

# Solução ambiental para derramamentos de óleo de sistemas hidráulicos de comportas de usinas hidrelétricas.

Carlos E. S. Begosso, Newton J. Guaraldo, Flávio Faria, José Mak, José. E. B. Querido, Júlio S. L. T. Militão, Laurence L. Marques, Leonard G. B. Leite, Adelfo B. Barnabé, Guilherme C.G. Lima, Viviane M. Vieira e Vera L. B. Leite.

**Resumo** – O óleo hidráulico VG 46, biodegradável e solúvel em água, até então protótipo, foi submetido à operação em regime severo e ensaios normatizados sendo ajustada sua formulação. Depois, os ensaios finais de verificação do desempenho foram todos executados por laboratórios independentes, um brasileiro e um alemão, acreditados pela Agência Nacional do Petróleo ANP. O resultado final é um óleo com Pedido de Nº de Registro protocolado na ANP em condições de aplicação nos sistemas de acionamentos de barragens e que poderá ser comercializado para outras finalidades. O óleo tem caráter preventivo ao evitar ou minimizar multas ambientais em caso de derramamento no rio.

**Palavras-chave** – comportas, contaminação, meio ambiente, óleo lubrificante, sistemas hidráulicos.

## I. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido e concluído no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL sob Código PD-0453-0011/2012 com o título “Solução ambiental para derramamentos de óleo de sistemas hidráulicos de comportas de usinas hidrelétricas”. Foi financiado pelas Concessionárias Termopernambuco S.A. e Itapebi Geração de Energia S.A. do Grupo Neoenergia e executado pelas empresas CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação e Quantum Tecnologia e Inovação.

O óleo hidráulico mineral está presente nos cilindros de acionamento de comportas e grades de Usinas Hidrelétricas – UHE’s posicionados diretamente sobre o fluxo da água abaixo; em locais inviáveis de coleta em caso de vazamento.

---

O projeto de pesquisa e desenvolvimento foi apoiado integralmente pelo Grupo Neoenergia, proponentes Itapebi Geração de Energia Elétrica S.A. e Termopernambuco S.A. com as executoras CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação e Quantum Comércio e Serviços de Tecnologia e Inovação Ltda.

C. E. S. Begosso trabalha na Itapebi Geração de Energia S.A. (e-mails: ebegosso@neoenergia.com).

N. J. Guaraldo, F. Faria, J. Mak, J. E. B. Querido, J. S. L. T. Militão, L. L. Marques, L. G. B. Leite, trabalharam pelo CGTI (e-mails: newton@buenomak.com.br; ffaria@buenomak.com.br; josemak@buenomak.com.br; eduardo@buenomak.com.br; militao@unir.br; laurence@buenomak.com.br; giordani13@yahoo.com.br)

A. B. Barnabé, G.C.G. Lima, V. L. B. Leite, V.M. Vieira trabalharam pela Quantum Pesquisa e Desenvolvimento (e-mails: barnabe@buenomak.com.br; guilherme@buenomak.com.br; vera@buenomak.com.br; viviane@buenomak.com.br).

E o vazamento de um dos cilindros pode chegar a milhares de litros, e se espalhar por vários quilômetros rio abaixo contaminando vasta superfície de água e materiais em que tocar nas margens. Tal situação implicaria na coleta do óleo derramado e a disposição do mesmo e dos resíduos e outros materiais impregnados/contaminados (areia de margens, vegetação, etc.). Esse óleo usualmente é mineral e não biodegradável; é contaminante ambiental e oriundo de fonte não renovável - petróleo.

O produto deste P&D é um óleo VG 46 equivalente em condição de trabalho normal, desenvolvido para substituir o óleo mineral das comportas existentes ou novas, sendo ecologicamente correto: é biodegradável, de origem vegetal, oriundo de fonte renovável de plantações nacionais, não flutua sobre a água caso vaze dos cilindros, não necessita ser recolhido, não é agressivo ao ambiente, nem tóxico, se degrada em menos de 30 dias e é solúvel em água.

Esse projeto partiu de produto de P&D anterior - óleo protótipo biodegradável e solúvel em água. Submeteu-se o óleo protótipo a ensaios similares aos que a ANP - Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis exige para conceder o Nº de Registro - condição necessária para sua comercialização. Corrigiram-se várias vezes as características físico-químicas e de desempenho que divergiam da faixa especificada por Normas, procedendo-se a ajustes finos e realização de novos testes no óleo a cada ajuste. Tal procedimento foi desenvolvido com o fabricante parceiro, fazendo uso de laboratório próprio existente para chegar com razoável segurança ao óleo em condições de ser enviado a laboratórios independentes para os testes que a ANP exige, com base na Resolução 10.

Testes em regime severo ou experimento forçado foram procedidos nas instalações do fabricante, Laboratórios Universal, de Taubaté – SP, escolhido para parceria nessa fase cabeça-de-série. Uma etapa onde o novo óleo foi submetido a esforços acima do que ele foi projetado para trabalhar.

Ensaos normatizados foram feitos seguindo normas internacionais onde a escolha das análises foi feita de acordo com o usual de mercado que as empresas disponibilizam para seus clientes. Na fase de ajustes na formulação e testes sucessivos estes foram feitos pelo fabricante, em sua fábrica e laboratório próprio. Na fase de aprovação final os ensaios foram feitos pelo laboratório da Ipiranga, em seu CTAQ Centro de Tecnologia Aplicada e da Qualidade - Laboratório Lubex, do Rio de Janeiro.

Ensaio de desempenho foram feitos também seguindo normas internacionais, mas aqui as análises foram definidas por norma internacional para medir a performance do óleo.

Os ensaios de desempenho foram procedidos com base na norma americana - ASTM D6813 - Performance Evaluation of Hydraulic Fluids for Piston Pumps e executados pelo laboratório APL, na Alemanha. No Brasil pelo Lubex, RJ.

Em fevereiro de 2014, vigésimo quinto mês do projeto, foi dada entrada na ANP a documentação e Pedido de Número de Registro do óleo denominado UNIS CGTI que recebeu Nº “Processo ANP 21FEV48600-000620/2014”, com três variações dentro da mesma formulação patenteada sob a PI 1104576-0 registrada no INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Em fevereiro/15 foi dada entrada em novo Pedido que incluiu o ensaio de desempenho denominado “Four Ball” executado pelo Laboratório Lubex e que, segundo a ANP, faltou na análise do primeiro Pedido.

O objetivo do projeto foi desenvolver a condição de óleo-protótipo, ISO VG 46, que foi o produto principal do projeto de P&D 27 ITA anterior, para um óleo certificado por ensaios padronizados e reconhecidos pela ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Visou com isso estar em condições técnicas de receber o Número de Registro. Possuir este Nº é requisito necessário para um óleo hidráulico novo ser oferecido no mercado, e para que as demais usinas geradoras do setor elétrico brasileiro possam vir a adquiri-lo e aplicá-lo em substituição do óleo mineral atualmente em uso.

