

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC  
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

AMANDA DANTAS  
ISA MOREIRA DA SILVA SANTOS  
TAYNÃ ISIS DE SANTANA SANTANA  
THAÍS DOS SANTOS ALVES  
VERLANE JESUS DOS SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DA RESINA PVC PARA FABRICAÇÃO DE  
JUNTAS DE FLANGE PARA VEDAÇÃO DE TUBULAÇÕES DE UTILIDADES**

SALVADOR – BA  
2019

AMANDA DANTAS  
ISA MOREIRA DA SILVA SANTOS  
TAYNÃ ISIS DE SANTANA SANTANA  
THAÍS DOS SANTOS ALVES  
VERLANE JESUS DOS SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DA RESINA PVC PARA FABRICAÇÃO DE  
JUNTAS DE FLANGE PARA VEDAÇÃO DE TUBULAÇÕES DE UTILIDADES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro Universitário SENAI CIMATEC como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Pollyana da Silva Melo Cardoso  
Coorientador: Prof. Dr. Ivo Andrei de Oliveira Lino Lima

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

AMANDA DANTAS  
ISA MOREIRA DA SILVA SANTOS  
TAYNÃ ISIS DE SANTANA SANTANA  
THAÍS DOS SANTOS ALVES  
VERLANE JESUS DOS SANTOS

### **ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DA RESINA DE PVC PARA FABRICAÇÃO DE JUNTAS DE FLANGE PARA VEDAÇÃO DE TUBULAÇÕES DE UTILIDADES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro Universitário SENAI CIMATEC como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Salvador, de de .

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Pollyana da Silva Melo Cardoso – Orientadora  
Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
Centro Universitário SENAI CIMATEC

---

Dr. Ivo Andrei de Oliveira Lino Lima – Coorientador  
Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, SENAI CIMATEC  
BRASKEM

---

Prof. Dr. Danilo Hansen Guimarães – Coordenador do Curso de Engenharia de Materiais  
Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Centro Universitário SENAI CIMATEC

---

Prof. João Lucas da Hora de Jesus – Docente Theoprax / GTA  
MBA Executivo em Gestão de Projetos, SENAI CIMATEC  
Centro Universitário SENAI CIMATEC

---

Me. Lucas Nao Horiuchi  
Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos  
(UFSCAR)  
Braskem

---

Me. Emerson Madaleno  
Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade São Francisco (USF)  
Braskem

---

Alvaro Adolfo Teixeira Rocha  
Braskem

## AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais, pela educação, carinho, incentivo e confiança em todos os momentos das nossas vidas.

Aos nossos companheiros, amigos e familiares, pelo amor e incentivo na realização dos nossos sonhos.

A Ivo Andrei, por acreditar na nossa capacidade de desenvolvimento e por todo o apoio na realização do projeto.

À Braskem, pelo financiamento do projeto e parceria.

À Teadit, pela parceria na realização do projeto e pela realização dos ensaios.

À Micron-Ita, pela doação do carbonato de cálcio.

Aos professores Pollyana Melo, Danilo Hansen, Rossana Santos e João Lucas, pela orientação.

A Lucas Nao, Emerson Madaleno, Álvaro Teixeira, José Veiga e Carlos Girão pela disponibilidade, suporte, discussões e conselhos que nos fizeram aperfeiçoar o projeto.

Ao estagiário da Planta Piloto PVC, Francisco Araújo, pelo apoio no processamento dos compostos.

Aos técnicos de laboratório do SENAI CIMATEC, Marcela Menezes, Michele Mota, Luís Souza, Humberto Aragão, pelo apoio na realização de processamentos e análises.

Aos analistas do Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ) da Braskem, Albani, Ana Roberta, Flávia, Luiz Eugênio e Matheus, pela disponibilidade e total apoio na realização das atividades do projeto.

Aos professores, Luciano Pisanu e Glauber Moraes, pelas discussões científicas e solidariedade.

Aos nossos colegas de curso, Aline Costa e Marcus Vinicius pelo suporte nas mais variadas atividades de laboratório e pelo encorajamento.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigada.

*"Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível."*

*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

Em tubulações é muito comum a utilização de flanges e este sistema é composto por dois flanges, uma junta e um jogo de parafusos tipo estojo. Nesse contexto, as juntas possuem papel fundamental para garantir a segurança das conexões e são utilizadas como elementos de vedação, criando uma barreira e mantendo o fluido no interior da tubulação. Este trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade do uso de policloreto de vinila (PVC) para fabricação de juntas de flange para vedação de tubulações de utilidade (limites de serviço de até 60°C e pressão de 19 bar), visando a substituição dos materiais convencionalmente utilizados em juntas não metálicas, como os papelões hidráulicos e politetrafluoroetileno (PTFE). O PVC é um dos termoplásticos mais utilizados no mundo devido a sua versatilidade e tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento de inovações e disseminação de soluções em diversas áreas. Os compostos de PVC (dry blend) foram obtidos em misturador interno, em três formulações: PVCC50P20, PVCC60P20 e PVCC50P10, variando os teores de plastificante (P) e/ou carga (C). Os corpos de prova para a realização das caracterizações foram obtidos via corte em placas feitas por calandragem e posterior prensagem. Pôde-se observar a influência das concentrações dos aditivos nas propriedades térmicas, físico-mecânicas, morfológicas, resistência à degradação, bem como nas propriedades das juntas. Foi possível desenvolver materiais para juntas de flange com PVC aditivado, que apresentaram características intermediárias aos materiais usualmente utilizados, como alta selabilidade e alta recuperação e excelente resistência à tração. O desenvolvimento deste estudo abre caminhos para a realização de outras pesquisas baseadas no uso do PVC como matriz para materiais de junta de flange. Como resultado, foi desenvolvido um datasheet das juntas com todas as informações técnicas apresentadas neste trabalho.

**Palavras-chave:** Estudo de viabilidade. Policloreto de vinila. Junta de flange. Tubulações de utilidades.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Formas de cadeia polimérica: a) linear; b) ramificada; c) com ramificações em estrela; d) escalar; e) grafitizado ou enxertado; f) semi-escalar; g) com ligações cruzadas ou reticulado (CANEVAROLO JR., 2000)..... | 13 |
| Figura 2 – Fórmula estrutural do PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006). .....   | 15 |
| Figura 3 – Processamento de polímeros termoplásticos (ANON, 1997). .....   | 23 |
| Figura 4 – Processamento de polímeros termoplásticos (ANON, 1997). .....   | 24 |
| Figura 5 – Ligação flangeada entre tubos (TELLES, 2001). .....   | 26 |
| Figura 6 – Tipos de flanges para tubos (TELLES, 2001).....   | 26 |
| Figura 7 – Face de junta ressaltada (VEIGA, 2014).....   | 27 |
| Figura 8 – Face para junta de anel (VEIGA, 2014).....  | 27 |
| Figura 9 – Face plana (VEIGA, 2014). .....   | 28 |
| Figura 10 – Tipos de face macho e fêmea (VEIGA, 2014).....   | 28 |
| Figura 11 – Principais forças em uma união flangeada (VEIGA, 2014).....  | 29 |
| Figura 12 – Esquema de junta de vedação preenchendo as irregularidades do flange (PEREIRA, J. B. S., 2016). .....  | 30 |
| Figura 13 – Juntas para flanges (TELLES, 2001). .....  | 31 |
| Figura 14 – Juntas metálicas de anel (RODRIGUES, 2016).....  | 32 |
| Figura 15 – Juntas semimetálicas (RODRIGUES, 2016).....  | 32 |
| Figura 16 – Juntas não metálicas (RODRIGUES, 2016). .....  | 33 |
| Figura 17 – Acabamentos superficiais para flanges comerciais (VEIGA, 2014).....  | 34 |
| Figura 18 – Gráfico pressão $x$ temperatura para junta de papelão hidráulico com fibras inorgânicas e NBR.....   | 36 |
| Figura 19 – Fluxograma da metodologia utilizada.....   | 42 |
| Figura 20 – Laminado de PVC obtido após o processo de calandragem. ....  | 44 |
| Figura 21 – Molde das placas. ....   | 45 |
| Figura 22 – Placa obtida após processo de prensagem.....   | 45 |
| Figura 23 – (a) Material calandrado cortado e (b) cilindros obtidos após processo de prensagem.....  | 46 |
| Figura 24 – Dispositivo para ensaio de DPC, método B. ....   | 48 |
| 25 – Esquemática dos sentidos de corte das amostras. ....  | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 26 – Curvas DSC em atmosfera de N <sub>2</sub> , obtidas a 20°C/min (a) PVC puro (b) PVCC50P20 (c) PVCC60P20 (d) PVCC50P10. ....                    | 54 |
| Figura 27 – Curvas TGA e DTGA do PVCC50P20 em atmosfera de N <sub>2</sub> , obtidas a 20°C/min. ....   | 56 |
| Figura 28 – Curvas TGA e DTGA do PVCC60P20 em atmosfera de N <sub>2</sub> , obtidas a 20°C/min. ....   | 56 |
| Figura 29 – Curvas TGA e DTGA do PVCC50P10 em atmosfera de N <sub>2</sub> , obtidas a 20°C/min. ....   | 57 |
| Figura 30 – Curvas TG e DTG de decomposição térmica de PVC em atmosfera de nitrogênio, obtidas a 1, 5, 10 e 20 °C/min (Miranda <i>et al.</i> , 1999). .... | 58 |
| 31 – Temperatura de amolecimento Vicat (°C) dos compostos de PVC. ....   | 59 |
| 32 – Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) dos compostos de PVC. ....   | 60 |
| Figura 33 – Dureza (Shore D) dos compostos de PVC. ....  | 61 |
| Figura 34 – Deformação permanente à compressão (%) dos compostos de PVC. ....  | 62 |
| Figura 35 – Micrografias do PVCC50P20: ....  | 63 |
| Figura 36 – Micrografias do PVCC60P20: (a) ampliação de 500x (b) ampliação de 1000x... 63  | 63 |
| Figura 37 – Micrografias do PVCC50P10: (a) ampliação de 500x (b) ampliação de 1000x... 63  | 63 |
| Figura 38 – Comparação da Dureza (Shore D) após exposição à névoa salina dos compostos de PVC.....   | 64 |
| Figura 39 – Comparação da Dureza (Shore D) após envelhecimento acelerado dos compostos de PVC.....   | 66 |
| Figura 40 – Comparação de Dureza (Shore D) após imersão em soluções dos compostos de PVC. ....   | 68 |
| 41 – Compressibilidade e recuperação (%) dos compostos de PVC.....   | 71 |
| 42 – Taxa de vazamento (mL/h) de N <sub>2</sub> dos compostos de PVC.....  | 72 |
| 43 – Resistência à tração dos compostos de PVC. ....   | 73 |
| Figura 44 – Relaxamento (PQR) dos compostos de PVC.....  | 74 |
| Figura 45 – Molde para corpos de prova em placas. ....   | 85 |
| Figura 46 – Molde para corpos de prova para teste de DCP: base.....  | 86 |
| Figura 47 – Molde para corpos de prova para teste de DCP: matriz.....  | 87 |
| Figura 48 – Molde para corpos de prova para teste de DCP: punção. ....   | 88 |
| Figura 49 – Molde para corpos de prova para teste de DCP: porta-punção.....  | 89 |
| Figura 50 – Projeto de molde para de teste de DPC: conjunto.....   | 90 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 51 – Projeto de molde para de teste de DPC: espaçador..... | 91 |
| Figura 52 – Projeto de molde para de teste de DPC: placa. ....    | 92 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Sumário da morfologia do PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão (SUMMERS, 1997 apud RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006)..... | 16 |
| Tabela 2 – Acabamento recomendado para a superfície de vedação dos flanges em função do tipo de junta conforme ASME PCC-1 (RODRIGUES, 2016). .....      | 35 |
| Tabela 3 – Espessura das juntas acordo com diâmetro do flange (RODRIGUES, 2016).....  | 36 |
| Tabela 4 – Especificações técnicas do PVC NORVIC® SP767RA. ....   | 38 |
| Tabela 5 – Características típicas do antioxidante Irganox® 1076. ....  | 39 |
| Tabela 6 – Características típicas da carga mineral Micron 1/9CD. ....  | 39 |
| Tabela 7 – Características típicas do estabilizante térmico NAFTOSAFE CZ-6530.....  | 40 |
| Tabela 8 – Características típicas do lubrificante A-C® 316A. ....  | 40 |
| Tabela 9 – Características típicas do plastificante de óleo de soja epoxidado Drapex® 6.8. ...  | 41 |
| Tabela 10 – Características típicas do negro de fumo MONARCH® 700. ....   | 41 |
| Tabela 11 – Formulações dos compostos de PVC. ....  | 43 |
| Tabela 12 – Concentrações dos reagentes para ensaio de resistência química. ....  | 50 |
| Tabela 13 – Dados dos obtidos através da análise de DSC do PVC puro e dos compostos. ...  | 55 |
| Tabela 14 – Dados dos obtidos através das análises de TGA e DTGA dos compostos de PVC. ....   | 57 |
| Tabela 15 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após exposição à névoa salina.   | 65 |
| Tabela 16 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após envelhecimento acelerado. ....  | 66 |
| Tabela 17 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após imersão em fluidos. ....  | 69 |
| Tabela 18 – Resistência química à temperatura ambiente dos compostos de PVC. ....   | 69 |

## LISTA DE SIGLAS

|                   |  |
|-------------------|--|
| ABNT              | Associação Brasileira de Normas Técnicas   |
| ASTM              | American Society for Testing and Materials |
| CaCO <sub>3</sub> | Carbonato de cálcio                        |
| Cl                | Cloro                                      |
| CPVC              | Policloreto de vinila clorado              |
| DIN               | Deutsches Institut für Normung             |
| DOP               | Diociltalato                               |
| DPC               | Deformação permanente à compressão         |
| DSC               | Calorimetria exploratória diferencial      |
| ENR               | Borracha natural epoxidada                 |
| FF                | Flat face                                  |
| GLP               | Gás liquefeito de petróleo                 |
| H <sub>2</sub> O  | Água                                       |
| HCl               | Ácido clorídrico                           |
| JTA               | Juntas metálicas de anel                   |
| MEV               | Microscopia eletrônica de varredura        |
| MO                | Microscópio ótico                          |
| MSS               | Manufacturers Standardization Society      |
| MVC               | Monômero cloreto de vinila                 |
| NaOH              | Hidróxido de sódio                         |
| NBR               | Norma Brasileira                           |
| NBR               | Borracha nitrílica                         |
| PCR               | Partes por cem de resina                   |
| PTFE              | Politetrafluoroetileno                     |
| PVC               | Policloreto de vinila                      |
| PVCC50P10         | Composto 3                                 |
| PVCC50P20         | Composto 1                                 |
| PVCC60P20         | Composto 2                                 |
| RF                | Raised face                                |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>1.1 Justificativa .....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>1.2 Objetivos.....</b>                                   | <b>11</b> |
| 1.2.1 Objetivo geral .....                                  | 11        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                            | 12        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                        | <b>13</b> |
| <b>2.1 Polímeros .....</b>                                  | <b>13</b> |
| <b>2.2 Policloreto de vinila (PVC) .....</b>                | <b>14</b> |
| 2.2.1 Estrutura, síntese e morfologia da partícula .....    | 15        |
| 2.2.2 Aditivação de PVC .....                               | 16        |
| 2.2.2.1 <i>Plastificantes</i> .....                         | 17        |
| 2.2.2.2 <i>Estabilizantes térmicos</i> .....                | 19        |
| 2.2.2.3 <i>Lubrificantes</i> .....                          | 20        |
| 2.2.2.4 <i>Cargas</i> .....                                 | 20        |
| 2.2.2.5 <i>Pigmentos</i> .....                              | 21        |
| 2.2.3 Preparação de compostos de PVC <i>dry blend</i> ..... | 21        |
| 2.2.4 Gelificação e fusão das resinas de PVC .....          | 22        |
| 2.2.5 Processamento do PVC .....                            | 22        |
| 2.2.5.1 <i>Calandragem</i> .....                            | 23        |
| 2.2.5.2 <i>Prensagem</i> .....                              | 23        |
| <b>2.3 Tubulações industriais .....</b>                     | <b>24</b> |
| 2.3.1 Tubulações de utilidades .....                        | 25        |
| 2.3.2 Ligações flangeadas.....                              | 25        |
| 2.3.2.1 <i>Tipos de flanges</i> .....                       | 26        |
| 2.3.2.2 <i>Forças na união flangeada</i> .....              | 28        |
| 2.3.3 Juntas de flange .....                                | 29        |
| 2.3.3.1 <i>Tipos de juntas</i> .....                        | 30        |
| 2.3.3.2 <i>Materiais para juntas</i> .....                  | 31        |
| 2.3.3.2.1 Juntas metálicas.....                             | 31        |
| 2.3.3.2.2 Juntas semimetálicas .....                        | 32        |
| 2.3.3.2.3 Juntas não metálicas .....                        | 32        |
| 2.3.3.3 <i>Acabamento superficial dos flanges</i> .....     | 34        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3.3.4 Especificação para junta não metálica .....              | 35        |
| 2.3.3.4.1 Condições de operação .....                            | 35        |
| 2.3.3.4.2 Dimensões da junta.....                                | 36        |
| 2.3.3.4.3 Adequação ao flange .....                              | 36        |
| 2.3.3.4.4 Compatibilidade química.....                           | 37        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                               | <b>38</b> |
| <b>3.1 Materiais.....</b>  | <b>38</b> |
| 3.1.1 Resina polimérica .....                                    | 38        |
| 3.1.2 Aditivos .....   | 38        |
| 3.1.2.1 Antioxidante.....  | 39        |
| 3.1.2.2 Carga.....   | 39        |
| 3.1.2.3 Estabilizante térmico .....                              | 40        |
| 3.1.2.4 Lubrificante .....                                       | 40        |
| 3.1.2.5 Plastificante.....                                       | 40        |
| 3.1.2.6 Pigmento.....  | 41        |
| <b>3.2 Métodos .....</b>   | <b>41</b> |
| 3.2.1 Preparação dos compostos.....                              | 43        |
| 3.2.2 Preparação dos corpos de prova .....                       | 43        |
| 3.2.2.1 Calandragem .....  | 44        |
| 3.2.2.2 Prensagem .....  | 44        |
| 3.2.2.3 Corte.....   | 46        |
| 3.2.3 Caracterização térmica .....                               | 46        |
| 3.2.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....         | 46        |
| 3.2.3.2 Análise termogravimétrica (TGA).....                     | 46        |
| 3.2.3.3 Temperatura de amolecimento Vicat.....                   | 47        |
| 3.2.4 Caracterização físico-mecânica .....                       | 47        |
| 3.2.4.1 Ensaio de densidade.....                                 | 47        |
| 3.2.4.2 Ensaio de dureza Shore D .....                           | 47        |
| 3.2.4.3 Ensaio de deformação permanente à compressão (DPC) ..... | 48        |
| 3.2.5 Caracterização morfológica.....                            | 49        |
| 3.2.5.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....           | 49        |
| 3.2.6 Avaliação da degradação .....                              | 49        |
| 3.2.6.1 Degradação por exposição à névoa salina .....            | 49        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.6.2 Envelhecimento acelerado.....   | 49        |
| 3.2.6.3 Resistência química.....  | 50        |
| 3.2.7 Caracterização dos materiais para juntas e avaliação de aplicação .....     | 50        |
| 3.2.7.1 Ensaio de compressibilidade e recuperação.....                            | 51        |
| 3.2.7.2 Ensaio de selabilidade.....   | 51        |
| 3.2.7.3 Ensaio de resistência à tração.....                                       | 52        |
| 3.2.8 Ensaio de relaxamento ( <i>creep</i> ) .....                                | 53        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.1 Caracterização térmica .....</b>   | <b>54</b> |
| 4.1.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....                            | 54        |
| 4.1.2 Análise termogravimétrica (TGA).....  | 55        |
| 4.1.3 Temperatura de amolecimento Vicat.....                                      | 58        |
| <b>4.2 Caracterização físico-mecânica .....</b>                                   | <b>59</b> |
| 4.2.1 Densidade .....   | 59        |
| 4.2.2 Dureza <i>Shore D</i> .....   | 60        |
| 4.2.3 Deformação permanente à compressão (DPC).....                               | 61        |
| <b>4.3 Caracterização morfológica.....</b>  | <b>62</b> |
| 4.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....                              | 62        |
| <b>4.4 Avaliação da degradação .....</b>  | <b>64</b> |
| 4.4.1 Degradação por exposição à névoa salina .....                               | 64        |
| 4.4.2 Envelhecimento acelerado.....   | 66        |
| 4.4.3 Resistência química .....   | 68        |
| <b>4.5 Caracterização dos materiais para juntas e avaliação de aplicação.....</b> | <b>70</b> |
| 4.5.1 Compressibilidade e recuperação .....                                       | 70        |
| 4.5.2 Selabilidade .....  | 71        |
| 4.5.3 Resistência à tração .....  | 73        |
| 4.5.4 Relaxamento ( <i>creep</i> ).....   | 74        |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>                                   | <b>77</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>APÊNDICE A – Projeto do molde dos corpos de prova de placas .....</b>          | <b>85</b> |
| <b>APÊNDICE B – Projeto do molde dos corpos de prova para teste de DPC .....</b>  | <b>86</b> |
| <b>APÊNDICE C – Projeto do dispositivo para teste de DPC .....</b>                | <b>90</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>APÊNDICE D – <i>Datasheet</i> das juntas desenvolvidas.....</b>              | <b>93</b> |
| <b>ANEXO A – Tabela de compatibilidade química de papelões hidráulicos.....</b> | <b>95</b> |
| <b>ANEXO B – <i>Datasheet</i> NA1002.....</b>                                   | <b>96</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O policloreto de vinila (PVC) é um dos termoplásticos mais utilizados no mundo devido a sua versatilidade e a possibilidade de se adaptar no processamento a diversos tipos de aditivos, alterando suas características e variando as propriedades. Pode-se também ser apresentado em forma rígida ou extremamente flexível e em diversas aplicabilidades. Esta versatilidade também é verificada pelos diversos processos de transformação que o PVC aditivado pode sofrer, tais como a injeção, calandragem, extrusão e termoformagem (MADALENO *et al.*, 2009).

O PVC puro possui diversas características, além de ser inerte e atóxico, ele é considerado leve (1,4 g/cm<sup>3</sup>), o que facilita seu manuseio e aplicação; resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores, resistente à maioria dos reagentes químicos e a corrosão; é um bom isolante térmico, elétrico e acústico; impermeável a gases e líquidos; resistente a intempéries (sol, chuva, vento e maresia); possui vida útil em aplicações superior a 50 anos; não propaga chamas (autoextinguível); versátil e ambientalmente correto; 100% reciclável e fabricado com baixo consumo de energia (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2019; ZAIONCZ, 2004).

A principal relevância do PVC, comparado aos outros termoplásticos, está relacionada ao processamento. A inclusão de aditivos, como os plastificantes de baixo peso molecular, estabilizantes, pigmentos, lubrificantes e cargas, ajudam no desenvolvimento de propriedades e características específicas dos materiais (FOLLMAN, 2009). A sua presença tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento de inovações e disseminação de soluções em diversas áreas, seja em produtos da área médica, em tubos para condução de água e esgoto ou em embalagens de alimentos, calçadas, brinquedos, fios e cabos, revestimentos, automóveis, entre outros, tornando-se um produto indispensável à vida contemporânea e às indústrias (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2019).

Os aditivos são incorporados aos polímeros, em especial ao PVC, para melhorar alguma propriedade e/ou característica, no qual a implementação pode ocorrer no momento de síntese ou de processamento e, de acordo com a necessidade do material, pode-se empregar vários tipos, tais como: cargas, plastificantes, antioxidantes, lubrificantes, pigmentos, retardantes de chama, estabilizantes, dentre outros (RABELLO, 2000; PEDROZO, 2009).

Em sua estrutura, o PVC possui um elevado teor de cloro, o que o torna uma molécula polar e aumenta sua afinidade com outras moléculas, permitindo misturá-lo com uma quantidade maior de aditivos em relação a qualquer outro termoplástico e, conseqüentemente, pode-se produzir compostos que alterem o seu comportamento, passando da sua forma sólida e rígida para borrachosa, ou para forma de gel, líquido ou viscoso (RODOLFO JR. & MEI, 2007). Esta característica permite a preparação de formulações com propriedades e características perfeitamente adequadas a cada aplicação, como por exemplo, em sistema de tubulações.

O termo tubulação representa um conjunto de tubos e seus acessórios. Os tubos são condutos fechados, de seção reta circular, destinados, em sua maioria, ao transporte de fluidos (PEREIRA, M. R. S., 2011). Em tubulações é muito comum a utilização de flanges, por serem de fácil desmontagem e que podem ser empregados em duas situações principais: ligação de tubos a equipamentos (tanques, bombas, filtros etc.), válvulas, instrumentos e em ligação direta entre trechos de tubos. Este arranjo é um sistema composto por dois flanges, uma junta e um jogo de parafusos tipo estojo, cuja quantidade depende da classe de pressão e diâmetro nominal. De forma geral, a união dos flanges tem objetivo de eliminar o vazamento de fluidos através da conformação quando submetida às forças geradas pelos parafusos, preenchendo os espaços existentes entre os flanges e as imperfeições de suas superfícies e eliminando qualquer caminho pelo qual o fluido possa escapar (LACANA, 2016).

