



## **APLICAÇÃO DA NBR13032/1995 EM UM MOTOR DIESEL SUBMETIDO À ATMOSFERA DE MINÉRIO: UM ESTUDO DE CASO**

<sup>1</sup>Pedro Bancillon Ventin Muniz (UFBA e SENAI CIMATEC) – [pventin@hotmail.com](mailto:pventin@hotmail.com);

<sup>2</sup>Jonathan de Oliveira Soares Farias (Centro Universitário SENAI CIMATEC) – [jhonfarias@gmail.com](mailto:jhonfarias@gmail.com); <sup>3</sup>Ednildo Andrade Torres (UFBA) – [ednildotorres@gmail.com](mailto:ednildotorres@gmail.com); <sup>4</sup>Lilian Lefol Nani Guarieiro (Centro Universitário SENAI CIMATEC) – [lilian.guarieiro@fieb.org.br](mailto:lilian.guarieiro@fieb.org.br);

**Resumo:** Os motores de combustão representam um número considerável das principais máquinas de transformação de energia utilizadas no mundo. Dado as necessidades atuais de durabilidade, desempenho e eficiência de máquinas, torna-se fundamental garantir que estes equipamentos operem nos mais diversos ambientes de trabalho. As minas de zinco oferecem um ambiente bastante agressor para os motores diesel, uma vez que as partículas suspensas no ar contribuem para o aumento do seu desgaste. O presente trabalho visou avaliar um motor diesel através da NBR13032/1995 em relação aos principais componentes afetados pelo desgaste de um motor durante a sua operação em uma mina subterrânea afim de determinar se o mesmo poderá manter a sua operação adequada.

**Palavras-Chaves:** Medição de motor; avaliação de motor; motor diesel; mina subterrânea de zinco;

## **APPLICATION OF NBR13032 / 1995 ON A DIESEL ENGINE SUBMITTED TO THE ORE ATMOSPHERE: A CASE STUDY**

**Abstract:** Combustion engines represent a considerable number of the world's leading energy transformation machines. Given the current needs for machine durability, performance and efficiency, it is critical to ensure that these devices operate in a wide range of work environments. Zinc mines offer a very aggressive environment for diesel engines, since the particles suspended in the air contribute to the increase of their wear. The present work aimed to evaluate a diesel engine through NBR13032 / 1995 in relation to the main components affected by the wear of an engine during its operation in an underground mine in order to determine if it can maintain its proper operation.

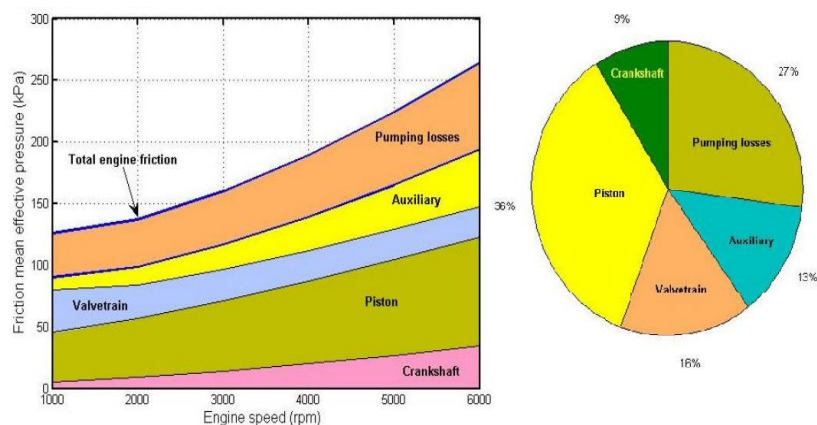
**Keywords:** Motor measurement; motor evaluation; diesel engine; underground zinc mine;



