

ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO E DEGRADAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE DE UM MOTOR OTTOLIZADO UTILIZANDO BIOGÁS

ROVIAN BERTINATTO¹, JOSÉ F. SCHLOSSER², GILVAN M. BERTOLLO³, DANIELA HERZOG⁴, LEONARDO CASALI⁵, HALAN G. BORSATTO⁶

¹ Eng. Agrícola, Aluno de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS. Fone: (55) 3220-8850, engrovian@gmail.com.

² Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria – RS.

³ Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto do curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena – PR.

⁴ Eng. Agrônoma, Aluna de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS.

⁵ Aluno do curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria – RS.

⁶ Aluno do curso de Eng. Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Pato Branco – PR.

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: Apesar do aumento da implantação de biodigestores nas propriedades rurais nos últimos anos, ainda são escassos os trabalhos sobre o comportamento da utilização do biogás nos motores, o seu desgaste e durabilidade. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da utilização do biogás filtrado na contaminação e degradação do óleo lubrificante do motor, através da análise do óleo lubrificante. Amostras de biogás e óleo lubrificante foram coletadas e analisadas a cada 75 horas máquina (hM) de utilização de um motor ottolizado, durante 525 hM de funcionamento. Foram analisados viscosidade cinemática a 100°C e espectrometria por infravermelho no óleo lubrificante. Através da análise exploratória dos dados foram comparados os resultados das análises de biogás e do óleo lubrificante buscando correlação entre a quantidade de contaminantes presentes no biogás e a absorção pelo óleo lubrificante, principalmente o gás sulfídrico. Os resultados obtidos apontam que dentre os aditivos, somente o magnésio teve variação além do limite preconizado. Outra relação observada foi entre a alta concentração de gás sulfídrico no biogás e o aumento da concentração de sulfatos no óleo lubrificante, apresentando resultados superiores ao encontrado na bibliografia após as 450 hM de utilização.

PALAVRAS-CHAVE: contaminantes, corrosão, biometano.

CONTAMINATION AND DEGRADATION ANALYSIS OF THE LUBRICATING OIL OF AN OTTOLIZED ENGINE USING BIOGAS

ABSTRACT: Despite the recent increase in the implementation of biodigesters in rural properties, there is still few studies on the behavior of biogas at the engines, concerning to wear and durability. Thus, this work aimed to evaluate the influence of the use of filtered biogas on the contamination and degradation of the engine lubricating oil, through the analysis of the lubricating oil. Samples of biogas and lubricating oil were collected and analyzed every 75 hours machine (hM) of an ottolized engine, during 525 hM of operation. Through the

exploratory analysis of the data, the results of the analysis of biogas and lubricating oil were compared, seeking for a correlation between the amount of contaminants present in the biogas and their absorption by the lubricating oil, mainly hydrogen sulfide. The results obtained point out that, among the additives, only magnesium varied beyond the recommended limit. In addition, another relationship observed was between the high concentration of hydrogen sulfide in the biogas and the increase in the concentration of sulfates in the lubricating oil, presenting superior results to those found at the bibliography after 450 hM of use.

KEYWORDS: contaminants, corrosion, biomethane.

INTRODUÇÃO:

O biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, apresenta em sua composição impurezas e outros gases, como o gás sulfídrico, dióxido de enxofre e vapor de água, em quantidades que variam de acordo com a biomassa empregada, fatores climáticos e dimensões do biodigestor (SEIXAS et al., 1980).

O uso do biogás em motores de combustão interna requer a utilização de processos de limpeza de gases, visto que a degradação do motor é acelerada pelo vapor de água e gás sulfídrico presente no biogás utilizado. Estes gases causam corrosão em diversas partes do motor, principalmente o desgaste de partes móveis e contaminação do óleo lubrificante.

Outro gás presente no biogás e prejudicial ao desempenho do motor é o dióxido de carbono, que atua como um antidetonante durante o processo de combustão. A redução dos teores de dióxido de carbono pode ser efetuada com a lavagem do biogás (em solventes ou simplesmente em água) e posterior secagem, atuando também na diminuição dos teores de vapor de água. Com isso tem-se o incremento da quantidade de metano no biogás.

