

FACULDADES OSWALDO CRUZ

QUÍMICA BACHARELADO

LUCAS TESSARINI ESTEVÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM VERNIZ MODIFICADO DE
APLICAÇÃO ELÉTRICA

SÃO PAULO

2017

LUCAS TESSARINI ESTEVÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM VERNIZ MODIFICADO DE APLICAÇÃO
ELÉTRICA

Monografia apresentada à
Faculdade Oswaldo Cruz, como
parte dos requisitos exigidos para
a conclusão do Curso de
Bacharelado em Química.

Orientador Temático: Prof^o. Me.
Ailton Camargo

Orientadora Metodológica: Prof^a.
Lilian Suzuki

SÃO PAULO

2017

LUCAS TESSARINI ESTEVÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM VERNIZ MODIFICADO DE APLICAÇÃO
ELÉTRICA

Monografia apresentada às
Faculdade Oswaldo Cruz, como
parte dos requisitos exigidos para
a conclusão do Curso de
Bacharelado em Química.

São Paulo,

Trabalho aprovado em (dia), de (mês) de (ano) pela seguinte Banca
Examinadora.

Prof^o. Me. Ailton Camargo – Faculdade Oswaldo Cruz

Prof^a. Dr^a. Juliana Izidoro – Faculdade Oswaldo Cruz

Prof^a. Lilian Suzuki – Faculdade Oswaldo Cruz

SÃO PAULO

2017

RESUMO

Os vernizes utilizados em aplicação no processo de barras estáticas em hidrelétricas apresentam limitações como resultados de análises químicas e físicas dos vernizes fora da especificação, logo é necessário um estudo de caso para padronização de características de tais vernizes, bem como para posterior troca de fornecedores ou matérias-primas. Por meio de desenvolvimento e controle, bem como ensaios instrumentais foi levantado às especificações destes vernizes para aplicação elétrica em hidrelétricas.

Deste modo, foi escolhido um produto, denominado de verniz modificado, que apresenta características compatíveis ao verniz anteriormente utilizado. Sendo assim, o presente trabalho mostrará as principais técnicas utilizadas para estas seguintes avaliações de caracterização: Envelhecimento em estufa, a impressão digital em infravermelho e ensaios térmicos como a análise termogravimétrica (TG) e a calorimetria exploratória diferencial (DSC), para que seja conhecido o comportamento do verniz, padronizar e se ele estará apto para o uso.

Palavras-chave: Verniz, hidrelétrica, barras estáticas, aplicação, envelhecimento, impressão digital.

ABSTRACT

The varnishes used in the stator bars process in hydroelectric plants present limitations as a result of chemical and physical analysis of the varnishes outside the specification, so a case study is necessary to standardize the characteristics of such varnishes, as well as for a subsequent exchange of suppliers or raw material. Through development and control as well as instrumental tests was raised to the specifications of these varnishes for electrical application in hydroelectric.

In this way, a product, called modified varnish, was chosen, which presents characteristics compatible with the previously used varnish. Therefore, the present project will show the main techniques used for these characterization evaluations: Oven aging, infrared finger printing and thermal tests such as thermogravimetric (TG) analysis and differential scanning calorimetry (DSC), to analyze the behavior of the varnish, standardize and if it will be fit to use.

Keywords: Varnish, hydropower, stator bars, application, aging, fingerprint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Configuração dos homopolímeros e copolímeros	11
Figura 2 Cadeias lineares, ramificadas e cruzadas de polímeros	12
Figura 3 Encadeamento da cadeia polimérica.....	12
Figura 4 Arranjos na cadeia polimérica	13
Figura 5 Curvas de tensão versus deformação, típicas para um plástico rígido e flexível, uma fibra e um elastômero.....	14
Figura 6 Teoria simplificada de funcionamento de um hidrogerador	20
Figura 7 Valores de infravermelho do verniz no infravermelho	24
Figura 8 Picos de absorção ao decorrer do tempo e temperatura.....	26
Figura 9 Curva de TG/DTG do verniz	26
Figura 10 Curva de DSC do verniz padrão a temperatura ambiente e curva com o verniz parcialmente curado em estufa a 120°C por 18h.....	27

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	POLÍMEROS	9
2.1	DEFINIÇÃO DA MACROMOLÉCULA	9
2.2	DEFINIÇÃO DE POLÍMERO	9
2.3	CLASSIFICAÇÕES	10
2.3.1	Homopolímeros e copolímeros	10
2.3.2	Fusibilidade e/ou solubilidade do polímero	11
2.3.3	Encadeamento da cadeia polimérica	12
2.3.4	Taticidade da cadeia polimérica	13
2.3.5	Comportamento mecânico do polímero	13
2.4	TIPOS DE RESINAS	14
2.4.1	Resina Acrílica	15
2.4.2	Resina Alquílica	15
2.4.3	Resina Vinílica	15
2.4.4	Resina Epóxi	15
2.4.5	Resina Poliéster	15
2.4.6	Resina Fenólica	16
2.5	O VERNIZ MODIFICADO	16
3.	ANÁLISE TÉRMICA	18
3.1	TG/DTG	18
3.2	DSC	18
3.3	ENVELHECIMENTO TÉRMICO	19
4.	APLICAÇÃO DO VERNIZ EM GERADOR NA HIDRELÉTRICA	20
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.1	ENVELHECIMENTO TÉRMICO	22
5.2	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	22
5.3	TERMOGRAVIMETRIA (TG)	22
5.4	CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA (DSC)	22
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23

6.1	ENVELHECIMENTO TÉRMICO	23
6.2	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	24
6.3	TERMOGRAVIMETRIA (TG).....	26
6.4	CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA (DSC).....	27
7.	PRÓXIMOS PASSOS	29
8.	CONCLUSÃO	30
9.	REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

A capacidade do homem em criar e pensar é algo evolutivo, desde períodos como Idade da pedra, fogo, bronze e ferro. Já mostrava indícios que os materiais conhecidos nessas épocas seriam primordiais no decorrer do tempo e que seriam conhecidos e estudados futuramente pelo homem.

Com os polímeros, não foi diferente, e possuem uma importância enorme desde a descoberta pelo químico alemão Berzelius em 1832. Assim o polímero foi estudado dentro dos contextos de Berzelius, mas só em 1922 o termo polímero ficou conhecido como é hoje (HAGE, 1998).

Os estudos ficavam cada vez mais avançados à medida que o tempo passava. Staudinger com o estudo da Macromolécula, Ziegler e Natta com o estudo do catalisador, entre outros importantes estudiosos que contribuíram com os conceitos de polímero, sua ciência, todo seu desenvolvimento tecnológico e sua síntese.

Dentro dessa síntese de novos polímeros, as resinas aparecem como parte essencial para o estudo de polímeros. Essas resinas são substâncias sólidas ou pastosas, que possuem propriedades químicas e tipos que permitem que sejam usadas na fabricação de diversos produtos, entre eles, o verniz, que nada mais é que uma solução de resinas compostas, essas resinas podem ser naturais ou sintéticas, e são as sintéticas que são poliméricas (CONCEITO.DE, 2014).

Considerando a importância do polímero, o seguinte trabalho tem o enfoque no estudo referente a um verniz modificado para fins industriais, no qual será feita uma caracterização desse verniz, quanto a sua estabilidade e análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), termogravimetria (TG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC).

A importância de se fazer um estudo como esse é mostrar um padrão para ser conhecido e seguido futuramente, através de uma norma interna para o verniz. Por exemplo, o estudo da estabilidade acelerada me mostrará a vida útil do verniz e as análises térmicas e o infravermelho, evidenciará características importantes do verniz, podendo ser o padrão para eventuais alterações que este venha sofrer.

O objetivo deste trabalho é obter resultados suficientes para criar um padrão e um melhor conhecimento e comportamento do verniz para aplicação em hidrelétricas.

