

## INFLUÊNCIA DO DESGASTE DOS ANÉIS SOBRE O DESEMPENHO DE MOTORES DIESEL AGRÍCOLAS

PAULO GUSTAVO KREJCI NUNES<sup>1</sup>, WALDYR LUIZ RIBEIRO GALLO<sup>2</sup>,  
JENNYFER DA SILVA GOMES SANTOS<sup>3</sup>, DANIEL ALBIERO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP), krejcinunes@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica (UNICAMP), gallo@fem.unicamp.br

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP),

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP).

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

### RESUMO:

Motores de combustão interna possuem desgaste dos componentes internos, sendo os anéis um dos componentes que diretamente afeta o consumo de óleo lubrificante e a vedação dos gases da câmara de combustão. Este trabalho busca verificar, por meio de simulações computacionais, a variação de parâmetros de desempenho como potência, temperatura / pressão máximas, consumo específico de combustível e vazamento de gases através dos pistões (*blow-by*) em função da variação da abertura dos anéis. Foi utilizado para simulação um motor diesel do tipo agrícola, 4 tempos, naturalmente aspirado, 4 cilindros, 3,92 litros de deslocamento e injeção direta operando a 1800 rpm em regime de carga total. Resultados obtidos por simulação mostram que a abertura dos anéis da condição mínima de 0,4 mm para a condição máxima aceitável pelo fabricante de 2,0 mm aumenta o vazamento de gás através dos pistões em 407,90 %, reduz a potência de eixo e aumenta consumo específico de combustível em 3,12 %.

**PALAVRAS-CHAVE:** motores diesel, simulação, desempenho, desgaste de anéis.

### INFLUENCE OF RING WEAR ON THE PERFORMANCE OF AGRICULTURAL DIESEL ENGINES

#### ABSTRACT:

Internal combustion engines wear out on their components, with rings being one of the components that directly affects lubricating oil consumption and gas sealing in the combustion chamber. The aim of this work is to verify, through computer simulations, the variation of performance parameters such as maximum break power, maximum temperature / pressure, specific fuel consumption and blow-by as a function of the variation in the rings gap. An agricultural type diesel engine, 4 stroke, naturally aspirated, 4 cylinders, 3.92 liters of displacement and direct injection operating at 1800 rpm and full engine load was simulated. Results obtained from simulation show that opening the rings from the minimum condition of 0.4 mm to the maximum condition acceptable by the manufacturer of 2.0 mm increases the blow-by in 407,90%, reduces break power and increases specific fuel consumption by 3.12 %.

**KEYWORDS:** diesel engines, simulation, performance, ring wear.

#### INTRODUÇÃO:

Motores diesel desempenham uma importância mundial como provedor de potência para transporte, máquinas agrícolas, geração de energia, construção, etc. Como qualquer máquina

composta de partes móveis com atrito, há o desgaste destes componentes que afeta o desempenho final do motor, sendo que a redução do rendimento de conversão energética combustível / potência de eixo podem resultar em maiores custos de operação.

Uma vez que a pressão na câmara de combustão é função da massa de gás, o vazamento de gás durante o ciclo de trabalho reduz a pressão durante o processo de expansão e afeta negativamente o rendimento térmico do motor. Em relação aos motores de ignição por centelha (ICE), motores de ignição por compressão operam sobre condições de maiores pressões e temperatura na câmara de combustão, sendo portanto o desgaste dos anéis um fator de alto impacto sobre o desempenho destes motores.

Modelos de simulação de motores de combustão interna permitem a rápida obtenção de resultados em função da variação de condições de operação, construtivos e de regulagem do motor. Neste trabalho, por meio do software MatLab®, um modelo do tipo zero-dimensional foi utilizado para avaliar a influência do desgaste dos anéis sobre a quantidade de gás de vazamento através dos pistões (*blow-by*), potência de eixo e consumo específico de combustível.

## **MATERIAL E MÉTODOS:**

A abertura para passagem de gás pode ser aproximada por uma seção retangular "c x g", em que "c" representa a folga entre pistão e cilindro e "g" é a abertura dos anéis. As passagens de gás através do pistão comportam-se como um labirinto, sendo a passagem mais estreita representada por "f". Neste trabalho foi adotado que a folga entre pistão e cilindro é constante, variando apenas a abertura "g" dos anéis. A partir dos trabalhos de Furuhami e Tada (1961), Namazian e Heywood (1982) propuseram um modelo de vazamento de gás pelo pistão para motores ICE, obtendo proximidade de valores simulados em relação a dados experimentais.

