

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**Estudo de junta soldada de compósitos PPS/fibras de carbono submetidas a meio ácido**

**João Vitor de Souza Oliveira**

**Rafael Oliveira Silva**

**PINDAMONHANGABA-SP**

**2019**

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

# **Estudo de junta soldada de compósitos PPS/fibras de carbono submetidas a meio ácido**

**João Vitor de Souza Oliveira  
Rafael Oliveira Silva**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para graduação, no Curso Superior de Tecnologia em Mecânica - Processos de Soldagem.

Área de Concentração: Soldagem e Corrosão  
Orientador: Prof. Me. Marcelo Bergamini de carvalho  
Co-Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Beatriz R. M. Abrahão

**PINDAMONHANGABA-SP  
2019**

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**ESTUDO DE JUNTA SOLDADA DE COMPÓSITOS  
PPS/ FIBRAS DE CARBONO SUBMETIDAS A  
MEIO ÁCIDO**

**JOÃO VITOR DE SOUZA OLIVEIRA  
RAFAEL OLIVEIRA SILVA**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de  
Tecnologia em Mecânica- Processos de  
Soldagem.

Comissão Examinadora

*marcelo B. de Carvalho*

---

Orientador – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

*M. Bergamini*

---

Membro – Profª. Drª. Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão

*A. B. Ramos*

---

Membro - Me. Luís Felipe Barbosa

**Pindamonhangaba, 02 de Julho de 2019.**

Ol41e Oliveira, João Vitor de Souza.  
Estudo de junta soldada de compósitos PPS/fibras de carbono submetidas a meio ácido / João Vitor de Souza Oliveira; Rafael Oliveira Silva / FATEC Pindamonhangaba, 2019.  
40f.; il.

Orientador: Professor Me. Marcelo Bergamini de Carvalho  
Co-orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2019

1. Soldagem. 2. Compósito. 3. Solda por Oxi-gás. I. Oliveira, João Vitor de Souza. II. Silva, Rafael Oliveira. III. Carvalho, Marcelo Bergamini de. IV. Abrahão, Ana Beatriz Ramos Moreira. V. Título.

CDD 621

Dedicamos aos nossos familiares

que com paciência e muita  
compreensão, souberam aceitar  
a redução do nosso tempo de  
nos dedicar aos estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus por nos dar forças e motivação para enfrentarmos os desafios e ultrapassar os obstáculos,

Ao orientador, Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho, que foi nosso grande mestre, que com sua experiência nos deu estímulos necessários para a procura do conhecimento nesse caminho,

A co-orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Beatriz R. M. Abrahão, pelo auxílio e contribuição para o trabalho, sendo de suma importância,

A Faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba-FATEC pela contribuição de laboratórios e materiais para realização do trabalho.

“Grandes realizações não são  
feitas por impulso mas por uma  
soma de pequenas realizações”.  
Vincent Van Vogh

OLIVEIRA, João Vitor S; SILVA, Rafael O. Estudo de Junta Soldada de Compósitos PPS/ fibras de carbono Submetidas a Meio Ácido. São Paulo. FATEC. 2019.

### Resumo

Os materiais compósitos são amplamente utilizados na indústria aeronáutica e automobilística, por essa união combinar características incomuns, como resistência mecânica, rigidez, resistência a elevadas temperaturas, e principalmente a redução de peso, ou seja, a massa do compósito, sendo essa a propriedade que a difere dos materiais metálicos. Uma das dificuldades para aplicação dos materiais compósitos PPS/fibra de carbono em escala industrial é conseguir a união desses componentes. Neste sentido vem-se estudando a junção desses materiais por processos de soldagem. Existem inúmeros ensaios para avaliar a eficiência de soldagem para materiais compósitos, cada um com uma determinada aplicação, dentre os ensaios mais indicados pela literatura, destaca-se o ensaio de *Lap Shear*. Este trabalho visa fazer o estudo de parâmetros na soldagem de compósitos de PPS- Fibra de carbono, avaliando suas propriedades mecânicas quando submetida ao condicionamento em meio ácido.

PALAVRAS-CHAVES: Soldagem, Compósito, Solda por Oxi-gás.

OLIVEIRA, João Vitor S; SILVA, Rafael O. Study of Welded Joint of Composites PPS/Carbon Fiber Subjected to Acidic Medium. São Paulo. FATEC. 2019.

### **Abstract**

Composite materials are widely used in the aeronautics and automotive industries, as this combination combines unusual characteristics such as mechanical strength, stiffness, resistance to high temperatures, and especially weight reduction, ie the mass of the composite, which is the property that differs from metallic materials. One of the difficulties in applying PPS / carbon fiber composite materials on an industrial scale is getting these components together. In this sense, we have been studying the joining of these materials by welding processes. There are numerous tests to evaluate the welding efficiency for composite materials, each with a particular application, among the most indicated in the literature, the Lap Shear test. This work aims to study the parameters in the welding of PPS-Carbon Fiber composites, evaluating their mechanical properties when subjected to acid etching.

**KEYWORDS:** Welding, Composite, Welding by Oxy-gas.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Ácido nítrico utilizado. ....	21
Figura 2 - Amostras submersas no ácido nítrico. ....	22
Figura 3 - Béquer utilizado. ....	22
Figura 4 - Posicionamento da tocha. ....	23
Figura 5 - Preparo para realizar a solda. ....	24
Figura 6 - Amostras embutidas em acrílico para análise microscópica. ....	25
Figura 7- Amostras soldadas. ....	26
Figura 8- Amostra sem ataque químico da região superficial que foi analisada micro estruturalmente. ....	29
Figura 9 – Analise micro estrutural 100x região superficial sem ácido nítrico. ....	29
Figura 10 - Analise micro estrutural 200x região superficial sem ácido nítrico. ....	30
Figura 11 - Seção transversal sem ataque de ácido nítrico. ....	30
Figura 12 - Analise micro estrutural 100x seção transversal sem ácido nítrico. ....	31
Figura 13 - Analise micro estrutural 200x seção transversal sem ácido nítrico. ....	32
Figura 14 - Análise micro estrutural região superficial com ácido nítrico. ....	33
Figura 15- Análise micro estrutural 100x região superficial com ácido nítrico. ....	33
Figura 16 - Análise micro estrutural 200x região superficial com ácido nítrico. ....	34
Figura 17 - Analise micro estrutural da seção transversal com ácido nítrico. ....	34
Figura 18 - Analise micro estrutural 100x seção transversal com ácido nítrico. ....	35
Figura 19 - Analise micro estrutural 200x seção transversal com ácido nítrico. ....	36

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Condições utilizadas de soldagem das amostras .....27  
Tabela 2. Valores de resistência mecânica obtida através do ensaio Lap Shear sem  
condicionamento em meio ácido. ....27  
Tabela 3. Valores de resistência mecânica obtida através do ensaio *Lap Shear* após a imersão  
em ácido Nítrico. ....28