2. POLÍMEROS

A origem do polímero é distribuída em dois grupos, os naturais e os sintéticos. Os naturais são aqueles encontrados na natureza e usados como padrões para os polímeros sintéticos, por exemplo, borracha, celulose, proteínas, polissacarídeos, entre outros. Já os polímeros sintéticos são oriundos de estudos baseados nos naturais, desenvolvimento da química orgânica e tecnologia ao decorrer do tempo, pois estão envolvidas reações químicas em laboratório para a síntese desses polímeros. Essas reações são de adição e condensação (MANO; MENDES, 1999).

Segundo os autores Mano e Mendes (1999) sobre preparação de um polímero:

Em relação ao método dessa preparação de polímero, é bastante usual a classificação em polímeros de adição e condensação, conforme ocorra uma simples reação de adição, sem subprodutos, ou uma reação em que são abstraídas, dos monômeros, pequenas moléculas. Além desses, ainda existem outros métodos, menos comuns, para a preparação de polímeros, como ciclização, abertura de anel, etc. (MANO; MENDES, 1999).

2.1 DEFINIÇÃO DA MACROMOLÉCULA

Para entender a fundo os polímeros, é essencial o conceito de macromolécula para o desenvolvimento do trabalho.

Segundo os autores Mano e Mendes (1999), sobre a macromolécula:

Há muita semelhança entre os conceitos de macromolécula e polímeros. Literalmente, macromoléculas são moléculas grandes, de elevado peso molecular, o qual decorre de sua complexidade química podendo ou não ter unidades químicas repetidas. (MANO; MENDES, 1999).

2.2 DEFINIÇÃO DE POLÍMERO

Segundo os autores Mano e Mendes (1999), sobre o polímero:

Polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas ligadas por covalências, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominados meros. O número de meros da cadeia polimérica é denominado grau de polimerização. (MANO; MENDES, 1999).

Então, detalhando o polímero, temos algumas definições como: Monômeros, meros, oligômeros, polimerização e o grau de polimerização.

Segundo os autores, Fernandes, Guenther e Ermel (2001), sobre algumas definições referentes ao polímero:

Monômeros são compostos que reagem para formar tal polímero. Mero é a parte que é repetida do monômero de um polímero. Oligômero é um polímero de baixo peso molecular, contendo até aproximadamente 10 unidades repetitivas. O termo oligômero significa poucas partes. Polimerização é reação pela qual os monômeros combinam-se para formar os polímeros. Grau de polimerização é número de meros na cadeia polimérica. (FERNANDES et al., 2001)

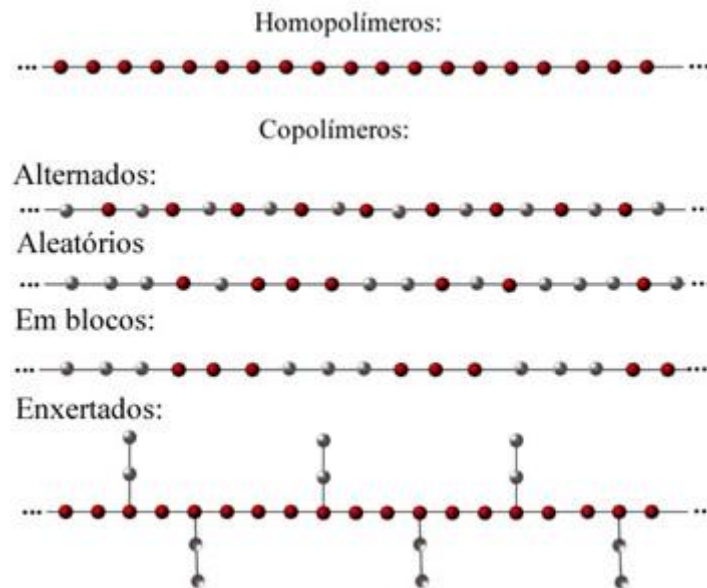
2.3 CLASSIFICAÇÕES

Os polímeros apresentam algumas classificações que permitem mostrar melhor o tipo de cada um, sendo assim haverá uma explicação sobre tais classificações e seus conceitos.

2.3.1 Homopolímeros e copolímeros

Os homopolímeros são polímeros que possuem apenas um tipo de mero em sua cadeia, enquanto os copolímeros possuem mais de um mero em sua cadeia.

Os copolímeros têm sua particularidade, eles podem dispor de formas diferentes suas unidades químicas, como: sequência alternada, no qual cada unidade química diferente se alterna na cadeia; em bloco, as unidades químicas alternam-se em sequência; enxertado quando a macromolécula da cadeia principal tem outro tipo de monômero ramificado em sua cadeia e aleatório, que as unidades químicas não seguem nenhum tipo de sequência programada (MANO; MENDES, 1999). A figura 1 mostra como são dispostos esse tipo de classificação.

Figura 1 Configuração dos homopolímeros e copolímeros

Fonte: Fogaça, 2017

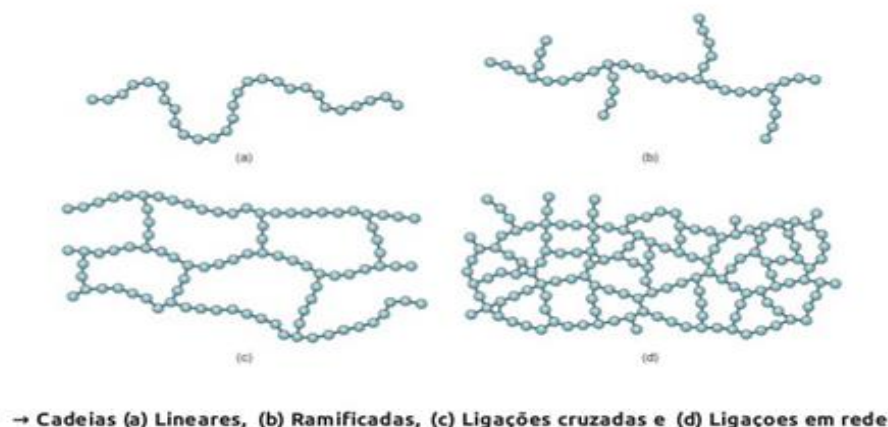
2.3.2 Fusibilidade e/ou solubilidade do polímero

Os termosfixos podem ser totalmente insolúveis a qualquer solvente, por conta disso acontece o intumescimento, que é caracterizado pelo enchimento do polímero. Em outros polímeros termosfixos podem se mostrar solúveis em determinados solventes, impedindo a formação das ligações hidrogênicas entre as cadeias. (MANO; MENDES, 1999).

Segundo os autores Mano e Mendes (1999) sobre polímeros termoplásticos e termosfixos:

Os termoplásticos fundem por aquecimento e solidificam por resfriamento, em um processo reversível. Os polímeros lineares ou ramificados pertencem a este grupo. Esses polímeros podem ser dissolvidos em solventes adequados. Os termosfixos, por aquecimento ou outra forma de tratamento, assumem estrutura reticulada, com ligações cruzadas, tornando-se infusíveis (MANO; MENDES, 1999).