Entretanto, devido aos métodos de filtragem existentes e seu baixo custo frente aos benefícios de sua utilização, o uso do biogás *in natura* em motores de combustão interna não é indicado, devido aos contaminantes presentes e ao menor rendimento consequente da baixa quantidade de metano. Porém, a filtragem utilizada comercialmente não remove do biogás impurezas e outros gases citados anteriormente, necessitando verificar e quantificar as substâncias contaminantes remanescentes.

O biogás pode ser utilizado em motores de ciclo Diesel mediante duas tecnologias: a Ottolização e a conversão bicomcombustível (diesel/biogás). Já os motores de ciclo Otto necessitam de pequenas modificações para poderem utilizar o biogás como combustível, porém, não são os mais indicados, sendo o motor de ciclo Diesel o mais apropriado pela sua maior robustez e menor custo para uma mesma potência (MIHIC, 2004; PEREIRA et al., 2005).

Nos motores de combustão interna, o óleo lubrificante é responsável pela redução do atrito e conseqüentemente o desgaste, bem como pela limpeza dos resíduos da combustão e dos resíduos provocados pelo desgaste de componentes. Assim, a eficiência do lubrificante pode ser reduzida pela utilização severa do motor e por contaminantes, tais como, água, poeira (sílica), combustíveis e resíduos da combustão. Através da análise periódica do lubrificante, é possível acompanhar a sua degradação normal e aquelas causadas por contaminações diversas, servindo como indicativo de manutenções preventivas (CORRÊA et al., 2011).

Acresce que, a degradação é o processo que reduz a capacidade do óleo de cumprir as funções para que foi dimensionado, isto é, lubrificar, proteger, limpar, refrigerar e vedar, originada pela alteração de suas propriedades físicas e químicas, devido as diferentes condições que é submetido o óleo dentro do motor, como altas temperaturas, grandes velocidades de cisalhamento, materiais corrosivos, contaminações e envelhecimento.

Devido à falta de trabalhos relacionando o impacto da utilização do biogás (com a presença do ácido sulfídrico), nos parâmetros importantes de desempenho do óleo, como a viscosidade, índice de basicidade total, oxidação, nitratos e sulfatos, é proposto o presente trabalho com o objetivo de avaliar a influência da utilização do biogás filtrado na contaminação e degradação do óleo lubrificante do motor, através da análise do óleo lubrificante.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi realizado no município de São Miguel do Iguçu, Paraná, Brasil. Foi utilizado um grupo gerador fabricado pelo grupo Fockink, sendo composto por um motor Ottolizado marca MTU do Brasil Ltda. (Mercedes-Benz), modelo OM447, seis cilindros, potência de 117,8 kW, acoplado a um gerador com potência de 139 kVA a 1800 rpm, tensão 220 Volts, corrente 292 amperes, frequência 60 Hz e $\cos \phi$ 0,80. O consumo médio de biogás pelo motor é de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a plena carga. O volume total de lubrificante do sistema de lubrificação do motor é de 28,5 litros.

As amostras foram coletadas a cada 75 horas máquina (hM), totalizando 525 hM de funcionamento total do motor, desconsiderando a recomendação de troca de óleo lubrificante pelo fabricante do motor em 250 hM de funcionamento. Este período foi escolhido para melhor representar a influência dos contaminantes do biogás na degradação do óleo lubrificante.

O trabalho foi realizado em duas etapas de coletas. Para cada coleta, o motor foi colocado em operação até que fosse atingida a temperatura de trabalho e o óleo lubrificante fosse homogeneizado. A coleta foi realizada através de uma bomba a vácuo, sendo inserida a mangueira de coleta na haste de verificação do nível de lubrificante, a meia profundidade, evitando sugar as impurezas presentes na superfície do lubrificante ou no fundo do cárter, contrariando assim o problema da decantação do lubrificante e da acumulação no fundo, como também succionar borras. A amostra com quantidade de 0,1 litros de óleo lubrificante retirado do motor foi repostada com óleo sem uso (novo) após cada amostragem.

As análises realizadas no óleo lubrificante foram: Viscosidade cinemática a 100°C (NBR 10441/ ASTM D445); Espectrometria por infravermelho (ASTM E 2412-04) identificando a oxidação, nitratos e sulfatos; Índice de basicidade total (TBN) (ASTM D4739); Espectrometria de emissão óptica a plasma (ASTM D5185). Identificando e quantificando seis elementos químicos: B, Ba, Ca, Mg, P, Zn.

