



## Propriedades de óleos isolantes de transformadores e a proteção do meio ambiente

### **Luiz Eduardo Friedenber**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Materiais. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia- CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS ([lefl@uol.com.br](mailto:lefl@uol.com.br))

### **Ruth Marlene Campomanes Santana**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Materiais. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia- CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS ([ruth.santana@ufrgs.br](mailto:ruth.santana@ufrgs.br))

**Resumo:** Os transformadores de potência utilizam óleo com a função de isolar e refrigerar o equipamento durante sua operação. Basicamente o óleo, juntamente com o papel kraft, constituem a isolamento dos transformadores, sendo portanto parte da capacitância formada entre seus enrolamentos de tensões diferentes, e entre estes enrolamentos e o tanque, que abriga o que é chamado de parte ativa. O líquido isolante mais utilizado atualmente é o óleo mineral naftênico. Estudos tem sido desenvolvidos com o intuito de possibilitar o uso, em escala mais ampla, do óleo vegetal em transformadores. Tempos atrás, o askarel foi um líquido isolante muito utilizado em transformadores e capacitores de potência, tendo sido proibido por sua toxicidade, bem como não ser biodegradável. Este trabalho tem por objetivo relacionar os óleos: minerais naftênicos e parafínicos, vegetais e o askarel, comparando suas propriedades para o ideal funcionamento dos equipamentos elétricos e suas influências com o meio ambiente, abordando os cuidados e medidas a serem adotadas na sua manipulação, estocagem e eliminação, buscando sempre o exercício das melhores práticas disponíveis, o que contribui, em consequência, para a melhor proteção ambiental possível.

**Palavras-chave:** Óleo, equipamentos elétricos, descarte adequado.

**Abstract :** The electrical industry employs, particularly in power transformers, some dielectric fluids for insulating and cooling functions to allow a proper performance during its operation time. Basically this fluid, together with the kraft paper, constitute the power transformers insulation, being therefore part of the capacitance formed between its different voltage windings, as well as these windings and the tank, which shelters, what is called the active part of an electrical equipment. The most used fluid nowadays is the naphthenic mineral oil. Researches have been carried out in order to make feasible using the vegetable oil in a wider scale for this electrical purpose. Some time ago the polychlorinated biphenyl, called generically – Askarel - was largely employed as an insulating fluid in power transformers and capacitors, had been prohibited its utilization due to its toxicity and harmful menace to the environment for not being biodegradable. This work intends to relate the dielectric fluids: mineral naphthenic and paraffinic oils, vegetable oil and askarel, comparing their properties for an ideal electrical equipment function and the interaction of each one with the environment, regarding the care and handling measures to be adopted for the best storage, decontamination and elimination, always exercising the best market practices, contributing consequently to the highest environment protection using the methods available worldwide.

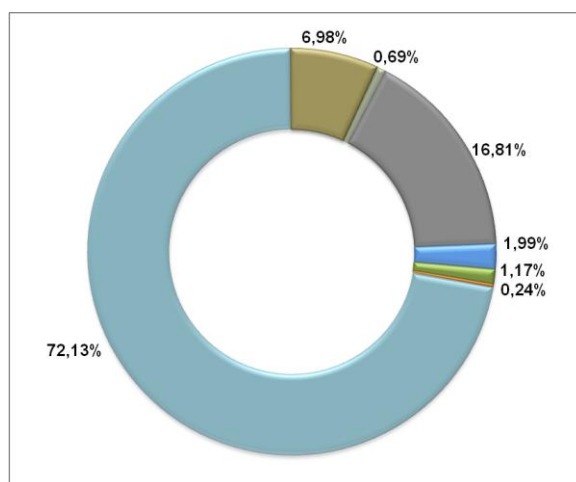
**Keywords :** oil, electrical apparatus, waste handling.



## 1. INTRODUÇÃO

Os fluidos isolantes utilizados em equipamentos elétricos existem em quantidade considerável, uma vez que se fazem presentes em vários equipamentos utilizados nas subestações de alta tensão. Considerando a extensão de proporções continentais do território brasileiro, possuindo um sistema de potência interligado de grande complexidade, onde a cada dia que passa aumenta a necessidade da incorporação de mais ativos ao mesmo, para atendimento de um mercado de energia em franca expansão, fica evidente a preocupação com os métodos a serem utilizados para proteção do meio ambiente, em caso de acidentes envolvendo estes equipamentos, e que venham a implicar em vazamentos, depositando no solo substâncias agressivas.