Figura 2 Cadeias lineares, ramificadas e cruzadas de polímeros

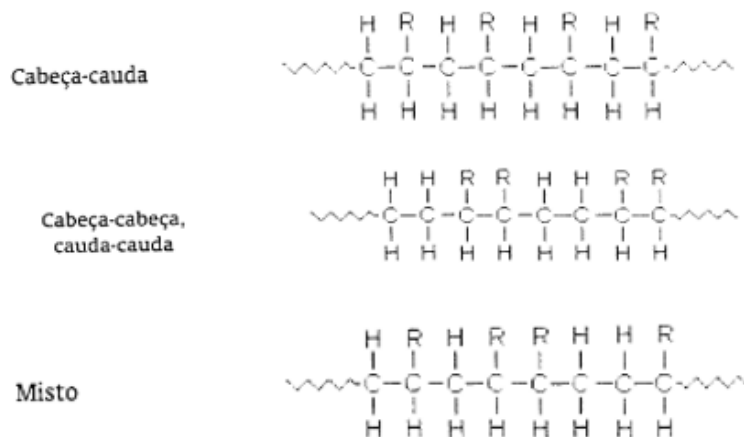


Fonte: Neves, 2015

2.3.3 Encadeamento da cadeia polimérica

O encadeamento refere-se a uma configuração em que o mero tem relação com mero vizinho. Partindo de uma estrutura vinílica genérica $-\text{[CH}_2\text{CHX]}_n-$; podendo ocorrer duas orientações dando origem aos seguintes encadeamentos da cadeia, como mostra a figura 3 (AKCELRUD, 2007).

Figura 3 Encadeamento da cadeia polimérica



Fonte: Mano; Mendes, 1999

Segundo os autores Fernandes, Guenther e Ermel (2001), sobre algumas definições referentes ao polímero:

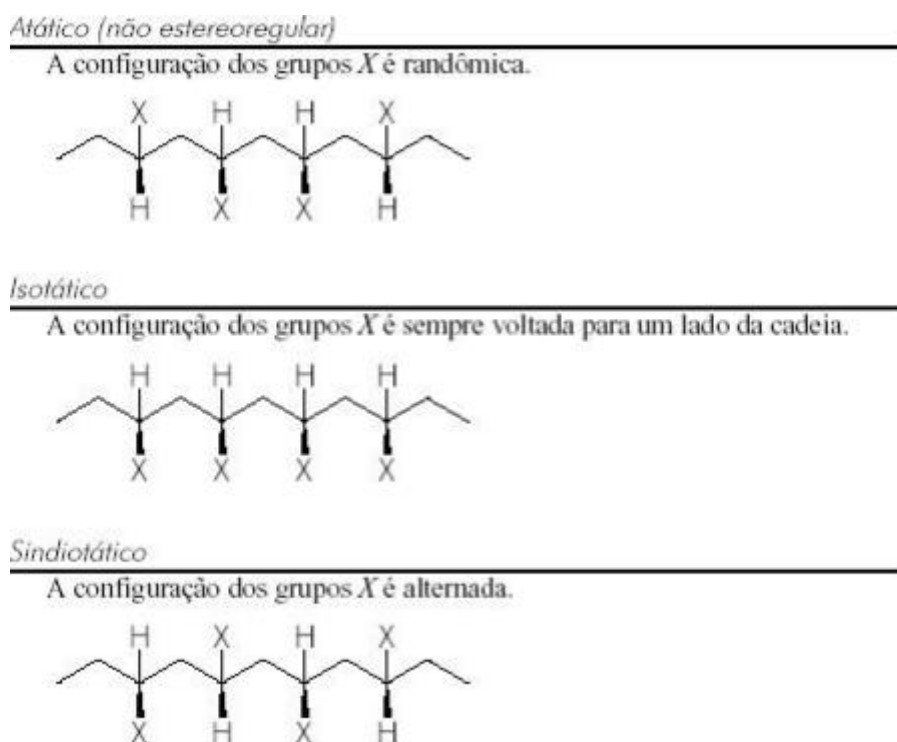
A denominação cabeça é dada à parte da unidade monomérica que comporta o grupo substituinte. Por outro lado, a denominação cauda é dada à parte da unidade monomérica que não possui grupo

substituinte. O encadeamento tipo cabeça-cauda durante a polimerização é o mais usual devido aos possíveis efeitos de impedimento espacial causado pelos grupos substituintes. (FERNANDES et al., 2001)

2.3.4 Taticidade da cadeia polimérica

Partindo do conceito de encadeamento de cabeça e cauda, podem existir três tipos de arranjos distintos, são os arranjos atático, isotático e sindiotático. A figura 4 mostra a configuração desses arranjos.

Figura 4 Arranjos na cadeia polimérica



Fonte: Felipetto, 2003

O atático mostra a configuração de um ligante X disposto randomicamente na cadeia, o isotático tem os ligantes X geometricamente voltados para apenas um lado da cadeia e o sindiotático é alternada a disposição dos ligantes.

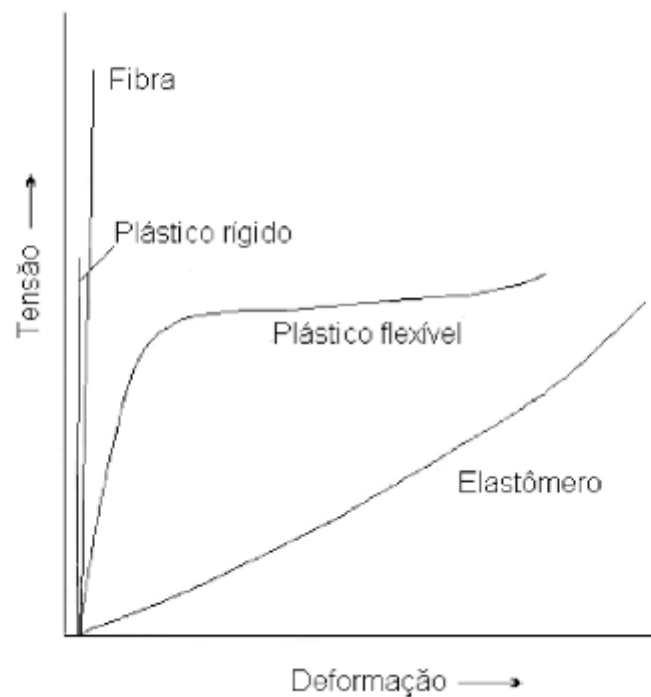
2.3.5 Comportamento mecânico do polímero

Os polímeros sintéticos possuem propriedades específicas quanto ao seu comportamento mecânico, logo existem três classes mais conhecidas: Plásticos, fibras e elastômeros, evidenciados pela figura 5.

Segundo os autores Fernandes, Guenther e Ermel (2001), sobre o comportamento mecânico dos polímeros:

Um método que pode ser usado para definir um membro de uma dessas categorias é a análise de um gráfico de tensão versus deformação. Plásticos rígidos e fibras são resistentes à deformação e são caracterizados por um valor de módulo alto e porcentagens de alongamento baixas. Elastômeros produzem deformação imediata e exibem porcentagens de alongamento altas e reversíveis, quando submetidos a pequenas tensões, isto é, exibem elasticidade. Plásticos reversíveis tem um comportamento intermediário. (FERNANDES et al., 2001)

Figura 5 Curvas de tensão versus deformação, típicas para um plástico rígido e flexível, uma fibra e um elastômero.



Fonte: Fernandes, Guenther e Ermel, 2001.

2.4 TIPOS DE RESINAS

Existem diversos tipos de resinas atualmente, no seguinte trabalho serão citados alguns tipos de resinas nas quais estão mais conhecidas e que estão em evidência no mercado.

2.4.1 Resina Acrílica

A partir de uma reação de polimerização entre um monômero acrílico mais o catalisador, a resina acrílica é obtida. Consegue ser dissolvido em solventes orgânicos e água. (BARBOSA, 2012)

Suas propriedades apresentam boa durabilidade, resistência a intempéries e é usada principalmente na construção civil, automobilismo e lentes.