O biogás utilizado no presente trabalho é proveniente da criação de suínos, e foi previamente filtrado em filtros de limalha de ferro para reduzir as concentrações de gás carbônico, gás sulfídrico, dióxido de enxofre, vapores de água e demais impurezas. O lubrificante utilizado foi da marca Petrobrás, modelo Extra Turbo 15w40, que atende aos níveis de desempenho API CG-4/SJ e MB 228.1.

Amostras do biogás foram coletadas juntamente com as de óleo lubrificante. A coleta do biogás foi realizada na admissão do motor, antes do mesclador ar/combustível, com a utilização de uma bolsa amostradora. A análise do gás foi realizada através do kit de análise de biogás, desenvolvido através de parceria da Embrapa Suínos e Aves com a empresa Alfakit, seguindo a metodologia de Kunz, Oliveira e Piccinin (2007), resultando em dados quantitativos e qualitativos da composição do biogás.

A técnica de análise de amônia e gás sulfídrico utilizada consiste em borbulhar o biogás em uma solução, analisando-os colorimetricamente em seguida. Já para a análise de metano e gás carbônico, o biogás também é borbulhado em uma solução, no entanto a concentração é dada pela diferença entre o volume de gás inicial e final. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Através da análise exploratória dos dados, foram comparados os resultados das análises de biogás e do óleo lubrificante buscando correlação entre a quantidade de contaminantes presentes no biogás e a absorção pelo óleo lubrificante, principalmente o gás sulfídrico. Foi avaliada a degradação do óleo lubrificante, comparando as amostras das duas etapas com as amostras de óleo sem uso (novo) e com dados da literatura. Foi estimado um período máximo para utilização deste óleo lubrificante, para as condições do presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados resultantes das análises de óleo lubrificante podem ser visualizados na Tabela 1. A quantidade de boro nas análises das amostras foi pouco significativa, e não foram detectados traços de bário, tanto no óleo novo, quanto no decorrer do experimento. Os aditivos cálcio, fósforo e zinco apresentaram variação inferior ao limite ao recomendado por Oelcheck (1999) e Naegele et al. (2013), que é de 20% acima ou abaixo do valor do óleo novo ($\pm 20\%$ do óleo novo).

Tabela 1. Resultados das amostras de óleo lubrificante em relação ao número de horas trabalhadas.

Composição / hM	Óleo Novo	1º Etapa							2º Etapa						
	0	75	150	225	300	375	450	525	75	150	225	300	375	450	525
Boro (ppm)	1	1	3	1	1	0	0	0	1	2	3	9	1	1	1
Bário (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cálcio (ppm)	1321	1347	1382	1397	1459	1430	1488	1479	1333	1342	1353	1380	1370	1446	1404
Magnésio (ppm)	880	958	1006	1014	1046	1049	1095	1081	917	939	953	975	950	1017	989
Fósforo (ppm)	1086	1078	1085	1067	1093	1076	1078	1028	1054	1037	1014	992	990	969	936
Zinco (ppm)	1370	1361	1331	1327	1378	1363	1399	1373	1336	1324	1316	1316	1321	1363	1312
Nitratos (Acm^{-1})	5	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8
Oxidação (Acm^{-1})	6	8	9	9	10	10	10	11	7	8	9	10	10	11	11
Sulfatos (Acm^{-1})	15	18	19	20	21	21	23	25	17	19	21	23	23	25	26
Viscosidade a 100°C (cSt)	15,53	14,2	13,8	13,5	13,7	13,6	13,6	13,6	13,9	13,3	13,4	13	14,1	13,7	13,4
TBN (mgKOHg^{-1})	7,713	6,57	5,26	5,12	5,37	5,37	5,13	5,2	7,32	6,77	5,42	5,79	4,44	6,7	5,11

Na figura 1 está representada a variação da concentração de magnésio no óleo lubrificante nas 1º e 2º etapas, que foram, respectivamente, 24,43 e 15,57% maiores que o óleo novo. Em comparação a variação recomendada por Oelcheck (1999) e Naegele et al. (2013), é possível afirmar que somente os resultados da 2º etapa estão abaixo do limite de utilização recomendado ($\pm 20\%$ óleo novo). Já na 1º etapa, o valor é inferior ao limite recomendado até a amostra de 375 hM, apresentando 19% de variação, assim o valor limite para substituição da carga de lubrificante devido a variação do magnésio é 375 hM.

