

**UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE  
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**

**MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE BLENDA EM ABS/PC COM SOLUÇÃO  
ALTERNATIVA À SULFOCRÔMICA PARA ADESÃO  
DE CAMADAS METÁLICAS PELO PROCESSO DE CROMAGEM**

**THATIANE DA MAIA COELHO  
ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ANA PAULA KUREK  
COORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. NOELI SELLIN**

JOINVILLE - SC  
2022

THATIANE DA MAIA COELHO

**MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE BLENDS EM ABS/PC COM SOLUÇÃO  
ALTERNATIVA À SULFOCRÔMICA PARA ADESÃO  
DE CAMADAS METÁLICAS PELO PROCESSO DE CROMAGEM**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Kurek.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Noeli Sellin.

Joinville - SC

2022

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

C672m	<p>Coelho, Thatiane da Maia</p> <p>Modificação de superfície de blendas em ABS/PC com solução alternativa à sulfocrômica para adesão de camadas metálicas pelo processo de cromagem / Thatiane da Maia Coelho; orientadora Dra. Ana Paula Turek; coorientadora Dra. Noeli Sellin. – Joinville: UNIVILLE, 2022.</p> <p>52 f.: il.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)</p> <p>1. Acrilonitrila butadieno estireno. 2. Solução (Química) – Testes de toxicidade. 3. Galvanização. 4. Indústria automobilística. I. Turek, Ana Paula (orient.). II. Sellin, Noeli (coorient.). III. Título.</p> <p>CDD 668.9</p>
-------	---

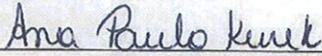
## Termo de Aprovação

**“Modificação de superfície de blendas em ABS/PC com solução alternativa à sulfocrômica para adesão de camadas metálicas pelo processo de cromagem”**

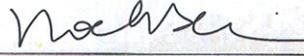
por

Thatiane da Maia Coelho

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestra em Engenharia de Processos, área de concentração Desenvolvimento e Gestão de Processos e Produtos e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.



Prof. Dra. Ana Paula Kurek  
Orientadora (UNIVILLE)

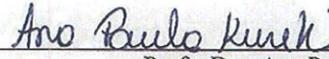


Prof. Dra. Noeli Sellin  
Coorientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Ana Paula Testa Pezzin  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

**Banca Examinadora:**



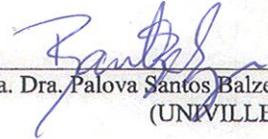
Prof. Dra. Ana Paula Kurek  
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Noeli Sellin  
Coorientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Cristiane Reis Martins  
(UNIFESP)



Prof. Dra. Palova Santos Balzer  
(UNIVILLE)

Joinville, 15 de dezembro de 2021.

#### Dedicatória

Ana, minha amada mãe. Obrigada por sua dedicação, pelo carinho, por cuidar da Valentina, enquanto eu estava ausente. Obrigada por entender a importância dessa etapa, em nossas vidas.

Filha, obrigada por teu sorriso amoroso, pelas nossas brincadeiras e por tua alegria, a cada dia.

Ao meu irmão e esposo pelo apoio, incondicional, em todos os momentos dessa caminhada.

### Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a Deus, pela oportunidade desse momento.

À orientadora, Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Kurek, por acreditar, incentivar e sempre me ajudar com muita paciência desde a graduação. À minha coorientadora, Dr.<sup>a</sup> Noeli Sellin, pelo apoio técnico e científico do presente trabalho. À Universidade da Região de Joinville, particularmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – PPGEPP. À Professora Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Testa Pezzin por todo carinho e auxílio no trabalho. À Empresa Sigmacrom, que cedeu suas instalações para a realização deste trabalho. À UNIVILLE e à UDESC pela oportunidade de realização de ensaios experimentais e infraestrutura oferecida. Aos amigos e colegas do PPGEPP pelo apoio e incentivo. Aos que me ajudaram com seus ensinamentos, exemplos e atitudes, em todos os lugares que passei, durante toda minha vida.

## RESUMO

O termopolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é o polímero mais utilizado no processo de fabricação de peças cromadas aplicadas na indústria automotiva. Entretanto, para aplicações que exigem elevada rigidez e resistência ao impacto, blendas em ABS/PC (acrilonitrila-butadieno-estireno/policarbonato) têm sido empregadas. A etapa mais importante do processo de cromagem de peças poliméricas é o banho condicionante, que ocasiona alterações na superfície por meio de cisão de ligações químicas, proporcionando uma morfologia adequada para interação e adesão metal-polímero. Nessa etapa, a solução química mais utilizada é a sulfocrômica que possui elevados índices de toxicidade e carcinogenicidade. Visando substituir a solução sulfocrômica e reduzir a toxicidade da solução condicionante, neste trabalho foi empregada uma solução composta por ácidos fosfórico e sulfúrico e dicromato de potássio no condicionamento de amostras de blenda ABS/PC, com composição fixa dos polímeros, utilizada por uma empresa galvânica na produção de peças cromadas. As condições operacionais do condicionamento químico foram tempos de imersão na solução variando de 15, 30 e 45 s e temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Antes e após o condicionamento, as amostras foram caracterizadas por FTIR/ATR, TGA, DSC e MEV para avaliação da influência da solução condicionante na morfologia e estrutura química da superfície e nas propriedades térmicas da blenda. Após o condicionamento, as amostras foram cromadas por processo convencional (pré-tratamento químico e deposição eletrolítica) e a qualidade da camada metálica foi avaliada por inspeção visual e testes de adesão por corte cruzado e choque térmico. O condicionamento químico com a solução alternativa não influenciou na estabilidade e propriedades térmicas da blenda. Houve cisão de ligações químicas relacionadas ao butadieno do ABS e alterações na morfologia da superfície, como formação de poros, porém de baixa intensidade. As alterações promovidas pelo condicionamento químico na superfície das blendas, nas condições avaliadas, não foram adequadas para promover a adesão da camada metálica para uso na indústria automotiva.

**Palavras-chave:** Blendas ABS/PC, condicionamento, cromagem, adesão.

## ABSTRACT

*Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) terpolymer is the most used polymer in the manufacturing process of chrome parts applied in the automotive industry. However, for applications that demand high stiffness and impact resistance, blends of ABS/PC (acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate) have been used. The most important step in the chrome plating process of polymeric parts is the conditioning bath, which causes surface changes through chemical bond scission, providing an adequate morphology for metal-polymer interaction and adhesion. At this stage, the most used chemical solution is sulphochromic, which has a high level of toxicity and carcinogenicity. Aiming to replace the sulfochromic solution and reduce the toxicity of the conditioning solution, in this work a solution composed of phosphoric and sulfuric acids and potassium dichromate was used in the conditioning of ABS/PC blend with fixed composition of the polymers, used by a galvanic company in the production of chrome parts. The operating conditions of the chemical conditioning were immersion times in the solution varying from 15, 30 and 45 s and temperatures of 50, 60 and 70 °C. Before and after conditioning, the samples were characterized by FTIR/ATR, TGA, DSC and SEM to evaluate the influence of the conditioning solution on the morphology and chemical structure of the surface and on the thermal properties of the blend. After conditioning, the samples were chrome plated using a conventional process (chemical pre-treatment and electrolytic deposition) and the quality of the metallic layer was evaluated by visual inspection and cross-cut adhesion and thermal shock tests. Chemical conditioning with the alternative solution did not influence the stability and thermal properties of the blend. There was scission of chemical bonds related to butadiene from ABS and changes in surface morphology, such as pore formation, but of low intensity. The alterations promoted by the chemical conditioning on the surface of the blends were not adequate to promote the adhesion of the metallic layer for use in the automotive industry.*

**Keywords:** *ABS/PC blends, conditioning, chrome plating, adhesion.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Monômeros que constituem o ABS.....	15
Figura 2 - Estrutura química do policarbonato.....	16
Figura 3 - Fluxograma do processo galvânico.....	19
Figura 4 - Foto do processo de cromagem de peças em ABS de uma indústria galvânica. ....	21
Figura 5 - Fluxograma representativo das etapas empregadas no desenvolvimento do presente estudo.....	24
Figura 6 - Foto das amostras de ABS/PC. ....	25
Figura 7 - Sequência para o teste de adesão por corte em grade. ....	299
Figura 8 - Classificação dos resultados do teste de adesão. ....	3030
Figura 9 - Amostras cromadas com a nova solução sulfocrômica. ....	311
Figura 10 - Amostras condicionadas a 50°C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.....	322
Figura 11 - Amostras condicionadas a 60°C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.....	322
Figura 12 - Amostras condicionadas a 70°C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.....	322
Figura 13 - Espectros FTIR das amostras sem e com condicionamento químico nas temperaturas (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C e tempos de 15, 30 e 45 s. ....	355
Figura 14 - Espectros FTIR das amostras sem e com condicionamento a 50 °C nos tempos 15, 30 e 45 s separados por regiões sendo (a) acrilonitrila, (b) butadieno, (c) estireno, (d) carbonila e (e) alongamento de vibração da ligação (-C-O-).....	366
Figura 15 - Curvas de TGA da amostra em ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s. ....	388
Figura 16 - Curvas de DTG da amostra ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s. ....	399
Figura 17 - Curvas de DSC da amostra em ABS/PC sem condicionamento e das condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s. ....	422
Figura 18 - Micrografia da superfície da amostra em ABS/PC sem condicionamento e das condicionadas a 50 °C, 60 °C e 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s. ....	444

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração dos reagentes químicos para preparação solução condicionante. ....	266
Tabela 2 - Relação do tempo e temperatura dos testes das amostras. ....	26
Tabela 3 - Resultados dos testes de adesão em função das condições operacionais empregadas no condicionamento das peças. ....	33
Tabela 4 - Temperaturas de degradação e resíduo das amostras em ABS/PC ao final do aquecimento. ....	40
Tabela 5 - Valores de Tg da fase SAN e do PC da amostra em ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s. ....	43

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivo geral .....	13
1.1.2 Objetivos Específicos .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 POLÍMEROS ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO E POLICARBONATO .....	15
2.2 BLENDS DE ABS/PC.....	17
2.3 CROMAGEM.....	18
2.3.1 Etapas do Processo de Cromagem por Eletrodeposição .....	19
2.3.2 Solução Sulfocrômica.....	21
2.3.3 Soluções químicas alternativas à sulfocrômica .....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 PREPARAÇÃO DAS BLENDS DE ABS/PC .....	24
3.2 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO CONDICIONANTE .....	25
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	26
3.3.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier – Reflexão Total Atenuada (FTIR/ATR) .....	27
3.3.2 Análise Termogravimétrica (TGA) .....	27
3.3.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	27
3.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	28
3.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA CAMADA METÁLICA DEPOSITADA.....	28
3.4.1 Inspeção Visual .....	28
3.4.2 Teste de Adesão Corte Cruzado .....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
4.1 Cromagem das amostras e testes de adesão .....	31
4.2 Avaliação da estrutura química da superfície.....	34
4.3 Análises térmicas .....	37
4.3.1 Análise termogravimétrica (TGA/DTG).....	37
4.3.2 Calorimetria diferencial exploratória (DSC) .....	41
4.4 Avaliação da morfologia da superfície (MEV).....	44

5 CONCLUSÃO.....46

6 REFERÊNCIAS.....47

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais presentes na indústria, os materiais poliméricos oferecem um leque de vantagens, pois são leves, permitem a injeção de peças com as mais variadas geometrias e possuem melhor custo-benefício quando comparados aos metais. Na indústria automotiva, os polímeros vêm cada vez mais substituindo os metais, destacando-se o uso de peças poliméricas cromadas, como em frisos, carcaça interna de lanternas, faróis, puxadores, logomarcas, entre outros. A cromagem de peças poliméricas proporciona vários benefícios, como melhor resistência mecânica, à corrosão, à radiação ultravioleta e aos solventes, fornecendo proteção ao polímero e acabamento estético (KÜCHLER, 2006; MOLL, 2017, BOS, 2018).

Em determinadas aplicações, como em painéis e logotipos automotivos e em eletrodomésticos, as peças cromadas exigem elevada rigidez e resistência ao impacto. Assim, blendas de ABS/PC podem ser uma alternativa viável, já que, o desenvolvimento de um novo material demanda alto investimento e anos de estudo. Essas blendas podem proporcionar uma série de propriedades físicas, químicas e mecânicas melhoradas em relação aos seus componentes poliméricos isolados (UTRACKI, 2003).

A etapa de cromagem em polímeros mais utilizada pelas indústrias galvanicas é por meio da imersão das peças em soluções químicas e eletrolíticas e o processo se divide em pré-tratamento químico e deposição eletrolítica (FOLDES, 1973; KUREK et al., 2018). O policarbonato e blendas ABS/PC, assim como a maioria dos polímeros, possuem baixas rugosidade, molhabilidade e energia superficial, dificultando a adesão das camadas metálicas (cobre, níquel e cromo), por isso, é necessária a aplicação do pré-tratamento químico (MA et al., 2013).