2.4.2 Resina Alquídica

A resina alquídica é obtida a partir de uma reação de um poli álcool e um poliácido, com óleos secantes e glicerídeos, resultando em um poliéster modificado. Pode ser dissolvido em solventes orgânicos e água. Possui baixa resistência ao ambiente e a produtos químicos, baixa flexibilidade, tóxico e com alta impermeabilidade. Normalmente muito usada para vernizes e esmaltes. (BARBOSA, 2012)

2.4.3 Resina Vinílica

As resinas vinílicas são obtidas pela copolimerização em emulsão de acetato de etila com monômeros, como o cloreto de vinila. Podem ser dissolvidas em solventes orgânicos ou água. Possui excelentes propriedades para pintura com boa durabilidade e baixa resistência a solventes. (BARBOSA, 2012)

2.4.4 Resina Epóxi

A resina epóxi é um termofixo que muda seu aspecto físico com a mistura de um endurecedor (anidrido, por exemplo), sua propriedade permite proteger circuitos elétricos, ótima resistência a temperaturas e solventes, alta dureza e aderência. Por essas características ela é muito usada em hidrelétricas.

2.4.5 Resina Poliéster

A resina poliéster é muito conhecida e utilizada no mercado por conta de suas propriedades no ramo da construção civil e na mecânica.

Segundo a fonte POLIRESINAS, sobre a resina poliéster:

São compostos orgânicos derivados de petróleo que passam do estado líquido para o sólido através da polimerização, podem funcionar otimamente como plástico de engenharia, com boa resistência

mecânica a ponto de substituir aço, ferro e concreto. As aplicações mais frequentes dessa resina encontram-se nos setores de laminação, telhas, cascos de embarcações e carenagens de automóveis. (MASSAPLASTICALIDER, 2010)

2.4.6 Resina Fenólica

A resina fenólica está muito presente no mercado com sua alta resistência ao calor, é muito conhecida pelo seu processo de fabricação de baquelite.

Segundo Gardziella; Pilato; Knop, (2000) e Hesse, (2002) sobre a resina Fenólica:

A resina fenólica é uma resina sintética termofixa, obtida como produto da reação dos fenóis com o formaldeído. Às vezes, os precursores são outros aldeídos ou outro fenol. As resinas fenólicas são utilizadas principalmente na produção de circuitos impressos. São mais conhecidas para a produção de produtos moldados como bolas de bilhar, bancadas de laboratório, revestimentos e adesivos. Um exemplo bem conhecido é a baquelite, o mais antigo material industrial composto de polímeros sintéticos. (GARDZIRLLA et al., 2000 e HESSE, 2002)

2.5 O VERNIZ MODIFICADO

No presente trabalho, foi tratado um verniz modificado que é um eletro-isolante com determinadas propriedades características, como: elevada rigidez dielétrica, alta tenacidade da película endurecida, resistência a agentes químicos e ao calor.

Pode ser utilizado para qualquer finalidade na impregnação de artefatos elétricos, desde rotores, estatores e bobinas de qualquer tipo.

Este verniz não deve ser aquecido nem ser mantido ou armazenado em lugares quentes, pois tenderá a polimerizar de forma irreversível, tendo suas propriedades físicas alteradas do padrão fornecido.

O verniz possui cor âmbar, classe térmica F (suporta até 155°C) e sua viscosidade padrão medida em copo ford 4, que é o mais apropriado, é de 30 à 36 segundos.

Este verniz precisa tomar as seguintes precauções: Trabalhar em ambiente ventilado e usar EPI's adequados para manuseio direto com o produto. Em caso de contato com a pele, remover o produto com um pano e lavar com água e sabão. Em caso de contato com os olhos ou ingestão, encaminhar para o serviço médico e ter em mão o

boletim técnico para ter o conhecimento do produto para fazer algum tratamento adequado para tal exposição.

O armazenamento deverá ser feito em recipientes adequados para que o próprio verniz não reaja com o recipiente, os recipientes devem ficar fechados e fora do alcance de calor. (BOLETIM TÉCNICO, 2017)

3. ANÁLISE TÉRMICA

A análise térmica mede variações de suas propriedades físicas e químicas em função da temperatura, tendo uma atmosfera específica e uma programação controlada de temperatura para o estudo de um material.

Existe uma grande variedade de materiais para serem estudados por análise térmica, como termofixos, termoplásticos, compósitos, elastômeros, entre outros tipos de polímeros. Mostrando um “leque” de opções para estudos e desenvolvimento para estabilidade térmica relativa, cura e polimerização, cinética da reação, caracterização, mudança de estado e grau de cristalinidade. (KOREEDA, 2011)

Atualmente a análise térmica é mais conhecida pelas análises de TG/DTG e DSC.

3.1 TG/DTG

Segundo os autores Fernandes, Guenther e Ermel (2001), sobre o conceito de termogravimetria:

A análise termogravimétrica é definida como um processo contínuo que envolve a medida de variação de massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo a uma temperatura constante. A amostra pode ser aquecida ou resfriada, a uma velocidade selecionada, ou pode ser mantida a uma temperatura fixa. (FERNANDES et al., 2001)

Portanto, essa técnica possibilita acompanhar alterações que o aquecimento pode causar no material, reações de oxidação, desidratação e decomposição térmica, por exemplo, estabelecendo assim faixas de temperaturas onde esse material analisado tenha perda de massa ou se decompõe. (KOREEDA, 2011)

A DTG é termogravimetria derivada, a partir das curvas de TG a DTG corresponde à primeira derivada, possibilitando uma melhor visualização do evento acontecido e analisado pela TG, podendo ser analisada a variação da massa em função do tempo e da temperatura.

3.2 DSC

O DSC permite analisar mudanças químicas e físicas do material, pois sofrerá uma variação de entalpia dentro de um controle de temperatura estabelecido.

Segundo o autor Ionashiro (2014), sobre o conceito de calorimetria diferencial exploratória:

É uma técnica na qual a diferença de potência elétrica ou fluxo de calor entre uma amostra e um material de referência é medida em função da temperatura por meio de um calorímetro diferencial, que realiza uma medida exata do calor de transição entre esses materiais. A técnica permite identificar eventos endotérmicos ou exotérmicos ocasionados devido a transições de fase ou reações diversas que sejam capazes de causar variações de calor. Além disso, a Calorimetria Exploratória Diferencial permite ainda identificar transições de segunda ordem, como por exemplo, transições vítreas, fenômeno este que pode ocorrer em alguns materiais poliméricos e vítreos. (IONASHIRO, 2014)

3.3 ENVELHECIMENTO TÉRMICO

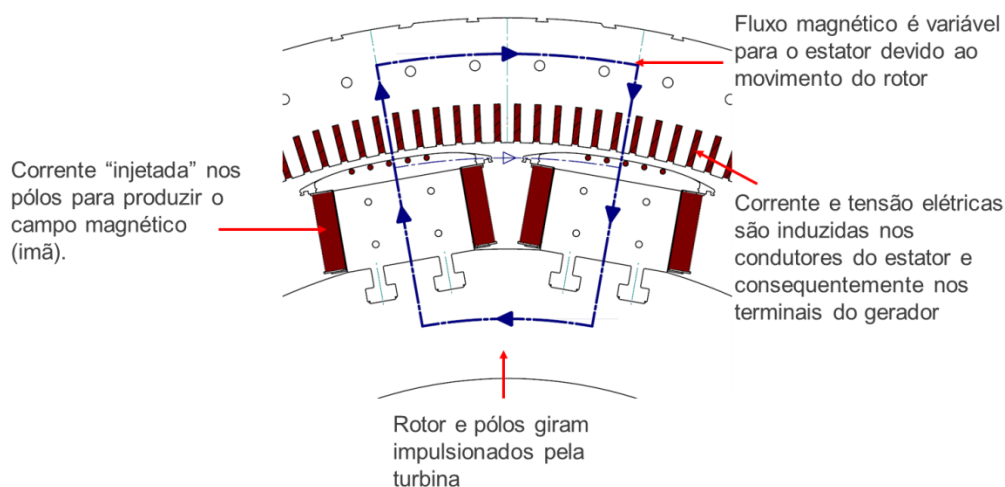
O envelhecimento térmico avalia o *Shelf life*, ou seja, determinar um tempo de uso para um material (validade do material), portanto é forçado um ambiente de temperatura desejada em estufa, para que de tempos em tempos seja feita a mesma análise inicial e comparado se houve alguma mudança no material.