Conforme dados, de 31/12/2012, divulgados pelo ONS – Operador Nacional do Sistema – o SIN – Sistema Interligado Nacional – possui uma potência instalada da ordem de 100 GW, discriminados na Figura 1, abaixo.



	MW	%
<b>Hidro Nacional</b>	<b>72.283,4</b>	<b>72,13%</b>
<b>Hidro Itaipu</b>	<b>7.000,0</b>	<b>6,98%</b>
<b>Pequenas Hidros</b>	<b>686,5</b>	<b>0,69%</b>
<b>Térmica convencional</b>	<b>16.847,0</b>	<b>16,81%</b>
<b>Termonuclear</b>	<b>1.990,0</b>	<b>1,99%</b>
<b>Eólica</b>	<b>1.170,9</b>	<b>1,17%</b>
<b>Biomassa</b>	<b>239,2</b>	<b>0,24%</b>
<b>Total</b>	<b>100.217,0</b>	<b>100,00%</b>

Figura 1: Potência instalada no sistema elétrico brasileiro

Os números acima não deixam dúvidas com relação a magnitude do SIN. Esta potência deve ser escoada para atendimento das cargas, passando por subestações elevadoras (situadas junto a geração), interligadoras (situadas em pontos estratégicos do sistema) e rebaixadoras (situadas próximas aos centros de consumo). Nestas subestações encontram-se os equipamentos, com mais ênfase para os transformadores de potência, contendo óleos, que cumprem a importante missão de isolantes e refrigerantes, garantindo a possibilidade de utilização da referida potência elétrica



disponível. Estes dados tornam imprescindível um crescente cuidado a ser tomado com esta grande massa de óleo, para que sua finalidade seja alcançada em consonância com a proteção ambiental necessária.

## 2. O ÓLEO COMO COMPONENTE DA CAPACITÂNCIA ELÉTRICA

### 2.1 Capacitância

Dos três parâmetros de um circuito elétrico, resistência, indutância e capacitância, este último é o mais antigo. Em 1745 van Mussenbroek de Leyden realizou uma experiência com o propósito de preservar a eletricidade estática observada no ar. Colocando um isolante entre duas placas de metal, por fricção verificou que uma carga elétrica era criada. Pela primeira vez um método para acumulação de energia estava disponível [2]. Criou-se o primeiro capacitor.

Capacitância é então a quantidade de carga que um capacitor pode armazenar em suas placas quando submetidas a uma tensão, sendo o capacitor um elemento de circuito constituído de placas condutivas e um dielétrico, como mostra a Figura 2, onde  $A$  é a área das placa e  $d$  é a distância entre elas, ocupada pelo isolante.

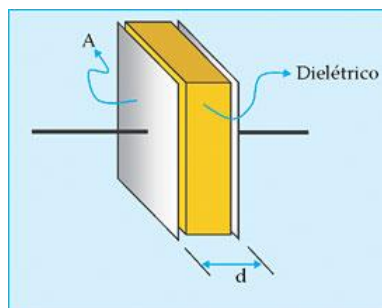


Figura 2: Representação esquemática de um capacitor

Quando uma tensão é aplicada aos terminais do capacitor teremos uma capacitância, expressa em *farads*, sendo dada pelo quociente da carga acumulada, em *coulombs*, pela tensão aplicada, em *volts*.

### 2.2 Capacitância num transformador de potência

Um transformador possui enrolamentos aos quais uma tensão é aplicada, sendo esta induzida à outros enrolamentos pelo princípio da indução eletromagnética. O óleo isolante é um dos componentes, o outro é o papel, que constitui, dentro do transformador, o dielétrico, formando assim capacitâncias entre seus enrolamentos, e entre esses enrolamentos e o tanque, conforme mostrado na Figura 3 abaixo.