Além do cálculo de *blow-by*, o simulador completo utiliza os seguintes modelos para aumentar o detalhamento e aproximar os resultados simulados aos dados experimentais: para o cálculo de atrito, o modelo de Millington e Hartles (1968), cálculo de atraso de ignição pelo modelo de Hardenberg e Hase (1979), perfil e elevação das válvulas pelo modelo do tipo parabólico de Gallo (1990). Liberação de energia de combustão em dois estágios pelo modelo de função dupla de Wiebe (GHOJEL, 2010). Coeficiente de película para a transferência de calor pelas paredes da câmara de combustão, o modelo de Hohenberg (1980) para fase fechada e de Nishiwaki e outros (1979) para troca gasosa. O integrador numérico utilizado é o Runge-Kutta de quinta ordem proposto por Butcher (1987). Demais informações sobre cálculo de geometria e cinemática, parâmetros de desempenho, eficiência mecânica, propriedades do fluido de trabalho, balanço de massa e energia, fluxo reverso pelas válvulas e estrutura geral do simulador podem ser encontradas em Nunes (2017).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Através da figura 2, em que são apresentadas as porcentagens de massa de gás em cada região do pistão em função do ângulo de manivela, é possível notar que para a região entre o primeiro anel e topo do pistão, há proximidade de perfil de resultados em relação à figura 3 para a mesma região, pois esta região é independente da folga do anel e a massa de gás é diretamente proporcional à pressão.

A região entre anéis para menor abertura apresenta menor quantidade de gás acumulado em relação ao caso com maior abertura entre anéis, resultado neste último caso, em maior fluxo de gás para o cárter.

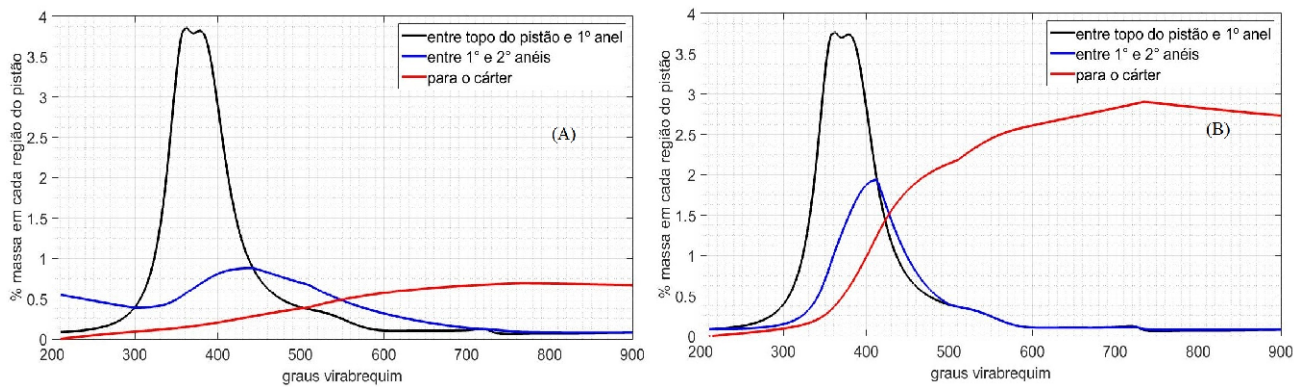


Figura 2: comparação percentagem de massa em cada região do pistão, (A) abertura de anéis de 0,4 mm, (B) abertura de 2,0 mm.

Em relação à pressão, a região entre anéis apresenta maiores valores para o caso com maior abertura em aproximadamente 2,3 vezes maior. Além da maior percentagem de gás para o cárter, esta maior pressão pode resultar em maiores cargas sobre o segundo anel, além de formação de maiores depósitos devido ao maior fluxo de gases de passagem.

A tabela 1 contém resultados obtidos por simulação para cada caso de abertura de anéis. Em relação à potência de eixo / torque, houve uma redução em 3,12%, aumento no consumo específico de combustível na mesma proporção e aumento na quantidade de gás de vazamento através dos pistões em 407,90 %. A temperatura e a pressão máximas durante a combustão reduziram 0,88 % e 2,29 % respectivamente.