Então a ideia é avaliar com a estabilidade acelerada se houve alguma variação física ou química ao decorrer do tempo, para que em lugares em que o produto possa ser armazenado ou utilizado seja usado dentro dos padrões de uso inicial.

4. APLICAÇÃO DO VERNIZ EM GERADOR NA HIDRELÉTRICA

A usina hidrelétrica é um sistema de energia renovável muito conhecido no mundo todo, ela armazena água em um reservatório “acumulando” a energia potencial, a qual é convertida em energia cinética. Isso ocorre pelo fluxo da água que chega às turbinas, regulando a rotação de um rotor acoplado a essas turbinas, o qual gira no interior de um estator. Esta combinação de eventos gera um fluxo magnético em espiras formadas por barras de cobre isoladas, instaladas em ranhuras do estator. Este mecanismo não muito simples, que ocorre em certa sintonia, transforma a energia cinética em energia elétrica. Basicamente, o rotor é composto por polos e no estator por barras estatóricas instaladas nas ranhuras de uma massa de aço silício (material magnético) chamado núcleo do estator. Os polos do rotor, quando excitados por uma corrente elétrica, são magnetizados. A rotação destes polos magnetizados forma um fluxo linhas de campo magnético variável que são confinadas no núcleo do estator, passando através das espiras formadas pelas barras estatóricas. A variação deste fluxo magnético no tempo, atravessando as espiras, induz uma corrente elétrica nos condutores de cobre que compõem cada barra estatórica. Portanto, no rotor os polos são girados e as barras no estator em formato de espiras ficam próximas a esses polos e essa proximidade das barras com os polos gera a condução elétrica, caracterizando assim a Lei da Faraday em máquinas hidrogeradoras. A figura 6 ilustra de forma simplificada a teoria de funcionamento dos hidrogeradores.

Figura 6 Teoria simplificada de funcionamento de um hidrogerador



Fonte: Elaborada internamente na Voith Ltda

Através de todo esse processo de obtenção de energia elétrica, todos esses componentes, como polos, turbinas, estator, etc.; possuem materiais que precisam ser estudados e trabalhados para o desenvolvimento dessa área e o presente trabalho tem como enfoque especificamente nas barras estatóricas.

Nos hidrogeradores, as barras do estator são formadas por um condutor metálico central (fios de cobre), isolado de materiais de alta resistência elétrica (compósito de mica-resina, por exemplo). Todas estas barras são instaladas em ranhuras do núcleo do estator. Por uma definição de projeto, uma parte do comprimento de cada barra (parte central das barras) é eletricamente aterrada na região de contato com as ranhuras do estator e as extremidades das barras, as quais ficam fora das ranhuras, não são eletricamente aterradas.

Quando o hidrogerador funciona ou é testado, a superfície das barras (partes não aterrada fora das ranhuras) tende a atingir um potencial elétrico elevado, a ponto de produzir descargas elétricas se este potencial elétrico de superfície não é devidamente controlado. Tal controle é efetuado por coberturas complementares, com propriedades semicondutoras, chamados da indústria de sistema de alívio de tensão elétrica de superfície. Estas coberturas podem ser feitas com fitas ou vernizes “carregadas ou dopadas” com carbeto de silício (SiC).

O propósito destas coberturas é proporcionar a variação suave e controlada do potencial de superfície ao longo das barras estatóricas, nas extremidades fora das ranhuras, minimizando o estresse elétrico e prevenindo contra a formação de descargas elétricas de superfícies nestas regiões das barras.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ENVELHECIMENTO TÉRMICO

O primeiro passo foi medir a viscosidade no copo ford 4 a 25 ° C. Então, três recipientes de 250 ml, foram preenchidos com verniz e mantido hermeticamente fechado. Estas amostras foram colocadas em estufas a 40° C, 50° C e 60 ° C durante 72 horas, após este período foram removidas das estufas e após arrefecimento até 25 ° C, a viscosidade foi novamente medida.

Ao decorrer da análise houve algumas mudanças no tempo de retirada dos recipientes deixando os mesmos mais tempo nas estufas, pois não houve nenhuma mudança significativa em tempos menores de 72h.

5.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

O equipamento utilizado foi um infravermelho de marca Perkin Elmer e foi analisado o verniz inicial para padrão (finger print), após o resultado foi colocado o verniz a cada hora, possibilitando ver curvas sobrepostas ao padrão inicial que permite analisar se houve alguma mudança nas curvas ao decorrer do tempo. Além disso, foi aquecido o verniz com o soprador de marca Black & Decker em cinco em cinco minutos, para obter uma análise do verniz após um aquecimento.

5.3 TERMOGRAVIMETRIA (TG)

O equipamento utilizado foi uma termobalança TG 209 F3Tarsus da marca NETZSCH. As curvas de TG/DTG foram obtidas na faixa de temperatura 35°C a 500°C. A massa utilizada do verniz analisado no TG foi de 20±3 mg em mini cadinho de cerâmica, atmosfera inerte (N₂) 10 ml/min e com rampa de aquecimento de 10°C/min.

5.4 CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA (DSC)

O equipamento utilizado foi um DSC 200 F3 Maia da marca NETZSCH. As curvas de DSC foram obtidas na faixa de temperatura de 35°C a 350°C. A massa utilizada do verniz analisado no DSC foi de 10±3 mg em mini cadinho de Al parcialmente fechados, atmosfera inerte (N₂) 50 mL/min e com rampa de aquecimento de 10°C/min.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ENVELHECIMENTO TÉRMICO

Os resultados de viscosidade para envelhecimento térmico foram medidos à medida que o tempo passava para todas as temperaturas, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 Resultados de viscosidade durante o tempo, para temperaturas de 40, 50 e 60°C

Viscosidade - Copo ford 4									
Verniz	Tempo								
	0 h	72 h	144 h	432 h	720 h	1128 h	1560 h	2040 h	3168 h
Temperatura A (40°C)	32s	32s	34s	36s	35s	35s	33s	31s	36s
Temperatura B (50°C)	36s	32s	34s	30s	35s	36s	40s	44s	54s
Temperatura C (60°C)	36s	51s	69s	66s	80s	160s	Gelificação	Gelificação	Gelificação

A escolha dessas temperaturas partiu de ambientes em que o verniz possa estar, no qual temperaturas podem chegar a 40°C ou até mais, as três temperaturas são temperaturas limites em que o verniz será testado, para que em quaisquer temperaturas abaixo disso ela seja apta para uso. A medida inicial, (0h) é a medida padrão a 25°C, ou seja, podendo chamar de temperatura ambiente.

Esse verniz poderá ser utilizado em diversas maquinas hidrogeradoras do mundo, então a vida útil do verniz é essencial para tais condições em que ele possa ficar.