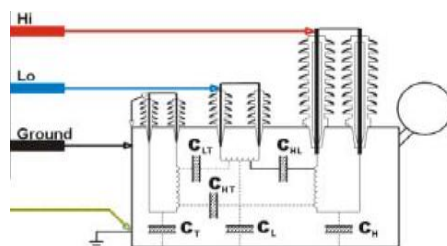


Figura 3: Capacitâncias no transformador



As capacitâncias estão mostradas esquematicamente, sendo que o óleo isolante é introduzido no tanque, cobrindo inteiramente a parte ativa do transformador, criando deste modo uma atmosfera inerte, necessária para que o equipamento possa cumprir sua função. Os volumes diferem em função dos projetos, que são vários, mas podemos fazer uma estimativa que um transformador de 200 MVA, tenha uma quantidade de óleo no entorno de 70.000 litros.

### 3 ASCAREL

#### 3.1 Características

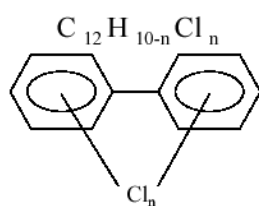
Transformadores e capacitores antigos usam o óleo ascarel, uma bifênica policlorada (PCB), com alto teor de cloro em sua fórmula química - 54,4 %. Seu uso extensivo foi motivado por características técnicas excepcionais - grande rigidez dielétrica, alta condutividade térmica, boa estabilidade química, não-inflamabilidade e capacidade de resistir a altas temperaturas (650° C) [3].

O ascarel é tóxico, bioacumulativo e não biodegradável, quando lançado ao meio ambiente pode atingir o plâncton afetando peixes, pássaros e o homem através da cadeia alimentar. Produz efeitos teratogênicos e carcinogênicos, além de lesões dermatológicas e alterações morfológicas nos dentes fígado e rins, constituindo-se num poluente orgânico persistente (POP) [4].

Estima-se que houve uma produção mundial da ordem de 1.200.000 toneladas, sendo que 60% foi utilizado em transformadores e capacitores.

Nunca houve a fabricação de Bifenilas Policloradas no Brasil. Os países produtores eram: Áustria, China, Tchecoslováquia, França, Alemanha, Itália, Japão, Rússia, Espanha, Reino Unido e Estados Unidos [5].

Em 1982, um ano após a edição da portaria 019, o Comitê Brasileiro de Eletricidade – COBEI, da ABNT, ao qual estava subordinada a comissão de estudos encarregada de elaborar a NBR-8371, recebeu levantamento feito pela CACEX indicando que no período de 1945 a 1981 haviam sido importadas 21.000 toneladas de fluidos isolantes à base de PCBs para transformadores e 5.000 toneladas de fluidos isolantes à base de PCBs para capacitores.



MARCA	FABRICANTE
Aroclor	Monsanto USA
Chlorextol	Allis - Chalmers USA
Clophen	Bayer Alemanha
Dykanol	Federal Pacific Electric Co. USA
Fenclor	Caffaro S.P.A Itália
Inerteen	Westinghouse USA
Kanechlor	Kanegafuchi Japão
NoFlamol	Wagner Electric Corp. USA
Phenoclor	Prodelec França
Pyralene	Prodelec França
Pyranol	General Electric USA
Santotherm	Mitsubishi/Monsanto Japão

Figura 4: Molécula Ascarel Tabela 1: Marcas comerciais dos ascaréis

#### 3.2 Proibição

Em 1976, após os primeiros registros de contaminação ambiental, os países produtores de



ascarel foram gradativamente interrompendo sua fabricação, comercialização e utilização.

No Brasil a Portaria Interministerial (MIC/MI/MME) 0019 de 19/01/81, regula a utilização do ascarel, salientando-se os itens abaixo:

- Proíbe, em todo o território nacional, a fabricação, comercialização e uso das PCBs, em estado puro ou mistura, e estabelece prazos para cada aplicação.
- Estabelece que os transformadores em operação na data da publicação poderão continuar funcionando até que seja necessário seu esvaziamento, quando não poderão ser reenchidos com o mesmo fluido. Somente com outro que não contenha PCBs.
- Proíbe o descarte em aterros sanitários, cursos e coleções de água, etc.  
Segundo esta portaria, somente é permitido o armazenamento ou destruição do produto.

A Instrução Normativa Sema STC/CRS-001 de 15/06/86, estabelece:

- Procedimentos para manuseio, primeiros socorros, transporte e armazenamento de materiais contendo PCBs.