Outros objetivos secundários do projeto também foram atingidos: a) avaliar previamente com o fabricante de óleo hidráulico a condição de aprovação do desempenho em operação desse novo óleo antes de contratar ensaios com laboratórios independentes e acreditados pela ANP, pois são demorados e caros para serem usados na frequência e quantidades necessárias ao processo de aprimoramento via testes – ajustes – testes, sucessivamente; b) realizar ensaios prévios de experimento em Regime Severo fazendo uso de sistemas de pistões e cilindros que conseguissem submeter o fluido a condições de uso extremas; c) detectar não conformidades baseadas nos ensaios e providenciar modificações na composição do óleo.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Inicialmente submeteu-se o óleo protótipo a várias situações de uso extremo para verificar o comportamento e adequar sua formulação antes de comprovar seu desempenho.

Esse desempenho foi verificado através de ensaios normatizados e ensaios de desempenho, feitos baseados em Normas ASTM - American Society for Testing and Materials .

Na fase de experimento severo o óleo foi submetido a esforços acima do que ele foi projetado para trabalhar, e em seguida a ensaios normatizados. O óleo foi submetido a várias situações de operação, em cilindros confeccionados para prover variados ciclos, iniciando por ciclo de 2 horas. Em seguida foi feita análise do fluido para a verificação das propriedades físico-químicas, e verificação do desgaste causado no equipamento e efeitos no próprio óleo.

Enquanto não houve mudança nas propriedades físico-químicas do óleo foi processada elevação crescente do número de ciclos de operação. Após 90 dias de operação os cilindros foram desmontados e o desgaste interno verificado.

A cada período predeterminado foram realizadas as análises para verificação das propriedades físico-químicas do produto: Viscosidade cSt 40°C, Densidade, Índice de Acidez, Índice de Saponificação, Índice de Refração, Ponto de Fulgor, Ponto Ebulição, Teor de Sólidos, Teor de Água, Corrosão em Cavaco de Ferro, Corrosão em Lâmina Cobre.

Os resultados dos ensaios foram avaliados e quando a análise dos dados indicou algum problema incipiente no óleo se providenciou mínimas modificações na formulação para adequação do produto. Seguiram-se experimentos com a “nova” formulação adequada, e monitoramento através de análises do novo fluido após se repetir os testes; registrando-se os resultados. Sempre que ocorreram alterações da formulação foi realizado de novo ciclo de experimentos.

Produziu-se depois novo lote de óleo destinado aos ensaios certificadores de desempenho - os mesmos da fase anterior - porém procedidos por laboratórios independentes. Os resultados dos ensaios de desempenho e normatizados, com o óleo tendo demonstrado sua performance em concordância com os requisitos das normas, mais a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos e Rótulo contemplando as informações exigidas disponíveis, compuseram a documentação de registro de três variações da formulação e deu-se entrada com um Pedido de Número de Registro na ANP.

Na fase dos experimentos forçados, na qual o fluido hidráulico foi submetido a um esforço acima do que ele foi projetado para trabalhar, o óleo foi posto em uma bomba hidráulica (cilindros) para simular a abertura e fechamento de comportas de barragens. O óleo foi submetido a ciclos de 12.000 (doze mil) operações, onde foi analisado o eventual desgaste do produto e dos equipamentos.

Foram usados dois pistões instalados no fabricante do óleo e foi determinado que o Cilindro I fosse programado para trabalhar executando doze mil ciclos. O trabalho iniciava na segunda-feira e finalizado na sexta-feira seguinte; aproximadamente 100 horas de trabalho contínuo onde o fluido ficava sujeito a aquecimento devido às operações, mudanças de temperatura e umidade ambiente - o cilindro estava em uma parte aberta da empresa. Figura 1 abaixo:



Figura 1. Cilindros no fabricante durante ensaios de experimento forçado.

A cada final de ciclo foi retirada uma amostra do óleo e foi verificado o desgaste do mesmo. O desgaste do fluido hidráulico foi medido inicialmente pela alteração de propriedades físico-químicas do mesmo, comparando-se com suas propriedades iniciais, ou seja, antes de posto em uso.

Também foi feita a medição dos componentes do Cilindro I para que ao final do processo fosse possível medir o desgaste das vedações e do cilindro, para verificar se houve desgaste acima do esperado e se houve o aparecimento de algum defeito causado pelo contato do óleo com os componentes do fluido, como o aparecimento de manchas nas superfícies ou a deformação das vedações.

Iniciados os trabalhos com os experimentos, o álcool etílico anidro foi substituído pelo propilenoglicol e, após alguns testes, foi ajustada a formulação denominada VIII-A, pois a fórmula original foi a de número VIII referente ao óleo protótipo do P&D anterior. A formulação VIII-A tem sua composição resumida nas proporções apresentadas na Tabela I:

Tabela I- Formulação VIII-A.

Componente	Proporção
Glicerina	78,5 a 62,5%
Uniscor CS 500 <sup>a</sup>	09,0 a 15,0%
Propilenoglicol	08,0 a 15,0%
Água	04,5 a 07,5%

Procedimentos efetuados: o reservatório do cilindro I foi esvaziado. Foram produzidos e foram colocados 50 litros de óleo da formulação VIII-A no reservatório do cilindro I.

Foi iniciada a primeira operação do cilindro I com 12.000 (doze mil) ciclos. O cilindro trabalhou durante aproximadamente quatro dias sem interrupção. Durante toda a operação foi observado um aquecimento no equipamento dentro do que seria esperado, o que indica que não houve atrito excessivo. Era esperado que o cilindro trabalhasse até uma temperatura de 60°C, o que é tecnicamente aceitável. A temperatura máxima atingiu 57°C. Não houve complicações e a primeira operação ocorreu dentro do esperado.

Após a primeira operação, foi retirada uma amostra do fluido hidráulico para ser analisado e levantadas suas propriedades físico-químicas.

Foi iniciada a segunda operação com o Cilindro I. Foi utilizado o mesmo procedimento da primeira operação.

Após as duas primeiras operações, fez-se uma parada das operações de quatro semanas, simulando condição operativa real de uma comporta de UHE. O intuito da parada foi verificar se o óleo iria sofrer alguma alteração em suas propriedades se ele ficasse parado por um longo período, e ao voltar à atividade, o fluido e o cilindro iria se comportar de forma adequada. Aproveitou-se a parada e o cilindro foi enviado para verificação de possíveis desgastes em seus componentes ou paredes internas e nenhum dano interno foi constatado.

Durante a segunda semana após o repouso de quatro semanas, o cilindro começou a apresentar alguns problemas. Iniciou com o aparecimento de barulhos estranhos, foi observado um aumento no esforço para a movimentação do cilindro e no aumento do tempo de duração de cada ciclo de

operação. Então o cilindro parou de funcionar; o defeito, um dispositivo eletrônico queimado, foi substituído.

