

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

TAMARA YUKEMI AGUENA

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE SUPORTE PARA  
MELHORIA EM ENSAIO DE NÉVOA SALINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2017

TAMARA YUKEMI AGUENA

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE SUPORTE PARA  
MELHORIA EM ENSAIO DE NÉVOA SALINA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia de Materiais do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais (DAEMA) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcio A. B. Mendes

LONDRINA

2017



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia de Materiais



## TERMO DE APROVAÇÃO

### Título da Monografia

Desenvolvimento e análise de suporte para melhoria em ensaio de névoa salina

Por

Tamara Yukemi Aguená

Monografia apresentada no dia 19 de maio de 2017 ao Curso Superior de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. Diego Ruben Martin  
(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

---

Prof. Dr. Francisco Rosário  
(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

---

Profa. Dr. Marcio Andreato Batista Mendes  
(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)  
Orientador

---

Prof. Dra. Delia do Carmo Vieira  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia de Materiais

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus por me guiar durante toda a trajetória na UTFPR, sempre me dando oportunidades, barreiras, desafios e muita força para lutar, aprender, superar e seguir em frente.

Aos meus pais, Eder e Lidia, que sempre me deram suporte e aprendizado ao longo da vida. Mesmo com a distância física enfrentada, nunca deixaram de estar presentes na minha vida. Não há palavras para expressar tamanha gratidão.

Agradeço também ao meu namorado, Adailton, pela paciência e conselhos dados nestes últimos anos, por sempre me apoiar e acalmar em momentos críticos. À minha irmã que, às vezes contrariada, me auxilia e me encoraja a seguir em frente diante das minhas decisões. Ao meu cunhado Rodrigo, que apesar de algumas discussões sempre estava disposto a me ajudar com este projeto. À Sayuri, minha irmã de coração, que em meio a caos, broncas e muita risada, sempre visou o meu bem, me aconselhando e me escutando em dias tediosos. À todos os meus familiares e amigos que estiveram comigo ao longo dessa jornada.

Destaco minha gratidão pelo meu orientador Prof Dr. Marcio A. B. Mendes por transmitir e ampliar meus conhecimentos, sempre com muita preocupação, paciência e compreensão. Sem dúvida, você foi fundamental nesta minha “reta final” do curso, muito obrigada por toda caminhada em que você esteve comigo.

Por último, mas não menos importante, à toda equipe da Ciser Parafusos e Porcas, principalmente ao gestor Regis Kern que confiou no meu trabalho e me ajudou a enfrentar muitos desafios. Aos que me auxiliaram neste projeto, Bruna Coelho, Bruna Miranda, Márcio Roberto, Vinícius e Ulian, que além da parceria me recepcionaram e me deram todo suporte e conhecimento na área da Engenharia da Qualidade Assegurada, deixo aqui meu Muito Obrigada!

## RESUMO

AGUENA, Tamara Y. Desenvolvimento e Análise de Suporte para Melhoria em Ensaio de Névoa Salina. 2017. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

O ensaio de névoa salina (*Salt Spray*) consiste em um ensaio acelerado de corrosão que simula as condições reais de intemperismo, tendo como objetivo a avaliação prévia dos materiais, sobretudo metálicos, quando em contato com um ambiente marítimo. Neste trabalho, foi desenvolvido um suporte destinado à parafusos visando a otimização do ensaio de névoa salina, com intuito de tornar mais eficiente todo o processo do teste. Para o desenvolvimento, foi utilizado dois materiais poliméricos, poli(cloreto de vinila) PVC e poliamida (PA). A partir dos suportes desenvolvidos, amostras de um mesmo tipo de parafuso, fornecidos pela empresa Ciser Parafusos e Porcas, foram conduzidos para teste seguindo a norma ASTM B117. Com este ensaio foi possível concluir que a angulação entre o parafuso e o suporte influi nos resultados do ensaio de névoa salina. Por outro lado, os dois materiais (PVC e PA) não sofreram influências com o meio salino, além disto o dispositivo foi essencial para a padronização das amostras durante o ensaio. Para efeito de comparação mecânica, foi realizado ensaio de tração com os corpos de prova previamente submetidos na câmara de névoa salina e posteriormente. Foi possível notar uma diferença de resistência entre os tipos de materiais. PA obteve maior resistência mecânica se comparado ao PVC, entretanto com o preço de mercado, é válido trabalhar com o PVC pois este material demonstrou-se eficiente para esta aplicação.

**Palavras-chaves:** Névoa Salina. Corrosão. PA. PVC. Fixadores.

## ABSTRACT

AGUENA, Tamara Y. Development and Analysis of Bracket for Improvement in Salt Spray Test. 2017. 37 f. Monograph (Undergraduate Materials Engineering) – Academic Department of Materials Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

The Salt Spray test consists of an accelerated corrosion test that simulates the actual weathering conditions, aiming at the preliminary evaluation of materials, especially metallic ones, when in contact with a marine environment. In this work, a bracket for screw was developed aiming at the optimization of the salt spray test, in order to make the whole process of the test more efficient. For the development, two polymeric materials, polyvinyl chloride (PVC) and polyamide (PA), were used. From the bracket developed, samples of the same type of screw provided by the company Ciser Parafusos e Porcas, were conducted for testing, following the standard ASTM B117. With this test it was possible to conclude that the angulation between the screw and the bracket have influence of the results of the salt spray test. On the other hand, the two materials (PVC and PA) were not influenced by the saline environment, and the device was essential for the standardization of the samples during the test. For the purpose of mechanical comparison, a tensile test was performed with the test specimens previously submitted to the salt spray teste and later. It was possible to notice a difference of resistance between the types of materials. PA resulted in higher mechanical resistance compared to PVC, however with the market price, it is valid to work with PVC because this material proved to be efficient for this application

**Keywords:** Salt-Spray. Corrosion. PA. PVC. Fasteners.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Câmara de Névoa Salina disposta no Laboratório da empresa Ciser Parafusos e Porcas.....	16
Figura 2 – Ilustração do interior de uma câmara de névoa salina Fonte: <a href="http://www.equilam.com.br">www.equilam.com.br</a> .....	16
Figura 3 – Foto ilustrativa de amostra pronta para ensaio de névoa salina.....	17
Figura 4 – Foto ilustrativa do interior da câmara de névoa salina.....	17
Figura 5 – Polimerização do Nylon 6,6 Fonte: Reis (20xx, p. 5).....	19
Figura 6 – Tempo de vida dos produtos de PVC pelo seu percentual de aplicação Fonte: Rodolfo et al. (2006, p. 15).....	20
Figura 7 – Medição da distância entre as hastes da câmara de névoa salina. ....	22
Figura 8 – Primeiros suportes desenvolvidos de PA (ao fundo) e PVC. ....	233
Figura 9 – Suportes com abas para melhor estabilidade. ....	23
Figura 10 - Amostras posicionadas nos suportes de PA (esq.) e PVC (dir.) com diferentes angulações .....	24
Figura 11 – Disposição das amostras na câmara de névoa salina.....	25
Figura 12 – Dimensões de um corpo de prova para ensaio de tração Fonte: Trajano (2016, p28) .....	266
Figura 13 – Molde para confecção de corpos de prova nas especificações da norma ASTM D638-08.....	266
Figura 14 – CPs dispostos em câmara de névoa salina. ....	26
Figura 15 – Máquina de traçãoShijin modelo WDW-100E situada no lab. Da UTFPR, campus Londrina. ....	27
Figura 16 – Acompanhamento dos parafusos nos suportes em 48 horas de ensaio, em 15/02/2017 às 9:00.....	28
Figura 17 – Acúmulo de solução nas “cabeças” dos parafusos com angulação de 90° (à frente), dispostos à esquerda na parte frontal da câmara. ....	29
Figura 18 – Imagens dos parafusos e suportes após 168h de ensaio de névoa salina; localização na câmara: (1) direita à frente; (2) direita ao fundo; (3) esquerda à frente; (4) esquerda ao fundo. ....	29