Norma ABNT/NBR-8371:

- Trata-se de um guia de procedimentos e apresenta o mesmo teor da Instrução Normativa SEMA, sendo mais completa quanto à rotulagem, transporte e armazenamento.
- A primeira versão da norma foi publicada em 1987, tendo sido revisada em 1997 e 2005, razão pela qual tornou obsoleto o conteúdo da Instrução. Normativa que, no entanto, permanece em vigor.
- Prescreve os procedimentos para manuseio das PCBs de uma forma geral, além de fornecer instruções para a operação e manutenção de equipamentos elétricos PCB.
- Procura estabelecer critérios para a classificação de equipamentos elétricos em função do teor de PCBs em seu fluido isolante e dá indicações quanto à destinação final.

A legislação norte americana possui alguns pontos de interesse, que estão identificados abaixo:

A regulamentação estabelece que “qualquer transformador será classificado como PCB até que uma análise química de seu líquido isolante prove o contrário”.

Os transformadores ou outros equipamentos elétricos serão classificados de acordo com o teor de PCBs em seu meio isolante como a seguir:

- Menos de 50 ppm/p: **Classe Não PCB** - Não sujeito à legislação
- Entre 50 e 500 ppm/p: **Classe Contaminado por PCBs**
- Acima de 500 ppm/p: **Classe PCB**

As condições de utilização são as seguintes:

- Classe Contaminado : Sem restrições de uso ou manutenção. Não poderão ter o nível completado com óleo contendo mais de 500 ppm/p de PCB.
- Classe PCB : Podem operar até o fim de sua vida útil
- Requerem inspeção trimestral
- Devem ser rotulados e sinalizados
- Deve-se manter registros na empresa, e no corpo de bombeiros





- Não deve haver combustíveis, alimentos, água e outros líquidos isolantes em locais próximos.
- Devem ter meio de contenção de vazamentos.
- Não podem sofrer manutenção que envolva a retirada de bobinas.
- Podem ser reclassificados para classe “Não PCB” após ensaio que comprove a redução do teor de PCBs no líquido isolante.

### 3.3 Descarte

- Aterramento

Embora esta tecnologia encontre larga utilização para vários tipos de resíduos, seu emprego vem sendo cada vez mais limitado, já que nestes casos o material aterrado permanece inalterado por longos períodos de tempo e, na maioria dos casos, voltará a entrar em contato com o ambiente num futuro indeterminado. Mesmo para resíduos menos perigosos, a técnica de aterramento vem sendo substituída por técnicas ambientalmente mais seguras [5].

- Incineração

A destruição do ascarel por incineradores convencionais, que operam em baixas temperaturas, apresenta problemas pela possibilidade de formação de produtos ainda mais tóxicos que o ascarel como as dioxinas e furanos [3].

A incineração de metais contaminados com PCBs apresenta uma série de inconvenientes, a saber:

- ✓ riscos potenciais de saúde apresentados pelo processo de preparação (picotagem) dos equipamentos para serem introduzidos no incinerador, submetendo os trabalhadores ao contato intenso com o PCB, mesmo que devidamente protegidos;
- ✓ inutilização dos resíduos que poderiam ser reciclados, o que representa desperdício de energia e de material;
- ✓ necessidade de um aterro "Classe I" para disposição das cinzas geradas pelos compostos inorgânicos-metals;
- ✓ geração de efluentes líquidos e gasosos que precisam ser tratados antes do descarte final;
- ✓ riscos potenciais apresentados pela destruição dos organoclorados impregnados no interior dos "pedaços de transformadores picotados" - os PCBs são de difícil oxidação no interior de bobinas, o que representa um futuro risco de geração de um passivo ambiental, visto esse material ser disposto como cinza em aterros controlados [6].

- Descontaminação

O processo de descontaminação é a tecnologia ecologicamente correta visto que:

- ✓ não gera qualquer tipo de efluente e nem potenciais passivos ambientais;
- ✓ reutiliza os metais ao invés de inutiliza-los;
- ✓ baixíssimo consumo de energia se comparado com a incineração;
- ✓ não expõe o homem aos produtos tóxicos [6].