## 1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, a utilização de modais que consomem combustível diesel têm aumentado [1]. Este aumento tem feito com que o gasto energético mundial venha em um crescimento, uma vez que 80% da energia total utilizada no mundo vem sendo fornecida por combustíveis fósseis [2]. Devido às preocupações acima mencionadas, testes e pesquisas tem sido desenvolvidos para encontrar as melhores alternativas na diminuição do consumo de combustível dos motores e no aumento da sua durabilidade [3] além da garantia de que estes equipamentos mantenham a sua eficiência durante toda a sua vida útil, garantindo o seu desempenho. Uma das formas de preservar a durabilidade de um motor consiste em garantir que os seus sistemas e elementos internos operem de forma satisfatória nas diversas condições encontradas nos ambientes de trabalho. Um dos ambientes que são suscetíveis à degradação de motores diesel são as minas subterrâneas. Este fato ocorre porque os resíduos de minas (Cu, Zn, Ga, As, Sb, Ba, Pb, Sn, Cd e Biol) expostos e liberados aos ventos de poeira da área são uma fonte relevante de partículas minerais pesadas com efeitos ambientais potencialmente adversos para solos, máquinas e seres humanos [4]. As minas de extração de zinco apresentam uma alta liberação de resíduos dos minerais esfarelitas (ZnS) [5] o que favorece a inalação destes minérios durante a operação de um motor de combustão interna. George et. al. (2007) já demonstrava que a contaminação do óleo lubrificante por fuligem diesel é uma das principais causas do aumento do desgaste do motor. Dentre as substâncias que compõem a foligem está o ditiofosfato de zinco (ZDP), gerado através da liberação de zinco na atmosfera. Por essa razão, é importante avaliar as interações entre um ambiente altamente contaminado com o zinco e os motores de combustão interna que operam neste cenário. Uma das formas de avaliação de um motor consiste na verificação das dimensões dos seus componentes internos [7]. A definição de quais componentes internos são avaliados é dada pela análise tribológica dos mesmos, onde busca-se analisar quais conjuntos de elementos que possuem maior atrito durante a operação. Esta fricção apresenta-se de forma mais acentuada na região da saia de pistão uma vez que este componente desliza contra a parede do revestimento do cilindro (ver figura 1).

Figura 1. Fricção em um Motor de Combustão





Em uma análise de medição e avaliação de um motor diesel, torna-se necessário realizar atividades de inspeção visual e aferição dimensional de alguns componentes internos: pistões, anéis de segmento, camisas de cilindro, virabrequim e partes fixas do motor. Apesar de existirem demais elementos, estes em questão são os que promovem maior fricção durante o seu funcionamento. A principal tarefa do pistão é converter energia térmica em trabalho mecânico, sendo este carrega o pacote de anéis, que essencialmente é um conjunto de anéis metálicos, cujo papel é manter uma vedação eficaz entre a câmara de combustão e o cárter, de modo a impedir a contaminação de óleo na câmara de combustão e a contaminação de mistura (combustível e ar atmosférico) para o reservatório de óleo [7]. As camisas de cilindro são os elementos que operam em conjunto com os pistões e anéis. A durabilidade destes componentes é determinada, principalmente, por condições internas de fricção que impactam no seu desgaste [7]. O desgaste é proporcionado pelo conjunto de atrito entre peças metálicas, pela corrosão proveniente da absorção da mistura ar-combustível e pelas reações químicas no momento da combustão. O virabrequim é o elemento que converte o movimento axial dos pistões em um movimento radial (torque), que será transmitido à caixa de marchas [8]. Basicamente, um virabrequim é composto de mancais que o fixam ao bloco de motores (denominados munhões) e outros mancais com menor diâmetro que fixam as bielas ao virabrequim (denominados de moentes) [9]. As bronzinas (ou casquilhos) são materiais de sacrifício instalados entre os rolamentos do virabrequim e os mancais de fixação (para munhões e moentes).

Tendo em vista o desgaste das peças de um motor, dado à contaminação de partes metálicas devido às reações químicas existentes entre o oxigênio e os ácidos graxos que derivam do combustível, óleo lubrificante [10] e do zinco observado em um ambiente contaminado, é necessário realizar uma análise dimensional a fim de garantir um funcionamento adequado do motor, uma vez que desgastes acentuados das peças promovem aumento de folgas e conseqüentemente, perdas de rendimento nos equipamentos. Utilizando como referência a NBR 13032/1996 [11] para retífica de motores, percebe-se que todos os componentes móveis e fixos de um motor deverão ser inspecionados. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi utilizar partes da NBR na avaliação dimensional de um motor diesel afim de determinar se o equipamento estaria em condições aceitáveis de operação, dado o seu nocivo ambiente de trabalho.