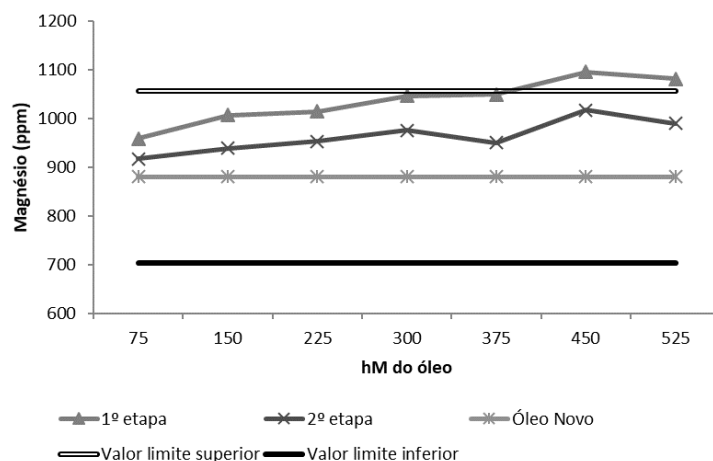


Figura 1: Variação dos resultados de magnésio em relação aos limites recomendados pela bibliografia.

Nitratos, oxidação e sulfatos são contaminantes do processo de combustão, que atuam como redutores das propriedades de lubrificação, aumentando a viscosidade, causando a formação de depósitos e entupimento dos filtros. Os valores de oxidação e nitratos não ultrapassaram os limites recomendados, que é de 20 A.cm^{-1} (Oelcheck, 1999; Naegele et al., 2013).

O maior valor de sulfatos (figura 2) ocorreu na 2ª etapa, na coleta de 525 hM com 26 A.cm^{-1} . Oelcheck (1999) recomenda como valor máximo de 36 A.cm^{-1} , enquanto Naegele et al. (2013) recomenda 25 A.cm^{-1} , estando assim o valor, na 2ª etapa após nas 525 hM, 4% superior ao valor limite recomendado por Naegele et al. (2013), embora esteja abaixo do limite recomendado por Oelcheck (1999).

No experimento de Naegele et al. (2013) foi utilizado óleo específico para motores a biogás, possuindo em sua composição inicial 0 A.cm^{-1} de sulfatos. Devido a utilização de biogás altamente filtrado (aproximadamente 0 ppmV de gás sulfídrico), não houve acréscimo de sulfatos no óleo lubrificante, mesmo com troca de lubrificante em intervalos acima de 10.000 hM. Neste trabalho o óleo novo já continha 15 A.cm^{-1} .

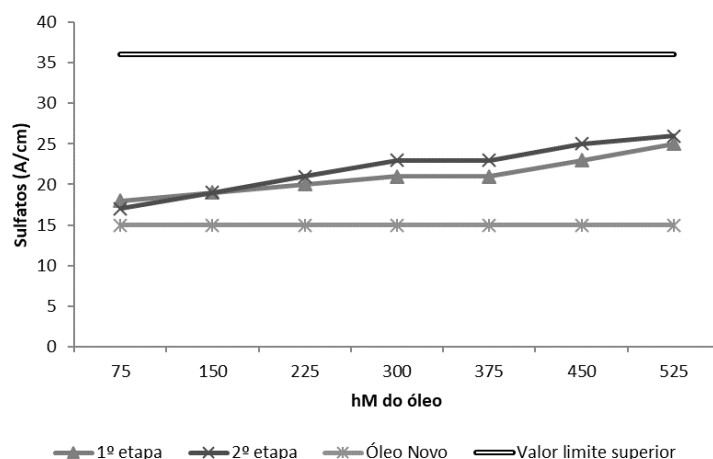


Figura 2: Variação dos resultados de sulfato em relação aos limites recomendados pela bibliografia.