O banho condicionante é a etapa mais importante do pré-tratamento químico. É composto por solução sulfocrômica (ácidos crômico e sulfúrico), que ocasiona alterações químicas na superfície do polímero a partir da cisão de ligações e formação de grupos oxidados, aumentando a molhabilidade e a energia superficial. Além disso, promove alterações na morfologia da superfície, como aumento da rugosidade (devido à formação de microporos, reentrâncias, ondulações), que proporcionam a adesão mecânica do metal na superfície do polímero (TEIXEIRA e SANTINI, 2005; KUREK et al., 2015).

A solução sulfocrômica possui alta concentração de ácido crômico e ácido sulfúrico ( $400 \text{ g.L}^{-1}$  cada), conforme Teixeira e Santini (2005), e é potencialmente perigosa à saúde e ao equilíbrio ambiental devido à presença de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ), que possui elevado índice de toxicidade, sendo reconhecido como um carcinogênico humano tanto por inalação como contato físico (MITRA et al., 2017).

O tratamento de efluentes contendo  $\text{Cr}^{+6}$  consiste em duas etapas e envolve grande quantidade de produtos químicos. Na primeira, o cromo hexavalente é reduzido a trivalente utilizando um agente redutor como metabissulfito de sódio, posteriormente, é realizada a precipitação do mesmo por meio de ajuste de pH com soda cáustica ou cal hidratada. Geralmente, o lodo formado é classificado e enviado para aterro industrial e a água tratada, com parâmetros físicos, químicos e biológicos de acordo com os limites da legislação ambiental pertinente e vigente, é lançada nos recursos hídricos (MACHADO et al., 2014; VIDAL et al., 2017).

Além disso, foi criada uma diretiva (2002/95/E6) para os países pertencentes à União Europeia, também conhecida como “RoHS – *Restriction of Hazardous Substances*”, que proíbe a utilização de certos compostos, inclusive do cromo hexavalente, em produtos eletrônicos, por serem perigosos ao meio ambiente e aos seres vivos, dificultando o processo de exportação por empresas que utilizam esses compostos proibidos no processo de manufatura. Logo, é necessário o desenvolvimento ou aperfeiçoamento de técnicas que permitam alternativas mais seguras aos processos de galvanoplastia.

Há diversos estudos que visam substituir a solução sulfocrômica no processo de cromagem de peças em ABS. Em pesquisas realizadas por Kurek, foi verificada a possibilidade de cromar peças em ABS condicionando as mesmas em solução composta por ácidos sulfúrico e fosfórico e dicromato de potássio, que apesar de também possuir cromo hexavalente, este está presente em quantidade inferior ( $17,6 \text{ g/L}$ ) à solução sulfocrômica ( $400 \text{ g/L}$ ). Entretanto, neste estudo não avaliaram a possibilidade de cromar blendas em ABS/PC (KUREK, 2008). Em estudo de Cardoso et al. (2020), blendas com diferentes proporções de ABS/PC foram condicionadas em solução de ácido fosfórico e permanganato de potássio sob diferentes tempos, temperaturas e concentrações e posteriormente cromadas. As blendas contendo até 40% de PC e condicionadas por 5 e 10 min a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  foram aprovadas nos testes de inspeção visual e adesão metálica, podendo esta solução substituir a solução sulfocrômica no banho de condicionamento,

Na indústria galvânica, na qual este estudo foi aplicado, a blenda ABS 55% e PC 45% é bastante utilizada para aplicações como peças automotivas cromadas com as mais variadas geometrias, pois possui melhor custo-benefício e responde tecnicamente e mecanicamente às necessidades de design e engenharia. Porém, na etapa de pré-tratamento, o condicionamento das peças é realizado por solução sulfocrômica.

Visando contribuir e ampliar estudos voltados a tecnologias mais limpas em processo de cromagem de polímeros, visando à substituição da solução sulfocrômica no banho de condicionamento, neste trabalho, peças de blenda composta por 55% ABS e 45% PC foram condicionadas em solução contendo ácidos sulfúrico e fosfórico e dicromato de potássio em diferentes tempos de imersão e temperaturas e a influência do condicionamento químico nas propriedades de superfície e térmicas do material foi avaliada por FTIR/ATR, TGA/DTG, DSC e MEV. As amostras condicionadas foram cromadas em processo convencional e a qualidade da camada metálica depositada foi avaliada por inspeção visual e testes adesão.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Modificação da superfície de blendas em ABS/PC com solução alternativa à sulfocrômica para adesão de camadas metálicas pelo processo de cromagem.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar o condicionamento químico de peças em ABS/PC em solução alternativa composta por ácidos sulfúrico e fosfórico e dicromato de potássio variando tempo de imersão (15, 30 e 45 s) e temperatura da solução (50, 60 e 70 °C);
- b) Avaliar a influência da solução alternativa nas propriedades de superfície (morfologia e estrutura química) e nas propriedades térmicas das blendas;

c) Cromar as peças condicionadas pelo processo galvânico convencional e avaliar por inspeção visual e testes de adesão a qualidade das camadas metálicas depositadas.

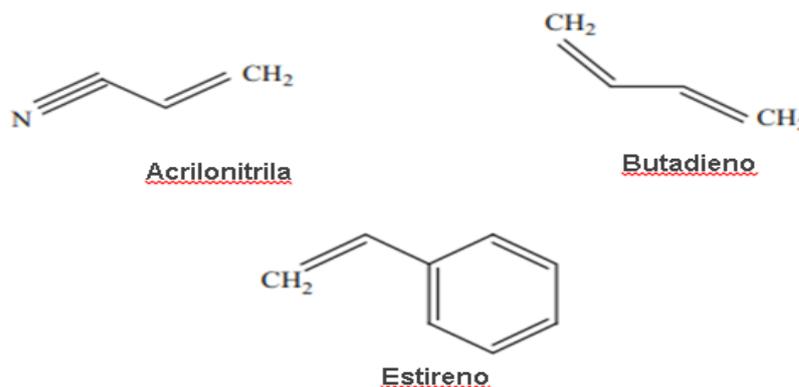
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 POLÍMEROS ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO E POLICARBONATO

Conforme Carvalho (2009) e Cândido (2011), o ABS é um termoplástico de engenharia amorfo e de grande aplicação na indústria automotiva. O ABS consiste em duas fases, o copolímero SAN, composto pela acrilonitrila e a fase contínua estireno (matriz), e a fase elastomérica butadieno, dispersa na matriz SAN. A fase butadieno possui uma camada de SAN enxertada (*grafting*) em sua superfície, que garante sua compatibilidade entre as duas fases (CÂNDIDO, 2011).

A quantidade de cada monômero presente no ABS pode variar, possibilitando a obtenção de propriedades de acordo com a aplicação do material. A acrilonitrila pode estar presente em 20 a 30% e fornece resistência química e térmica, dureza, rigidez e resistência à fadiga, o estireno em 20 a 60 % e confere rigidez, brilho, dureza e facilidade de processamento, e o butadieno provê estabilidade térmica, ductilidade a temperaturas baixas, bom acabamento superficial e resistência ao impacto, podendo estar presente em quantidades de 20 a 30% (CÂNDIDO, 2011). Na Figura 1 são demonstrados os monômeros que constituem o ABS.

**Figura 1 - Monômeros que constituem o ABS.**



Fonte: Oliveira (2016).

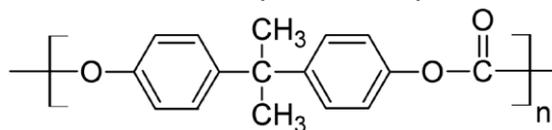
Considerado um dos melhores polímeros para a produção de peças cromadas, o ABS pode ser submetido ao processo de cromagem utilizando apenas um pré-tratamento químico em sua superfície, sem a necessidade de abrasão mecânica, para

promover posterior adesão das camadas metálicas depositadas na etapa eletrolítica (OLIVEIRA et al., 2016).

Segundo Moll (2017), o ABS destinado ao uso em geral pode ser bastante eficiente para determinados tipos de aplicações que resistam a intempéries (provendo de suas exigências, desempenho e projeto), porém uma prolongada exposição conduz à mudança de coloração e à redução de brilho, ductibilidade e resistência ao impacto. As características menos afetadas são as resistências à tração e flexão, módulo de elasticidade e a dureza.

O policarbonato (PC) é um termoplástico de origem amorfa e de alta rigidez, é amplamente utilizado devido sua tenacidade, transparência, resistência térmica e elevada resistência ao impacto que, aliados à sua boa estabilidade dimensional e transparência contribuem para aplicações mais específicas como em faróis e lanternas de automóveis. O PC possui cadeias lineares de poliésteres de ácido carbônico e fenóis (fenila), contêm anel benzênico e grupos de carbonato na cadeia principal, com ligação de grupos metilas. Apresenta valor de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) entre 140 a 150 °C. Quando submetido a solicitações mecânicas em baixas deformações, apresenta uma resposta linear elástica até o limite de escoamento, seguido pelo processo de estiramento a grandes deformações com posterior ruptura. Esse processo de estiramento se inicia com o desdobramento das cadeias emaranhadas (KHAN et al., 2005; ZIMMERER et al., 2018). Na Figura 2 é demonstrada a estrutura química do PC.

**Figura 2** - Estrutura química do policarbonato.



Fonte: Bernardo et al. (2015).

De acordo com Laurindo (2012), o policarbonato é um dos termoplásticos mais aplicados com o objetivo de aumentar a resistência ao impacto de inúmeras blendas, devido às suas excelentes propriedades mecânicas. A presença dos dois grupos metilo e do grupo fenila na cadeia molecular do PC contribuem para a sua rigidez molecular, que possui grande efeito sobre as suas propriedades. Isso contribui para a falta de mobilidade das moléculas individuais, resultando, assim, em uma excelente resistência térmica (CÂNDIDO, 2011).

## 2.2 BLENDA DE ABS/PC

As blendas ABS/PC surgiram na década de 70 tendo como intuito uma melhor relação custo e desempenho entre dois polímeros, característica que não era muito presente no mercado até então, contudo, o interesse comercial sobre este tipo de blenda começou a surgir apenas na década de 1980.

Krache e Debbah (2011) ressaltam em seus trabalhos que o conhecimento científico sobre o comportamento das blendas ABS/PC pode ser limitado, devido à complexidade do sistema polimérico e da presença de fatores determinantes na morfologia da blenda, como as características moleculares de seus componentes, a composição da mistura e as condições de processamento.

Uma mistura com bom desempenho mecânico de uma blenda ABS/PC resulta entre 10 e 20% de PC, porém outras composições são empregadas pelas indústrias. Ao avaliar a importância da morfologia para as propriedades mecânicas, ressalta-se que não existe um consenso sobre composição ideal de blendas ABS/PC (BALART, 2005).

Conforme Cândido et al. (2011), os principais objetivos para a obtenção de uma blenda são: incorporar um polímero de engenharia a um polímero de baixo custo, um bom desempenho do material final a fim de combinar as propriedades dos polímeros componentes da blenda e conseguir melhor processabilidade em relação a um dos polímeros puros. Assim, blendas poliméricas fabricadas com a mistura de materiais de alto valor agregado, como o PC e o ABS, proporcionam o alcance de materiais com uma ampla gama de propriedades mecânicas, físicas, químicas, e ainda contribuem com o meio ambiente, oferecendo a possibilidade da reciclagem destes materiais. Desta forma, o ABS proporciona melhor processabilidade da blenda e redução de custo. O valor por quilograma do ABS é inferior (cerca de 30%) ao do PC. Enquanto, que o PC oferece boas propriedades térmicas e mecânicas à blenda. O ABS e o PC possuem forte interação química entre si, porém, ela é dependente da porcentagem da mistura de cada componente.

Para que ocorra a interação de dois componentes poliméricos de natureza química diversa, de qualquer dimensão, é primordial a existência de áreas de contato entre estes componentes. Quanto maior for esta área, maior será a possibilidade de

ocorrer a interação entre eles, podendo ser física ou química. Segundo Balart et al. (2005), fraturas em blendas ABS/PC originam-se devido à baixa aderência da fase elastomérica oriunda do butadieno, que é mais sensível à termooxidação sob temperaturas elevadas, promovendo pontos concentradores de tensões que levam à ruptura da blenda em certas condições de uso.

### **2.3 CROMAGEM**

A cromagem é um tipo de tratamento de superfície empregado nas indústrias com maior ênfase no setor automotivo. Possui o objetivo de aumentar a resistência à corrosão, atritos e esforços, excelente acabamento estético, durabilidade e melhoria das propriedades superficiais para satisfazer às exigências e necessidades do mercado (DEYNA, 2015).