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. JUSTIFICATIVA .....	13
1.2. OBJETIVO .....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS .....	14
2.2. FIBRA DE CARBONO.....	15
2.3. PPS – SULFETO DE POLIFENILENO .....	15
2.4. SOLDAGEM DE MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	16
2.5. CORROSÃO .....	16
2.6. TESTE <i>LAP SHEAR</i> .....	17
2.7. CONDICIONAMENTO AMBIENTAL .....	18
2.7.1. Ácido nítrico .....	18
2.8. PROCESSO OXI-GÁS .....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1. LAMINADOS .....	21
3.2. CONDICIONAMENTO EM MEIO ÁCIDO.....	21
3.3. SOLDAGEM OXI-GÁS .....	23
3.4. MICROSCOPIA ÓPTICA .....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1. SOLDAGEM .....	26
4.2. RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS (LAP SHEAR) ...	27
4.2.1. Amostras sem condicionamento .....	27
4.2.2. Amostras com condicionamento .....	28
4.3. ANÁLISE MICRO ESTRUTURAL DAS AMOSTRAS APÓS O LAP SHEAR .....	28
4.3.1. Sem condicionamento em meio ácido .....	28
4.3.2. Com condicionamento em meio ácido .....	32
5. CONCLUSÕES .....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de matrizes termoplásticas tem continuamente evoluído como uma alternativa para aplicações estruturais, devido à alta tenacidade à fratura, alta resistência ao impacto, maior temperatura de serviço, menor absorção de umidade, alta tolerância a danos, baixo custo de processamento em grande escala, baixo custo de transporte e estocagem, maior facilidade na execução de reparos e maiores possibilidades de integração e de reciclagem de rejeitos (GATTI; SILVA; TARPANI, 2006; SILVA et al., [s.d.]).

Alguns avanços tecnológicos melhoraram as propriedades mecânicas das matrizes termoplásticas, uma vez que, as mesmas se tornaram mais competitivas em relação às resinas termorrígidas, especialmente para a indústria de transporte, onde estas são utilizadas em painéis, armações de portas, engrenagens, etc (BONELLI et al., 2005; PARDINI, [s.d.]; YOUSEFPOUR; HOJJATI; IMMARIGEON, 2004).

Em busca de se descobrir materiais com melhores características estruturais vêm se estudando a união de termoplásticos reforçados com fibra de carbono, como o PPS, que tende a ganhar mais espaço no mercado automobilístico e aeronáutico, onde já são utilizados materiais compósitos, devido as suas características estruturais, principalmente resistência à corrosão, sendo essa propriedade a que diferencia dos materiais metálicos (OTELHO; PARDINI; REZENDE, 2007. NOHARA et al, 2006).

Sua principal utilização é na indústria aeroespacial, que começou a partir da década de 60, onde os materiais compósitos com alto desempenho foram introduzidos nessa indústria. O desenvolvimento de fibras de carbono, ofereceram ao projetista a oportunidades de flexibilizar os projetos estruturais, atendendo as necessidades em vôo de aeronaves e veículos de reentrada (OTELHO; PARDINI; REZENDE, 2007. NOHARA et al, 2006).

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Em diversos setores da engenharia, a inclusão de conexões é necessária devido às limitações no processo de fabricação e de importância na inspeção, reparo e montagem para com estes materiais. Para a obtenção de uma estrutura adequada é necessária uma relação custo/benefício e de desenvolvimento de processos eficientes de junção e montagem rápida.

## 1.2. OBJETIVO

Este trabalho de graduação tem como objetivo analisar mecanicamente e micro estruturalmente do compósito PPS/fibra de carbono soldadas pelo processo oxiacetileno após serem submetidos a meio ácido e teste de *Lap Shear*.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos são produzidos quando dois ou mais materiais (ou fases) são utilizados juntos para resultar em uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas de outra maneira. Essa formação de materiais resulta na combinação incomum de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade. Ossos, dentes e madeira são exemplos de compósitos que existem na natureza. Materiais como plástico reforçado com fibras de vidro ou com fibras de carbono são compósitos em microescala. Esses compósitos oferecem ganho significativo nos valores de resistência específica, e seu emprego é feito em aeronaves, componentes eletrônicos, equipamentos automotivos (ASKELAD; PHULÉ, 1985).

Esses materiais envolvem alguma combinação de dois ou mais componentes dos tipos fundamentais. Essa categoria de matérias estruturais deve fornecer “o melhor dos dois mundos”. A combinação desses dois componentes fornece um produto superior a qualquer um deles isolados. Essas categorias são demonstradas por dois de nossos materiais estruturais mais comuns: fibra de vidro e concreto. A fibra de vidro, ou polímero reforçado com fibra sintética. A utilidade dos materiais compósitos se deve as suas propriedades. Um exemplo é o modulo de elasticidade. O modulo é uma função sensível da geometria do componente de reforço. Também importante é a resistência da interface entre o componente de reforço e a matriz (SHACKELFORD, 2004).

Por volta do século XX os compósitos foram considerados uma classe distinta de materiais, com a fabricação de compósitos multifásicos deliberadamente projetados, como por exemplo, os polímeros reforçados com fibra de vidro.

Não existe mais a necessidade de materiais com propriedades específicas, tais como os encontrados nas indústrias aeroespacial, submarina, de bioengenharia e de transporte. Como por exemplo, os engenheiros aeronáuticos buscam cada vez mais materiais estruturais que

apresentam baixa massa específica, sejam resistentes, rígidos e tenham resistência à abrasão e ao impacto, e que não sejam corroídos com facilidade (CALISTER; RETHWISCH, 2016).

## 2.2. FIBRA DE CARBONO

A fibra de carbono é um material muito utilizado desde aeronaves até as bicicletas mais potentes do mundo. Podemos ver suas aplicações em acessórios para esportes, como tacos, raquetes e entre outros, e nos painéis de carros também (HAMMAN, 2017).

Segundo Hamman (2017) esse material é construído em maior parte por fibra de carbono. Sua principal matéria-prima é o polímero de poliacrilonitrila, obtido a partir da polimerização de uma variação do acrílico. Uma das principais vantagens dessa fonte é a alta concentração de carbono, uma vez que mais de 90% dos átomos no material são justamente disso.

Segundo Reis (2016) as fibras de carbono são de grande interesse comercial e científico. Sua utilização oferece diversas vantagens como, facilidade de processamento, elevada taxa de resistência/densidade, a possibilidade de reciclagem e a obtenção de peças com formas complexas, sendo então cada vez mais utilizadas como materiais estruturais em diversas aplicações na engenharia.

## 2.3. PPS – SULFETO DE POLIFENILENO

É um polímero semi-cristalino, plástico de engenharia de elevado desempenho com propriedades mecânicas, como resistência à fluência, rigidez, resistência a corrosão e apresenta uma elevada resistência térmica (BOTELHO; PARDINI; REZENDE, 2007. NOHARA et al, 2006).

É um termoplástico de engenharia especial, ou seja, um polímero cuja estrutura é composta por anéis, que intercalados a átomos de enxofre, impõem restrições à movimentação da cadeia polimérica. Esta estruturação resulta em uma cadeia homopolimérica linear, com uma elevada cristalinidade entre 50 e 60% que permite sua aplicação em elevadas temperaturas, devido ao baixo coeficiente de dilatação térmica e alta resistência a chama,

além de resistir a ataques químicos de solventes orgânicos, inorgânicos, sais e bases (BOTELHO; PARDINI; REZENDE, 2007. NOHARA et al, 2006).