Os processos de descontaminação de última geração ocorrem em autoclaves que operam a vácuo, onde são introduzidas as carcaças e partes ativas dos transformadores. Essas autoclaves operam automaticamente supervisionadas por computadores. O solvente de extração (que faz a lavagem dos metais) circula num sistema fechado o qual é destilado continuamente, sendo o PCB segregado na destilação enviado à incineração [6].



O plasma térmico é a forma mais eficiente de dissociação de substâncias organo-cloradas em moléculas mais simples inertes e não-tóxicas. O material é decomposto no reator a plasma por descargas elétricas de alta densidade de energia e temperaturas (maiores que 1500 °C). O reator a plasma constitui-se numa alternativa para a incineração convencional pela alta eficiência e não formação de dioxinas e furanos [7].

### 3.4 Cuidados

As pessoas que necessitam realizar trabalhos com líquidos contendo PCB's devem tomar cuidados especiais e, entre eles, convém lembrar o seguinte:

- ✓ Evitar contato direto do líquido com a pele. Usar luvas, botas e avental adequados.
- ✓ Usar máscara de proteção para o rosto.
- ✓ Evitar respirar vapores, que contenham PCB. Evitar os vapores produzidos pelo arco elétrico.



Figura 5: Cuidados na manipulação do ascarel

## 4 ÓLEO MINERAL

### 4.1 Naftênico

Proveniente do refino do petróleo, o óleo mineral de base naftênica é hoje o fluido isolante mais usado na fabricação de transformadores de potência. Para tanto, apresenta certas características, que listamos abaixo.

- ✓ Boa condutividade térmica;
- ✓ Alto ponto de fulgor;
- ✓ Baixo custo de produção em larga escala;
- ✓ Alta capacidade de regeneração;
- ✓ Grande quantidade de testes físico-químicos, facilitando a manutenção;
- ✓ Baixa toxicidade;
- ✓ Biodegradabilidade.

De uma forma geral suas moléculas médias possuem entre 19 e 23 átomos de carbono arranjados em estrutura naftênica. Naftenos ou cicloalcanos são hidrocarbonetos saturados de cadeia fechada contendo um ou mais anéis, que podem possuir uma ou mais cadeias laterais. Os hidrocarbonetos que entram na composição do óleo mineral apresentam-se na forma de anéis benzênicos combinados a anéis alifáticos [9].

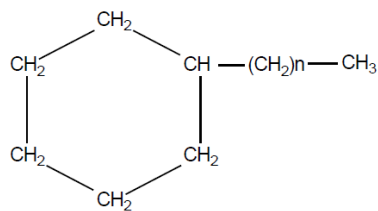


Figura 6: Cadeia naftênica

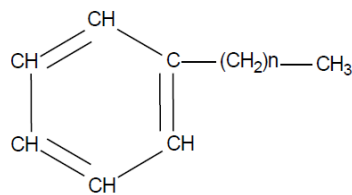


Figura 7: Estrutura base dos hidrocarbonetos aromáticos

Os parâmetros gerais de um óleo mineral para transformador são:

- ✓ Elétricos: Rigidez dielétrica, fator de perdas dielétricas;
- ✓ Químicos: Conteúdo de água, cromatografia gasosa, cromatografia líquida;
- ✓ Físicos: Tensão interfacial, viscosidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez [10].

Propriedades	Valor Médio Típico
Viscosidade cinemática (a 20 °C)	25,0 cSt
Ponto de fulgor	140 °C
Índice de Neutralização (máx)	0,03 mg KOH.g <sup>-1</sup>
Fator de Potência (a 25 °C)	0,05%
Fator de Potência (a 90 °C)	0,40%
Rigidez Dielétrica (Eletrodo de Disco)	30 kV
Rigidez Dielétrica (Eletrodo de Calota)	42 kV
Tensão Interfacial (a 25 °C)	40 dina.cm <sup>-1</sup>

Tabela 2: Características gerais do óleo mineral isolante novo

## 4.2 Parafínico

Também proveniente do refino do petróleo, o óleo mineral de base parafínica tem suas moléculas arranjadas em estrutura parafínica. Parafinas ou alcanos são hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta linear ou ramificada [9].