O processo de cromagem em polímeros foi desenvolvido nos anos 60 e teve seu auge na década seguinte. O polímero ganha espaço sobre o aço nos mais diversos segmentos, como em peças de eletroeletrônicos, brinquedos, utensílios domésticos, materiais de construção e embalagens para cosméticos (ZAPAROLLI, 2008).

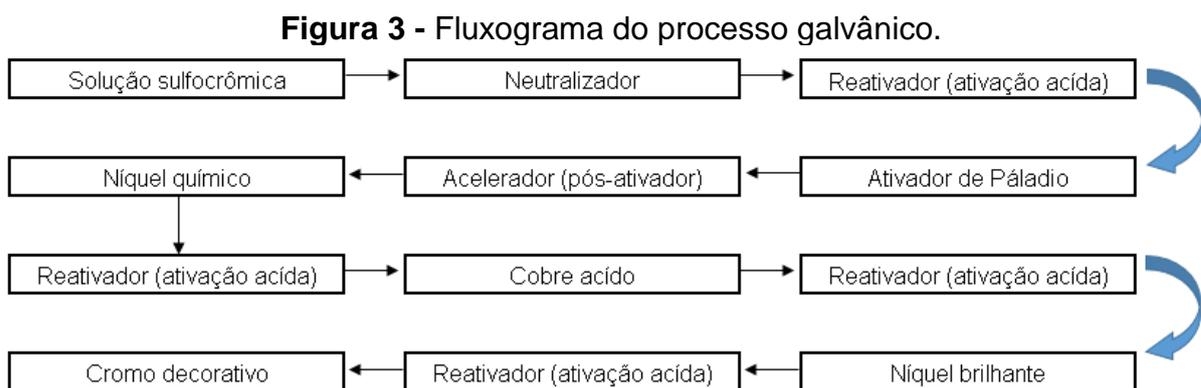
Ao contrário do que ocorre com os metais, nos quais a camada metálica depositada tem uma utilidade anticorrosiva, em polímeros, por exemplo, é utilizada como forma de acabamento e embelezamento. Para uma adequada adesão desta camada, a superfície do polímero precisa ser modificada por processos químicos e/ou físicos, como por exemplo: banho em soluções químicas, metalização à vácuo, jateamento de areia, plasma, fotodegradação etc. Estes processos ocasionam alterações na estrutura e morfologia da superfície do polímero por meio de aquecimento local, cisão de ligações químicas, oxidação e formação de microcavidades com aumento da rugosidade e aspereza. Estas alterações, proporcionam maior interação metal-polímero, favorecendo a adesão da camada metálica (KUREK, 2014).

Nos processos nos quais a cromagem de peças poliméricas é realizada por eletrodeposição, por exemplo, também é necessário tornar a superfície do polímero condutora de eletricidade, tendo em vista que a maioria dos polímeros é eletricamente isolante.

### 2.3.1 Etapas do Processo de Cromagem por Eletrodeposição

O processo de cromagem de polímeros mais utilizado industrialmente é por eletrodeposição, o qual é dividido em duas etapas principais, o pré-tratamento químico e a deposição eletrolítica (KUREK, 2014).

No processo de metalização convencional de peças poliméricas, as peças são imersas nos seguintes banhos na etapa de pré-tratamento químico: solução sulfocrômica, neutralizador, reativador ácido, ativador de paládio, acelerador e níquel químico. Na deposição eletrolítica os banhos são: reativador ácido, cobre ácido, reativador, níquel brilhante, reativador como ativados ácido e cromo decorativo, conforme apresentado no fluxograma da Figura 3. São empregados banhos de enxagues entre todas as etapas para evitar a contaminação dos banhos subsequentes (JUNIOR, 2012).



Fonte: Adaptado de KUREK (2014).

A solução química mais utilizada no banho condicionante é a sulfocrômica, que é composta por  $400 \text{ g L}^{-1}$  de ácido sulfúrico e  $400 \text{ g L}^{-1}$  de ácido crômico, na qual a peça precisa permanecer imersa por determinado tempo (de 5 a 15 minutos) sob temperatura controlada (em torno de  $60$  a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (KUREK, 2008).

Nesta etapa, a superfície do ABS é atacada quimicamente, principalmente, a fase do butadieno, que possui ligações químicas de menor energia e são mais facilmente rompidas e oxidadas, promovendo alterações na morfologia, como a formação de poros e reentrâncias e, conseqüentemente, aumento na rugosidade e aspereza do material e formação de grupos hidrofílicos, proporcionando assim, a aderência entre o metal e o polímero (CÂNDIDO, 2011).

O banho neutralizador promove a remoção da quantidade residual da solução condicionante presente nas peças. Nele é utilizado um agente redutor como metabissulfito de sódio ou íons ferrosos. É primordial a remoção do condicionador, pois se houver contaminação, pode impedir a deposição química do níquel (CÂNDIDO, 2011).

O reativador ácido efetua a limpeza dos microporos e por sua vez também tem a função de remover o cromo, evitando assim contaminações nas próximas etapas. É utilizado o ácido clorídrico em concentrações de aproximadamente 25% (TEIXEIRA e SANTINI, 2005).

O banho ativador de paládio é utilizado para depositar uma camada catalítica na superfície do polímero para que seja possível o processo de cromagem. Nesta etapa, paládio coloidal é depositado nos poros superficiais, preparando a superfície para a deposição pelo processo eletrolítico da camada metálica subsequente (OLIVEIRA et al., 2016).

O banho acelerador tem a função de ativar a superfície da peça para iniciar a reação de deposição do níquel químico. Esta deposição de níquel químico é uma solução envolvendo sais de níquel e de agentes redutores e estabilizadores. Ela é responsável por tornar a superfície do polímero condutora de eletricidade (FERREIRA, 2016).

Segundo Kurek (2014), uma reação eletrolítica é um processo químico heterogêneo (que envolve uma interface sólido/solução) envolvendo a transferência de cargas para (ou de) um eletrodo, geralmente um metal ou semicondutor. A transferência de carga é um processo catódico no qual uma espécie é reduzida pela transferência de elétrons do eletrodo.

De acordo com Castro e Sillos (2012), após os banhos químicos as peças seguem para os banhos eletrolíticos, onde aplicam-se dos mais diferentes tipos de acabamentos, como por exemplo: cobre, níquel (brilhante, acetinado e fumê), cromo decorativo, metais preciosos, entre outros. Neste processo, os elementos metálicos (geralmente, as camadas de cobre, níquel e cromo) reduzem-se sobre a superfície da peça polimérica inicialmente metalizada mediante a aplicação de uma diferença de potencial elétrico externo. O cobre ácido proporciona à peça um acabamento de alta qualidade. Além disso, o metal cobre por ser dúctil e maleável, age como um amortecedor de impactos na sua camada superficial, nivelando as imperfeições da peça, assim, permitindo que a etapa posterior apresente excelente acabamento. O

níquel tem a finalidade de tornar o cromo microfissurado ou microporoso, aumentando a resistência à corrosão e o cromo tem como objetivo proteger a camada de níquel e embelezar a peça.

Na Figura 4 é mostrada uma foto do processo de cromagem de peças em ABS de uma indústria galvânica.

**Figura 4** - Foto do processo de cromagem de peças em ABS de uma indústria galvânica.



Fonte: O autor (2019).

### 2.3.2 Solução Sulfocrômica

Conforme Teixeira e Santini (2005), no pré-tratamento de peças em ABS, o condicionador de uso habitual é a solução sulfocrômica, que apresenta resultados ótimos de adesão e é, a mais barata e a mais usada. Conforme Bos e Fels (2012), a solução sulfocrômica também é utilizada como banho condicionante na etapa de pré-tratamento de peças em blendas ABS/PC. Apesar da solução sulfocrômica ser tecnicamente eficaz, nesta etapa, efluentes líquidos são gerados contendo cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) em concentrações altamente prejudiciais ao ser humano e meio ambiente (TEIXEIRA e SANTINI, 2005; KUREK, 2014).

Conforme Li et al. (2018), o cromo hexavalente presente na solução sulfocrômica é um carcinogênico humano e tóxico por inalação para a maioria dos organismos vivos, adicionalmente, possui elevada mobilidade no meio ambiente por ser altamente solúvel em água. Estudos realizados por Vidal et al. (2017) que avaliaram o ciclo de vida dos impactos ambientais causados pelo pré-tratamento químico na metalização de plásticos, mostraram que o ácido crômico é praticamente a principal matéria-prima responsável pela ecotoxicidade (97,5%) e toxicidade cancerígena em humanos (99,8%).

No tratamento de efluentes contendo  $\text{Cr}^{+6}$  é necessário fazer a redução deste à trivalente, o que exige quantidade significativa de produtos químicos. Primeiramente, é preciso ajustar o pH do efluente com ácido sulfúrico, adicionar o bissulfito de sódio para promover a redução e depois cal hidratada para precipitar o cromo trivalente na forma de hidróxido. Conforme Vidal et al. (2018), durante o processo de redução, uma fração do  $\text{Cr}^{+6}$  permanece no efluente numa taxa de 0,18 g por 1 kg de  $\text{CrO}_3$  tratado. Seguidamente, passa pelo processo de decantação, onde o sólido contendo os metais é precipitado. O lodo gerado é encaminhado a um filtro-prensa para deságue e o sobrenadante é enviado ao tanque de lodos ativados para tratamento junto com o esgoto sanitário da empresa ou é descartado no ambiente se apresentar quantidades de contaminantes dentro do especificado pelo órgão ambiental (MACHADO et al. 2014; VIDAL et al., 2017).

O regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, possuem a diretiva RoHS, promulgada em 2003 e com última atualização em 2015, que objetiva a redução de substâncias perigosas como, o cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ), presentes em produtos eletroeletrônicos. Uma das iniciativas de desenvolvimento de ensaios relacionados à diretiva RoHS no Brasil, decorre do sistema brasileiro de tecnologia (Sibratec), por meio do apoio financeiro da Agência Brasileira da Inovação (Finep). O Sibratec em seu subprojeto de Conformidade de Processo de Montagem de Placas de Circuito Impresso e Requisitos Ambientais realiza ações vinculadas ao apoio ao desenvolvimento de processos de ensaios e à estruturação de laboratórios, dentre os quais os relacionados à diretiva RoHS.

Diante do exposto, verifica-se a importância do desenvolvimento ou aprimoramento de técnicas que diminuam os impactos à saúde como também ambiental causado pela solução sulfocrômica.

### 2.3.3 Soluções químicas alternativas à sulfocrômica

Há diversos estudos envolvendo a substituição da solução sulfocrômica no processo de cromagem de peças poliméricas. Bengston (2005) em seu estudo comprovou a possibilidade de condicionar blendas de ABS/PC utilizando ácido fosfórico e permanganato de potássio. Cardoso et al. (2020) utilizou a solução sugerida por Bengston (2005) para condicionar blendas em ABS/PC com diferentes composições, utilizando soluções de diferentes concentrações, temperaturas e tempos de imersão, obtendo aprovação para cromagem de blendas contendo até 40% de PC, condicionadas a 50 °C e a 5 e 10 min. Entretanto, foi verificado que a solução teve perda de reatividade quando o condicionamento foi em temperaturas e tempos superiores.

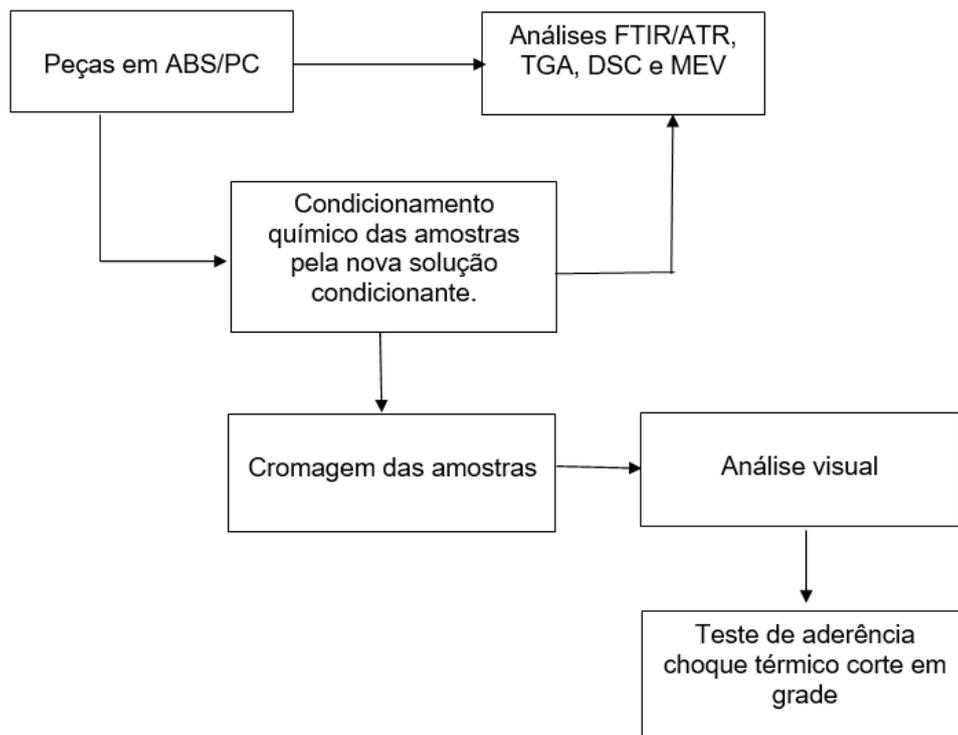
Chen et al. (2018) utilizaram solução composta por permanganato de potássio, ácidos sulfúrico e fosfórico e água para condicionar peças em ABS para niquelação, obtendo força de adesão entre a camada de níquel e a superfície do ABS de 2,73 MPa quando condicionadas por 20 min a 65 °C. Neste processo, os autores submeteram as peças por 20 min em hidróxido de sódio antes do processo de condicionamento para aumentar o volume livre do material, afastando as cadeias e tornando-o mais suscetível ao ataque químico pela solução ácida.