Mas, após três dias de operação o barulho voltou a acontecer. O pistão do Cilindro I parou de funcionar e a operação deste cilindro ficou suspensa. Solicitamos que a empresa fabricante dos cilindros retirasse o cilindro mais uma vez. Foi decidido que o teste seria realizado no Cilindro II enquanto o Cilindro I iria ser desmontado para verificação do que estava acontecendo.

O Cilindro II foi esvaziado e o óleo do Cilindro I foi transferido para o Cilindro II para reiniciar o processo. Na transferência do óleo, foi observado que o mesmo estava turvo, tanto o do Cilindro I quanto do Cilindro II.

Após 10 dias de operações, o Cilindro II começou a fazer os mesmos barulhos do Cilindro I. A operação do Cilindro II foi suspensa e iniciou-se um processo de investigação no fluido lubrificante. Foi retirada uma amostra do Cilindro II e analisado no laboratório.

Apesar da amostra se apresentar um pouco turva, foi verificado que as suas propriedades físico-químicas estavam dentro dos padrões de especificação, o que indica que o fluido lubrificante estava próprio para uso; mas o aspecto turvo não era esperado, e decidiu-se que era necessário aprofundar as análises no óleo.

Durante a reunião periódica da equipe executora foi sugerido analisar o fluido lubrificante retirado anteriormente do Cilindro II. No momento em que foi coletada a amostra, foi observada a formação de uma camada de grumos na superfície e que o óleo agora estava separado em duas fases. A fase de cima era composta por grumos gelatinosos de aparência turva e a fase inferior composta por um fluido praticamente límpido, de aparência correspondente a um óleo normal.

Foram retiradas amostras das duas fases para análises. Verificou-se que os grumos eram parcialmente solúveis em água e produziam uma emulsão creme muito viscosa quando misturado em água. Foi concluído que a fase superior era composta por material desgastado do fluido lubrificante solúvel e biodegradável e por restos do óleo hidráulico mineral que foi usado para testar o equipamento antes de ser abastecido com óleo novo. Esse óleo mineral não foi “lavado” de dentro dos cilindros porque era dessa forma que se pretendia fazer a troca de óleo em uso (mineral) pelo novo óleo (de origem vegetal). Ou seja, quando o fluido lubrificante biodegradável sofreu um esforço muito grande, ele se aglutinou com a parcela do óleo mineral (que remanesceu) formando uma mistura com a aparência de uma gelatina, o que pode danificar um equipamento hidráulico devido ao aumento da viscosidade, entupimento dos filtros dos equipamentos e, conseqüentemente, aumento da pressão de operação.

Para comprovar o problema foi colhida uma amostra de cada fase e foi misturada e agitada de forma que ficasse homogênea. Houve a formação de uma mistura turva. A mistura foi deixada em repouso por dois dias e foi observado que a mistura acabou por se separar novamente. Pôde-se concluir que, em regime de esforço extremo, o experimento forçado desgastou o fluido hidráulico de forma que anulou sua propriedade de solubilizar o óleo mineral presente no reservatório. O fluido lubrificante desgastado se misturou com o óleo

mineral, formando uma mistura gelatinosa. Esta mistura entupiu os filtros dos sistemas o que fez o mesmo trabalhar em uma pressão superior à pressão normal da operação. E foi isso que causou um esforço adicional e maior desgaste nos componentes do sistema. Concluiu-se que estava havendo uma sobrecarga sobre os equipamentos eletrônicos, contribuindo para aparecimento de problemas nos mesmos.

Enquanto o equipamento estava em experimento forçado continuamente, essa mistura permaneceu dissolvida no fluido lubrificante em bom estado, não afetando a operação. Mas nos intervalos de semanas entre as operações o cilindro ficava parado - inclusive nos finais de semana, tempo mais do que suficiente para que o fluido se separasse formando duas fases. Quando na segunda-feira, ou após vários dias parado, o cilindro era ligado novamente, a bomba sugava parte da fase superior que possuía uma viscosidade muito superior ao do óleo ISO VG 46. Isso fazia com que o esforço da bomba fosse sobrecarregado, o que afetou os componentes eletrônicos do sistema de controle/operação dos cilindros. A cada vez que esse processo ocorria, havia uma diminuição da solubilização dos grumos e gelatinas presentes na fase superior e entupisse os filtros, fazendo com que a pressão de operação do sistema fosse elevada.

Para verificar a hipótese acima os cilindros foram esvaziados e depois foi repetida a operação de colocação do óleo vegetal no lugar do mineral que foi esgotado. Foi adicionado um sistema de filtração com tela de 200 mash (200 furos/cm<sup>2</sup>). Observando o estado da tela de filtração, foi comprovada a hipótese do filtro dos cilindros hidráulicos terem sido entupidos pela interação entre os óleos vegetal (novo) que substituiu o óleo mineral (que estava antes no interior dos cilindros) produzindo grumos e isso fez com que estes grumos, que se formavam depois que o óleo permanecia parado, tinham causado ou intensificado os problemas.

Assim, pôde-se concluir que em uma condição de operação que ocorra sob grande esforço *não* pode haver a contaminação do óleo novo (vegetal) com óleo mineral anteriormente em uso no mesmo cilindro e reservatório, devido à formação de grumos que aumentam a viscosidade e podem causar desgaste nos cilindros ou entupimento dos filtros, se houver esse dispositivo no sistema.

Após o procedimento acima, o fluido hidráulico filtrado ficou totalmente límpido. Ele foi analisado e apresentou as propriedades expressas normais.

Os resultados das análises demonstraram que o produto filtrado permaneceu não só dentro da faixa estabelecida na especificação, mas muito próxima do centro da faixa de especificada. Bastou então eliminar a possibilidade de mistura dos óleos para a condição de operação em regime severo e altas velocidades.

Os sistemas de filtragem dos cilindros foram desmontados para a verificação dos filtros e foi observado que estes estavam quase totalmente entupidos e que isso pode ter causado problema da bomba e um esforço adicional que queimou as bobinas.

Após a troca dos filtros, as atividades do cilindro II voltaram ao normal. Para tanto o cilindro foi totalmente limpo. Um fluido de limpeza foi introduzido no reservatório do

cilindro para que fosse eliminado qualquer grumo, ou óleo mineral, do interior do cilindro.

Um novo lote de óleo colocado no cilindro II. O número de ciclos foi ajustado para 12.000 novamente. O cilindro I funcionou normalmente tanto no módulo automático quanto no módulo manual. O cilindro I efetuou os 12.000 ciclos normalmente. Nas três semanas seguintes, foram efetuadas mais três operações de 12.000 ciclos. Não foi observado nenhum problema aparente. Sem sinais de grumos.

