

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
LUCAS MODENA PAGLIARINI**

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO
DE ESCAVADEIRAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ÓLEO**

**Varginha
2020**

LUCAS MODENA PAGLIARINI

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO
DE ESCAVADEIRAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ÓLEO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery e coorientação do Prof. Esp. Antônio Vital Lara Júnior.

Varginha

2020

LUCAS MODENA PAGLIARINI

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO
DE ESCAVADEIRAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ÓLEO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que gostam da área da manutenção e que apreciam a investigação a fundo da real situação dos equipamentos mecânicos. Dedico também a todos aqueles que contribuíram para que eu pudesse realizar a pesquisa com êxito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde me fornecida para realização do trabalho, agradeço a minha família pela dádiva da vida, minha namorada Rafaela pelo amor incondicional, aos colaboradores deste trabalho, Sr. Roberto Donizete diretor da Pavican pela disponibilidade das escavadeiras, Valdecir Firmino pela coleta das amostras e disposição, a técnica em química da Proluminas Lívia pela análise dos óleos e apoio técnico, aos meus orientadores professores Jonathan e Antônio pelo compartilhamento de conhecimentos.

“A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável.”

Galileu Galilei

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar, analisar e avaliar o resultado das análises das condições dos óleos hidráulicos submetidos a contaminantes provenientes de seu deterioramento, bem como a condição de seus componentes móveis a fim de preservar a vida útil, a confiabilidade do equipamento e monitorar tendência de deterioramento dos óleos hidráulicos das escavadeiras. O estudo analítico do óleo contribui para preservação de tais componentes, saber como está quimicamente dá a oportunidade de fazer uma manutenção corretiva planejada na substituição do mesmo, caso o óleo apresente condições que o faça perder suas características. Foram escolhidas duas escavadeiras hidráulicas da mesma marca e mesmo modelo, sendo elas da marca Hyundai e modelo R210LC-7, de propriedade da empresa Pavican Pavimentação e Terraplenagem. As amostras de óleo usado foram retiradas dos reservatórios hidráulicos das escavadeiras em campo por um técnico em manutenção, para a amostra de óleo novo foi retirada diretamente do tambor da Lubrax. Em parceria com a Proluminas Lubrificantes, foi possível realizar as análises das amostras coletadas das escavadeiras. Os objetivos foram alcançados, pode-se observar a tendência de deterioramento, bem como a quantidade absoluta de partículas no óleo, fazendo um estudo sobre a manutenção preventiva aplicada nos equipamentos com a manutenção preditiva da análise de óleo.

Palavras chave: Análise de óleo. Escavadeira hidráulica. Óleo hidráulico. Manutenção.

ABSTRACT

This work aims to present, analyze and evaluate the results of the analysis of the conditions of hydraulic oils subjected to contaminants from their deterioration, as well as the condition of their mobile components in order to preserve the useful life, the reliability of the equipment and monitor the trend deterioration of hydraulic excavator oils. The analytical study of the oil contributes to the preservation of such components, knowing how it is chemically giving the opportunity to carry out a planned corrective maintenance in its replacement, in case the oil presents conditions that make it lose its characteristics. Two hydraulic excavators of the same brand and model were chosen, being the Hyundai brand and model R210LC-7, owned by the company Pavican Pavemento e Terraplenagem. The used oil samples were taken from the hydraulic reservoirs of the excavators in the field by a maintenance technician, for the new oil sample was taken directly from the Lubrax drum. In partnership with Proluminas Lubrificantes, it was possible to carry out the analysis of the samples collected from the excavators. The objectives were achieved, it is possible to observe the tendency of deterioration, as well as the absolute number of particles in the oil, making a study on the preventive maintenance applied to the equipment with the predictive maintenance of the oil analysis.

Keywords: *Oil analysis. Hydraulic excavator. Hydraulic oil. Maintenance.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Escavadeira hidráulica de esteira	18
Figura 02 - Bomba hidráulica desmontada	19
Figura 03 - Componentes do cilindro hidráulico	21
Figura 04 - Componentes do reservatório hidráulico	22
Figura 05 - Especificações técnicas dos óleos.....	23
Figura 06 - Titulação química	29
Figura 07 - Representação esquemática da atuação da radiação no método EDXRF.....	30
Figura 08 - Desgaste de bomba devido ação da água.....	32
Figura 09 - Efeitos visuais da água no óleo.....	32
Figura 10 - Partículas sólidas presentes em uma análise de óleo	34
Figura 11 - Reservatório hidráulico sem a tampa superior.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Volume de OLUC coletado no Brasil entre 2008 e 2017.....	37
Gráfico 02 – Eficiência bruta do rerrefino entre 2008 e 2017.....	38
Gráfico 03 – Comparativo de partículas sólidas em relação aos aditivos do óleo da R210LC-7 (I).....	44
Gráfico 04 – Representação da quantidade de partículas de desgaste da R210LC-7 (I).....	45
Gráfico 05 – Representação da tendência de deterioramento da R210LC-7 (I).....	46
Gráfico 06 – Comparativo de partículas sólidas em relação aos aditivos do óleo da R210LC-7 (II).....	47
Gráfico 07 – Representação da quantidade de partículas de desgaste da R210LC-7 (II)	48
Gráfico 08 – Representação da tendência de deterioramento da R210LC-7 (II)	49
Gráfico 09 – Comparativo de resultados das escavadeiras.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Especificações de óleos recomendadas pelo fabricante	17
Tabela 02 - Especificações da água	27
Tabela 03 - Quantidade de horas de uso do óleo em cada coleta	39
Tabela 04 - Quantidade em mililitros de água presente nas amostras.....	43
Tabela 05 - Índice de acidez total nas amostras de óleos das escavadeiras.....	49
Tabela 06 - Resumo dos resultados das análises de óleo	57
Tabela 07 - Resumo do percentual de tendência de deterioramento entre as análises	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Manutenção preventiva e preditiva	16
2.2 Características das escavadeiras em estudo	17
2.3 Componentes hidráulicos	19
2.3.1 Bomba hidráulica.....	19
2.3.2 Filtro hidráulico e acumuladores	20
2.3.3 Cilindros hidráulicos	20
2.3.4 Reservatório.....	21
2.4 Atuação do óleo hidráulico	22
2.5 Especificação do óleo	23
2.6 Aditivos do óleo lubrificante	23
2.6.1 Detergentes	24
2.6.2 Dispersantes.....	24
2.6.3 Antioxidantes	25
2.6.4 Passivadores de metal.....	25
2.6.5 Agentes antidesgaste.....	25
2.6.6 Propriedades de extrema pressão (EP)	26
2.6.7 Antiespumantes	26
2.7 Análise de óleo	26
2.7.1 Determinação de acidez total.....	26
2.7.1.1 Preparação química	27
2.7.1.2 Preparação da amostra	28
2.7.1.3 Procedimentos	28
2.7.1.4 Cálculo de resultados.....	29
2.7.2 Determinação de metais de desgaste	30
2.8 Contaminantes no sistema hidráulico	31
2.8.1 Contaminação por água	31
2.8.2 Contaminação por partículas sólidas	32
2.8.3 Índice de acidez total (TAN)	34
2.9 Interpretação de análise do óleo usado	35
2.9.1 Limites de desgaste.....	35
2.9.2 Limites de água.....	35
2.9.3 Limites de TAN.....	36
2.10 Rerefino do óleo	36
3 METODOLOGIA	39
3.1 Escolha do equipamento	39
3.2 Retirada das amostras	39
3.3 Análise do óleo	40
3.4 Variantes da pesquisa	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Resultados do percentual de água	42
4.2 Resultados da quantidade de partículas metálicas	43
4.2.1 Partículas sólidas presentes na R210LC-7 (I).....	44
4.2.2 Partículas sólidas presentes na R210LC-7 (II)	47

4.3 Resultados do índice de acidez total TAN	49
4.4 Importância da análise de óleo e da realização da manutenção preventiva	50
4.5 Discussão sobre os resultados obtidos.....	51
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A	57
APÊNDICE B.....	59

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos mecânicos fundamentais para o serviço diário em um ambiente de terraplenagem estão sujeitos a falhas diversas, até mesmo os equipamentos mais novos e modernos. Uma dessas falhas pode ocorrer devido à situação presencial do óleo empregado em tais sistemas se o mesmo apresentar características que comprometam sua utilidade dentro dos componentes.

Todo o propósito do monitoramento da condição da máquina, como a análise do óleo, é para permitir que se preveja o futuro. Produzir dados que apontam para os problemas existentes e a gravidade destes problemas (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2020).

A importância de prever o futuro da falha dá a oportunidade para agir antes, fazer uma manutenção corretiva planejada no equipamento antes de sua parada funcional, tais medidas são importantes para preservar a vida útil do equipamento. Fazer um descarte de óleo ainda com suas características preservadas pode gerar um impacto ambiental se não rerrefinado, além de gerar elevados custos na sua troca.

Uma manutenção preventiva feita corretamente é uma solução para evitar tal problema. Se o equipamento é novo, sem desgaste de peças móveis, deve-se seguir estritamente o prazo de troca recomendado pelo fabricante. A manutenção preditiva pode ser aplicada tanto nos equipamentos mais antigos, quanto nos novos onde é conveniente fazer as análises para monitorar as condições do óleo e observar a tendência de desgaste que o óleo vai ter.

O trabalho tem como objetivo apresentar o resultado das análises das condições dos óleos hidráulicos submetidos a contaminantes provenientes de seu deterioramento, bem como a condição de seus componentes móveis a fim de preservar a vida útil e a confiabilidade do equipamento e monitorar tendência de deterioramento dos óleos hidráulicos das escavadeiras.

A análise de óleo pode auxiliar no acompanhamento da vida útil do equipamento, garantir a eficiência do óleo nas escavadeiras que são submetidas a condições extremas, podendo ser trocado antes do determinado pela preditiva, e também o inverso, utilizar o óleo por um número de horas maior que o definido pela preditiva, tendo em vista o monitoramento da condição do óleo.

A partir das análises laboratoriais de óleo realizadas (metais de desgaste, contaminantes, água e aditivos) será possível identificar na prática e de forma aprofundada se os equipamentos em questão apresentam, preliminarmente, algum tipo de desgaste em seu sistema hidráulico.

Como os óleos são usados, ou seja, já passaram por um bom tempo de uso nos equipamentos, poderá aparecer metais de desgaste nas análises, bem como a alteração de seus

aditivos originais que vão perdendo suas propriedades, além de aparecer porcentagens de água caso contenha algum agente que permita a sua formação ou introdução dentro do sistema.

Através de métodos contidos em normas NBR e ASTM é possível a determinação de partículas contaminantes presentes em amostras de óleo, bem como sua acidez e índice percentual de água que ocasiona sérios danos no óleo e também em componentes mecânicos dos sistemas hidráulicos.

Com o avanço tecnológico empregado em diversas áreas da engenharia, muitos equipamentos utilizados na área da terraplenagem necessitam do óleo para movimentos essenciais na hora de desbastar, cortar e desaterrar os terrenos. Essas máquinas dispõem de cilindros hidráulicos, mangueiras, bomba hidráulica e reservatório que são primordiais para seu funcionamento e são partes que estão sujeitas a defeitos seja por falha mecânica, falha por lubrificação e vazamentos em geral.

O estudo analítico do óleo contribui para preservação de tais componentes, saber a real condição dá a oportunidade de realizar uma manutenção corretiva planejada, caso o óleo apresente condições que o faça perder suas características antes do prazo sugerido pelo fabricante, evitando assim despesas futuras desnecessárias na substituição de componentes hidráulicos desgastados pelo fluxo de óleo contaminado.

Quando se faz a substituição do óleo, pode-se dispor de serviços de rerrefino, onde na região já existe empresa especializada em tal serviço recolhe e trabalha no processo de purificação, assim pode-se assegurar do destino correto do óleo, pois o mesmo poderá ser reutilizado para outros fins ao invés de ser simplesmente descartado na natureza.

Os equipamentos em pesquisa, duas escavadeiras hidráulicas, já apresentam grande tempo de uso, são máquinas fabricadas no ano de 2008 e 2012, e são do mesmo modelo. O período de trabalho é de 8 horas diárias de segunda à sexta feira, eventualmente aos sábados. Seu sistema hidráulico fica ativo todo o período de funcionamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração do referencial teórico foi consultado artigos de doutorados, mestrados, normas regulamentadoras, sites de internet, folhetos técnicos, livros e o manual de operação e manutenção da escavadeira em estudo, descrevendo os passos fundamentais para a elaboração concreta do trabalho, bem como um entendimento sólido do assunto abordado.

2.1 Manutenção preventiva e preditiva

Segundo Kardec e Nascif (2009, p.42) “manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.”

A adoção da manutenção preventiva se dá quando maior for a simplicidade na reposição de peças, se os custos atrelados às falhas forem elevados e se as implicações das falhas afetarem a segurança pessoal e operacional do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

O projeto de instalação da filtragem, se realizado corretamente, terá grande importância no planejamento de uma manutenção preventiva (PARKER, 2017).

A respeito da manutenção preditiva, Kardec e Nascif (2009, p. 44) dizem que: “é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.”

O monitoramento da condição de peças ou de óleo, implica em ação de correção, o que gera manutenção corretiva planejada, quando estiverem fora dos parâmetros. Quanto maior for a tecnologia aplicada e o conhecimento, é possível permitir uma avaliação mais confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento. O objetivo é prevenir possíveis falhas futuras nos equipamentos fazendo acompanhamento de parâmetros, o que permite funcionamento contínuo do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

Na manutenção preditiva, são estudadas as propriedades físicas e químicas do óleo e também é monitorado o desgaste do sistema hidráulico através dos teores de metais no óleo. Dessa maneira, é possível prevenir componentes de falhas, controlar a qualidade geral do sistema e identificar possíveis adulterações específicas, podendo determinar um tempo apropriado para sua substituição (POCFILTROS, 2020).

Segundo as especificações recomendadas no manual de operação e manutenção (HYUNDAI, 2011), os óleos recomendados para o sistema hidráulico estão representados na Tabela 01 a seguir.

		Tabela 01 - Especificações de óleos recomendadas pelo fabricante.						
<i>Tipo de Fluido</i>	<i>Capacidade (litros)</i>	<i>Temperatura Ambiente (°C)</i>						
		<i>-20</i>	<i>-10</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>
Óleo Hidráulico	Tanque:	ISO VG 32						
	Sistema:	ISO VG 46						
	290	ISO VG 68						

Fonte: Adaptado de (HYUNDAI, 2011 p. 2-26).