Kurek (2008) avaliou a substituição da solução sulfocrômica ou diminuição da concentração de cromo no banho condicionante de peças em ABS para cromagem, obtendo resultado positivo com a solução composta por ácidos sulfúrico e fosfórico e dicromato de potássio, justificando que apesar de apresentar  $\text{Cr}^{+6}$ , neste caso na forma de dicromato, a concentração utilizada do mesmo é bem inferior ao banho condicionante padrão das empresas galvânicas (400 g/L de ácido crômico).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A sequência de etapas empregadas na realização deste estudo se baseia no condicionamento químico de blendas ABS/PC em solução composta por ácidos sulfúrico e fosfórico e dicromato de potássio variando os parâmetros operacionais de tempo de imersão e temperatura da solução, avaliação das possíveis alterações nas propriedades químicas, físicas e morfológicas das amostras em função do condicionamento químico, cromagem das amostras condicionadas e testes de qualidade da camada metálica. O fluxograma das etapas realizadas é apresentado na Figura 5.

**Figura 5** - Fluxograma representativo das etapas empregadas no desenvolvimento do presente estudo.



Fonte: O autor (2021).

#### 3.1 PREPARAÇÃO DAS BLENDA DE ABS/PC

As peças de blendas comerciais de ABS/PC utilizadas no presente estudo foram produzidas pelo processo de moldagem por injeção e foram fornecidas por uma empresa galvânica de Joinville/SC. A matriz polimérica utilizada na produção das

blendas foi da marca BayBlend T45 (ABS+PC), da fabricante Covestro, contendo 55% de ABS e 45% de PC em massa. Esse material é utilizado pela empresa galvânica para fabricar as peças como frisos laterais e perfis de faróis de automóvel. Na Figura 6 é apresentada foto das amostras de ABS utilizadas no estudo.

**Figura 6** - Foto das amostras de ABS/PC.



Fonte: O autor (2021).

### 3.2 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO CONDICIONANTE

A solução condicionante, alternativa à sulfocrômica, composta por ácido fosfórico (Dinâmica - 85% PA), ácido sulfúrico (NEON – PA) e dicromato de potássio (Synth – PA) foi preparada conforme formulação descrita na Tabela 1, no Laboratório de Materiais da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE. Os reagentes químicos foram pesados em uma balança analítica AY 220 da marca Shimadzu. As blendas foram imersas em solução de dicromato de potássio, ácido fosfórico e ácido sulfúrico, variando as condições operacionais, como tempo, temperatura e concentração, considerando o uso contínuo da solução, ou seja, uma única solução, com volume de 1000 mL.

A solução condicionante utilizada foi definida com base em estudos realizados por Kurek (2008), que avaliou a substituição da solução sulfocrômica no processo de condicionamento de peças em ABS puro para cromagem. É importante ressaltar que a solução utilizada também apresenta  $\text{Cr}^{+6}$ , neste caso na forma de dicromato, porém, a concentração utilizada do mesmo é bem inferior ao banho condicionante padrão utilizado pelas empresas galvânicas (400 g/L de ácido crômico).

**Tabela 1** - Concentração dos reagentes químicos para preparação solução condicionante.

Reagentes	Concentração (g/L)
Dicromato de Potássio – PA	17,6
Ácido Fosfórico – Orto 85% PA	99
Ácido Sulfúrico – PA	1623

Fonte: O autor (2021).

As amostras foram condicionadas em tempos de imersão na solução de 15, 30 e 45 s e sob temperaturas de 50, 60 e 70 °C, conforme Tabela 2, contendo os reagentes nas concentrações citadas na Tabela 1, e subsequentemente submetidas ao processo de cromagem.

**Tabela 2** - Relação do tempo e temperatura dos testes das amostras.

Temperatura (°C)	50°C	60°C	70°C
Tempo (s)	15	15	15
	30	30	30
	45	45	45

Fonte: O autor (2021).

A cromagem das amostras de blendas ABS/PC foi realizada numa empresa galvânica da região de Joinville/SC, que emprega o processo convencional de cromagem de peças poliméricas por pré-tratamento químico e eletrodeposição. Após o condicionamento químico, as amostras foram enxaguadas e seguiram para as etapas de pré-tratamento químico (banhos neutralizador, paládio, pós-ativador e níquel químico) e eletrolítico (cobre ácido, níquel semi brilhante e brilhante e cromo decorativo) usualmente empregado na empresa.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

A influência da modificação química nas características e propriedades físicas e químicas das peças em ABS/PC foram avaliadas pelas análises de FTIR/ATR, TGA/DTG, DSC e MEV. As análises foram realizadas nas amostras antes e depois da

modificação química. Para os ensaios de condicionamento químico, foram utilizadas 72 amostras, sendo 08 para cada condição de tempo.

### **3.3.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier – Reflexão Total Atenuada (FTIR/ATR)**

Foi verificada a influência do condicionamento químico nos grupos químicos da superfície blenda ABS/PC utilizando um espectrofotômetro da marca Perkin Elmer, modelo Frontier FT-IR, equipado com acessório ATR. A faixa de análise foi de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ , com ângulo de incidência de 45°, resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 32 varreduras por amostra. Essa análise foi realizada no Laboratório de Materiais da Universidade da Região de Joinville – Univille.

### **3.3.2 Análise Termogravimétrica (TGA)**

A influência da modificação química com a solução condicionante alternativa na estabilidade térmica das amostras foi avaliada em analisador térmico da marca TA *Instruments*, modelo Q50, pertencente ao Laboratório de Materiais da Univille. As amostras foram submetidas a uma faixa de temperatura de 25 a 800 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, em atmosfera inerte de N<sub>2</sub> a 50 mL/min.

### **3.3.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**

A análise de DSC foi empregada para avaliar os eventos térmicos ocorridos nas amostras em função da temperatura, bem como as alterações nas propriedades térmicas, como temperatura de transição vítrea, ocasionadas pelo condicionamento químico. As curvas de DSC foram obtidas em um módulo calorimétrico exploratório diferencial da marca TA *Instruments*, modelo Q20, equipado com um sistema de resfriamento tipo LNCA (resfriamento com nitrogênio líquido). A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min, em atmosfera inerte de N<sub>2</sub> a 50 mL/min. Foi utilizado um gradiente de temperatura de 25 a 200 °C, com isoterma de 1 min, seguido de resfriamento a -40 °C com isoterma de 1 min e reaquecimento a 200 °C. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Univille.

### 3.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A MEV foi utilizada para avaliar as alterações na morfologia das blendas causadas pela modificação química. As amostras foram cortadas, metalizadas com ouro para tornarem eletricamente condutoras e em seguida foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (*Jeol JSM-6390LV, Scanning Electron Microscope*), com filamento de tungstênio, voltagem de aceleração de 15 kV e ampliação de 10000 vezes, do Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville/SC.

## 3.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA CAMADA METÁLICA DEPOSITADA

A inspeção visual e os testes de adesão foram realizados para avaliar se o condicionamento químico utilizando a solução alternativa ocasionava a adesão das camadas metálicas no polímero.

### 3.4.1 Inspeção Visual

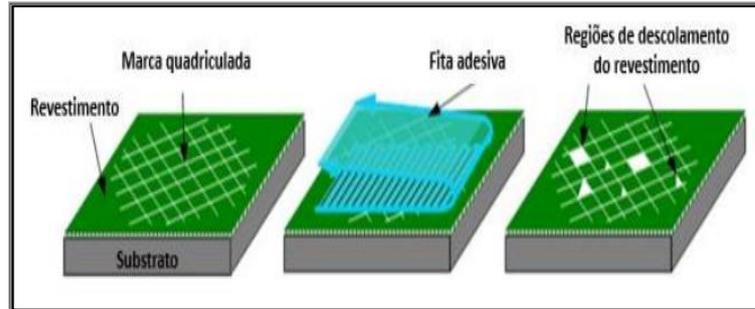
A qualidade das camadas metálicas depositadas na superfície das blendas de ABS/PC foi avaliada por inspeção visual para avaliar a presença de imperfeições nas peças cromadas como oxidação, bolhas, porosidade, camada incompleta, manchas, riscos, seguindo procedimentos da norma ASTM B604-91 (2008).

### 3.4.2 Teste de Adesão Corte Cruzado

Para a realização do teste por corte cruzado (quadriculagem), a amostra foi apoiada em uma superfície plana e firme e com o equipamento (marca Elcometer), foi realizado o corte sobre a superfície da peça, com pressão constante, garantindo incisões em cada direção com a lâmina. O corte foi repetido num ângulo de 90° em relação ao anterior. Uma fita adesiva da marca *Scotch 8809*, marca 3 M e aderência de 15 N foi aderida sobre o corte e retirada por repuxo conforme Figura 7 – sequência para o teste de adesão em corte e grade, e, em seguida removida para avaliação da

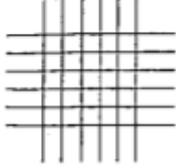
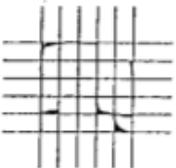
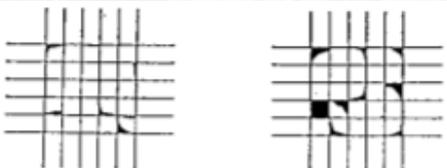
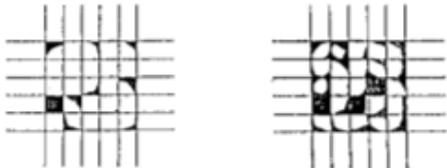
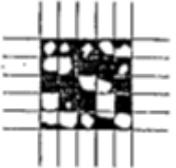
adesão, conforme descrito na norma ASTM D 3359 (2015), Figura 8 - classificação dos resultados do teste de adesão. O equipamento utilizado foi cedido pela Sigmacrom e para que as amostras fossem aprovadas estas devem apresentar nível de adesão 5B (sem remoção da camada metálica) ou 4B (remoção de pequenos traços apenas ao longo do corte).

**Figura 7** - Sequência para o teste de adesão por corte em grade.



Fonte: Adaptado de KOPELIOVICH (2014).

**Figura 8 - Classificação dos resultados do teste de adesão.**

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

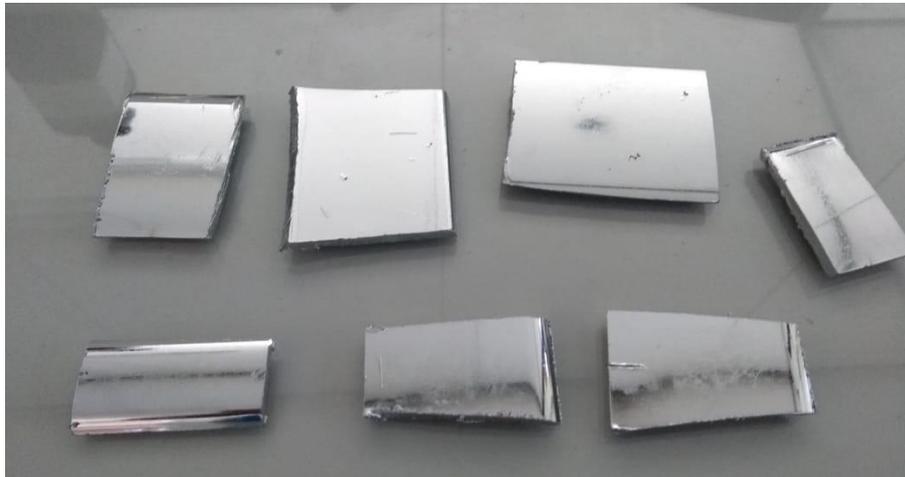
Fonte: Adaptado da norma ASTM D 3359 (2015).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Cromagem das amostras e testes de adesão

Para a avaliação da qualidade do acabamento da camada metálica depositada, foram consideradas aprovadas apenas as amostras que obtiveram resultados positivos em todos os testes realizados após a cromagem, como inspeção visual e corte cruzado. A Figura 9 apresenta imagem das peças cromadas antes da realização do teste corte cruzado.