Neste sistema é necessário que ocorra frequente manutenção corretiva, de modo que a restauração das condições ideais para o funcionamento seja garantida, eliminando ou corrigindo falhas iminentes, visto que o tensionamento insuficiente pode levar a uma conformação não efetiva da junta, permitindo vazamentos e ocasionando prejuízos e danos ao meio ambiente. Por outro lado, a aplicação excessiva de força pode comprometer a integridade da junta, impedindo que desempenhe sua função, ou pior, comprometer também a dos demais componentes, gerando problemas mais graves, como inutilização do tubo e vazamentos de níveis catastróficos (LACANA, 2016).

As juntas possuem papel fundamental para garantir a segurança das conexões. São utilizadas como elementos de vedação e também responsáveis por preencher os espaços entre os flanges, criando uma barreira e mantendo o fluido no interior da tubulação (ANDRADE *et al.*, 1997).

Existe uma diversidade de materiais para o desenvolvimento de juntas, onde esses materiais podem ser classificados inicialmente em três grandes grupos: metálicas, semimetálicas e não metálicas. A escolha do material para a junta deve ser feita levando em consideração fatores como: o fluido passante e sua compatibilidade química com o material, a temperatura e pressão de serviço, os efeitos de corrosão e a condução elétrica, de forma geral esses materiais devem resistir às pressões às quais a junta vai ser submetida ao fluido vedado (GARCIA,2014). Atualmente, as juntas não metálicas mais comercializadas são as de papelão hidráulico e politetrafluoroetileno (PTFE) (VEIGA, 2014).

Em vista disso, o objetivo desse projeto é avaliar a viabilidade do desenvolvimento de uma junta com resina de PVC aditivada, visando a substituição de juntas não metálicas, do tipo papelão hidráulico, em tubulações de utilidades. Além disso, espera-se alcançar propriedades similares às juntas convencionais utilizadas, de modo a atuar como elemento de vedação e proteção de vazamento nas tubulações.

## **1.1 Justificativa**

Devido à necessidade da realização da manutenção corretiva e/ou preventiva nos sistemas de vedação, resultando na troca constante das juntas de flange em tubulações de utilidades e que ocasiona descarte de materiais e custos para manutenção, torna-se primordial a busca de novos materiais alternativos aos convencionais já utilizados. Deste modo, o estudo do PVC aditivado no desenvolvimento de juntas para tubulação de utilidades torna-se bastante promissor, devido a sua versatilidade e propriedades adquiridas quando aditivado, ampliando o mercado de aplicabilidade da resina PVC.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a viabilidade de uso de resina PVC na fabricação de junta de flange para vedação de tubulações de utilidades (fluidos não inflamáveis e não tóxicos) com limites de temperatura e pressão de 60°C e 19 bar, respectivamente.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver formulações de compostos de PVC;
- b) Avaliar a influência dos aditivos no comportamento térmico, mecânico, morfológico e de degradação dos materiais;
- c) Determinar as características de compressibilidade, recuperação, selabilidade, resistência à tração e relaxamento das juntas;
- d) Alcançar propriedades similares às juntas convencionais utilizadas;
- e) Desenvolver *datasheet* do material e protótipo funcional das juntas de flange.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Polímeros

Por ser um material que pode ser aplicado em diversos produtos, o polímero se tornou um dos materiais mais utilizados na atualidade. Os polímeros são macromoléculas constituídas por partes menores que utilizam a ligação covalente, daí a origem de seu nome, *poli* "muitas" e *meros* "partes" derivado do grego. Estes compostos podem ter a origem sintética ou natural, com a massa molar variando na ordem de  $10^4$  à  $10^6$ , podendo ser classificados em orgânico e inorgânico, sendo que o primeiro o mais estudado devido a sua importância comercial (AKCELRUD, 2007).

Os monômeros são substâncias que dão origem aos polímeros através de reações químicas. Já os meros são as unidades repetitivas que podem ou não ser equivalente ao monômero de origem. O modo como estes meros se repetem pode influenciar na forma da cadeia polimérica podendo ser classificado em linear, quando ligados entre si como um fio; Reticulado, quando ligados de forma tridimensional; ramificado se a cadeia possui ramificações laterais, além de outras formas conforme apresentado na Figura 1 (CANEVAROLO JR., 2002).

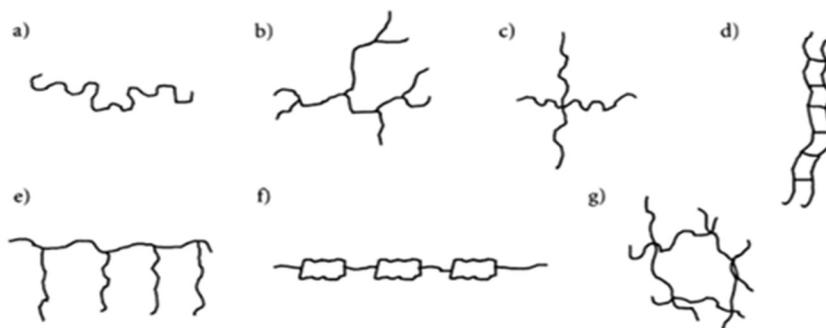


Figura 1 – Formas de cadeia polimérica: a) linear; b) ramificada; c) com ramificações em estrela; d) escalar; e) grafítico ou enxertado; f) semi-escalar; g) com ligações cruzadas ou reticulado (CANEVAROLO JR., 2000).

Quanto às suas características mecânicas, os polímeros podem ser divididos em três grupos, termoplásticos, termofixos e os elastômeros. Os termoplásticos podem possuir a cadeia linear ou ramificada e são muito utilizados na fabricação de produtos diversos por possuírem uma facilidade de processamento e reprocessamento, baixa densidade, boa resistência ao impacto e baixo custo, podendo ser utilizados como isolantes térmicos e

elétricos.. Quando submetidos a altas temperaturas eles amolecem e podem fluir, permitindo a sua moldagem, quando resfriados eles endurecem adquirindo a forma que lhe foi imposta por meio de moldes, este processo (aquecimento e resfriamento) pode ser repetido muitas vezes, o que facilita a reciclagem desse material. Os termoplásticos podem se tornar termofixos através de *crosslinks* (ligações químicas cruzadas entre cadeias de polímeros) (SPINACÉ & DE PAOLI, 2005; CANEVAROLO JR., 2002).

## 2.2 Policloreto de vinila (PVC)

O monômero cloreto de vinila (MVC) foi descoberto em 1835 por Justus von Liebigem forma de um gás, à temperatura ambiente e com o ponto de ebulição igual a -13,8°C. Em 1972 Baumann descreveu a mudança deste monômero quando exposto a luz, para um produto sólido branco. As propriedades descritas por Baumann deste material coincidem com as apresentadas para o PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2002).

Em 1912, na Alemanha, Fritz Klatt descobriu o processo básico para a obtenção do PVC, porém a sua produção comercial se limitou a tentativas de se construir equipamentos capazes de processar o Policloreto de Vinila, devido à sua instabilidade térmica e finalmente em 1926, nos Estados, W. Semon descobriu que ao misturar o PVC com fosfato de tricresila ou ftalato de dibutila, chamados hoje de plastificantes, tornava possível o seu processamento, além de deixá-lo altamente flexível. Posteriormente foram incluídos outros aditivos com o objetivo de melhorar as propriedades do PVC como por exemplo os estabilizantes térmicos baseados em chumbo, bário, zinco entre outros. Assim, nos anos 30 a Alemanha começou a comercializar o composto de PVC, no Brasil a comercialização deste polímero iniciou em 1954 (ZAIIONCZ, 2004).

O PVC é considerado o segundo termoplástico mais consumido no mundo, em 2001 sua demanda passou de 27 milhões de toneladas, valor muito próximo da capacidade de produção mundial deste material, que é de 31 milhões de toneladas. No Brasil são consumidos cerca de 2% de resinas de PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2002).

Conforme descrito anteriormente, a resina de PVC, na sua forma pura, pós-síntese, não tem nenhuma aplicação industrial, devido a sua baixa processabilidade decorrente das suas características físicas e químicas, fazendo-se necessário o uso de aditivos que forma o chamado composto de PVC (INSTITUTO DO PVC, 2019).

O PVC possui uma estrutura que facilita sua combinação com diversos tipos de plastificantes, permitindo a produção de compostos com aspecto rígido, borrachoso, gel ou líquido viscoso (HENSON & WHELAN, 1973; MARTINS, 2004).

### 2.2.1 Estrutura, síntese e morfologia da partícula

O PVC faz parte do grupo dos polímeros termoplásticos e sua obtenção é através da polimerização do MVC, representado pela seguinte fórmula da Figura 2:

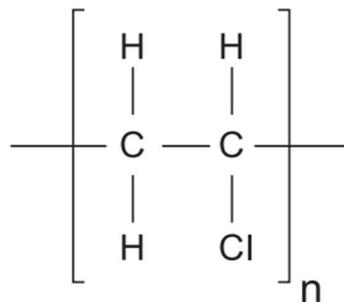


Figura 2 – Fórmula estrutural do PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

O MVC é originado da reação do cloro com o eteno e sua produção se dá através de três rotas, a rota do eteno/cloro (processo balanceado) que é a mais utilizada, a rota acetileno e a rota etano. Já a obtenção de polímeros se dá através de três mecanismos: via radicais livres, aniônica e catiônica, sendo que os dois últimos não são utilizados comercialmente para a polimerização do PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2002).

O processo de obtenção do PVC, na indústria, utiliza basicamente três processos principais de polimerização: por emulsão, em massa e em suspensão (incluindo microsuspensão). Segundo Pereira (M. B., 2005), o processo de polimerização em suspensão é responsável por cerca de 80% da produção do PVC consumido no mundo. O MVC é disperso na forma de gotas de diâmetro entre 30 e 150  $\mu\text{m}$ , em meio a uma fase aquosa contínua, por agitação vigorosa e na presença de um agente de suspensão. Um iniciador solúvel no monômero é utilizado, para que a reação de polimerização ocorra dentro das gotas em suspensão, por um mecanismo de reações em cadeia via radicais livres (PEREIRA, M. B., 2005).

Os processos de polimerização têm influência direta no tamanho e nas características do grão de PVC obtido, onde a resina originadas do processo de polimerização em suspensão

possuem partículas com diâmetro normalmente na faixa de 50 a 200  $\mu\text{m}$ , com estrutura interna bastante complexa. Essa faixa de tamanho é adequada tanto do ponto de vista das dificuldades de manipulação e riscos ocupacionais, no caso de partículas muito pequenas, quanto no sentido de evitar instabilidades na suspensão (a ponto de solidificar a carga no reator), no caso de partículas muito grosseiras (FARIA JR., 2008). A Tabela 1 apresenta as características do PVC obtido pelos diferentes processos de polimerização.

Tabela 1 – Sumário da morfologia do PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão (SUMMERS, 1997 apud RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

| Sumário da morfologia do PVC obtido pelos processos de polimerização em suspensão e massa |                                   |  |
|---|-----------------------------------|--|
| Espécie   | Ordem de grandeza                 | Descrição  |
| Gotas de monômero   | 100 $\mu\text{m}$ de diâmetro     | Monômero disperso na fase aquosa contínua durante a polimerização em suspensão.  |
| Membrana pericelular  | 0,01 $\mu\text{m}$ de espessura   | Membrana presente na interface monômero-água, consistindo em um copolímero grafitizado de PVC no dispersante (PVAL).                               |
| Partículas  | 100 $\mu\text{m}$ de diâmetro     | Pó de fluxo livre formado após a polimerização. Uma partícula é formada de aproximadamente um milhão de partículas primárias.                      |
| Membrana  | 1 $\mu\text{m}$ de espessura      | Estrutura que separa as partículas primárias do meio exterior, formada pela precipitação de PVC sobre a membrana pericelular.                      |
| Partículas primárias  | 1 $\mu\text{m}$ de diâmetro       | Formadas pela precipitação do polímero a partir do monômero durante a reação de polimerização. Consistem em cerca de 1 bilhão de moléculas de PVC. |
| Aglomerados de partículas primárias   | 10 $\mu\text{m}$ de diâmetro      | Formados durante a reação de polimerização pela adesão de partículas primárias.  |
| Domínios  | 0,1 $\mu\text{m}$ de diâmetro     | Formados a partir de condições especiais (precipitação da fase aquosa ou deformação a quente).   |
| Cristalitos   | 0,01 $\mu\text{m}$ de espaçamento | Moléculas de PVC empacotadas em meio à fase amorfa.  |
| Cristalinidade secundária   | 0,01 $\mu\text{m}$ de espaçamento | Cristalinidade formada a partir da fase amorfa e responsável pelo processo de gelificação/fusão.   |

### 2.2.2 Aditivação de PVC

Os aditivos possuem a função de gerar novas aplicações para os polímeros, modificando os já existentes, tanto na polimerização como na modificação das propriedades finais dos polímeros convencionais. São de grande importância para os polímeros, pois permitem seu uso em aplicações na qual, sem eles, as possibilidades de manterem um bom desempenho seriam reduzidas. Podem ser orgânicos ou inorgânicos, em forma líquida, sólida ou borrachosa (RABELLO, 2000). A primeira etapa a ser realizada, antes de definir os

aditivos a serem incorporados, é definir as características da resina, o processamento a ser utilizado e o desempenho do produto final (ZARZAR JR. & HOLANDA, 2011).

Sendo assim, os aditivos devem atender condições como: eficiência em sua função, estabilidade nas condições de processamento, fácil dispersão, estabilidade nas condições de serviço, não deve migrar, deve ser atóxico, não devem provocar gosto ou odor nem afetar de forma negativa as propriedades do polímero e, principalmente, ser de baixo custo. Os aditivos podem ser inseridos na síntese, processamento ou na etapa de mistura. Ao adicionar os aditivos na etapa de mistura, deve-se selecionar o tipo de mistura desejado, como: mistura sólido-sólido, sólido-líquido, líquido-líquido ou líquido-gás, se o polímero e os aditivos utilizados estiverem em forma de pó, por exemplo, ocorre a mistura sólido-sólido. Cada tipo de mistura citada, também possui uma classificação, podem ser divididas em compostos, blendas ou ligas. Essas classificações são distinguidas a partir da forma com que a mistura vai modificar o polímero. Ao realizar uma mistura, caso somente exista modificação física do material, é considerada como composto. Para melhor entendimento, pode-se observar a adição de plastificante ao PVC, ele altera a dureza e flexibilidade do polímero, porém continua sendo PVC (RABELLO, 2000; PASSATORE, 2013).

Os aditivos seguem as seguintes classificações: plastificantes, estabilizantes, cargas, antiestáticos, agentes nucleantes, lubrificantes, pigmentos, espumantes, retardantes de chama e modificadores de impacto. Os estabilizantes, lubrificantes e antiestéticos são considerados protetores, enquanto os outros, modificadores (RABELLO, 2000).

O uso dos aditivos em compostos de PVC é de grande importância para o seu processamento, pois devido à sua versatilidade, esta resina permite a incorporação de diversos aditivos com o objetivo de alterar suas características e a escolha de cada um é direcionada para a aplicação ideal do polímero.

Os principais aditivos utilizados em compostos de PVC são os plastificantes, estabilizantes térmicos, lubrificantes, cargas e pigmentos.

#### *2.2.2.1 Plastificantes*

O principal objetivo da utilização de plastificantes em resinas de PVC é melhorar a sua processabilidade e aumentar a flexibilidade, pois modificam a viscosidade do sistema, aumentando assim a mobilidade das macromoléculas. Eles são adicionados ao PVC durante o

processamento com o objetivo de torná-lo mais macio e flexível, além diminuir a sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ )(DE PAOLI, 2008).

Os plastificantes incluem uma família de óleos orgânicos polares, de significativa compatibilidade, e ésteres aromáticos e são responsáveis pela estabilidade do PVC durante a vida útil do produto (MADALENO, 2009; DE PAOLI, 2008)

Os plastificantes externos alteram as propriedades físicas e mecânicas do PVC sem interferir na natureza química das macromoléculas. A sua flexibilidade pode ser alterada por meio da plastificação interna, que ocorre na copolimerização com um monômero que origine polímeros com  $T_g$  menor. Este tipo de plastificante possui uma vantagem em relação ao externo, pois ele não migra as moléculas (RABELLO, 2000). A origem de polímeros com redução da  $T_g$  ocorre por influência do plastificante, geralmente quando líquidos ou sólidos com baixa massa molar, as moléculas penetram a cadeia do polímero e se separam uma das outras e conseqüentemente as forças de atração intermoleculares são diminuídas, ocasionando também uma redução na capacidade de mobilidade da cadeia que também irá reduzir a temperatura de transição vítrea. Segundo Canevarolo (2006), a  $T_g$  do PVC é de 80°C, porém ao adicionar plastificante a resina, a temperatura de transição vítrea é reduzida de forma proporcional a quantidade de plastificante adicionado.

Para levar em consideração a qualidade de um plastificante, é necessário dar atenção a alguns fatores como: pureza, comportamento no processamento, permanência, toxicidade e as propriedades conferidas ao polímero. É importante também que o plastificante seja resistente à luz, à extração por água, ausência de cor, reação neutra, ausência de gosto ou odor. Alguns plastificantes conferem também retardamento de chama, estabilidade à oxidação e pigmentação (RABELLO, 2000).

Os plastificantes são incorporados ao PVC quando a resina sofre aquecimento. O processo de plastificação acontece basicamente com a adsorção física, seguida da dispersão, gelificação e fusão (PERITO, 2011). Porém, para os plastificantes obterem um bom desempenho junto ao polímero, é importante que haja uma boa absorção, que está relacionada com a porosidade do composto, ou seja, com o tamanho e a distribuição de tamanho de poros (ZARZAR JR & HOLANDA, 2011).

### 2.2.2.2 Estabilizantes térmicos

As propriedades dos polímeros estão sujeitas a serem modificadas com o tempo devido a algumas modificações estruturais, como por exemplo, a cisão da cadeia principal e a degradação ou eliminação dos aditivos presentes. Isso pode ocorrer durante o processamento ou até mesmo durante a sua vida útil, ou seja, as condições na qual o produto final estará exposto, como a exposição a agentes oxidantes, ao calor e principalmente a radiação ultravioleta. Então, para reduzir esses problemas e aumentar a vida útil do produto, são adicionados ao polímero aditivos do tipo estabilizantes térmicos, antioxidantes ou anti UV que podem ser incorporados durante ou após a polimerização, o que garante a estabilidade no armazenamento e na mistura do material. Os antioxidantes inibem a propagação dos processos de oxidação em cadeia em aplicações em que o polímero estiver suscetível à oxidação, podendo ser divididos em primários e secundários, já o anti UV age como um absorvedor de radiação ultravioleta no momento em que a degradação é iniciada evitando a ocorrência de falhas no polímero (RABELLO, 2000; RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

Para o PVC o processo de degradação térmica ocorre devido às reações químicas em cadeia causada pelo ácido clorídrico (HCl) formado durante o processo de degradação. O uso dos estabilizantes no PVC se torna essencial a fim de estabilizar os íons cloreto formados para impedir a propagação da reação e a autocatálise do processo de degradação. Sendo assim, o objetivo principal do estabilizante térmico é a sua atuação no controle da formação do HCl.

Segundo Jennings e Starnes (2005 apud Rodolfo & Mei, 2007):

Todos os estabilizantes térmicos atuam no PVC através de um ou mais dentre seis mecanismos básicos: substituição do cloreto lábio por um ligante estável; a neutralização do HCl; adição a duplas ligações; prevenção da oxidação; complexação de produtos da degradação e a desativação de radicais livres.

Os requisitos para propriedades de estabilização térmica é a rápida e total dispersão no composto de PVC, compatibilidade, mobilidade, eficiência, custo, inércia química, compatibilidade na toxicidade e ausência de odor. Os estabilizantes térmicos podem ser classificados em estabilizantes metálicos e orgânicos, podendo também ser usados de forma combinada (RODOLFO JR. & MEI, 2007; RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

### 2.2.2.3 Lubrificantes

Os lubrificantes ajudam no processamento, reduzindo a fricção interna e externa, causada devido à elevada viscosidade do polímero no estado fundido em função de seu alto peso molecular. A viscosidade é um obstáculo para o processamento, pois o material passa por canais ou matrizes com dimensional reduzido em pouco tempo. Então, para se obter uma alta produtividade e a redução do desgaste, é necessário reduzir a viscosidade do material processado (RABELLO, 2000), melhorando as propriedades de escoamento do polímero e reduzindo sua aderência às paredes do molde ou da máquina utilizada para processamento (PASSATORE, 2013).

Os lubrificantes podem ser hidrocarbonetos ou hidrocarbonetos com grupos polares, e podem ser classificados em ácidos e álcoois graxos, amidas de ácidos graxos, ésteres de ácidos graxos, sabões metálicos, ceras parafínicas, poliméricos e inorgânicos (RODOLFO & MEI, 2007). Esse tipo de aditivo é imprescindível na qualidade superficial dos produtos, pois auxiliam também na dispersão de cargas e pigmentos. Além disso, devem ser eficientes, estáveis, reduzir a temperatura de processamento, evitar descoloração e degradação, não prejudicar a estabilidade à luz, não migrar para superfície, melhorar o brilho e o acabamento superficial, não gerar efeito plastificante e não alterar as propriedades óticas (RABELLO, 2000).

Pelo fato da resina de PVC possuir uma estrutura porosa, a migração do lubrificante é favorecida, fazendo com que o aditivo penetre ao decorrer do processamento com o aumento da temperatura. Por esse fato o aditivo dispersa a nível molecular, acelerando o processo de fusão do PVC (RODOLFO & MEI, 2007).

### 2.2.2.4 Cargas

As cargas, de modo geral, são utilizadas com o objetivo de reduzir custos, podendo ser classificadas em cargas de enchimento e cargas funcionais. As cargas de enchimento reduzem os custos e as funcionais além de reduzir custos, podem melhorar propriedades, como dureza, rigidez e temperatura de amolecimento Vicat, entre outras propriedades (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

O uso de carga também pode proporcionar o aumento da resistência ao desgaste por abrasão (PIATTI & RODRIGUES, 2005). Porém, este acréscimo está diretamente ligado à formulação e às circunstâncias do teste, ou seja, das condições de teste em que o produto final será submetido (BRASKEM, 2002).

#### 2.2.2.5 Pigmentos

Os pigmentos são aditivos insolúveis e podem ser de diferentes formas. Entretanto, a forma mais comum é a utilizada em pó fino e seco. Também podem ser encontrados como mistura seca, pasta, líquido ou *masterbatch*. Esses aditivos são utilizados com objetivo estético ou como proteção aos raios ultravioletas (UV), garantindo a resistência a intempéries (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

Eles podem ser orgânicos ou inorgânicos, onde os orgânicos atuam nos polímeros proporcionando brilho e transparência, porém possuem pouca resistência a altas temperaturas e à luz. Já os pigmentos inorgânicos proporcionam aos polímeros uma aparência opaca, porém a sua resistência à luz e ao calor é maior em comparação aos orgânicos e seu custo é menor (HOLANDA, 2016). Para o PVC, os pigmentos devem ser selecionados levando em conta a sua compatibilidade com o conjunto de aditivos que serão utilizados no composto assim como sua aplicação final. Os fatores mais importantes nesta escolha são a cor, o custo, dificuldade no processamento, compatibilidade e aplicação (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006).

#### 2.2.3 Preparação de compostos de PVC *dry blend*

O composto de PVC pode se apresentar de diversas formas, como pasta, pó, granulado, entre outros, isso vai depender do processo de polimerização utilizado para a obtenção da resina. Para as resinas obtidas pelo processo de polimerização em suspensão, os aditivos são incorporados através de misturadores do tipo bate-deira ou de alta velocidade que garantem um material homogêneo e de excelente qualidade. O PVC polimerizado em suspensão possui partículas porosas e isso faz com que os aditivos líquidos sejam absorvidos pelo mesmo, ao final da mistura obtém-se um material seco na forma de pó, denominado *dry*

*blend* (mistura seca), e com ótima fluidez (TITOW, 1984; RODOLFO JR.; NUNES & ORMANJI, 2002).

#### 2.2.4 Gelificação e fusão das resinas de PVC

Processos de transformação dos polímeros como extrusão, calandragem, moldagem por injeção, assim com os equipamentos utilizados, provocam alterações na estrutura inicial do PVC, além disso, esta resina apresenta algumas peculiaridades que tornam seu mecanismo de fusão ou de plastificação diferentes, se comparado a outros termoplásticos (MARQUES & COVAS, 2003).

Durante o processamento, antes que ocorra a fusão completa da resina de PVC, uma etapa conhecida como gelificação acontece e ela é essencial para que ocorra a fundição do composto de PVC e se torne processável. Durante o processo de gelificação e fusão, a identidade dos grãos, das partículas primárias assim como a região cristalina é destruída e novas regiões cristalinas (cristalinidade secundária) são criadas durante o processo de resfriamento. A extensão desta destruição é chamada de grau de gelificação e interfere diretamente nas características mecânicas do produto fabricado com o composto de PVC, melhorando propriedades como tensão e alongamento, resistência mecânica, entre outras e estas melhorias é possível mesmo sem alcançar um grau de gelificação máximo. Estudos indicam que o grau de gelificação ideal deve estar compreendido entre 60% - 70% e este valor pode ser verificado por meio do ensaio de calorimetria diferencial de varredura (DSC) e com técnicas de avaliação reológica (ALVES & RODOLFO, 2006; MARQUES & COVAS, 2003).

#### 2.2.5 Processamento do PVC

A escolha da técnica a ser utilizada no processamento de um polímero depende de alguns fatores como, a sua classificação (termoplástico ou termofixo), a temperatura na qual ele funde (materiais termoplásticos), a estabilidade química (resistência à degradação e à diminuição da massa molar das moléculas) e a geometria e o tamanho do produto final.