A variação da viscosidade nas 1° e 2° etapas foram de 12,69 e 16,42% menores em relação à análise do óleo novo, respectivamente. Já a menor viscosidade apresentada foi de 13,0 cSt. Assim, todos os resultados obtidos atendem aos valores limites preconizados por Marshall E. R. (1993), Runge et al. (1994), que indicam que a viscosidade deva estar entre 12,5 e 16,3 cSt, Oelcheck (1999) e Naegele et al. (2013) que recomendam no mínimo 12 cSt e no máximo 18 cSt, e Nédic et al. (2009), que afirmam que a viscosidade não deve ser 20% inferior a viscosidade do óleo novo.

O índice de basicidade total (*total base number* - TBN) é a medida da reserva alcalina do lubrificante, que representa a capacidade de um lubrificante em neutralizar ácidos. No biogás temos a elevada influência do gás sulfídrico, e como citado por Caines e Haycock (1996), uma proporção significativa dos gases produzidos na combustão vazam através dos anéis dos pistões, contaminando o óleo do cárter e causando outros efeitos adversos, assim é necessário verificar se o gás sulfídrico ou os subprodutos de sua queima chegam até o óleo lubrificante, e se atuam como agentes degradadores do TBN.

Côrrea et al. (2011) relatam que para motores movidos a óleo Diesel o TBN não deve ficar abaixo de 2,5 mg de KOH.g⁻¹. Já Kimura (2010) e Nédic et al. (2009) afirmam que o TBN não deve ficar menor do que 50% do valor do óleo novo, e Marshall E. R. (1993), Runge et al. (1994), Oelcheck (1999) e Naegele et al. (2013) também afirmam que o TBN não deve ficar menor do que 50% do valor do óleo novo, com a condição deste valor ser maior que 2,0 mg de KOH.g⁻¹. O menor valor do TBN encontrado em todo o experimento foi 4,43 mg de KOH g⁻¹ nas 375 hM da 2° etapa, representando a maior variação de 42,4% em relação ao óleo novo.

Devido a análise do TBN ser através de método titulométrico, os menores valores encontrados dentre as etapas podem ser considerados erros devido a precisão do método ou leitura dos resultados, pois nas amostras subsequentes o TBN apresenta valores maiores por diversas vezes. Este comportamento de variação (acréscimo e diminuição) do TBN e da viscosidade a 100°C também foi verificado no experimento de Naegele et al. (2013), onde a avaliação ocorreu em um motor MTU modelo MDE MB 3066 L4 movido a biogás rigorosamente filtrado (aproximadamente 0 ppmV de gás sulfídrico), no entanto, neste motor ocorreu aumento da viscosidade. Já para o experimento de Nédic et al. (2009), onde foi utilizado motor de mesma marca e modelo ao do presente estudo, operando somente com Diesel, o comportamento do TBN foi de decréscimo constante, não ocorrendo a diminuição abrupta nas primeiras horas de utilização do óleo como ocorre no presente trabalho.

Com os resultados das 1° e 2° etapas, onde nas últimas coletas os valores foram, respectivamente, 32,59 e 33,76% menores que o óleo novo, é possível afirmar que o óleo ainda possuía capacidade de neutralizar os componentes ácidos, gerados pela combustão do biogás e resultantes da oxidação do óleo durante o seu envelhecimento, nas 525 hM.

Os resultados das amostras de biogás estão descritos na Tabela 2. Não foi detectada a presença de amônia em todas as amostras analisadas.

Tabela 2: Resultados das análises de biogás.

Etapa	1° Etapa							2° Etapa							
	hM da coleta	75	150	225	300	375	450	525	75	150	225	300	375	450	525
Amônia (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gás sulfídrico (ppmV)	640	560	255	305	586	543	331	305	178	407	357	357	408	383	
Metano (%)	74	73	78	73	72	70	76	74	80	78	75	74	74	72	

Na figura 3 são apresentados graficamente os dados de metano, onde verifica-se uma variação de 70 a 80% na produção de metano durante o período de análise. A variação dos

dados pode ter ocorrido por inúmeras variáveis, como caracterização do dejetos (que varia conforme idade dos animais), mudanças de temperatura e clima, lavagens das instalações com detergentes, canaletas de condução do dejetos até o biodigestor parcialmente cobertas e vazamentos na lona de cobertura do biodigestor. As águas de lavagem e chuva diluem o conteúdo do dejetos no biodigestor, sendo também que a presença de detergentes inibe a atividade biológica, impactando na produção de metano.