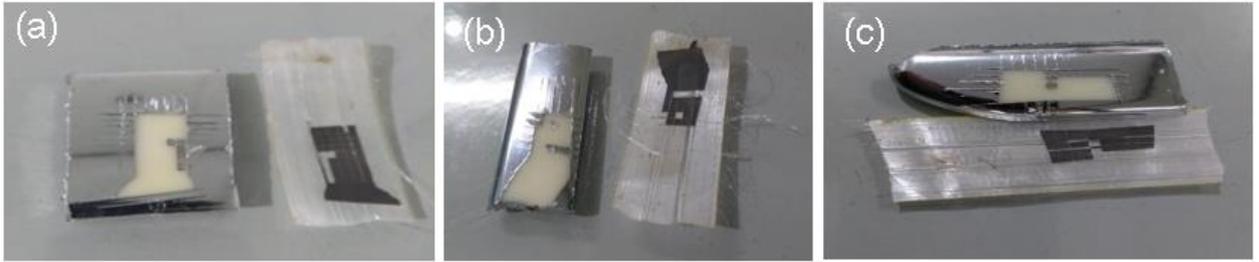
**Figura 9** - Amostras cromadas com a nova solução sulfocrômica.



Fonte: O autor (2021).

Nas Figuras 10, 11 e 12 são apresentadas fotos das peças cromadas após teste de adesão por corte cruzado, condicionadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, nos tempos de 15, 30 e 45 s. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos testes de adesão, segundo a norma ASTM D 3359 (2015), em função das condições operacionais empregadas na etapa de condicionamento das peças na solução composta por ácido fosfórico, ácido sulfúrico e dicromato de potássio.

**Figura 10** - Amostras condicionadas a 50 °C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.



Fonte: O autor (2021).

**Figura 11** - Amostras condicionadas a 60 °C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.



Fonte: O autor (2021).

**Figura 12** - Amostras condicionadas a 70 °C nos tempos de imersão de (a) 15 s, (b) 30 s e (c) 45 s.



Fonte: O autor (2021).

**Tabela 3** - Resultados dos testes de adesão em função das condições operacionais empregadas no condicionamento das peças, segundo a norma ASTM D 3359 (2015).

<b>Tempo de imersão no condicionante (s)</b>	<b>Temperatura de imersão (°C)</b>	<b>Resultado dos testes de adesão</b>
15	50	Reprovado
30	50	Reprovado
45	50	Reprovado
15	60	Reprovado
30	60	Reprovado
45	60	Reprovado
15	70	Reprovado
30	70	Reprovado
45	70	Reprovado

Fonte: O autor (2021).

Dos resultados mostrados nas Figuras 10, 11 e 12, verifica-se que todas as peças condicionadas na solução alternativa, nas condições testadas, obtiveram deslocamento da camada cromada, sendo reprovadas no teste de adesão, conforme a norma ASTM D 3359 (2015). As amostras condicionadas a 60 °C (Figura 11) foram as que apresentaram menor área de deslocamento da camada metálica, sendo que nesta temperatura, para a amostra condicionada a 45 s, o deslocamento foi menor.

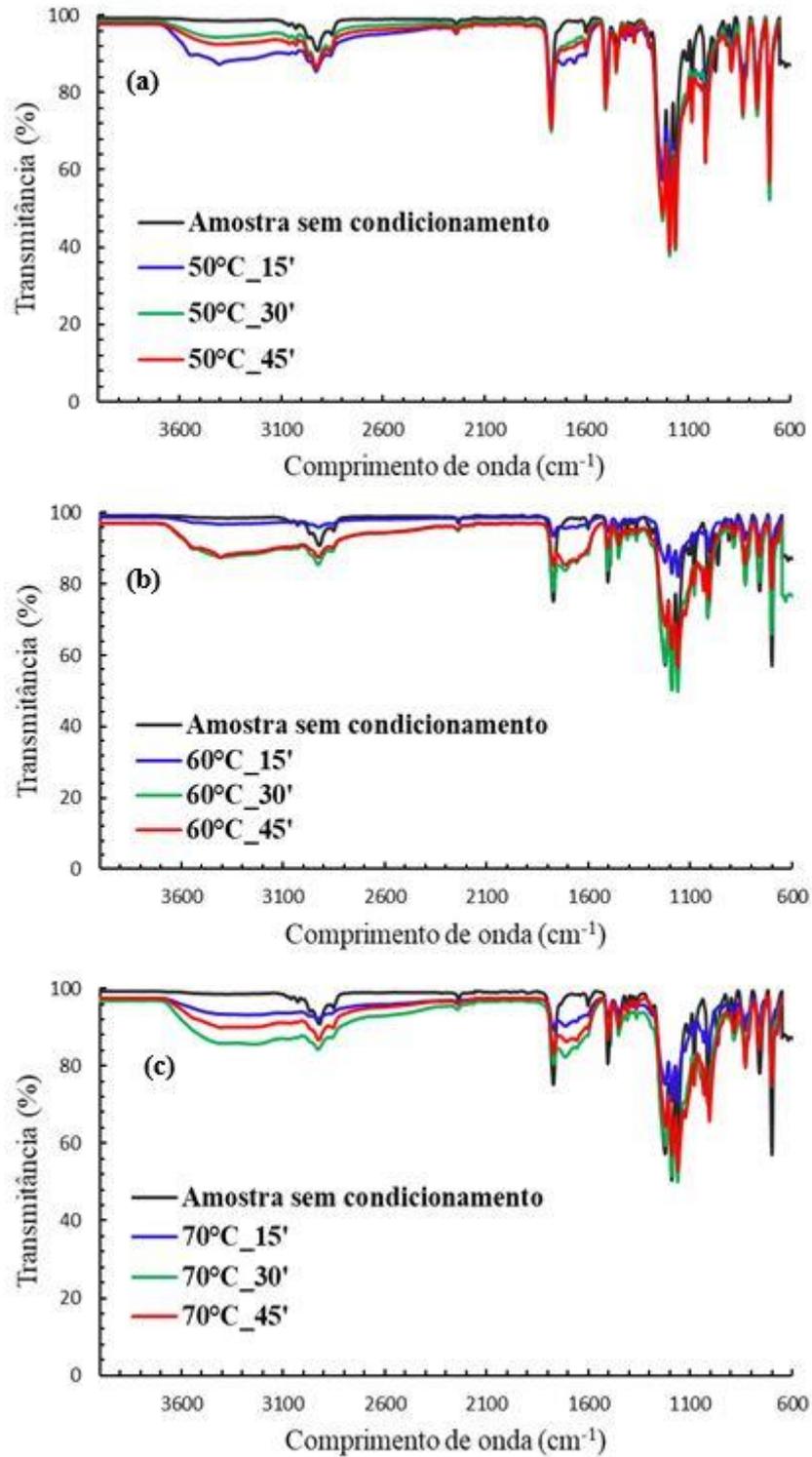
Kurek (2008) utilizou uma solução composta por ácidos fosfórico e sulfúrico e dicromato de potássio na mesma concentração que a empregada neste trabalho e obteve sucesso na cromagem de peças em ABS puro quando condicionadas a 60 °C nos tempos de 1, 3, 5 e 7 s. No entanto, tempos da ordem de poucos segundos tornam-se difíceis de controlar em processos industriais. Assim, no presente estudo, optou-se por realizar o condicionamento químico das blendas em tempos de imersão de 15, 30 e 45 s. Porém, estes podem ter influenciado na reprovação das amostras, devido à instabilidade da solução em tempos muito maiores. Outro ponto, é que Kurek (2008) condicionou e cromou amostras de ABS puro, o qual é mais susceptível ao ataque químico pela solução condicionante do que as blendas ABS/PC (55/45) avaliadas neste estudo. Herbst et al. (2018), que estudaram o condicionamento

químico de blendas ABS/PC com solução sulfocrômica, obtiveram sucesso na cromagem de blendas contendo até 40% de PC. Porém, as amostras contendo quantidades predominantes de PC em relação ao ABS e o PC puro foram reprovadas, devido ao PC apresentar elevada resistência química a soluções ácidas (DONG et al.; 1993; CHOW, 2007), mesmo em altas concentrações de ácidos crômico e sulfúrico (400 g/L cada).

#### **4.2 Avaliação da estrutura química da superfície**

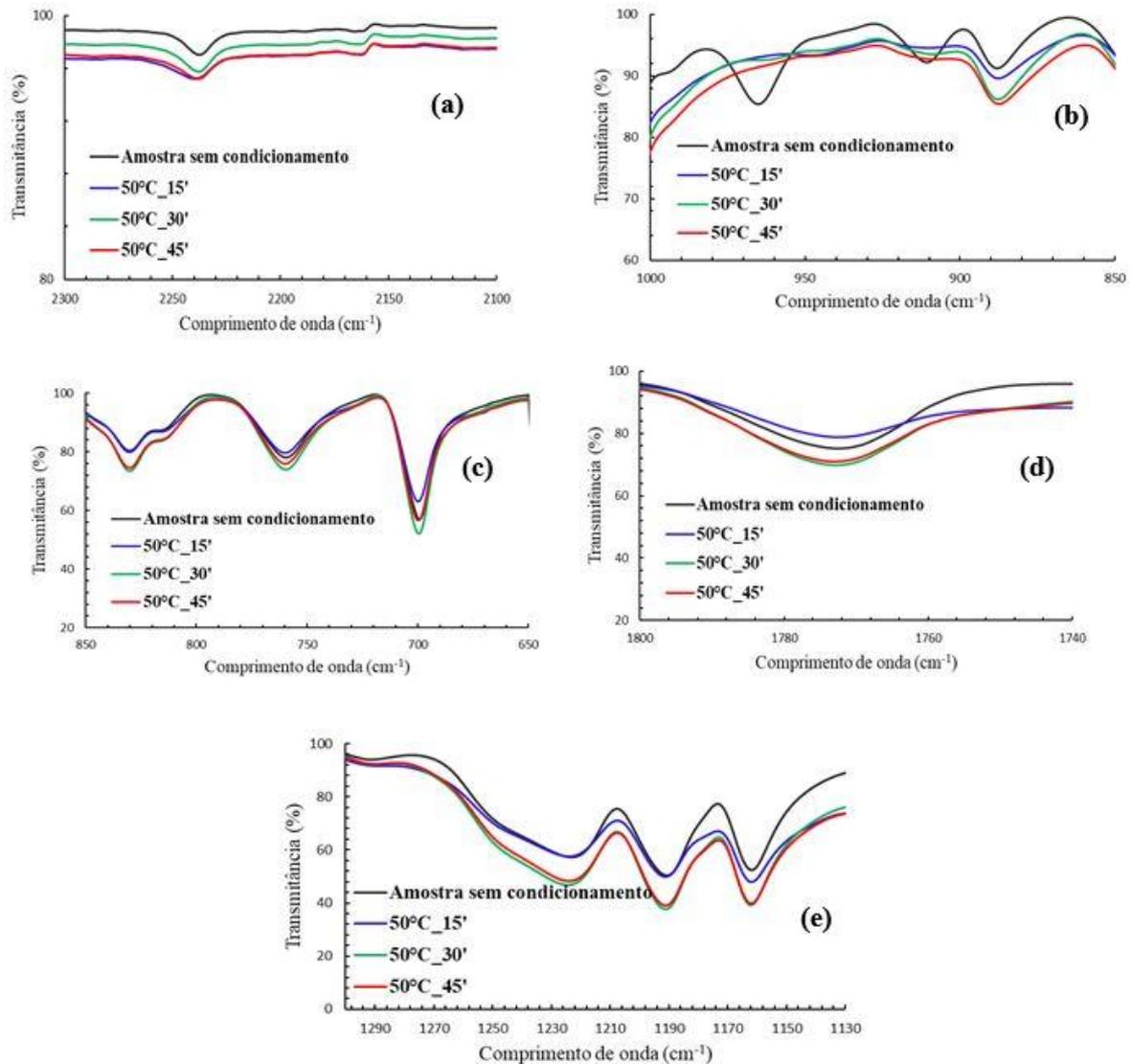
Na Figura 13 (a), (b) e (c) são mostrados os espectros FTIR/ATR da blenda ABS/PC antes e após condicionamento nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C durante 15, 30 e 45 s e na Figura 14 os espectros separados por regiões para melhor visualização das alterações causadas pelo condicionamento químico. Apenas os espectros referentes à temperatura de 50 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s foram separados por regiões, pois as mesmas características foram observadas para as temperaturas de 60 e 70 °C nos mesmos tempos.