Os polímeros amorfos devem ser processados em temperaturas, no mínimo, a 100°C acima da sua  $T_g$  e geralmente com a aplicação de pressão, que deve ser mantida durante o

resfriamento da peça para que permaneça com a forma que lhe foi conferida através de moldes. Os termoplásticos amorfos são processados acima da temperatura de transição vítrea e os semicristalinos acima da temperatura de fusão. A Figura 3 mostra, de forma esquematizada, o processo de transformação de polímeros (ANON, 1997).

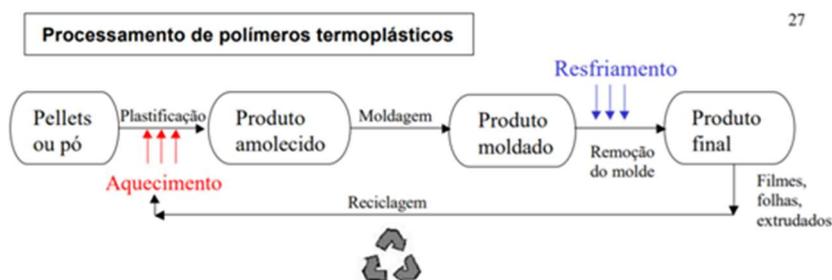


Figura 3 – Processamento de polímeros termoplásticos (ANON, 1997).

As técnicas de processamento podem ser classificadas em processos contínuos (extrusão de filmes e extrusão de fibras), preenchimento de molde (moldagem por injeção e moldagem por compressão), moldagem de pré-forma (sopro e conformação térmica) e moldagem gradual (revestimento e moldagem por rotação).

#### 2.2.5.1 Calandragem

Neste tipo de processamento, o PVC previamente fundido é introduzido entre dois cilindros de alimentação, que o comprimem para a formação de um filme ou chapa de espessura desejada, que pode ser controlada através da abertura entre os rolos finais da calandra. Uma vez calandrado, o filme ou chapa é resfriado e cortado ou laminado ainda sobre uma base contínua de papel ou tecido. A maioria dos laminados de PVC utilizam este processo de conformação, pois possui uma maior produtividade, excelente controle de espessura e possibilidade de produção contínua por períodos de tempo mais prolongados sem a necessidade de parada da linha para limpeza. Contudo, este processo requer maior necessidade de investimento de capital em equipamentos e menor flexibilidade de operação para pequenas produções. Este tipo de processamento requer um composto homogêneo de forma que não haja nenhum aglomerado derivados dos aditivos (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2002).

#### 2.2.5.2 Prensagem

A moldagem por compressão é o método de processamento mais antigo que existe e consiste em transformar um material polimérico, na cavidade de um molde, em uma peça de forma definida, através da aplicação de calor e pressão. A maioria dos produtos feitos com termofixos são formados com o preenchimento da resina sólida, antes da reticulação, em uma matriz aquecida. A aplicação de alta pressão e o controle da temperatura faz o polímero fundir, preencher o molde e enrijecer. No caso dos termoplásticos, os moldes devem ser resfriados antes de sua abertura. É importante ressaltar que este tipo de processamento não é muito empregado para o PVC (MICHAELI, GREIF &, KAUFMANN, 2005).

A moldagem por compressão possui como vantagens a fácil automatização, menores tensões internas nos moldados, facilidade operacional, baixo custo, maior número de cavidades no molde, pequena perda de material, economia do ferramental e ser adequado a peças com paredes delgadas. Como desvantagens o processo apresenta dificuldades na extração das peças, formação de rebarbas, não ser aplicado a peças de geometria complexa, tempo excessivo de moldagem no caso de peças com paredes espessas. (MACHADO, SCHLISCHTING & NOGUEIRA, 2002). A Figura 4 representa o processamento de peças poliméricas por compressão.

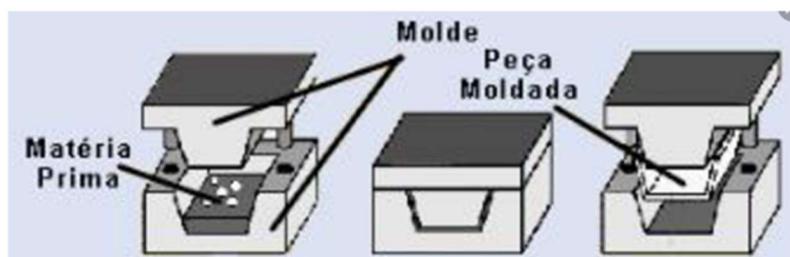


Figura 4 – Processamento de polímeros termoplásticos (ANON, 1997).

### 2.3 Tubulações industriais

Tubos são condutos fechados que possuem como finalidade transportar fluídos, possui formato de seção circular e a maioria funciona como condutos livres, ou seja, o fluido ocupa toda a seção transversal, com exceção de esgoto e água. Já a tubulação é um conjunto de tubos e acessórios, onde é necessária para armazenamento ou transportes de fluidos que estão distantes do local de utilização. Nas indústrias de processo, as tubulações têm papel importante, devido às suas ligações entre equipamentos como vasos de pressão, reatores e

trocadores de calor para que os fluidos utilizados durante o processo circulem (TELLES, 2001).

De forma geral, as tubulações industriais podem ser classificadas em tubulações dentro de instalações industriais e tubulações fora de instalações industriais. As instalações industriais internas podem ser subclassificadas em tubulações de processo, instrumentação, transmissão hidráulica, drenagem e de utilidades. Já as que se localizam na área externa ao processo são tubulações de adução, transporte, drenagem, distribuição e coleta.

### 2.3.1 Tubulações de utilidades

As tubulações de utilidades transportam fluidos auxiliares que servem para o funcionamento da indústria, como sistemas de refrigeração, aquecimento, vapor para acionamento de máquinas, além de outras finalidades como manutenção, limpeza e combate a incêndio. É comum construir tubulações de utilidades para as redes de água doce, água salgada, vapor, condensado e ar comprimido (TELLES, 2001).

Esse tipo de tubulação permite a passagem de fluidos à temperatura ambiente que não degradam materiais poliméricos. Os principais fluidos são água bruta, água de poço, solução de espuma em água, água de resfriamento, água desmineralizada, ar de serviço, ar de purga, nitrogênio à alta pressão, gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), além de condensado e vapor com temperatura entre 0°C e 510°C e pressão entre 6,5 – 260 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 2.3.2 Ligações flangeadas

Para fazer a ligação entre tubulações ou entre tubos e outros elementos, podem ser utilizado diversos tipos de ligações. Dentre as opções, podem ser inseridas ligações rosqueadas, ligações soldadas, ligações flangeadas, ligações de ponta e bolsa, entre outras.

As ligações flangeadas (Figura 5) são compostas por dois flanges, sendo eles um jogo de parafusos e porcas e uma junta de vedação. Podem ser utilizadas em ligação de tubos com válvulas e equipamentos como bombas e compressores, além de pontos da tubulação em que seja necessário a facilidade de desmontagem. Sua utilização também se aplica à ligação corrente de um tubo no outro para dois casos específicos: tubulações de aço que possuem revestimento interno anticorrosivo, permitindo uma perfeita continuidade do revestimento, e

em aplicações na qual é necessária a fácil desmontagem para limpeza interna, utilizada principalmente em tubos com diâmetros de 2'' ou mais. Porém, o uso das ligações flangeadas é limitado, pois esse sistema pode apresentar pontos de vazamentos, além de apresentar alto custo (TELLES, 2001).

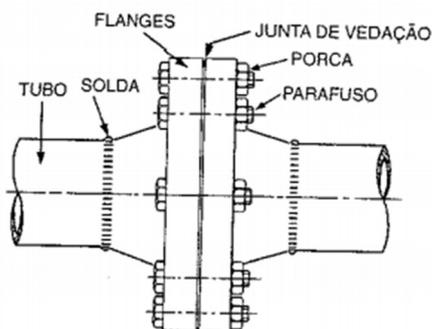


Figura 5 – Ligação flangeada entre tubos (TELLES, 2001).

### 2.3.2.1 Tipos de flanges

Os flanges podem ser classificados quanto ao dimensionamento e aplicação, sendo os principais: flange integral, flange de pescoço, flange sobreposto, flange rosqueado, flange de encaixe, flange solto, flange cego e flange tipo anel. A Figura 6 demonstra todos os tipos de flanges mencionados.

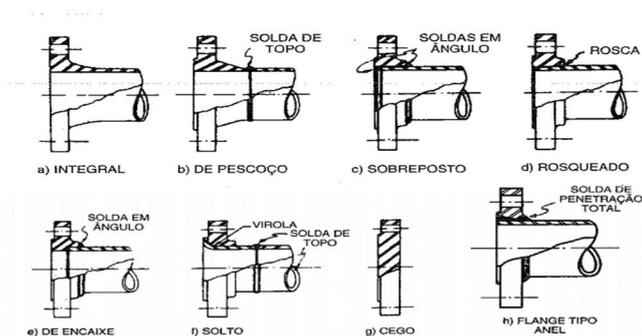


Figura 6 – Tipos de flanges para tubos (TELLES, 2001).

O faceamento dos flanges apresenta diversos tipos e acabamentos. A face dos flanges tem uma rugosidade definida para garantir a compatibilidade com a junta e ter uma vedação eficiente. Seu acabamento pode ser com ranhuras concêntricas ou em espiral, com dimensões específicas de ranhuras por polegada e rugosidade. As faces mais utilizadas são:

- a) face com ressalto (*Raised Face* ou RF): Neste tipo de flange, a junta tem sua dimensão superficial até os parafusos, de forma que sua área se estenda até eles (RODRIGUES, 2016). Esse é o tipo de face mais comum, devido a sua adequação em qualquer condição de pressão e temperatura. Telles (2001) informa que o ressalto com 2 mm de altura é para pressões de 150# e 300#, e 7 mm de altura para maiores pressões. A superfície do ressalto pode apresentar ranhuras concêntricas, espiraladas, ou ser lisa. As ranhuras necessitam ter uma profundidade com no máximo até 0,15 mm e passo que varie entre 0,5 e 1,0 mm (Manufacturers Standardization Society, apud TELLES, 2001). A face ressaltada tem a vantagem direta em relação à manutenção, devido à facilidade da junta ser retirada sem a necessidade de remover todos os parafusos e sem grande afastamento dos flanges (RODRIGUES, 2016);

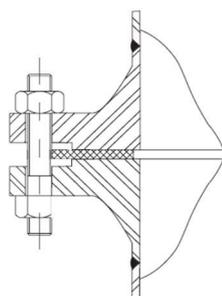


Figura 7 – Face de junta ressaltada (VEIGA, 2014).

- b) face para junta de anel (*Ring Type Joint* ou RTJ): utilizada em flanges de aço para serviços em que exigem altas pressões e temperaturas. A pressão interna é uma propriedade física importante, devido ao esforço que é gerado na junta durante o seu desempenho, fazendo com que ela contraia e dilate contra a parede do flange (RODRIGUES, 2016);

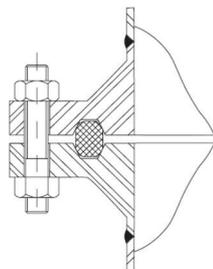


Figura 8 – Face para junta de anel (VEIGA, 2014).

- c) face plana (*Flat Face* ou FF): é utilizado em flanges de ferro fundido e de outros materiais frágeis como plástico. Pode ter acabamento liso ou ranhurado em formato de espiral para juntas não-metálicas (TELLES, 2001);

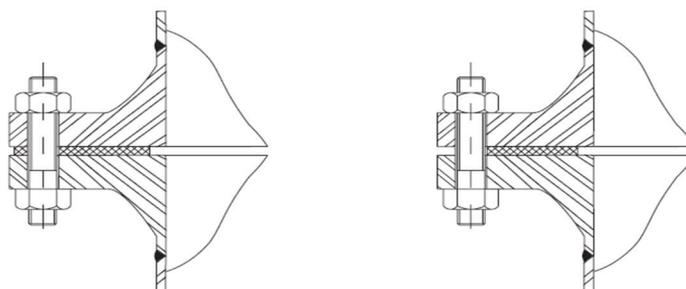


Figura 9 – Face plana (VEIGA, 2014).

- d) face de macho e fêmea: utilizados em fluidos corrosivos, devido ao contato mínimo com o fluido;

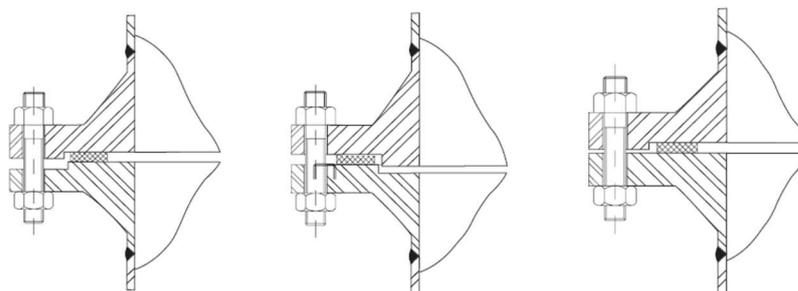


Figura 10 – Tipos de face macho e fêmea (VEIGA, 2014).

- e) face de flange com virola: aplicada somente aos flanges soltos, que estão em conjunto com a virola.

### 2.3.2.2 Forças na união flangeada

As principais forças em uma união flangeada estão demonstradas na Figura 11. Uma união flangeada pode reunir a força radial, que tende a expulsar a junta; força de separação, que tende a separar os flanges; força dos estojos, que é exercida pelo aperto dos estojos e a força de vedação, que comprime os flanges contra a junta (VEIGA, 2014).

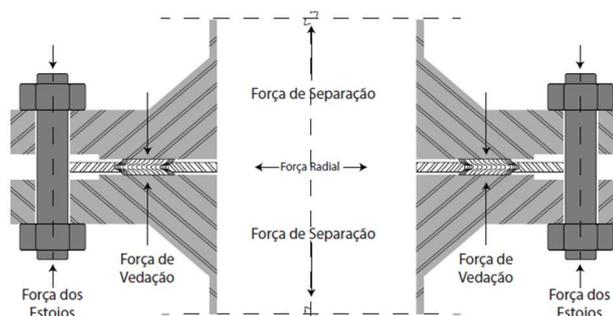


Figura 11 – Principais forças em uma união flangeada (VEIGA, 2014).

No início, a força de vedação é igual à força dos estojos, após a aplicação da pressão no sistema, torna-se igual a força dos estojos diminuindo a força de separação. A força dos estojos, que é aplicada sobre a junta deve esmagar de forma que compense a força de separação causada pela pressão interna, mantendo uma pressão residual sobre a junta, para que não haja vazamento do fluido e compensar o relaxamento da união flangeada que irá acontecer durante a utilização em serviço (VEIGA, 2014).

### 2.3.3 Juntas de flange

Segundo Telles (2001), em ligações flangeadas sempre irá existir uma junta que quando está em operação, sofre uma alta compressão devido ao aperto dos parafusos e a cisalhamento, por conta da pressão interna do fluido. Com isso, para que não haja vazamento, é necessário que a pressão dos parafusos seja maior que a pressão do fluido passante e com consequência, quanto maior for os esforços mecânicos, mais dura e resistente deve ser a junta.

Telles (2001) define as propriedades necessárias para juntas de flange como:

A junta deverá ser suficientemente deformável e elástica para se amoldar às irregularidades das superfícies dos flanges, garantindo a vedação. O material das juntas deverá resistir à ação corrosiva, bem como a toda faixa possível de variação de temperaturas.

As juntas de flange são utilizadas como elemento de vedação, que quando apertada entre as superfícies dos flanges preenche as imperfeições entre os elementos, resultando na vedação (Figura 12).

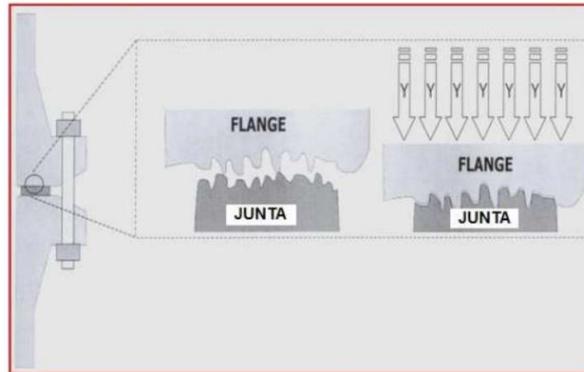


Figura 12 – Esquema de junta de vedação preenchendo as irregularidades do flange (PEREIRA, J. B. S., 2016).

Para que ocorra uma vedação adequada, existem quatro fatores que devem ser levados em consideração, segundo Veiga (2014):

- a) *força* de esmagamento inicial: força necessária para esmagar a junta para que ela possa preencher as irregularidades dos flanges;
- b) *força* de vedação: força necessária para evitar vazamentos, mantendo o contato da junta com área superficial dos flanges;
- c) *seleção* dos materiais: os materiais da junta devem ser resistentes às pressões e às temperaturas de trabalho;
- d) *acabamento* superficial: a cada especificação de material, é necessário um acabamento diferente sobre a superfície para que não seja a causa de possíveis vazamentos.

### 2.3.3.1 Tipos de juntas

A utilização das juntas é definida conforme a face dos flanges, onde para flanges de face com ressalto, utilizam-se juntas planas em forma de coroa circular, cobrindo somente o ressalto dos flanges entre os parafusos. As juntas para flanges de face plana devem cobrir toda a sua face. No caso dos flanges de face tipos macho e fêmea, ou lingueta e ranhura, as juntas são em forma de coroa circular estreita que é encaixada no fundo da ranhura, evitando assim o alto esforço de compressão e cisalhamento. Para os flanges de face para junta de anel, utilizam-se juntas de anel metálico maciço, normalmente com seção oval, para que se encaixem nos rasgos circulares dos flanges (TELLES, 2001).

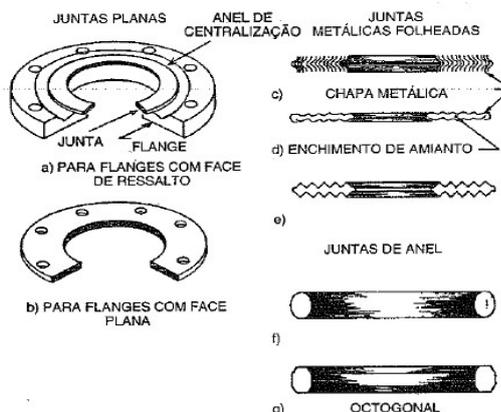


Figura 13 – Juntas para flanges (TELLES, 2001).

### 2.3.3.2 Materiais para juntas

Para selecionar o material mais adequado para a fabricação de uma junta de flange, é necessário analisar as propriedades e a resistência química de material. Os materiais para juntas podem ser classificados em três tipos: metálicas, semimetálicas e não metálicas, descritas resumidamente a seguir (TELLES, 2001).

#### 2.3.3.2.1 Juntas metálicas

As juntas metálicas podem ser subclassificadas em três tipos:

- a) *juntas* metálicas folheadas: possuem capa metálica, podendo ser plana ou corrugada com enchimento de amianto e espessura variável entre 2 e 3 mm. Conforme a utilização, a capa pode ser de aço carbono, aço inoxidável ou metal Monel;
- b) *juntas* metálicas maciças: podem ser utilizadas em flanges com a face plana ou ranhurada, a depender da condição de uso. É utilizado o mesmo tipo de metal das juntas folheadas;
- c) *juntas* metálicas de anel (JTA): são anéis metálicos maciços de seção oval ou octogonal. O material utilizado geralmente é aço inoxidável, podendo ser utilizado também aço carbono, aços liga, níquel e metal Monel. Esse tipo de junta é aplicada normalmente para vapor e para hidrogênio com flanges de classe 600# ou maior, para hidrocarbonetos com flanges de classe 900# ou maior ou serviços em que sejam utilizadas temperaturas acima de 550°C.



Figura 14 – Juntas metálicas de anel (RODRIGUES, 2016).

#### 2.3.3.2.2 Juntas semimetálicas

De acordo com Telles (2001), as juntas semimetálicas são formadas por uma lâmina metálica, normalmente em aço inoxidável, torcida em espiral, com enchimento de amianto entre cada volta. É recomendada rugosidade média máxima de 0,003 mm e são utilizadas para flanges de classe pressão 600#, em qualquer temperatura e flanges de classes de pressão 150# e 300# para temperaturas inferiores a 0°C, superiores a 400°C ou para serviços em que seja necessária maior segurança contra vazamentos.



Figura 15 – Juntas semimetálicas (RODRIGUES, 2016).

#### 2.3.3.2.3 Juntas não metálicas

São juntas planas utilizadas para flanges FF ou RF e suas espessuras comerciais variam entre 0,7 a 3 mm, sendo 1,5 mm a mais utilizada. Devem atender as classes de pressão 150#, 300# e 400# e suas dimensões são padronizadas pela ASME B16.21 (1992).



Figura 16 – Juntas não metálicas (RODRIGUES, 2016).

Dentre as juntas não metálicas, as mais utilizadas são a de papelão hidráulico e politetrafluoroetileno (PTFE), comercialmente conhecido como Teflon. As propriedades destes dois tipos de juntas não metálicas serão utilizadas como base para o desenvolvimento da junta não metálica de PVC abordada neste projeto são:

- a) papelão hidráulico: Veiga (2014) relata que o papelão hidráulico geralmente é fabricado a partir da vulcanização, sob pressão, de elastômeros com fibras naturais, formando uma massa viscosa que em seguida é submetida à calandrada à quente, para que forme uma folha com as dimensões desejadas. Devido ao custo benefício, esse processo é o mais usual dentre os disponíveis para a fabricação de juntas, onde as suas principais características são, elevada resistência ao esmagamento, baixo relaxamento (*creep relaxation*), resistência a altas temperaturas e pressões e resistência a produtos químicos (VEIGA, 2014). Em sua composição, as fibras possuem função estrutural, conferindo alta resistência mecânica. Já os elastômeros conferem resistência química, flexibilidade e elasticidade a junta;
- b) politetrafluoroetileno (PTFE): devido a sua alta resistência química, é o material mais utilizado para vedações industriais. Os únicos produtos químicos que o prejudica são os metais alcalinos em estado líquido e o flúor livre. Esse polímero apresenta ótimo isolamento elétrico, antiaderência, resistência ao impacto e baixo coeficiente de atrito. Existem diversos tipos de placas de PTFE que são utilizadas para a fabricação de juntas e cada uma atende a um determinado tipo de aplicação. São elas: placa de PTFE moldada e sinterizada, placa de PTFE usinada, placa de PTFE usinada com carga, placa de PTFE laminado e PTFE expandido (VEIGA, 2014).

### 2.3.3.3 Acabamento superficial dos flanges

O acabamento superficial tem grande influência na selabilidade, podendo variar de acordo com o tipo de flange em que a junta será utilizada. As juntas não metálicas necessitam ser ranhuradas para que sejam “*mordidas*” pela superfície de vedação, de forma que evite a expulsão da junta através da força radial. As juntas metálicas têm um acabamento liso, devido a elevada força que precisa exercer para que escoem sobre as irregularidades do flange e assim diminuir a possibilidade de vazamento e as semimetálicas precisam ser um pouco rugosas. É importante que o material do flange tenha dureza menor que o da junta para que o acabamento superficial do flange seja mantido (VEIGA, 2014). Para juntas não metálicas, a superfície de vedação dos flanges podem ser ranhuradas concêntrica ou em espiral conforme demonstrado na Figura 17.

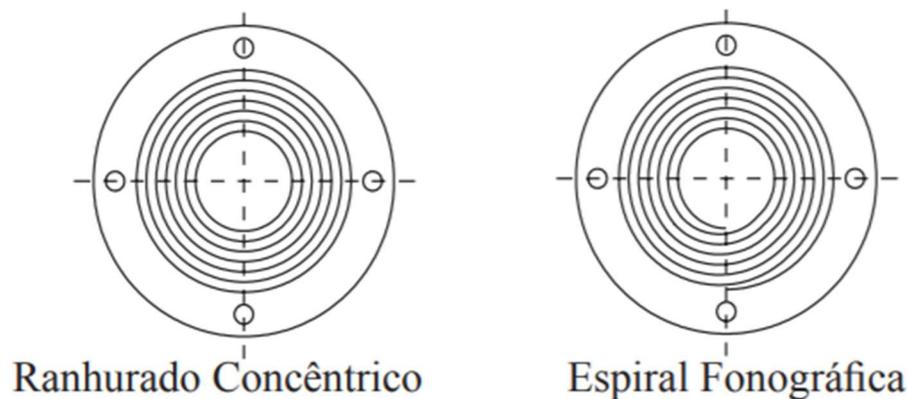


Figura 17 – Acabamentos superficiais para flanges comerciais (VEIGA, 2014).

Devido à necessidade de vedação adequada, deve ser selecionado o material que tenha propriedade de escoamento adequado a aplicação. A norma ASME PCC-1 (2010), que trata sobre as diretrizes para o conjunto de juntas de flange com limite de pressão, apresenta a recomendação de acabamentos superficiais dos flanges em função do tipo de junta (Tabela 2).

Tabela 2 – Acabamento recomendado para a superfície de vedação dos flanges em função do tipo de junta conforme ASME PCC-1 (RODRIGUES, 2016).

| Descrição da junta  | Acabamento da superfície de contato |                |
|---|-------------------------------------|----------------|
|   | $\mu\text{m}$                       | $\mu\text{in}$ |
| Espiral   | 3.2-6.4                             | 125-150        |
| Camisa de metal corrugado com enchimento metálico; acabamento com fita de grafite flexível em toda a superfície | 3.2-6.4                             | 125-250        |
| Metal ranhurado com acabamento de grafite flexível, PTFE ou outros materiais conformáveis                       | 3.2-6.4                             | 125-250        |
| Grafite flexível reforçado com enchimento   | 3.2-6.4                             | 125-250        |
| Metal ranhurado   | 1.6 máx.                            | 63 máx.        |
| Metal puro e plano  | 1.6 máx.                            | 63 máx.        |
| Metal com enchimento metálico   | 2.5 máx                             | 100 máx.       |
| Placa não-metálica, espessura $\leq 1.6\text{mm}$   | 3.2-6.4                             | 125-250        |
| Placa não-metálica, espessura $> 1.6\text{mm}$  | 3.2-13                              | 125-250        |

#### 2.3.3.4 Especificação para junta não metálica

Para que seja adequada a seleção do material de uma junta sem que afete o seu desempenho em serviço, faz-se necessário a análise das condições de operação, como pressão e temperatura para que haja uma aplicação correta.