O manual técnico de operação Hyunday (2011), recomenda ainda que a substituição do óleo hidráulico ocorra em um intervalo de 2.000 horas de serviço onde deve ser trocado todo o fluido e a checagem do filtro de sucção contido no reservatório.

2.2 Características das escavadeiras em estudo

A escavadeira hidráulica é uma máquina que tem a finalidade de retirar a terra de aterros, construções ou mineração utilizando sua força hidráulica onde o óleo presente em seu sistema é bombeado para diferentes pistões o que aumenta a força da máquina e é constituída por chassis, esteira, lança e a caçamba (INDÚSTRIA HOJE, 2016).

A escavadeira em estudo é de fabricação da Hyundai Heavy Industries modelo R210LC-7 que contém as características representadas no parágrafo anterior.

O equipamento apresenta um sistema avançado CAPO (Otimização de Potência Assistida por Computador) que monitora suas funções, como força do motor, da bomba auxiliar e é o mesmo que monitora também a temperatura do óleo do sistema hidráulico (HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD, 2020).

Seu sistema hidráulico apresenta as principais características representadas no Quadro 01.

Quadro 01 – Características da bomba principal

<i>Tipo</i>	<i>Duas bombas de pistão com fluxo variável</i>
<i>Vazão máxima</i>	2 x 220 Li / min

Fonte: Adaptado de (HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD, 2020).

No Quadro 02 estão representadas as características dos cilindros presentes na escavadeira hidráulica.

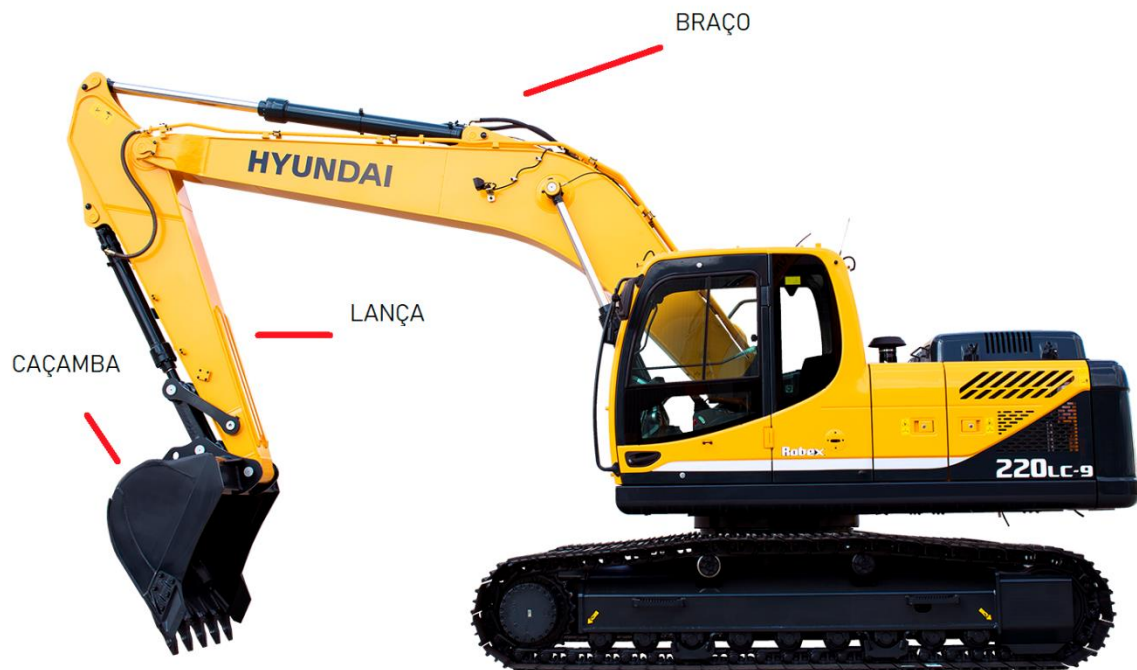
Quadro 02 – Características dos cilindros

<i>Cilindros hidráulicos</i>				
	<i>Cilindros</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Haste (mm)</i>	<i>Curso (mm)</i>
<i>Lança</i>	2	120	85	1290
<i>Braço</i>	2	120	85	1290
<i>Caçamba</i>	1	125	85	1055

Fonte: Adaptado de (HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD, 2020).

Na Figura 01 está representado as posições que se encontram o braço, lança e a caçamba na estrutura da escavadeira hidráulica.

Figura 01 - Escavadeira hidráulica de esteira



Fonte: Adaptado de (BMC HYUNDAI, 2020).

As escavadeiras hidráulicas estão inseridas no segmento de pavimentação e terraplenagem, também chamado de linha amarela, onde também pertence a pá carregadeira de esteira e as de pneus, retroescavadeira, trator de esteiras, motoniveladora, rolo compactador e mini carregadeira (MP TERRAPLENAGEM, 2018).

2.3 Componentes hidráulicos

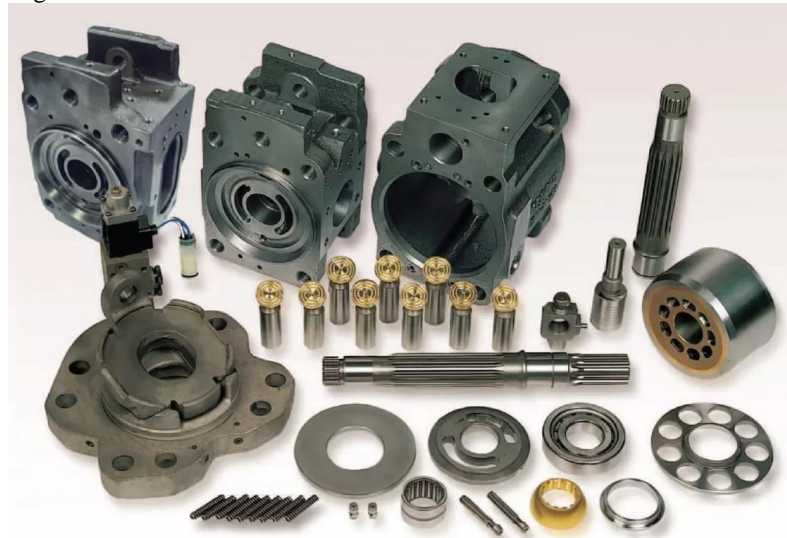
As escavadeiras hidráulicas possuem componentes hidráulicos, tais como: a bomba hidráulica, os tubos com as conexões e acessórios como filtro, os cilindros, o reservatório e os acumuladores.

2.3.1 Bomba hidráulica

Segundo a Hyundai (2020) a escavadeira R210LC-7 é equipada com uma bomba dupla de pistão com fluxo variável e de acordo com Hidrautec (2016) ela funciona com pistões que se alternam durante o trabalho, fazendo movimentos lineares que ocorrem devido à ação da pressão que atua a todo instante no pistão fazendo com que ele seja empurrado para fora do cilindro que ocorre devido ao ângulo formado pelo platô pressurizando o fluido.

Na Figura 02 está representada a bomba hidráulica desmontada empregada na escavadeira R210LC-7.

Figura 02 - Bomba hidráulica desmontada.



Fonte: (PDC, 2020).

A bomba de pistão variável permite garantir um alto desempenho na atuação do bombeamento que é projetado de acordo com sua aplicação operando em condições de aplicações mais severas (UNITEC, 2020).

2.3.2 Filtro hidráulico e acumuladores

O filtro hidráulico remove a principal parte da sujeira e contaminantes do óleo hidráulico (CARREREITO; BELMIRO, 2006).

Para Grupo Hidrau Torque (2017) os filtros hidráulicos são divididos em modelos de acordo com a sua função desempenhada no sistema hidráulico, sendo elas:

- a) Filtro de sucção, localizado na parte anterior à conexão da entrada da bomba principal;
- b) Filtro de pressão, eles filtram o óleo que estão sob pressão intermitente e antes que seja utilizado no sistema;
- c) Filtro de retorno, eles retiram a contaminação gerada pelos componentes do equipamento e por contaminantes externos e na maioria dos equipamentos ele é o último componente que o fluído passa antes de entrar no reservatório;
- d) Filtro off-line, funciona em um circuito independente do sistema hidráulico principal, funcionam em ciclo contínuo e o seu fluído é bombeado para fora do reservatório através desse filtro e retorna para ele posteriormente.

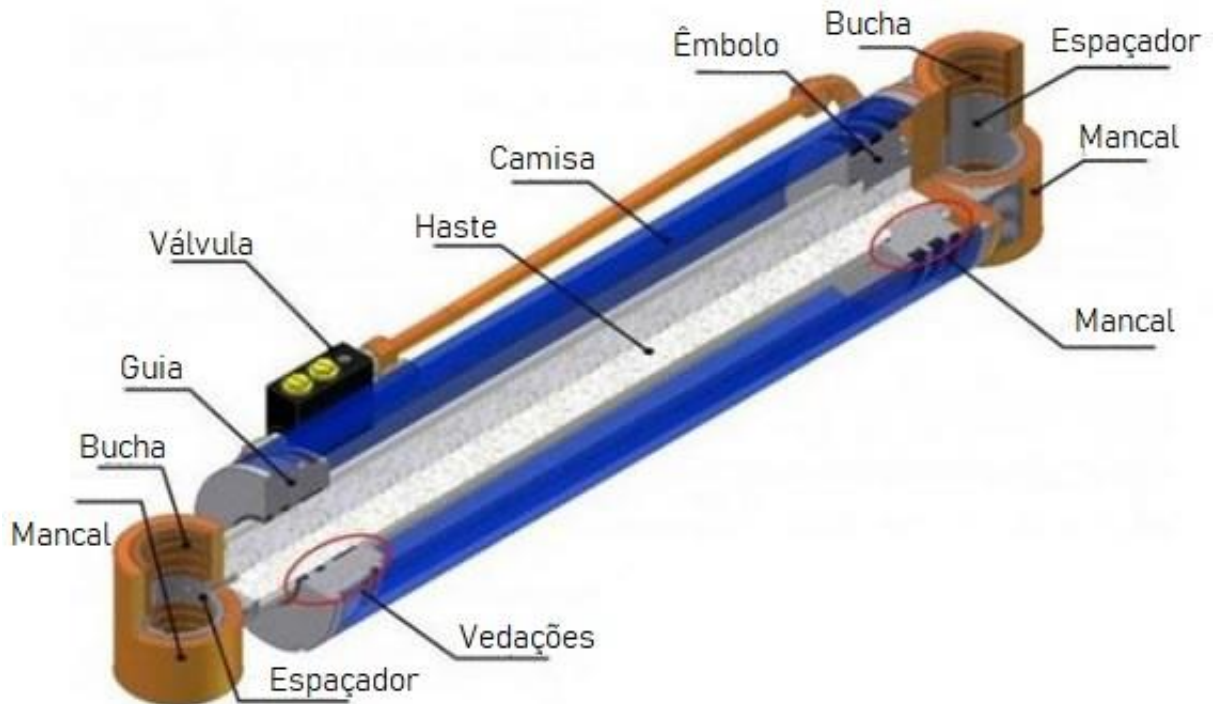
Os acumuladores são utilizados como um reservatório de pressão, estão localizados no sistema depois da bomba hidráulica e antes do motor hidráulico (CARREREITO; BELMIRO, 2006).

2.3.3 Cilindros hidráulicos

O equipamento é constituído por dois cilindros no braço, dois na lança e um na caçamba, como mencionado no subtópico 2.2 onde estão suas características gerais.

O cilindro hidráulico funciona transformando a pressão em força e seu movimento é determinado conforme a quantidade de óleo que entra e que sai sobre ele. Ele é formado por uma haste, vedações, êmbolo, anéis raspadores, flange dianteiro, conexões e camisa conforme a Figura 03 (GLOBAL, 2020).

Figura 03 - Componentes do cilindro hidráulico



Fonte: Adaptado de (INDÚSTRIA HOJE, 2016).

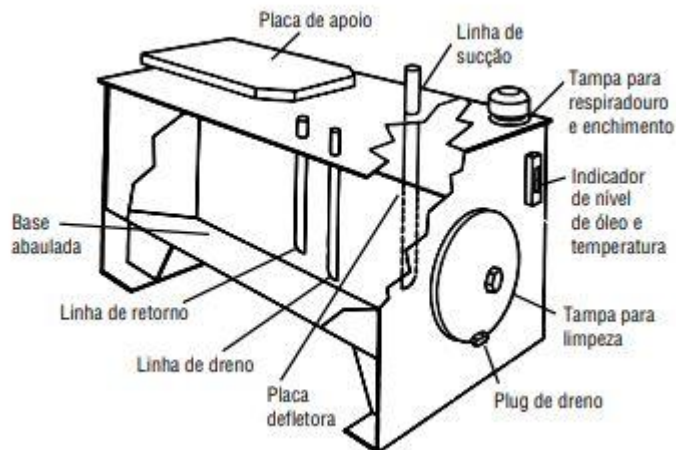
O trabalho é gerado no cilindro devido à ação do êmbolo móvel que é conectado na haste, o fundo do cilindro é fechado em uma extremidade e na outra é aberto onde introduz o êmbolo e onde sai a haste permitindo a pressão hidráulica atuar e produzindo movimento linear (INDÚSTRIA HOJE, 2016).

2.3.4 Reservatório

O reservatório é formado por quatro paredes, nível de óleo, tampa para respiradouro e enchimento e tampa para limpeza da placa defletora (chicana). Quando o óleo hidráulico retorna ao reservatório, a placa defletora o impede de ir à linha de sucção criando uma zona de repouso onde as impurezas maiores precipitam, por isso a importância de se coletar a amostra de óleo imediatamente após o uso, o ar sobe à superfície e cria condições para que o calor seja dissipado nas paredes do reservatório (PARKER, 2019).

A Figura 04 demonstra a estrutura geral de um reservatório hidráulico.

Figura 04 - Componentes do reservatório hidráulico



Fonte: (PARKER, 2019).

O reservatório deve ter sua capacidade projetada conforme a necessidade do uso, um indicativo comum é de que ele deve ter a capacidade superior ou igual à 3 vezes o volume da vazão da bomba que está no sistema (OTTO, 2011).

2.4 Atuação do óleo hidráulico

Fundamental para o correto funcionamento do sistema hidráulico, o óleo tem as seguintes características (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006):

- a) Atuação como elemento de transmissão de força;
- b) Protege o desgaste de partes que se atritam;
- c) Atuação como selo à entrada de ar no sistema.