Uma amostra de óleo solúvel usado foi colocada ao lado de uma amostra do novo lote do óleo sem uso. Ambas as amostras estavam límpidas. Foram analisadas amostras do fluido novo e amostras retirada após cada ciclo.

Houve pouca variação da viscosidade. O Ponto de ebulição obteve resultados acima de 110° C, assim como o ponto de fulgor. Tanto a Corrosão em Cavaco de Ferro quanto a Corrosão em Lâmina de Cobre não sofreram alterações e apresentam resultados satisfatórios.

Mesmo tendo finalizada esta fase do projeto, a equipe executora em consenso com o departamento técnico do Laboratório Universal considerou importante manter essa atividade por um período mais longo para verificar a estabilidade do produto. E os resultados subsequentes demonstraram que o problema anterior de fato não mais se apresentou.

Concluiu-se que, apesar de ter encontrado dificuldades que demoraram a ser identificadas e exigiram mais de uma repetição, pode-se afirmar que o objetivo desta fase do projeto foi concluído com êxito. Foi verificado e aprendido sobre o comportamento do novo óleo sob experimento forçado - condição em que a mistura do óleo vegetal e mineral (remanescente de uso anterior nos cilindros) não pode ocorrer, necessitando completa remoção do anterior.

Foram feitas análises que comprovaram que o óleo sofreu pequenas alterações em suas propriedades físico-químicas, porém permanecendo dentro dos limites especificados nas normas.

Foram encontrados problemas que só poderiam ser encontrados em testes práticos com o produto e que serão de extrema importância na hora da troca dos óleos hidráulicos minerais pelo fluido ecologicamente correto. A interação do novo fluido com o óleo mineral remanescente nos cilindros em uso, durante a operação do cilindro de testes, aumentou a velocidade de desgaste do fluido. Deve ser evitada essa mistura através de uma lavagem química do óleo mineral ainda remanescente no cilindro esvaziado antes de colocar o óleo vegetal novo no mesmo cilindro para uso normal.

Em seguida, na fase dos ensaios normatizados as propriedades físicas Viscosidade, Índice de Viscosidade, Compressibilidade, Ponto de Fluidez, Ponto de Fulgor, Densidade, Acidez e a Alcalinidade, Demulsibilidade, Formação de Espuma foram verificadas e alcançadas para o novo óleo:

- A *Viscosidade*, a mais importante característica de um fluido hidráulico, no caso VG 46, possui um impacto significativo na operação de um fluido hidráulico. Se a viscosidade é muito alta, aumenta a fricção, pressão do sistema, consumo de energia e a geração de calor durante a operação. Se a viscosidade é muito baixa, haverá um aumento de vazamentos quando o sistema estiver em operação e o filme do fluido

hidráulico pode ser insuficiente para prevenir o desgaste em excesso ou prevenir a oxidação e a corrosão.

- A *Compressibilidade* é a medida de redução do volume do fluido hidráulico devido à pressão. Fluidos de petróleo são praticamente incompressíveis, mas há uma redução de aproximadamente de 0,5% para pressões acima de 6.900 kPa (1.000 lb/sq in) até 27.600 kPa (4.000 lb/sq in). A compressibilidade aumenta a pressão e a temperatura de operação e tem efeitos em sistemas hidráulicos de alta pressão.

- O *Ponto de Fluidez* é a temperatura sob a qual o líquido pára de fluir. O valor do ponto de fluidez é discutível para aplicações de lubrificantes em clima tropical ou temperado.

- O *Ponto de Fulgor* é a temperatura que o óleo inicia a liberação de vapores inflamáveis em concentrações suficientes para entrarem em combustão na presença de uma chama. A temperatura não é suficiente para manter a combustão.

- A *Densidade* é a razão entre massa e volume. Ela não influi sobre o desempenho dos lubrificantes hidráulicos. O conhecimento da densidade é muito importante em relações comerciais e nos cálculos de transferência de calor. Também são importantes quando a necessidade de separação de misturas e no caso de vazamentos em sistemas aquáticos.

- A *Acidez* e a *Alcalinidade* dos óleos são normalmente abordadas pelo Número de Neutralização aplicando as técnicas de TAN (Total Acid Number) e TBN (Total Base Number). A medição é feita através do pH e fica entre 4 e 11. Tanto a acidez quanto a alcalinidade são alteradas pela natureza do aditivo usado. Quando se compara a diferença entre a acidez e alcalinidade do lubrificante sem uso, com a de um lubrificante usado, é possível verificar se houve desgaste e consumo do lubrificante ou dos aditivos, quando isso acontece, geralmente, ocorre a formação de ácidos fracos como resultado do processo de desgaste ou oxidação.

A *Demulsibilidade* é a capacidade do lubrificante de se separar da água e não formar emulsões. A presença de água nos lubrificantes pode formar emulsões e borras, o que pode impedir, parcialmente ou totalmente, o funcionamento do sistema devido à incompatibilidade química.

A *Formação de Espuma* é geralmente devida a uma aeração excessiva do lubrificante. O mais importante não consiste exatamente em impedir a sua formação, que algumas vezes é inevitável, e sim em sua quebra, isto é, em promover seu desaparecimento. Os testes de espuma indicam tendência de formação e a velocidade de quebra da mesma. A espuma resulta em lubrificação deficiente, cavitação e fluxo deficiente de lubrificante, o que pode constituir um problema em sistemas que possuem engrenagens e/ou mancais de alta velocidade, o que não é o caso de cilindros de comportas.

A *Corrosividade em Cobre* é importante devido à utilização de aditivos contendo cloro, enxofre e compostos inorgânicos que podem contribuir para a corrosão em partes dos equipamentos.

A *Estabilidade Térmica* e a *Resistência à Oxidação* dos fluidos hidráulicos são duas das mais importantes propriedades que afetam a vida útil do fluido. Essas propriedades dos fluidos hidráulicos podem mudar de acordo com o tempo e a intensidade do uso. Existem fatores que influenciam essas mudanças: Stress mecânico e cavitação, que pode causar

queda da viscosidade; e oxidação e hidrólise que degradam os componentes do fluido e podem gerar componentes voláteis, materiais insolúveis e produtos corrosivos. A Estabilidade Térmica é a resistência do lubrificante à degradação ou rearranjo molecular sob elevadas temperaturas na ausência de oxigênio. A estabilidade térmica na presença do ar atmosférico é a Resistência à Oxidação. (ASTM D 665).

Nessa fase os ensaios foram feitos no laboratório do fabricante parceiro e na fase final, seguinte, foram contratados com laboratórios independentes.