**Figura 13** - Espectros FTIR das amostras sem e com condicionamento químico nas temperaturas (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C e tempos de 15, 30 e 45s.



Fonte: O autor (2021).

**Figura 14** - Espectros FTIR das amostras sem e com condicionamento a 50 °C nos tempos 15, 30 e 45 s separados por regiões sendo (a) acrilonitrila, (b) butadieno, (c) estireno, (d) carbonila e (e) alongamento de vibração da ligação (-C-O-).



Fonte: O autor (2021).

A análise de FTIR tem sido muito utilizada para detectar e identificar a presença das interações intermoleculares ocorridas entre diferentes componentes poliméricos nas blendas, em função das bandas de absorção no infravermelho serem muito sensíveis às mudanças nas interações intermoleculares (SILVA, 2008).

No espectro da amostra sem condicionamento verifica-se picos que comprovam a estrutura do ABS, como ligações C-H aromáticas e alifáticas em 3200 e 3000 cm<sup>-1</sup> e 3000 e 2800 cm<sup>-1</sup>, respectivamente; acrilonitrila em 2237 cm<sup>-1</sup>; anel aromático do estireno entre 698 e 758 cm<sup>-1</sup>; e ligações (-C=C-) do butadieno entre 980 e 910 cm<sup>-1</sup>

(ZAMANI et al., 2009; LI et al., 2017; KUREK et al. 2019). Com relação ao PC, podem ser observados picos em  $1770\text{ cm}^{-1}$ , referentes à ligação (-C=O-), deformações -C-O- em  $1150$  e  $1250\text{ cm}^{-1}$  e a absorção da ligação -C-C- dos anéis benzênicos em  $1600\text{ cm}^{-1}$  (YAZDI e SULLIVAN, 2015).

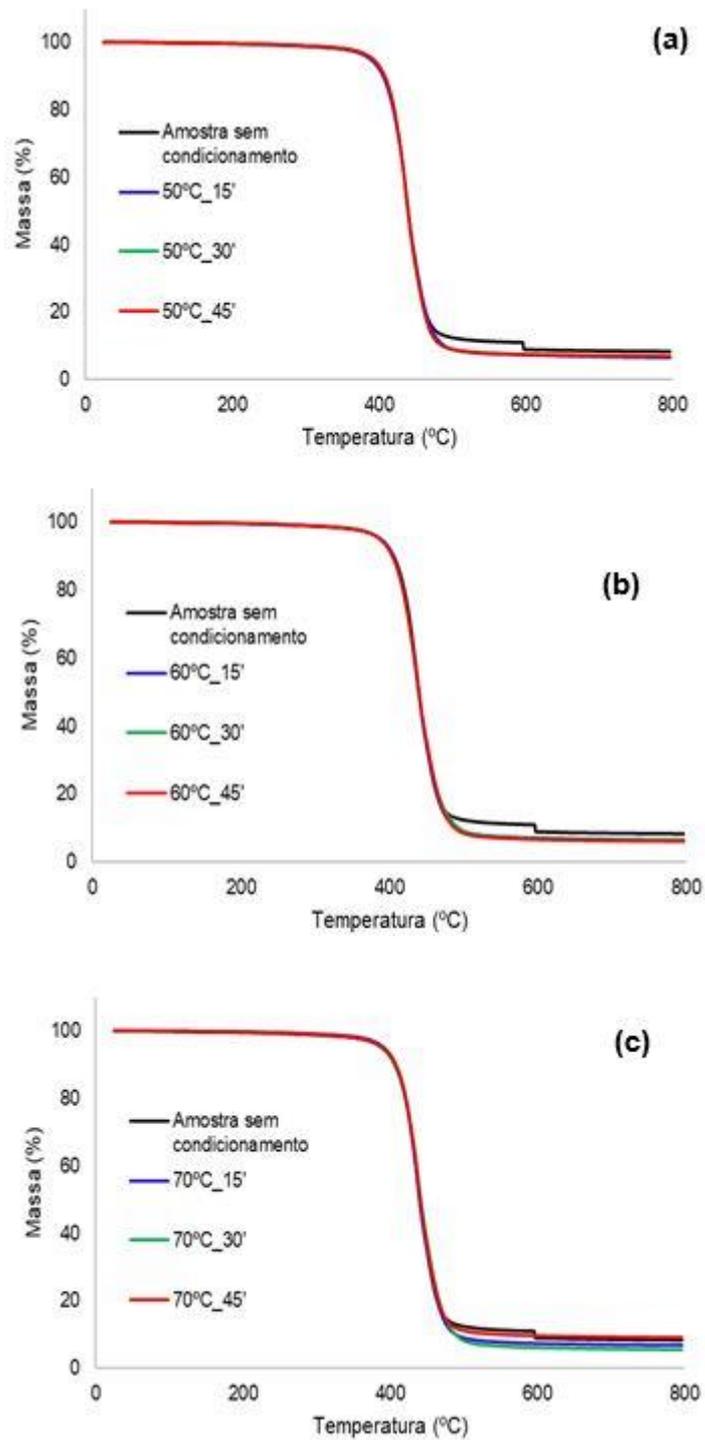
Nos espectros das amostras condicionadas na solução alternativa, verifica-se diminuição na intensidade dos picos relacionados ao componente butadieno do ABS, em  $980$  e  $910\text{ cm}^{-1}$ , indicando alterações do grupo químico. Cardoso et al. (2020), que estudou o condicionamento de blendas em ABS/PC com solução composta por ácido fosfórico e permanganato de potássio, descreveu que houve uma leve diminuição na intensidade dos picos referentes aos componentes do ABS, principalmente do butadieno, em função deste ser mais suscetível à cisão de ligações químicas e oxidação por soluções oxidantes, como a empregada pelos autores e a solução sulfocrômica.

### **4.3 Análises térmicas**

#### **4.3.1 Análise termogravimétrica (TGA/DTG)**

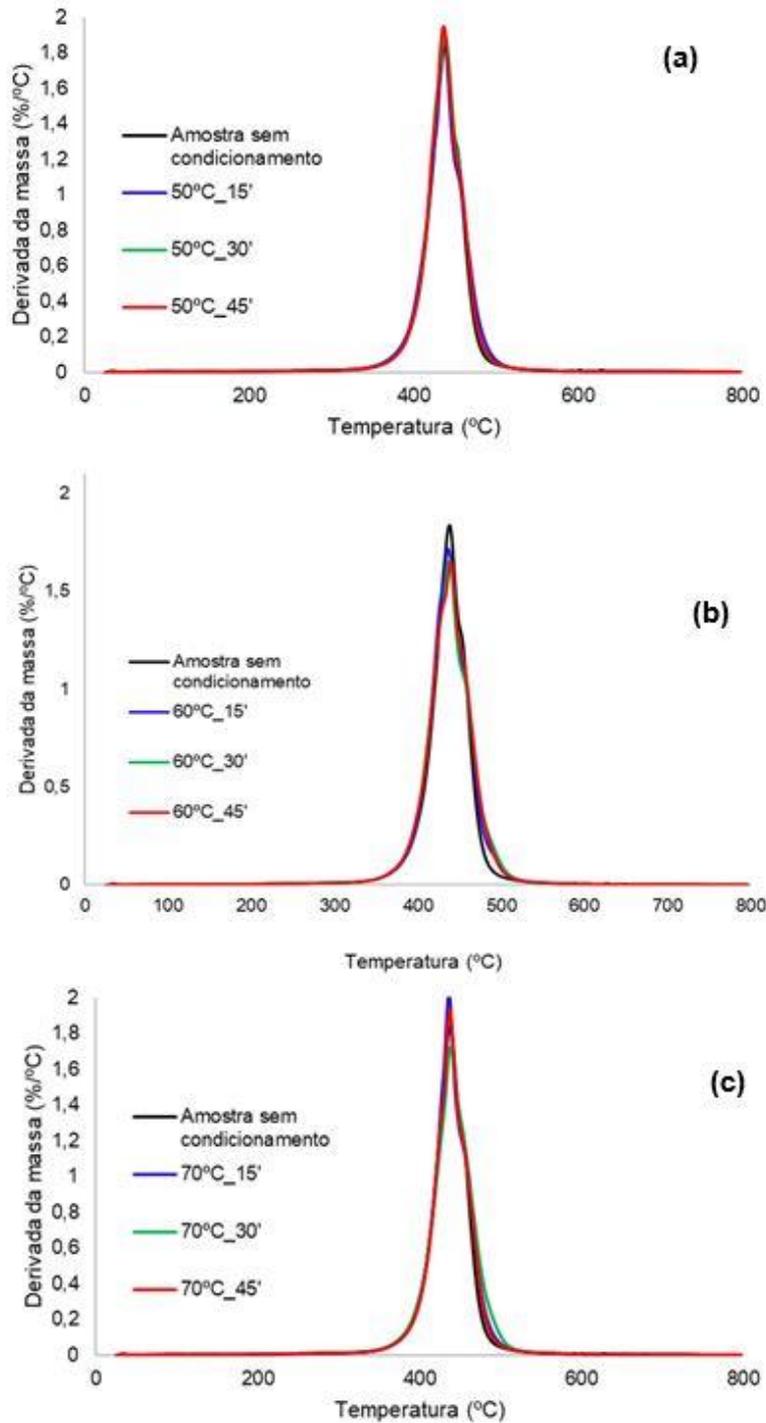
Nas Figuras 15 e 16 são mostradas as curvas de TGA e DTG, respectivamente, da amostra em ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a)  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (b)  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  e (c)  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  nos tempos de 15, 30 e 45 s. Na Tabela 4 são apresentadas as temperaturas de degradação térmica e o percentual de resíduo das mesmas amostras ao final do aquecimento.

**Figura 15** - Curvas de TGA das amostras em ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s.



Fonte: O autor (2021).

**Figura 16** - Curvas de DTG da amostra ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s.



Fonte: O autor (2021)

**Tabela 4** - Temperaturas de degradação e resíduo das amostras em ABS/PC ao final do aquecimento.

Amostra	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>máx</sub> (°C)	Resíduo (%)
Sem condicionamento	270	389	438	6,88
50 °C_15'	275	392	437	6,97
50 °C_30'	258	399	438	6,84
50 °C_45'	243	392	439	8,37
60 °C_15'	248	393	438	6,58
60 °C_30'	237	391	439	6,56
60 °C_45'	237	393	441	6,14
70 °C_15'	249	391	438	6,84
70 °C_30'	270	397	440	5,58
70 °C_45'	270	395	438	9,17

Fonte: O autor (2021).

Da curva de TGA/DTG, Figuras 15 e 16, da amostra sem condicionamento, verifica-se que a decomposição térmica teve início em 270 °C, extrapolado em 389 °C, com pico máximo em 438 °C.

De acordo com Wojtyla et al. (2017), o ABS apresenta degradação total entre 380 e 430 °C, com temperatura máxima em 409 °C, iniciando-se com a degradação do butadieno, seguindo para a fase SAN, entretanto, esses valores podem variar dependendo da quantidade de cada monômero presente no material. A perda de massa do policarbonato inicia-se em 350 °C, primeiro estágio de decomposição referente à degradação do grupo carbonato e início da degradação do grupo isopropileno e então, no segundo estágio, ocorre a decomposição do grupo isopropilideno com a perda do radical metil e volatilização dos componentes dióxido de carbono, monóxido de carbono e bisfenol A (CHARDE et al., 2018).