No sistema o óleo hidráulico é submetido a agitações na bomba hidráulica e nas tubulações, por isso a viscosidade é uma característica mais crítica que o óleo deve apresentar, sua viscosidade deve ter índice alto pois o sistema trabalha em uma larga faixa de temperatura além de apresentar excelente resistência à oxidação, boa propriedade antiferrugem, boa demulsibilidade, resistência boa à formação de espuma e características de aeração (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Nas escavadeiras, o óleo tem a função de lubrificar as bombas de engrenagens ou de pistões, cilindros e dissipar o calor dos sistemas, trabalhando assim a movimentação das máquinas. Sua viscosidade permite uma boa vedação resistindo as pressões da bomba e das válvulas, evitando danos ambientais em proveniente de vazamentos (SUPERTRATOR, 2020).

2.5 Especificação do óleo

O óleo em estudo é fabricado pela Petrobras Lubrax e armazenado em tambor de 200 litros. Sua especificação é HYDRA XP-68, que é utilizado em equipamentos que operem em condições severas de pressão e temperatura.

Conforme a Figura 05 abaixo retirado do folheto técnico Lubrax, são apresentadas as características disponibilizadas na sua ficha técnica.

Figura 05 - Especificações técnicas dos óleos.

GRAU ISO	5	10	15	22	32	46	68	100	150	220
Densidade a 20/4°C	0,845	0,855	0,857	0,860	0,863	0,869	0,874	0,880	0,886	0,892
Ponto de Fulgor (VA) (°C)	138	186	198	212	232	244	260	270	274	280
Ponto de Fluidez (°C)	-15	-24	-33	-15	-21	-18	-18	-18	-12	-9
Viscosidade a 40°C (cSt)	4,43	10,53	15,07	20,8	30,2	44,3	65,3	94,9	147,0	217
Viscosidade a 100°C (cSt)	1,60	2,73	3,56	4,24	5,38	6,83	8,77	11,08	14,82	19,04
Índice de Viscosidade	95	96	118	108	113	110	107	103	100	99
Índice de Acidez Total (mgKOH/g)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Demulsibilidade (tempo de separação) a 54°C: minutos	11	14	14	16	16	20	25	–	–	–
a 82°C:	–	–	–	–	–	–	–	15	15	20

Fonte: (LUBRAX, 2011).

A Lubrax disponibiliza todos os graus ISO do seu óleo Hydra XP e o óleo estudado apresenta o grau ISO 68.

2.6 Aditivos do óleo lubrificante

O ambiente de trabalho impacta diretamente na estabilidade de um lubrificante, os fatores de temperatura, oxidantes, água, ácidos corrosivos e contaminação de combustível limitam sua vida útil. Os aditivos melhoram as propriedades de um lubrificante quando escolhidos corretamente. Eles são compostos químicos que são adicionados em óleos básicos que os dão propriedades melhoradas ou retiram propriedades indesejáveis (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Para Cidade (2016), o uso de aditivos foi impulsionado pelas especificações técnicas em equipamentos e máquinas automotivos para prolongar a vida útil e diminuir o consumo do lubrificante.

Os aditivos mais comuns encontrados em óleos lubrificantes são os detergentes, dispersantes, antioxidantes, passivadores de metais, agentes antidesgaste, agentes de extrema pressão, abaixadores de ponto de fluidez, dentre outros. Esses mesmos podem ser classificados

em dois grupos: os que modificam certas características físicas, como espuma, fluidez e viscosidade; e os que tem efeito na natureza química, como os detergentes e os antioxidantes (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O óleo em estudo (HYDRA XP 68) apresenta em sua formulação os óleos básicos parafínicos e sua aditivação é especial e proporciona elevada estabilidade à oxidação, proteção antidesgaste e resistência à formação de espuma no sistema (LUBRAX, 2011).

2.6.1 Detergentes

Para Carreteiro e Belmiro (2006), detergentes são compostos que solubilizam compostos na base fluída em um agrupamento polar que é atraído nas partículas contaminantes do lubrificante.

Partindo da ideia de Carreteiro e Belmiro, Cidade (2016) diz que os detergentes são compostos que mantêm limpa a parte interna do sistema e neutralizam os ácidos que podem se formar. Tais aditivos contém compostos metálicos como cálcio, magnésio e bário que atuam como inibidores de oxidação, neutralizadores de sujeiras e podem ainda proporcionar maior desempenho do sistema.

Na classe de detergentes ainda têm os alcalinos que são detergentes que possuem grande potencial de neutralização dos ácidos que são formados no próprio processo de uso do lubrificante e são formados de compostos de bário ou cálcio (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

2.6.2 Dispersantes

Os dispersantes atuam evitando que componentes oxidantes presentes no óleo se depositem nas superfícies metálicas, também atuam como detergente que remove os depósitos (contaminantes), como reagente químico que impede a formação de material insolúvel no óleo e neutralizam produtos de oxidação ácida (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Para Cidade (2016) e Possamai (2011) os dispersantes têm atuação também na combustão de combustíveis fósseis em motores de combustão interna, o que acaba gerando também compostos oxidantes insolúveis e o dispersante auxilia na remoção e podendo ser retirado com facilidade na hora da troca do óleo e do filtro.

2.6.3 Antioxidantes

A oxidação do óleo pode interferir na viscosidade. Produtos formados da reação do óleo com o oxigênio do ar podem fazer uma oxidação prematura do lubrificante e formar produtos corrosivos. Os antioxidantes presentes nos lubrificantes retardam esta oxidação, fazendo com que o mesmo não venha a ocorrer e também impedem a formação de ácidos e borras, prolongando a vida útil do sistema (CIDADE, 2016).

Carreteiro e Belmiro (2006) têm uma abordagem mais química em relação aos antioxidantes, dizendo que existem duas formas de atuação dos antioxidantes, são elas:

- a) Os antioxidantes primários, que eliminam os radicais orgânicos.
- b) Os antioxidantes secundários que decompõem os peróxidos formados.

2.6.4 Passivadores de metal

Os passivadores são agentes que atuam similarmente aos antioxidantes, formando uma película protetora sobre as superfícies metálicas e aumentando significativamente a eficácia desses aditivos (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

2.6.5 Agentes antidesgaste

Os agentes antidesgaste são formulados para evitar o desgaste pelo atrito de componentes metálicos de máquinas, fazendo um filme protetor entre as superfícies. Esse tipo de aditivo forma um filme monomolecular fortemente aderido ao metal evitando o contato direto entre partes em movimento (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Abordando a ideia de Carreteiro e Belmiro (2006), Cidade (2016) diz que: “Nanopartículas inorgânicas têm sido utilizadas como aditivo, pois reduzem o atrito e o desgaste, devido a algumas de suas propriedades especiais, como: baixo ponto de fusão, baixa densidade e elevada área superficial”, e Cidade ainda apresenta que as nanopartículas possuem problema no seu uso como a insolubilidade e a dificuldade de uma dispersão estável que limita a aplicação em óleos base e a utilização de compostos orgânicos.

Possamai (2011) interliga os agentes antidesgaste com propriedades semelhantes à dos agentes EP, que será demonstrado no subtópico seguinte, mas com uma película polidora feita por uma reação química polidora e podendo ocorrer em temperaturas mais baixas.

2.6.6 Propriedades de extrema pressão (EP)

Esses aditivos formam uma película protetora em sistemas submetidos a pressões elevadas como em engrenagens automotivas e industriais e também em graxas (CIDADE, 2016).

Possamai (2011) aborda mais a fundo e diz que os agentes EP agem para evitar que essas pressões acabem rompendo a película protetora formada pelo lubrificante e reagem com os metais formando um composto químico que diminui esse atrito.

2.6.7 Antiespumantes

Os aditivos antiespumantes fazem com que a espuma formada no óleo, devido às agitações e contaminantes se desfaça mais rapidamente, evitando com que o óleo se mantenha instável e a espuma entre no sistema (POSSAMAI, 2011).

Cidade (2016) ainda diz que estes tipos de aditivos são usados em óleos com alta viscosidade e alto teor de sólidos, atuando por coalescência com pequenas bolhas em grandes bolhas que flutuam até a superfície de forma mais rápida.

2.7 Análise de óleo

Para saber as características reais químicas do óleo existem normas regulamentadoras para padronizar os métodos utilizados, neste tópico será abordado as normas ABNT NBR 14248 para determinação de acidez e basicidade, método EDXRF (espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva) que aborda métodos para determinação de fósforo, enxofre, cálcio e zinco que são metais de desgastes presentes em óleos usados.

Sobre a análise de óleo pode-se afirmar que:

A análise de óleo não pode corrigir uma máquina com falha. Isso é o que os mecânicos fazem. Ela pode fornecer alertas para pré-falha, tanto cautelares quanto críticos. Se a raiz de uma causa é detectada, como o óleo errado, óleo sujo ou óleo úmido, estas condições podem ser corrigidas rapidamente. (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2020).

2.7.1 Determinação de acidez total

A ABNT diz que produtos de petróleo podem conter partículas ácidas e básicas sendo provenientes de aditivos ou de contaminantes formados durante o serviço e a quantidade dessas

partículas podem ser determinada através da titulação ácida ou básica. A quantidade é expressa como “número de acidez” ou “número de basicidade” que é uma medida da concentração dessas substâncias.

Para a execução do método a amostra é diluída em uma mistura de tolueno, álcool isopropílico e uma pequena quantidade de água, a solução então é titulada em temperatura ambiente com uma solução-padrão alcóolica básica ou ácida até o ponto final indicado pela mudança de cor da solução p-naftolbenzeína que é adicionada, ficando na coloração alaranjada no meio ácido e castanho-esverdeado no meio básico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

2.7.1.1 Preparação química

Os reagentes utilizados devem ser de grau P.A (pura para análise). Os demais graus podem ser utilizados desde que não alterem a precisão do ensaio.

Segundo a NBR 14248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) a água destilada utilizada deve conter as características representadas na Tabela 02 a seguir.

Tabela 02 - Especificações da água			
<i>Características</i>	<i>Tipo I</i>	<i>Tipo II</i>	<i>Tipo III</i>
<i>Condutividade elétrica, máx, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C</i>	0,0555	1,0	0,25
<i>Resistividade elétrica, mín, $M\Omega.\text{cm}$ a 25°C</i>	18	1,0	4,0
<i>Carbono orgânico total, máx, $\mu\text{g}/\text{L}$</i>	50	50	200
<i>Sódio, máx, $\mu\text{g}/\text{L}$</i>	1	5	10
<i>Cloretos, máx, $\mu\text{g}/\text{L}$</i>	1	5	10
<i>Sílica, máx, $\mu\text{g}/\text{L}$</i>	3	3	500

Fonte: Adaptado de (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

A água tipo I deve ser preparada por destilação e em seguida pela filtração com resina de troca iônica. A do tipo II deve-se aplicar a destilação e o destilado apresentar condutividade menor que 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. A do tipo III deve ser empregado a destilação, osmose reversa, deionização, troca iônica, ou uma combinação dos processos, e a filtragem utilizando um filtro de 0,45 μm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

O álcool isopropílico deve conter uma porcentagem máxima de 0,9% de água, o ácido clorídrico concentrado deve conter uma concentração densidade aproximada de 1,19.

Para fazer a solução alcoólica de hidróxido de potássio (KOH) deve adicionar 6 gramas do próprio produto em 1 litro de álcool isopropílico anidro em um Erlenmeyer e em seguida fazer a ebulição de 10 a 15 minutos suavemente e agitando a solução. Em seguida adicionar 2 g de hidróxido de bário fervendo por mais 10 a 15 minutos deixando esfriar e repousar por bastante tempo e filtrar o líquido sobrenadante com um funil de vidro para evitar o contato com o gás carbônico durante o processo e um solvente de titulação misturando tolueno, água e álcool isopropílico anidro na proporção de 100:1:99 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

2.7.1.2 Preparação da amostra

A norma NBR 14248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) ainda informa sobre o preparativo das amostras para a realização do teste, descrevendo que é necessário aquecer o óleo entre 60°C e 65°C no recipiente original e agitar até que o sedimento esteja disperso no óleo, em seguida transfere-se os traços de sedimento para outro frasco utilizando porções da amostra e agitando vigorosamente. Logo após passa-se toda a amostra em uma peneira de 150 µm para eliminar as partículas maiores de sedimento.

2.7.1.3 Procedimentos

Nos procedimentos de análise, adiciona-se 100 ml do solvente de titulação e 0,5 ml de solução indicadora e sem fechar o Erlenmeyer, agita-se até o ponto de completar a dissolução da amostra. Realiza-se a titulação em temperatura abaixo de 30°C e adiciona-se aos poucos a solução de KOH 0,1 mol/L agitando vigorosamente até o próximo o ponto final chamado ponto de viragem. Quando a solução mudar de cor do alaranjado para o verde, diminui-se a adição da solução titulante para cair gota a gota pela bureta e continua-se até que a coloração persista por mais de 15 segundos atingindo o ponto final da titulação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Para finalizar o procedimento a norma NBR 14248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) diz que é preciso realizar uma titulação em branco, juntando 0,5 ml de solução indicadora p-naftalbenzeína com 100 ml de solvente de titulação e titular com

a solução de KOH 0,1 mol/L, fazendo adições de 0,1 ml e anotar o volume de solução necessária para atingir o ponto de viragem.

2.7.1.4 Cálculo de resultados

Para calcular o índice de acidez total (TAN), a NBR 14248 ((ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) traz a equação 01 abaixo que representa o resultado obtido nos procedimentos descritos acima.

$$\text{TAN} = \frac{(A-B)C_1 \times 56,1}{m} \left[\frac{\text{mgKOH}}{\text{g}} \right] \quad (1)$$

Onde:

A é o volume de solução de KOH gasto com a titulação da mostra (ml)

B é o volume de solução de KOH gasto com a titulação do branco (ml)

C₁ é a concentração da solução-padrão de KOH (mol/L)

m é a amostra da amostra (g)

A Figura 06 representa o princípio fundamental do processo de titulação química.

Figura 06 - Titulação química



Fonte: (MANUAL DA QUÍMICA, 2020).

A técnica de titulação é mais utilizada quando se quer determinar a concentração de alguma solução em estudo por meio da reação de soluções até obter o ponto de viragem, o qual é obtido ao fim da reação química do processo (MANUAL DA QUÍMICA, 2020).

2.7.2 Determinação de metais de desgaste

Para a determinação dos metais de desgaste é utilizado o método EDXRF, onde um aparelho faz toda a leitura de partículas presentes na amostra.