O PPS é insolúvel em todos os solventes conhecidos abaixo de 200°C, tendo como principal característica a resistência à corrosão, sendo essa propriedade que a difere dos metais (BOTELHO; PARDINI; REZENDE, 2007. NOHARA et al, 2006).

#### 2.4. SOLDAGEM DE MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Normalmente, para desenvolver uma estrutura deve se fazer de forma que não ocorra a existência de uniões, pois podem causar fragilidade e diminuição do desempenho do material. Contudo muitas vezes é necessária a utilização de conexões devido a limitações do processo de fabricação, montagem, reparo e inspeção (DA COSTA, 2012).

Segundo Souza (2013) as técnicas de união de compósitos devem ser classificadas por fixação mecânica, união adesiva e união por fusão (soldagem). Contudo, entre as técnicas utilizadas, destacam-se os processos de soldagem, devido a estes proporcionar uma melhor qualidade nas juntas, sendo necessário um menor tempo de processo e pouca preparação da superfície a ser soldada.

O início da ligação por soldagem envolvendo os termoplásticos consiste na preparação da superfície que recebera a solda, aquecimento do polímero na região interfacial para o estado viscoso e do resfriamento. Os processos mais comumente utilizados são soldagem por vibração, ultrassom, infravermelho, indução e resistência elétrica, pois estes apresentam melhor eficiência da junta, maiores campos de aplicação e eficiência no processo (ABRAHAO, 2015).

#### 2.5. CORROSÃO

Corrosão é a deterioração de metais causada por processos eletroquímicos das reações de oxirredução, que é a reação dos metais com os elementos não metálicos presentes no meio. Em geral, a corrosão é provocada pelo oxigênio. Os metais têm uma capacidade de oxidação

bem maior do que o oxigênio, sendo assim, tendem a perder elétrons para o oxigênio presente no ar atmosférico (FOGAÇA, 2019).

De acordo com Callister e Rethwish (2016) os materiais plásticos e plásticos reforçados com fibras também apresentam deterioração quando exposto ao ambiente, porém através de processos não corrosivos, e para esta é dado o nome de degradação. A deterioração destes materiais é dada através de um processo físico-químico, sua deterioração ocorre através de processos químicos (oxidação das ligações químicas), degradação térmica e ação de solventes.

Todos os materiais são afetados pela corrosão, seja ela madeira em decomposição que apresenta um fenômeno de degradação biológica, que também é o caso da fibra de carbono, onde não sofre corrosão e sim degradação. Nos seres humanos também sofremos esse processo, lento e gradual processo corrosivo do tempo liderado pelos agentes oxidantes do corpo, os chamados radicais livres (JAMBO; FÓFANO, 2008).

## 2.6. TESTE *LAP SHEAR*

De acordo com Abrahão (2015) há várias alternativas e métodos de avaliação envolvendo compósitos, dentre elas dois grupos se distinguem: ensaios mecânicos e técnicas de avaliação por análises térmicas e ensaios morfológico.

Nos ensaios mecânicos, dois métodos de análise são mais amplamente utilizados quando se trata de juntas soldadas de material compósitos, sendo elas teste de *Lap Shear* e teste de resistência ao cisalhamento DCB. Já o segundo grupo é utilizado normalmente para analisar a qualidade do interior do material tais como: DSC (calorimetria exploratória diferencial); técnicas de microscopia e ultrassom (ABRAHAO, 2015).

Segundo Abrahão (2015) teste *Lap Shear* (LSS) é considerado como sendo o método mais utilizado para a investigação da resistência de ruptura de juntas soldadas pelo processo de resistência elétrica ou outro meio de união. Este método consiste em aplicação de força de tração em corpos de prova soldados até a ruptura. Os ensaios serão realizados na máquina de tração marca Shimadzu AG-X com célula de carga de 50 KN e velocidade de 1,5 mm/min baseando-se na norma ASTM D1002-10.

## 2.7. CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

### 2.7.1. Ácido nítrico

O ácido nítrico é um ácido forte, pois seu grau de ionização ( $\alpha$ ) é de 92%. É um composto químico viscoso, inodoro e incolor, muito volátil, forte e oxidante, miscível em água, representado pela fórmula  $\text{HNO}_3$ , com 70% em massa de nitrato de hidrogênio. É fumegante em contato com o ar, seus vapores são extremamente tóxicos e corrosivos também, podendo causar queimaduras e manchas amareladas na pele. Ele entra em ebulição a  $83^\circ\text{C}$  a 1 atm, isto é, ao nível do mar (FOGAÇA, 2019).

É um ácido incompatível com a maioria dos compostos orgânicos. O ácido nítrico reage de três maneiras quimicamente, como ácido forte, como agente oxidante, como agente de nitração. Como ácido forte, provoca reação com produtos alcalinos e óxidos, formando sais denominados nitratos. Já como agente oxidante, oxida produtos orgânicos como a anilina e o álcool furfurílico, sendo usado em combustíveis para foguetes. E tal como reações de nitração, envolve a nitração comum (com hidrocarbonetos) e a esterificação (com álcoois), o que possibilita a síntese de explosivos orgânicos (CARDOSO, 2019).

Ele é muito utilizado na fabricação de explosivos (nitroglicerina ou dinamite, trinitrotolueno ou TNT e trinitrocelulose ou algodão-pólvora). Também é usado na fabricação de salitre ( $\text{NaNO}_3$  e  $\text{KNO}_3$ ), para produzir fertilizantes agrícolas, como o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , e pólvora negra. O ácido nítrico também pode ser usado na fabricação de corantes, de fibras sintéticas (náilon e seda artificial), de nitratos (FOGAÇA, 2019).

A escolha desse ácido foi devido a ele ter um nível elevado ionização, sendo um ácido forte, e possibilitando aproximar a condições naturais de exposição, como por exemplo, a chuva ácida.

## 2.8. PROCESSO OXI-GÁS

A soldagem a gás ou soldagem a oxicomustível no qual a união dos metais é promovida pela união das peças até a fusão com uma chama de um gás combustível e oxigênio. Se usado um metal de adição, ele é fundido junto à peça. Esse processo tem um

---

**Fatec Pindamonhangaba**

excelente controle que se pode exercer sobre a entrada do calor e a temperatura das peças que estão sendo soldadas. O equipamento usado é bastante simples, tem baixo custo, e também pode ser usado com pequenas variações em outras operações, como dobramento e desempenho de peças metálicas. Este tipo de soldagem é adequado para chapas finas, é muito usado na soldagem de reparo e tubos de pequeno diâmetro. Entre os metais soldáveis por esse processo, incluem-se os aços, particularmente os de baixo carbono e a maiorias dos metais não ferrosos (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005).

Na soldagem a gás, as peças a passarem por esse processo não têm muitas responsabilidades estruturais e são de finas espessuras. É um processo mais utilizado em vedação de sistema de refrigeração, soldagem de recuperação de componentes automobilísticos vedados, entre outros. As vantagens da utilização deste processo é o custo da soldagem relativamente baixo, um processo altamente portátil e de fácil transporte, que tem condições de soldar em qualquer posição, equipamento versátil, pois pode ser utilizado em operações de brasagem, corte a chama e fonte de calor para pré-aquecimento. É um tipo de soldagem utilizado para chapas finas e medias. Sua principal desvantagem é o alto grau de habilidade que o soldador necessita ter, já que ele deve controlar a temperatura, a posição e a direção da chama, além de manipular o metal de adição (SANTOS, 2015).