Na terceira fase do projeto, de ensaios de desempenho, os mesmos ensaios da fase anterior foram contratados com laboratórios independentes. Até aqui a finalidade era avaliar e levar o óleo o mais próximo possível de suas características para a condição de serem aprovados nos ensaios feitos por laboratórios acreditados pela ANP, e nessa terceira fase também foram acrescentados ensaios que o fabricante não dispunha de aparelhos de simulação para ensaiar plenamente os efeitos como o caso dos ensaios que avaliam a propriedade de Extrema Pressão. Uma das formas de medir essa propriedade é através do método de Quatro Esferas (Four Ball), que também mede o Desgaste do contato entre superfícies de metal com metal. Alguns desses ensaios estavam disponíveis no laboratório Lubex/Ypiranga e foram procedidos nessa terceira fase de ensaios. Os demais foram contratados com o laboratório alemão APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH - Teamleiter Öl- / Kraftstoffprüfung.

Nesta parte do projeto também foi analisado o desempenho do novo óleo em comparação com o óleo hidráulico VG 46 de origem mineral.

Durante a pesquisa houve a constatação que o óleo novo poderia ser comparado aos fluidos lubrificantes hidráulicos à base de água/glicóis. Os fluidos lubrificantes à base da mistura entre água e glicóis são utilizados, principalmente, em sistemas onde há um forte risco de incêndio. Estes fluidos possuem uma faixa entre 30% a 50% de água em sua composição, bem maior que no óleo vegetal desenvolvido na formulação VIII-A em que não ultrapassa 7,5%.

Os glicóis, também conhecidos como compostos dióis, são substâncias que possuem duas moléculas de hidroxilas (OH) em sua cadeia carbônica. O monoetileno glicol, dietileno glicol, trietileno glicol e demais polietilenos glicóis (PEGs) são utilizados na mistura com água. Também são utilizados butil glicol e o propileno glicol.

O etileno glicol (monoetileno glicol - MEG) e seus derivados (PEGs) são produzidos através do eteno, que é convertido em óxido de eteno e que, ao ser reagido com a água, forma o etileno glicol. O eteno é o mais simples composto da classe das olefinas, formado apenas por dois compostos de carbono e quatro de hidrogênio. Existem vários processos de obtenção de eteno. O mais utilizado, devido a ter o custo mais barato, é o de Craqueamento do Petróleo, onde a eteno é apenas um dos produtos gerados. Atualmente, devido ao apelo ambiental, o processo de desidratação do Álcool Etilíco vem ganhando atenção das empresas, pelo fato do álcool etílico ser um produto de uma fonte renovável.

O etileno glicol é uma substância que, em sua forma pura, é incolor, inodora, com a viscosidade de um xarope e possui

um sabor adocicado. O etileno glicol é tóxico para os seres vivos, porém ele é de fácil biodegradabilidade. Não possui uma bioacumulação significativa, mas existe risco de degradação do oxigênio em sistemas aquáticos.

O propileno glicol não possui a toxicidade do etileno glicol e possui uma elevada biodegradabilidade. Mas também existe o risco de degradação do oxigênio em sistemas aquáticos, em menor grau.

Os fluídos água/glicóis possuem um alto índice de viscosidade e um baixo ponto de fluidez. Com a adição de aditivos, eles ganham propriedades antidesgastantes, anticorrosivas e antioxidantes. Os fluídos água/glicóis possuem valor de mercado muito superior ao óleo mineral.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um fluído lubrificante para sistemas hidráulicos, que fosse solúvel e biodegradável para que possam ser utilizados em substituição do óleo lubrificante mineral. Para tal objetivo, foi estipulado que o fluído devia ser derivado da mistura de glicerina e água e assim se procedeu.

A glicerina é o termo comercial para composto orgânico glicérol ou propano-1,2,3-triol, que é classificado com a função álcool. A glicerina deve, pelo menos, obter 95% de sua composição formada por glicérol. O glicérol é um líquido viscoso, incolor e inodoro. O glicérol é higroscópico, ou seja, absorve água. Resumidamente, o glicérol é um triol, ou seja, um composto com três hidroxilas (OH).

O glicérol é um subproduto do biodiesel, formado pela reação de transesterificação de um óleo vegetal ou de uma gordura animal com um álcool de baixo peso molecular, como o metanol e o etanol. O glicérol não é tóxico, e pode ser utilizado em produtos alimentícios, pode ser ingerido por seres humanos e animais. O glicérol é biodegradável, não tem problemas com a bio-acumulação e não interfere no meio aquático.

Nas fases anteriores foram feitos testes de viscosidade, p.H., índice de acidez, e índice de saponificação para avaliação do novo fluído hidráulico e proceder ajustes. Nessa terceira fase foram aprofundadas as exigências do fluído, com o objetivo de verificar, em laboratórios independentes, e apresentar o seu desempenho para ser registrado na ANP mediante laudos destes, para uso em qualquer sistema hidráulico ou se teria alguma restrição de condição de uso.

As propriedades de um óleo lubrificante mineral são largamente conhecidas. A seguir é apresentado um resumo de propriedades dos fluídos água/glicóis e os métodos analíticos e avaliação final dos mesmos.

A formulação de um fluído de base água/glicol consiste basicamente de água (30 a 50% - combate ao fogo); glicóis (abaixa o ponto de fluidez); polialquilenos glicol (agente espessante); um pacote de aditivos com propriedades antidesgaste, anticorrosivo e antioxidante; aditivo antiespumante; e corante (para a detecção de vazamentos).

Desgaste - o desempenho do fluído lubrificante água glicol depende particularmente da escolha do aditivo e da sua concentração usada na formulação. Substâncias que conhecidas interferem no desempenho do fluído lubrificante água/glicol são: a água, aminas e os aditivos antidesgaste. A resolução de norma ASTM D-2882 é um método de teste

que indica as características antidesgaste de óleos e fluídos hidráulicos originados ou não do petróleo em uma bomba de palhetas de volume constante. Segundo a norma, é um teste conduzido sobre a pressão de 2.000 psi (13,8 MPa), por um período de 100 horas e por uma vazão de 30,6 l/min em uma bomba de palhetas Sperry Vickers V-104C.

Nos estudos pesquisados, a quantidade de água é proporcional ao desempenho antidesgaste, ou seja, quanto maior a quantidade de água, maior será o desgaste. No estudo feito, o desgaste segue uma curva ascendente até os 40% de água na formulação, acima desta quantidade, há um aumento exponencial do desgaste. Em relação à amina, ela possui um efeito antidesgaste até aproximadamente a faixa de alcalinidade entre 100 e 150 mg HCl/g.

Oxidação e Corrosão - A real função da amina é a de agir como um antioxidante e um anticorrosivo. Em um estudo, foi possível determinar as propriedades da amina em fase líquida e em fase gasosa (vapor) através de um teste de corrosão de 200 horas. Este teste consiste em arear o fluído hidráulico aquecido a uma temperatura de aproximadamente 70°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Os materiais testados na fase líquida foram: Aço (SAE-1010, baixo carbono), Alumínio Fundido (SAE-329), Cobre (CA-110) e Bronze (SAE-70C). Os materiais testados na fase gasosa foram: Ferro Fundido (G-3500) e o Aço (SAE-1010).