## 2. METODOLOGIA

Para a avaliação do motor diesel foram definidas que as análises dimensionais e/ou inspeções visuais nos componentes: Camisa de cilindro, Anéis de Segmento, Pistões, Moentes do Virabrequim, Virabrequim, Bloco de Motor e Cabeçote de Motor fossem realizadas de modo a extrair os seus valores utilizando o conjunto de instrumentos de medição contendo: súbito, relógio comparador, micrômetro, paquímetro, calibre de lâminas e régua de planicidade. O estudo foi realizado em um motor M4M1 3.2cm<sup>3</sup> de cilindrada, diesel turbo, produzido pela



Mitsubishi que equipa o veículo Triton fabricado em 2017 e que acumulou, aproximadamente, 60mil Km de operação. O acúmulo de quilometragem deu-se em uma mina subterrânea localizada na cidade de Vazante, no estado brasileiro de Minas Gerais. Segundo a NBR [11], após o recebimento de um motor foram realizadas as operações de desmontagem, lavagem e medição aliada à inspeção dos componentes. Em respeito ao bloco do motor, foram executadas as atividades de: inspecionar prisioneiros e roscas; inspecionar trincas; inspecionar diâmetro e ovalização (cilindricidade) dos cilindros além da inspeção da planicidade. As medições realizadas de diâmetro e cilindridade das camisas de cilindros são fundamentais uma vez que uma folga entre o cilindro e o pistão podem gerar perda de compressão da combustão, queima de óleo lubrificante e desempenho insuficiente do motor. Estas medições foram analisadas utilizando-se de um relógio comparador, haste e micrômetro. A avaliação do diâmetro das camisas foi extraída próximo do topo do cilindro. Já a sua cilindridade foi verificada em 3 regiões distintas distribuídas entre o topo, centro e base da camisa em 2 pontos (Y e X) defasados de 90° no mesmo plano. O valor da cilindridade é uma subtração entre as diferenças do valor “Y” e “X” de cada ponto. A planicidade do bloco e do cabeçote determinam qual o valor do empeno da superfície, respectivamente e foram medidas através da régua de planicidade e calibre de lâminas. Uma alteração neste valor resultaria na perda de compressão do motor, ocasionando a operação inadequada.

No eixo de manivelas foram seguidos os procedimentos de inspecionar trincas; inspecionar roscas; inspecionar canais de lubrificação; inspecionar flange do volante; inspecionar empenamento (folga axial); inspecionar diâmetro dos colos de biela (moentes). Verificou-se o diâmetro dos moentes do virabrequim já que um menor valor tolerável originaria falhas mecânicas. Caso este desgaste fosse apresentado, seria decorrente dos esforços de torque, intensos, entre o moente e a biela [9]. Aferiu-se o diâmetro com o auxílio de um micrômetro, medindo o centro de cada rolamento. A folga axial determina qual a distância percorrida axialmente (lateralmente) pelo virabrequim no seu assento e foi analisada com o auxílio de uma base magnética instalada sobre o bloco e um relógio comparador tocando a extremidade do virabrequim. Quanto maior a folga, maiores serão os ruídos e vibrações geradas pelo funcionamento do motor, o que resulta em um desgaste precoce do equipamento. Na análise do Cabeçote, as atividades foram de inspecionar trincas; inspecionar estanqueidade; inspecionar guia de válvulas; inspecionar roscas e inspecionar planicidade da superfície, sendo esta última idêntica à medição da planicidade do bloco.

Na biela o procedimento indicado foi de inspecionar visualmente a capa (saia); inspecionar roscas; inspecionar parafusos e porcas; inspecionar medidas da bronzina; inspecionar medidas dos anéis de segmento; inspecionar medidas da folga entre anéis e suas respectivas canaletas; inspecionar o diâmetro e ovalização da capa (saia). A espessura dos anéis demonstrou o desgaste proveniente dos anéis em contato com as paredes do cilindro no momento do seu trabalho. É fundamental verificar a espessura dos anéis com um micrômetro, dada a sua capacidade de transferência de calor para as paredes dos cilindros uma vez que os pistões de