O aumento do fluxo de massa de gás através dos pistões pode resultar em maiores emissões de hidrocarbonetos para a atmosfera em projetos mais antigos, pois fabricantes de motores costumavam colocar o respiro do cárter para o ambiente mas que, posteriormente, foram levados a lançar estes gases ao duto de admissão de ar do motor por legislação ambiental. Quando o respiro é lançado à atmosfera, pode aumentar também o gotejamento de óleo lubrificante ao ambiente, pois este pode condensar no tubo de respiro ou ser carregado pelo maior fluxo de gases provenientes do cárter.

TABELA 1. Resultados obtidos por simulação para duas condições de abertura dos anéis, 0,4 mm (nominal) e 2,0 mm (máximo estipulado pelo fabricante).

Parâmetro	Abertura de anéis: 0,4 mm	Abertura de anéis: 2,0 mm	Unidade
Potência de eixo	64,09	62,09	cv
Torque	250,26	242,45	Nm
cec	233,54	238,75	g/kWh
Blow-by	19,09	77,87	l/min.
Temperatura máxima	2154,00	2135,00	K
Pressão máxima	45,27	44,23	bar

Cec: consumo específico de combustível. Blow-by: vazamento de gás através dos pistões.

## CONCLUSÕES:

O desgaste dos anéis prejudica negativamente o rendimento térmico e potência de eixo, sendo estes indicadores foram prejudicados em 3,12 %, sendo o rendimento térmico representado pelo consumo específico de combustível. Uma vez que o motor entrega menor potência de eixo e aumento de consumo, o custo de operação do motor tende a tornar-se maior, justificando uma possível reforma do motor. A temperatura e pressão máximas de combustão apresentaram redução de 0,88% e 2,29%, devido à perda de massa de gás para o

cárter, sendo a pressão função direta da quantidade de gás presente na câmara de combustão.

O aumento da vazão de gás através do pistão pode significar aumento nas emissões de poluentes (hidrocarbonetos), caso o projeto do motor preveja a liberação destes gases diretamente para a atmosfera, mas que pode ser amenizado caso o fabricante faça a queima destes gases com hidrocarbonetos através da conexão do respiro do cárter ao duto de admissão do motor.

## **REFERÊNCIAS:**

BUTCHER, J.C. The numerical analysis of ordinary differential equations: Runge-Kutta and general linear methods. Wiley-Interscience, 1987.

FURUHAMA, S. e TADA, T. On the flow of gas through the piston-rings: 1st report, the discharge coefficient and temperature of leakage gas. Bulletin of JSME, v. 4, n. 16, 684–690, 1961.

GALLO, Waldyr Luiz Ribeiro. Análise Exergética de Motores a Gasolina e Álcool. 1990. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas - Unicamp.

GHOJEL, J.I. Review of the development and applications of the wiebe function: a tribute to the contribution of ivan wiebe to engine research. International Journal of Engine Research, v. 11, n. 4, 297–312, 2010.

HARDENBERG, H. e HASE, F. An empirical formula for computing the pressure rise delay of a fuel from its cetane number and from the relevant parameters of direct-injection diesel engines. Relatório técnico, SAE Technical Paper, 1979.

HOHENBERG, G.F. Advanced approaches for heat transfer calculations. Relatório técnico, Society of Automotive Engineers - SAE, 1980.

MILLINGTON, B. e HARTLES, E. Frictional losses in diesel engines. Relatório técnico, SAE Technical Paper, 1968.

NAMAZIAN, M. e HEYWOOD, J.B. Flow in the piston-cylinder-ring crevices of a spark-ignition engine: effect on hydrocarbon emissions, efficiency and power. Relatório técnico, SAE Technical Paper, 1982.

NISHIWAKI, K.; SHIMAMOTO, Y. e MIYAKE, K. Average heat transfer coefficients on a cylinder wall in the intake and exhaust processes of motoring test. Bulletin of JSME, v. 22, n. 174, 1796–1809, 1979.

NUNES, P.G.K. Simulação termodinâmica para motores diesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp. Campinas - SP, 2017.

PATTERSON, Donald J. A comprehensive cycle analysis and digital computer simulation for spark-ignited engines. 1962. Tese (Doutorado). University of Michigan.

SHERMAN, R. e BLUMBERG, P. The influence of induction and exhaust processes on emissions and fuel consumption in the spark ignited engine. Relatório técnico, SAE Technical Paper, 1977.