O grau de corrosão pode ser medido visualmente ou por perda de massa. Concentrações muito elevadas tendem a agravar a corrosão em metais não ferrosos, em concentrações muito baixas, agravam a corrosão de metais ferrosos, principalmente na fase gasosa. A concentração ótima da amina vai depender do tipo de amina utilizada e também vai interferir no desgaste do equipamento.

Contaminação do Fluído - A contaminação mais comum é a de lubrificantes derivados do petróleo. Como são imiscíveis, o óleo mineral fica na superfície do fluído água/glicol, formando muitas vezes uma mancha ou gomas que, acabam absorvendo o aditivo antidesgaste e a amina, aumentando a concentração de água e prejudicando a eficiência do fluído. Foram então procedidas as análises:

Determinação de Água - a forma mais eficiente para se determinar a quantidade de água é por Karl Fisher (ASTM D-1744), que foi usada nestes ensaios.

Determinação de Reserva Alcalina (Inibição de oxidação) - a reserva alcalina é uma das formas de se medir a inibição da oxidação. Utiliza-se a titulação de HCl a 0,1 molar em uma determinada quantidade de fluído água/glicol até que o p.H. atinja aproximadamente 5,5.

Degradação - as operações e as variações de temperaturas (recorrentes das operações ou do ambiente) tendem a formar compostos ácidos. A partir de uma determinada concentração esses compostos tendem a aumentar o desgaste dos equipamentos. Para determinar a concentração destes compostos o método indicado é a cromatografia de íons.

Material Sólido possivelmente oriundo do desgaste dos equipamentos. Para determinar o tamanho do material sólido é utilizado um contador de partículas (ISO 21501). Para determinar os elementos é utilizado um espectrômetro (ASTM D-4951/NBR 14786).

A experiência adquirida com os ensaios nas fases de experimento severo, de desempenho do óleo e de ensaios normatizados, foi transferida para o pessoal técnico das Contratantes durante os workshops para divulgação interna do desenvolvimento do projeto.

Os ensaios de desempenho contratados junto ao laboratório alemão APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH - Teamleiter Öl- / Kraftstoffprüfung estão listados abaixo:

- FZG Teste de Desgaste (A/8,3/90) CEC L-07-A-95; Norma - ASTM D5182.
- FZG step load test (A10/16,6/120) CEC L-84-02; DIN ISO 14635-2 ou ASTM.
- Pittingtest FZG PTC/8,3/LS9/90.

### III. RESULTADOS

#### A. Produto Principal

O principal produto obtido nesse projeto cabeça-de-série foi o óleo lubrificante biodegradável e solúvel em água, denominado UNIS CGTI de viscosidade ISO VG 46. Esse óleo evoluiu da condição de protótipo, atingida no projeto anterior, para a situação de um óleo testado dentro dos requisitos da ANP – Agência Nacional do Petróleo em ensaios normatizados e de desempenho estabelecidos em Normas internacionais. Foi dada entrada com Pedido de Número de Registro naquele Órgão em fevereiro/14 e, uma vez concedido, o óleo estará em condição de ser comercializado.

A base do óleo é o glicerol extraído de matérias primas derivado de óleos vegetais, que propiciam baixa toxicidade e fácil biodegradabilidade quando no meio ambiente.

O óleo UNIS CGTI é aditivado com substâncias que proporcionam propriedades de extrema pressão, antidesgaste, antioxidante, anticorrosiva, antiespumante, entre outras. Suas principais propriedades físico-químicas são apresentadas na Tabela II:

Tabela II- Propriedades físicas e químicas do novo óleo.

Parâmetro	Normas	Unidade	Valor
Ponto de Fluidez	ASTM D 97	°C	-48
Corrosão	ASTM D 130	-	1:00
Viscosidade a 40°C	ASTM D 445	mm <sup>2</sup> /s	46,16
Índice de Viscosidade	NBR 14358	-	2
TAN	ASTM D 664	mg KOH/g	8,55
Prevenção de Corrosão	ASTM D 665	-	Aprovado
Densidade a 20/4°C	ASTM D4052	g/cm <sup>3</sup>	1,1883
FourBall-15 Kg/Desgaste	ASTM D4172	mm	0,63
FourBall-60 Kg/Desgaste	ASTM D4172	mm	1,22
FourBall-100Kg/Desgaste	ASTM D4172	mm	1,47

Vários produtos secundários foram obtidos enquanto resultados das etapas: a) Fichas de Informação de Segurança de produto Químico (FISPQ); b) rótulos provisórios; c) re-

gistros e laudos dos ensaios dos experimentos em regime severo que subsidiaram os ajustes nas formulações; d) laudos de ensaios feitos na fase de ensaios normatizados pelo laboratório do fabricante e também contratados em outros laboratórios; e) laudos finais procedidos por laboratórios independentes, um nacional (Lubex - RJ) e outro alemão (APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH - Teamleiter Öl- / Kraftstoffprüfung) para os ensaios de desempenho e de desgaste.

#### B. Relatórios de análises finais e Registro na ANP

O Principal propósito de um fluido hidráulico é a transmissão de força mecanicamente através de um sistema de força hidráulica. Para assegurar a estabilidade dos componentes em operação como os servos mecanismos, o fluido deve ser facilmente bombeado e deve ser o mais incompressível possível.

O fluido deve prover propriedades de lubrificação e de qualidade necessária para proteger todos os componentes do sistema hidráulico contra desgaste, oxidação, corrosão e demulsibilidade. Essas propriedades protetivas são usualmente adquiridas pela adição de aditivos.

Na última página, na Tabela III estão os resultados das análises finais realizadas nas formulações do óleo, que foram procedidas por laboratório independente que as verificou.

O óleo UNIS CGTI é apropriado para sistemas que possuam bombas de pistão, bombas de diafragma, bombas peristálticas e outras que operam em baixa velocidade e temperatura, próximo ou em contato com a água, devido a sua alta contabilidade e sua baixa toxicidade; sendo especialmente recomendado para os cilindros de comportas de barragens. Não é indicado para o uso em bombas rotativas de altas velocidades nem sistemas de alta rotação porque pode produzir alguma espuma.

O Pedido de N° de registro na ANP foi outro resultado obtido do projeto para o que foram preparados os documentos: a) Fichas de Informação de Segurança de produto Químico para três variações da formulação - FISPQ UNIS CGTI 8.1, FISPQ UNIS CGTI 8.2, FISPQ UNIS CGTI 8.3; Rótulos preliminares para os três óleos; Aditivos UNIS MTH 80, UNIS ATH 80, e UNIS BO 75; Anexo 2 para cada óleo UNIS CGTI 8.1, idem 8.2 e 8.3. O Pedido de Número de Registro recebeu o N° “Processo ANP 21FEV48600-000620/2014”, com três variações dentro da mesma formulação patenteada sob a PI 1104576-0 registrada no INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial.