A combustão do gás acetileno na soldagem acontecerá em duas etapas: a primeira, onde apenas o oxigênio do cilindro é utilizado; e a segunda, onde o ar atmosférico também participa da reação. A característica da chama depende diretamente da relação entre o gás combustível e comburente, utilizando então a regulagem da chama, a razão entre o volume dos gases na zona de combustão primária, onde a regulagem da chama é igual ao volume do comburente (oxigênio) dividido pelo volume do combustível (gás).

Segundo Wainer, Brandi e MELLO (1992) a partir disto que a chama pode ser definida como redutora, neutra e oxidante. Para a chama redutora utiliza vazões abaixo de 1,0 e possui penacho esverdeado com um dardo circundado por um véu branco. As chamas neutras são utilizadas vazões entre 1,0 e 1,1 e esta é caracterizada por um penacho longo, dardo branco e arredondado. Já a chama oxidante utiliza vazões acima de 1,1 e é caracterizada por possuir penacho azulado ou esverdeado, dando pequeno e pontiagudo e ruindo característico. Podemos observar na figura 1 a seguir, a chama que foi utilizada.

A soldagem a gás é um grupo de processos que promove a união das peças devido ao aquecimento produzido por uma chama, usando ou não metal de adição, com ou sem

---

**Fatec Pindamonhangaba**

aplicação de pressão. É um processo que foi descoberto no século XIX, por um cientista francês, que observou que quando acetileno queima com oxigênio produz uma chama que queima em uma temperatura aproximadamente de 3000°C. O processo começou a ser comercializado no século XX, onde foram produzidos processos de produção de acetileno e oxigênio. As principais vantagens desse processo é o baixo custo, emprega equipamento portátil e permite fácil controle da operação. Já as principais desvantagens são a exigência de um soldador hábil, tem baixa taxa de deposição e apresenta riscos de acidentes com cilindros de gases (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. LAMINADOS

Os laminados termoplásticos avaliados neste trabalho foram os compósitos PPS/fibras de carbono, processado e fornecido pela empresa holandesa TEN CATE Advanced Composites.

#### 3.2. CONDICIONAMENTO EM MEIO ÁCIDO

Foi usado para o condicionamento ambiental o ácido nítrico 65% da empresa Química Moderna, apresentado na Figura 1, devido a este causar grande degradação quando em contato com o material. Foram imersas em 500 ml de ácido nítrico as juntas soldadas durante um período de 2 dias (48 horas), como apresentado na Figura 2, para a análise da resistência do compósito e da proteção proporcionada pela matriz. Na Figura 3 podemos ver o béquer utilizado.

Figura 1 - Ácido nítrico utilizado.



Fonte: autor, 2019.

Fatec Pindamonhangaba

Figura 2 - Amostras submersas no ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Figura 3 - Béquer utilizado.



Autor: Fonte

### 3.3. SOLDAGEM OXI-GÁS

Este processo foi escolhido devido ao seu fácil manuseio e baixo custo, cuja operação consistirá na adaptação de um tijolo refratário onde foi feito uma abertura para o encaixe de um material condutor (neste caso, alumínio) e o da amostra, juntamente com um orifício para focalizar a chama. Será utilizado o conjunto de cilindro Oxi-gás com o dispositivo de solda adaptado para a soldagem dos polímeros. Para realizar a soldagem foi utilizado um conjunto de cilindros de oxiacetileno, utilizando a chama oxidante com vazões de  $1,0 \text{ kgf/cm}^3$  de acetileno e de  $1,0 \text{ kgf/cm}^3$  de oxigênio.

Durante o processo de soldagem de materiais compósitos é muito importante manter o controle da temperatura devido a sua fácil degradação, utilizando assim um pirômetro óptico, da marca INSTRUTHERM. Na realização da soldagem das amostras de PPS/fibra de carbono, foram posicionadas e fixadas em um dispositivo que consiste em dois tijolos refratários, mostrado na Figura 4 e 5, possuindo dois orifícios para a passagem da chama.

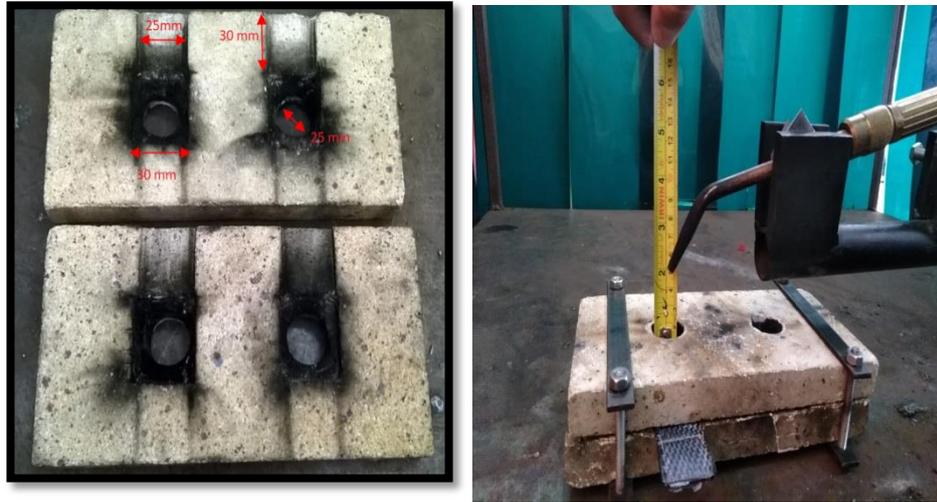
Figura 4 - Posicionamento da tocha



Fonte: autor, 2019.

## Fatec Pindamonhangaba

Figura 5 - Preparo para realizar a solda



Fonte: autor, 2019.

## 3.4. MICROSCOPIA ÓPTICA

Para realizar a microscopia as amostras submetidas ao teste de *Lap Shear*, foram cortadas e embutidas em resina acrílica do tipo RPI e permaneceram em repouso de 24 horas para cura, posteriormente lixadas com lixas úmidas de granulometria 320, 600 e 1200. Após a preparação das amostras, foram realizadas análises microscópicas para caracterização da área onde ocorreu a soldagem, onde foi utilizado um microscópio ótico com aumento de 100x e 200x. A Figura 6 ilustra as amostras embutidas em resina acrílica.

---

Fatec Pindamonhangaba

Figura 6 - Amostras embutidas em acrílico para análise microscópica



Fonte: autor, 2019.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. SOLDAGEM

Como resultados iniciais deste trabalho foram obtidos juntos nas condições de soldagem para o compósito PPS\ Fibra de carbono, utilizando uma distância de 50 mm e o tempo entre 50 a 100s. Visualmente determinou-se o tempo mínimo de soldagem para a distância determinada de 80s (40s em cada lado das amostras). Nestas condições, foram feitas quatro soldas, onde duas foram submetidas ao condicionamento ácido, e depois todas as amostras submetidas ao teste de *Lap Shear*. A Figura 7 ilustra as amostras soldadas.

Figura 7- Amostras soldadas



Fonte: autor, 2019.