motores diesel podem operar com temperaturas que atingem 370°C [8]. Com o auxílio de um micrômetro foi inspecionada a espessura dos anéis, sendo que a medição foi executada em 3 pontos da peça. Após esta verificação, foi realizada a medição da folga existente entre a canaleta e o seu respectivo anel, com o auxílio de um calibre de lâminas. O diâmetro dos pistões determina o seu desgaste após a realização do seu trabalho - movimento ascendente e descendente, compressão do ar atmosférico e trepidação gerada na combustão [9]. A verificação do diâmetro de um pistão deverá ser realizada na região denominada de saia. A saia do pistão compreende a parte inferior do pistão, logo após os porta-segmentos dos anéis de compressão. A avaliação da ovalização do pistão ocorreu no mesmo plano de medição do diâmetro, considerando 2 medições defasadas em 90°.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o equipamento não apresenta inconvenientes que justifiquem uma substituição de suas peças em uma eventual intervenção para a sua manutenção corretiva. As análises dos cilindros (Tabela 1) demonstram que o equipamento está de acordo com o referencial técnico [12], garantindo a sua operação adequada. A verificação destas medições permite ao especialista averiguar a incidência de desgaste tribológico e determinar causas raiz para um funcionamento inadequado de um motor, além de queima de óleo lubrificante pela câmara de combustão.

Tabela 1 - Análise Dimensional de Cilindros

Parâmetro	1º Cilindro	2º Cilindro	3º Cilindro	4º Cilindro	Referência
Diâmetro dos Cilindros (mm)	98,500	98,500	98,510	98,510	98,500 a 98,530
Cilindricidade dos Cilindros (mm)	0,020	0,015	0,015	0,020	0,015
Estado de Brunimento dos Cilindros	ok	ok	ok	ok	Análise visual

Em relação às análises dos anéis de segmento (Tabela 2), as mesmas demonstram que o equipamento está de acordo com o referencial técnico [12]. Caso os resultados observados apresentassem valores fora dos padrões, poderíamos detectar vibração excessiva no funcionamento do motor, principalmente, em altas rotações e aparecimento de borra de óleo. Este fato é justificado pela perda da capacidade de compressão e contaminação do óleo lubrificante por parte do combustível injetado na câmara de combustão, respectivamente.

Tabela 2 - Análise Dimensional dos Anéis de Segmento

Parâmetro	1º Cilindro	2º Cilindro	3º Cilindro	4º Cilindro	Referência
Espessura de Anéis 1ª Anel (mm)	2,350	2,390	2,350	2,360	Não informado



Espessura de Anéis 2ª Anel (mm)	1,500	1,470	1,480	1,500	Não informado
Espessura de Anéis 3ª Anel (mm)	NA	NA	NA	NA	Não informado
Folga entre Anéis e Canaletas 1ª Anel (mm)	0,20	0,30	0,30	0,20	0,20
Folga entre Anéis e Canaletas 2ª Anel (mm)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,15
Folga entre Anéis e Canaletas 3ª Anel (mm)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10

As análises dos pistões possuem a mesma importância dos cilindros, já que os mesmos operam em conjunto e constante atrito. É possível ressaltar que valores fora dos padrões podem comprometer a eficiência e o desempenho do motor. Observa-se que o valor do 4º cilindro (Tabela 3) encontra-se fora dos padrões técnicos estabelecidos pelo fabricante [12], contudo, este componente mecânico não irá alterar o desempenho do equipamento já que existe folga entre o conjunto pistão-cilindro.

Tabela 3 - Análise Dimensional dos Pistões

Parâmetro	1º Cilindro	2º Cilindro	3º Cilindro	4º Cilindro	Referência
Diâmetro dos pistões (mm)	98,430	98,410	98,412	98,507	98,400 a 9500
Ovalização dos pistões (mm)	97,363 a 97,719	97,761 a 97,777	97,364 a 97,818	97,804 a 97,851	Não informado
Folga entre Pistão e Cilindro (mm)	0,070	0,090	0,098	0,003	Não informado

A análise do diâmetro dos seus rolamentos do virabrequim identifica se o seu balanceamento e a sua lubrificação estão adequados. Resultados inesperados nos moentes podem acarretar folga na transferência de carga das bielas para o virabrequim, o que resultaria em vibração excessiva do conjunto, principalmente em elevadas rotações. Uma folga axial fora dos padrões influencia diretamente em uma degradação do conjunto pistão e cilindro, uma vez que, durante o movimento axial de subida e descida, o pistão tende a colidir com o cilindro, gerando um inconveniente classificado como “batida de saia”. As análises do virabrequim (Tabela 4) demonstram que o equipamento está de acordo com o referencial técnico [12].