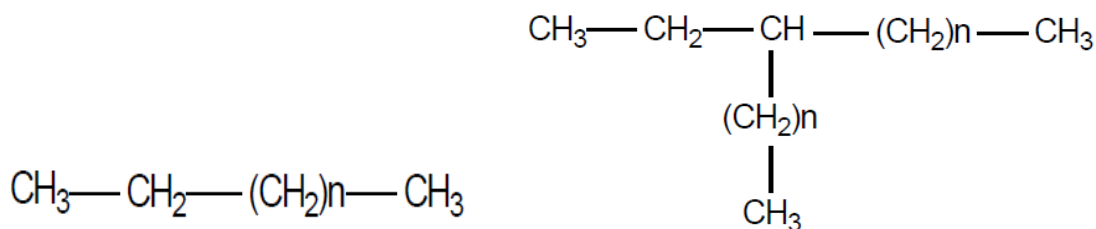


Figura 8: Cadeia parafínica linear

Figura 9: Cadeia parafínica ramificada

## 4.3 Comparação naftênico/parafínico

Apesar do óleo mineral isolante de base naftênica oxidar-se mais facilmente que o parafínico, os produtos da oxidação (i.e. borra) são mais solúveis nos óleos naftênicos do que nos parafínicos. Assim, os produtos da oxidação dos óleos naftênicos não se depositam no fundo do tanque dos transformadores, não obstruindo a circulação de óleo por convecção, preservando então o bom





funcionamento do sistema de arrefecimento do transformador. Nos óleos minerais parafínicos, apesar da taxa de oxidação ser inferior aos naftênicos, os produtos da oxidação são insolúveis no óleo precipitando-se no fundo do tanque do transformador, o que ocasiona a obstrução do fluxo de óleo, impedindo que o sistema de arrefecimento desempenhe adequadamente a sua função. Outro problema com os óleos parafínicos é o seu alto ponto de fluidez, devido seu conteúdo de cera. Esta limitação não é tão séria em locais onde o clima é sempre muito quente.

#### 4.4 Interação no meio ambiente

Mesmo sendo biodegradável, o óleo mineral isolante é bastante nocivo ao meio ambiente. Em caso de falhas ou vazamentos em transformadores, os compostos de hidrocarbonetos, devido sua relativa alta solubilidade na água, podem migrar, com infiltração da água de chuva, da superfície para a primeira camada do lençol freático. Por exemplo, 1 kg de óleo, que tenha vazado de um transformador para um reservatório, torna 5 milhões de litros de água impróprios para consumo [11].

Numericamente, a medida do potencial de contaminação de um fluido é medido pelo seu nível de biodegradabilidade. Para o óleo mineral este fator é muito baixo, sendo, de acordo com a norma OECD 301, de apenas 10%. Isto significa que após 28 dias da entrada do óleo no meio ambiente somente uma pequena parte dele é auto degradada. Assim as falhas relativas a curto circuito, e vazamentos de óleo mineral em geral são bastante nocivas ao meio ambiente (água, ar, solo), sendo os custos, para tratar seus efeitos, bastante altos [11].

Portanto os cuidados a serem tomados na manutenção destes equipamentos, prevenindo vazamentos e falhas deve ser muito grande, para que os efeitos de um acidente possam ser minimizados.

Outro problema verifica-se na inflamabilidade do óleo mineral, devido seu, relativamente baixo, ponto de ignição. Os produtos da combustão do óleo mineral, provenientes de sua ignição, devido a um curto circuito por exemplo, são considerados perigosos e causam uma grande poluição do ar. 1000 kg de óleo mineral queimado emite cerca de 10 kg de substâncias nocivas na atmosfera [11]. Bacias de contenção devem ser previstas nos nichos dos transformadores quando da construção de subestações, com capacidade suficiente para mitigar os efeitos de uma ocorrência, considerando também o acionamento do sistema anti-incêndio.

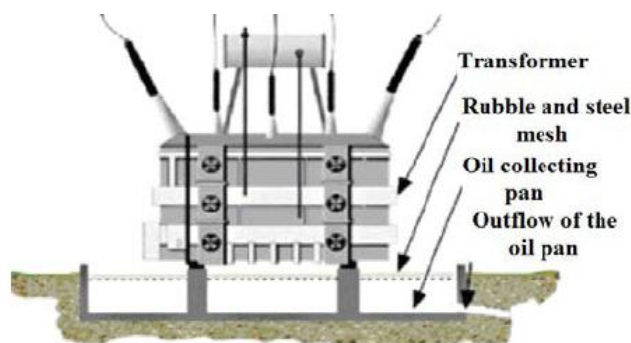


Figura 10: Transformador com bacia de contenção.