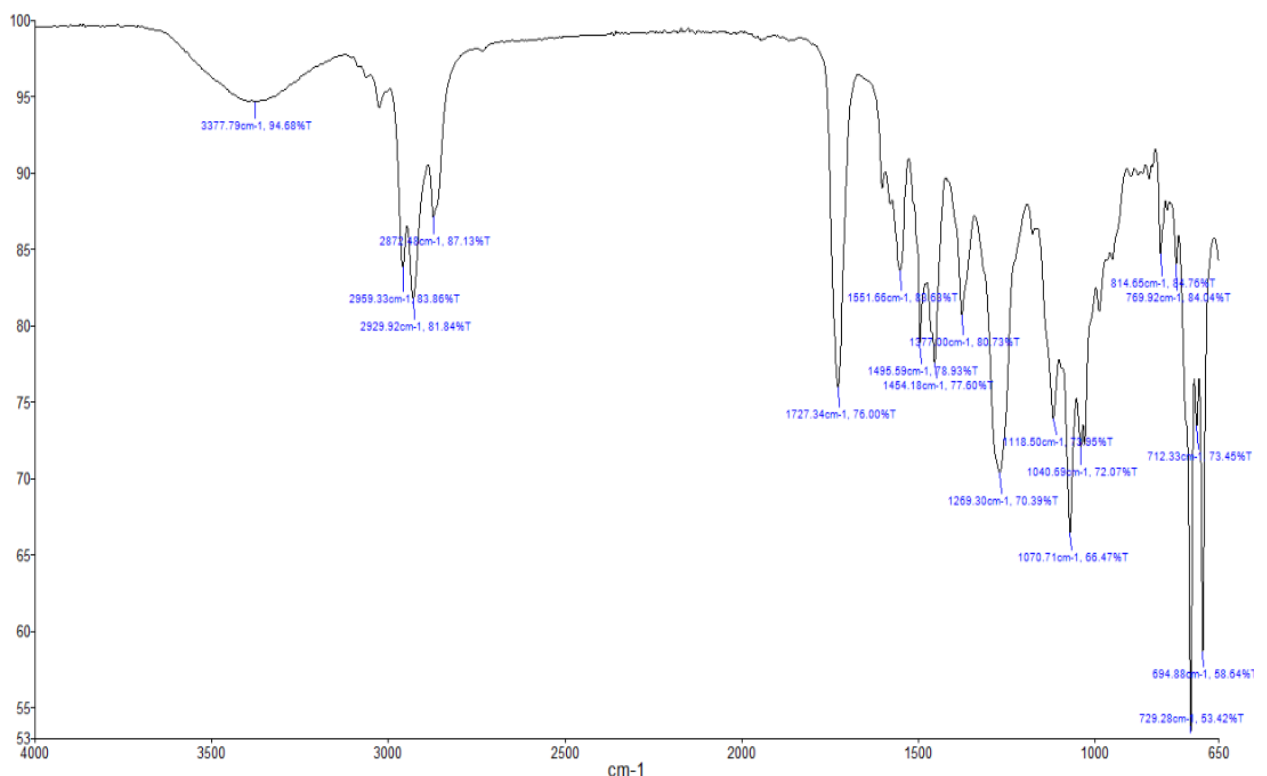
Como a especificação do material nos mostra que valores entre 30 e 36 segundos estão de acordo para uso, os valores iniciais estavam de acordo. Para A os valores até 3168 horas estão de acordo e dentro do padrão inicial de uso. Até 1128 horas de estufa, os valores para B estão sem nenhuma variação significativa, pois ainda estão dentro da especificação. Em 1560 horas a 3168 horas a variação de B obteve um pequeno aumento de sua viscosidade, o aumento não é significativo e poderia mesmo assim estar apto para uso, pois poderia estar dentro de um erro em que o uso ainda é possível,

entretanto ele está aumentando em tempos em tempos, podendo mais tarde não ficar mais dentro dos padrões consideráveis aceitáveis do verniz. Já C mostrou uma variação fora da especificação nas primeiras 72 horas, entretanto a variação não foi tão grande até 432 horas. Em 720 horas, o resultado se mostrou um pouco elevado, já mostrando indícios que estava em um grau que o uso do verniz não seria mais adequado. Em 1128 horas o resultado foi muito acima e com uma pequena formação de uma película no verniz, tendo uma dificuldade na medição de viscosidade. Em 2040 horas, obteve-se o que era esperado, gelificação do verniz, portanto o material estava inapto a partir daquelas condições.

6.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Os resultados obtidos nos espectros mostram na figura 7 como é a impressão digital do verniz.

Figura 7 Valores de infravermelho do verniz no infravermelho



Os espectros na região de 690 cm^{-1} a 900 cm^{-1} é um indicativo de anel aromático, uma vez que a própria composição é um verniz alquídico, butanol e solvente aromático. Especificamente falando do pico 729 cm^{-1} , está com uma intensidade forte e seguindo o valor tabelado esse pico é característico de uma propila.

Na região entre 1000 cm^{-1} a 1120 cm^{-1} existem picos não tão intensos, mas bem formados e partindo da composição nessa região o pico 1070 cm^{-1} é indicado a ser um álcool primário. Nos picos de 1495 cm^{-1} e 1551 cm^{-1} pode ser C=C de aromáticos, não está com um pico tão evidente, porém existem os picos nessa região do espectro e a banda 1495 cm^{-1} obscurecida.

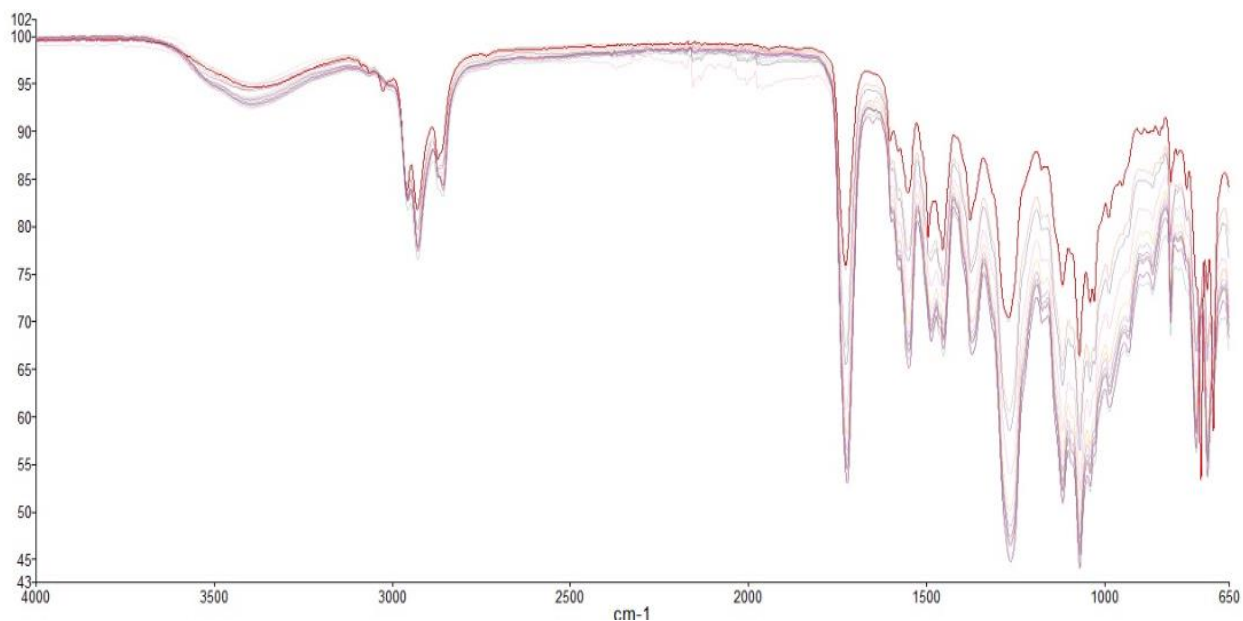
Toda essa região, é complexa, é uma região de fingerprint, uma região que caracteriza a molécula e a região menos complexa, com menos picos, é uma região de definição da molécula quanto sua função orgânica por exemplo.

Em 1727 cm^{-1} , é um pico de carbonila, carbonila nessa região e um C-H sp² na região 2872 cm^{-1} caracteriza um aldeído na molécula do verniz. Enquanto que o C-H sp³ está evidenciado nos picos de 2929 cm^{-1} e 2959 cm^{-1} .

Como possui aromático no verniz, o C-H sp² tem que estar presente, o que se subentende que ele possa estar interpolado aos picos das regiões de 2929 cm^{-1} e 2959 cm^{-1} também tem um pico pequeno na região de 3100 cm^{-1} que possa caracterizar C-H sp².