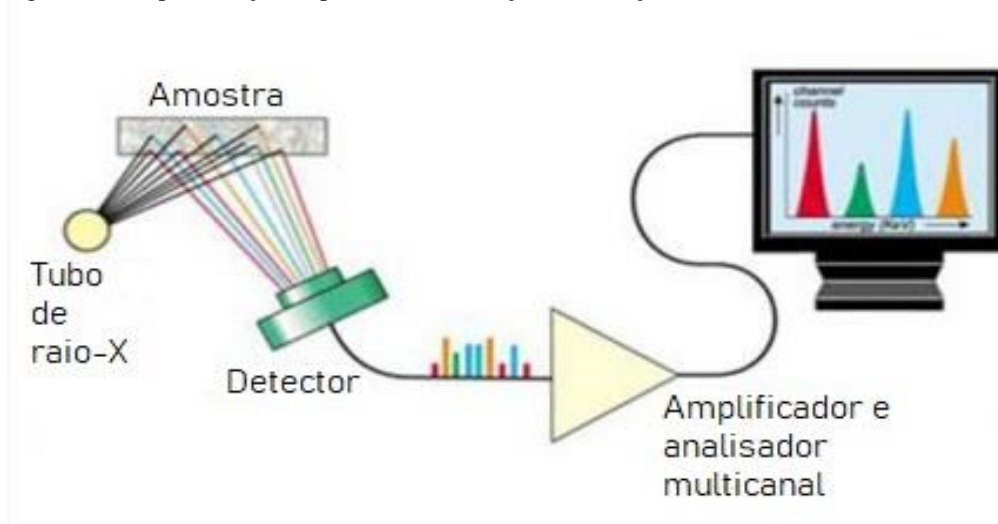
A técnica é feita através de uma análise nuclear, instrumental, multielementar e simultânea que se baseia em medição da intensidade de raio-x característicos que são emitidos pelas partículas constituintes da amostra a partir de uma excitação por meio de feixe de raio-x. Energia dispersiva é uma técnica de detecção desses raio-x emitidos e é efetuado por um detector de Silício gerando um espectro de intensidade em função da energia liberada (SANTOS et al, 2013).

Para MORAES (2009), o método divide-se em três partes, sendo eles:

- Excitação dos elementos que contituem as amostras;
- Dispersão dos raios-x característicos emitidos;
- Detecção e medida desses raios-x.

A Figura 07 abaixo ilustra como que uma máquina de técnica EDXRF funciona.

Figura 07 - Representação esquemática da atuação da radiação no método EDXRF



Fonte: Adaptado de (UNICOMP, 2018).

Nos espectômetros EDXRF, o raio-x proveniente de um tubo é fonte que irradia diretamente em uma amostra e a fluorescência é medida com um detector de energia dispersiva que é capaz de medir diferentes energias de radiação característica que é proveniente da amostra separando a radiação dos elementos contidos no teste (UNICOMP, 2018).

2.8 Contaminantes no sistema hidráulico

Carreteiro e Belmiro (2006) listam vários agentes contaminantes que podem estar presentes no sistema hidráulico, sendo eles os solventes de limpeza, água, sujeira, areia e poeira, graxa dos mancais da bomba, partículas metálicas do desgaste, partículas de ferrugem, lama dentre outros.

A maioria de inserções de contaminantes no sistema entram através de tampas antigas do respiro do reservatório e também nas vedações dos cilindros. Essas partículas causam interferência no resfriamento do fluido pois formam sedimentos que impedem uma transferência de calor eficaz do óleo com as paredes do reservatório (PARKER, 2019).

2.8.1 Contaminação por água

A água é um contaminante universal, ela pode estar nos estados dissolvido e livre, a água livre é aquela que está acima do ponto de saturação de um fluido específico, no óleo hidráulico esse ponto típico é de 300 ppm (3%). A presença de água pode causar problemas como corrosão de superfícies metálicas, desgaste abrasivo acelerado, fadiga de rolamentos, falha no aditivo anti-desgaste, variação da viscosidade e aumento da condução elétrica. A falha dos aditivos anti-desgaste podem formar ácidos (CLARILUB, 2013).

A condução elétrica se torna um problema quando as propriedades de isolamento de um fluido é enfraquecida, conforme a temperatura aumenta, o fluido hidráulico tem a capacidade de reter mais água presente em sua estrutura. O óleo está sujeito à contato com vapor de água enquanto são armazenados e manuseados em barris e tanques onde a água pode assentar no topo interno dos containers de armazenamento durante a fase de mudança de temperatura e também quando ocorre o enchimento dos mesmos. A infiltração da água em sistemas pode ocorrer através das vedações ineficientes e na abertura do reservatório, o que pode causar problema de corrosão (PARKER, 2019).

A Figura 08 mostra o que a ação da água pode ocasionar de dano em uma bomba.

Figura 08 - Desgaste de bomba devido ação da água



Fonte: (CLARILUB, 2013).

Visualmente pode-se observar uma mudança na coloração do óleo, bem como sua turbidez representada na Figura 09.

Figura 09 - Efeitos visuais da água no óleo



Fonte: (PARKER, 2019).

As diferentes fases presentes nos lubrificantes, observadas visualmente, é um indicativo da presença de água. A presença de várias fases bem separadas, pode ser um indicativo da ineficácia do óleo (FILTROVALI, 2019).

2.8.2 Contaminação por partículas sólidas

Para Parker (2019) esse tipo de contaminação se dá pela ação de partículas maiores que $5\mu\text{m}$ que causam falhas catastróficas no sistema hidráulico e podem ser divididas em dois grupos, sendo eles:

- a) Partículas duras: sílica, carbono, metal;
- b) Partículas maleáveis: borracha, fibras, microrganismos.

Cidade (2016) menciona alguns metais com a relação dos componentes mecânicos oriundos de tais metais conforme o Quadro 03 a seguir.

Quadro 03 - Metais de desgaste presentes em óleo lubrificante e respectiva origem ao desgaste.

<i>Metal</i>	<i>Origem</i>
<i>Alumínio</i>	Pistões, rolamentos, bombas, rotores, tuchos de bombas
<i>Chumbo</i>	Desgaste dos pontos de apoio e mancais
<i>Cobre</i>	Buchas, rolamentos, discos de transmissão, aditivos, arruelas de encosto, mancais, desgaste de guias de válvula, anéis de pistão, pontos de apoio
<i>Cromo</i>	Anéis, rolamentos, cubos de freio, cilindros e partes de sistemas hidráulicos
<i>Ferro</i>	Cilindros, engrenagens, anéis, eixo, virabrequim, rolamentos, bomba de óleo, compressor de ar, eixo de comando de válvulas, guias e sedes, águas, impurezas
<i>Níquel</i>	Desgaste de pontos de apoio, válvulas, engrenagens (revestida com esse metal)
<i>Zinco</i>	Desgaste de sistemas galvanizados

Fonte: Adaptado de (CIDADE, 2016).

A Figura 10 abaixo demonstra partículas sólidas colhidas em uma análise.

Figura 10 - Partículas sólidas presentes em uma análise de óleo



Fonte: (BARONI, 2018)

Quando peças móveis desgastam devido ao tempo de uso ou entram em contato com agentes contaminantes, partículas metálicas se desprendem dos componentes e são acumuladas nos óleos. Se a concentração de algum metal de desgaste sofre um aumento súbito, é possível que algum componente mecânico esteja sofrendo desgaste excessivo e de acordo com o tipo de metal encontrado pode-se determinar, em alguns casos, qual a sua origem e tomar providências para evitar prejuízos ao sistema mecânico (ZMOZINZKI, 2010).

Contaminação por partículas sólidas não são visíveis sem a ajuda de equipamentos específicos, visto que o limite da visibilidade humana é de aproximadamente 40 μm e a maioria das partículas que causam danos aos sistemas hidráulicos são de tamanho inferiores. O fluido hidráulico deve criar um filme lubrificante que mantenha as peças de precisão separadas durante seu movimento mantendo um filme fino suficiente para preencher a folga existente entre as peças resultando um baixo índice de desgaste (PARKER, 2019).

Estas partículas podem causar danos nos sistemas hidráulicos como o bloqueio dos orifícios, desgaste dos componentes, formação de ferrugem proveniente de oxidação, formação de componentes químicos, deficiência dos aditivos e a formação de agentes biológico (PARKER, 2019).

2.8.3 Índice de acidez total (TAN)

A Portaria nº 129 da ANP especifica o índice de acidez total sendo: “é uma medida da quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos resultantes do tratamento do óleo”.

O aumento do TAN pode ocorrer devido a reação do óleo com o oxigênio do ar em temperaturas elevadas, que aceleram essa reação e tornam o óleo com uma viscosidade mais elevada (HERNANDES, 2019).

2.9 Interpretação de análise do óleo usado

Para compreender gráficos de tendências de deterioração, é importante se atentar a alguns pontos importantes levantados em uma análise de óleo laboratorial.

2.9.1 Limites de desgaste

Segundo Engeoil (2019), para compreender o limite de desgaste é importante observar o histórico de tendência das máquinas, duas máquinas idênticas podem ter resultados de desgastes diferentes, o que está ligado a variações de cargas de trabalho, práticas de manutenção e no ciclo de trabalho sofrido por elas. A curva de tendência é importante para a determinação da saúde da máquina e não somente confiar nas recomendações do fabricante. É primordial a avaliação do tempo de execução de serviço da máquina, se está sendo colocado maiores cargas na mesma e se algo mudou nas condições de operação.

O fabricante do óleo BR Distribuidora S/A (2020), menciona que os dados da quantidade de impurezas que podem estar no óleo sem que o mesmo perca as características não tem um valor fixo, os mesmos valores são gerados por tendência, de acordo com cada aplicação.

Para Carreteiro e Belmiro (2006), a presença de sedimentos maiores que 0,05 % em volume, podem indicar:

- a) Oxidação acentuada;
- b) Presença de partículas metálicas.

2.9.2 Limites de água

A presença de água no óleo é sempre indesejável, o limite máximo em porcentagem de água é de 0,2%, quando se tem valores maiores, deve-se realizar a secagem do óleo sempre que possível ou sua substituição. A origem da água pode indicar o ponto de contaminação (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Hidromatic (2019), diz sobre a água em limite de massa, falando que a presença de água em óleo hidráulico não deve ser superior a 1g por litro de óleo, ou 1.000 ppm, que são valores aceitáveis da quantidade de água presente nas amostras.

2.9.3 Limites de TAN

Quando o índice de alcalinidade total vai a zero, significa que o aditivo detergente alcalino foi consumido, ou seja, toda a reserva alcalina do óleo acabou, por isso o valor do índice de acidez total TAN somente aumentará (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Para Purilub (2020), a substituição do óleo vai depender do valor do TAN e do emprego que o lubrificante se dará. Não é recomendado a adição de cargas antioxidantes no óleo, pois qualquer alteração da sua fórmula só deve ser feita pelo fabricante original. Os valores aceitáveis do TAN são:

- a) Para lubrificantes usados em turbinas hidráulicas ou vapor: 0,5 mgKOH/g;
- b) Óleos lubrificantes de sistemas circulatórios de troca de calor: 2,0 mgKOH/g;
- c) Óleos lubrificantes hidráulicos: 2,0 mgKOH/g.

2.10 Rerrefino do óleo

Óleo lubrificante usado é considerado perigoso na natureza devido o mesmo conter metais pesados como chumbo, zinco, cobre, cromo, níquel e cádmio. O óleo ainda contém hidrocarbonetos que podem ser recuperados ganhando economicamente pois o óleo-base que é retirado deste rejeito poderá receber novos aditivos e retornar ao sistema levando também à uma menor demanda ao petróleo para fabricação de novos óleos. A reutilização do óleo hidráulico consiste na remoção de partículas sólidas por filtração, remoção da água e a adição de novos aditivos. O rerrefino é um processo cujo objetivo é a produção de óleo básico aplicando tecnologias que têm como etapas principais o pré-tratamento, limpeza, fracionamento do óleo usado e tratamento final (CANCHUMANI, 2013).

Segundo ECycle (2020) os contaminantes presentes em óleo usado podem incluir complicações na saúde como intoxicações (agudas e crônicas), câncer e problemas respiratórios em pessoas que entram em contato direto com o resíduo. Quando o resíduo é dispensado diretamente na natureza pode entrar em contato com lençóis freáticos, no esgoto gerando problemas nas estações de tratamento e quando queimados de forma ilegal, causam forte concentração de poluentes no ar produzindo partículas que aderem à pele e podem chegar ao sistema respiratório.

O rerrefino pode ser aplicado quando o volume de óleo usado justifique sua coleta, estocagem e destinação ao rerrefino. Grandes distâncias e baixo valor do óleo usado inviabilizam a coleta em vista o alto custo empregado ao transporte. O processamento do óleo

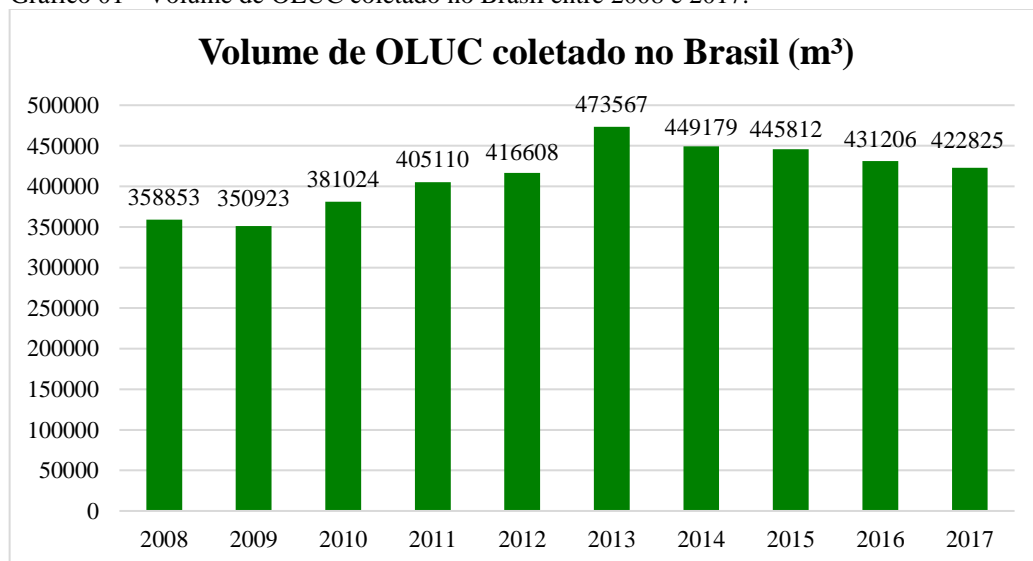
lubrificante usado será destinado exclusivamente para fabricação de produtos pelos geradores industriais. Os óleos básicos rerrefinados são constituídos igual aos óleos básicos de primeiro refino podendo também ser constituído a partir de uma mistura entre os dois tipos de óleos básicos. Sua comercialização é feita em distribuidoras para suprir a demanda de uso em motores automotivos, lubrificação de máquinas fluídos hidráulicos e lubrificação em geral (CLARILUB, 2013).