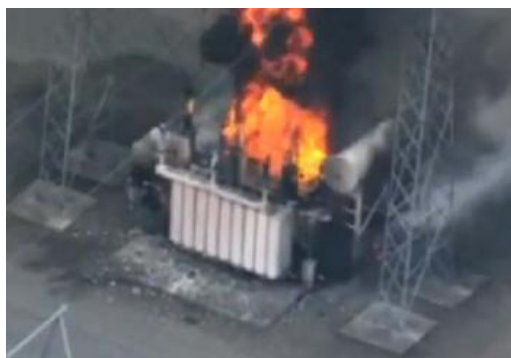


Figura 11: Falha com fogo

#### 4 ÓLEO VEGETAL

Uma alternativa de fluido isolante altamente benéfico ao meio ambiente reside nos ésteres



sintéticos e naturais, cuja base são óleos vegetais provenientes da canola, soja, milho, entre outros, cujas estruturas moleculares podem ser vistas abaixo.

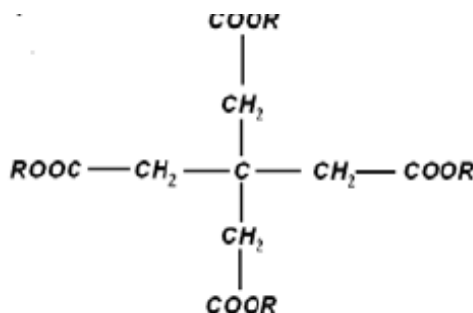


Figura 12: Estrutura química de éster sintético

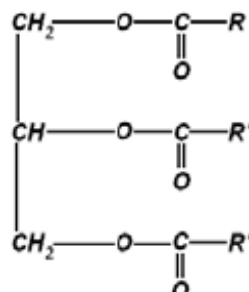


Figura 13: Estrutura química de éster natural

Além da alta biodegradabilidade, 89% para os ésteres sintéticos e 97% para os ésteres naturais, os óleos vegetais possuem alto ponto de ignição, o que implica numa significativa menor incidência de incêndios, bem como a fumaça proveniente de sua combustão ser menos densa, e nociva que a fumaça espessa dos óleos minerais. Considerando a norma OCDE 301, após 28 dias da contaminação, ambos os ésteres se auto-degradam em 60% [11].

Devido a sua composição química, os óleos vegetais tem alta afinidade com a água, provocando a migração da água presente na isolação sólida para o líquido, implicando numa diminuição da umidade na isolação sólida, e aumento de vida útil da mesma como consequência.

São isentos de compostos sulfúricos, não sendo suscetíveis portanto a falhas devido ação de enxofre corrosivo[12].

Outro parâmetro que confere vantagem ao óleo vegetal é a permissividade elétrica. A concepção do sistema de isolação dos enrolamentos de um transformador faz com que a distribuição das solicitações seja inversamente proporcional a permissividade elétrica do material que a criou. Como o sistema de isolação dos enrolamentos é composto por papel e óleo, o maior valor da permissividade elétrica dos ésteres diminui a solicitação elétrica nos enrolamentos.

Apesar dos excelentes atributos do óleo vegetal, vistos até agora, existem certas propriedades que implicam negativamente no desempenho dos transformadores.

- Para pequenos pulsos de tensão, com picos variando de 1,2  $\mu$ s à 50  $\mu$ s, os ésteres são mais suscetíveis à disrupção que os óleos minerais. Estas solicitações ocorrem continuamente na parte ativa do transformador, e ficam mais severas quanto maior é a tensão, implicando numa maior vulnerabilidade para os transformadores grandes, com tensões iguais ou maiores que 110 kV [11].
- Estudos experimentais indicaram que durante o processo de enchimento do transformador, o aquecimento dos ésteres determinado pela carga unitária de superfície ( $W/cm^2$ ), ocasiona o aumento do fator de perdas dielétricas no líquido, ultrapassando os limites estabelecidos por norma como mostrado no gráfico abaixo.