Figura 19 – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PA que não foram submetidos ao ensaio de névoa salina.....	31
Figura 20 – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PA que foram submetidos durante 34 dias no interior da câmara de névoa salina.....	31
Figura 21 – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PVC que não foram submetidos ao ensaio de névoa salina.....	32
Figura 22 – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PVC que foram submetidos durante 34 dias no interior da câmara de névoa salina.....	32



## LISTA DE SIGLAS

PA – Poliamida

PVC – Poli(cloreto de vinila)

RI – Rosca inteira

ZB – Zincado Branco

CPs – Corpos de provas

SS – *Salt Spray*

MPa - Megapascal

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO .....	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 ENSAIOS DE CORROSÃO ACELERADOS EM CÂMARAS FECHADAS .....	14
2.2 ENSAIO DE NÉVOA SALINA.....	15
2.3 MATERIAIS PARA SUPORTE .....	17
2.3.1 Poliamida (PA).....	18
2.3.2 Poli(cloreto de vinila) (PVC).....	19
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1 MATERIAIS.....	21
3.2 METODOLOGIA .....	22
3.2.1 Desenvolvimento do suporte .....	22
3.2.2 Ensaio de névoa salina .....	24
3.2.3 Corpos de prova (CPs) .....	25
3.2.4 Procedimento de ensaio de tração .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
4.1 ENSAIO DE NÉVOA SALINA.....	28
4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	30
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a corrosão dos materiais é um processo resultante da interação entre o material e o meio e está presente direta e indiretamente no nosso dia a dia. Os prejuízos causados podem chegar a custos altíssimos, e resultam em desperdícios, acidentes, além de colocar em risco a vida das pessoas (MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2004).

Os metais, de maneira geral, são propensos em reagir com o meio em que são submetidos, formando óxidos, hidróxidos e muitos outros compostos. A corrosão pode ser categorizada como química ou eletroquímica, mas isso depende do ambiente e da natureza do processo (TRIDAPALLI, 2011).

A corrosão química também pode ser denominada como corrosão seca, em que ocorre a reação do gás com o metal formando uma película de óxido, sem que haja transferência de elétrons. Já a corrosão eletroquímica é um processo espontâneo, quando um metal entra em contato com um eletrólito, onde ocorrem, conjuntamente, reações catódicas e anódicas. É bastante comum ocorrer na natureza, a temperatura ambiente e necessariamente na presença de água (MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2004).

Em ambientes marinhos, a corrosão eletroquímica de materiais metálicos acontece, principalmente, devido ao ataque por  $\text{Cl}^-$ . Cátodos e ânodos são distribuídos por toda superfície metálica. Íons ferrosos e hidroxilas se formam devido as reações eletroquímica e se difundem pela superfície. Com o tempo, as áreas anódicas vão sendo corroídas, para dar lugar à ferrugem, que altera os potenciais elétricos entre as regiões catódicas e anódicas. Ao longo do tempo, as áreas catódicas se tornam anódicas e toda a superfície do material acaba se corroendo de maneira uniforme (MARIANO, *et al.*, 2006)

Para avaliar antecipadamente o comportamento e a resistência à corrosão de materiais metálicos, muitos testes são realizados em estações de corrosão atmosférica ou em escala laboratorial. Um dos testes laboratoriais bastante utilizado atualmente é o ensaio de névoa salina (*Salt Spray*), um teste acelerado em que simula as condições reais de intemperismo (SOUZA, *et al.*, 2012).

Neste trabalho, foram desenvolvidos suportes de PA e PVC e testados durante o ensaio de névoa salina com intuito de definir qual o melhor material a ser utilizado como suporte para fixadores metálicos que passarão por teste de corrosão. Os ensaios foram realizados no laboratório do setor da Engenharia da Qualidade Assegurada (EQA) localizado na empresa Ciser Parafuso e Porcas – Unidade Araquari, SC e no laboratório de materiais da UTFPR, *campus* Londrina.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolvimento e análise de suporte que resista à degradação e que otimize o tempo de preparo das amostras destinadas ao ensaio de névoa salina.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Criação e desenvolvimento de um suporte que resista ao ensaio de corrosão.
- Padronização das amostras para se obter um ensaio mais uniforme.
- Verificação das influências causadas pelo meio.
- Investigação da disposição e angulação do suporte/parafuso.
- Análise e comparação de ensaio mecânico entre dois materiais que foram utilizados para desenvolver o suporte destinado ao ensaio de névoa salina.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo e desenvolvimento de suportes de fixadores nos ensaios de corrosão tem se mostrado cada vez mais importante, uma vez que estes ensaios são realizados com mais frequência para avaliar a resistência à corrosão dos materiais.

O atual projeto visou desenvolver suportes de PA e PVC com intuito de otimizar a preparação das amostras a serem ensaiadas, pois foi notado que o tempo de preparação das amostras do processo em vigor é relativamente longo, e tende a aumentar conforme ocorre um aumento da demanda para ensaios. A implantação do suporte tendenciou em um retorno positivo à empresa, simplificado e melhorando a eficiência do ensaio, refletindo em economia e fundamentando o presente trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ENSAIOS DE CORROSÃO ACELERADOS EM CÂMARAS FECHADAS

Com intuito de prever antecipadamente o desempenho de materiais metálicos, os ensaios de corrosão são realizados em estações de corrosão atmosférica ou em escala laboratorial. Nas estações de corrosão atmosférica, os materiais ensaiados ficam expostos ao intemperismo natural demandando um longo período de tempo, todavia os resultados são mais confiáveis por estarem no próprio ambiente de uso. Já os testes acelerados ocorrem em sua maioria em câmaras fechadas de laboratórios. Neste caso, são utilizados equipamentos específicos para gerar um ambiente mais agressivo sob o qual o material ficará exposto, por ser rápido seu período de teste, muitas empresas adotam tal metodologia (TRIDAPALLI, 2011).

Mesmo obtendo resultados similares, as câmaras de ensaios acelerados não alcançam plenamente os resultados como os ensaios de condições reais. Antigamente utilizavam-se câmaras mais simples, onde eram usadas apenas temperaturas e umidade relativa com valores constantes, mas com o passar do tempo foram desenvolvendo novas câmaras para ensaios mais modernos que envolvem parâmetros de controle como fluxo de ar, composição dos gases e radiação ultravioleta (SOUZA, *et al.*, 2000).

Para acelerar o ensaio de corrosão e deixá-lo mais agressivo, normalmente, utilizam-se cloreto de sódio, sulfato de amônio ou cloreto de cobre como solução, podendo incluir outros fatores como: ciclos de secagem e umidificação, aumento de temperatura, inclusão de gases, entre outros (ASSIS, 2000).

Não há necessidade de reproduzir todos os parâmetros de fatores agressivos para se obter um ensaio satisfatório. É necessário apenas que alguns requisitos sejam adequados como: reproduzir o ensaio em um tempo curto; obter resultados que possam se relacionar com os dados de exposição ao intemperismo natural; poder ensaiar materiais diversos; ser executável em câmaras e em outros ambientes de teste (SOUZA, *et al.*, 2012).

Atualmente é possível encontrar em laboratórios específicos alguns ensaios acelerados como: ensaio cíclico Pohesion, desenvolvido por Timmins, em que utilizam ciclos de secagem e umidificação além de introduzir a amônia e o sulfato para reproduzir um ambiente industrial; ensaio cíclico com radiação ultravioleta, tal ensaio foi desenvolvido pois

queriam simular exposições reais às intempéries naturais; e principalmente o ensaio de névoa salina (*Salt Spray*) um dos ensaios mais utilizados nas empresas, pelo seu simples funcionamento e resultados satisfatórios (ASSIS, 2000). Este tipo de ensaio foi o foco deste projeto e será melhor detalhado a seguir.