Tabela 4 - Análise Dimensional dos Moentes e Folga Axial do Virabrequim

Parâmetro	1º Cilindro	2º Cilindro	3º Cilindro	4º Cilindro	Referência
Diâmetro dos Moentes do Virabrequim (mm)	53,985	53,976	53,975	53,985	53,980 a 53,988



Valor Folga Axial do Virabrequim (mm)	0,100	0,100 a 0,400
---------------------------------------	-------	---------------

A análise da planicidade foi verificada em razão de que uma folga contribui para a contaminação entre os fluidos do motor (líquido de arrefecimento e óleo lubrificante), ou na passagem dos mesmos para a câmara de combustão. A análise do bloco e cabeçote do motor (Tabela 5) demonstraram que o equipamento está de acordo com o referencial técnico [12].

Tabela 5 - Análise Dimensional do Bloco do Motor e cabeçote

Parâmetro	Valor obtido
Planicidade do Bloco do motor (mm)	0,03
Valor Referência	< 0,15
Planicidade do Cabeçote do Motor (mm)	0,15
Valor Referência	0,03 a 0,20

#### 4. CONCLUSÃO

A análise dimensional permitiu extrair informações referentes ao desgaste sofrido pelos elementos internos de um motor de combustão interna e demonstrou que os elementos do motor em estudo encontravam-se aptos para o seu funcionamento. O equipamento foi montado após as análises e operou de forma adequada. Estas avaliações, considerando os principais elementos indicados na NBR, evidenciam que as peças verificadas e inspecionadas, que são aqueles que sofrem a maior contribuição de atrito, apresentam um resultado satisfatório mesmo operando em um ambiente carregado de partículas metálicas pesadas na atmosfera. Desta forma o estudo indica que a utilização de um motor diesel, em uma mina subterrânea de zinco, pode ser praticada, mesmo em condições adversas, dado o resultado das inspeções visuais e dimensionais realizadas.

#### 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup>Sítio da OICA - Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles. **Anuário estatístico**. Disponível em: <<http://www.oica.net>>. Acessado em 25/06/2018.



<sup>2</sup>HAJJARI, M. et al. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 72 (2017) 445–464.

<sup>3</sup>THODE FILHO, S. et al. Tecnologia ambiental aplicada ao gerenciamento e processamento do óleo vegetal residual no estado do Rio de Janeiro. **Rev eletrônica em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental** 2013;15(15):3026–35.

<sup>4</sup>CASTILLO, S. et al. Contribution of mine wastes to atmospheric metal deposition in the surrounding area of an abandoned heavily polluted mining district (Rio Tinto mines, Spain). **Science of the Total Environment**, vol 449 (2013) 363–372.

<sup>5</sup>SKIERSZKAN, E.K. et. al. Molybdenum and zinc stable isotope variation in mining waste rock drainage and waste rock at the Antamina mine, Peru. **Science of the Total Environment**, vol 550 (2016) 103–113.

<sup>6</sup>GOERGE, S. et. al. Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear. **Wear**, vol 262 (2007) 1113–1122.

<sup>7</sup>HISHAM, S. et al. Waste cooking oil blended with the engine oil for reduction of friction and wear on piston skirt. **Fuel** 205 (2017) 247–261.

<sup>8</sup>BOSCH, R. **Automotive Handbook – 9º Ed.** USA: Gebundenes Buch, 2014.

<sup>9</sup>MARTINS, J. **Motores de Combustão Interna – 5º Ed.** Portugal: Engebook, 2016.

<sup>10</sup>MOSAROF, M.H. et al. Implementation of palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. **Energy Conversion and Management**, Volume 105, 2015, Pages 617-629.

<sup>11</sup>ABNT NBR 13032/1995 –Execução de retífica de motores

<sup>12</sup>Manual Recondicionamento de Motor 4M41 Mitsubishi.