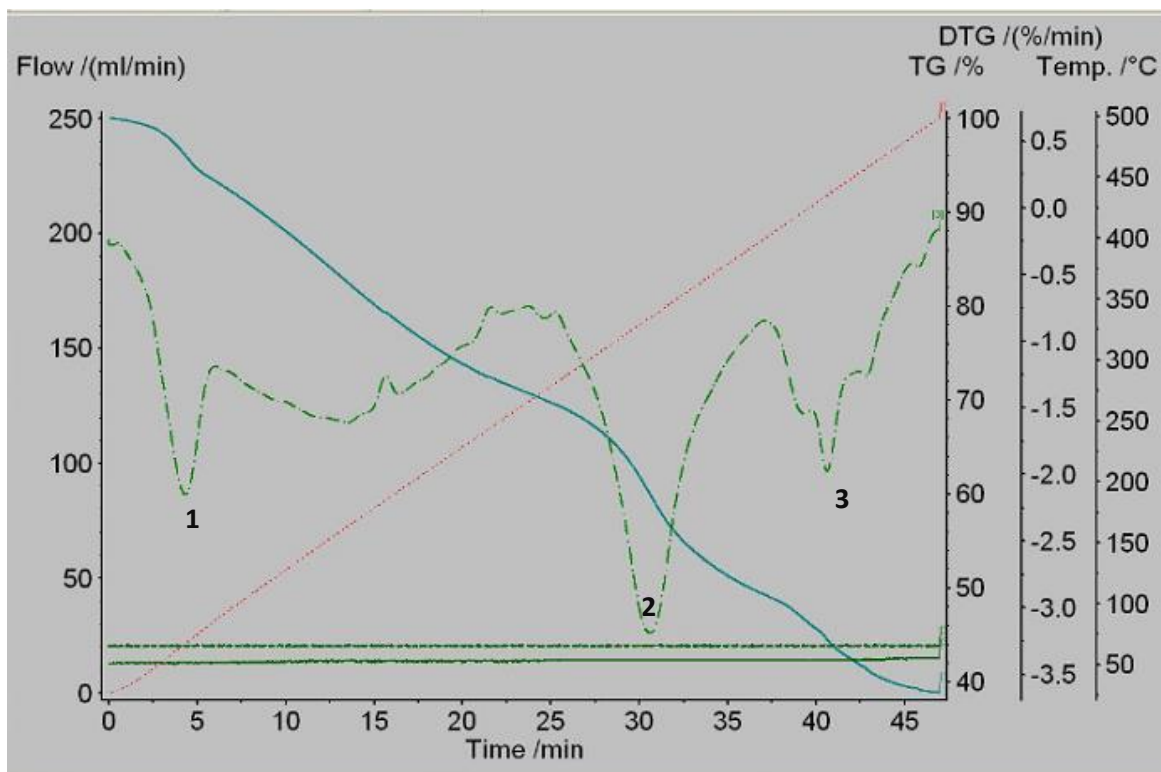
Em 3377 cm^{-1} tem um pico de banda larga podendo ser identificado como um O-H resultante de uma associação polimérica, sendo característico de um álcool. Existe a hipótese de ser apenas uma banda ocasionada pela umidade.

A figura 8 mostra picos expostos a diferentes situações, como T=0, que seria o padrão (Figura 7), depois dessa medição foram feitas mais cinco medidas a cada hora, após isso o verniz no próprio equipamento foi aquecido com o soprador chegando a uma temperatura de 50°C aproximadamente, essa análise foi feita a cada 5 min e depois a cada 30 min. A finalidade do teste era analisar o verniz em diferentes situações de tempo e temperatura para analisar se os espectros mudam ou sumam nessa situação, entretanto para primeira análise não obteve nenhuma mudança dos espectros, como evaporação de algum solvente por exemplo.

Figura 8 Picos de absorção ao decorrer do tempo e temperatura

6.3 TERMOGRAVIMETRIA (TG)

A figura 9 mostra uma curva de TG e DTG do verniz exposto até a temperatura de 500°C. Em %TG 100 inicia-se a perda de massa, característica dessa análise, à medida que vai aumentando a temperatura o verniz perde mais massa, notável pela primeira derivada da TG, a DTG, que permite uma melhor visualização dos eventos.

Figura 9 Curva de TG/DTG do verniz

No pico representado pelo número 1, entre as temperaturas de 40°C e 90°C é evidenciado por um primeiro evento de variação de massa T_i , essa perda de massa é relacionado com a volatilização de solvente do verniz analisado, pela análise dos espectros de infravermelho, essa perda de massa tem relação com o álcool, aldeído ou solvente aromático presente no verniz.

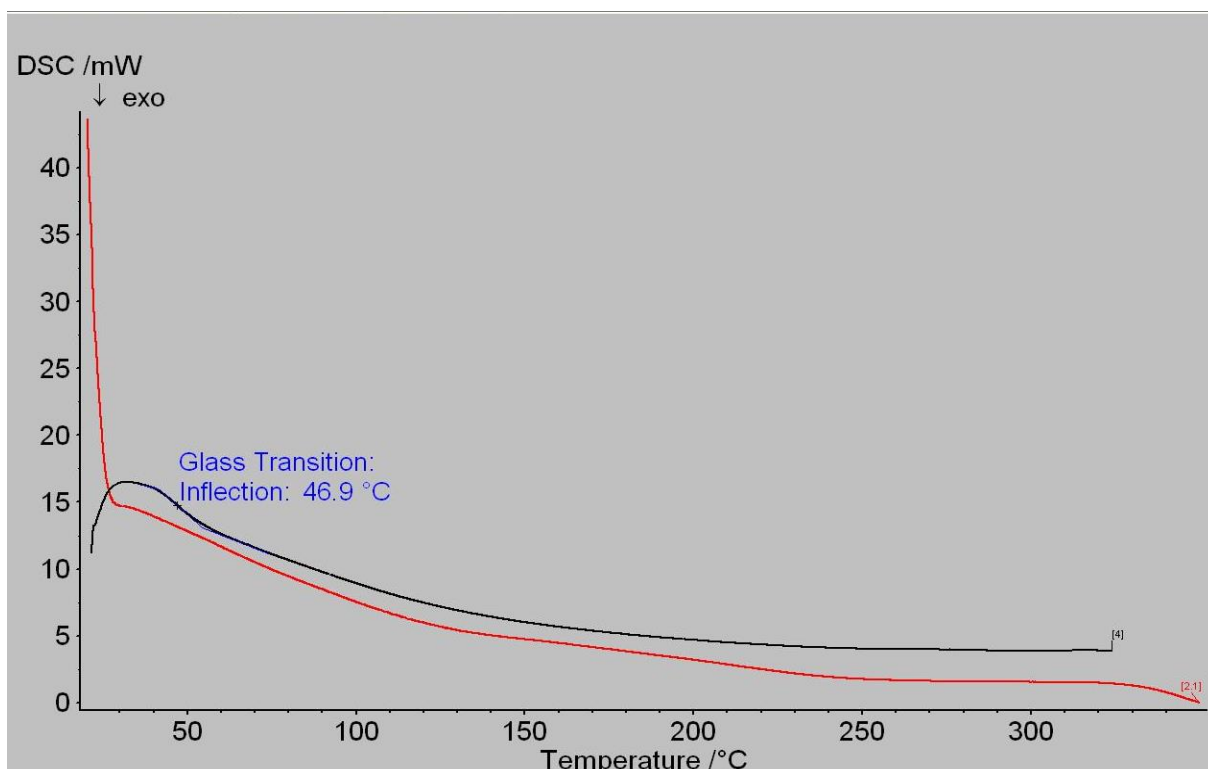
No pico representado pelo número 2, existe um evento grande que indica a decomposição do verniz em uma temperatura próxima a 300°C sendo a T_f do verniz, ou seja, é o momento em que a variação de massa do verniz tenha concluído esse processo.