## 2.2 ENSAIO DE NÉVOA SALINA

O ensaio de Névoa Salina foi proposto em meados de 1910 com intuito de avaliar os revestimentos protetores aplicados em superfícies metálicas, entretanto, tal ensaio foi normalizado somente 25 anos depois através da norma ASTM B 117 que além de ser utilizada como referência para revestimentos metálicos, também é utilizada como padrão para superfícies pintadas e componentes elétricos (SOUZA, *et al.*, 2012).

O ensaio de Névoa Salina procura simular a atmosfera marítima, por meio da névoa contínua de solução de Cloreto de Sódio. Entretanto, por ser caracterizado pela sua atmosfera altamente agressiva o ensaio é alvo de muitas críticas, pois não se tem uma correlação direta dos ensaios laboratoriais e sua exposição natural. A continuidade deste tipo de ensaio é justificada quando se analisa e se conclui que o sistema de revestimento suporta a agressividade do meio, assim ele exibirá um comportamento satisfatório quando estiver trabalhando em seu meio real (ASSIS,2000).

Atualmente há vários modelos de câmaras para realizar este ensaio, dentre os modelos encontram-se as de ensaio cíclico, em que é possível ajustar a quantidade de horas em névoa salina e o modo secagem natural, há também câmara *Walk In – Drive In* destinada a suportar cargas e tráfego pesado, além de amostras especiais que são expostas em racks e prateleiras, e por fim, as câmaras tradicionais econômicas, que são menores e destinadas a ensaios do dia-a-dia, disponíveis nos volumes de 600, 1000, 1300 e 3000 litros. Para o atual trabalho, será utilizado uma câmara tradicional modelo SS600e fabricada pela EQUILAM (Figura 1), com capacidade de 600 litros. Nesta câmara a torre de distribuição de névoa é centralizada, há um aquecimento indireto através da jaqueta d'água e os parâmetros são controlados pelo painel situado à direita na parte superior da câmara. Na Figura 2 é possível visualizar o interior da mesma.



Figura 1 – Câmara de Névoa Salina disposta no Laboratório da empresa Ciser Parafusos e Porcas.

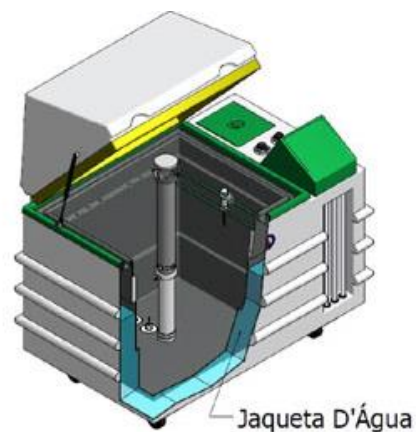


Figura 2 – Ilustração do interior de uma câmara de névoa salina  
Fonte: [www.equilam.com.br](http://www.equilam.com.br)

Conforme a norma, ASTM B117, os materiais a serem ensaiados, ou corpos-de-prova, são expostos à névoa salina contínua contendo solução de  $5\% \pm 2$  em massa de cloreto de sódio (NaCl), à temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  e com o pH variando entre 6,5 a 7,2.

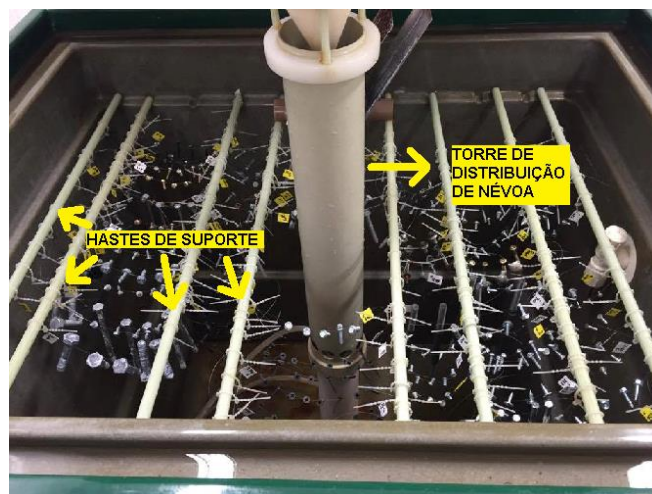
Atualmente, para realizar esse ensaio, os parafusos e demais fixadores são preparados com fio e abraçadeiras de nylon. Tal método é eficaz, entretanto, sua eficiência deixa a desejar. O tempo de preparação das amostra é muito longo, principalmente quando a demanda de fixadores aumenta e, além disso, há o risco do parafuso se soltar do fio durante o período de ensaio. O atual método consiste em amarrar manualmente cada parafuso, deixando a cabeça livre para análise visual, como mostra a Figura 3. As peças avaliadas não devem apresentar pontos de corrosão branca ou vermelha nas superfícies significativas



durante o tempo especificado para cada item.



**Figura 3 – Foto ilustrativa de amostra pronta para ensaio de névoa salina**



**Figura 4 – Foto ilustrativa do interior da câmara de névoa salina**

### 2.3 MATERIAIS PARA SUPORTE

Analisando os materiais, sabe-se que os não metálicos são geralmente mais resistentes à deterioração. Materiais cerâmicos, possuem razoável resistência à corrosão, entretanto em ambientes com temperaturas elevadas ou muito agressivos, começam a se deteriorar. Além disso, os agentes químicos internos podem ser altamente degradantes, como por exemplo uma cerâmica com sais solúveis. Neste caso, a umidade absorvida do ar pode acarretar na dissolução destes sais, que virão a se cristalizar na superfície ocasionando a degradação do material (UNIDERP, 2013).

Já os mecanismos de degradação dos materiais poliméricos são diferentes quando comparados aos dos metais e cerâmicos. Alguns solventes líquidos podem dissolver ou provocar um inchamento nos polímeros, entretanto a maioria dos polímeros são fortemente caracterizados pela sua alta resistência a corrosão. Além de serem flexíveis, robustos, propiciar

um bom isolamento elétrico e térmico, alguns polímeros são resistentes às intempéries, como ao ambiente marítimo por exemplo, e possuem custo bastante compensador (GORNI, 2003).

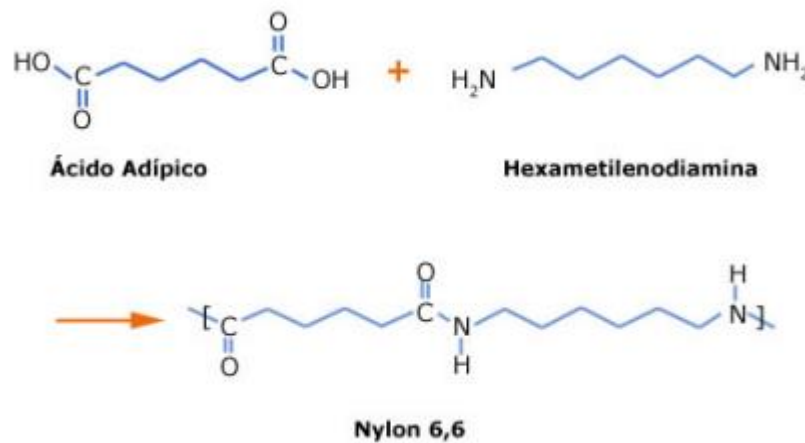
O ensaio de névoa salina é destinado para ensaiar materiais metálicos, sendo assim, é necessário prendê-los ou fixá-los em materiais de modo que os mesmos não sofram influências significativas com o ambiente agressivo; conforme observações e testes realizados no laboratório da Qualidade da empresa CISER, a Poliamida (PA) e Poli(cloreto de vinila) (PVC) foram estudados e testados como sendo materiais que podem servir como suporte.

### 2.3.1 Poliamida (PA)

Na década de 1960, surgiram os plásticos de engenharia, característicos por possuírem alto desempenho. Tais polímeros entraram no mercado com intuito de concorrer com materiais tradicionais, como o aço, dentre estes materiais surgiu a poliamida, desenvolvida por Wallace Hume Carothers, um químico orgânico americano que trabalhava na DuPont (GORNI, 2003)..