O relatório emitido pelo Sohn (2018), tomando como base relatórios emitidos pela ANP diz que no Brasil existem 5.570 municípios, mas somente 4.186 deles (75%) apresentam coleta de lubrificantes usados, abrangendo 93% do mercado consumidor. Grande parte dos óleos lubrificantes usados sofrem destinos ilícitos, apesar do governo e instituições privadas interessadas estabelecerem normas para um sistema de gestão ambientalmente adequado. Uma das razões para esse ato ilícito é o elevado grau que ela atinge possuindo um mercado clandestino estabelecido que tem um potencial econômico alto que são adquiridos por consumidores que sabem da ilegalidade do produto.

A destinação ilícita dos OLUC (óleo lubrificante usado ou contaminado) ocorre em grande volume no Brasil e, desse volume, quase todos são destinados à queima ilegal, o que causa prejuízos na natureza e servindo como substituto de combustíveis industriais e navais (SOHN, 2018).

Os Gráficos 01 e 02 representam o volume de OLUC coletado no Brasil e a eficiência bruta do rerrefino respectivamente. Os dados foram colhidos no período de 10 anos, entre 2008 e 2017.

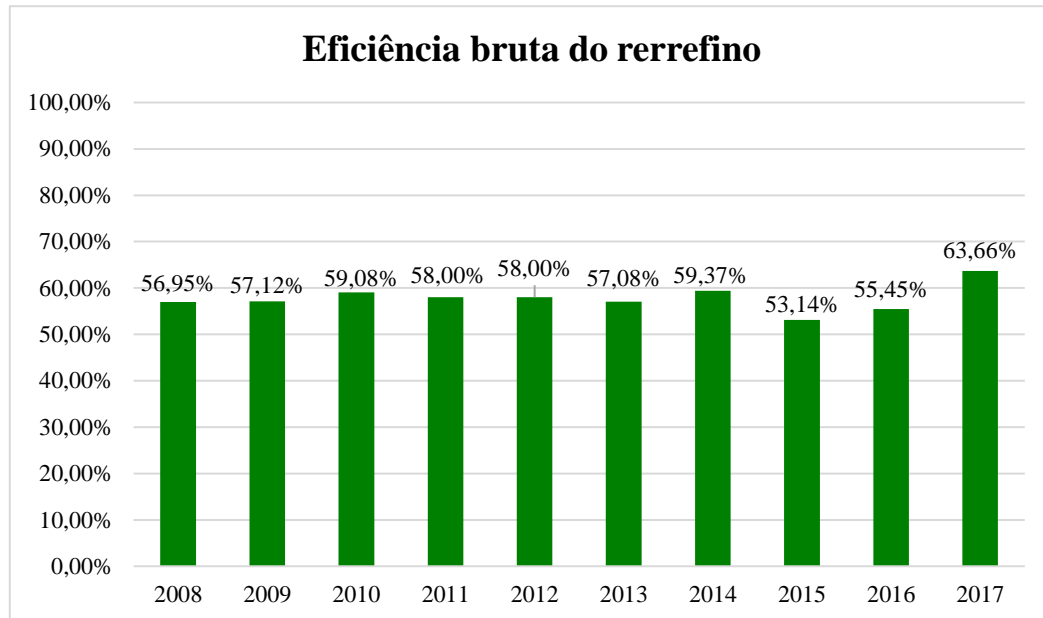
Gráfico 01 - Volume de OLUC coletado no Brasil entre 2008 e 2017.



Fonte: Adaptado de (SOHN, 2018).

É representado o volume de óleo bruto coletado e incluindo o volume médio de 7% de contaminação por água.

Gráfico 02 - Eficiência bruta do rerrefino entre 2008 e 2017.



Fonte: Adaptado de (SOHN,2018).

Eficiência medida estimada a partir dos volumes de óleos básicos rerrefinados comercializados em relação aos volumes de OLUC consumidos e descontando o teor de água.

3 METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma metodologia desenvolvida para conduzir os resultados obtidos baseado em etapas construtivas de maneira objetiva e clara.

3.1 Escolha do equipamento

A escolha do equipamento foi baseada na importância da utilização do óleo hidráulico. Foram escolhidas duas escavadeiras hidráulicas da mesma marca e mesmo modelo, sendo elas da marca Hyundai e modelo R210LC-7, a mais antiga fabricada no ano de 2008 e a segunda no ano de 2012. Estes equipamentos são de propriedade da empresa Pavican Pavimentação e Terraplenagem localizada na cidade de Varginha-MG. Foi feito um acordo com um dos proprietários, Roberto Donizeti Candido e o mesmo autorizou a retirada das amostras de seus equipamentos.

3.2 Retirada das amostras

As amostras de óleo usado foram retiradas dos reservatórios hidráulicos das escavadeiras em campo por um técnico em manutenção que realiza vistorias nos equipamentos.

Para a amostra de óleo novo foi retirada, diretamente do tambor da Lubrax que se encontra no depósito de lubrificantes do almoxarifado da empresa Pavican, também, uma quantidade aproximada de 300 ml.

O período de uso de cada óleo está representado na Tabela 03 a seguir.

Tabela 03 - Quantidade de horas de uso do óleo em cada coleta.		
<i>Coletas</i>	<i>R210LC-7 (I)</i>	<i>R210LC-7 (II)</i>
	<i>(horas)</i>	<i>(horas)</i>
<i>Coleta 1</i>	2.574	1.620
<i>Coleta 2</i>	3.652	3.889

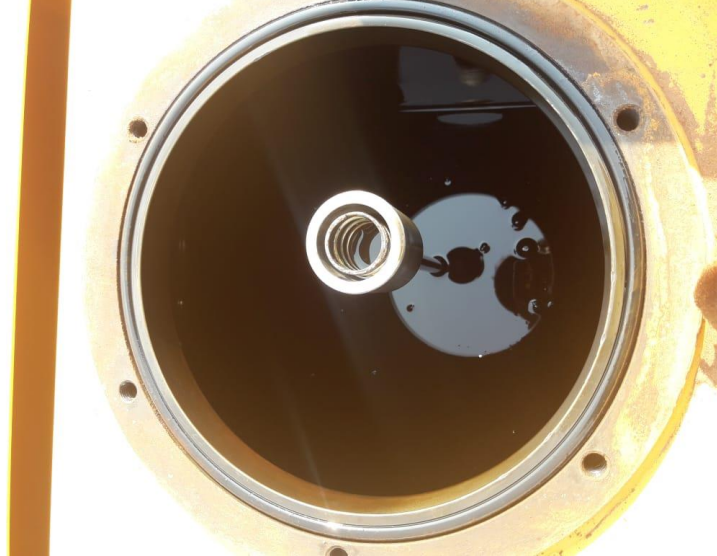
Fonte: O autor.

Para o procedimento foram retiradas as amostras iminentemente após as operações das mesmas, onde o óleo apresentava-se em turbilhamento, descartando a possibilidade de as impurezas serem decantadas pelo descanso além de utilizar recipientes completamente secos

para não dar alteração de água, no ato da coleta e causar contaminações cruzadas, o que afetaria a análise dos resultados pretendidos. Os recipientes foram inseridos no meio dos reservatórios e foi retirada uma quantidade de aproximadamente 300 ml de cada escavadeira.

Na Figura 11 está representado a parte superior do reservatório de onde foi retirado os óleos.

Figura 11 - Reservatório hidráulico sem a tampa superior



Fonte: O autor.

No apêndice A, a Tabela 06 está informado os horímetros marcados em cada máquina no ato das coletas. As trocas de óleo das escavadeiras foram feitas com os horímetros representados abaixo.

- a) R210LC-7 (I): 10.731 horas;
- b) R210LC-7 (II): 10.610 horas.

3.3 Análise do óleo

Em parceria com a Proluminas Lubrificantes, empresa responsável pelo rerrefino de óleos lubrificantes localizada na cidade de Varginha, foi possível realizar as análises das amostras coletadas das escavadeiras. A técnica em química poderá determinar os metais de desgastes que são silício, ferro, cromo, alumínio, magnésio, fósforo, cálcio, manganês, enxofre e zinco, a acidez total medida em mgKOH/g e o percentual de água com base nas seguintes normas:

- a) ABNT NBR 14248 Produtos de petróleo - Determinação do número de acidez e de basicidade - Método do indicador;
- b) ASTM D6481 Standard Test Method for Determination of Phosphorus, Sulfur, Calcium, and Zinc in Lubrication Oils by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectroscopy;
- c) ASTM D6304 - 16e1 Método de ensaio padrão para Determinação de água em produtos petrolíferos, óleos lubrificantes e aditivos por titulação coulométrica de Karl Fischer.

3.4 Variantes da pesquisa

As variantes relacionadas ao trabalho dependem de fatores ligados ao equipamento e a atual situação adversa encontrada no país.

Em relação ao equipamento, depende de suas horas de funcionamento que pode oscilar de acordo com sua disponibilidade de serviço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o envio de todos os relatórios das análises de óleo realizadas, foi possível a observação da tendência de deterioramento do óleo hidráulico, o estudo do aumento das partículas metálicas, de água e de acidez presentes em cada coleta feita. Com os resultados pode-se observar a saúde dos equipamentos e dos fluídos presentes em cada uma.

Faz-se necessário tal estudo para avaliar se os intervalos de troca de óleo realizadas de acordo com o número de horas de operação, definidas pelo fabricante, são eficientes, nas escavadeiras hidráulicas o óleo hidráulico é valioso, tendo um papel primordial no funcionamento de todo o conjunto hidráulico de movimentação e operação da máquina. Ter cuidado na sua manipulação, análise química, contaminação externa e interna e na substituição no prazo assegura-se um perfeito funcionamento e desempenho mecânico exercido na hora de escavar terrenos e realizar outras operações de levantamento de cargas, deslocamento de manilhas de esgoto e enchimento de caminhões basculantes.

Nos resultados obtidos pode-se observar um aumento considerável de partículas sólidas e metálicas, água e acidez comparando as duas coletas realizadas em cada máquina e a coleta do óleo novo, destacando elementos como o alumínio, zinco, enxofre, cálcio e magnésio.

Os valores absolutos dos compostos contaminantes e o percentual de tendência de deterioramento entre as análises estão presentes no apêndice A, Tabelas 06 e 07.

4.1 Resultados do percentual de água

A água presente causa danos nos componentes hidráulicos, como a corrosão, alteração de viscosidade e reduzindo a película lubrificante, causando consequências severas além de prejuízos com substituição de componentes oxidados pela situação. Mais importante que a observação visual, é a determinação do percentual de água presente no óleo.

Considerando que o reservatório das escavadeiras contém uma capacidade total de 180 litros ou 180.000 mililitros e os valores absolutos de água encontrados, pode-se criar a Tabela 04 convertendo o percentual de água obtido por quantidade em mililitros presentes.

Tabela 04 - Quantidade em mililitros de água presente nas amostras.				
<i>Coletas</i>	<i>R210LC-7 (I)</i>	<i>R210LC-7 (I)</i>	<i>R210LC-7 (II)</i>	<i>R210LC-7 (II)</i>
	(%)	(ml)	(%)	(ml)
<i>Coleta 1</i>	0,6	108	0,22	396
<i>Coleta 2</i>	0,11	198	0,34	612

Fonte: O autor.

Como mencionado no subtópico 2.9.2 neste trabalho, as amostras de água da escavadeira R210LC-7 II está acima do limite do valor de referência. A escavadeira R210LC-7 I apresenta menor quantidade de água em suas coletas, mas não é indispensável o acompanhamento e resguardo no seu uso, pois como no trabalho só foram retiradas duas amostras de óleo de cada escavadeira, deve-se continuar monitorando a tendência da elevação da porcentagem de água do óleo em estudo.

4.2 Resultados da quantidade de partículas metálicas

Partículas sólidas estão presentes em óleos que foram utilizados por um longo período, estas partículas são provenientes de peças metálicas, oxidação acentuada, contaminantes externos como a poeira. O solo também apresenta minerais e devido aos locais em que as máquinas trabalham estarem dispostas de partículas aerossóis de sujeira, podem facilmente adentrar no interior do sistema hidráulico das mesmas, danificando peças e facilitando o despreendimento de partículas metálicas que ficam submersas no óleo, causando condições desfavoráveis à pureza do óleo.

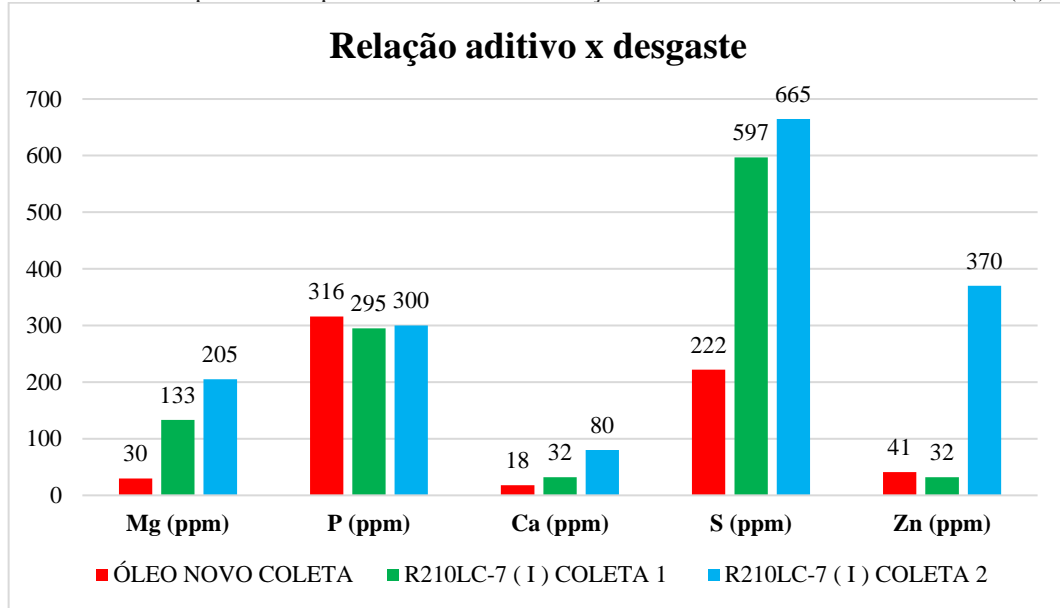
Assim como foi descrito no item 2.9.1 do trabalho, não existe um limite de partículas sólidas que demonstre quando um óleo perdeu suas características fundamentais, o que se pode fazer são gráficos de tendência que indicam o quão sujo o óleo se encontra.

