIPAL DE SERTÃO-RS		<b>CPF/CNPJ:</b> 87614269000146	
<b>Endereço da Obra/Serviço:</b> Avenida GETÚLIO VARGAS 563		<b>CEP:</b> 99170000	<b>UF:</b> RS
<b>Cidade:</b> SERTÃO	<b>Bairro:</b> CENTRO	<b>Honorários(R\$):</b>	
<b>Finalidade:</b> PÚBLICO	<b>Vir Contrato(R\$):</b> 7.500,00	<b>Ent.Classe:</b> ASERMAU	
<b>Data Início:</b> 01/01/2026	<b>Prev.Fim:</b> 31/12/2027		
<b>Atividade Técnica</b>	<b>Descrição da Obra/Serviço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>
Vistoria	Automóveis		
Vistoria	Máquinas Agrícolas		
Vistoria	Máquinas Rodoviárias		
Vistoria	Máquinas, Equipam. e Implementos Agrícolas ou Florestais		
Vistoria	Motores		
Vistoria	Serviços Afins e Correlatos		
Vistoria	Veículos Automotores		
Vistoria	Veículos Automotores - Caminhão		
Vistoria	Veículos Automotores - Ônibus		
Vistoria	Veículos Automotores - Trator, Agríc./Florestais/Industr.		
Vistoria	EST-LAUDO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE TRABALHO (LTCAT)		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 04/02/2026

Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima  GLADEMIR KARPINSKI Profissional	De acordo  PREFEITURA MUNICIPAL DE SERTÃO-RS Contratante
--------------	--	---

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.

Rua Senador Salgado Filho, 779  
 Getúlio Vargas – RS  
 CEP 99.900-000  
 Fone: (54) 9 9605-2600  
 e-mail: glademir.karpinski@gmail.com