Adicionalmente foi medida a temperatura com um pirômetro e o resultado foi à solda proporcionar o atingimento da temperatura por volta de 280° C. Sendo que esta foi suficiente para causar a junção e não haver degradação da fibra de carbono que poderia causar perdas das propriedades mecânicas. A Tabela 1 mostra os detalhes do experimento.

---

**Fatec Pindamonhangaba**

Tabela 1. Condições utilizadas de soldagem das amostras

Amostra	Tempo (s)	Distância (mm)	Temperatura (°C)
1	80 segundos	50 mm	289°C
2	80 segundos	50 mm	275°C
3	80 segundos	50 mm	280°C
4	80 segundos	50 mm	280°C

Fonte: autor, 2019.

## 4.2. RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS (LAP SHEAR)

### 4.2.1. Amostras sem condicionamento

Com a obtenção das juntas nas condições de soldagem obtidas por planejamento experimental, foi realizado o ensaio mecânico de *Lap Shear* para verificar a influência da exposição em meio ácido na resistência mecânica. Foram então realizadas as análises das amostras antes e depois da exposição ao meio ácido, após o período ao qual permaneceram em imersão no período de dois dias. Para o ensaio as mesmas foram limpas com água corrente e álcool etílico, para em seguida serem submetidas ao ensaio *Lap Shear*. Os resultados de resistência destas sem condicionamento estão na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de resistência mecânica obtida através do ensaio Lap Shear sem condicionamento em meio ácido.

Amostras	Tensão (Mpa)
1	10,4
4	14,3

Fonte: autor, 2019.

#### 4.2.2. Amostras com condicionamento

Através do ensaio *Lap Shear* foi possível observar, na amostra 2 e 3 após imersão em ácido, uma diminuição da resistência mecânica do material quando comparada a das amostras sem condicionamento. A Tabela 3 a seguir, mostra os valores obtidos.

Tabela 3. Valores de resistência mecânica obtida através do ensaio *Lap Shear* após a imersão em ácido Nítrico.

Amostras	Tensão (MPa)
2	11,8
3	11,3

Fonte: autor, 2019.

#### 4.3. ANÁLISE MICRO ESTRUTURAL DAS AMOSTRAS APÓS O LAP SHEAR

Para uma análise visual de melhor qualidade, foram feitas análises metalográficas de onde ocorreu a solda, tanto da amostra com e sem condicionamento em meio ácido, da região superficial e transversal do compósito.

##### 4.3.1. Sem condicionamento em meio ácido

Na Figura 8 a seguir, observamos a região superficial que foi analisada, onde se buscou informações do posicionamento e também das características da matriz polimérica e da fibra.

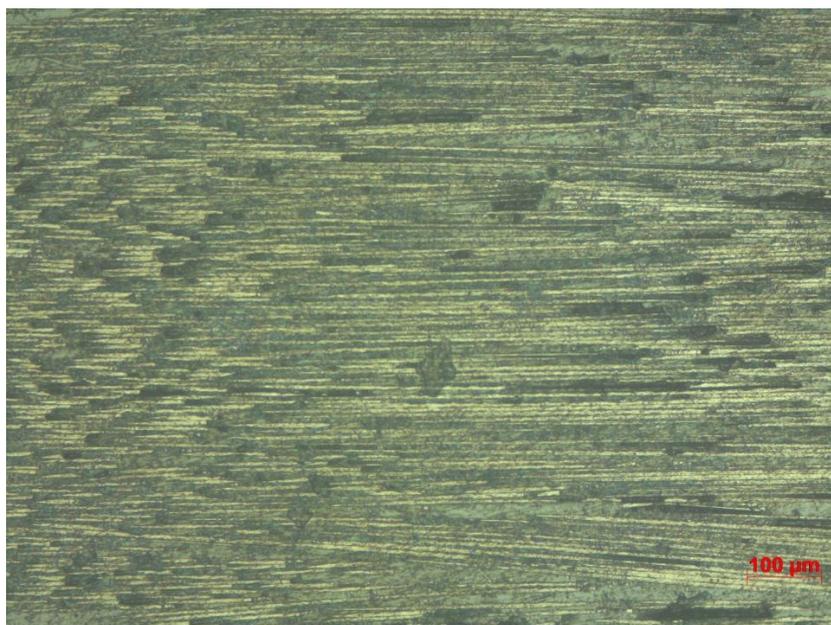
Figura 8- Amostra sem ataque químico da região superficial que foi analisada micro estruturalmente.



Fonte: autor, 2019.

As Figuras 9 e 10, com aumento de 100x e 200x respectivamente, demonstram a homogeneidade da composição do material, onde se percebe a orientação das fibras.

Figura 9 – Analise micro estrutural 100x região superficial sem ácido nítrico.

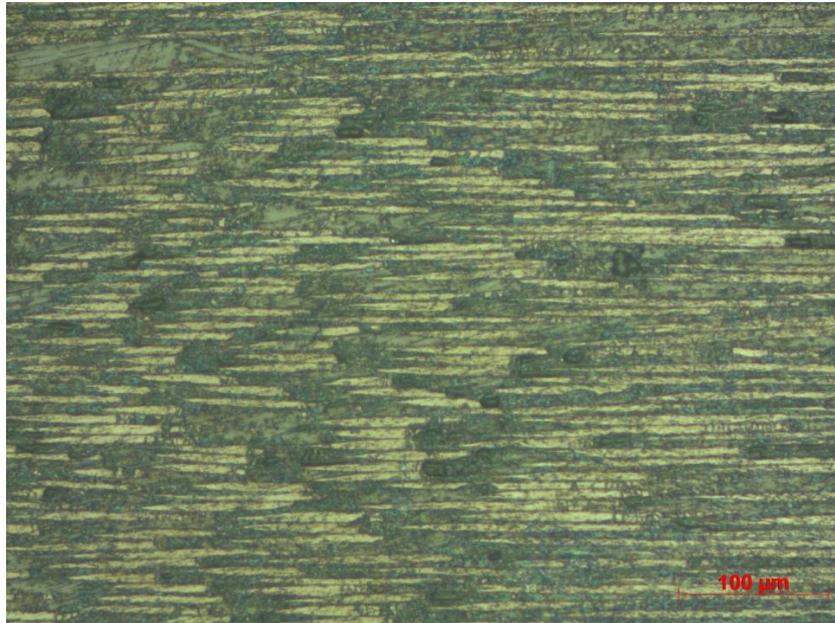


Fonte: autor, 2019.

---

**Fatec Pindamonhangaba**

Figura 10 - Análise micro estrutural 200x região superficial sem ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Em continuidade das análises das amostras recebidas, na Figura 11 ilustra a seção transversal sem ataque de ácido nítrico que foi analisada.

Figura 11 - Seção transversal sem ataque de ácido nítrico.