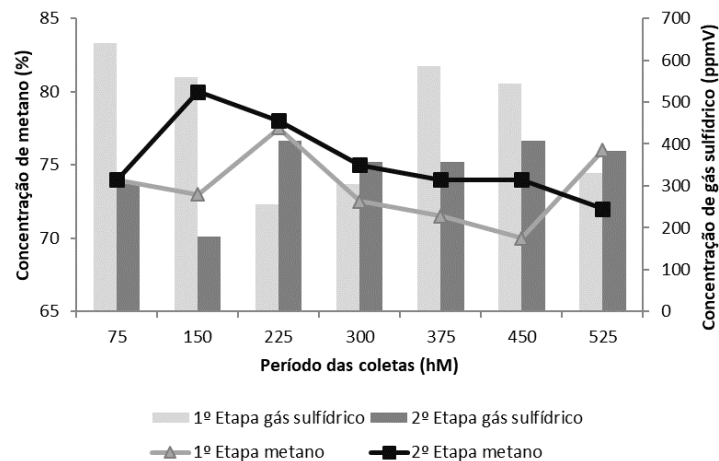


Figura 3: Variação das concentrações de metano (CH_4) e gás sulfídrico nas amostras de biogás.

De acordo com Pereira (2005), é necessário tomar todos os cuidados no momento da entrada do dejetos no biodigestor, eliminando, por exemplo, a entrada de água da chuva e reduzindo ao máximo o uso de antibióticos, detergentes e desinfetantes no sistema de criação. Quando bem operado, o sistema produz biogás com até 70% de metano. Já Seixas et al. (1980) relata que quando as condições ambientais para o processamento de dejetos pelos microrganismos são atendidas, o biogás obtido deve ser composto de uma mistura de gases, com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano. Mesmo com todas as adversidades, e confrontando com a literatura citada, é possível verificar um bom manejo e produção pelo biodigestor, com produções acima de 70% no período pesquisado.

Foi verificada uma correlação entre a produção de metano e a presença de gás sulfídrico, que pode ser observada na figura 3. Na 1ª etapa, enquanto a presença de metano na amostra diminui, a de gás sulfídrico aumenta. Na 2ª etapa, o comportamento ocorre desta forma até as 225 hM, no entanto, das 300 às 525 hM, enquanto a quantidade de metano decresce a presença de gás sulfídrico se apresenta parcialmente inalterada.

Após a coleta de 375 hM da 1ª etapa foi efetuada a troca da limalha de ferro do filtro de biogás, onde houve um decréscimo até a coleta de 150 hM da 2ª etapa. Porém, após esta, os valores voltaram a aumentar e permaneceram praticamente inalterados a partir da coleta de 225 hM da 2ª etapa até o final do experimento. Antes da troca da limalha, o valor médio de gás sulfídrico foi de 469 ppmV, e após foi de 357 ppmV, comprovando que houve redução do gás sulfídrico, no entanto os valores para utilização em motores ainda são elevados, sendo recomendado valores inferiores a 50 ppmV. Este comportamento na filtragem pode ter ocorrido pela saturação rápida do filtro, e devido ao mesmo não possuir regeneração da limalha através da passagem controlada de oxigênio, o mesmo não cumpriu eficazmente seu papel.

Com os resultados obtidos é possível destacar os itens limitantes de condição para a substituição da carga de óleo lubrificante, que são o teor de magnésio após 375 hM e o teor de sulfetos após as 450 hM.

Relacionado ao teor de o magnésio o valor limite recomendado pela bibliografia é atingido após as 375 hM. Este aditivo com função dispersante/detergente é de grande importância para o motor, principalmente quando da utilização de biogás com presença de gás sulfídrico, atuando na neutralização dos ácidos formados controlando o processo de oxidação.

Já para os sulfetos, é possível verificar sua relação com a utilização de biogás com níveis elevados de gás sulfídrico, pois se comparado aos dados de Naegele et al. (2013), onde o biogás possuía níveis próximo de zero, o incremento de sulfetos foi nulo, já no presente estudo, devido as elevadas concentrações de gás sulfídrico houve incremento de sulfetos, limitando a troca de óleo nas 450 hM.