A poliamida ou nylon, é um polímero sintético, ou seja, é característico por ligações repetitivas de moléculas pequenas (meros) resultando em grandes moléculas (polímeros). No caso da poliamida, o ácido dicarboxílico reage com amina que por consequência produz amida. Os ácidos carboxílicos por sua vez, reagem com as diaminas formando cadeias de poliamidas (CANEVAROLO, 2007).

Atualmente, existem diversos tipo de poliamida que se diferem na composição polimérica. Os nylons mais comercializados são os de números 6; 6,6; 6,9; 6,10; 6,11. Essas numerações representam o número de átomos de carbono em cada um dos materiais iniciais, por exemplo o nylon 6,6 possui 6 átomos de carbono na hexametilenodiamina e no ácido adípico como mostrado na Figura 5 (CANEVAROLO, 2007).



**Figura 5 – Polimerização do Nylon 6,6**  
**Fonte: Reis (20xx, p. 5)**

Sabe-se que as amidas possuem moléculas polares, o que influencia nas propriedades das poliamidas. Quanto menor a distância entre esses grupos, melhor será sua propriedade mecânica e térmica. No geral, as poliamidas possuem alta resistência à tração, elasticidade, tenacidade, abrasão e boa resistência química. Para realizar ensaios em ambientes mais agressivos, como o ambiente marítimo por exemplo, a poliamida possui um bom desempenho. Em temperaturas altas, entre 100°C e 180°C, as propriedades mecânicas da poliamidas se mantêm em níveis aceitáveis. Entretanto, para uso contínuo o limite de temperatura é de 100°C e para uso em contato com a eletricidade o limite não pode exceder 130°C (FARIAS, 200?). Devido a esses fatores, além do econômico, o nylon é um material promissor para ser utilizado como suporte em ensaio de névoa salina.

### 2.3.2 Poli(cloreto de vinila) (PVC)

O poli(cloreto de vinila), também conhecido como PVC, é o segundo termoplástico mais utilizado no mundo. Referente à estrutura molecular, o PVC é obtido a partir do cloro, proveniente do cloreto de sódio, e de insumos de fontes não renováveis como o petróleo e gás natural (RODOLFO; MEI; 2007).

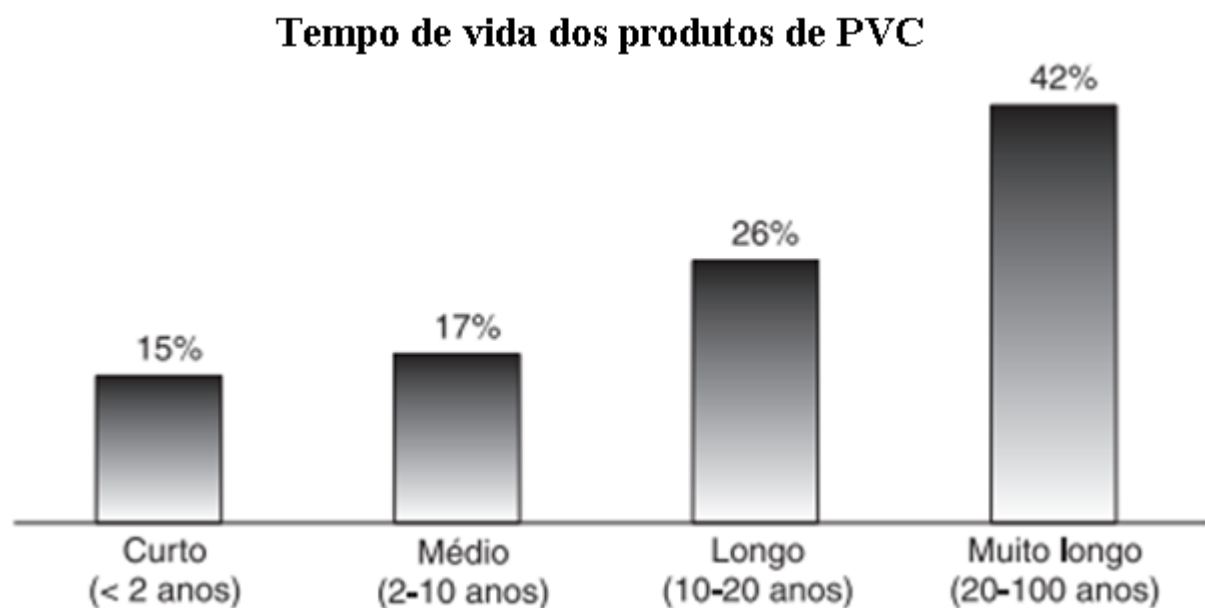
A presença do átomo de cloro em sua formulação faz com que o PVC seja naturalmente resistente à propagação de chamas, além disto, a presença do cloro torna sua molécula polar, permitindo maior afinidade com muitos aditivos, podendo assim, gerar formulações com diversas propriedades e características (RODOLFO; MEI; 2007).

Por ser o material mais versátil entre os plásticos, o PVC pode variar de rígido a flexível, passando por variações em sua aplicabilidade como a construção civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionar sangue e plasma (RODOLFO, *et al*, 2006).

Os tipos básicos mais utilizados de PVC são: PVC rígido, flexível, transparente e celular. Para realizar ensaios em ambiente mais agressivo, opta-se pelo PVC rígido, que além de possuir boas propriedades térmicas e elétricas, também possui excelente resistência à corrosão, oxidação e intempéries o que o torna um material recomendado para servir de suporte no ambiente salino (FARIAS, 2007).

O PVC é um polímero reciclável, já existem estruturas industriais para esse fim. No atual cenário brasileiro, utilizam-se da reciclagem mecânica e outros equipamentos para realizar a reciclagem energética e química (RODOLFO, *et al*, 2006).

Como comentado anteriormente, o PVC possui diversas características e várias aplicações, muitos dessas são de longo ciclo de vida podendo chegar a mais de 20 anos de utilidade. A Figura 6 mostra o percentual de aplicação de acordo com o tempo de vida dos produtos de PVC (RODOLFO, *et al*, 2006).

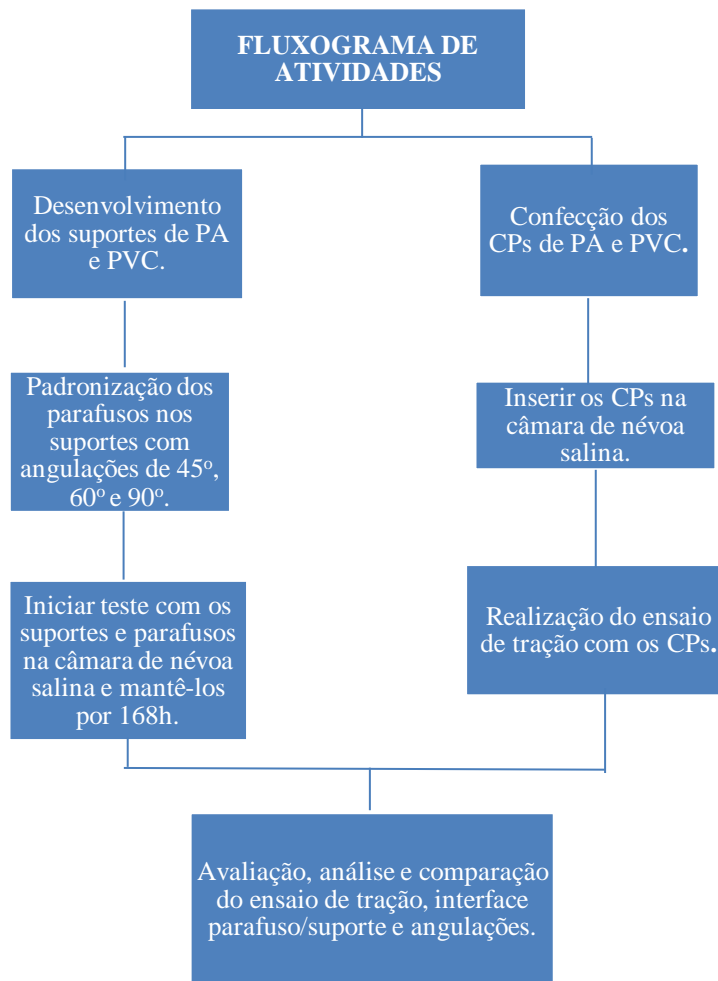


Curto: embalagens, artigos medico-hospitalares, materiais de escritórios, frascos;  
 Médio: brinquedos, estofados, calçados;  
 Longo: laminados e chapas, fios e cabos, pisos móveis, aplicações automobilísticas;  
 Muito longo: laminados e chapas, tubos e conexões, mangueiras, perfis, cabos.