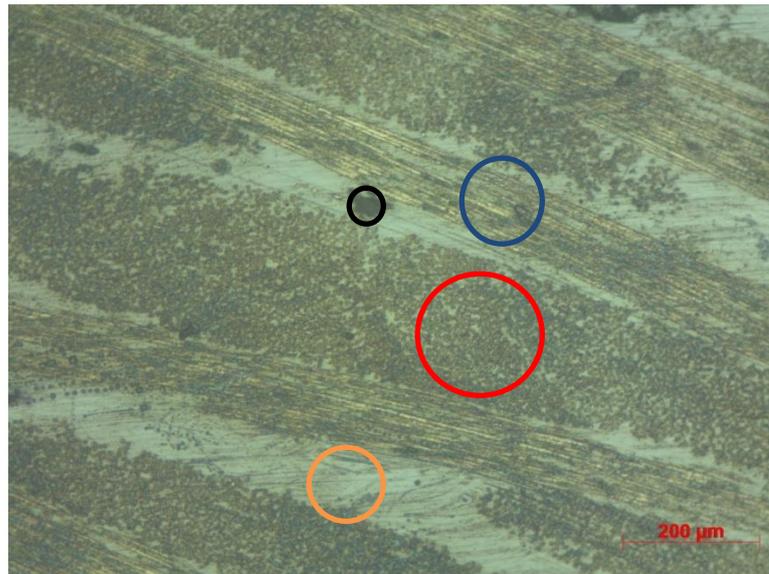
Fonte: autor, 2019.

---

**Fatec Pindamonhangaba**

Pode-se observar na Figura 12, na região circulada de preto, pequenos vazios provavelmente devido ao teste de resistência mecânica de *Lap Shear*. Consegue-se ver a região do círculo em azul, a fibra de carbono. Já no círculo laranja, vemos o PPS, que é o termoplástico. Por último, de vermelho, o PPS/fibra de carbono.

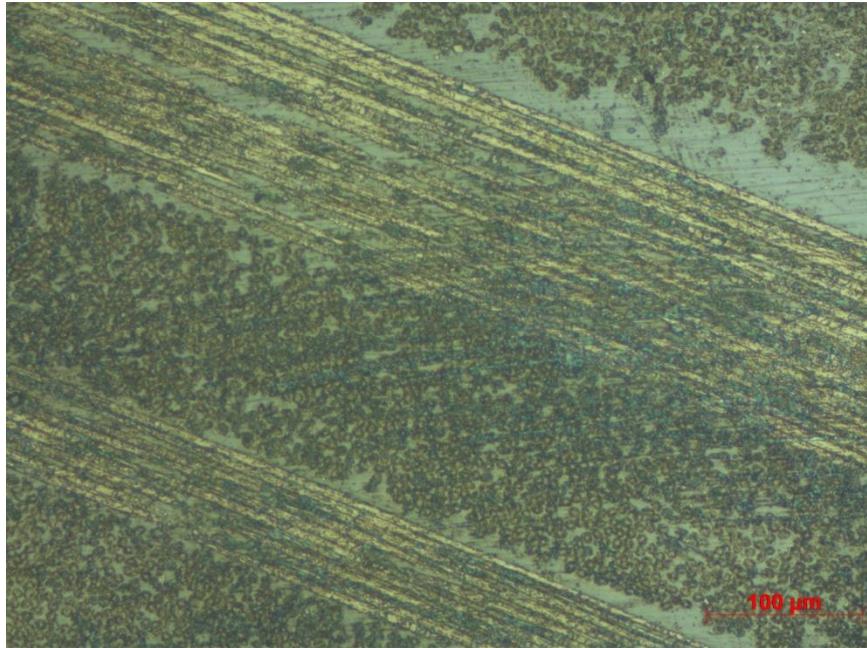
Figura 12 - Análise micro estrutural 100x seção transversal sem ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Na Figura 13, com aumento de 200x, observamos a presença do PPS com a fibra de carbono, nos mesmos aspectos já mencionados na Figura 12.

Figura 13 - Análise micro estrutural 200x seção transversal sem ácido nítrico.

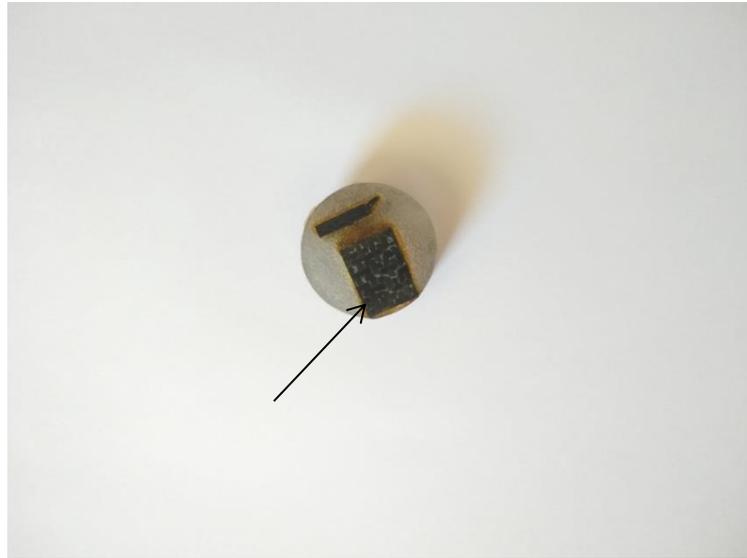


Fonte: autor, 2019.

#### 4.3.2. Com condicionamento em meio ácido

Para a análise do efeito do ácido nítrico principalmente na matriz polimérica, que é responsável por proteger a fibra, foi realizada a microscopia das amostras depois de dois dias imersas. A Figura 14 aponta a 1<sup>o</sup> região analisada.

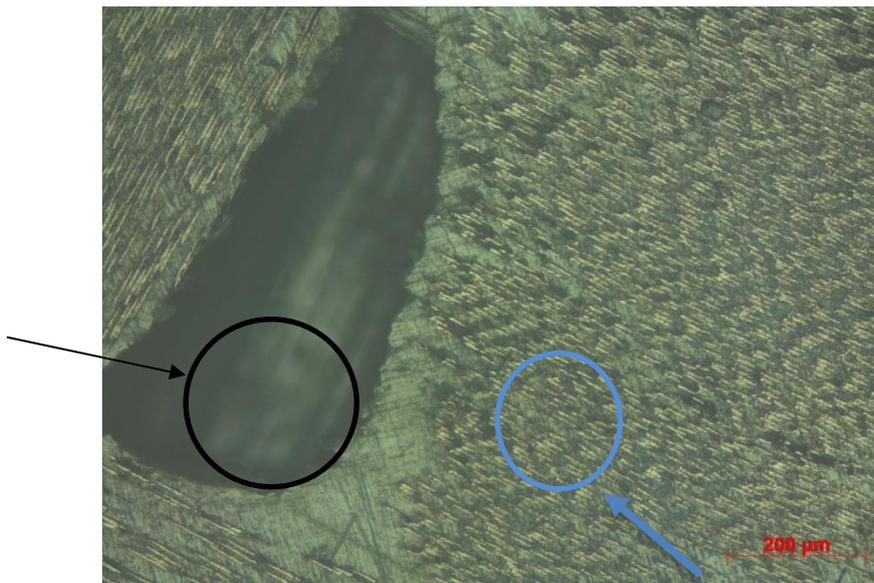
Figura 14 - Análise micro estrutural região superficial com ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Podemos observar na Figura 15, a região circundada de preto, os vazios formados pela degradação do PSS, que é a região do material termoplástico. Já no círculo azul, é a região da fibra de carbono, se mostrando intacta, resistente a corrosão.