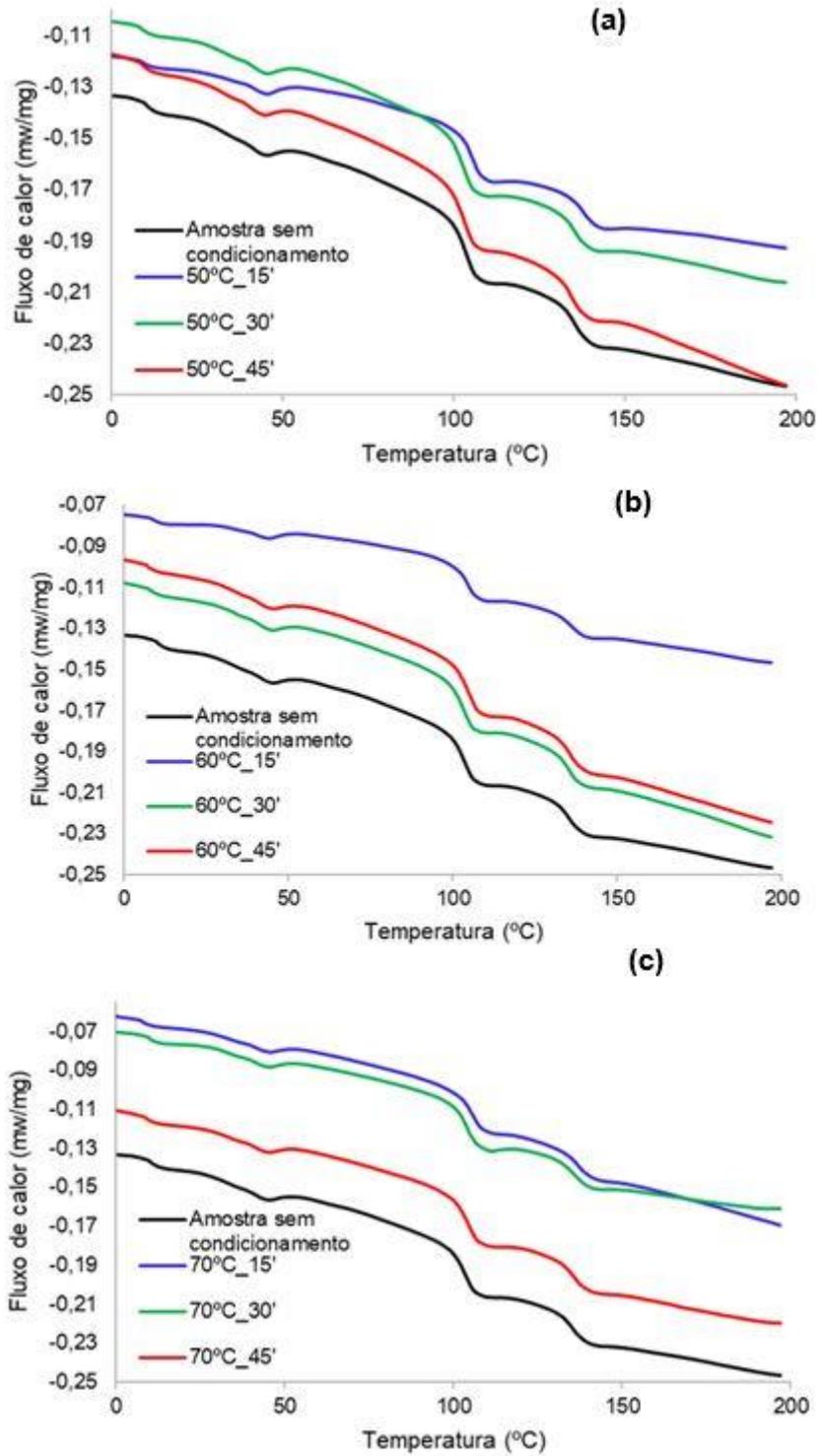
Cardoso et al. (2020) também observaram em seus estudos que a decomposição térmica de blendas ABS/PC contendo até 40% de PC teve um único estágio de decomposição, com pico máximo em 432 °C, enquanto que as amostras contendo 60% de PC apresentaram dois estágios de decomposição térmica, o primeiro em 432 °C e o segundo em 489 °C, sendo esta próxima à temperatura de decomposição máxima do PC puro, de 515 °C. Isto ocorre devido à maior estabilidade do PC em relação ao ABS.

As amostras condicionadas com a solução alternativa apresentaram decomposição térmica em um único estágio, com temperatura extrapolada ( $T_{\text{onset}}$ ) e temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) e teores de resíduo similares aos da amostra sem condicionamento, conforme pode ser observado na Tabela 4. Estes resultados corroboram com os obtidos por Cardoso et al. (2020) e Herbst et al. (2018), para blenda ABS/PC condicionadas em solução de ácido fosfórico e permanganato de potássio e em solução sulfocrômica, respectivamente, visto que o condicionamento químico tem como objetivo causar apenas alterações na superfície do material.

#### **4.3.2 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)**

As curvas de DSC das amostras em ABS/PC sem e com condicionamento são mostradas na Figura 17, sendo as peças imersas em solução a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C, nos tempos de 15, 30 e 45 s e na Tabela 5 estão os valores de  $T_g$  da fase SAN (do ABS) das blendas ABS/PC e do policarbonato.

**Figura 17** - Curvas de DSC da amostra em ABS/PC sem condicionamento e das condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45s.



Fonte: O autor (2021).

**Tabela 5** - Valores de Tg da fase SAN e do PC da amostra em ABS/PC sem condicionamento e condicionadas a (a) 50 °C, (b) 60 °C e (c) 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45 s.

<b>Amostra</b>	<b>Tg (°C)<sub>SAN</sub></b>	<b>Tg (°C)<sub>PC</sub></b>
Sem condicionamento	103	141
50°C_15'	104	143
50°C_30'	102	140
50°C_45'	102	141
60°C_15'	104	140
60°C_30'	106	141
60°C_45'	105	141
70°C_15'	102	142
70°C_30'	105	141
70°C_45'	105	142

Fonte: O autor (2021)

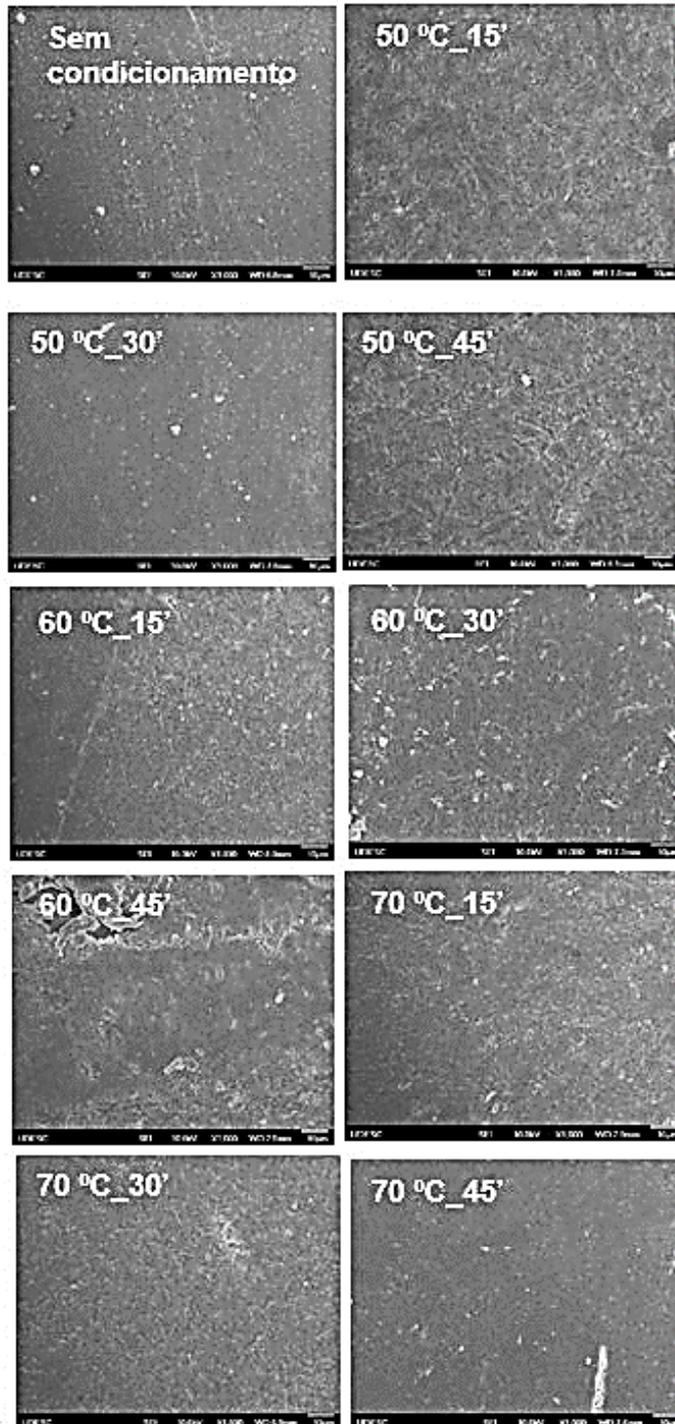
Dos resultados mostrados na Figura 17 e Tabela 5, verifica-se que as amostras apresentaram valores de Tg em média de 103 °C para a fase SAN referente ao ABS e 141 °C para o policarbonato. Amrishraj e Senthilvelan (2017) e Charde et al. (2018) obtiveram valores de Tg de 97 °C para o ABS e de 145 °C para o PC, respectivamente. Para as blendas, a Tg segue a regra da mistura, permanecendo mais próxima do polímero em quantidade predominante.

Conforme Aid et al. (2017), a miscibilidade entre os polímeros da blenda pode ser avaliada por meio da Tg, se a blenda apresentar apenas um valor de temperatura de transição vítrea, indica que o sistema é miscível, caso mais de uma, parcialmente miscível ou imiscível, relatando que a formação de ligações de hidrogênio geralmente induz a miscibilidade das misturas, que pode ser total ou parcialmente miscíveis, devido à presença dessas ligações inter associadas. Esse fato reforça os resultados obtidos por FTIR/ATR no qual as amostras apresentaram variações na intensidade dos picos para os mesmos componentes, indicando possível imiscibilidade do material. Para as amostras condicionadas não houve alterações nos valores de Tg da fase SAN ou do PC em relação às amostras sem condicionamento, corroborando com os resultados obtidos por TGA/DTG que não mostraram alterações na estabilidade térmica do material em função do condicionamento químico e também com os resultados de DSC apresentados por Cardoso et al. (2020) e Herbst et al. (2018).

#### 4.4 Avaliação da morfologia da superfície (MEV)

Na Figura 18 estão mostradas as micrografias da superfície das amostras antes e após condicionamento químico nos diferentes tempos e temperaturas.

**Figura 18** - Micrografia da superfície da amostra em ABS/PC sem condicionamento e das condicionadas a 50 °C, 60 °C e 70 °C nos tempos de 15, 30 e 45s.



Fonte: O autor (2021).

Da micrografia da amostra sem condicionamento, verifica-se que esta apresenta superfície lisa e uniforme.

Para as amostras condicionadas, houve a formação de poros, sendo mais acentuada para a amostra condicionada por 45 s a 60 °C, que também apresentou reentrâncias. Porém, a solução condicionante utilizada não ocasionou a formação de poros, vales e reentrâncias e aumento de rugosidade na superfície das amostras suficientes para proporcionar ancoramento mecânico das camadas metálicas na cromagem e serem aprovadas nos testes de adesão. Conforme Zhang et al. (2018), alterações na morfologia e aumento na rugosidade ocorrem devido à remoção dos constituintes do ABS da superfície do material, principalmente, do butadieno. Mesmo sendo verificada a diminuição da intensidade dos picos referente à cisão de ligações químicas do butadieno nos espectros FTIR/ATR, esta não foi suficiente para ocasionar rugosidade na superfície.

Conforme Ijeri et al. (2014), a adesão entre substratos orgânicos e inorgânicos é primariamente mecânica e a base para obter essa adesão é o desenvolvimento de uma morfologia adequada na superfície, ou seja, com poros e cavidades de tamanhos e formatos adequados para que a camada metálica tenha adesão na peça polimérica, utilizando tratamento químico ou mecânico.

A dificuldade em ocasionar alterações na superfície das blendas ABS/PC avaliadas neste estudo pode ter ocorrido em função do PC ser bastante resistente a soluções oxidantes. Conforme observado em outros estudos que avaliaram o condicionamento químico com soluções oxidantes, as blendas aprovadas nos testes de adesão tinham menor percentual de PC do que as avaliadas neste estudo (que foi de 45% PC e 55% ABS) (CARDOSO et al., 2020; HERBST et al., 2018).

## 5 CONCLUSÃO

A solução composta por ácidos fosfórico e sulfúrico e dicromato de potássio utilizada no condicionamento químico, nas condições de temperatura de 50, 60 e 70 °C e tempos de 15, 30 e 45 s, não ocasionou alterações significativas na superfície da blenda ABS/PC, que proporcionassem aprovação das amostras nos testes de qualidade da camada cromada. Tal fato ocorreu, principalmente, devido à presença do policarbonato nas blendas que apresenta resistência química à soluções ácidas e oxidantes mesmo em altas concentrações. O ABS puro é mais susceptível ao ataque químico pela solução condicionante do que as blendas ABS/PC (55/45) avaliadas neste estudo.

Tempos de imersão de 15, 30 e 45 s, testados neste estudo, também podem ter influenciado na reprovação das amostras, devido à instabilidade da solução observada para tempos de condicionamento maiores.