**Figura 6 – Tempo de vida dos produtos de PVC pelo seu percentual de aplicação.**  
 Fonte: Rodolfo et al. (2006, p. 15)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 1 – Fluxograma de atividades realizadas



#### 3.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados os seguintes materiais: chapa de Poli(cloreto de vinila) PVC com 3 mm de espessura, chapa de Poliamida 6.0 com 6 mm de espessura da Nitaplast Plásticos industriais e Parafusos Flangeado 3,5x25 RI ZB fornecido pela empresa Ciser Parafusos e Porcas.

## 3.2 METODOLOGIA

Os materiais destinados para suporte foram adquiridos em dezembro de 2016, sendo que o valor médio encontrado por metro quadrado da poliamida foi de R\$350,00 e do PVC foi de R\$50,00. Foram desenvolvidos suportes de PA e PVC e posteriormente os mesmos foram submetidos ao ensaio de névoa salina juntamente com os parafusos em diferentes angulações (45°, 60° e 90°). Paralelamente, corpos de prova dos mesmos materiais foram confeccionados e inseridos na câmara por 34 dias e seguido para o ensaio de tração.

### 3.2.1 Desenvolvimento do suporte

Para o desenvolvimento do modelo do suporte, foi mensurado todas as distâncias necessárias das hastes de sustentação das amostras no interior da câmara de névoa salina (A Figura 7 mostra a dimensão com a escala das hastes de sustentação). A ideia principal foi o desenvolvimento de algum dispositivo com largura reduzida, visando maior possibilidades de testes simultâneos sem que houvesse interferência nos resultados.



**Figura 7 – Medição da distância entre as hastes da câmara de névoa salina.**

O orifício para encaixar os parafusos no suporte foi determinado de acordo com a medida das bitolas dos mesmos. Para definir qual bitola seria utilizada foi estabelecido o parafuso que possuía maior demanda para a realização do ensaio de névoa salina. Deste modo, o desenvolvimento do suporte foi destinado aos parafusos *Dry Wall* fosfatizados cuja bitola de maior ocorrência era de 3,5 mm. O primeiro protótipo foi realizado com 10 cm de

comprimento, largura de 1,5 cm e furos com diâmetros de aproximadamente 3 mm (Figura 8), e foi utilizado uma serra tico-tico para o corte das chapas e uma furadeira de bancada para realizar os furos.



**Figura 8 – Primeiros suportes desenvolvidos de PA (ao fundo) e PVC.**

Após algumas observações, foi necessário reduzir o comprimento em 5 mm pois havia um excesso de material além das hastes, ou seja, o comprimento do suporte ultrapassou os limites exteriores entre as duas hastes de sustentação fazendo com que sobrasse material nas extremidades. Por consequência, foi determinado que o suporte deveria possuir apenas 6 furos e a largura se manteria com 1,5 cm. Outro ponto relevante foi a inclusão de abas laterais com intuito de manter estável o suporte entre as hastes. As abas foram fixadas nas laterais do suporte através de adesivos cianoacrilatos (Figura 9).



**Figura 9 – Suportes com abas para melhor estabilidade.**

### 3.2.2 Ensaio de névoa salina

Para a realização do teste, os parâmetros da câmara foram ajustados de acordo com a norma ASTM B117, utilizando solução de 5% de NaCl em massa, com pH variando entre 6,5 e 7,2, a temperatura da câmara em 35°C e a pressão de 90k Pa. Segundo a norma, a pressão pode variar entre 83 kPa e 124 kPa, desde que a névoa coletada esteja entre 1,0 e 2,0 mL de solução por hora. Neste caso, todo o experimento foi realizado em uma mesma pressão para que houvesse uma padronização durante todo o teste.

As amostras foram posicionadas nos suportes com três angulações diferentes, 45°, 60° e 90°, como mostra a Figura 10. O modelo que os parafusos costumam ser ensaiados, amarrados em fios de nylon, faz com que eles fiquem em diferentes angulações durante todo o processo. Pensando nisso, foi estabelecido estas três angulações para verificar a influência e intensidade da corrosão nos parafusos. Foi utilizado um suporte de cada material (PA e PVC) para cada angulação (45° e 60°), sendo que para a angulação de 90°, dois suportes de cada material foram utilizados.



Figura 10 - Amostras posicionadas nos suportes de PA (esq.) e PVC (dir.) com diferentes angulações

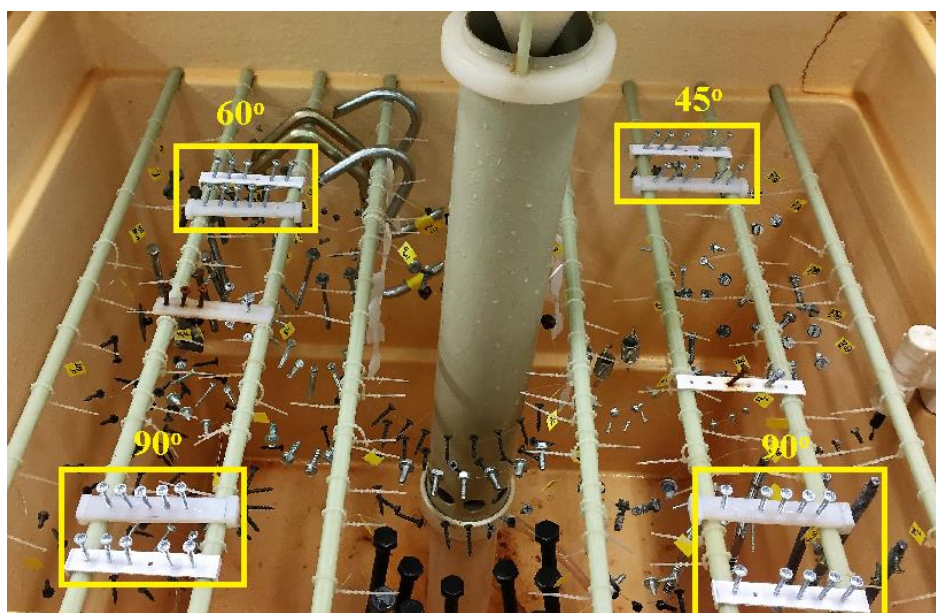
Nota-se que não foram utilizados parafusos *Dry Wall* fosfatizados para a realização dos testes nos suportes. O parafuso escolhido apresenta camada de 5 a 8µm de acabamento de zinco branco, o que facilita a análise de corrosão branca na peça, uma vez que acabamento com fosfato não é possível observar tal corrosão.

O especificado de horas para este tipo de parafuso é de 24 horas sem que haja corrosão branca e 48 horas sem o aparecimento de corrosão vermelha. Para obter resultados mais



expressivos, o conjunto de amostras foi deixado além dos valores especificados, sendo registrados frequentemente. O ensaio iniciou no dia 13 de janeiro de 2017 e finalizou em 20 de janeiro de 2017. Durante o período de teste, a câmara foi aberta todos os dias às 9 horas e quando necessário, às 16 horas, exceto no final de semana.