##### 2.3.3.4.1 Condições de operação

Além das condições pré-estabelecidas, deve-se levar em consideração possíveis eventos, como aumentos bruscos de temperatura e pressão, de forma que a junta selecionada seja resistente. Desta forma, pode ser verificado através dos gráficos pressão x temperatura das juntas, como mostrada na Figura 18, as condições de operação ideais para utilização do elemento de vedação sem que haja riscos durante a aplicação do produto: área verde: compatível para aplicação, área amarela: consultar a Engenharia de Produtos Teadit e área vermelha: deve ser feita uma análise técnica mais detalhada (TEADIT, 2016).

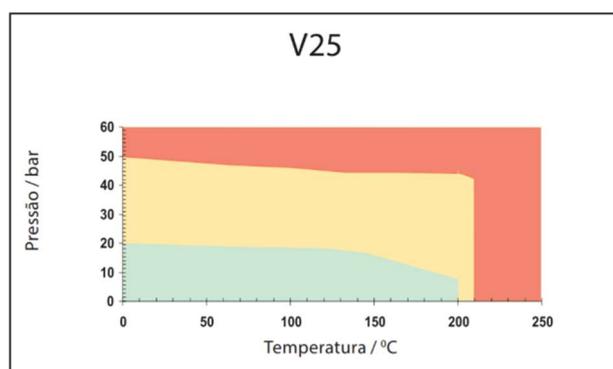


Figura 18 – Gráfico pressão x temperatura para junta de papelão hidráulico com fibras inorgânicas e NBR.

#### 2.3.3.4.2 Dimensões da junta

A área superficial da junta deve ser um pouco maior que o diâmetro da tubulação, ao modo que com a compressão causada pelo aperto do parafuso, não afete o fluxo do fluido RODRIGUES, 2016. Se o diâmetro interno da junta for muito maior que o da tubulação, o fluido pode corroer a parte exposta do flange. A norma ASME B16.21 (1992) padroniza as dimensões destas juntas, definindo diâmetros interno e externo diante de fatores como tipo de face do flange e classe de pressão.

É importante que a junta dos flanges com face ressaltada tenha as dimensões corretas, pois seu diâmetro externo tangencia os parafusos e ajuda na centralização da junta quando é feita a instalação. Deve-se ter cuidado, pois quando as juntas são instaladas fora da centralização ficam sujeitas a esforços irregulares, levando à alta probabilidade de falha (RODRIGUES, 2016). A espessura das juntas deve seguir as dimensões segundo a Tabela 3.

Tabela 3 – Espessura das juntas acordo com diâmetro do flange (RODRIGUES, 2016).

| <b>Diâmetro do flange</b> | <b>Espessura da junta</b> |
|---------------------------|---------------------------|
| Até 10"                   | 1/16" (1,6 mm)            |
| Acima de 10"              | 1/8" (3,2 mm)             |

#### 2.3.3.4.3 Adequação ao flange

As juntas não metálicas têm um baixo custo, porém tem restrições quanto a utilização em serviço, como ciclos térmicos na tubulação, que pode dilatar componentes do sistema de ligação flangeada, além das variações significativas de pressão, causando inviabilidade de juntas não metálicas. Sendo assim, tubulações que tem a manutenção feita anualmente, deve

ser feita a seleção do material de forma que suporte as variações sem afetar as propriedades de aplicação.

#### 2.3.3.4.4 Compatibilidade química

É importante que o material da junta tenha compatibilidade com o fluido passante para que o seu desempenho não seja afetado. Caso não seja selecionado o material correto, a junta pode sofrer corrosão ou degradação, no caso dos polímeros, e com isso o desempenho do produto compromete a vedação da junta (RODRIGUES, 2016).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção encontram-se todos os materiais e as metodologias utilizadas para obtenção dos compostos de PVC e seu processamento. São apresentadas também as caracterizações térmicas, físico-mecânicas, morfológicas e de degradação utilizadas para o estudo do material obtido.

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados para obtenção dos compostos de PVC estão descritos abaixo.

##### 3.1.1 Resina polimérica

Policloreto de vinila (PVC) com nome comercial NORVIC® SP767RA fornecido pela Braskem S.A. Esta resina é um homopolímero de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão. Apresenta elevada densidade volumétrica, bem como alta capacidade de gelificação, estabilidade térmica e produtividade na extrusão de rígidos. As especificações técnicas do PVC são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações técnicas do PVC NORVIC® SP767RA.

| <b>Propriedade</b>               | <b>Especificação</b> | <b>Unidade</b>    | <b>Método de análise</b> |
|----------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|
| <b>Valor K</b>                   | 66,5 – 68            | –                 | NBR 13610                |
| <b>Materiais voláteis</b>        | <=0,3                | %                 | JIS K-6721               |
| <b>Granulometria &gt; 250 µm</b> | <=3                  | %                 | ASTM D-1921-A            |
| <b>Granulometria &gt; 63 µm</b>  | >=98                 | %                 | ASTM D-1921-A            |
| <b>Densidade volumétrica</b>     | 0,56 ± 0,2           | g/cm <sup>3</sup> | ASTM D-1895-A            |

Fonte: Braskem S.A., 2018.

##### 3.1.2 Aditivos

Os aditivos utilizados nos compostos foram: antioxidante, carga, estabilizante térmico, lubrificante, plastificante e pigmento.

### 3.1.2.1 Antioxidante

Antioxidante primário em pó com nome comercial Irganox<sup>®</sup> 1076 da BASF S.A. É um estabilizante antioxidante primário, fenólico e altamente estéril, não-descolorante, que protege os substratos orgânicos contra a degradação termo-oxidativa. É estável à luz, inodoro, possui excelente retenção de cor e baixa volatilidade. As características do antioxidante são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características típicas do antioxidante Irganox<sup>®</sup> 1076.

| Propriedade               | Valor típico | Unidade |
|---------------------------|--------------|---------|
| <b>Peso molecular</b>     | 531          | g/mol   |
| <b>Densidade bulk</b>     | 360 – 400    | g/l     |
| <b>Intervalo de fusão</b> | 50 – 55      | °C      |

Fonte: BASF S.A., 2015.

### 3.1.2.2 Carga

Carga mineral com nome comercial Micron 1/9CD da Micron-Ita Indústria e Comércio de Minerais Ltda. É uma calcita natural (CaCO<sub>3</sub>) moída muito fina, com ótima alvura, baixa absorção de plastificantes, sendo indicada para aplicações em muitas formulações de materiais plásticos, especialmente de compostos de PVC. Recomendada pelo fabricante para aplicações em compostos de PVC para revestimento de fios e cabos elétricos, mangueiras, produtos calandrados, entre outras aplicações. As características da carga são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características típicas da carga mineral Micron 1/9CD.

| Propriedade                     | Valor típico | Unidade                    |
|---------------------------------|--------------|----------------------------|
| <b>Tamanho mediano</b>          | 2 máx.       | µm                         |
| <b>pH</b>                       | 9            | 1 g/100 g H <sub>2</sub> O |
| <b>Teor abrasivo</b>            | 57           | g/m <sup>2</sup>           |
| <b>Índice de absorção (DOP)</b> | 40           | g/100 g                    |
| <b>Coloração</b>                | Branca       | –                          |
| <b>Densidade aparente</b>       | 0,95         | g/cm <sup>3</sup>          |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>         | 83 mín.      | %                          |
| <b>MgCO<sub>3</sub></b>         | 15 máx.      | %                          |
| <b>Umidade</b>                  | ≤ 0,3        | %                          |

Fonte: Micron-Ita Indústria e Comércio de Minerais Ltda.

### 3.1.2.3 Estabilizante térmico

Estabilizante térmico à base de magnésio (Mg) e zinco (Zn) com nome comercial NAFTOSAFE CZ-6530 da Chemson Ltda. As características do estabilizante térmico são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características típicas do estabilizante térmico NAFTOSAFE CZ-6530.

| <b>Propriedade</b> | <b>Valor típico</b> | <b>Unidade</b> |
|--------------------|---------------------|----------------|
| <b>Teor de Zn</b>  | 7,2 – 8,8           | %              |
| <b>Teor de Mg</b>  | 4,3 – 5,9           | %              |
| <b>Aspecto</b>     | Pó branco           | –              |

Fonte: Chemson Ltda., 2018.

### 3.1.2.4 Lubrificante

Lubrificante em pó de nome comercial A-C<sup>®</sup> 316A da Honeywell International Inc. É um homopolímero de polietileno oxidado de alta densidade, utilizado para melhorar as propriedades das superfícies, diminuindo o coeficiente de atrito. As características do lubrificante são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características típicas do lubrificante A-C<sup>®</sup> 316A.

| <b>Propriedade</b>      | <b>Valor típico</b> | <b>Unidade</b> |
|-------------------------|---------------------|----------------|
| <b>Dureza</b>           | <0,5                | –              |
| <b>Viscosidade</b>      | 8500                | –              |
| <b>Densidade</b>        | 0,98                | °C             |
| <b>Número de acidez</b> | 16                  | –              |

Fonte: Honeywell Internacional Inc., 2018.

### 3.1.2.5 Plastificante

Plastificante óleo de soja epoxidado (OSE) de nome comercial Drapex<sup>®</sup> 6.8 da Galata Chemicals LLC. Atua como plastificante e proporciona ótimo desempenho como estabilizante térmico e à luz. Recomendado pelo fabricante para uso em compostos de PVC, apresentando resistência à extração de óleo e solventes e resistência à migração. As características do plastificante de óleo de soja epoxidado são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características típicas do plastificante de óleo de soja epoxidado Drapex<sup>®</sup> 6.8.

| <b>Propriedade</b>     | <b>Valor típico</b> | <b>Unidade</b> |
|------------------------|---------------------|----------------|
| <b>Teor de ésteres</b> | 99,6 mín.           | % área         |
| <b>Cor</b>             | 30 máx.             | Pt/Co          |
| <b>Acidez livre</b>    | 0,07 máx.           | mg KOH/g       |
| <b>Água</b>            | 0,10 máx.           | %              |

Fonte: Wypych (2017, p. 221).

### 3.1.2.6 Pigmento

Pigmento do tipo negro de fumo com nome comercial MONARCH<sup>®</sup> 700 SPECIALTY CARBON BLACK da Cabot Corporation. Recomendado pelo fabricante para aplicações em revestimentos industriais, arquitetônicos, decorativos e de móveis. As características do negro de fumo são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Características típicas do negro de fumo MONARCH<sup>®</sup> 700.

| <b>Propriedade</b>        | <b>Valor típico</b> | <b>Unidade</b> | <b>Método de Análise</b> |
|---------------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| <b>Iodine number</b>      | 258                 | mg/g           | ASTM D-1510              |
| <b>OAN</b>                | 122                 | cc/100g        | ASTM D-2414              |
| <b>Tinta</b>              | 148                 | %              | ASTM D-3265              |
| <b>325 mesh residue</b>   | <200                | ppm            | ASTM D-1514              |
| <b>Moisture as packed</b> | <3                  | %              | ASTM D-1509              |

Fonte: Cabot Corporation., 2016.

## 3.2 Métodos

A metodologia utilizada para obtenção dos compostos de PVC (processamento) e corpos de prova está descrita na Figura 19.

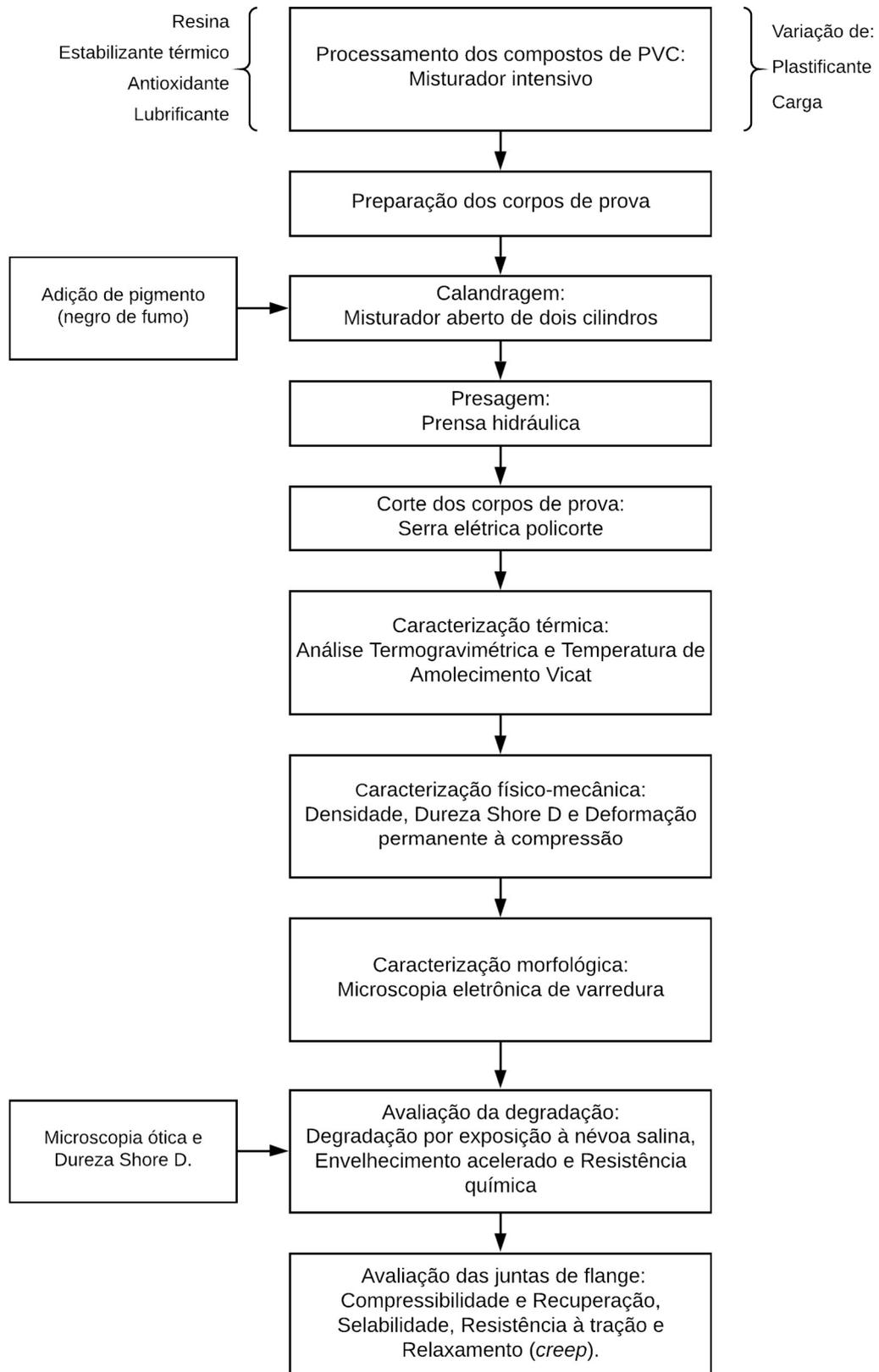


Figura 19 – Fluxograma da metodologia utilizada.

### 3.2.1 Preparação dos compostos

Os compostos de PVC foram preparados na forma *dry blend*, utilizando um misturador intensivo da Mecanoplast Indústria e Comércio Ltda, modelo Mixtruder ML-09. Inicialmente, a resina de PVC e o estabilizante térmico foram adicionados à câmara cilíndrica do misturador, a uma velocidade de 2400 rotações por minutos (rpm), até que a temperatura da massa atingisse 80°C. Nesta temperatura a resina tem sua porosidade completamente aberta, sendo receptiva à incorporação do plastificante. A velocidade foi reduzida para 1200 rpm e, então, o plastificante foi adicionado aos poucos, seguido pela adição do lubrificante, antioxidante e carga. A mistura prosseguiu com velocidade de 2400 rpm até que a temperatura do composto atingisse 110°C. Ao atingir esta temperatura, o resfriamento foi acionado, sob velocidade de 800 rpm, até que a massa atingisse 50°C e fosse descarregada. O pigmento (negro de fumo) foi adicionado ao composto após o processamento em misturador, para a etapa de calandragem.

Foram desenvolvidas três formulações de compostos de PVC: composto 1 (PVCC50P20), composto 2 (PVCC60P20) e composto 3 (PVCC50P10), variando os teores de plastificante (P) e/ou carga (C). As formulações dos compostos de PVC estão indicadas na Tabela 11. Convencionalmente, os aditivos incorporados às formulações de PVC são quantificados em partes por cem partes de resina (pcr), que representa a quantidade em massa do aditivo em relação a 100 unidades de massa da resina.

Tabela 11 – Formulações dos compostos de PVC.

| Componente        | Função                | Teor (pcr) |           |           |
|-------------------|-----------------------|------------|-----------|-----------|
|                   |                       | PVCC50P20  | PVCC60P20 | PVCC50P10 |
| NORVIC® SP767RA   | Resina                | 100        | 100       | 100       |
| NAFTOSAFE CZ-6530 | Estabilizante térmico | 5          | 5         | 5         |
| Drapex® 6.8       | Plastificante         | 20         | 20        | 10        |
| A-C® 316A         | Lubrificante          | 0,15       | 0,15      | 0,15      |
| Irganox® 1076     | Antioxidante          | 0,5        | 0,5       | 0,5       |
| Micron 1/9CD      | Carga                 | 50         | 60        | 50        |
| MONARCH® 700      | Pigmento              | 0,5        | 0,5       | 0,5       |

### 3.2.2 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova para a realização das caracterizações foram obtidos via corte em placas feitas por calandragem e posterior prensagem.

### 3.2.2.1 Calandragem

A plastificação dos compostos foi realizada em misturador aberto de dois cilindros da Mecanoplast Indústria e Comércio Ltda. As temperaturas dos cilindros dianteiro e traseiro foram de 170 e 165°C, respectivamente, com velocidade nominal de 22 x 22 rpm e razão de fricção 1:1.

Os compostos foram previamente misturados ao negro de fumo (0,5 pcr) e alimentados nos cilindros, com abertura de 0,0 mm, até que ocorresse a plastificação do PVC. Em seguida, permaneceram sob cisalhamento durante 5 minutos, com abertura de 0,35 mm, dando origem a um laminado de PVC (Figura 20).



Figura 20 – Laminado de PVC obtido após o processo de calandragem.

### 3.2.2.2 Prensagem

Os laminados obtidos por meio da calandragem foram prensados em uma prensa hidráulica da Luxor Vending Ltda, modelo LPR/LAB-EP, para a obtenção de placas de dimensões A4 (297 mm de comprimento, 210 mm de largura e 1,5 mm de espessura) e em prensa hidráulica da Advanced do Brasil Indústria e Comércio de Máquinas Ltda, para obtenção dos cilindros (6,0 mm de espessura e 13,0 mm de diâmetro). Os cilindros foram utilizados para o ensaio de deformação permanente à compressão e as placas para o corte dos corpos de prova dos outros ensaios. O molde das placas está apresentado na Figura 21 e os seu projeto, juntamente com o do molde de cilindros, estão apresentados nos Apêndices A e B, respectivamente.



Figura 21 – Molde das placas.

Para a confecção das placas (Figura 22), o aquecimento do molde foi realizado em temperatura de 180°C, a pressão de 100 bar durante 5 minutos e em seguida, a pressão de 200 bar durante 3 minutos. Após o ciclo de aquecimento, o sistema de resfriamento (água e ar) foi acionado e os moldes foram resfriados a pressão de 200 bar até que atingissem a temperatura de 50°C. Foi utilizado um fino filme de poliéster como desmoldante e as rebarbas das placas foram retiradas com auxílio de tesoura manual.



Figura 22 – Placa obtida após processo de prensagem.

Para a confecção dos cilindros, o material calandrado foi cortado em pequenos pedaços para ser depositado nas cavidades do molde (Figura 23). O aquecimento foi realizado em temperatura de 190°C, a pressão de 60 bar durante 10 minutos. Após o aquecimento, o molde foi resfriado à temperatura ambiente, fora da prensa. Foi utilizado silicone como desmoldante e as rebarbas dos cilindros foram retiradas com auxílio de tesoura manual.



Figura 23 – (a) Material calandrado cortado e (b) cilindros obtidos após processo de prensagem.

### 3.2.2.3 Corte

A partir das placas, os corpos de prova foram cortados em serra elétrica policorte nas dimensões normalizados para cada tipo de ensaio.

## 3.2.3 Caracterização térmica

### 3.2.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

O comportamento térmico dos compostos foi avaliado através de calorímetro DSC, da TA Instruments Inc., modelo Q10, com faixa de temperatura entre 20 e 350°C, a uma taxa de aquecimento de 20°C/min, sob fluxo de 50 mL/min de nitrogênio (N<sub>2</sub>). A massa das amostras variou entre 10,8 e 11,7 mg.

### 3.2.3.2 Análise termogravimétrica (TGA)

A estabilidade térmica dos compostos foi avaliada através de uma termobalança da TA Instruments Inc., modelo Q50, com faixa de temperatura entre 20 e 800°C, a uma taxa de aquecimento de 20°C/min, sob fluxo de 100 mL/min de nitrogênio (N<sub>2</sub>). A massa das amostras variou entre 10,25 e 16,25 mg.

### 3.2.3.3 Temperatura de amolecimento Vicat

A determinação da temperatura de amolecimento Vicat foi realizada de acordo com a norma ASTM D1525, utilizando um equipamento da Instron Brasil Equipamentos Científicos Ltda., modelo CEAST 6860 HDT 300 VICAT. As amostras foram acondicionadas por um período de 40 horas à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , antes do ensaio.

Os corpos de prova (20 mm x 20 mm x 1,5 mm de espessura) foram submetidos à penetração de uma agulha de ponta chata ( $1,000 \pm 0,015 \text{ mm}^2$  de área de seção transversal), sob uma carga de  $50 \pm 1 \text{ N}$ , durante uma taxa de aquecimento de  $50^\circ\text{C/h}$ , até que a agulha atingisse a profundidade de  $1,00 \pm 0,01 \text{ mm}$  da superfície dos corpos de prova.

### 3.2.4 Caracterização físico-mecânica

#### 3.2.4.1 Ensaio de densidade

A determinação da densidade foi realizada de acordo com a norma ISO 1183-1, método A (método por imersão). O ensaio foi realizado em um medidor de densidade para sólidos e líquidos, da Indústria e Comércio Eletroeletrônica Gehaka Ltda., modelo DSL910 e o líquido de análise utilizado foi álcool etílico (PVCC60P20H<sub>5</sub>OH). O ensaio foi realizado à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , após manter as amostras (40 mm x 20 mm x 1,5 mm de espessura) por um período de 24 horas a esta mesma temperatura.

#### 3.2.4.2 Ensaio de dureza Shore D

A determinação da dureza Shore D foi realizada de acordo com a norma ASTM D2240, utilizando um durômetro com relógio digital, da BAREISS Prüfgerätebau GmbH., modelo Hardness Tester HPE II Shore D. O ensaio foi realizado à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , após manter as amostras por um período de 24 horas a esta mesma temperatura. Foram utilizados quatro corpos de prova (50 mm x 20 mm x 1,5 mm de espessura) sobrepostos a fim de atingir a espessura mínima determinada pela norma (6 mm) e foram feitas cinco leituras em pontos diferentes dos corpos.

### 3.2.4.3 Ensaio de deformação permanente à compressão (DPC)

A determinação da deformação permanente à compressão foi realizada de acordo com a norma ASTM D395, método B (conjunto de compressão sob deflexão constante no ar). O ensaio foi realizado à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , após manter os corpos de prova por um período de 3 horas a esta mesma temperatura.

Os corpos de prova (cilindros com  $13,0 \pm 0,2$  mm de diâmetro e  $6,0 \pm 0,2$  mm de espessura) foram comprimidos em 25% de sua altura inicial no dispositivo durante 2 horas e, após este período, o dispositivo contendo os corpos de prova foi colocado em estufa com circulação e renovação de ar, da Nova Ética Produtos e Equipamentos Científicos Ltda., a  $100^\circ\text{C}$  por 22 horas. Foram medidas as espessuras iniciais (antes da compressão,  $E_0$ ) e finais (após a compressão,  $E_f$ ) dos corpos de prova com um paquímetro.

O ensaio foi realizado em triplicata e os valores de DPC foram expressos em porcentagem de acordo com a Equação 1:

$$DPC, \% = [(E_0 - E_f)/(E_0 - E_e)] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$E_0$  = Espessura inicial da amostra (mm);

$E_f$  = Espessura final da amostra após 30 minutos (mm);

$E_e$  = Espessura do espaçador (4,5 mm).

A Figura 24 ilustra o dispositivo utilizado no ensaio de DPC e o seu projeto está apresentado no Apêndice C.

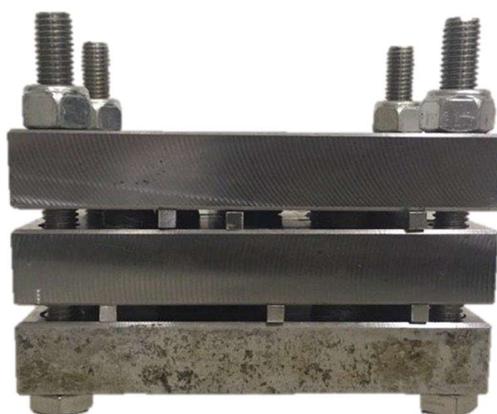


Figura 24 – Dispositivo para ensaio de DPC, método B.