Através dos resultados obtidos nos relatórios técnicos disponibilizados pela Proluminas, foi possível traçar gráficos em valores absolutos e de tendências que demonstram o caminho que a contaminação está se direcionando, fazendo com que tome providências a respeito de sua possível substituição.

4.2.1 Partículas sólidas presentes na R210LC-7 (I)

O Gráfico 03 a seguir demonstra em valores absolutos a quantidade de partículas sólidas submersas nas coletas de óleos I e II apresentadas em ppm (partículas por milhão), comparando com as substâncias presentes na coleta do óleo novo.

Gráfico 03 - Comparativo de partículas sólidas em relação aos aditivos do óleo da R210LC-7 (I).



Fonte: O autor.

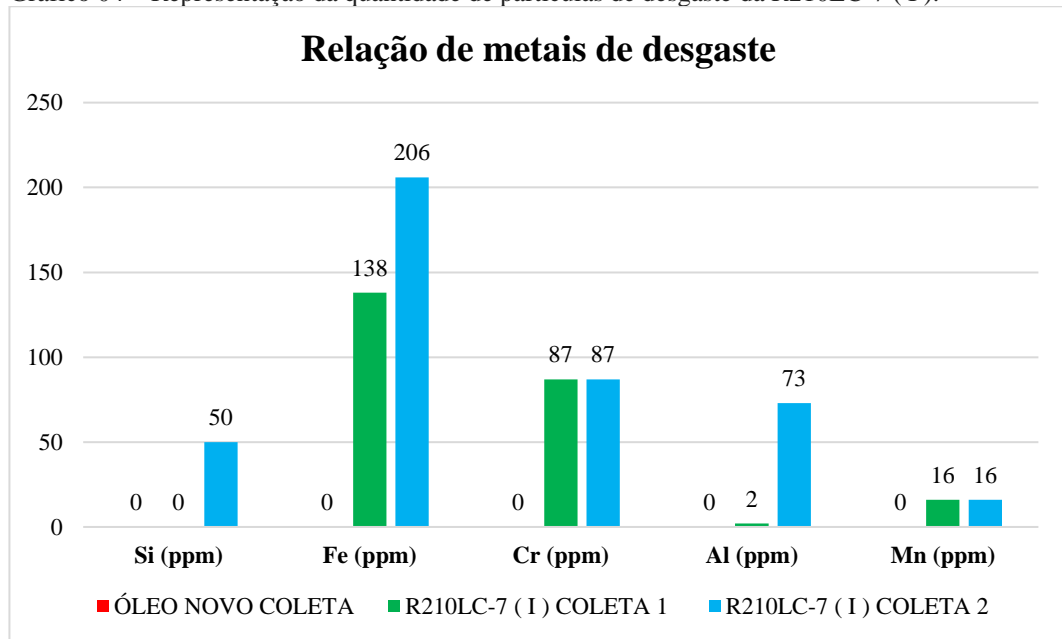
Tomando como base o resultado descrito no gráfico, pode-se observar o aumento considerável das substâncias enxofre (S), zinco (Zn), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), o fósforo se manteve constantes perante as duas coletas de óleos hidráulicos usados comparado com o valor presente no óleo novo.

Em relação ao zinco, que é um aditivo inibidor de corrosão e o mesmo tendo apresentado aumento e baseando no referencial teórico subtópico 2.8.2, indica um possível desgaste de materiais galvanizados que veio a desprender o componente no óleo. Em relação ao enxofre, ele é adicionado no lubrificante como aditivo antioxidante, motivo pelo qual ele está presente na amostra de óleo novo, assim como o zinco, porém o seu aumento é um problema, pois se o óleo apresentar oxidação, ele entrará em contato com o oxigênio formará óxido de enxofre, como na amostra está presente também um teor de água, ele combinará com ela formando H_2SO_4 , que é altamente corrosivo. O que se pode fazer é ter uma reserva alcalina adequada no óleo, que neutralizará a acidez proveniente do enxofre.

Assim como o zinco e enxofre, o cálcio e magnésio são aditivos encontrados nos óleos, porém o seu aumento de partículas acentuado também indica problemas, segundo Zmozinski (2010), estes aumentos súbitos de valores estão ligados, possivelmente, de algum componente mecânico esteja sofrendo algum desgaste excessivo.

O Gráfico 04 mostra a quantidade de partículas sólidas provenientes de desgaste, que são metais que não são aditivos, ou seja, que houve um aumento proveniente do desprendimento dos elementos das peças contidas no sistema hidráulico.

Gráfico 04 – Representação da quantidade de partículas de desgaste da R210LC-7 (I).



Fonte: O autor

Estes metais são um real problema no sistema hidráulico, a presença deles indica um desgaste acentuado principalmente de peças que contêm ferro, cromo e alumínio. O alumínio e o ferro indicam, um possível desgaste dos pistões dos cilindros, nos cilindros, na bomba hidráulica, impurezas encontradas no óleo, e no caso do ferro em específico, como o óleo apresenta oxidação, pode ter desprendido as partículas das superfícies das peças que são fabricadas com este material. O cromo também indica desgaste em peças que são revestidas com este material, como os êmbolos dos pistões.

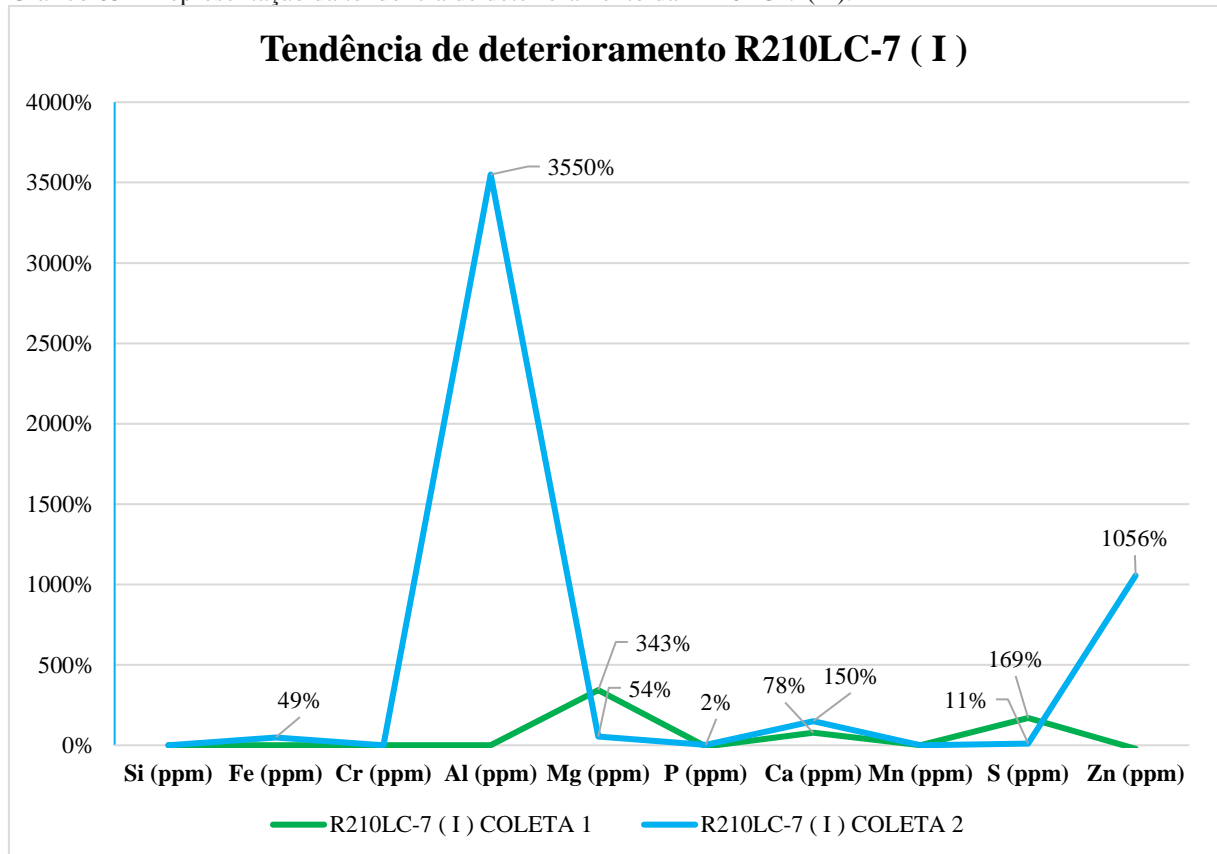
O silício apresentou um aumento de 50 ppm na segunda coleta e, segundo Zmozinski (2010), o surgimento do silício no lubrificante pode indicar contaminação pelo ar, o que sugere que a máquina está com algum tipo de vazamento em suas vedações.

Comparando o silício com o alumínio, é mais um forte indicativo de problemas com vazamento, visto que, para Mmtec (2020), “quando há excesso de silício e alumínio, está

indicando que há uma contaminação externa por poeira”. O silício é encontrado em materiais como a areia que pode estar presente nos materiais de escavação que a escavadeira retira do solo, o que faz de a afirmação ser verdadeira perante os gráficos obtidos.

O Gráfico 05 representa a tendência de deterioramento do óleo, medida em percentual, com base nos valores obtidos nos Gráficos 03 e 04. 1

Gráfico 05 – Representação da tendência de deterioramento da R210LC-7 (I).



Fonte: O autor.

Como pode ser observado, o alumínio, manganês, cálcio, enxofre e zinco, apresentaram um aumento superior a 100%, são substâncias que devem ser monitoradas de perto, pois sua tendência de deterioração apresentou valores elevados, principalmente o alumínio e o zinco que, segundo o gráfico, ficaram com valores extrapolados em relação as demais substâncias. O gráfico de tendência foi gerado conforme demonstra a equação 02.

$$\%_d = \left[\frac{A-B}{B} \right] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

%d: Percentual de deterioramento [%]

A: Valor obtido na coleta 1 [ppm]

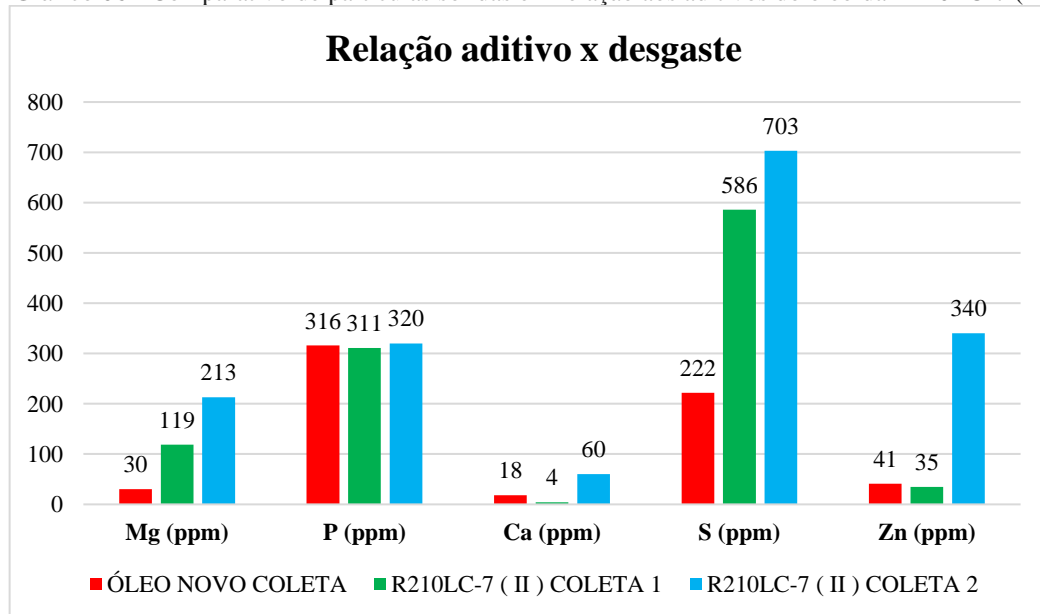
B: Valor obtido na coleta 2 [ppm]

4.2.2 Partículas sólidas presentes na R210LC-7 (II)

Os estudos dos resultados foram feitos da mesma forma para as duas escavadeiras, como ambas são da mesma marca e modelo, pode-se interpretar os gráficos da mesma forma, porém mudando a maneira de solucionar os problemas em determinados casos de valores que saiam da média entre ambas.

Comparando os resultados de valores absolutos obtidos nas amostras da escavadeira número I com a de número II, não houve aumentos significativos nos dados, conforme é demonstrado no Gráfico 06, pode-se observar que ambas apresentam praticamente quase a mesma quantidade de substâncias estudadas.

Gráfico 06 - Comparativo de partículas sólidas em relação aos aditivos do óleo da R210LC-7 (II).

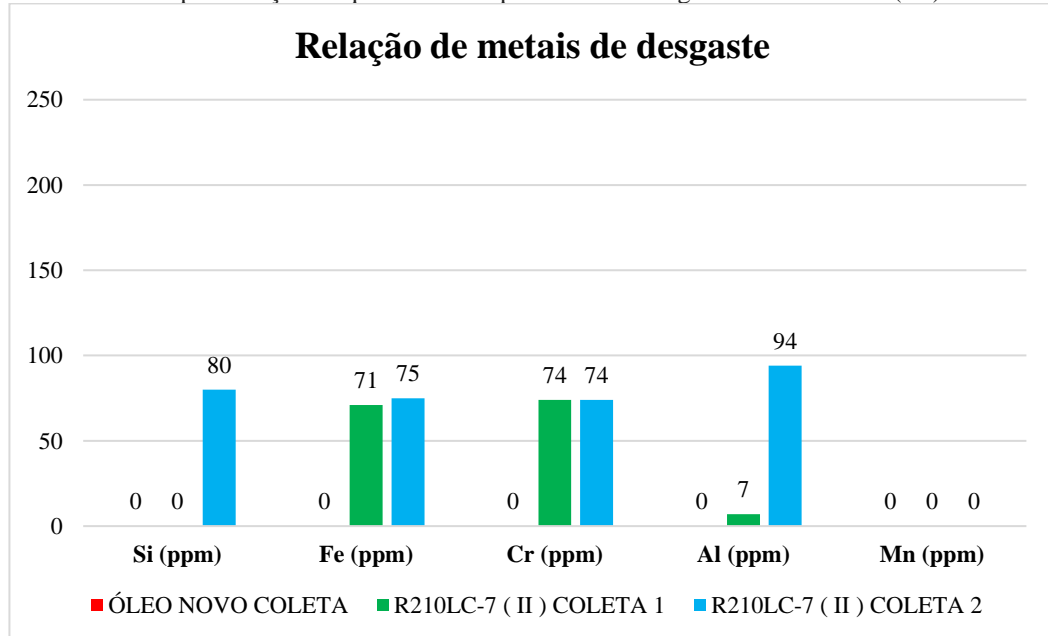


Fonte: O autor.