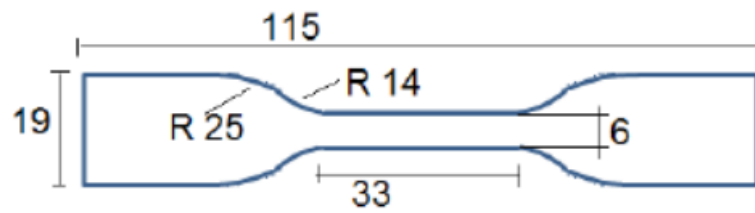
A disposição dos suportes dentro da câmara de névoa salina foi realizada com a intenção de explorar os quatro cantos da mesma. O conjunto de amostra com angulação de 90° foi disposta na parte frontal à direita e esquerda da câmara. Ao fundo à esquerda, foram posicionados os suportes com angulações de 60°, e à direita os de 45°, como mostra a Figura 11 a seguir.



**Figura 11 – Disposição das amostras na câmara de névoa salina.**

### 3.2.3 Corpos de prova (CPs)

Os CPs destinados ao ensaio de tração foram confeccionados no laboratório de polímeros da UTFPR, *campus* Londrina, por meio de prensa hidráulica com o molde nas especificações da norma ASTM D638 – 08, como é possível observar na Figura 12 e 13.



**Figura 12 – Dimensões de um corpo de prova para ensaio de tração**  
Fonte: Trajano (2016, p28)



**Figura 13 – Molde para confecção de corpos de prova nas especificações da norma ASTM D638-08.**

Foram fabricados mais de 20 CPs, sendo 12 destes (6 de PA e 6 de PVC) inseridos na câmara de *Salt Spray* e permanecidos por 34 dias (Figura 14). Os que restaram foram separados para realização de ensaio de tração com finalidade de comparar aos que permaneceram dentro da câmara.



**Figura 14 – CPs dispostos em câmara de névoa salina.**

### 3.2.4 Procedimento de ensaio de tração

Finalizado os 34 dias em teste, foram separados três CPs pós o ensaio de névoa salina de PA e três de PVC e foram submetidos ao ensaio de tração no laboratório de ensaios de materiais da UTFPR, *campus* Londrina. Foi utilizado a máquina universal Shijin de modelo WDW-100E com capacidade de 100 kN (Figura 15). O ensaio foi conduzido na velocidade de 5 mm/min até a ruptura. A mesma quantidade de CPs que não passaram pela câmara, também foram submetidos ao ensaio de tração.



**Figura 15 – Máquina de tração Shijin modelo WDW-100E situada no lab. Da UTFPR, *campus* Londrina.**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ENSAIO DE NÉVOA SALINA

Conforme relatado no procedimento, o acompanhamento dos ensaios nos suportes foram realizados periodicamente, sendo registrados uma vez por dia, às 9 horas, exceto no final de semana. Na Figura 16 é possível ver o resultado do ensaio em 48 horas.



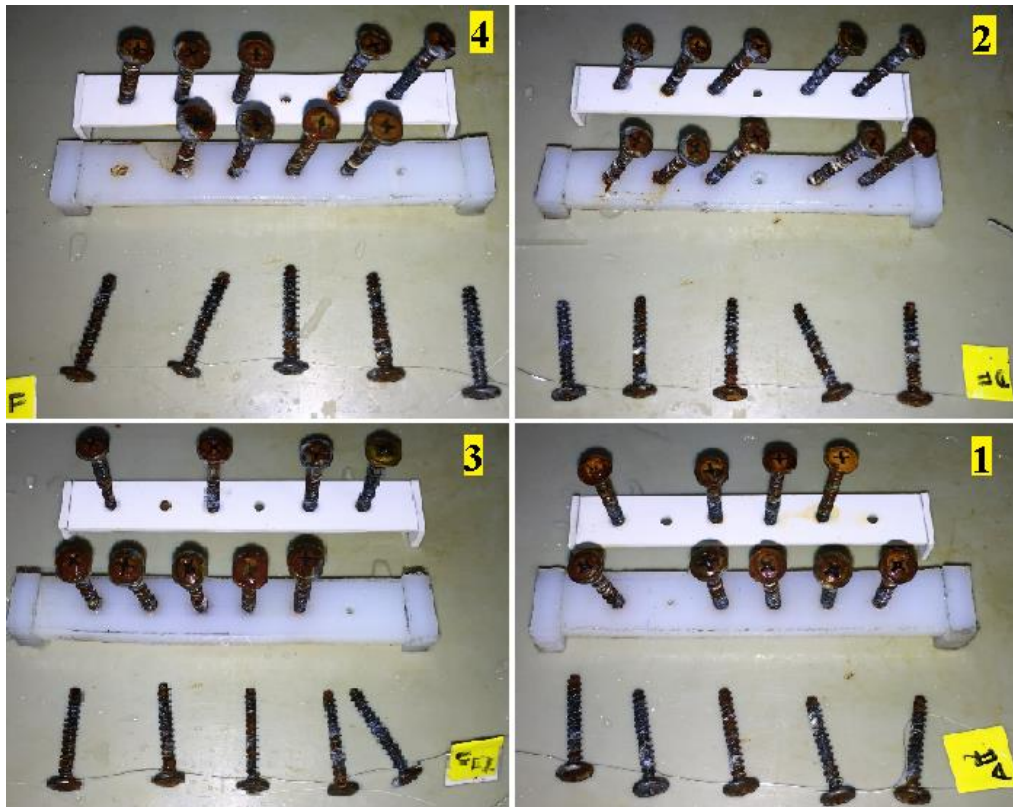
Figura 16 – Acompanhamento dos parafusos nos suportes em 48 horas de ensaio, em 15/02/2017 às 9:00.

Analisando os três tipos de angulação, a maioria apresentou corrosão branca na “cabeça” dos parafusos, como o material possui acabamento de 5 a 8 $\mu$ m de zinco branco, o mesmo se encontra dentro do especificado de resistência à corrosão. A observação vista em 48 horas foi o acúmulo de solução na “cabeça” de alguns parafusos, principalmente àqueles que se mantiveram em 90°, como é possível ver com mais nitidez na Figura 17.



**Figura 17** – Acúmulo de solução nas “cabeças” dos parafusos com angulação de 90° (à frente), dispostos à esquerda na parte frontal da câmara.

Nota-se que o acúmulo de solução também é visto em alguns parafusos cuja angulação é de 60° (amostras ao fundo da Figura 17), entretanto para a angulação de 90°, a maioria das amostras retém a solução na fenda e na cabeça dos parafusos. Com isso, é constatado uma frequência maior de corrosão branca na cabeça destes.



**Figura 18** – Imagens dos parafusos e suportes após 168h de ensaio de névoa salina; localização na câmara: (1) direita à frente; (2) direita ao fundo; (3) esquerda à frente; (4) esquerda ao fundo.

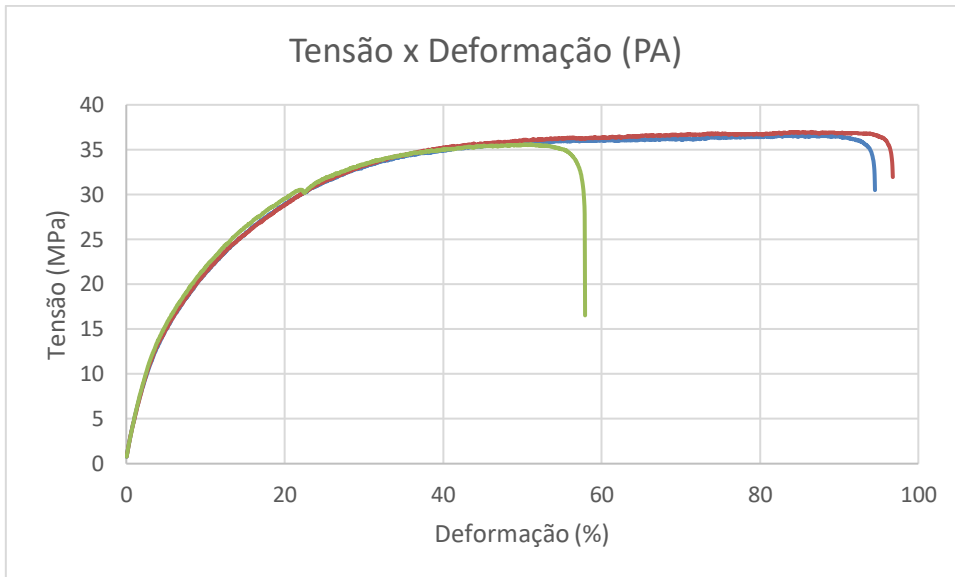
Conforme mostra a Figura 18, já era previsto que os parafusos apresentassem grande intensidade de corrosão. Entretanto, os parafusos que foram ensaiados a 90° do suporte apresentaram quase 100% de corrosão na cabeça inteira do parafuso ( ver item 1 e 3 da Figura 18), o item 4 que se manteve a 60° da base do suporte também apresentou corrosão em grande parte da área da cabeça, porém em alguns parafusos parte da cabeça ficou livre de corrosão vermelha; por fim, o item 2 apresentou em sua maioria pontos livre de corrosão vermelha devido a angulação que estes foram submetidos a teste.