### 3.2.5 Caracterização morfológica

#### 3.2.5.1 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

As morfologias dos compostos foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um microscópio da JEOL Ltda., modelo JSM 6510LV. Para obtenção das superfícies de análise, foi utilizado o método de fratura criogênica. As amostras foram acondicionadas em freezer vertical da ColdLab Equipamentos para Laboratório, modelo CL374-80, em temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas. As amostras foram metalizadas com ouro e as imagens de MEV foram obtidas com uma tensão de 15 kV.

### 3.2.6 Avaliação da degradação

#### 3.2.6.1 *Degradação por exposição à névoa salina*

O ensaio de degradação por exposição à névoa salina foi realizado em equipamento para testes cíclicos da BASS Equipamentos Ltda., modelo CCT-MP-LQ03/2009, segundo as normas NBR 8094 e ASTM B117. As amostras foram condicionadas por um período de 24 horas à temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , antes do ensaio.

Os corpos de prova (50 mm x 20 mm x 1,5 mm de espessura) foram submetidos a ciclos de pulverização com uma solução aquosa de  $5 \pm 1\%$  NaCl, com pH de 6,5 a 7, durante 832 horas à temperatura de  $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após exposição, os corpos de prova foram lavados em água deionizada para remover o excesso de cloreto de sódio remanescente e secados imediatamente. Para avaliação da modificação causada pela exposição em meio salino, foi obtido o valor da dureza Shore D dos corpos de prova antes e depois da exposição e a análise da superfície através de microscópio ótico (MO), fabricado pela Carl Zeiss do Brasil Ltda., modelo Scope A1.

#### 3.2.6.2 *Envelhecimento acelerado*

O ensaio de envelhecimento acelerado foi realizado em equipamento simulador de intempéries da BASS Equipamentos Ltda., modelo UUV/2009, segundo a norma ASTM

D4329, ciclo A. As amostras foram condicionadas por um período de 24 horas à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  antes do ensaio.

As lâmpadas utilizadas foram UVA-340, com irradiância de  $0,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$  e os corpos de prova ( $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$  de espessura) foram submetidas à exposição UV a  $60 \pm 2,5^\circ\text{C}$  durante 1000 horas. Para avaliação do efeito da radiação nas características dos compostos, foi obtido o valor da dureza Shore D dos corpos de prova antes e depois da exposição e a análise da superfície através de microscópio ótico (MO), fabricado pela Carl Zeiss do Brasil Ltda., modelo Scope A1.

### 3.2.6.3 Resistência química

A resistência química foi avaliada segundo a norma ASTM D543, por meio do ensaio de imersão. Os reagentes utilizados foram água bruta (retirada do rio Jacuípe em Camaçari, Bahia), água com detergente, hidróxido de sódio (NaOH) 10% e ácido clorídrico (HCl) 10% (Tabela 12). O ensaio foi realizado à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  após manter os corpos de prova por um período de 24 horas a esta mesma temperatura.

O tempo de imersão dos corpos de prova ( $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$  de espessura) foi de 168 horas e agitação a cada 24 horas. Após o período de imersão, os corpos de prova foram lavados em água deionizada para remover o excesso de reagente remanescente e secados imediatamente. Para avaliação dos efeitos da imersão, foi obtido o valor da dureza Shore D dos corpos de prova antes e depois da exposição e a análise da superfície através de microscópio ótico (MO), fabricado pela Carl Zeiss do Brasil Ltda., modelo Scope A1.

Tabela 12 – Concentrações dos reagentes para ensaio de resistência química.

|                 | Água bruta | Água com detergente | NaOH   | HCl    |
|-----------------|------------|---------------------|--------|--------|
| Reagente        | 1000 mL    | 0,2 g               | 111 g  | 283 g  |
| Água deionizada | –          | 1000 mL             | 988 mL | 764 mL |

### 3.2.7 Caracterização dos materiais para juntas e avaliação de aplicação

Alguns ensaios foram realizados para determinar as características dos materiais desenvolvidos e seus os limites de aplicação para o seu uso como juntas de flange.

### 3.2.7.1 Ensaio de compressibilidade e recuperação

O ensaio de compressibilidade e recuperação foi realizado conforme a norma ASTM F36. O seu objetivo é determinar o comportamento do material à temperatura ambiente quando exposto a uma carga específica em tempo reduzido. Foi realizado utilizando um equipamento com superfície de teste lisa e endurecida com diâmetro mínimo de 31,7 mm e um penetrador com 6,4 mm diâmetro.

Os corpos de prova (círculos de 8,7 cm<sup>2</sup> de área) foram centralizados na superfície de teste e submetidos à aplicação de uma pré-carga (22,2 N) durante 15 s, sendo registrada a espessura da amostra ao final deste tempo (P). Imediatamente após o tempo da pré-carga, a carga total (1090 N) foi aplicada de maneira gradual e uniforme durante um período de 10 segundos e mantida durante 60 s, sendo a espessura registrada novamente ao final deste tempo (M). Imediatamente após este intervalo, a carga total foi retirada e, após 60 s, registrou-se a espessura recuperada da amostra (R).

O ensaio foi realizado em triplicata e os valores de compressibilidade e recuperação foram expressos em porcentagem de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente:

$$\text{Compressibilidade, \%} = [(P - M)/P] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Recuperação, \%} = [(R - M)/(P - M)] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$P$  = Espessura sob pré-carga (mm);

$M$  = Espessura sob carga total (mm);

$R$  = Espessura recuperada (mm).

### 3.2.7.2 Ensaio de selabilidade

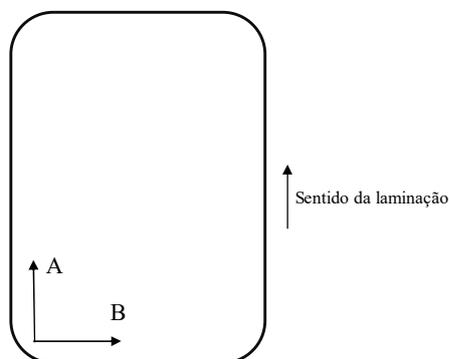
O ensaio de selabilidade foi realizado segundo a norma ASTM F37, método B (vazamento de gás). Este ensaio avalia as características de vedação de um material quando submetido a vazamento com fluido sob cargas compressivas à temperatura ambiente. Foi realizado em equipamento composto por prensa hidráulica de 50 toneladas, flanges do dispositivo de teste com acabamento superficial entre 0,41 e 0,82 µm, transdutor de carga, manômetro, gaiola de fixação das amostras. O gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) foi utilizado como fluido.

Os corpos de prova (coroa circular com 32 mm de diâmetro interno e 44 mm de diâmetro de externo) foram posicionados nos flanges do dispositivo de teste, presos na gaiola de fixação e submetidos à aplicação de uma carga de aperto (30 psi). Após a aplicação da carga, o fluido foi direcionado para o centro dos corpos de prova com a pressão especificada pela norma, enquanto o vazamento foi determinado por um manômetro com água, localizado no equipamento. O ensaio foi realizado em duplicata e os resultados dos vazamentos foram expressos em mililitros por hora (mL/h).

### 3.2.7.3 Ensaio de resistência à tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado segundo a norma ASTM F152. Este ensaio é destinado à avaliação do limite de resistência à tração de alguns materiais de vedação não metálicos à temperatura ambiente. As amostras confeccionadas de acordo com ASTM D412, método A, foram acondicionadas em estufa a 100 °C durante 1 hora e resfriadas em um dessecador em temperatura entre 21 e 29°C. A fim de obter maiores informações sobre os materiais testados, as amostras foram cortadas em dois sentidos diferentes: sentido A (paralelo à laminação) e sentido B (transversal à laminação), como mostra a Figura 25.

Para execução do ensaio, as extremidades dos corpos de prova foram presas às garras do equipamento e separadas sob velocidade constante (300 mm/min). Através de gráfico Força x Deslocamento gerado, foram obtidos os valores de limite de resistência à tração, que foram expressos em Megapascal (MPa).



25 – Esquematização dos sentidos de corte das amostras.

### 3.2.8 Ensaio de relaxamento (*creep*)

O ensaio de relaxamento (*creep*) foi realizado segundo a norma DIN EN 13555. Este teste analisa o comportamento de escoamento da junta quando submetida a um aperto seguido de aquecimento até a temperatura de trabalho. Para a realização do teste, foi utilizado um testador que suporta o flange com ranhura entre  $3,2 \mu\text{m} < \text{Ra} < 6,3 \mu\text{m}$  e um sistema de aquecimento e aperto conectado a um software que recolhe os dados em tempo real.

As amostras foram submetidas a um aperto (30 MPa) gradual e constante, que foi mantido por 5 minutos para o assentá-las (*dwell time*). Em seguida, a temperatura foi elevada até atingir 70°C (temperatura de serviço escolhida de acordo com o projeto) e, após 4 horas, o aperto residual foi registrado. O fator adimensional que quantifica o relaxamento da junta ( $P_{QR}$ ) é expresso de acordo com a Equação 4:

$$P_{QR} = \frac{\textit{aperto residual}}{\textit{aperto inicial}} \quad (4)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização térmica

#### 4.1.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A Figura 26 apresenta as curvas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) para a resina de PVC e os compostos. Através do termograma da resina de PVC pura (Figura 26 a), a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) foi de cerca de  $81^\circ\text{C}$ , valor muito próximo ao reportado por Madaleno *et al.* (2009) e Perito (2011), cujas temperaturas encontradas foram  $80$  e  $84^\circ\text{C}$ , respectivamente. De acordo com Carpio (2009), o PVC puro é considerado um material de cadeias não organizadas e, portanto, não apresenta pico de fusão ( $T_f$ ).

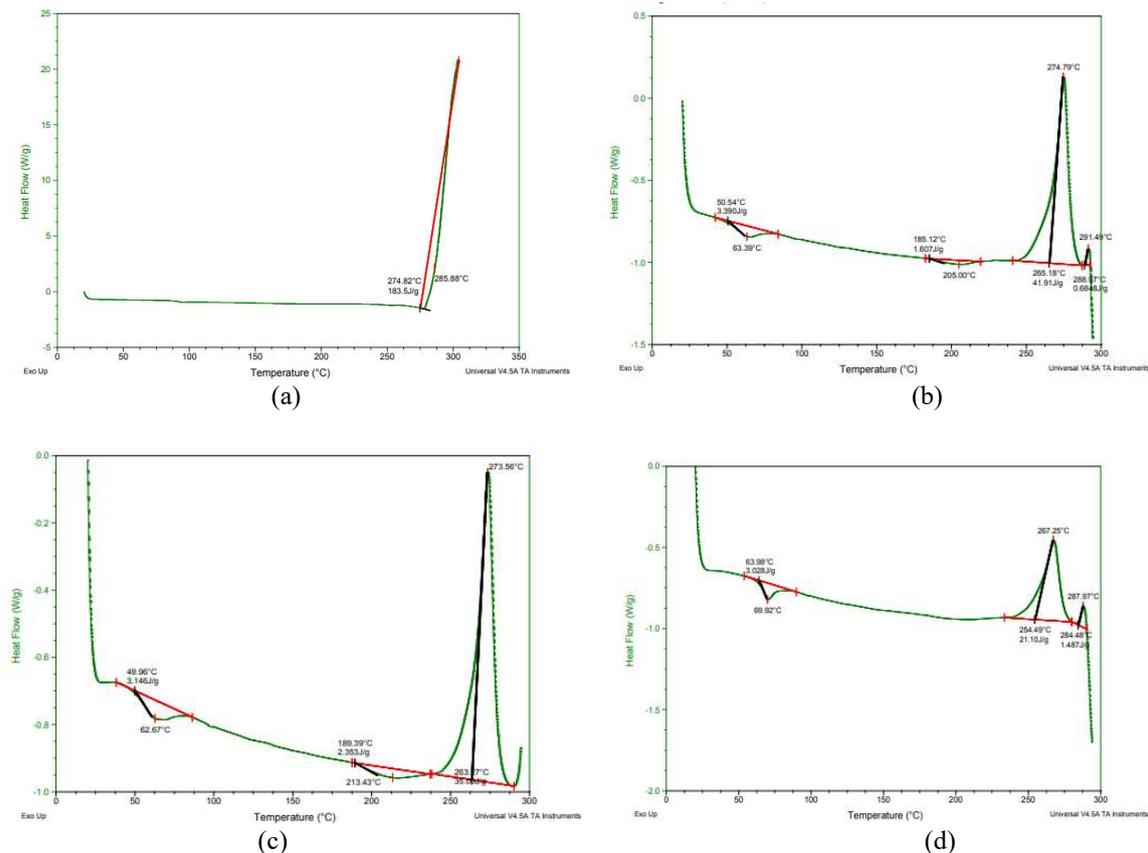


Figura 26 – Curvas DSC em atmosfera de  $\text{N}_2$ , obtidas a  $20^\circ\text{C}/\text{min}$  (a) PVC puro (b) PVCC50P20 (c) PVCC60P20 (d) PVCC50P10.

A incorporação de aditivos nos compostos de PVC influenciou no comportamento térmico, e observou-se que houve redução da  $T_g$  em relação ao PVC puro. De acordo com Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2006), a  $T_g$  de um polímero é reduzida conforme a concentração de plastificante aumenta. Esse comportamento também foi relatado por Madaleno *et al.* (2009) e Passador (2008) e pode ser atribuído ao afastamento da cadeia polimérica, que provoca a redução das forças de atração intermoleculares secundárias, diminuindo a rigidez e o nível energético para mobilidade da cadeia polimérica e, conseqüentemente, reduzindo a  $T_g$  do polímero. A Tabela 13 apresenta as principais informações obtidas através das curvas:  $T_g$ , temperatura de fusão ( $T_f$ ) e a temperatura de degradação.

Tabela 13 – Dados dos obtidos através da análise de DSC do PVC puro e dos compostos.

| Amostra          | $T_g$ (°C) | $T_f$ (°C) | Temperatura de degradação (°C) |
|------------------|------------|------------|--------------------------------|
| <b>PVC puro</b>  | 81°C       | -          | 274,82° C                      |
| <b>PVCC50P20</b> | 50,54 °C   | 63,39°C    | 274,79 °C                      |
| <b>PVCC60P20</b> | 49,96 °C   | 62,67°C    | 273,56°C                       |
| <b>PVCC50P10</b> | 63,98°C    | 69,92°C    | 267,25°C                       |

De modo geral, os compostos apresentaram uma larga faixa de temperatura de transição da  $T_g$  para a  $T_f$ . O PVCC50P10, que apresenta menor teor de plastificante, apresentou uma menor faixa e isto pode ser atribuído ao fato de que o plastificante amplia a largura de transição vítrea e o aumento da faixa de temperatura indica a presença de alguma heterogeneidade no processamento entre o plastificante e a matriz de PVC (Madaleno *et al.*, 2009). Observou-se que os compostos apresentaram picos exotérmicos em torno de 274°C, semelhante ao PVC puro, entretanto o PVCC50P10 apresentou menor temperatura de degradação.

#### 4.1.2 Análise termogravimétrica (TGA)

As Figuras 27 a 29 apresentam os gráficos das análises de TGA (perda de massa em função da temperatura) e sua derivada em função da temperatura (DTGA). O PVC possui instabilidade térmica, principalmente quando submetido a altas temperaturas e a análise termogravimétrica tem como objetivo avaliar a estabilidade térmica do material através de sua variação (perda ou ganho) de massa.

Através da curva do PVCC50P20, observou-se que mostrou que houve perda de massa visível em dois eventos. O primeiro estágio ocorreu em uma faixa de 271-289°C com pico em 277,48°C e o segundo estágio na faixa de 428-485°C com pico em 450,76°C. Foi possível observar também um terceiro evento bem discreto, mostrando que nessa região de degradação ocorreu de forma lenta. Pode-se relacionar este evento ao terceiro estágio, identificado numa faixa de 663-715°C com pico em 695,34°C. O percentual de perda de massa total foi de 75,2% e resíduo de 27,8%.

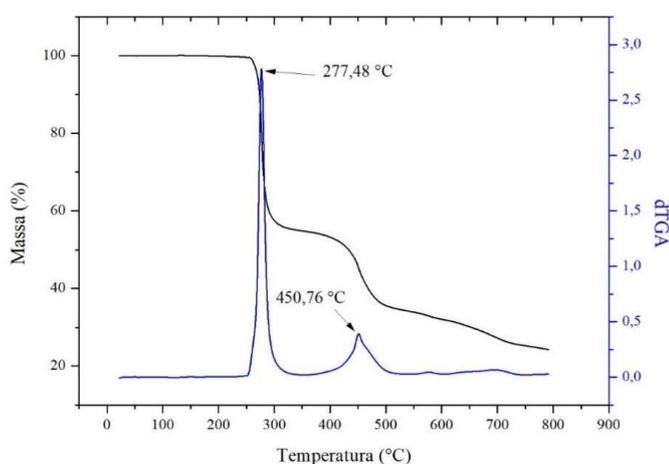


Figura 27 – Curvas TGA e DTGA do PVCC50P20 em atmosfera de N<sub>2</sub>, obtidas a 20°C/min.

No PVCC60P20, foram observados três eventos de perda de massa. O primeiro ocorreu entre as temperaturas 274-286°C com pico em 277,27°C, o segundo entre 426-480°C e pico em 453,86°C e terceiro dentro da faixa de 657-700 com pico em 667,62°C. O percentual de perda total de massa foi de 75% e de resíduo de 25%.

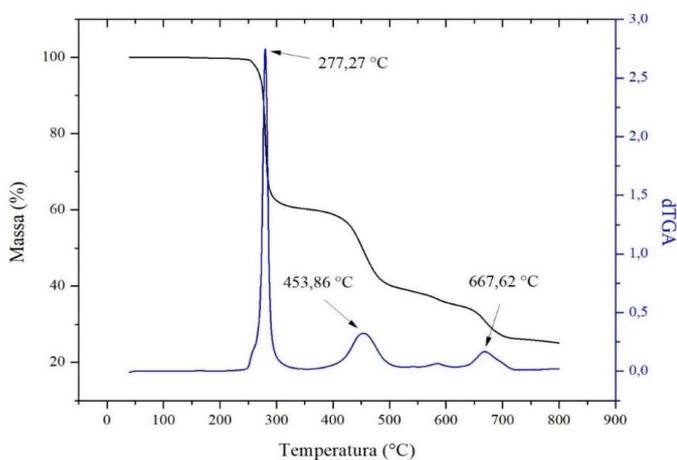


Figura 28 – Curvas TGA e DTGA do PVCC60P20 em atmosfera de N<sub>2</sub>, obtidas a 20°C/min.

O PVCC50P10 também apresentou três eventos de perda de massa, sendo o primeiro localizado na faixa de 268-286°C com pico em 271,89°C, o segundo entre 426-486°C, pico em 453,86°C e o terceiro e último na faixa de 652-700°C com pico a 664,03°C. a taxa total de perda de massa foi de 65,87% com resíduo de 34,13%.

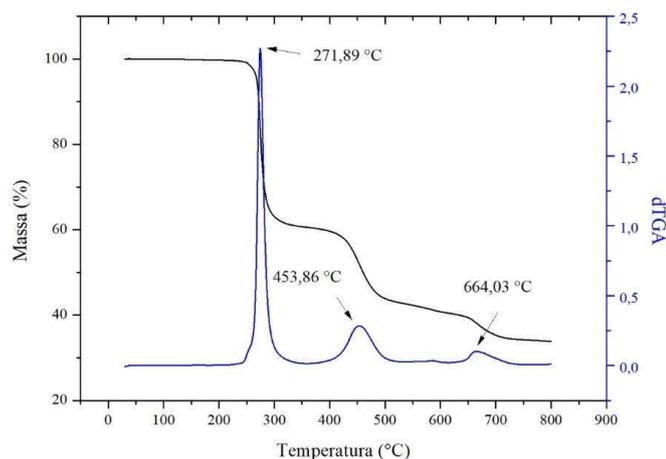


Figura 29 – Curvas TGA e DTGA do PVCC50P10 em atmosfera de N<sub>2</sub>, obtidas a 20°C/min.

A Tabela 14 apresenta as principais informações obtidas através das curvas: temperaturas máximas de início e fim da perda de massa de cada fase ( $T_{onset}$  e  $T_{endset}$ ), percentual total de perda de massa e percentual de resíduo.

Tabela 14 – Dados dos obtidos através das análises de TGA e DTGA dos compostos de PVC.

| Amostra          | $T_{onset}$ (°C) | $T_{pico}$ (°C)      | $T_{endset}$ (°C) | Perda de massa (%) | Resíduo (%) |
|------------------|------------------|----------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| <b>PVCC50P20</b> | 271/428/663      | 277,48/450,76/695,34 | 289/485/715       | 75,72              | 24,28       |
| <b>PVCC60P20</b> | 274/426/657      | 277,27/453,86/667,62 | 286/480/700       | 75                 | 25          |
| <b>PVCC50P10</b> | 268/426/652      | 271,86/453,86/664,03 | 286/486/700       | 65,87              | 34,13       |

A literatura indica que a degradação térmica do PVC puro ocorre em dois estágios bem definidos, apresentando assim, 2 picos de temperatura de velocidade máxima de decomposição do material no gráfico de DTGA, porém estudos realizado por Miranda *et al.* (1999), revelaram a existência de três estágios (três picos), como mostrado na Figura 30, sendo que os dois primeiros podem ocorrer de forma paralela. No primeiro estágio, ocorre a liberação do HCl (desidrocloração), o segundo pode estar relacionado à liberação de HCl misturado a hidrocarbonetos e o terceiro estágio corresponde a quebra de sequências de polímeros formadas durante os processos anteriores. As faixas de temperatura em que estes

eventos ocorrem são de 200-350°C, com pico em 280°C para o primeiro, 250-375°C com pico em 320°C para o segundo e 375-520°C com pico a 440°C para o terceiro estágio.

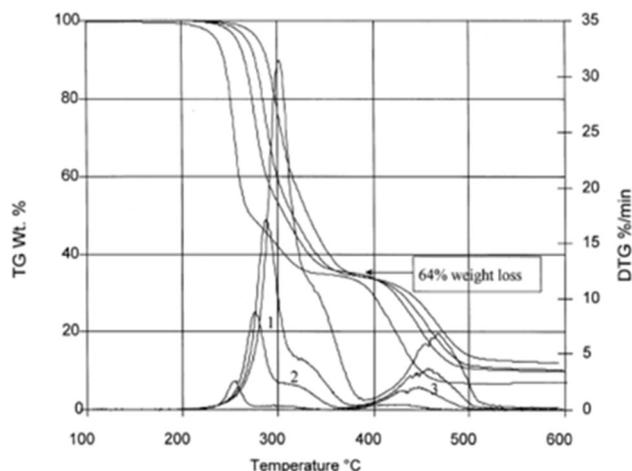


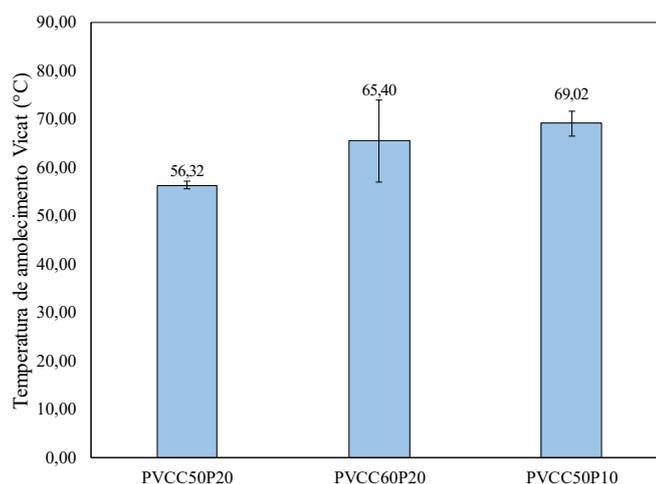
Figura 30 – Curvas TG e DTG de decomposição térmica de PVC em atmosfera de nitrogênio, obtidas a 1, 5, 10 e 20 °C/min (Miranda *et al.*, 1999).

Com nas informações encontradas na literatura foi possível observar que as temperaturas de início da degradação ( $T_{onset}$ ) do PVCC50P20, PVCC60P20 e PVCC50P10 apresentaram valores superiores aos obtidos no ensaio de TGA do PVC puro relatados na literatura. Elevadas temperaturas de início da formação de HCl do material provavelmente estão relacionadas à incorporação do estabilizante térmico na resina de PVC. Este aumento das temperaturas  $T_{onset}$  foi observado em todos os estágios de degradação dos compostos. Em relação à massa residual, O  $\text{CaCO}_3$  degrada-se em temperaturas muito altas e sendo assim, quanto maior a concentração de carga no composto, maior será o percentual de resíduo. O PVCC50P10 apresentou um maior valor (34,13%), não corroborando com o encontrado na literatura, visto que possui o menor teor de carbonato em relação aos outros compostos.

#### 4.1.3 Temperatura de amolecimento Vicat

A Figura 31 apresenta os resultados de temperatura de amolecimento Vicat dos compostos de PVC. Observa-se que o PVCC50P10 atingiu uma temperatura de 69,02°C, sendo a formulação que suporta maior temperatura de trabalho. O PVCC50P20 atingiu uma temperatura de 56,32°C e o PVCC60P20 de 65,40°C. De acordo com as propriedades de referência dos compostos de PVC, a temperatura de amolecimento Vicat para o PVC rígido fica em torno de 65 e 100°C (BRASKEM, 2002).