Com relação aos metais de desgaste, também houve certa estabilidade de valores se comparado as amostras das escavadeiras I e II, exceto pelo elemento ferro, que apresentou um valor bem inferior se comparado com a escavadeira I, sendo obtido na primeira amostra 138 ppm contra 71 ppm da escavadeira I, uma diferença de 67 ppm, ou seja, 51,45 % de partículas

por milhão a menos e, um valor de 75 ppm contra 206 ppm da escavadeira I, uma diferença de 131 ppm, ou seja, 63,6 % de partículas por milhão a menos na segunda amostra. Estes dados estão representados no Gráfico 07.

Gráfico 07 – Representação da quantidade de partículas de desgaste da R210LC-7 (II).



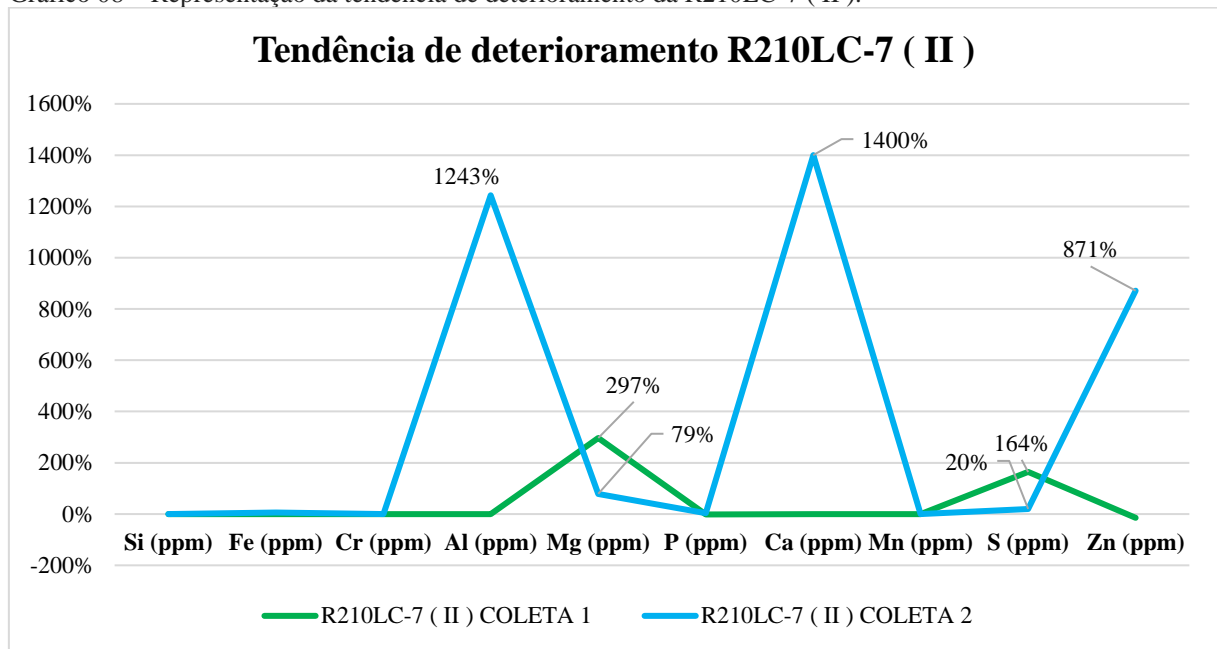
Fonte: O autor.

Pode-se dizer então, que a escavadeira I apresenta maior desgaste em peças que contêm ferro na sua composição, o que também pode ser comparado com o desprendimento das partículas ferrosas provenientes da escavadeira I ser maior do que a escavadeira II.

O manganês não apareceu nestes resultados em nenhuma amostra coletada, então a escavadeira não sofre problemas perante a este elemento. O silício também apareceu na coleta da segunda amostra, o que sugere que esta escavadeira também sofre de problema de algum tipo de vazamento, pois conforme foi falado no sub tópico 4.3.1, o silício indica contaminação pelo ar externo e poeira.

O gráfico 08 representa a tendência de deterioramento do óleo, medida em percentual, com base nos valores obtidos nos Gráficos 06 e 07.

Gráfico 08 – Representação da tendência de deterioramento da R210LC-7 (II).



Fonte: O autor.

O gráfico de tendência da escavadeira II também apresenta picos acentuados dos elementos alumínio, zinco e o cálcio, este último não apresentou resultado tão elevado se comparado com a escavadeira I e igualmente a ela, o acompanhamento destes elementos faz-se necessário para averiguar a origem da contaminação.

4.3 Resultados do índice de acidez total TAN

A acidez de um óleo foi obtida através do método de titulação coulométrica de Karl Fischer, descrita no sub tópico 2.7.1, onde pode-se comparar os resultados obtidos entre as escavadeiras I e II, os resultados estão representados na Tabela 05.

Coletas	Óleo novo (mgKOH/g)	R210LC-7 (I) (mgKOH/g)	R210LC-7 (II) (mgKOH/g)
Coleta 1	0,489	0,473	0,454
Coleta 2	-	0,600	0,508

Fonte: O autor.

Embora o óleo apresente um índice de acidez crescente entre as amostras, ainda está dentro do tolerado segundo Purilub (2020), onde ele informa que o índice tolerável para os

óleos hidráulicos é de 2,0 mgKOH/g. Mas como está crescente o valor é necessários cuidados, pois a acidez leva à corrosão facilmente, o que piora a saúde da máquina e do lubrificante em uso.

4.4 Importância da análise de óleo e da realização da manutenção preventiva

Com os resultados obtidos, o óleo apresenta certo teor de deterioramento, por metais de desgaste, contaminantes, água e acidez. Com isso, baseado nas análises das condições dos óleos em estudo, é possível recomendar a substituição dos óleos em estudo, pois como os equipamentos já estão com mais de 10.000 horas de uso, já apresentam desgaste e os óleos já estão com 3.652 horas de uso na escavadeira I e 1.889 horas na escavadeira II e apresentaram mudanças acentuadas a respeito de seu deterioramento. O apêndice B, gráfico 09 apresenta um gráfico comparativo dos resultados dos agentes contaminantes encontrados nos relatórios das duas escavadeiras, fazendo uma dinâmica visual para compreender melhor os índices de desgaste.

A manutenção preventiva é importante para prevenir problemas que ocasionalmente causam paradas nos equipamentos ou a redução do desempenho dos mesmos. A substituição do lubrificante em períodos corretos evita a realização da manutenção corretiva não planejada, que é realizada quando o equipamento para por falta de lubrificação ou lubrificação deficiente, que causa atritos excessivos entre os componentes ou até mesmo a quebra de algum deles, o que gasta horas de mão de obra, substituição de peças, gastos com equipamento inoperante, além de transtornos causados por prazo de entrega do serviço.

O uso constante das escavadeiras, gera desgaste natural de componentes que podem apresentar defeitos no futuro, por isso a análise de óleo deve ser realizada, sem ela não seria possível observar os gráficos apresentados neste trabalho, que estão demonstrando com clareza qual a direção que o desgaste do óleo e das peças estão tomando.

A substituição do lubrificante hidráulico se realizada de acordo com o recomendado pelo fabricante, pode melhorar os resultados das análises de óleo, a quantidade de partículas suspensas no óleo bem como a sua acidez e porcentagem de água sofreria mudanças positivas em relação às quantidades e acarretaria uma melhor preservação do equipamento.

4.5 Discussão sobre os resultados obtidos

Conforme demonstrado nos resultados, as escavadeiras sofrem de um aumento significativo de enxofre, o que eleva consideravelmente a acidez do óleo, aumentando a corrosão. A corrosão desprende gradativamente as partículas metálicas das peças, o que aumenta suas quantidades nos relatórios técnicos de análise de óleo.

Em relação à água, ambas escavadeiras apresentam porcentagens nas amostras, o que também é um motivo de preocupação perante à corrosão, pois ela reage com o enxofre e é mais um agravante para a corrosão, e esta aumenta o índice de acidez total do óleo.

Os metais de desgaste, embora alguns não apresentassem valores elevados, devem ser acompanhados de perto para averiguar a origem do aparecimento das partículas, o que faz da análise de óleo ser um fator fundamental no acompanhamento da integridade física e química da máquina, fazendo dela um aliado eficiente no monitoramento da condição do equipamento e do óleo. Permitindo assim uma manutenção baseada na condição, o que aumenta a confiabilidade, disponibilidade e vida útil do equipamento. Reduzindo assim, os custos de manutenção e relacionados as paradas não planejadas de equipamentos.

Para as tendências de deterioramento, na escavadeira I, apresenta dois picos de valores, sendo eles o de alumínio e de zinco, na escavadeira II três picos, sendo os de alumínio, cálcio e zinco, valores estes que devem ser acompanhados mais criteriosamente pois o seu aumento indica que estes metais estão mais propícios a sofrerem desgastes mais precocemente que está acontecendo algum tipo de contaminação externa, no caso do surgimento do cálcio.

A correta troca de óleo, nos períodos estipulados pelos fabricantes dos equipamentos, resguarda uma preservação da vida útil do equipamento e evita prejuízos financeiros futuros na substituição de peças de grandes valores. Além da preservação do equipamento, quando se realiza a troca do lubrificante nos períodos corretos, assegura-se também o bom funcionamento do lubrificante, que irá desempenhar suas funções primordiais de transmissão de força, proteção de partes que se atritam, selo de entrada de ar e a limpeza dos componentes. O óleo também carrega partículas que ficam nas superfícies das peças metálicas, características estas que não serão desempenhadas com eficiência se o óleo apresentar níveis de desgastes como os mencionados nos resultados deste trabalho.

O tipo do óleo lubrificante utilizado também deve ser observado, quando se vai trocar de marca de fabricante do óleo, deve sempre observar a equivalência entre ambos, pois quando se utiliza óleos que não são compatíveis, mesmo que eles estejam novos, podem desencadear problemas graves.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou um estudo de como uma análise de óleo pode melhorar o acompanhamento da preservação do equipamento. Somente a cor do lubrificante não é indicativo de contaminação, o que faz da análise de óleo ser primordial para investigar a real condição do lubrificante. Além disso, também permitiu uma pesquisa sobre os principais contaminantes que pode se ter em um óleo hidráulico. Na mecânica é importante acompanhar as manutenções e as condições reais dos equipamentos, dando ênfase nas máquinas de terraplenagem, que realizam serviços pesados de desaterro, levantamento de cargas, limpeza de terrenos e loteamentos, pois elas trabalham em condições severas e muitas das vezes estão propícias a sofrerem além da contaminação interna, a contaminação externa com a poeira, minerais, água e o próprio ar que pode estar entrando dentro de seus sistemas.

A análise de óleo é tão valiosa quanto os outros tipos de monitoramento de condição, sendo uma ferramenta para a manutenção preditiva, o que por muitas vezes não é realizado pelas empresas, colocando em risco a eficiência do fluido e o desempenho das máquinas, o que pode acarretar perdas financeiras e produtivas. Os metais de desgaste, se com novas análises de óleo continuarem aumentando mesmo com a substituição do fluido, deve-se analisar as peças que se atritam, averiguando se elas apresentam desgastes que comprometam o funcionamento de ambas, fazendo com que a vida útil do lubrificante permaneça inalterada até sua substituição.

Os contaminantes externos, com ênfase no silício que apareceu bastante elevado nas segundas coletas de cada escavadeira, mostrou que elas podem estar sofrendo de vazamentos ou de um problema de isolamento do meio com o reservatório, o que é um indicativo para a realização de reparos dos vedantes, tais como retentores, anéis oring, mangueiras, conexões e tampa do reservatório para garantir uma perfeita vedação de todo o sistema e fazer com que o óleo fique o mais limpo possível.

Os objetivos foram alcançados, pode-se observar a tendência de deterioramento, bem como a quantidade absoluta de partículas no óleo, fazendo um estudo sobre a manutenção preventiva aplicada nos equipamentos com a manutenção preditiva da análise de óleo, demonstrando as condições reais químicas do óleo, o que foi possível concluir que é necessário a substituição do óleo baseado nos resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14248**: Produtos de petróleo - Determinação do número de acidez e de basicidade - Método do indicador. Rio de Janeiro. 2009.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Portaria ANP nº 129, Brasil: ANP, 30.7.1999 - dou 2.8.1999 - republicada dou 30.9.1999.

BARONI, T. **Análise de óleo**: como detectar agentes contaminantes. ALS, 2019. Disponível em: <<https://alsglobal.blog/analise-de-oleo-como-detectar-contaminantes/>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

BARONI, T. **Contagem de partículas em óleo**: entenda a importância. ALS, 2018. Disponível em: <<https://alsglobal.blog/contagem-de-particulas-em-oleo-entenda-a-importancia/>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

BMC HYUNDAI. **Escavadeira R220LC-9**. Disponível em: <<https://www.bmchyundai.com.br/produto/ESCAVADEIRA-R220LC-9-bmc-/21/>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

BR DISTRIBUIDORA S/A. **2421492: Orientação técnica**, 2020. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <saclubrax@br-petrobras.com.br > em 20 mai. 2020.

CANCHUMANI, G. A. L. **Óleos lubrificantes usados**: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil. UFRJ, 2013. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/doutorado/Giancarlo_Alfonso_Lov%C3%B3n_Canchumani.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes & lubrificação industrial**. Rio de Janeiro. Editora Interciência: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBN). 2006.