Pode-se concluir que a variação do ângulo de ensaio influencia os resultados do teste. Como foi realizado o teste 120 horas além do especificado, era certo o alto grau de corrosão nos parafusos. Deste modo, foi notável o acúmulo de solução nas fendas dos parafusos com o passar dos dias. Este acúmulo interferiu com maior intensidade no resultado dos itens 1 e 3 pois como estes ficaram a 90° do suporte, não havia para onde escoar a solução confinada na fenda destes, o que certamente resultou na maior intensidade de corrosão na cabeça dos parafusos. Recapitulando o modo de amarração dos parafusos, foi possível perceber que as diferentes angulações presentes em uma amostra pode influenciar na análise final do parafuso, já que o mesmo não se encontra padronizado. Por este motivo, este trabalho foi válido para o aperfeiçoamento da análise crítica referente ao ensaio de névoa salina.

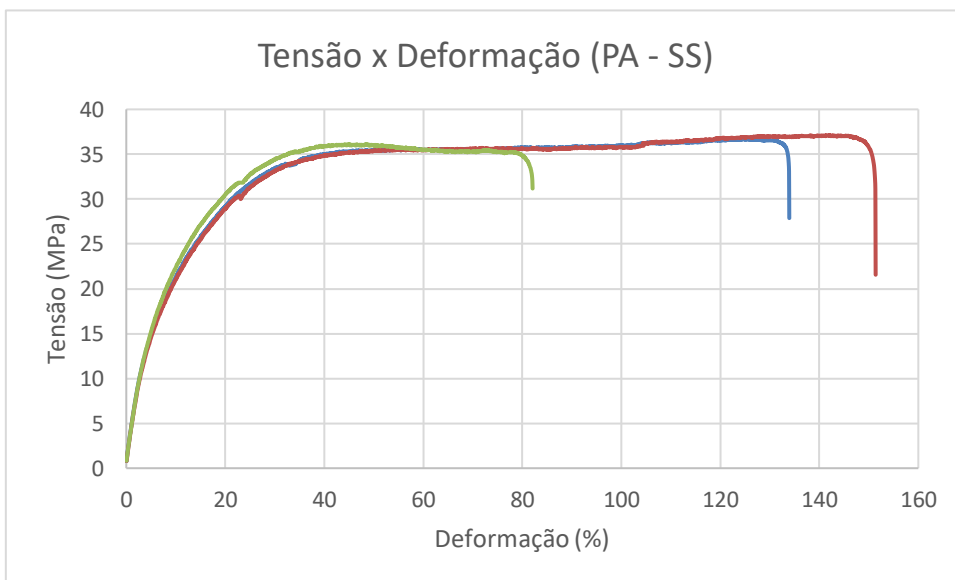
Além disto, é possível ver através da Figura 18 que os materiais de PA e PVC designados de suporte, não sofreram interferências significativas com o meio e com os materiais ensaiados.

## 4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

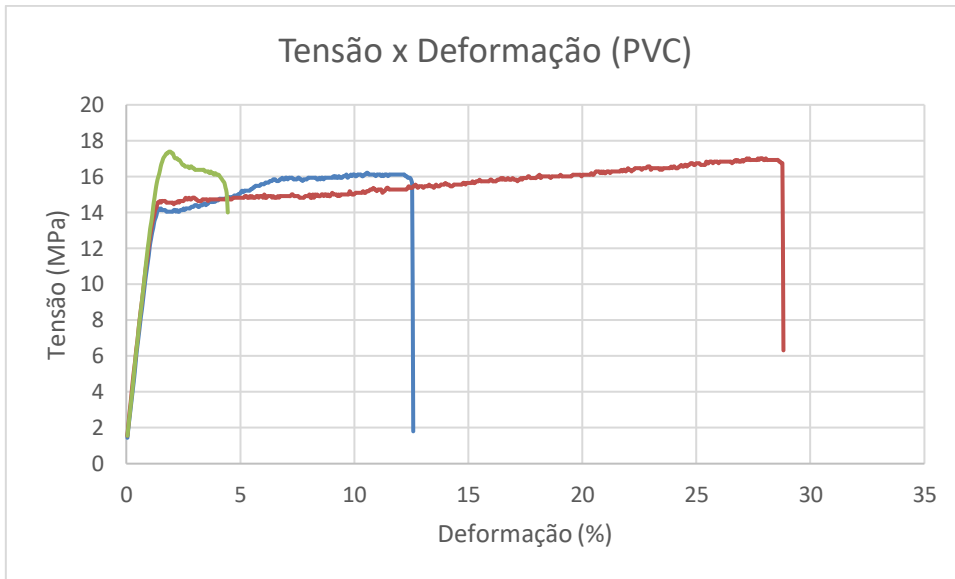
As figuras a seguir exibem as curvas de tensão-deformação dos materiais de PA e PVC antes e após serem submetidos à câmara de névoa salina.



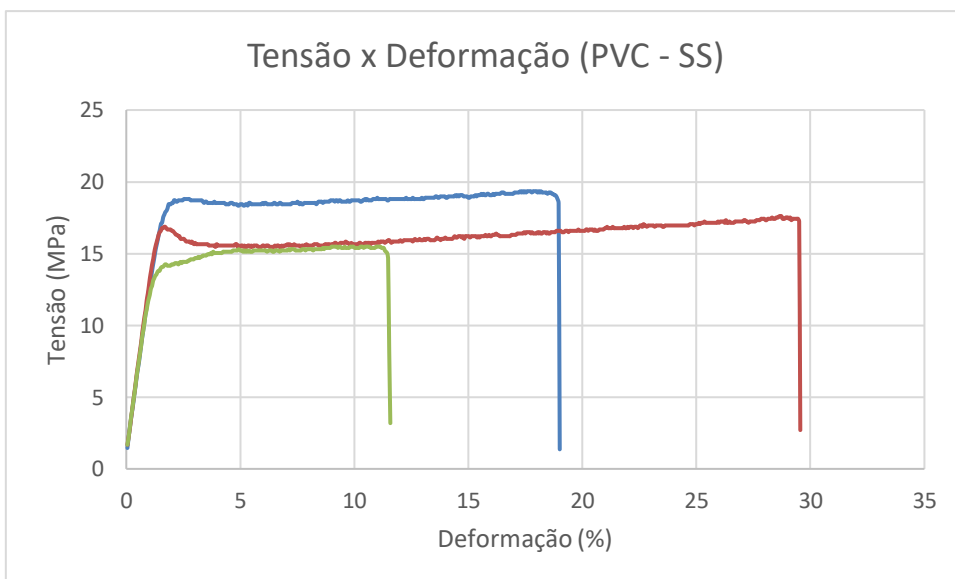
**Figura 19** – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PA que não foram submetidos ao ensaio de névoa salina.



**Figura 20** – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PA que foram submetidos durante 34 dias no interior da câmara de névoa salina.



**Figura 21** – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PVC que não foram submetidos ao ensaio de névoa salina.