É importante salientar que as tubulações de utilidade em estudo possuem temperatura de serviço que pode atingir até 60°C e observa-se que temperatura de amolecimento Vicat para o PVCC50P20 foi inferior à temperatura de trabalho requerida.



31 – Temperatura de amolecimento Vicat (°C) dos compostos de PVC.

Os plastificantes ao serem adicionados aos compostos de PVC aumentam a flexibilidade, melhoram a sua processabilidade, e podem também alterar as propriedades da temperatura de amolecimento Vicat (PERITO, 2011). A modificação desta propriedade pode ser explicada devido a atuação dos plastificantes na força de ligação das moléculas do polímero, que o concedem alta rigidez. Ao serem adicionados, os plastificantes podem reduzir essa força de ligação e conseqüentemente promover o aumento da flexibilidade da cadeia (BRASKEM, 2002).

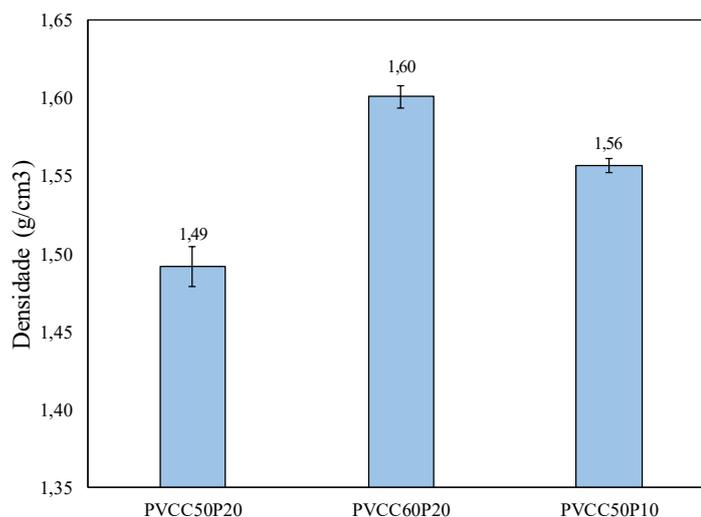
O PVCC50P20 e PVCC60P20, por possuírem maior teor de plastificante, apresentaram-se mais flexíveis quando comparados ao PVCC50P10. Este fator pode indicar que a agulha, no momento do ensaio, teve maior facilidade para penetrar os compostos mais flexíveis, e por isso atingiram temperatura de amolecimento menor do que o composto mais rígido.

## 4.2 Caracterização físico-mecânica

### 4.2.1 Densidade

A Figura 32 apresenta os resultados de densidade dos compostos de PVC. Foi possível identificar um aumento de 7,3% na densidade do PVCC60P20 em relação ao PVCC50P20.

Esse aspecto pode ser atribuído à interação molecular entre a fração polar das moléculas do plastificante (por exemplo, anel aromático, ligações éster, glicerol) e a resina de PVC, através das forças de van der Waals e dipolo-dipolo interações que ocasionam a redução da rigidez do polímero, conforme relatado por Coloro, Pitta e Madaleno (2013).



32 – Densidade (g/cm<sup>3</sup>) dos compostos de PVC.

Em contrapartida, o PVCC50P10 que possui menor quantidade de plastificante, comparado com o PVCC50P20, atingiu maior densidade (4,3% de decréscimo). Medeiros (2014) relatou que a densidade depende da cristalinidade e da composição (proporções de resinas, aditivo, pigmento ou carga), onde a fase amorfa é mais leve que a fase cristalina do PVC, o que provoca a redução da densidade do PVC no composto, devido à dificuldade de cristalização provocada pela presença dos aditivos. No entanto, a presença dos aditivos aumenta a porosidade de cristalização, contribuindo para o inchamento e consequentemente aumento da densidade. O PVCC50P10 pode ter obtido menor porosidade de cristalização, pela interação molecular entre os aditivos e matriz provocando menor homogeneidade em sua estrutura e aparecimento de possíveis lacunas e vazios, acarretando o inchamento e aumento da densidade.

#### 4.2.2 Dureza *Shore D*

A Figura 33 apresenta os resultados de dureza *Shore D* dos compostos de PVC. A dureza tem como finalidade medir a profundidade de penetração após a impressão sobre o material, e tem relação direta com a rigidez do material. De acordo com Rodolfo Jr., Nunes e

Ormanji (2006), foi possível classificá-los como compostos de PVC rígidos, visto que apresentaram dureza entre 65-85 *Shore D*. O PVCC50P20 foi o que apresentou menor dureza, devido a menor quantidade de carga mineral em conjunto com a maior quantidade de plastificante. Em contra partida, foi observado que o PVC50P10 teve maior rigidez, em consequência da menor quantidade de plastificante, quando comparado com os outros compostos.

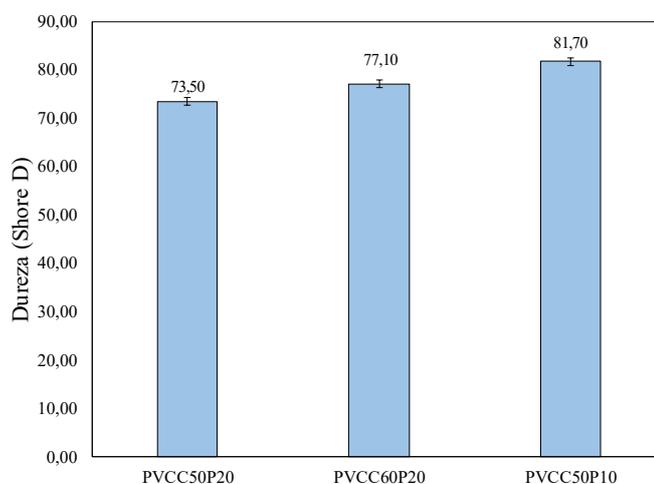


Figura 33 – Dureza (Shore D) dos compostos de PVC.

Os valores encontrados estão acima do PTFE, que se encontra na faixa entre 55-59 *Shore D*, como determinado pela marca registrada TEFLON<sup>®</sup> da empresa Dupont e do papelão hidráulico NA1002 da empresa TEADIT que está entre 60-70 *Shore D*. Portanto os compostos têm maior rigidez, quando comparados aos materiais utilizados em juntas não metálicas de flange para tubulações de utilidades.

#### 4.2.3 Deformação permanente à compressão (DPC)

A Figura 34 apresenta os resultados de deformação permanente à compressão dos compostos de PVC. A deformação permanente à compressão (DPC) determina a capacidade dos materiais em manter as propriedades elásticas após uma tensão estática compressiva em alta temperatura, medindo a deformação permanente por um determinado período. A maior resistência à compressão está expressa em termos da menor deformação permanente à compressão (PASSADOR, PESSAN & RODOLFO, 2008). Dessa forma, observou-se que os três compostos apresentaram altos valores para a DPC, indicando baixa resistência à

compressão, uma vez que o  $\text{CaCO}_3$ , em alto teor, agiu como carga de enchimento e contribuiu para a diminuição das propriedades compressivas dos compostos.

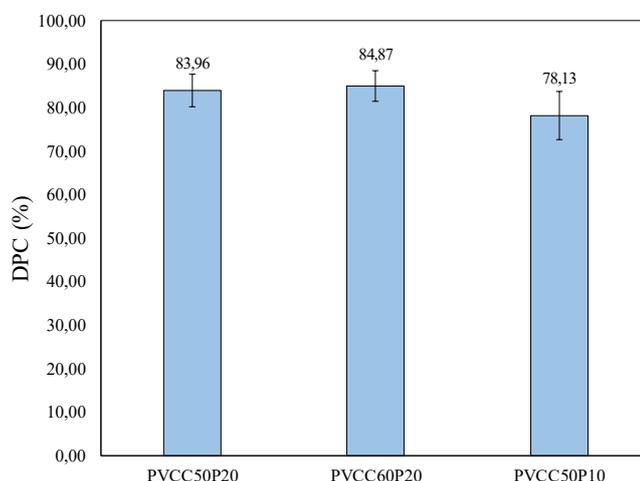


Figura 34 – Deformação permanente à compressão (%) dos compostos de PVC.

O PVCC60P20 apresentou um maior valor de DPC (PVCC60P20 > PVCC50P20 > PVCC50P10) entre os três compostos por conter maior teor de  $\text{CaCO}_3$  (60 pcr) em sua formulação e, apesar do PVCC50P20 apresentar menor teor de  $\text{CaCO}_3$  (50 pcr) e menor valor de DPC, não há diferenças significativas entre os dois (cerca de 1%). A menor deformação permanente à compressão do PVCC50P10 pode ser justificada pelo fato de que mesmo possuindo menor teor de carbonato de cálcio, sua formulação possui também menor teor de plastificante, o que contribui para aumento da rigidez do composto e aumento de sua resistência à compressão.

Estudos realizados por Ishiaku *et al.* (1999) avaliaram a DPC em blendas ternárias de PVC/ Borracha natural epoxidada (ENR)/Borracha nitrílica (NBR), onde foi observado que a adição de carga mineral ( $\text{CaCO}_3$ ) aumentou ligeiramente a deformação permanente à compressão das blendas.

### 4.3 Caracterização morfológica

#### 4.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figuras 35 a 37 apresentam as morfologias dos compostos de PVC avaliada por meio da microscopia eletrônica de varredura. Através das micrografias, observou-se que os

três compostos obtiveram morfologia similar, apresentando poucos vazios, diferentemente do que é encontrado no PVC puro. Com isto, pôde-se concluir que a incorporação dos aditivos na resina foi eficiente.

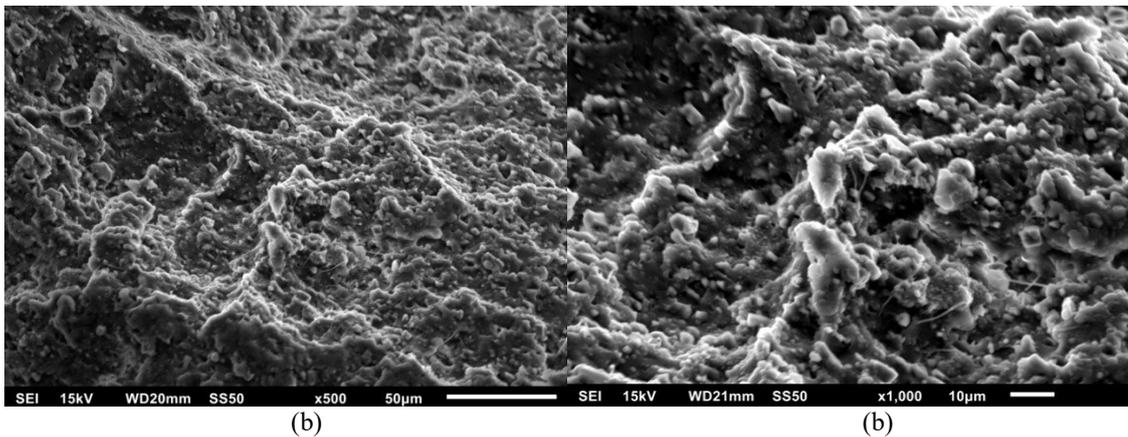


Figura 35 – Micrografias do PVCC50P20: (a) ampliação de 500x (b) ampliação de 1000x.

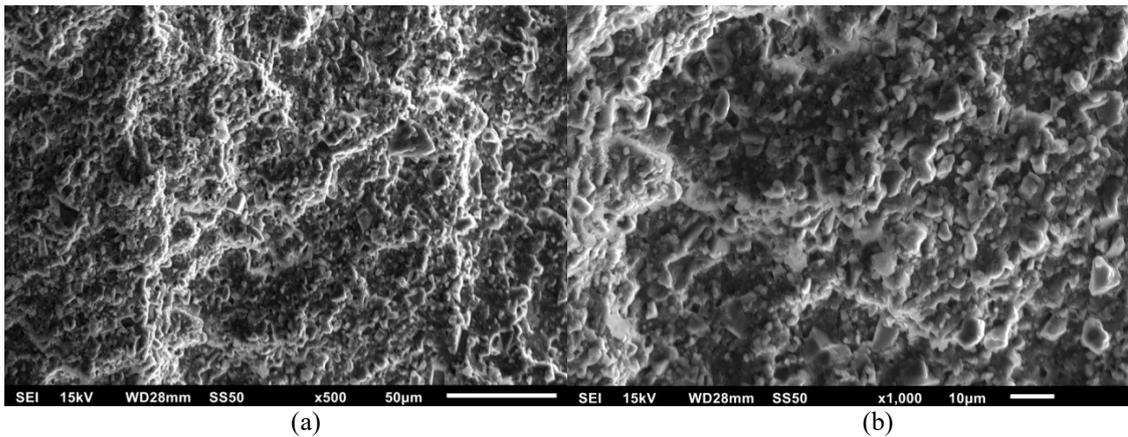


Figura 36 – Micrografias do PVCC60P20: (a) ampliação de 500x (b) ampliação de 1000x.

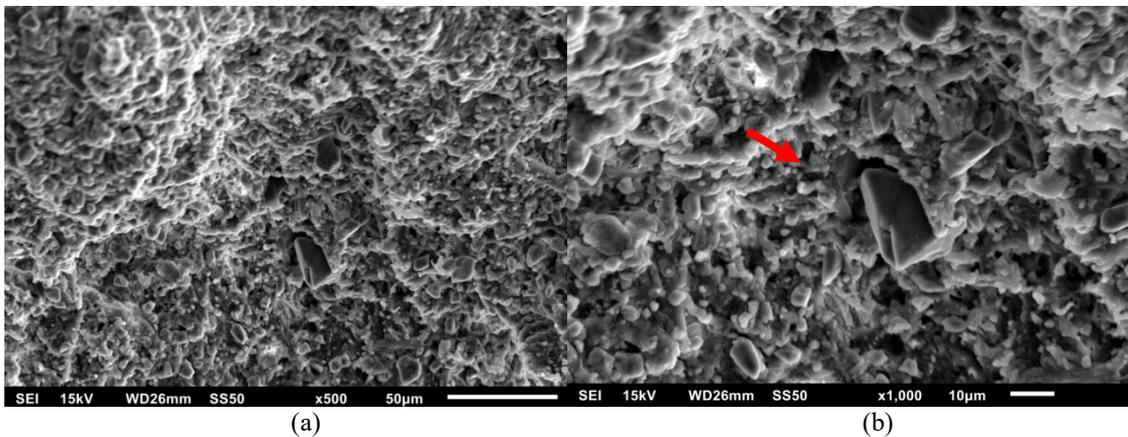


Figura 37 – Micrografias do PVCC50P10: (a) ampliação de 500x (b) ampliação de 1000x.

Para o PVCC50P10 (Figura 37 b), foi possível identificar uma modificação da superfície fraturada em relação à interface das partículas de carbonato de cálcio com a matriz. Esse aspecto possivelmente foi causado pela redução da quantidade de plastificante. O mesmo resultado foi encontrado por Alves e Rodolfo Jr. (2006) no composto de PVC após a gelificação e fusão durante o processamento. Quando os grãos são compactados com aumento de pressão e temperatura, a porosidade diminui e, então, a fusão intragranular aumenta. Esse aspecto pode influenciar diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do produto final e seu desempenho.

#### 4.4 Avaliação da degradação

Para avaliação da degradação, foram feitas as análises de dureza Shore D e avaliação superficial, através de microscopia ótica (ampliação de 50x), para identificação das possíveis alterações causadas nos compostos a partir dos meios de exposição.

##### 4.4.1 Degradação por exposição à névoa salina

A Figura 38 apresenta o resultado de dureza *Shore D* dos compostos após exposição à névoa salina. O PVCC50P20 e o PVCC50P10 não apresentaram mudanças significativas, porém, o composto PVCC60P20 apresentou um decréscimo de 3,6 % em sua dureza.

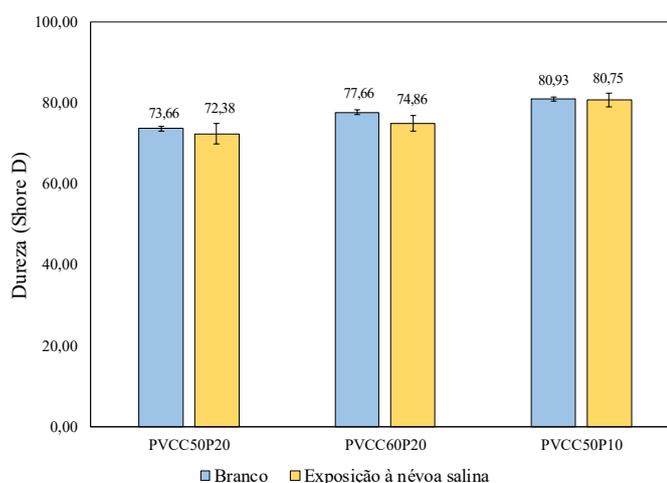
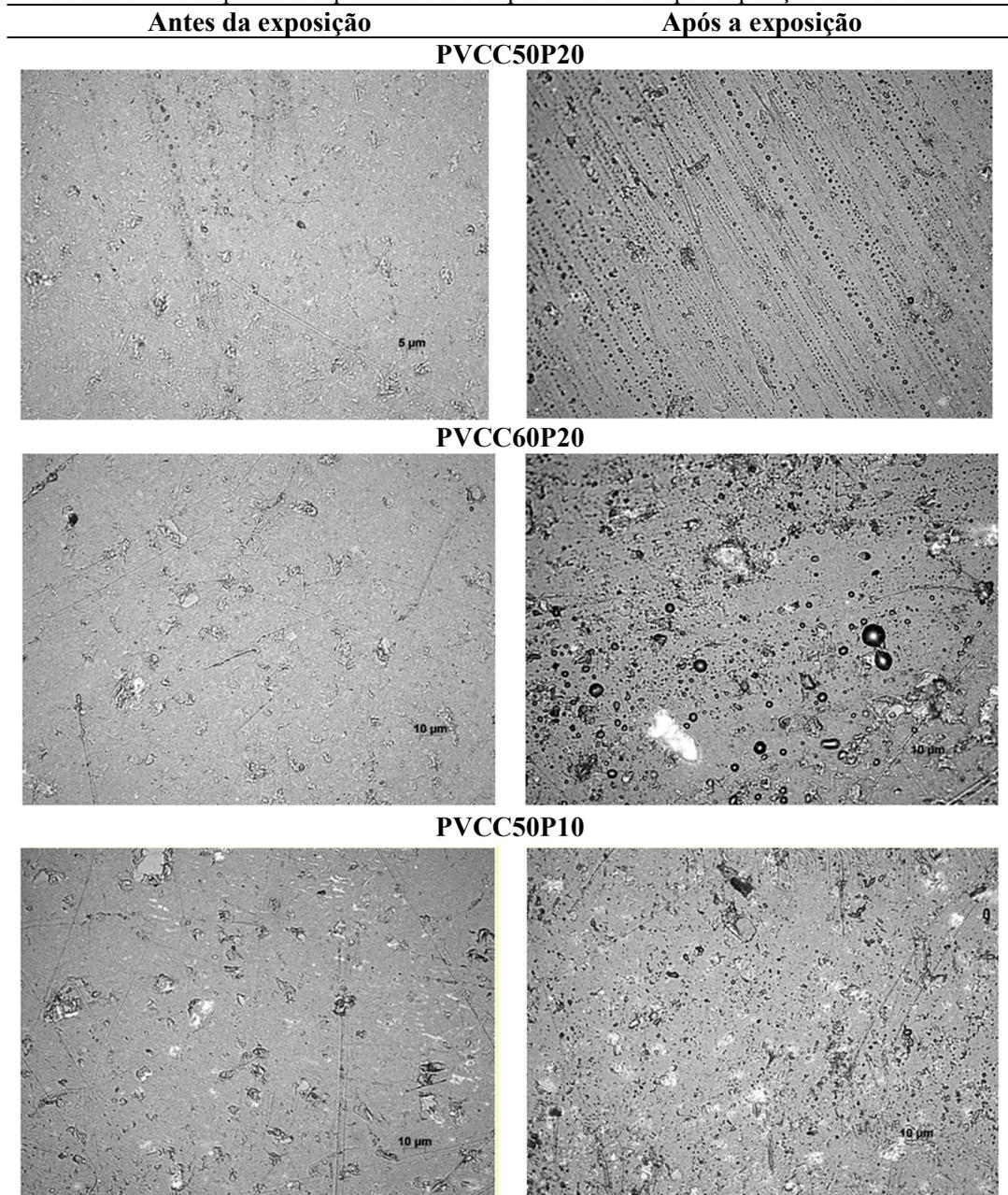


Figura 38 – Comparação da Dureza (Shore D) após exposição à névoa salina dos compostos de PVC.

A Tabela 15 apresenta o comparativo das superfícies dos compostos após exposição.

Tabela 15 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após exposição à névoa salina.



Através das micrografias, foi possível observar o surgimento de poros nos três compostos, após a exposição ao meio salino. Esses pontos de degradação podem estar associados à presença de  $\text{CaCO}_3$  em suas composições, pois o carbonato é solúvel ao entrar em contato com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera. Segundo Silva (2016), o  $\text{CO}_2$  tem a capacidade de acelerar a degradação por carbonatação e a presença do  $\text{NaCl}$  pode potencializar este processo. Isso pode justificar o fato de que o PVCC60P20, por possuir maior concentração de carga, apresentou poros maiores e, conseqüentemente, um maior decréscimo em sua dureza.

#### 4.4.2 Envelhecimento acelerado

A Figura 39 apresenta o resultado de dureza *Shore D* dos compostos após envelhecimento acelerado. O PVCC60P20 e o PVCC50P10 não apresentaram mudanças significativas, porém o PVCC50P20 apresentou um decréscimo de 3,2 % em sua dureza.

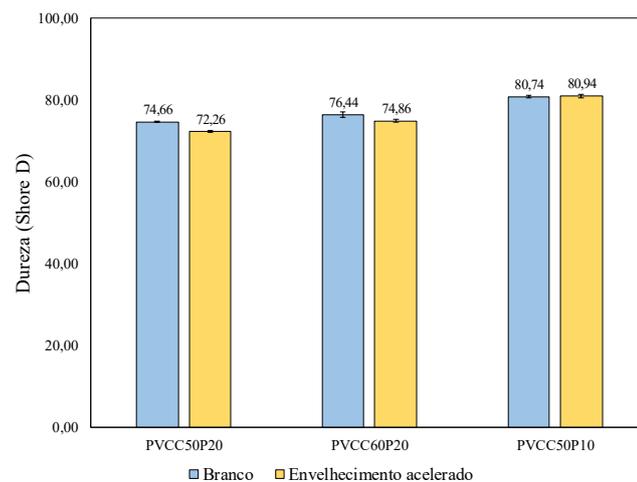
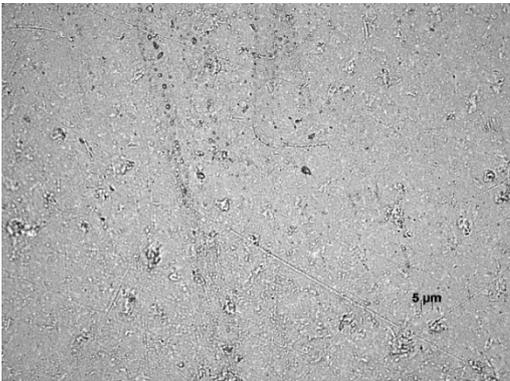
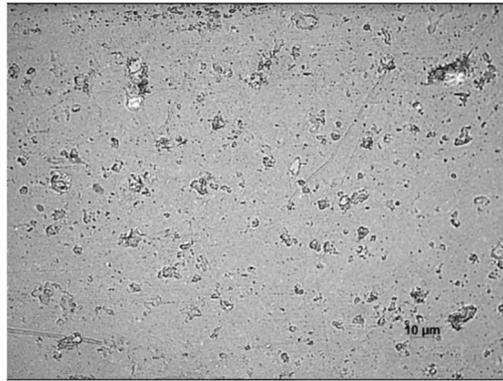
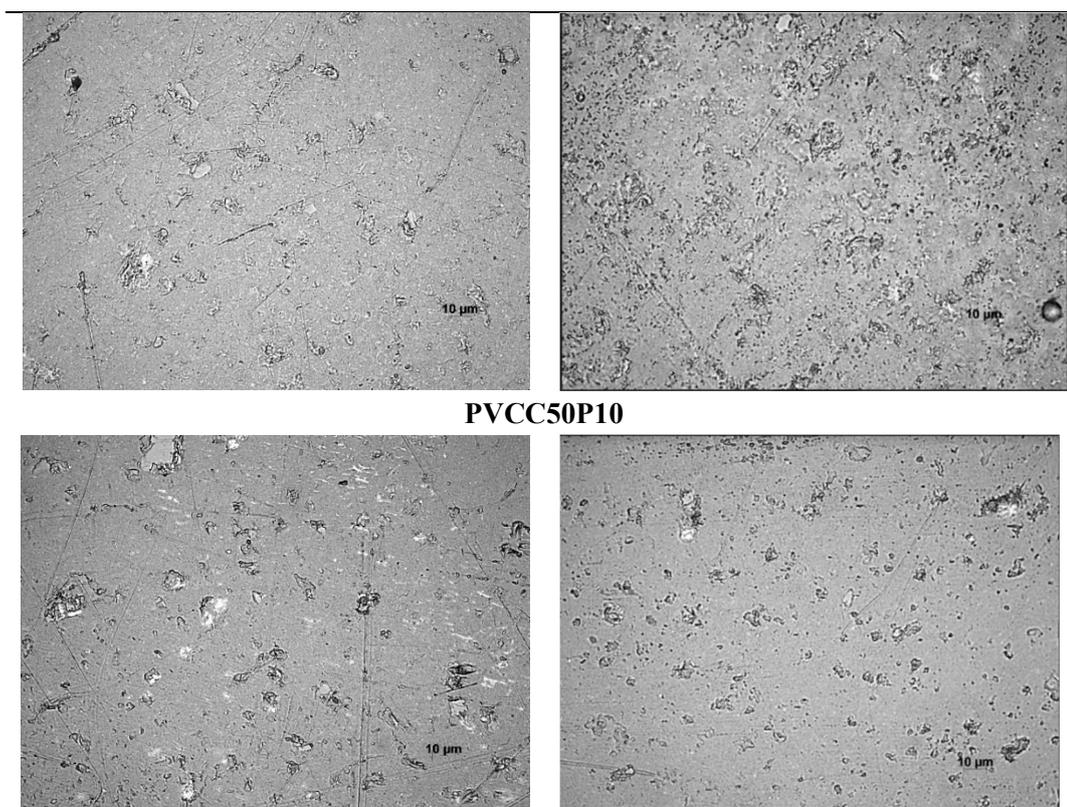


Figura 39 – Comparação da Dureza (Shore D) após envelhecimento acelerado dos compostos de PVC.