CIDADE, M. J. A. **Determinação de metais em óleo lubrificante empregando as técnicas ring oven e micro fluorescência de raios x**. UNICAMP, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/304877/1/Cidade_MirlaJanainaAugusta_D.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

CLARILUB. **A Técnica do Rerrefino de Óleos Usados**. 2013. Disponível em: <<http://www.clarilub.com.br/noticia/a-tecnica-do-rerrefino-de-oleos-usados.html>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

CLARILUB. **Tipos e fontes de contaminação – Filtragem hidráulica**. 2013. Disponível em: <<http://www.clarilub.com.br/noticia/tipos-e-fontes-de-contaminacao-filtragem-hidraulica.html>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

ECycle. **Descarte incorreto de óleo lubrificante pode gerar danos irreversíveis à saúde e ao meio ambiente.** 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/6-atitude/1669-descarte-incorreto-de-oleo-lubrificante-pode-gerar-danos-irreversiveis-a-saude-e-ao-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ENGE OIL. **Como Interpretar os Laudos de Análise de Óleo,** 2019. Disponível em: <https://manutencao.engeoil.com.br/portal/pt/kb/articles/como-interpretar-laudos#Reviso_do_Relatrio>. Acesso em: 15 set. 2020.

FILTROVALI. **Conheça as principais etapas da análise do óleo lubrificante.** 2019. Disponível em: <<http://www.filtrovali.com.br/blog/conheca-as-principais-etapas-da-analise-de-oleo-lubrificante/>>. Acesso em: 020 jun. 2020.

GRUPO HIDRAU TORQUE. **A importância da filtragem hidráulica para o equipamento.** 2017. Disponível em: <<https://www.grupoht.com.br/a-importancia-da-filtragem-hidraulica/>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

GLOBAL HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA. **Como funciona um cilindro hidráulico?** 2020. Disponível em: <<https://www.globalhp.com.br/como-funciona-um-cilindro-hidraulico/>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

HERNANDES, P. **Ensaio de análise de óleo: conheça os tipos.** ALS, 2019. Disponível em: <<https://alsglobal.blog/ensaios-de-analise-de-oleo/>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

HIDRAUTEC. **Bomba hidráulica de pistão** 2016. Disponível em: <<https://www.hidrautec.com.br/bomba-hidraulica-pistao>> Acesso em: 21 mai. 2020.

HIDROMATIC. **Análise e filtragem de óleo hidráulico,** 2019. Disponível em: <<http://hidromatic.com.br/servico/filtragem-de-oleo/#:~:text=A%20quantidade%20de%20%C3%A1gua%20aceit%C3%A1vel,para%20cada%20litro%20de%20%C3%B3leo.>>. Acesso em: 15 set. 2020.

HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD. **Escavadeira de esteiras 210lc-7.** Disponível em: <<http://www.locbrasilbr.com.br/site/manuais/Escavadeira-Hyundai-R210LC-7/Escavadeira%20-%20Hyundai%20R210LC-7.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

HYUNDAI. **Operato's Manual 210Lc-7.** Korea, 2011. (Manual Impresso).

INDÚSTRIA HOJE. **O que é uma escavadeira hidráulica?** 2016. Disponível em: <<https://industria hoje.com.br/o-que-e-uma-escavadeira-hidraulica>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

INDÚSTRIA HOJE. **O que é e como funciona um cilindro hidráulico?** 2016. Disponível em: <<https://industria hoje.com.br/o-que-e-uma-escavadeira-hidraulica>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica.** 3. ed. Rio de Janeiro. Qualitymark: Petrobrás. 2009.

LUBRAX. **Lubrax hydra xp 68**. BR, 2011. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wcm/connect/0f841f0e-4ff6-40f2-8529-0246fe9e7c3e/ft-lub-auto-Hydra-xp.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZk1XFI&CVID=IZk1XFI&CVID=IZk1XFI&CVID=IZk1XFI>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

MANUAL DA QUÍMICA. **Titulação**. 2020. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/titulacao.htm>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **A causa da falha na análise de óleo**. 2020. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/a-causa-da-falha-na-analise-de-oleo/>> Acesso em: 28 mar. 2020.

MMTEC. **O que devo fazer após receber o relatório da análise de óleo?**, 2020. Disponível em: <<https://www.mmtec.com.br/relatorio-da-analise-de-oleo/>>. Acesso em 27 out. 2020.

MORAES, L. M. B. **Utilização da técnica de fluorescência de raios X por dispersão em energia (EDXRF) na avaliação do material particulado em suspensão na cidade de Limeira / São Paulo**. USP, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-15042010-105123/publico/Doutorado_Liz.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2020.

MP TERRAPLENAGEM. **Equipamentos para terraplenagem, suas funções, características**. 2018. Disponível em: <<https://mpterraplenagem.com.br/equipamentos-para-terraplenagem/>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

OTTO SISTEMAS HIDRÁULICOS. **Reservatórios hidráulicos: qual a importância além do armazenamento de óleo**. 2011. Disponível em: <<http://www.ottosistemas.com.br/noticias.php?ler=Mzg1>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

PARKER FILTRATION. **Manual de filtragem hidráulica**. 2017. Disponível em: <<https://www.tecnoflexpe.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Manual-de-Filtragem-Hidr%C3%A1ulica-Parker.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2020.

PARKER WHITE PAPER. **Tipos de contaminação em sistemas hidráulicos**. 2019. Disponível em: <<https://www.vemag.com.br/novo/wp-content/uploads/2019/01/Tipos-de-Contamina%C3%A7%C3%A3o-em-Sistemas-Hidraulicos.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

PARKER HANNIFIN IND. **Reservatórios e Acessórios**. 2020. Disponível em: <parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_07.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2020.

PDC. **A bomba hidráulica de K3V112 Kawasaki peça para Hyundai/máquina escavadora K3V140 K3V160 de Kobelco**. 2020. Disponível em: <<http://portuguese.pistonhydraulicpump.com/sale-3787067-k3v112-kawasaki-hydraulic-pump-parts-for-hyundai-kobelco-excavator-k3v140-k3v160.html>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

PHIDRAULICA. **Motores hidráulicos de pistão axial**. 2011. Disponível em: <<http://www.phidraulica.com/site/wp-content/uploads/Catalogo-Motor-MXP.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

POCFILTROS. **Metais de desgaste:** como evitar danos ao sistema hidráulico. 2019. Disponível em: <<http://pocfiltros.com.br/blog-noticias/microfiltragem-metais-de-desgaste/>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

POSSAMAI, L. **Eficácia da análise de amostras de óleo lubrificante por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado na detecção de desgaste em motores Diesel após amaciamento.** UNICAMP, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jsui/bitstream/REPOSIP/264454/1/Possamai_Lisiane_M.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

PROLUMINAS. **Relatório de análise de óleo,** 2020. (Documento interno).

PURILUB. **O que representam tbn e tan para óleos lubrificantes,** 2020. Disponível em: <<https://www.purilub.com.br/blog/o-que-representam-tbn-e-tan-para-oleos-lubrificantes-parte-2/62>>. Acesso em: 15 set. 2020.

SANTOS, E. S. et al. **Espectrometria de fluorescência de raios-x na determinação de espécies químicas.** CENTRO CIENTÍFICO CONHECER. 2013. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/espectrometria.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

SERV-O. **Motores hidráulicos de pistão.** 2011. Disponível em: <<http://www.serv-o.com/motores-hidraulicos-pistao>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

SOHN, H. **Relatório sobre a experiência do Brasil na gestão de óleos lubrificantes usados ou contaminados.** APROMAC, 2018. Disponível em: <<http://www.basel.int/Countries/NationalReporting/InventoriesofhazardouswastesComments/ta/bid/7866/ctl/Download/mid/21471/Default.aspx?id=1&ObjID=20511>> Acesso em: 28 mai. 2020.

SUPERTRATOR. **Óleo hidráulico para escavadeira.** 2020. Disponível em: <<https://www.supertractor.com.br/oleo-hidraulico-escavadeira>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

UNICOMP. **Como o espectrômetro de fluorescência de raio X garante a restrição de substâncias perigosas.** 2018. Disponível em: <<http://portuguese.unicompxray.com/news/how-x-ray-fluorescence-spectrometer-assure-the-restriction-of-hazardous-substances-41397.html>>. Acesso em 27 mai. 2020.

UNITEC. **Bomba de pistão variável.** 2020. Disponível em: <<http://www.unitecparker.com.br/bomba-pistao-variavel>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

ZMOZINSKI, A. V. **Desenvolvimento de método para determinação de cálcio, magnésio e zinco em amostras de óleo lubrificante por espectrometria de absorção atômica com chama.** UFRS, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25511/000752945.pdf?...1>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

APÊNCIDE A

Tabela 06 - Resumo dos resultados das análises de óleo.

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÓLEO

DESCRIÇÃO	ÓLEO NOVO	R210LC-7 (I)		R210LC-7 (II)	
	COLETA	COLETA 1	COLETA 2	COLETA 1	COLETA 2
Horímetro	-	13305	14383	10230	12499
Água (%)	0,06	0,06	0,11	0,22	0,34
TAN (mgKOH/g)	0,489	0,473	0,6	0,454	0,508
Si (ppm)	0	0	50	0	80
Fe (ppm)	0	138	206	71	75
Cr (ppm)	0	87	87	74	74
Al (ppm)	0	2	73	7	94
Mg (ppm)	30	133	205	119	213
P (ppm)	316	295	300	311	320
Ca (ppm)	18	32	80	4	60
Mn (ppm)	0	16	16	0	0
S (ppm)	222	597	665	586	703
Zn (ppm)	41	32	370	35	340

Fonte: O autor.

Tabela 07 - Resumo do percentual de tendência de deterioramento entre as análises

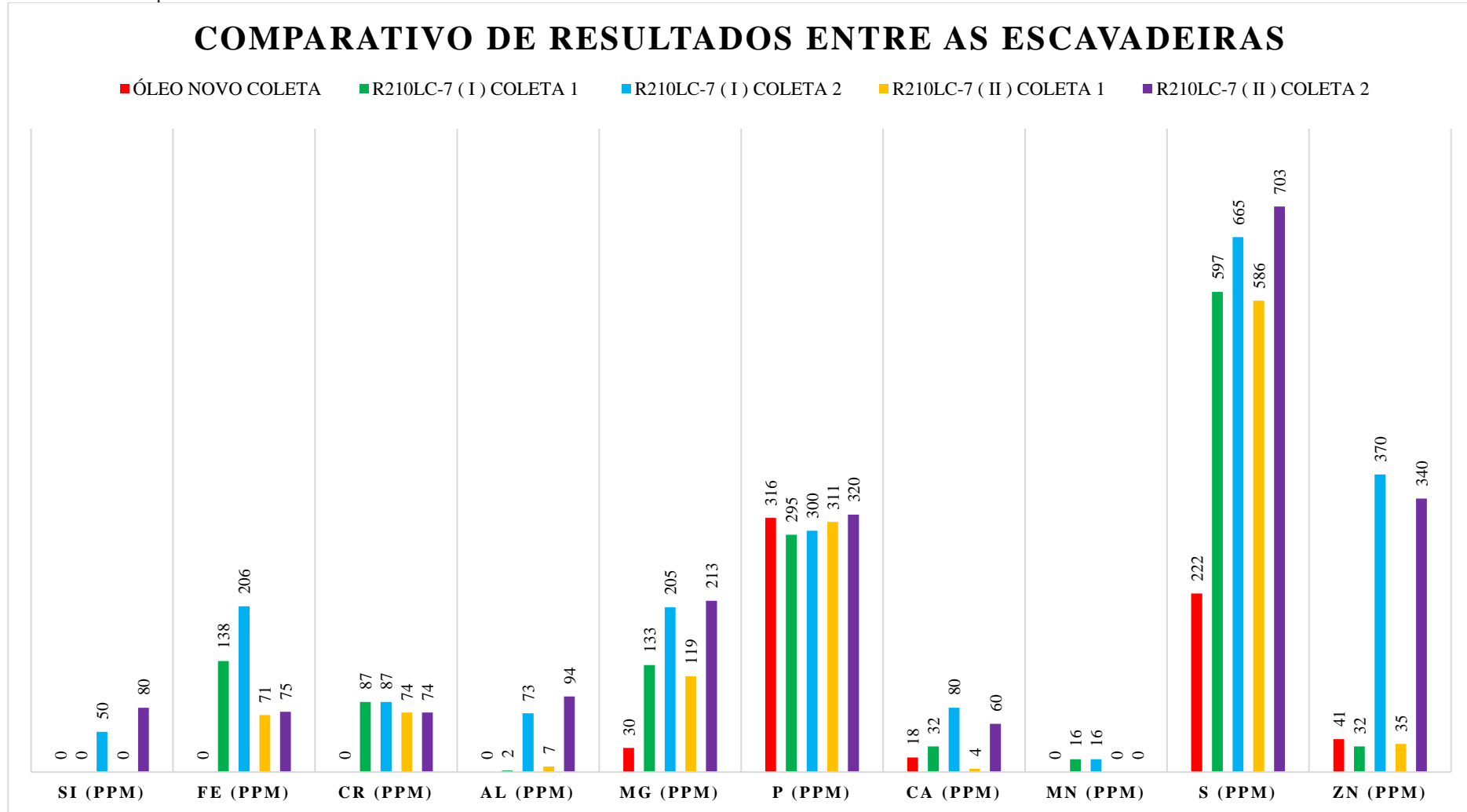
PERCENTUAL DE TENDÊNCIA DE DETERIORAMENTO ENTRE AS ANÁLISES

DESCRIÇÃO	R210LC-7 (I)	R210LC-7 (I)	R210LC-7 (II)	R210LC-7 (II)
	COLETA 1	COLETA 2	COLETA 1	COLETA 2
	% ÓLEO NOVO P/ PRIMEIRA COLETA	% PRIMEIRA COLETA P/ SEGUNDA COLETA	% ÓLEO NOVO P/ PRIMEIRA COLETA	% PRIMEIRA COLETA P/ SEGUNDA COLETA
Água (%)	0%	83%	267%	55%
TAN (mgKOH/g)	-3%	27%	-7%	12%
Si (ppm)	0%	0%	0%	0%
Fe (ppm)	0%	49%	0%	6%
Cr (ppm)	0%	0%	0%	0%
Al (ppm)	0%	3550%	0%	1243%
Mg (ppm)	343%	54%	297%	79%
P (ppm)	-7%	2%	-2%	3%
Ca (ppm)	78%	150%	0%	1400%
Mn (ppm)	0%	0%	0%	0%
S (ppm)	169%	11%	164%	20%
Zn (ppm)	-22%	1056%	-15%	871%

Fonte: O autor.

APÊNCIDE B

Gráfico 09 - Comparativo de resultados entre as escavadeiras.



Fonte: O autor.