**Figura 22** – Curvas do ensaio de tração referente aos CPs de PVC que foram submetidos durante 34 dias no interior da câmara de névoa salina.



Tabela 2 – Médias obtidas do ensaio de tração

<b>Materiais</b>	<b>Limite médio de tensão (MPa)</b>	<b>Média de deformação (mm/mm)</b>	<b>Média de deformação (%)</b>
PA	36,37	0,83	48,52
PA - SS	36,65	1,22	122,45
PVC	16,86	0,16	16,11
PVC - SS	17,47	0,21	20,80

Nas Figuras de 19 à 22 as curvas mostraram comportamento de fratura dúctil, onde ocorre uma deformação plástica antes de ocorrer a ruptura do material. De modo geral, os mecanismos de fratura em polímeros dúcteis passam por vários estágios, e muitas vezes dependem da propagação de trincas. Esses processos englobam o escoamento de moléculas poliméricas, estiramento a frio e o estágio final de fratura.

As curvas referentes às poliamidas (Figura 19 e 20) apresentaram o mesmo comportamento antes e após o ensaio de névoa salina. Entretanto, foi possível observar uma grande diferença na deformação antes e após o ensaio de névoa, tal fato ocorreu devido a propriedade higroscópica da poliamida em que a umidade absorvida do meio exposto age como plastificante. Apesar da diferença na deformação, os valores de limite médio da tensão não sofreram influências significativas, sendo de 36,37 MPa, e após o ensaio de névoa salina, 36,65 MPa. O que nos reafirma a sua resistência ao meio submetido durante 34 dias.

O mesmo aconteceu com o poli(cloreto de vinila) (Figuras 21 e 22), os materiais antes e após ensaiados não sofreram variação significativa quando foram submetidos ao ensaio de tração, sendo que a média do limite de resistência a tração foi de 16,86 MPa e 17,47 MPa, respectivamente, o que nos mostra que o material não sofreu influência significativa com o meio, apesar de apresentar valores inferiores se comparados às poliamidas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A padronização dos parafusos nos suportes desenvolvidos foi altamente relevante no resultado do ensaio, pois foi possível comparar de maneira equivalente as angulações testadas neste trabalho. As angulações dos parafusos dispostos nos suportes revelaram que quanto menor a inclinação em relação à base do suporte, melhor o resultado de corrosão nos parafusos.

Com o resultado dos testes, foi possível ver que angulações com 90° retêm solução na fenda da cabeça dos parafusos, o que leva à corrosão com maior intensidade sob toda a área da cabeça do mesmo. Enquanto, os parafusos que ficaram sob inclinação de 60°, apesar de terem apresentado corrosão, parte da cabeça ficou livre de corrosão vermelha. O mesmo ocorreu com os que se mantiveram em 45° durante o teste, estes porém apresentaram mais áreas livres de corrosão vermelha, pois devido a inclinação a solução que ficaria confinada na fenda pôde ser eliminada em sua grande maioria, revelando desse modo, que o uso do suporte indica resultados mais precisos se comparado ao método de amarração.

Quanto aos materiais utilizados para desenvolver os suportes (PA e PVC), ambos desempenharam seus papéis de maneira eficiente. Não houve influência significativa dos suportes com os parafusos, além de não terem sido afetados pelo ambiente corrosivo, fato que pode ser comprovado através do ensaio de tração.

A tensão média obtida pelo ensaio de tração para as poliamidas antes e após do ensaio de névoa salina foi de 36,58 MPa e 36,65 MPa, respectivamente. E para os de poli(cloreto de vinila) foi de 16,86 MPa antes do ensaio e 17,47 MPa após ser submetido ao ensaio de névoa salina. Considerando o valor médio de R\$350,00 o metro quadrado da PA e R\$50,00 o do PVC e seus respectivos desempenhos, o material de poli(cloreto de vinila) satisfaz às necessidades deste projeto. Apesar de apresentar uma resistência mecânica inferior, o material não interferiu nos resultados do teste sendo apropriado para uso, além de ser mais viável financeiramente e de fácil acesso.

É importante ressaltar que este projeto visou a otimização na preparação de amostras para o ensaio de névoa salina utilizando poucos materiais e pensando de maneira simples, porém focando sempre na eficácia e eficiência do processo. Este projeto foi uma ação iniciada na empresa Ciser com intuito de ajudar e estimular todos que estiveram envolvidos. Uma pequena ação pode transformar positivamente o processo de trabalho. O projeto relatado ainda não entrou em vigor pelo fato de não possuir quantidades relativamente grande para realizar o ensaio diário, além disso, deverá ser elaborado uma forma de identificação nos suportes para ser

arquivado no sistema da empresa. Trabalhos futuros podem complementar este desenvolvimento com intuito de aperfeiçoar cada vez mais o processo do ensaio de névoa salina auxiliando pesquisadores e empresas do ramo.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM B117. **Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. 2016.

ASSIS, SERGIO L. **Estudo Comparativo de Ensaios Acelerados para simulação da Corrosão Atmosférica**. 2000. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

BASSANI, A.; PESSAN, L. A.; JÚNIOR, E. H. **Propriedades Mecânicas de blendas de Nylon-6/ Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero acrílico reativo (MMA-MA)**. *Polímeros*. V.12, n.2. ISSN 1678-5169. São Carlos, 2002.

BLAKELEY, ADAM. Entendendo a corrosão em ensaio de névoa salina neutra – *Salt Spray*. **ABTS Tratamento de superfície**. São Paulo, nº 195, p 26-27, mar. 2016.

CANEVAROLO, SEBASTIAO V. **Ciência dos Polímeros**. 2ª edição. Editora Artliber, 2007.

GORNI, ANTONIO A. Recursos Básicos sobre Plásticos e Polímeros: Introdução aos plásticos. **Revista Plástico Industrial**. São Paulo.

INSTITUTO DO PVC. **O PVC e o meio ambiente**. São Paulo – SP, 2012.

MARIANO, N. A.; PIRES, A. C.; MUROLO, J. P.; KURI, S. E. **Avaliação da resistência à corrosão em aço inoxidável martensítico do tipo Cr-Ni em meio marinho sintético simulando atividades em águas profundas**. *Revista Escola de Minas* vol.59 n.1 Ouro Preto. Jan/Mar, 2006.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. **Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico**. *Química Nova*. Maio, 2004. Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf> > Acesso em: 12 out. 2016.

NUNES, L. R.; RODOLFO JR., A.; ORMANJI, W.; JÚNIOR, E. H.; AGNELI, J. A. M.; PESSAN, L. A. **Tecnologia do PVC**. BRASKEM. São Paulo, 2006. 448p., 2ª edição.

PENNAFORT Jr, LUIZ CARLOS G.; SILVA, FREDERICO ROZENDO; DEUS, ENIO PONTES. **Avaliação e caracterização de tubos fabricados com PVC reciclado**. *Polímeros*. 2013, vol.23, pp.547-551, São Carlos – SP.

RIBEIRO, R. B.; CODARO, E.N.; HEIN, L.R.O.; ROSA, J.L.; MARIOTTO, S.F.F.; MERAZ, E.A. **Análise morfológica da corrosão por pites em aço inoxidável austenítico AISI 310S submetido à exposição em névoa salina.** v.14, n.3. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762009000300007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762009000300007&lng=pt&nrm=iso) > Acesso em: 14 out.2016

SOUZA, D. O.; HAMMEL, N. P.; SANTOS, W. I.A.; RAMIREZ, A. H.; ROJO, N.; COSTA, I. **Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina Segundo Norma ISO 9227.** Instituto de Pesquisas Energéticas de Nucleares – IPEN. São Paulo, 2012.

TRIDAPALLI, CLAUDIA W. **Estudo comparativo de metodologias de ensaios acelerados de corrosão por frestas nas ligas de aço inox AISI 430 e AISI 304.** 2011.118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

UNIVERSIDADE ANHANGUERA UNIDERP. Sistema de Bibliotecas. **Deterioração dos materiais.** Campo Grande – MS, 2013.