A Tabela 16 apresenta o comparativo das superfícies dos compostos após o envelhecimento por radiação ultravioleta, sem simulação de neblina e chuva.

Tabela 16 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após envelhecimento acelerado.

| Antes do envelhecimento   | Após o envelhecimento  |
|---|--|
| <b>PVCC50P20</b>  |  |
|  |  |
| <b>PVCC60P20</b>  |  |



PVCC50P10

Através das micrografias, foi possível observar riscos superficiais, que podem ter sido originados durante o processamento ou manuseio das placas confeccionadas para confecção das amostras. Ao avaliar as superfícies, pôde-se verificar também que houve algumas modificações no polímero, porém não se pode afirmar se houve alguma modificação física. Essas modificações podem ocorrer a depender do comprimento de onda. O meio em que a amostra está exposta influencia muito na degradação, como a distância entre a fonte de radiação e o material que está sendo irradiado, além do tempo de exposição e do comprimento da onda. O PVC, por exemplo, absorve UV com comprimentos de onda abaixo de 220 nm, uma degradação que possivelmente ocorreu acima de 250 nm pode ter ocorrido devido a presença de impurezas ou defeitos.

Sugere-se que pode ter ocorrido a reação de desidrocloração no PVC, que gera os polienos que dão cor as amostras, modificando a aparência do PVC. Essa reação pode oxidar o polímero, formar ligações cruzadas ou promover a cisão das ligações (SBAMPATO, 1984). Sugere-se também que houve uma pequena modificação no polímero, porém a presença do negro de fumo, que é um absorvedor de UV e a presença do estabilizante e antioxidante podem ter evitado uma degradação completa do PVC.

Os estabilizantes possuem um papel de grande importância no PVC, no composto estudado utilizou-se um co-estabilizante orgânico de óleo de soja epoxidado, ele atua no polímero neutralizando o HCl, transferindo-o para o estabilizante térmico principal. Os estabilizantes são considerados fracos ao atuarem sozinhos, o que justifica a adição de um co-estabilizante (RODOLFO JR & MEI, 2007). A partir disso, sugere-se estudos futuros adicionando um estabilizante térmico principal, pois o co-estabilizante pode não ter atuado de forma satisfatória. Os antioxidantes são utilizados para evitar o início das reações causadas pela passagem da luz, eles atuam minimizando a constituição dos grupos carbonila e evitam a propagação dos radicais livres presente na luz ultravioleta (FOX, HENDRICKS & RATTI, 1949)

#### 4.4.3 Resistência química

A Figura 40 apresenta o resultado de dureza *Shore D* dos compostos após a imersão nos fluidos. Não foi possível identificar variações significativas entre os valores obtidos para os três compostos.

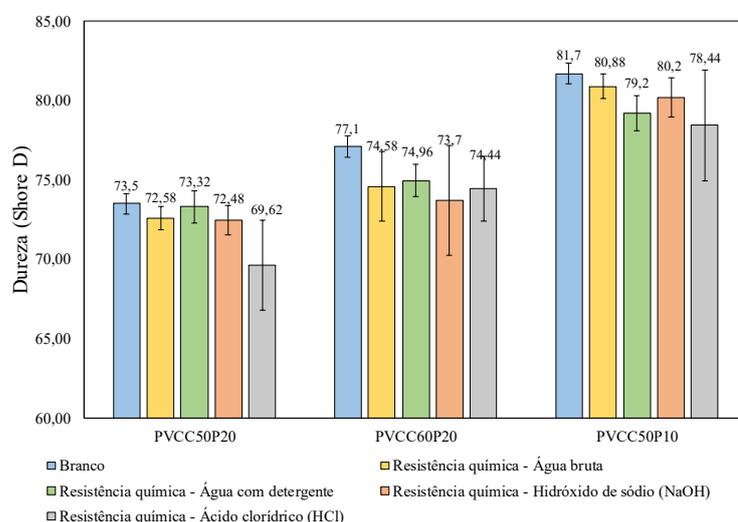


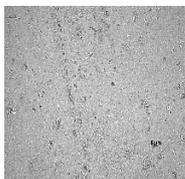
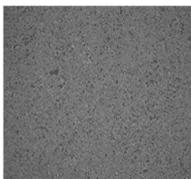
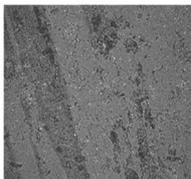
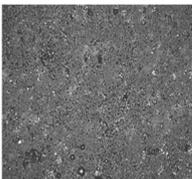
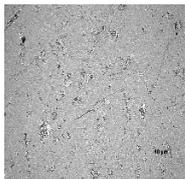
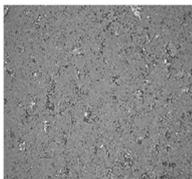
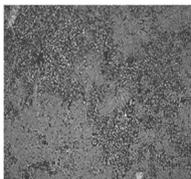
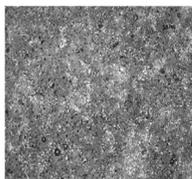
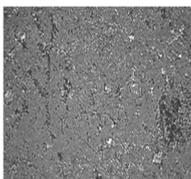
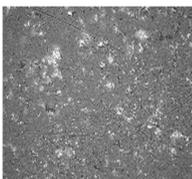
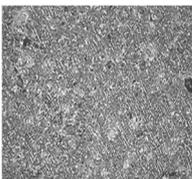
Figura 40 – Comparação de Dureza (Shore D) após imersão em soluções dos compostos de PVC.

A Tabela 17 apresenta o comparativo das superfícies dos compostos após a imersão em água bruta, água com detergente, solução de hidróxido de sódio e solução de ácido clorídrico, para identificar a resistência à degradação dos materiais nos fluidos que são normalmente são transportados em tubulações de utilidades. A degradação é o processo que provoca alterações irreversíveis nas propriedades dos polímeros de modo que possa ser

evidenciada pela variação indesejada diante as propriedades, como a resistência mecânica e aspectos visuais (DE PAOLI, 2008).

Através das micrografias, foi possível observar que os compostos imersos em NaOH apresentaram maior diferença superficial, concentrada nas regiões mais escuras. Desta forma, faz-se necessária uma análise maior da resposta dos compostos quando imerso nesta solução básica.

Tabela 17 – Comparativo superficial dos compostos de PVC após imersão em fluidos.

| Antes da imersão  | Água bruta  | Água com detergente   | NaOH  | HCl   |
|---|---|---|---|---|
| <b>PVCC50P20</b>  |   |   |   |   |
|    |    |    |    |    |
| <b>PVCC60P20</b>  |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| <b>PVCC50P10</b>  |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |

A Tabela 18 apresenta a sumarização dos resultados de resistência química dos compostos, de acordo com a classificação de resistência química dos compostos de PVC (RODOLFO JR., NUNES & ORMANJI, 2006, 297-310 p). Todos apresentaram desempenho satisfatório quando em contato com água bruta, solução de água com detergente e ácido clorídrico. Os resultados encontrados corroboram também com o encontrado para os papelões hidráulicos (Anexo A).

Tabela 18 – Resistência química à temperatura ambiente dos compostos de PVC.

|                  | Água bruta | Água com detergente | NaOH | HCl |
|------------------|------------|---------------------|------|-----|
| <b>PVCC50P20</b> | S          | S                   | S*   | S   |
| <b>PVCC60P20</b> | S          | S                   | S*   | S   |
| <b>PVCC50P10</b> | S          | S                   | S*   | S   |

S: satisfatório; S\*: satisfatório, porém é necessário melhor avaliação.

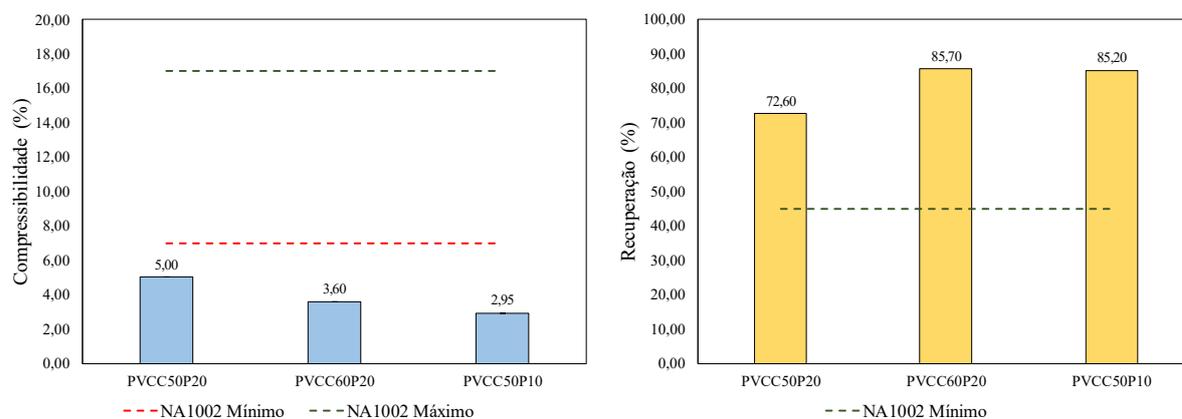
#### 4.5 Caracterização dos materiais para juntas e avaliação de aplicação

As características das juntas desenvolvidos foram comparadas com a junta de papelão hidráulico de fibra aramida e NBR (NA1002) da Teadit Indústria e Comércio Ltda, material que é utilizado nas instalações dos sistemas de utilidades das unidades industriais da Braskem S.A., para serviços de água de incêndio, água de resfriamento (suprimento/retorno), água oleosa e água limpa. Para este tipo de especificação de tubulação (BR50), as temperaturas limites de serviço inferior e superior são 0 e 60°C, respectivamente. O *datasheet* da NA1002 encontra-se no Anexo B.

##### 4.5.1 Compressibilidade e recuperação

A Figura 41 apresenta os resultados de compressibilidade e recuperação encontrados para as juntas de PVC. A compressibilidade indica a capacidade do material de se acomodar às imperfeições dos flanges, como arranhões ou ranhuras. Quanto maior a compressibilidade, mais facilmente o material preenche as irregularidades (VEIGA, 2014). A recuperação está relacionada à compressibilidade e mede a capacidade de um material com uma compressibilidade específica em manter uma vedação durante as transições de flange encontradas no serviço (HASHA, 2011).

Observou-se que os três compostos apresentaram baixa compressibilidade (2,95 – 5%), inferior ao material de referência (7 – 17%). Em contrapartida, apresentaram altos valores para recuperação, variando entre 72,60 e 85,20%, superior ao valor mínimo do papelão hidráulico (45%). As três juntas apresentaram altos valores de dureza Shore D (73,5 – 81,7), caracterizando-as como materiais que apresentam baixa maleabilidade. Juntas mais rígidas requerem uma força de esmagamento maior do que as macias (VEIGA, 2014), e, portanto, não se acomodariam às imperfeições dos flanges com tanta facilidade, apresentando baixa compressibilidade.



41 – Compressibilidade e recuperação (%) dos compostos de PVC.

Segundo Onat (2008), os materiais que possuem alta densidade ( $>1,36 \text{ g/cm}^3$ ) apresentam baixo grau de compressibilidade, porém excelente resistência ao esmagamento e retenção de torque. Já os de baixa densidade ( $<0,88 \text{ g/cm}^3$ ), apresentam alto grau de compressibilidade, porém não possuem retenção de torque suficiente para aplicações mais exigentes. Os que possuem densidade intermediária têm propriedades equilibradas entre os dois e podem ser usados em juntas que não exijam resistência mecânica. Sendo assim, os resultados encontrados corroboram com o fato de que materiais com alta densidade, no geral, apresentam baixa compressibilidade.

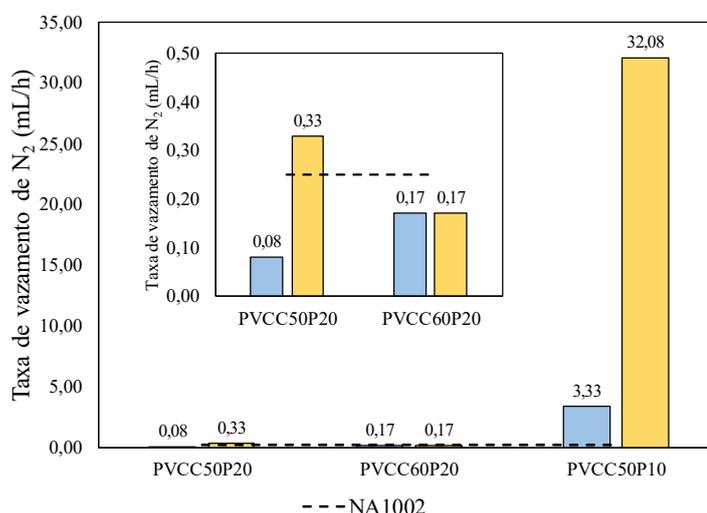
Compreender o comportamento de compressibilidade e recuperação do material utilizado para a vedação é importante porque ao longo dos períodos de uso, as juntas tendem a se mover devido aos ciclos térmicos da operação, mudanças climáticas ou variação de carga. Um material que comprime facilmente, mas não possui uma boa recuperação, pode não ser eficiente em um sistema que apresenta muito ciclismo (HENNING GASKET & SEALS).

#### 4.5.2 Selabilidade

A Figura 42 apresenta os resultados de selabilidade encontrados para as juntas de PVC. No aspecto das emissões fugitivas, a capacidade de vedação de uma junta é provavelmente a propriedade mais importante, e a adaptabilidade do material ao flange pode aumentá-la. Sendo assim, o projeto da junta, bem como a seleção dos seus materiais devem ser levados em consideração para obter os melhores resultados operacionais, evitando a perda de fluidos e, conseqüentemente, impacto ambiental e aos operadores (FSA & ESA, 2017). A selabilidade indica a capacidade do material de vedar um fluido sob condições controladas.

Seu resultado é uma medida de quanto fluido escapa de uma superfície do flange e é expresso como uma taxa de vazamento (VEIGA, 2014).

Observou-se que os valores em duplicata para as juntas PVCC50P20 e PVCC50P10 apresentaram valores significativamente diferentes, com 76 e 90% de aumento, respectivamente. Esta diferença de resultados pode ser justificada pela variação considerável da espessura das amostras. Já a junta PVCC60P20 apresentou taxas de vazamento constante para as duas amostras (0,17 mL/h). Para juntas não metálicas, recomenda-se a seleção de materiais finos (espessura  $\leq 1,5$  mm), pois quanto menor área de superfície exposta ao fluido, menor será a possibilidade de o fluido permear através do material (FSA & ESA, 2017).



42 – Taxa de vazamento (mL/h) de N<sub>2</sub> dos compostos de PVC.

A junta NA1020 apresenta taxa de vazamento típica de 0,25 mL/h e, sendo assim, o PVC60P20 apresentou selabilidade superior ao material de referência, bem como uma das duplicatas do PVCC50P20. Diante dos altos desvios, criou-se uma barreira para a avaliação efetiva das selabilidade das juntas, o que reforça a importância da padronização dimensional das juntas produzidas via prensagem.

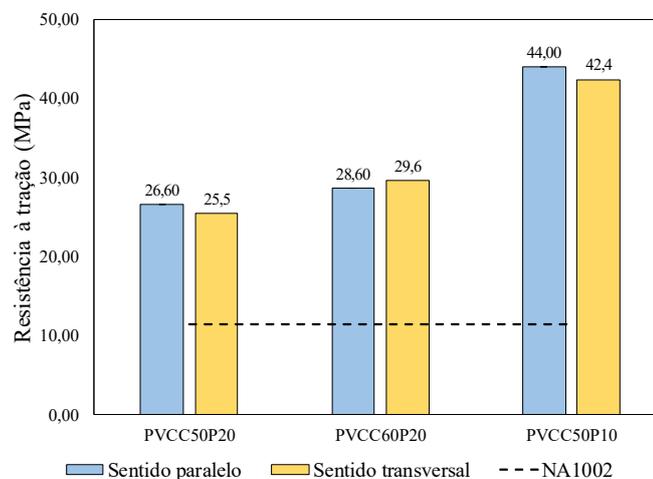
Se tratando de selabilidade, a densidade também é uma das propriedades que mais influencia o desempenho da junta, pois a sua capacidade de vedação está intimamente relacionada à quantidade de poros dos materiais. Segundo Onat (2008), usualmente, quanto maior a densidade, melhor é o desempenho da vedação. Materiais que possuem baixa densidade apresentam alto grau de compressibilidade, porém não vedam tão bem quanto os de alta densidade. Os que possuem densidade intermediária, têm propriedades equilibradas entre

os dois e podem ser usados em juntas que não exijam resistência mecânica ou alta capacidade de vedação. Sendo assim, os resultados encontrados para as juntas de PVC corroboram com o fato de que materiais com alta densidade, no geral, apresentam boa selabilidade.

As juntas atuam como selos, formando uma barreira física contra o fluido e bloqueando os caminhos potenciais de vazamento logo, as propriedades de compressibilidade e recuperação também são importantes para o funcionamento eficiente do sistema de vedação, pois o material da junta deve se acomodar às irregularidades da superfície dos flanges e se adaptar aos ciclos térmicos.

#### 4.5.3 Resistência à tração

A Figura 43 apresenta os valores obtidos para a resistência à tração das juntas de PVC. O ensaio foi realizado tanto no sentido paralelo à laminação, quanto no sentido transversal, devido aos esforços sofridos pela junta quando aplicada (radial, separação, vedação). Observou-se que a PVCC50P10 apresentou maior resistência à tração nos dois sentidos, ou seja, teve a maior força máxima aplicada. Este resultado pode ser associado à rigidez do material, visto que apresentou maior valor de dureza *Shore D*. Ao analisar os resultados, pôde-se perceber também que o teor de plastificante foi determinante para o aumento do valor de resistência, pois ao compará-la com a PVCC50P20, que possui a mesma quantidade de carga, porém o dobro de plastificante, obteve-se uma menor rigidez.



43 – Resistência à tração dos compostos de PVC.

A junta NA1020 apresenta resistência à tração típica de 11,5 MPa e, sendo assim, todos as três juntas obtiveram valores superiores ao papelão hidráulico. A junta PVCC50P20, mesmo apresentando os menores valores, resistiu aproximadamente três vezes mais do que o material de referência e a PVCC50P10, que obteve melhor desempenho, apresentou-se cerca de quatro vezes mais resistente.

#### 4.5.4 Relaxamento (*creep*)

A Figura 44 apresentada os valores obtidos para o relaxamento (*creep*) das juntas de PVC. O relaxamento indica a capacidade da junta em manter o aperto ao longo do tempo, e um material estável retém o aperto após uma perda inicial (VEIGA, 2014). Foi possível observar que a junta PVCC50P10 obteve maior valor  $P_{QR}$ , o que pode ser associado a menor quantidade de plastificante quando comparada aos outros compostos. O teor de carga não interferiu nos resultados, a PVCC60P20, mesmo com maior quantidade de  $\text{CaCO}_3$ , teve menor valor de,  $P_{QR}$  ou seja, menor relaxamento.

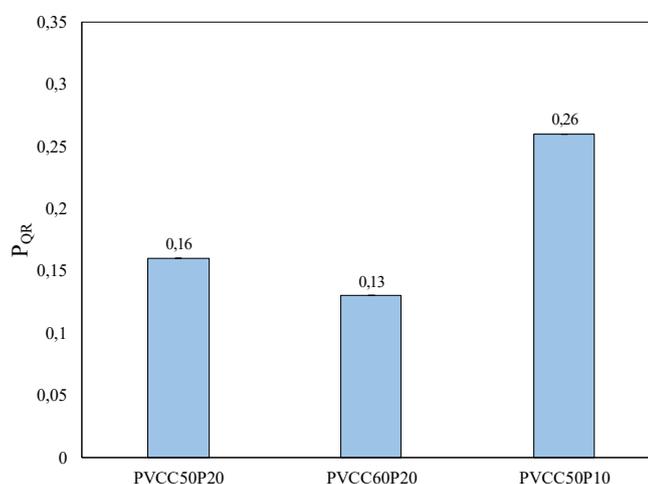


Figura 44 – Relaxamento ( $P_{QR}$ ) dos compostos de PVC.

Os papelões hidráulicos apresentam relaxamento típicos superior a 0,5 e, sendo assim, todos as três juntas obtiveram valores inferiores ao material de referência. Para o aumento do relaxamento, poderia ser reduzido o teor de plastificante, a fim de reduzir a temperatura de amolecimento e aumentar o teor de estabilizante térmico, para que as juntas possam resistir a maiores temperaturas. Para o enchimento de juntas não metálicas, é indicado o uso de sílica, argila, mica, grafite em pó e sulfato de bário (FSA & ESA, 2017).

## 5 CONCLUSÕES

Neste estudo, foi possível desenvolver materiais para juntas de flange com PVC aditivado, através de calandragem e prensagem, e que apresentaram características intermediárias aos materiais usualmente utilizados.

Diante as análises térmicas realizadas, as variações feitas a partir da aditivação do PVC, tiveram a temperatura de degradação muito superior à temperatura de trabalho. Porém, conforme o teste de temperatura de amolecimento Vicat, os valores obtidos foram menores ou próximos da temperatura de utilização, em que tem influência pela quantidade de plastificante presente no composto, onde o aditivo permite uma maior facilidade de penetração da agulha. A presença do plastificante nos compostos diminui a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) devido a maior troca de calor obtida pelo afastamento e mobilidade adquirida na cadeia polimérica. Em contrapartida, foi visto que o plastificante proporcionou aos compostos estabilidade térmica comparada com a temperatura de degradação do pvc puro, entretanto observa-se que o PVCC50P10 que possui menor quantidade de plastificante, apresentou menor temperatura de degradação comparada com as outras formulações

Através das análises de degradação, foi visto de forma quantitativa que a dureza do material não modifica de forma significativa diante todos os ambientes que os materiais foram submetidos. Porém, através da avaliação qualitativa das análises morfológicas de forma superficial, foi possível notar que houve aparecimento de poros e faixas mais escuras em alguns casos, fazendo-se necessário uma análise através de microscópios com capacidade para maiores ampliações para identificação de possíveis pontos de fragilização ou influência de algum dos aditivos presente nos compostos.

Análises físico-mecânicas mostraram a influência dos aditivos nas formulações. Os três compostos apresentaram baixa resistência à compressão, uma vez que o  $\text{CaCO}_3$ , em alto teor, agiu como carga de enchimento e contribuiu para a diminuição das propriedades compressivas dos compostos, além disto pode associar a maior densidade dentre as três variações testadas à maior quantidade de carga e plastificante presente.

A elevada dureza Shore D dos materiais das juntas influenciou as características de compressibilidade, devido ao fato de que devido de que materiais menos maleáveis não se acomodam às imperfeições dos flanges com tanta facilidade, apresentando baixa compressibilidade. Em contrapartida, apresentaram altos valores de recuperação, maior que o

valor do material de referência. As juntas de PVC, no geral, apresentaram boa selabilidade, em decorrência da alta densidade dos materiais, visto que a capacidade de vedação está intimamente relacionada à quantidade de poros dos materiais.

A alta resistência à tração dos três compostos está ligada a dureza do material, em que foi totalmente satisfatória para a aplicação, apresentando cerca de três vezes mais resistência do que o material usado como base, sendo influenciada principalmente pela quantidade de plastificante presente no composto. Porém, para os valores de relaxamento, os resultados foram menores, cerca de metade da percentagem aceitável, do que os encontrados no material de referência, sendo necessário um estudo com substituição de carga ou redução de plastificante para aumento de rigidez.

O desenvolvimento deste estudo abre caminhos para a realização de outras pesquisas baseadas no uso do PVC como matriz para materiais de junta de flange. Como resultado, foi desenvolvido um *datasheet* das juntas (Apêndice D), com todas as informações técnicas apresentadas neste trabalho.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Realizar planejamento de experimentos (DOE) para melhor avaliação dos parâmetros na influência das características e propriedades finais das juntas;
- b) Estudar a adição de NBR com diferentes teores de acrilonitrila para avaliar o comportamento físico-mecânico da blenda e compressibilidades das juntas;
- c) Estudar a adição de microesferas de vidro, em substituição ao  $\text{CaCO}_3$ , para avaliar a melhoria o ganho em flexibilidade das juntas;
- d) Realizar análise de vazamento com ciclo térmico das juntas
- e) Estudar a viabilidade econômica do projeto.

## REFERÊNCIAS

AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. São Paulo: Manole Ltda, 2007.