Para as condições operacionais empregadas, a temperatura de 60 °C e o tempo de imersão de 15 s mostraram ser mais favoráveis à adesão, devido às amostras apresentarem menor área de deslocamento da camada metálica e morfologia da superfície com formação de mais poros e reentrâncias do que as demais amostras. Isto evidencia a importância do controle dos parâmetros operacionais no condicionamento químico visando promover alterações na morfologia e estrutura química da superfície do material para que ocorra a adesão metal-polímero, o que ocorre em função da formação de grupos químicos oxidados e/ou formação de poros, vales e reentrâncias que promovam ancoramento mecânico da camada metálica.

Em função das leis ambientais, como a Rohs que objetiva a redução de substâncias perigosas como o cromo presente em produtos eletroeletrônicos e automotivos, cada vez mais métodos de tratamento menos poluentes e tecnologias limpas vem sendo empregados pelas indústrias do ramo.

Sugere-se para estudos futuros: avaliar o uso de outras condições operacionais para a solução condicionante testada, principalmente, empregando tempos menores de imersão das peças na solução condicionante; testar a solução avaliada neste estudo em blendas ABS/PC com menores concentrações de PC; avaliar outras soluções isentas de cromo para o condicionamento de blendas ABS/PC.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10283: **Revestimentos eletrolíticos de metais e plásticos sanitários** – 2018.

AID, S., EDDHAHAK, A., ORTEGA, Z., FROELICH, D., TCHARKHTCHI, A. *Experimental study of miscibility of ABS/PC polymer blends and investigation of the processing effect.* **Journal of Applied Polymer and Science**, 134(25), 1-9, 2017.

AMRISHRAJ, D., SENTHILVELAN, T. *Acrylonitrile butadiene styrene composites reinforced with nanozirconia and PTFE: Mechanical and thermal behavior.* **Polymer Composites**, 39(S3), 1-10, 2017.

ASTM B604-91 - **Standard Specification for Decorative Electroplated coatings of Copper Plus Nickel Plus Chromium on Plastics**, 2008.

ASTM D 3359 - **Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test**, 2015.

BALART, Rafael; LOPEZ, Julio; GARCIA, Domingo; SALVADOR, Miguel. *Recycling of ABS and PC from electrical and electronic waste. Effect of miscibility and previous degradation on final performance of industrial blends.* **European Polymer Journal**, 41 (9), 2150–2160, 2005.

BENGSTON, J. **Non-chrome plating on plastic.** *World Intellectual Property Organization*, nº WO 2005/094394 A2, out. 2005.

BERNARDO, P.E.M.; NAVAS, S.A.; MURATA, L.T.F.; ALCÂNTARA, M.R.S. *Bisfenol A. O uso em embalagens para alimentos, exposição e toxicidade – Uma Revisão.* **Revista Instituto Adolfo Lutz**, 74 (1), 1-11, 2015.

BOS, A.; FELS, C. *Metalização direta de plásticos ABS e ABS-PC.* **Revista Tratamento de Superfície**, São Paulo, 172, 68-71, mar./abr., 2012.

BOS, A. *O processo de metalização de plásticos: mecanismo de adesão na interface substrato e metal eletrodepositado. Revista Tratamento de Superfície*, 207, 27-33, 2018.

CÂNDIDO, L.; KINDLEIN, W.; DEMORI, R.; CARLI, L.; MAULER, R. **Effect of reprocessing cycles on the mechanical properties of an ABS/PC blend.** PPS-27. *27th World Congress of the Polymer Processing Society, May 2011, 10-14, Marrakech, Morocco.*

CARDOSO, I. N.; KUREK, A. P.; SELLIN, N. **Substituição da solução sulfocrômica no banho condicionante por solução isenta de cromo visando cromagem de peças em blendas PC/ABS.** *Caderno de Iniciação à Pesquisa – UNIVILLE, PIBIC*, 22, 173-189, 2020.

CARVALHO, Reciclagem Primária de ABS: **Propriedades Mecânicas, Térmicas e Reológicas.** Dissertação (mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville, BR-SC, 2009.

CASTRO, E. P.; SILLOS, R. M. **Manual Técnico de tratamento de superfícies.** São Paulo: SurTec do Brasil, 2012.

CHARDE, S. J., SONAWANE, S. S., SONAWANE, S. H., NAVIN, S. *Influence of functionalized calcium carbonate nanofibers on the properties of melt-extruded polycarbonate composites.* **Chemical Engineering Communications**, 205(4), 492-505, 2018.

CHEN, S., ZHU, Q., ZHAO, Y., HE, J., WANG, G. *KMnO<sub>4</sub>-system etching process and electroless nickel plating on ABS.* **Materials and Corrosion**, 70(4), 1-6, 2018.

CHOW, J. T. **Environmental assessment for Bisphenol-A and Polycarbonate.** *Dissertation (Master of Science), Kansas State University, 2007.*

CUSACK, P., PERRETT, T. *The EU RoHS directive and its implications for the plastics industry,* **Plastics, Additives and Compounding**, 3 (8), 46-9, 2006.

DEYNA, A. **Metalização de polímeros empregados no setor automotivo**. Artigo (Graduação em engenharia automotiva), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2015.

DONG, L., GRECO, R., ORSELLO, G. *Polycarbonate/ acrylonitrile-butadiene-styrene blends: 1. Complementary etching techniques for morphology observations*. **Polymer**, 34(7), 1375-1382, 1993.

FERREIRA, B. **Especificação do produto**. Boletim técnico, Paraná, 2016.

FOLDES, P. A. **Galvanotécnica prática**. v 2. São Paulo: Polígono, 1973.

GUERCIA, M. **Crescimento da Indústria Automotiva Impulsiona Mercado de Plásticos de Engenharia no México**. Plástico.com.br, São Paulo, 1(1), 1-1, 2013.

HERBST, G.; KUREK, A. P.; BORGES, F.; SELLIN. **Condicionamento químico por solução sulfocrômica de blendas PC/ABS**. In: Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPOL, 2019, Bento Gonçalves, RS. Anais do 15º. CBPol, 2019. v. 15. p. 1-5.

IJERI, V., SHAH, K., BANE, S. *Chromium-free etching and Palladium-free plating on plastics*. **NAST surface technology white papers**, 78(12), 1-8, 2014.

JUNIOR, C. L. *Tecnologia de metalização em plásticos*. **Revista Tratamento de Superfície**, 176, 52-57, 2012.

KHAN, M. M. K.; LIANG, R. F.; GUPTA, R.; AGARWAL, S. *Rheological and Mechanical Properties of ABS/PC Blends*. **Korea-Australia Rheology Journal**, 17(1), 1-7, 2005.

KRACHE, R., DEBBAH, I. *Some mechanical and thermal properties of PC/ABS blends*. **Materials Sciences and Applications**. 2(5), 404-410, 2011.

KÜCHLER, M. M. **Avaliação da Metalização de Polímeros pelo Processo de Magnetron Sputtering: um Estudo Preliminar**. Artigo (Graduação em engenharia de materiais), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2006.

KUREK, A. P. **Avaliação da redução e substituição do ácido crômico na etapa de condicionamento químico de peças em ABS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), 2008.

KUREK, A. P. **Modificação da superfície de peças em PVC e blendas PVC/ABS para adesão de camadas metálicas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2014.

KUREK, A. P., DOTTO, M. E. R., SELLIN, N., ARAÚJO, P. H. H., Tratamento químico superficial e metalização de ABS, PVC e blendas de PVC/ABS, **Polímeros Ciência e Tecnologia**, 25(2), 212-218, 2015.

KUREK, A. P., MOLL, R. G., HERBST, G., DOTTO, M. E. R., SELLIN, N. *Reprocessing of chromed ABS parts with chemical pickling and new chromed plating*. **Journal of Applied Polymer Science**, 135(15), 46131(1-10), 2018.

KUREK, A. P., RANZAN, T., CARDOSO, I. N., DOTTO, M. E. R., BALZER, P. S., SELLIN, N. *Recycling by injection and chrome plating of acrylonitrile-butadiene-styrene parts pickled in hydrochloric and nitric acids*. **Journal of Applied Polymer and Science**, 137(7), 48372(1-10), 2019.

LAURINDO, V. **Desenvolvimento de blendas poliméricas PC/PBT compatibilizadas e nanoestruturadas**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de materiais) Universidade Federal de São Carlos, 2012.

LI, J., CHEN, F., YANG, L., JIANG, L., DAN, Y. *FTIR analysis on aging characteristics of ABS/PC blend under UV-irradiation in air*. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 184, 361-367, 2017.

LI, S., HU, Z., XIE, S., LIU, H., LIU, J. *Removal of Cr (VI) from electroplating industry effluent via electrochemical reduction. **International Journal of Electrochemical Science**, 13(1), 655-66, 2018.*

MA, Q., ZHAO, W., LI, X., LI, L., WANG, Z. *Study of an environment-friendly surface pretreatment of ABS-polycarbonate surface for adhesion improvement. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 44, 243–249, 2013.*

MACHADO, T. C., LANSARIN, M. A., MATTE, N. *Reduction of hexavalent chromium: photocatalysis and photochemistry and their application in wastewater remediation. **Water Science and Technology**, 70(1), 55-61, 2014.*

MITRA, S., SARKAR, A., SEN, S. *Removal of chromium from industrial effluents using nanotechnology: a review. **Nanotechnology for Environmental Engineering**, 2(1), 1-14, 2017.*

MOLL, R. G. **Processeamento de peças em ABS cromadas refugadas por decapagem química e nova cromagem.** Dissertação (Mestrado Em Engenharia De Processos), Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), 2017,

OLIVEIRA, S., MURALIDHARA, H. B., VENKATESH, K., GOPALAKRISHNA, K., VIVEK, C.S. *Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. **Journal of Materials Science**, 51(8), 3657-3674, 2016.*

**ROHS Guide.** Disponível em: <<https://www.rohsguide.com/>>. Acesso em: fev. 2021.

SILVA, F. F. **Blendas de PVC/PS: análise da miscibilidade e investigação do efeito radioprotetor do PS na mistura polimérica.** Dissertação (Mestrado em energia nuclear), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2008.

TEIXEIRA, L. A.; SANTINI, M. C. *Surface conditioning of ABS for metallization without the use of chromium baths. **Journal of Materials Processing Technology**, 170(1-2), 37- 41, 2005.*

UTRACKI. ***Polymer Blends Handbook***. v. 1. Kluwer Academic Pub, 2003.

VIDAL, R., BORRÁS, J. A. A., CORDÓN, J. G., MOLINER, E., ORTEGA, A., VERDEJO, E. LCA to Evaluate the Environmental Impact for Chemical Pre-Treatment in Plastics. Metallization. ***Journal of Polymers and the Environment***, 25(4), 961-972, 2017.

WOJTYLA, S., KLAMA, P., BARAM, T. Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. ***Journal of Occupational and Environmental Hygiene***, 14(6), 1-21, 2017.

YAZDI, M. H., SULLIVAN, P. L. FTIR analysis of a polycarbonate blend after hygrothermal aging. ***Journal of Applied Polymer and Science***, 132(3), 2015.

ZAMANI, A., ABBASI, F., AGAH, A. M. Characterization of rubber phase in acrylonitrile-butadiene-styrene-polymers. ***Journal of Applied and Polymer Science***, 114(3), 2009.

ZAPAROLLI. Injetoras e Galvanoplastias Buscam Estratégias no Concorrido Mercado de Cromação de Plásticos - ***Revista Plástico Moderno***, n. 407, 11-16, 2008.

ZHANG, H., KANG, Z., SANG, J., HIRAHARA, H. Surface metallization of ABS plastics for nickel plating by molecules grafted method. ***Surface and Coatings Technology***, 340, 8-16, 2018.

ZIMMERER C., ZIEGLER L., HEINRICH G., STEINER G. Time resolved characterization of the solid-state reaction between polycarbonate and primary amine. ***European Polymer Journal***, 98, 313-320, 2018.

## Termo de Autorização para Publicação de Teses e Dissertações

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) a disponibilizar em ambiente digital institucional, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) e/ou outras bases de dados científicas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 26/04/2022.

1. Identificação do material bibliográfico: ( ) Tese (x) Dissertação ( ) Relatório Técnico

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: THATIANE DA MAIA COELHO \_\_\_\_\_

Orientador: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ANA PAULA KUREK \_\_\_\_\_

Coorientador: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. NOELI SELLIN \_\_\_\_\_

Data de Defesa: 15/12/2021 \_\_\_\_\_

Título: MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE BLENDA EM ABS/PC COM SOLUÇÃO ALTERNATIVA À SULFOCRÔMICA PARA ADESÃO DE CAMADAS METÁLICAS PELO PROCESSO DE CROMAGEM

Instituição de Defesa: UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE \_\_\_\_\_

3. Informação de acesso ao documento:

Pode ser liberado para publicação integral (X) Sim ( ) Não

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese, dissertação ou relatório técnico.



Assinatura do autor



Local/Data