De acordo com Rubio Senes et al. (2013), é imprescindível que os teores de gás sulfídrico no biogás sejam minimizados por processos de filtração para evitar o desgaste das peças e a contaminação do motor. Assim, deve-se atuar com uma filtragem eficaz do biogás para utilização em motores, reduzindo ao máximo a concentração de gás sulfídrico, pois esta ação impactará diretamente na durabilidade do óleo lubrificante, e devido ao poder degradante deste gás, também na durabilidade do motor.

CONCLUSÕES:

Dentre os aditivos somente o magnésio teve variação além do limite preconizado. Devido ter a função de aditivo dispersante/detergente, sua variação excessiva pode ter ocorrido devido à intensa oxidação do óleo, atingido o limite recomendado nas 375 hM de utilização.

Os valores de viscosidade, TBN, oxidação e nitratos não ultrapassaram os valores limites preconizados pela bibliografia.

Foi identificada a relação entre a alta concentração de gás sulfídrico no biogás e o aumento da concentração de sulfatos no óleo lubrificante, apresentando resultados superiores ao encontrado na bibliografia após as 450 hM de utilização

O período recomendado de troca do lubrificante, para o motor e condições do presente estudo, é a cada 375 hM.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pós-graduação do primeiro e quarto autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de produtividade em pesquisa do segundo autor, e também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS:

ALFAKIT. **Kit para análise de biogás.** Disponível em: <http://www.alfakit.com.br/produtos-ver.html?id=20>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

CAINES, A.J.; HAYCOCK, R.F. Automotive lubricants reference book.1996.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. **Ciência Rural**, v.41, p.1189-1194, 2011.

KIMURA, R. K. **Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante.** 129 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, L. de; PICCININ, L. S. **Manual de Análise do Biogás.** Alfakit e Embrapa Suínos e Aves. Florianópolis, SC. 20 p. 2007.

MARSHALL, E. R.; Análises de óleos usados; **Lubrificação Texaco**; 79 no2, 1-12, 1993.

MIHIC, S. Biogas Fuel for internal combustion Engines, **Annals of Faculty Engineering Hunedoara.** 411p., 2004.

NAEGELE, H.-J. THOMAS, B. SCHRADE, C. LEMMER, A. OECHSNER, H. JUNGBLUTH, T. Influence of maintenance intervals on performance and emissions of a 192 kW biogas gas Otto CHP unit and results of lubricating oil quality tests - Outcome from a continuous two-year measuring campaign. **Energies.** No. 6, 2819–2839, 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/6/6/2819>>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

NÉDIC, B., PERIC, S., VURUNA, M. Monitoring Physical and Chemical characteristics Oil for Lubrication. **Journal Tribology in industry**, vol. 31, No 3-4, p. 59-66. 2009. Disponível em: <<http://www.tribology.fink.rs/journals/2009/2009-3-4/9.pdf>>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

OELCHECK. **Stationäre Gasmotoren – Beurteilung des Gebrauchtoilzustands und Limitwerte.** 1999. Disponível em: <<http://www.oelcheck.de/wissen-von-a-z/komplexe-begriffe/stationaere-gasmotoren-beurteilung-und-limitwerte-oelchecker-winter-1999.html>>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

PEREIRA, M. L. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais da suinocultura,** 2005. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/?ids=&idn=437>>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

PEREIRA, R. H.; BRAGA, S.L.; BRAGA, C.V.M. “Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicombustível Diesel/Gás Natural”, **In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Salvador, 2-5 Out. 2005.

RUBIO SENES, C.E. LINDINO, C.A. BARICCATTI, R.A. MENDOZA MOREJON, C.F. SOUZA, J. Estudo da eficiência de um purificador para motor a biogás. **In: 53º Congresso Brasileiro de Química.** Rio de Janeiro – RJ. 14 a 18 de Outubro de 2013. ISBN: 978-85-85905-06-4. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/9/2490-16739.html>>. Acesso em: 11 Mar. 2020.

RUNGE, P.R.F; DUARTE, G. N.; GEMPERLÉ, R. **Lubrificação Automotiva**; São Paulo; Triboconcept; 1994.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores.** Brasília: Embrapa-DID, Embrapa-CPAC, p. 60. (Circular Técnica, 4), 1980.