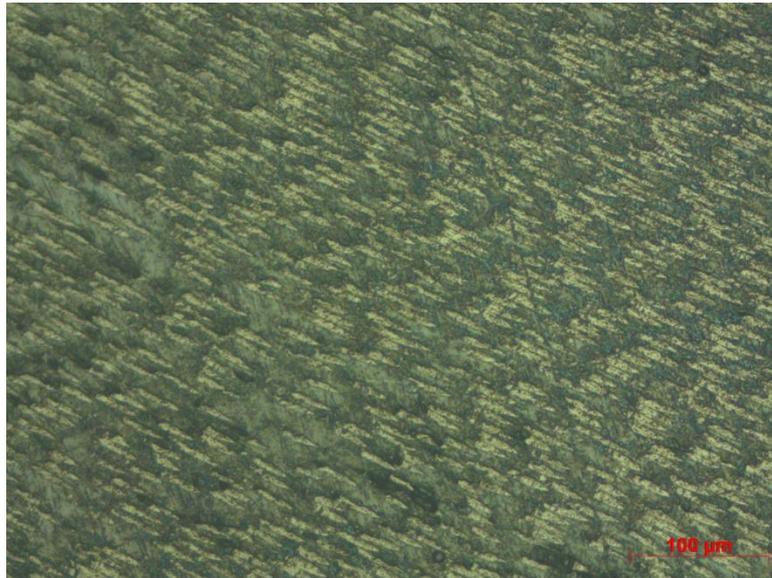
Figura 15- Análise micro estrutural 100x região superficial com ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Na ilustração 16, pode-se ver o PPS com a fibra de carbono intactos, comprovando que a matriz polimérica foi eficiente em meio ácido por 48 horas.

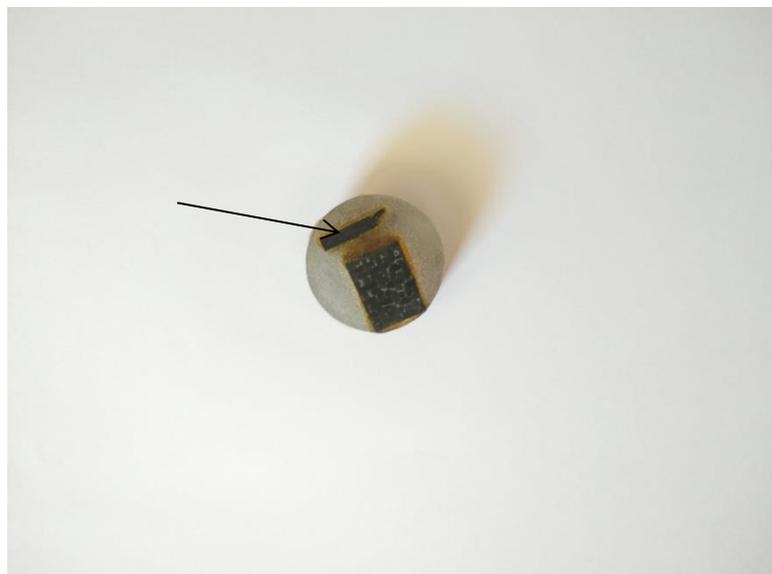
Figura 16 - Análise micro estrutural 200x região superficial com ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Em continuidade as análises do efeito em meio ácido, a Figura 17 abaixo mostra a seção transversal em que foi observada.

Figura 17 - Análise micro estrutural da seção transversal com ácido nítrico.



## Fatec Pindamonhangaba

Fonte: autor, 2019.

Podemos observar na Figura 18, na região circulada de preto, os vazios formados pela degradação do PPS, que é o material termoplástico, sendo a região circulada de vermelho, o PPS não degradado. Já o círculo azul, mostra as fibras de carbono intactas, sendo resistente a corrosão. O por último o círculo laranja, que é a região de PPS/fibra de carbono.

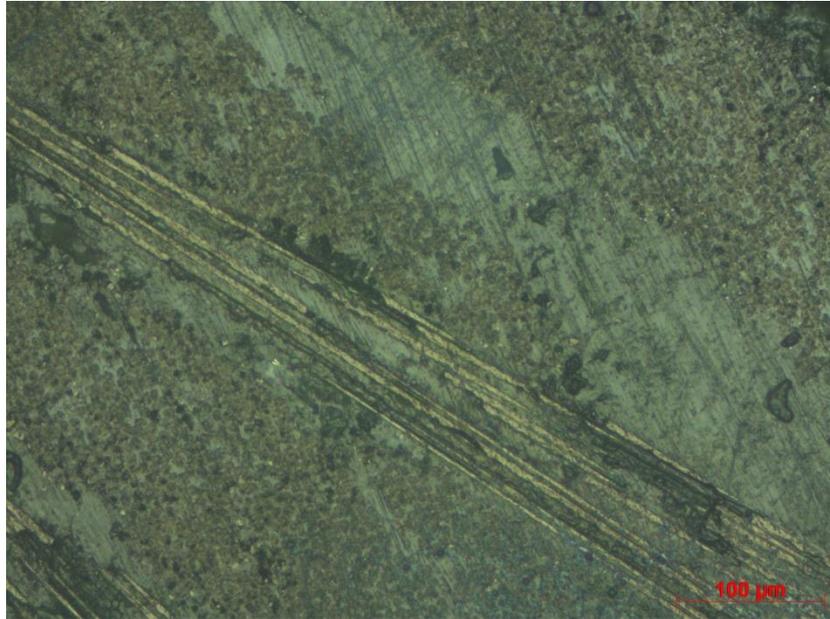
Figura 18 - Análise micro estrutural 100x seção transversal com ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

Na Figura 19, observa-se com aumento de 200x, que realmente alguns pontos da matriz polimérica sofreu a corrosão pelo ácido, entretanto a fibra em todas as regiões permaneceram intactas. Assim, mostrando-se que este tipo de solda com o material foi resistente ao efeito do ácido nítrico por dois dias.

Figura 19 - Análise micro estrutural 200x seção transversal com ácido nítrico.



Fonte: autor, 2019.

## **5. CONCLUSÕES**

Foi definido para a soldagem o processo oxiacetileno, pois esse apresentar um excelente controle que se pode exercer sobre a entrada do calor e a temperatura das peças que estão sendo soldadas, evitando a degradação das mesmas. Outro fator importante para que ocorresse a soldagem, foi da utilização do alumínio como condutor térmico da chama para o compósito, tendo um melhor controle da temperatura sobre o material soldado.

Posteriormente, o ensaio de condicionamento ambiental em meio ácido, observamos uma mudança de cor nas amostras, devido à absorção do ácido, mas não ocorrendo o rompimento das juntas. Com o teste de Lap Shear, houve uma diminuição significativa de resistência mecânica da junta em comparação com as amostras sem ataque químico, e através da microscopia ótica, observamos a degradação do PPS, mas a fibra de carbono continuou intacta, mostrando também a eficiência da matriz, que serviu como camada protetora para esses dois materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABRAHÃO, A. B. R. M. **Otimização do processo de soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras contínuas para aplicações aeronáuticas**. 2015. 200f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Fundamentos e Aplicações do alumínio**. São Paulo: Editora ABAL, 2007.

ABREU, C. P. **Caracterização da reatividade das ligas de alumínio AA2024-T3 e AA7475-T651 soldadas por fricção (FSW)**. Tese de Doutorado. UNESP. São Paulo. 2016.