No pico representado pelo número 3, existe mais um evento de variação de massa próximo a 400°C, como a decomposição já foi definida próximo a 300°C, esse evento indica que são resíduos do verniz na análise. Entre esses eventos, existem pequenas variações, porém com picos contrários ao de variação de massa como mostra a DTG, esses pequenos eventos são de reações secundárias à medida que a análise é feita.

6.4 CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA (DSC)

A figura 10 mostra um comparativo da curva de DSC do verniz padrão com o verniz parcialmente curado em estufa.

Figura 10 Curva de DSC do verniz padrão a temperatura ambiente e curva com o verniz parcialmente curado em estufa a 120°C por 18h.



O verniz padrão é evidenciado pela curva de cor vermelha. Foi considerado como sendo impressão digital do verniz, para efeitos comparativos do verniz caso seja necessário fazer um estudo específico previsto com o material.

A curva de cor preta mostra o material curado e é percebida mudança com a curva padrão. Foi possível identificar uma inflexão na curva na temperatura de 46,9°C, como é mostrado na figura, essa inflexão é identificada pelo equipamento de DSC e evidencia uma transição vítrea (T_g), no qual o verniz inicia uma transição do estado líquido para um estado mais viscoso, sendo uma transição de segunda ordem, e não há mudança na entalpia do verniz. Por volta dessa mesma temperatura, o TG mostrou um evento de volatilização do verniz, possuindo uma relação da caracterização com essa perda de massa no TG e com essa transição analisada no DSC.

7. PRÓXIMOS PASSOS

A caracterização do verniz, ainda será estudada na indústria para desenvolvimento e homologação de vernizes de hidrogeradores. Serão necessários novos ensaios, em um maior número de amostras e continuidade nos testes de envelhecimento térmico, por pelo menos 20 mil horas, utilizar DSC e TG para estudar alguns comportamentos específicos como, cura, decomposição, entre outros, fazer testes de aplicação no laboratório elétrico.

Caso a situação do verniz passe por estes testes e seja aprovada ao final da pesquisa e desenvolvimento, uma instrução de trabalho (norma interna) será escrita para que seja padronizado o uso desse verniz na utilização em hidrelétricas.

8. CONCLUSÃO

No teste de envelhecimento térmico, para a temperatura de 40°C, ela está dentro do padrão desejável e apto para uso, portanto se o verniz estiver armazenado em ambientes cuja temperatura chegue até 40°C durante aproximadamente quatro meses e meio, ele ainda estará apto para a aplicação nas barras estatóricas em obras de hidrogeradores, para esta análise.

Para ambientes que possam estar próximos a 50°C os testes mostraram algumas pequenas flutuações, mostrando que o verniz teve uma duração de até um mês e dezessete dias nessas condições e dentro da especificação padrão do verniz.

A temperatura de 60°C foi usada para extrapolação do verniz, para essa temperatura o verniz não suporta as condições e não poderá ser armazenado nesse tipo de ambiente e não estará apto para uso. Os resultados mostraram ainda que houve a gelificação do material, evidenciando essa variação de tempo e temperatura que o verniz sofre.

A análise de IR foi essencial, pois é conhecido um espectro padrão do verniz e a partir dele temos condições de comparar possíveis alterações na amostra, seja por fornecedor ou por estar em contato com alguma impureza, por exemplo, o verniz tem uma mudança de solvente que o fornecedor por engano trocou, a cor dele mudou, ou a viscosidade esta alterada, ou teor de sólido também, assim, colocamos no equipamento e comparamos com o padrão, no caso sabemos que foi detectado no verniz picos que mostram alguns tipos de absorção que indica um resultado coerente com a composição que a literatura do verniz mostra, por exemplo, álcool, solvente aromático, aldeído.

O TG evidenciou algumas características do verniz de perda de solvente e decomposição, ou seja, se o verniz não está tendo um comportamento adequado do esperado, ele passará por essa análise e assim, mostrará uma diferença de perda de solvente ou outro grau de decomposição, assim evidencia que a formulação do verniz esteja alterada.

Na análise de DSC obteve-se a curva padrão do verniz e um comparativo com o verniz parcialmente curado depois de permanecer na estufa, a amostra mostrou uma Tg característica do verniz analisado, isso tem grande importância, pois o Tg mostra mudanças das propriedades relacionadas do verniz, onde pode ser estudado o comportamento do verniz e também sendo uma boa ferramenta para identificação do material, portanto com a Tg naquela região fica claro que será característico deste verniz.

Analisando os dados obtidos e o objetivo proposto, conclui-se que é relevante a proposta do trabalho, pois permite uma composição de dados para aplicação e conhecimento do material estudado, sendo um início para aprimoramentos e mais análises de pesquisa para que seja aprovado esse novo candidato de verniz nas indústrias hidrogeradoras.

9. REFERÊNCIAS

- AKCELRUD, Leni. Fundamentos da ciência dos polímeros. Barueri, SP. Manole, 2007.
- CHEM.UCALGARY.CA. Chapter 13: Spectroscopy Dr. Ian Hunt, Department of Chemistry. Disponível em: <http://www.chem.ucalgary.ca/courses/351/Carey5th/Ch13/ch13-0.html> Acesso em: 25 de agosto.
- CONCEITO.DE. Resinas. Disponível em <https://conceito.de/resina> Acesso em: 12 de abril.
- FELIPETTO. E. Processamentos de polímeros. Departamento de engenharia mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em https://tifnet.com.br/disciplinas/polimeros_aula_01.pdf Acesso em: 21 de março.
- FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Copolímeros"; Brasil Escola. Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/copolimeros.htm>. Acesso em 22 de agosto de 2017.
- HAGE. ELIAS. Polimeros: Ciência e Tecnologia. Disponível em: www.scielo.br/pdf/po/v8n2/8310.pdf Matéria Elaborada pelo Prof. Dr. Elias Hage Jr., Univ. Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, São Carlos, SP, 1998
- GARDZIELLA, A., PILATO L.A., KNOP A., Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology, 2nd edition, Springer, 2000.
- IONASHIRO, MASSAO (2014). Giolito Fundamentos de Termogravimetria a Análise Térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial. São Paulo: VÉSPER. pp. 66 e 67
- IZABEL CRISTINA BARBOSA ANGHINETTI Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia Departamento de Engenharia de Materiais e Construção Curso de Especialização em Construção Civil Monografia TINTAS, SUAS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES IMOBILIÁRIAS. Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Junior Janeiro/ 2012
- KOREEDA, Tamy. Caracterização termoanalítica e estudo de cura de compósito de resina epóxi e mica com propriedades elétricas isolantes aplicado em máquinas hidrogeradoras. 2011. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Acesso em: 2017-08-31.
- LUCAS, Elizabete F., SOARES Bluma, G; MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros: Determinação de peso molecular e análise térmica. Rio de Janeiro: E-papers, 2001.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C.; Introdução a Polímeros, 2ª ed., Ed. Edgard Blücher Ltda.: São Paulo, 1999.

MASSAPLASTICALIDER. Poliresinas. Disponível em:
<<http://massaplasticalider.com.br/o-que-e-resinas-poliester>> Acesso em: 18 de abril.

MORAWETZ H. "Polymers: The Origins and Growth of a Science", publicado pela primeira vez em 1985 pela editora John Wiley & Sons e reeditada em 1995 pela editora Dover.

NEVES. D. Tecnologia de Manufatura. Processamento de Polímeros. Disponível em:http://pt.slideshare.net/davi_depro/aula08pro721 Acesso em: 23/11/2015.

SÃO MARCO. Vernizes e resinas. Disponível em:
<http://www.saomarco.com.br/manager/pt/arquivos/1/produtos/Site%20Prods%20Vernizes_TE-524.pdf>

WOLFGANG, HESSE "Phenolic Resins" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2002, Wiley-VCH, Weinheim.