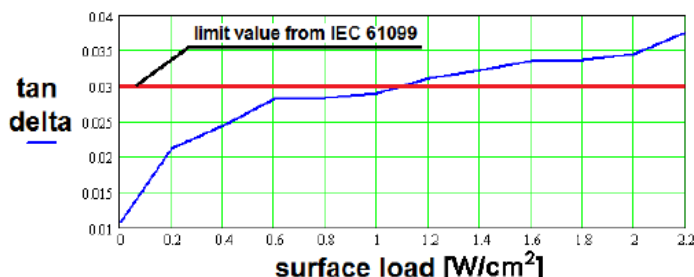


Figura 14: Variação das perdas em função da carga unitária de superfície

Este fenômeno deve-se a maior viscosidade dos ésteres que fazem as camadas do líquido prenderem-se a superfície do aquecedor, sendo que seu sobreaquecimento pode decompor as ligações moleculares. Isto implica na necessidade de um tempo maior para a produção do óleo vegetal em relação ao mineral, que tendo viscosidade menor não apresenta o problema verificado.

A maior viscosidade dos ésteres influencia no desempenho do sistema de refrigeração do transformador, que durante sua operação apresentam perdas nos enrolamentos e no núcleo magnético. Estas perdas se transformam em calor, exigindo um bom funcionamento do sistema de refrigeração para que a vida útil do equipamento não seja abreviada.

A maior densidade dos ésteres faz com que esses líquidos não circulem livremente e com a velocidade apropriada através dos diminutos canais de refrigeração dos enrolamentos, assim como faz o óleo mineral, não atingindo assim todos os pequenos espaços da isolamento sólida. Deste modo o projeto de transformadores que serão isolados com óleo vegetal, deve contemplar um dimensionamento dos canais de refrigeração mais largos comparados com aqueles projetados para enchimento com óleo mineral.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as características dos óleos isolantes mostrados neste trabalho, verificamos que existe uma tendência de proporcionalidade inversa considerando as propriedades que um óleo deve apresentar para cumprir adequadamente o seu papel de isolar e refrigerar um transformador, e as solicitações de proteção ambiental que se fazem cada vez mais presentes nas instituições e na sociedade.

Os óleos vegetais apresentam-se como uma boa alternativa aos minerais, mais precisamente em locais onde a proteção ambiental é mais requerida, devendo os mesmos ser desenvolvidos para superar suas limitações, bem como os custos dos projetos dos transformadores que utilizarão os ésteres poderem ser mais baixos, em função de uma maior demanda pelo ecologicamente correto.

### Referencias Bibliográficas

1. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Dados relevantes – 2012.
2. R.E. Scott. LINEAR CIRCUITS – 1960. USA
3. [www.ifi.unicamp.br/ascarel](http://www.ifi.unicamp.br/ascarel)
4. I. Antonello. DETERMINAÇÃO DE ASCAREL EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE DE TRANSFORMADOR. UFSC. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas – Departamento de Química.



5. ESTUDO SBRE AS BIFENILAS POLICLORADAS. Proposta para atendimento à Convenção de Estocolmo – Anexo A – Parte 2.
6. AMBIENTE BRASIL. Manage energy better. [www.tecori.com.br](http://www.tecori.com.br)
7. A. Marotta, A. M. Essiptchouk, E. V. A. da Silva, C. Otani, G. P. Filho, A. C. P. Filho. DESTUIÇÃO DE ASCAREL (PCBs) POR PLASMA TÉRMICO. Laboratório de Plasma Industrial/ Inst. Física/UNICAMP.
8. LORENCINI Brasil. Soluções em análises de óleos e fluidos isolantes utilizados em transformadores de energia.
9. M. D. G. Portella. AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE INDICADORES DE OXIDAÇÃO DO PAPEL ISOLANTE TERMOESTABILIZADO EM EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES. Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
10. APAR INDUSTRIES LTD. Oil division. Mumbai, India.
11. P. Rozga, Dr., PhD Eng. PROPERTIES OF NEW ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BIODEGRADABLE INSULATING FLUIDS FOR POWER TRANSFORMERS. Technical University of Lodz, Poland.
12. BIOVOLT. Fluidos isolantes ambientalmente corretos.