#### C. Viabilidade Econômica do Projeto

O projeto tem caráter de prevenção de impacto ambiental e a viabilidade econômica foi baseada no custo a evitar na eventualidade de vazamento, caindo diretamente na água, da ordem de um mil a 3 mil litros de óleo mineral. Isso pode implicar custos (com a coleta, disposição e multas ambientais) da ordem de 1 a 5 vezes o valor investido nos projetos, a cada derramamento. Há casos registrados de ocorrência de vazamento de óleo mineral com valores associados de multas por contaminação de curso d’água em 16/03/08 no qual vazaram 5 mil litros de óleo lubrificante na Bahia, com

20km<sup>2</sup> de superfície da água sendo atingidos noticiados em <http://grupomeirelles.blogspot.com.br/2008/03/carto-postal-baiano-sofre-com.html> - <http://noticias.uol.com.br/ultnot/2008/03/17/ult23u1504.jhtm>.

#### *D. Inovação*

O óleo UNIS CGTI é um produto inédito cujo pedido de Patente de Invenção foi dado entrada no INPI sob N° PI1104576-0 protocolada em 26/09/11 no final do projeto anterior, e as variações que foram adotadas no projeto cabeça-de-série ficaram dentro das margens de variação percentual registradas originalmente na patente não sendo necessário nova patente nem modificações na mesma em decorrência das modificações para ajuste final dos componentes.

A inovação e o ineditismo do produto estão no uso de glicerol em sua composição - como "veículo" ou produto base na proporção da ordem de mais de 70% ao invés de óleo mineral ou produto sintético - porque o glicerol nunca foi e até maio/14 não era elemento usado por nenhum outro óleo hidráulico nacional nem internacional; não havendo qualquer outra patente ou artigo técnico/científico que mencione seu uso com essa finalidade. Foi escolhido o glicerol por ser abundante e barato - provendo a viabilidade econômica do produto e competitividade comercial com o óleo mineral - por ser subproduto de fabricação de biodiesel, e também é oriundo de fonte renovável.

#### *F. Aplicabilidade*

O resultado obtido, óleo inédito biodegradável e de baixo custo, competitivo com o óleo mineral e de viscosidade equivalente, é um óleo que pode ser largamente usado nas usinas hidrelétricas para acionamento de grades e comportas. Foi especialmente desenvolvido para uso nos sistemas hidráulicos desses acionamentos para prevenir contaminação ambiental no caso de vazamentos, uma vez que nesses locais não é viável prover a captação do óleo vazado antes que atinja o fluxo de água.

O óleo UNIS CGTI é perfeitamente aplicável na substituição do óleo mineral em operação nesses sistemas, para toda e qualquer usina hidrelétrica existente, bastando substituir alguns itens de vedação e provendo a limpeza para completa remoção do óleo (mineral) que esteja em operação atualmente.

Sua adoção também evita/minimiza custos de multas/indenizações ambientais que chegariam a milhões de Reais em caso de vazamentos de óleo (mineral) para o rio.

A abrangência de aplicação do produto está em proporcionar alternativa ao uso de óleo mineral VG 46, que é contaminante não biodegradável, pela utilização de óleo equivalente, porém biodegradável, de origem vegetal, e completamente solúvel em água para evitar acidente ecológico, ou reduzir ao mínimo seus efeitos, e as elevadas multas decorrentes de impacto ambiental.

Apropriado para sistemas que possuam bombas de pistão, bombas de diafragma, bombas peristálticas e outras que operam em baixa velocidade e temperatura, próximo ou em contato com a água, devido a sua alta biodegradabilidade e sua baixa toxicidade.

## IV. CONCLUSÕES

A linha de fluídos hidráulicos - denominada UNIS CGTI - foi desenvolvida com a finalidade de substituir os óleos hidráulicos minerais, utilizados em sistemas hidráulicos, por fluído biodegradável de fonte renovável.

Foi conseguido um produto de baixo custo, por ser constituído de uma base - glicerol - que é subproduto de processo. O glicerol de origem vegetal é resultante de um processo de transesterificação de óleo vegetal, que gera também o éster de ácido graxo, que possui utilização desde combustíveis (biodiesel) a cosméticas; e por ser subproduto de processo é um insumo barato tornando o novo óleo competitivo com óleo mineral de mercado.

Com a adição de aditivos, o glicerol adquiriu propriedades de fluído hidráulico. A realização desse projeto comprovou tal possibilidade, com um produto inédito e inovador referendando a Patente de Invenção.

O resultado das análises das propriedades físicas e químicas realizadas no laboratório da LUBEX mostram que o produto possui a viscosidade indicada, ISO VG 46. O índice de viscosidade é baixo devido à utilização de água em sua formulação, mas, pelo mesmo motivo, há um aumento no poder de resfriamento do sistema, o que diminui o desgaste. O teste de Formação e Estabilidade de Espuma indicou que pode ser reduzida a formação da espuma, embora ela, quando gerada, não possua estabilidade. O restante das análises indica que a linha UNIS CGTI possui as propriedades que o qualificam como Fluído Lubrificante Hidráulico.

A linha UNIS CGTI também é classificada como facilmente biodegradável, uma vez que nos ensaios do IPT ele se degradou 80% em 28 dias, quando o mínimo é 70% neste prazo para receber essa qualificação.

O desenvolvimento desse óleo é um novo caminho para a substituição de derivados de petróleo para a produção de fluídos hidráulicos e lubrificantes que pode ser ampliado para óleos de outras faixas de viscosidade e outros usos. Nesse projeto foi pesquisada a utilização em sistemas hidráulicos, mas há um amplo leque de possibilidades em que a linha poderá ser utilizada.

Com o resultado deste P&D há plenas condições de se avançar na cadeia de inovação, partindo-se em seguida para um projeto de Lote Pioneiro no qual se pode aplicar o novo óleo em uma planta de usina geradora nova ou existente, mesmo que esteja operando cilindros hidráulicos com óleo mineral, resumidamente nas seguintes etapas: a) fabricação, b) testes, c) substituição do óleo mineral pelo óleo novo em todos os sistemas de acionamento das comportas de barragens e das tomadas de água, uma comporta a cada dois meses, d) fazendo-se ensaios frequentes de acompanhamento do estado do óleo durante pelo menos 24 meses para acompanhar suas características em condição de uso, e) de modo a estabelecer parâmetros reais de acompanhamento.

