

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MAURO CÉSAR DE AVILA

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES ELASTOMÉRICAS
COMPATÍVEIS COM ÉSTER NATURAL ISOLANTE (ENI) UTILIZADOS EM
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

CURITIBA

2021

Mauro César de Avila

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES ELASTOMÉRICAS
COMPATÍVEIS COM ÉSTER NATURAL ISOLANTE (ENI) UTILIZADOS EM
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência dos materiais.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Marilda Munaro

CURITIBA

2021

À minha esposa leda pelo apoio, carinho e por acreditar em mim nos momentos em que eu mesmo não acreditava. À minha filha Alice por ser motivação, combustível e conforto em todos os momentos da minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza e amparo, que me ama e conhece e que me carrega nos braços quando me faltam forças para caminhar.

À minha filha Alice, minha maior realização, a motivação para ser e fazer cada dia melhor, quem fez minha vida ter outro sentido e outra cor e de quem precisei estar ausente muitas vezes.

À minha esposa e amiga Ieda, a quem eu precisaria de outra vida para agradecer de forma justa toda a amizade, dedicação, paciência, carinho e compreensão e certamente a pessoa que mais acreditou que eu era capaz.

Aos meus pais Naraci e Rovani por terem feito de mim o que sou, pelos valores que me ensinaram, pelo amor incondicional, pelo sacrifício incalculável pela minha educação e a quem devo tudo o que conquiste até hoje e à minha sogra Aida pela compreensão, carinho e cuidado que só uma mãe seria capaz de ter.

A minha irmã Tais por ser quem é, pelo simples fato de existir e ser a referência mais antiga de amor e amizade na minha vida. Ao meu irmão Glauton, a quem eu amo por tudo que é, por me fazer amadurecer mais cedo e pensar em ser exemplo para alguém e à minha cunhada Fabi, pela preocupação e amizade.

Aos meus sobrinhos Ramon, Iana, Adam, Flávia e a pequena Valéria, que são filhos do coração e pedaço de mim.

À minha orientadora Professora Dr^a Marilda Munaro, que foi muito além das orientações e ensinamentos, a quem com orgulho chamo de amiga, que me impulsiona e me é INSPIRAÇÃO profissional, ajudando e motivando nas horas de dificuldade em uma parceria que há de ser para a vida toda.

À amiga e colega Ana Paula Munaro pela parceria, pela ajuda tão valiosa e pela compreensão, pelos desabafos e apoio nas minhas limitações.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, PIPE, a todos os professores pelos valiosos ensinamentos e, em especial, ao Coordenador Professor Dr. Evaldo Ribeiro pela compreensão, apoio e palavras no momento que tanto necessitei e a Secretária Maria Neiva pela orientação e prontidão dispensados.

À empresa TECNOL S/A, em especial ao sócio proprietário Adilson por compreender, acreditar e motivar a mim na execução deste trabalho e pelo apoio ao projeto e interesse no estudo.

Aos colegas do laboratório de materiais do Lactec pelo apoio na execução deste trabalho.

Ao laboratório de óleos do Lactec pela execução dos ensaios de compatibilidade e fornecimento de informações importantes para a execução desta tese.

Aos fornecedores citados na dissertação, pelo fornecimento das amostras e informações valiosas.

À colega Eliane Rotini pela paciência, compreensão e amizade.

A minha colega, parceira e irmã de coração Roberta Vergara da Fonseca pela cumplicidade, cooperação e especialmente a amizade nestes anos todos.

À todas as pessoas que indiretamente participaram e colaboraram para a realização deste estudo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar aquilo
que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.

Arthur Schopenhauer

RESUMO

A energia elétrica é de grande importância para o desenvolvimento econômico e social, permitindo melhor qualidade de vida à sociedade e o crescimento tecnológico. O sistema de geração de energia é bastante complexo e a distribuição à longas distâncias depende de transformadores. Esse equipamento é constituído por um sistema isolante sólido envolto por um fluido isolante e este sistema vedado com anéis e gaxetas elastoméricas. O isolamento líquido, normalmente, é feito com óleo mineral isolante (OMI) e mais recentemente com um óleo vegetal, denominado éster natural isolante (ENI). A incompatibilidade do líquido isolante e do elastômero vedante pode danificar a vedação e reduzir a vida útil do transformador, provocando vazamentos que geram contaminação do solo e falhas no abastecimento de energia elétrica, entre outros. Diversos são os materiais empregados na confecção de vedações elastoméricas que necessitam, além de boas propriedades mecânicas, resistência química e bom desempenho em diferentes faixas de temperatura. Dentre os elastômeros utilizados com essa finalidade está a borracha nitrílica (NBR) com diferentes teores de acrilonitrila, os Fluorelastômeros do tipo FKM (VITON®), borracha nitrílica hidrogenada (HNBR) entre outros. Neste trabalho foi estudada a compatibilidade de alguns compostos com diferentes bases elastoméricas e os ésteres naturais produzidos a partir da soja e do milho. Os resultados mostram que o teor de acrilonitrila presente nos elastômeros nitrílicos tem forte influência no grau de entrecruzamento e na compatibilidade do elastômero com o éster. Também foi verificada a influência do teor de agente de entrecruzamento nas propriedades de barreira e a influência do elastômero na variação das propriedades físico-químicas do éster natural isolante. Por fim, foram avaliadas e propostas formulações que atendam as especificações, tanto sob o ponto de vista do elastômero quanto do ENI isolante.

Palavras-chave: Transformadores de potência. Éster natural isolante. Borracha nitrílica. Compatibilidade.

ABSTRACT

Electric energy is of great importance for economic and social development, allowing for a better quality of life for society and technological growth. The power generation system is quite complex and distribution over long distances depends on transformers. This equipment is composed of a solid insulation system surrounded by an insulating fluid and this system sealed by elastomeric rings and gaskets. Insulating liquids is usually done with mineral insulating oil (MIO) and more recently with a vegetable oil, called natural insulating ester (NIE). The incompatibility of the insulating liquid and the sealing elastomer can damage the seal and reduce the transformer's life, causing leaks that lead to soil contamination and power supply failures, among others. There are several materials used in the manufacture of elastomeric seals that need, in addition to good mechanical properties, chemical resistance and good performance in different temperature ranges. Among the elastomers used for this purpose is nitrile rubber (NBR) with different levels of acrylonitrile, FKM type fluoroelastomers (VITON®), hydrogenated nitrile rubber (HNBR) among others. In this work, the compatibility of some compounds with different elastomeric bases and with the natural esters produced from soybean and corn was studied. The results show that the acrylonitrile content present in the nitrile elastomers has a strong influence on the degree of crosslinking and on the compatibility of the elastomer with the ester. The influence of the crosslinking agent content on the barrier properties and the influence of the elastomer on the variation of the physicochemical properties of the insulating natural ester were also verified. Finally, formulations that met the specifications were evaluated and proposed, both from the point of view of elastomer and insulator NIE.

Keywords: Power transformers. Natural insulating ester. Nitrile rubber. Compatibility.