ADHIKARI, B; MAJUMDAR, S. **Polymer in Sensor Applications**.Prog.Polym.Sci, 2004, p. 699 – 766.

AGEORGES C, YE L. **Fusion bonding of polymer composites**. Berlin: Springer; 2002.

AGEORGES, C.; YE, L.; HOU, M. **Experimental investigation of the resistance welding for thermoplastic-matrix composites. Part I: heating element and heat transfer**. **Composites Science and Technology**, v. 60, n. 7, p. 1027–1039, 2000.

AGEORGES, C.; YE, L.; HOU, M. **Experimental investigation of the resistance welding for thermoplastic-matrix composites. Part I: heating element and heat transfer**. **Composites Science and Technology**, v. 60, n. 7, p. 1027–1039, 2000.

ASKELAD, Donald R; PHULÉ, Pradeep P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 1985.

AVIAÇÃO.ORG. **Os Materiais Compósitos e Suas Aplicações na Indústria Aeroespacial**. Disponível em:<<http://www.aviacao.org/especiais/materiais-compósitos/>>. Acesso em: 17 de agosto. 2018.

AQUINO, E. M. F.; SARMENTO, L. P. S.; SILVA, R. V. **Moisture Effect on Degradation of Jute/Glass Hybrid Composites**.JournalofreinforcedPlasticsandComposites, United States: Thousand Oaks, 2007, p. 219-233.

BONELLI, C. M. C. et al. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava**. **Polímeros**, v. 15, n. 4, p. 256–260, 2005.

BOTELHO, E. C.; PARDINI, L. C. & REZENDE, M. C. – **Mat. Sci. Eng. A**, 452-457, p.292 (2007).

CALISTER, William D. Calister; RETHWISCH, Jr David G. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARDOSO, Mayara. Corrosão. 2019. Disponível em:

< <https://www.infoescola.com/quimica/corrosao/> >. Acesso em: 03 de maio de. 2019.

CATSMAN, P. **Polyetherimide (PEI): Substituting Metal**. Alemanha: Kunststoffe, 2005, p.143-147.

COUTO, Antonio Augusto. Et al. Estudo das Propriedades Mecânicas em Fadiga da Liga de Alumínio 2024 Envelhecida Artificialmente Para Aplicações Aeronáutica. 2012. Disponível em: < <https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/18696.pdf> >. Acesso em: 24 de agosto. 2018.

CUNHA, J. A. P.; COSTA, M. L. & REZENDE, M. C. Polímeros, 16, p.193 (2006).

DA COSTA, A. P. et al. A review of welding technologies for thermoplastic composites in aerospace applications. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 4, n. 3, p. 255–265, 2012.

DIPROFIBER. *Comércio de Fibras de Vidro Ltda*. Disponível em: <<http://www.diprofiber.com.br/diprofiber-produto-14-11-fibra-de-carbono?PHPSESSID=03204b4549258c6be6a726e97d09a7ce>>. Acesso em: 15 de ago. 2018.

DUBÉ, M. et al. Resistance welding of thermoplastic composites skin/stringer joints. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n. 12, p. 2541–2552, 2007.

FARIA, M. C. M. **Avaliação do efeito higrotérmico nas propriedades mecânicas dos compósitos de PPS/fibras contínuas**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá (2008).

FOGAÇA, Jennifer. Ácido Nítrico. 2019. Disponível em:

< <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/acido-nitrico.htm> >. Acesso em: 03 de maio 2019.

GATTI, M. C. A.; SILVA, R. V. DA; TARPANI, J. R. Análise térmica do laminado PEEK/carbono submetido a diferentes rotas de processamento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 11, n. 3, p. 332–339, 2006.

HAMANN, Renan. Fibra de Carbono: Como é feito e como funciona este material incrível. 2017. Disponível em: < <https://www.tecmundo.com.br/quimica/76017-fibra-carbono-feito-funciona-material-incrivel.htm> />. Acesso em: 23 de agosto.2018.

JAMBO, H. C. Mebaber; FÓFANO, Sócrates. Corrosão- Fundamento, Monitoração e controle. 1. Ed. Rio de Janeiro: Ciência moderna Ltda, 2008.

JUNIOR, B.; FARIA, D. E. Influência dos efeitos de Choque Térmico e Higrotérmico na Temperatura de Transição Vítrea de Compósitos PEI/ fibras de vidro. p. 2–5, 2012

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. Editora Artliber, São Paulo 2011.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem fundamentos e tecnologia. 3. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MODENESI, P. J; MARQUES, P. V. Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem, Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG, Belo Horizonte, 2005.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NETO, L.P.O. **A aplicação da poliamida 6.6 em peças de alta performance para o mercado moveleiro**. São Paulo: Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009.

NOHARA, L. B. **Estudo da interface de compósitos termoplásticos estruturais processados a partir de fibras de carbono com superfícies modificadas**. Dissertação de mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos (2001).

NOHARA, L. B et al. *Polímeros*, 16, p.104 (2006).

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamento de Resistência a Corrosão**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência: ABRACO, 2007.

OLIVEIRA, G. H.; GUIMARÃES, V. A.; BOTELHO, E. C. Influência da temperatura no desempenho mecânico de compósitos PEI/fibras de vidro. **Polímeros**, v. 19, n. 4, p. 305–312, 2009.

PARDINI, L. C. **Tecnologia de Fabricação de Pré-Impregnados para Compósitos Estruturais Utilizados na Indústria Aeronáutica**. [S.d.].

REIS, J. F.. **Influência do condicionamento higrotérmico no comportamento mecânico de compósitos soldados de PEI/fibras de carbono**. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

SALA, G. *CompositesPart B*, 31, p.357 (2000).

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Processos de Soldagem Conceitos, Equipamentos e Normas de Segurança**. 1. ED. São Paulo: Saraiva, 2015.

SANTOS, Luiz Ricardo dos. **Fibra de Carbono**. 2018. Disponível em: < <https://www.infoescola.com/quimica/fibra-de-carbono> > . Acesso em: 24 de agosto de. 2018.

SHACKELFORD, James F. *Ciência dos Materiais*. 6. Ed. São Paulo: Pearson Educativa do Brasil Ltda, 2004.

SILVA, F. Et al. *COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS*. p. 236–239, [s.d.].

**SOUZA, E.W. MARINUCCI, G. Estudo para fabricação de refletores automobilísticos utilizando um material compósito termofixo e um material**

STAVROV, D.; BERSEE, H. E. N. **Thermal Aspects in Resistance Welding of Thermoplastic Composites** *Heat Transfer: Volume 3*, 2003. Disponível em: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=158145>

**termoplástico**. São Paulo: Instituto de Pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, 2010.

WAINER, E. BRANDI S. D. MELLO, F. D. H. **Soldagem: processo e metalurgia**. São Paulo: Edgard Bluncher LTDA, 1992;

YOUSEFPOUR, A.; HOJJATI, M.; IMMARIGEON, J.-P. Fusion Bonding/Welding of Thermoplastic Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 17, n. 4, p. 303–341, 2004.

YOUSEFPOUR, A.; HOJJATI, M.; IMMARIGEON, J.-P. Fusion Bonding/Welding of Thermoplastic Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 17, n. 4, p. 303–341, 2004.