O monitoramento das condições operativas do óleo durante os ensaios em regime forçado e também os ensaios normatizados apresentaram valores normais para o óleo novo, dentro das Normas internacionais. Estando então apto a operar cilindros de sistemas hidráulicos de comportas e outros que operam em baixa velocidade. Tendo sido constatada forma-

ção de espuma no teste de desgaste somente na condição de operação em altas velocidades.

Todos os objetivos propostos no início do projeto foram realizados, tanto o principal quanto os demais resultados parciais gerados a cada etapa da metodologia seguida.

É possível substituir derivados de petróleo por produtos de origem de fontes renováveis, fazendo com que as atividades das empresas no uso dos recursos naturais, como o fluxo das águas, sejam ecologicamente corretas e não prejudiciais à natureza.

O uso do novo óleo não altera a qualidade dos serviços prestados pelas Geradoras, sua utilização tem caráter de prevenção evitando e minimizando os danos ambientais que poderiam ser causados na eventualidade de derramamento acidental do óleo no ambiente, no fluxo de água do rio, solo e subsolo.

Sua aplicação, por ser biodegradável e solúvel em água pode prevenir evitar ou reduzir significativamente os custos de recolhimento e destinação de volumes derramados acidentalmente bem como de multas ambientais que em geral são proporcionais aos danos estimados/constatados.

O projeto, e as Geradoras, alcançaram uma solução ambientalmente correta para o potencial problema de derramamento de óleo que usam em seus processos. A Itapebi e a Termopernambuco reconhecem a escala regional de sua interferência sobre o meio ambiente onde atuam, e tem um sistema de gestão integrado que busca melhorias contínuas em seus processos, de forma a aprimorar o desempenho do seu negócio e a *performance* ambiental, incentivando projetos e inovações tecnológicas e adotando medidas que resultem no uso eficiente e seguro dos recursos naturais de que fazem uso.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### *Relatórios Técnicos:*

- [1] M. F. A. Rodrigues, A. E. Maiorano, D. C. Linhares, Teste de Biodegradabilidade Imediata pela Medida de Dióxido de Carbono Desprendido em Sistema Aberto, IPT – Cent. de Tec. de Proc. e Produtos, Lab. de Biotec. Industrial, CTPP/LBI, Relatório Técnico 122 097-205, maio de 2011.
- [2] M. F. A. Rodrigues, A. E. Maiorano, D. C. Linhares, Teste de Biodegradabilidade Imediata de Substâncias Hidrossolúveis e Não Voláteis pela Medida do Decaimento da d<sub>90</sub>-solúvel, IPT – Cent. de Tec. de Proc. e Produtos, Lab. de Biotec. Industrial, CTPP/LBI, Relatório Técnico 121 546-205, abril de 2011.
- [3] M. F. A. Rodrigues, A. E. Maiorano, D. C. Linhares, Teste de Biodegradabilidade Imediata pela Medida de Dióxido de Carbono Desprendido em Sistema Aberto, IPT – Cent. de Tec. de Proc. e Produtos, Lab. de Biotec. Industrial, CTPP/LBI, Relatório Técnico 122 121 - 205, de maio de 2011

### *Normas:*

- [4] ANP Resolução Nº 10, DE 7.3.2007 – DOU 9.3.2007 Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis, 2007.
- [5] ASTM D 130:2012 Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test - Corrosão.
- [6] ASTM D 445:2012 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity), 2012 - Viscosidade a 40°C
- [7] NBR 14358 Produtos de petróleo - Cálculo do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática, ABNT, 07/2012.
- [8] ASTM D 664:2011 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration, 2.011 - TAN.

- [9] ASTM D 665: Standard Test Method for Rust-Preventing Characteristics of Inhibited Mineral Oil in the Presence of Water, 2.012-Prevenção corrosão
- [10] ASTM D 892 Standard Test Method for Foaming Characteristics of Lubricating Oils - Tendência / Estabilidade a formação de espuma.
- [11] ASTM D 4052:2011 Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter, 2.011 - Densidade a 20/4°C.
- [12] ASTM D 2896 Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration, 2011 - TBN
- [13] ASTM D4172:94(2010) Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four Ball Method), 2010.
- [14] ASTM D5846:07(2012) Standard Test Method for Universal Oxidation Test for Hydraulic and Turbine Oils Using the Universal Oxidation Test Apparatus, 2012. – Teste de oxidação.
- [15] ASTM D6813 - Performance Evaluation of Hydraulic Fluids for Piston Pumps.

Tabela III - Propriedades Físicas e Químicas – Ensaio pelo Laboratório LUBEX

Análise	Metodologia	Resultado			
		Unidade	UNIS CGTI 8.1	UNIS CGTI 8.2	UNIS CGTI 8.3
Ponto de Fluidez	ASTM D 97	°C	-48,0	- 51	- 51
Corrosão à lâmina de Cobre, 3h, 100°C	ASTM D 130:12	-	1 A	1 A	1 A
Viscosidade a 40°C	ASTM D445:2012	mm <sup>2</sup> /s	46,16	46,00	46,99
Viscosidade a 100°C	ASTM D445:2012	mm <sup>2</sup> /s	5,35	5,44	5,39
Índice de Viscosidade	NBR 14358	-	2	14	1
Viscosidade Brookfield, -26°C	ASTM D2983	Cp	14.897,0	12.697,0	16.596,0
TAN	ASTM D664:2011	mg KOH/g	8,55	18,05	10,05
Prevenção a corrosão, procedimento A, 4h	ASTM D 665	-	Aprovado	Aprovado	Aprovado
Tendência/Estabilidade a formaç espuma, seq. 1	ASTM D 892	MI	110/0	50/0	140/0
Tendência/Estabilidade a formaç espuma, seq. 2	ASTM D 892	MI	10/0	10/0	220/0
Tendência/Estabilidade a formaç espuma, seq. 3	ASTM D 892	MI	80/0	10/0	110/0
Cor ASTM	ASTM D 1500	-	L 1,5	L 1,5	L 2,0
Four ball (Soldagem – Estrema Pressão)	ASTM D2783	-	100 kg	126 kg	250 kg
TBN	ASTM D 2896	mg KOH/g	29,95	39,73	30,89
Densidade a 20/4°C	ASTM D 4052	g/cm <sup>3</sup>	1,18832	1,18791	1,18639
Four Ball-15 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	0,63	0,71	0,54
Four Ball-20 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	0,69	0,69	0,75
Four Ball-35 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	0,84	0,85	0,88
Four Ball-40 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	0,86	0,76	0,86
Four Ball-60 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	1,22	1,12	1,02
Four Ball-80 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	1,22	1,72	1,13
Four Ball-100 kg/Desgaste	ASTM D 4172	mm	1,47	-	-
Teor de água por Karl Fischer	ASTM 6304:2007	mg/kg	157.502,6	170.790,1	154.984,1
Contagem de partícula	ISO 4406	-	25/23/19	26/23/19	28/28/21
Contagem de partícula	NAS 1638	-	12	12	12