ALVES, J. P. D.; RODOLFO JR., A. Análise do processo de gelificação de resinas e compostos de PVC suspensão. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 2, p. 165-173, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B 16.21: Nonmetallic Flat Gaskets for Pipe Flanges**. Nova Iorque: ASME, 1992.

\_\_\_\_\_. **ASME B 16.5: Pipe flanges and flanged fittings**. Nova Iorque: ASME, 2003.

\_\_\_\_\_. **ASME PCC-1: Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly**. Nova Iorque: ASME, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D543: Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents**. Pensilvânia: ASTM, 2001.

\_\_\_\_\_. **ASTM D792: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Pensilvânia: ASTM, 2008.

\_\_\_\_\_. **ASTM B117: Standard Practice For Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. Pensilvânia: ASTM, 2011.

\_\_\_\_\_. **ASTM D4329: Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus Exposure of Plastics**. Pensilvânia: ASTM, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM F37: Standard Test Methods for Sealability of Gasket Materials**. Pensilvânia: ASTM, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM F36: Standard Test Method for Compressibility and Recovery of Gasket Materials**. Pensilvânia: ASTM, 2015.

\_\_\_\_\_. **ASTM D1525: Standard Test Method for Vicat Softening Temperature of Plastics**. Pensilvânia: ASTM, 2017.

\_\_\_\_\_. **ASTM F15: Standard Test Methods for Tension Testing of Nonmetallic Gasket Materials**. Pensilvânia: ASTM, 2017.

ANDRADE, L.C.M *et al.* **Programa de certificação de pessoal de caldeiraria: caldeiraria: tubulação industrial**. 1997. Apostila - Vitória, ES: SENAI, Serra, ES: CST, 1997. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/42694308/apostila-caldeiraria-tubulacao-industrial-senai> Acesso em: 20 mar. 2019.

ANON, M. C. **Curso básico intensivo de plásticos**. Niterói: Jornal de Plásticos, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8094**: material metálico revestido e não revestido: corrosão por exposição à névoa salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

BRASKEM. **Folha de Dados**. Policloreto de Vinila NORVIC® SP767RA. 4. rev. Out/2018. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/busca-de-produtos?utm\\_source=Site&utm\\_medium=Menu&utm\\_campaign=Busca-de-Produtos](https://www.braskem.com.br/busca-de-produtos?utm_source=Site&utm_medium=Menu&utm_campaign=Busca-de-Produtos)Acesso em: 20 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Boletim Técnico**: Propriedades de referência dos compostos de PVC. 1. ed. Jul/2002. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Tabela\\_de\\_Propriedades\\_de\\_Referencia\\_dos\\_Compostos\\_de\\_PVC.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf). Acesso em: 03 mar. 2019.

\_\_\_\_\_. **Boletim Técnico**: Propriedades de referência dos compostos de PVC. 1. ed. Jul/2002. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Tabela\\_de\\_Propriedades\\_de\\_Referencia\\_dos\\_Compostos\\_de\\_PVC.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf). Acesso em: 03 mar. 2019.

BASF. **Technical Data Sheet**. Irganox® 1076. 2. rev. Abr/2015.

CABOT. **MONARCH® 700 SPECIALTY CARBON BLACK**. Disponível em: <http://www.cabotcorp.com.br/~media/files/product-datasheets/datasheet-monarch-700pdf.pdf>. Acesso em: 01 out. 2018.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos Polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CARPIO, D.C.F. D. **Degradação físico-química do PVC causada por derivados de petróleo. Capítulo 3**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15128/15128\\_4.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15128/15128_4.PDF). Acesso em: 8 jun. 2019.

CHEMSON. **Informativo Técnico**. NAFTOSAFE CZ-6530. 2. rev. Mar/2018.

COLORO, L.; PITTA, J. B.; MADALENO, E. Performance evaluation of new plasticizers for stretch PVC films. **Polymer Testing**, v. 32, n. 2, p. 272-278, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941812002255?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2019.

DE PAOLI, M. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2ª versão on-line – 2008. Disponível em: <http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2019.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 13555**. Flanges and their joints - Gasket parameters and test procedures relevant to the design rules for gasketed circular flange connections. Berlin: DIN, 2014.

FARIA JR., J. M. **Monitoramento in-situ e em tempo real de variáveis morfológicas do PVC com o uso de uma sonda NIR2008**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FLUID SEALING ASSOCIATION; EUROPEAN SEALING ASSOCIATION. **GASKET HANDBOOK** 1. ed. Pensilvania: FSA; Morzine: ESA, 2017. Disponível em: [https://www.eurosealing.com/wpcontent/uploads/2018/05/Gasket\\_Handbook\\_1st\\_Edition.pdf](https://www.eurosealing.com/wpcontent/uploads/2018/05/Gasket_Handbook_1st_Edition.pdf). Acesso em: 20 mai. 2019.

FOLLMANN, H. D. M. **Utilização de derivados da glicerina na produção de plastificantes**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: [https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/22384/Dissertacao\\_HevelineFollmann\\_biblioteca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/22384/Dissertacao_HevelineFollmann_biblioteca.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 fev. 2019.

FOX, V. W.; HENDRICKS, J. G.; RATTI, H. J. Degradation and stabilization of polyvinyl chloride. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 41, n. 8, p. 1774-1779, 1949. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50476a060>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GARCIA, A. F. C. P. **Análise experimental e computacional de parâmetros-chave em juntas de material compósito**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012177.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

HASHA, B. What Gasket Properties Are Most Important, and How Do I Use Them? **Pump & Systems**, 2011. Disponível em: <https://www.pumpsandsystems.com/topics/seals/what-gasket-properties-are-most-important-and-how-do-i-use-them>. Acesso em: 20 mai. 2019.

HENSON, J. H. L.; WHELAN, A. **Developments in PVC technology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 1973.

HOLANDA, B. C. de. **Estudo comparativo da influência térmica e mecânica de aditivos colorantes no PVC rígido**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156786/000902268.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 mar. 2019.

HONEYWELL INTERNATIONAL. **A-C® 316A**. 2018. Disponível em: <https://www.additiveschemicals-honeywell.com/performance-additives/tds/?pid=1382>. Acesso em: 01 out. 2018.

INSTITUTO DO PVC. **O que é PVC**. Disponível em: <https://pvc.org.br/o-que-e-pvc>. Acesso em: 20 fev. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 306**: Plastics - Thermoplastic materials - Determination of Vicat softening temperature (VST). ISO, 2003. \_\_\_\_\_. **ISO 1183-1**: Plastics - Methods for determining the density of non-cellular plastics - Part: Immersion method, liquid pyknometer method and titration method. ISO, 2012.

Interpreting ASTM F36 Compressibility Data. **Henning Gasket & Seals**. Disponível em: <https://www.henniggasket.com/gasket-answers/faqs/interpreting-astm-f36-compressibility-data/>. Acesso em: 20 mai. 2019.

ISHIAKU, U. S. *et al.* Mechanical properties and thermooxidative aging of a ternary blend, PVC/ENR/NBR, compared with the binary blends of PVC. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 38, n. 5, p. 939-954, 1999. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03602559909351623>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

LACANA, R. O. **Influência das propriedades metalúrgicas na vedação de flanges através de juntas de aço inoxidável AISI 316**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016580.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MACHADO, R.A.F.; SCHLISCHTING, R.; NOGUEIRA, A.L. **Polímeros e reações de polimerização**. 2002. Apostila – Laboratório de Controle de Processos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MADALENO, E. *et al.* Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 263-270, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v19n4/04.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MARQUES, R. P.; COVAS, J. A. **Processing characteristics of U-PVC compounds**. Estarreja: Companhia Industrial de Resinas Sintéticas, 2003.

MARTINS, G. S. *et al.* Caracterização mecânica e térmica de compósitos de poli (cloreto de vinila) reforçados com fibras de sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, n. 5, p. 326-333, 2004.

MEDEIROS, F. A. **Caracterização da blenda poli (cloreto de vinila) e poli (metacrilato de metila)**: processamento, propriedades e potencial de aplicação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-19032015-170252/en.php>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MICRON-ITA. **Boletim Técnico**. Micron 1/9CD. n. BT1/9CD. Disponível em: <http://www.micron-ita.com.br/pdfs/BT0012.pdf>. Acesso em: 01 out. 2018.

MICHAELI, W., GREIF, H., KAUFMANN, H. **Tecnologia dos plásticos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

MIRANDA, R. *et al.* Vacuum pyrolysis of PVC I. Kinetic study. **Polymer degradation and stability**, v. 64, n. 1, p. 127-144, 1999.

ONAT, A. The effects of sealing materials on elimination of fugitive emissions. **Materials & Design**, v. 29, n. 2, p. 533-538, 2008.

PASSADOR, F. R. **Desenvolvimento de blendas poliméricas PVC/NBR através de processamento reativo e vulcanização dinâmica in situ**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/769/1971.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 jun. 2019.

PASSADOR, F. R.; PESSAN, L. A.; RODOLFO JR., A. Blendas PVC/NBR por processamento reativo II: Caracterização físico-mecânica e morfológica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 87-91, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v18n2/a04v18n2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PASSATORE, C. R. **Química dos Polímeros: 3º Módulo**. São Paulo, 2013. Disponível em: [https://www.academia.edu/22827888/QU%C3%8DMICA\\_DOS\\_POL%C3%8DMEROS\\_3\\_M%C3%93DULO\\_T%C3%89CNICO\\_EM\\_QU%C3%8DMICA](https://www.academia.edu/22827888/QU%C3%8DMICA_DOS_POL%C3%8DMEROS_3_M%C3%93DULO_T%C3%89CNICO_EM_QU%C3%8DMICA). Acesso em: 25 fev. 2019.

PEDROZO, T. H. **Ésteres etílicos epoxidados do óleo de milho como plastificante alternativo para o PVC**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/22378/Dissertacao%20Tiago%20H%20Pedrozo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2019.

PEREIRA, J. B. S. **Forças atuando em ligação flangeada**. Disponível em: <http://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/For%C3%A7as-atuandoliga%C3%A7%C3%A3o-flangeada.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2019.

PEREIRA, M. B. **Dimensionamento, modelagem e simulação de uma coluna de stripping experimental para a remoção de monômero do PVC**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

PEREIRA, M. R. S. **Criação de novo procedimento que possibilite a rastreabilidade das tubulações de uma indústria química**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, São Paulo, 2011. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/handle/1144\\_9/120515](https://repositorio.unesp.br/handle/1144_9/120515). Acesso em: 20 fev. 2019.

PERITO, E. D. **Estudo de plastificantes alternativos ao dioctilftalato (DOP) para um composto de poli (cloreto de vinila) (PVC)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/712/Dissertacao%20Eder%20Dutra%20Perito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2019.

PIATTI, T.; RODRIGUES, R. **Plásticos: Características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió: EDUFAL, 2005. Disponível em: [http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos\\_caracteristicas\\_usos\\_producao\\_e\\_impactos\\_ambientais.pdf](http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf). Acesso em: 05 mar. 2019.

PITA, V. J. R. R.; MONTEIRO, E. E. C. Estudos térmicos de misturas PVC/plastificantes: caracterização por DSC e TG. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 50-56, 1996.

RABELLO, M. S. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2000.

RODOLFO JR. A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 1. ed. São Paulo: Proeditores/Braskem, 2002.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2. ed. São Paulo: Proeditores/Braskem, 2006.

RODOLFO JR., A; MEI, L. H. I. Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC: a review. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, n. 3, p. 263-275, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v17n3/14.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

RODRIGUES, D. P. **Projeto de juntas de vedação não-metálicas para conexões flangeadas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019142.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

SBAMPATO, M. E. **Degradação de Poli(cloreto de vinila) por Raios X**. 1984. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984. Disponível em: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/18/098/18098069.pdf?r=1&r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/098/18098069.pdf?r=1&r=1). Acesso em: 20 mai. 2019.

SILVA, A. C. O. **Degradação de pastas para cimentação de poços de petróleo expostas ao CO<sub>2</sub> supercrítico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016. Disponível em: [file://vsmc0610.braskem.corp.net/RoamingProfile\\$/isasan01/Downloads/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20DE%20MESTRADO%20ANA%20CLAUDIA%20OLIVEIRA%20DA%20SILVA.pdf](file://vsmc0610.braskem.corp.net/RoamingProfile$/isasan01/Downloads/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20DE%20MESTRADO%20ANA%20CLAUDIA%20OLIVEIRA%20DA%20SILVA.pdf). Acesso em: 20 abr. 2019.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Quim. Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

TEADIT. **Papelão hidráulico V 25**. Data Sheet. Jul/2016. Disponível em:  
<https://www.teadit.com//storage/yfnrH8eOBYJYx9AYDg3bWjxB2zXr9xaxmv6sQVhy.pdf>.  
Acesso em: 03 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. **Papelão hidráulico NA 1002**. Data Sheet. Jul/2016. Disponível em:  
<https://www.teadit.com//storage/ravXBoL0cAGGrx7z6WINjm4kdbac1otSXkYS4kIo.pdf>.  
Acesso em: 20 mai. 2019

\_\_\_\_\_. **Compatibilidade Química**. Disponível em:  
<http://www.teadit.com/br/catalogos/tabcompatibilidadequimicaph.pdf>. Acesso em: 9 mar.  
2019.

TELLES, P. C. S. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

TITOW, W. V. **PVC technology**. 1. ed., Amsterdam: Springer Netherlands, 1984.

VEIGA, José Carlos. **Juntas industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: Teadit Indústria e Comércio, 2014.

ZAIONCZ, S. **Estudo do efeito de plastificação interna do PVC quimicamente modificado**. 2004. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004. Disponível em:  
<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3513/SoraiaZaionczA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ZARZAR JR., F. C.; HOLANDA, M. G. O PVC: características técnicas, vantagens e relação com o meio ambiente. *In*: Semana nacional de ciência e tecnologia do IFPE, 2., 2011, Caruaru. **Anais [...]**. Caruaru: IFPE, 2011. Disponível em:  
[http://www.cin.ufpe.br/~lsc4/snct2011/files/SNCTIFPE\\_0009](http://www.cin.ufpe.br/~lsc4/snct2011/files/SNCTIFPE_0009). Acesso em: 07 mar. 2019.

WYPYCH, Anna. **Databook of Plasticizers**. 2nd ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2017.







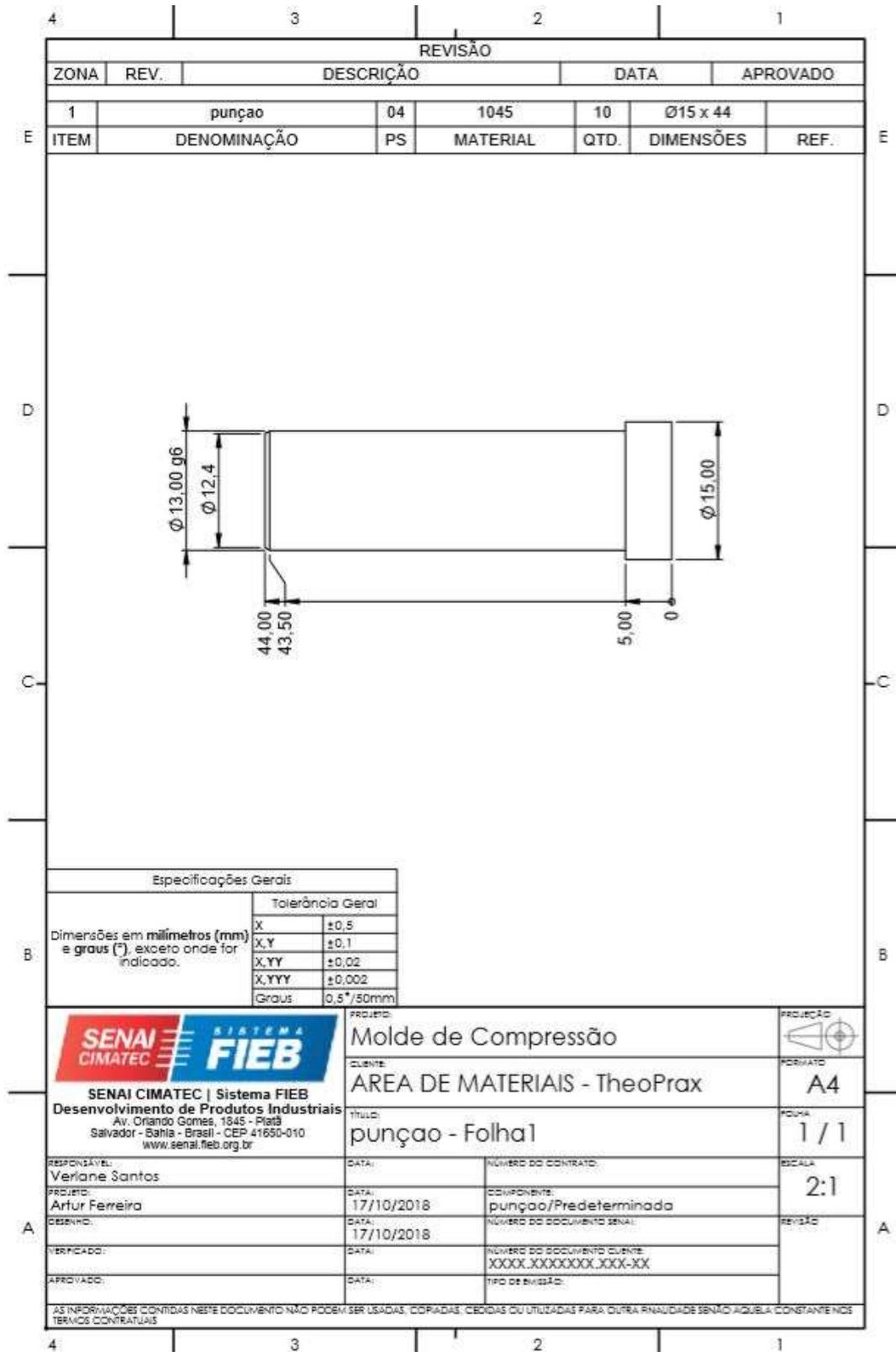


Figura 48 – Molde para corpos de prova para teste de DCP: punção.



APÊNDICE C – Projeto do dispositivo para teste de DPC

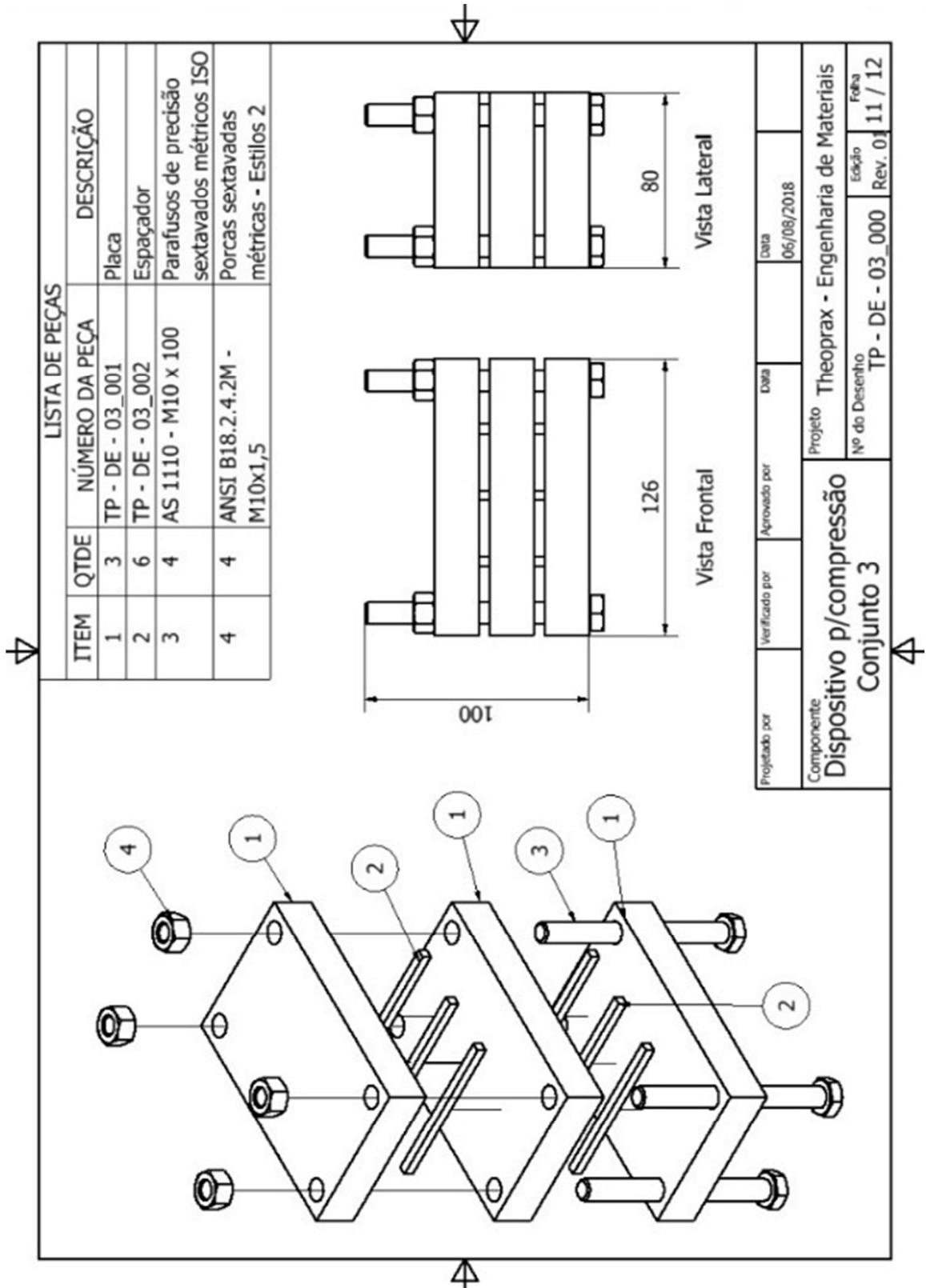


Figura 50 – Projeto de molde para de teste de DPC: conjunto.

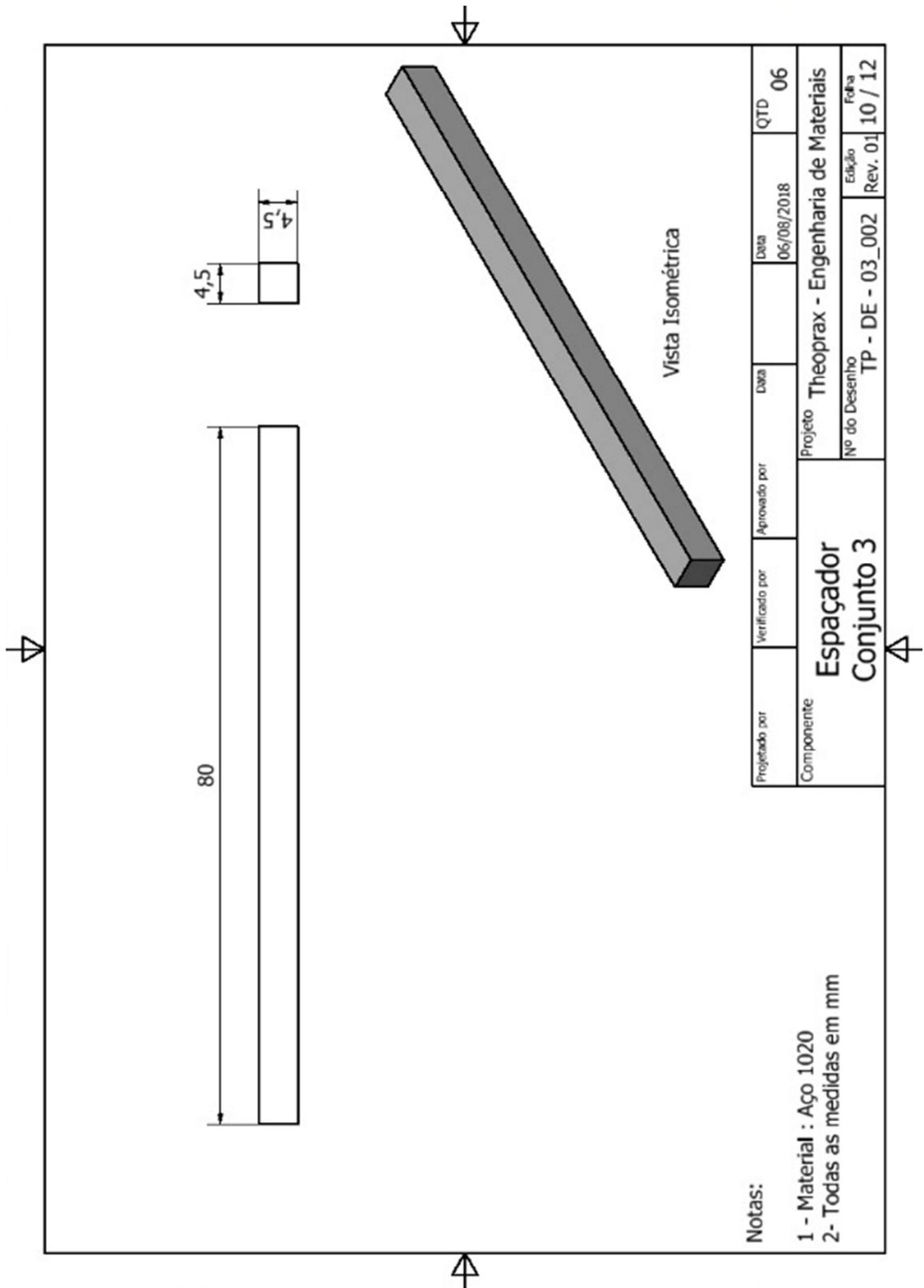


Figura 51 – Projeto de molde para de teste de DPC: espaçador.

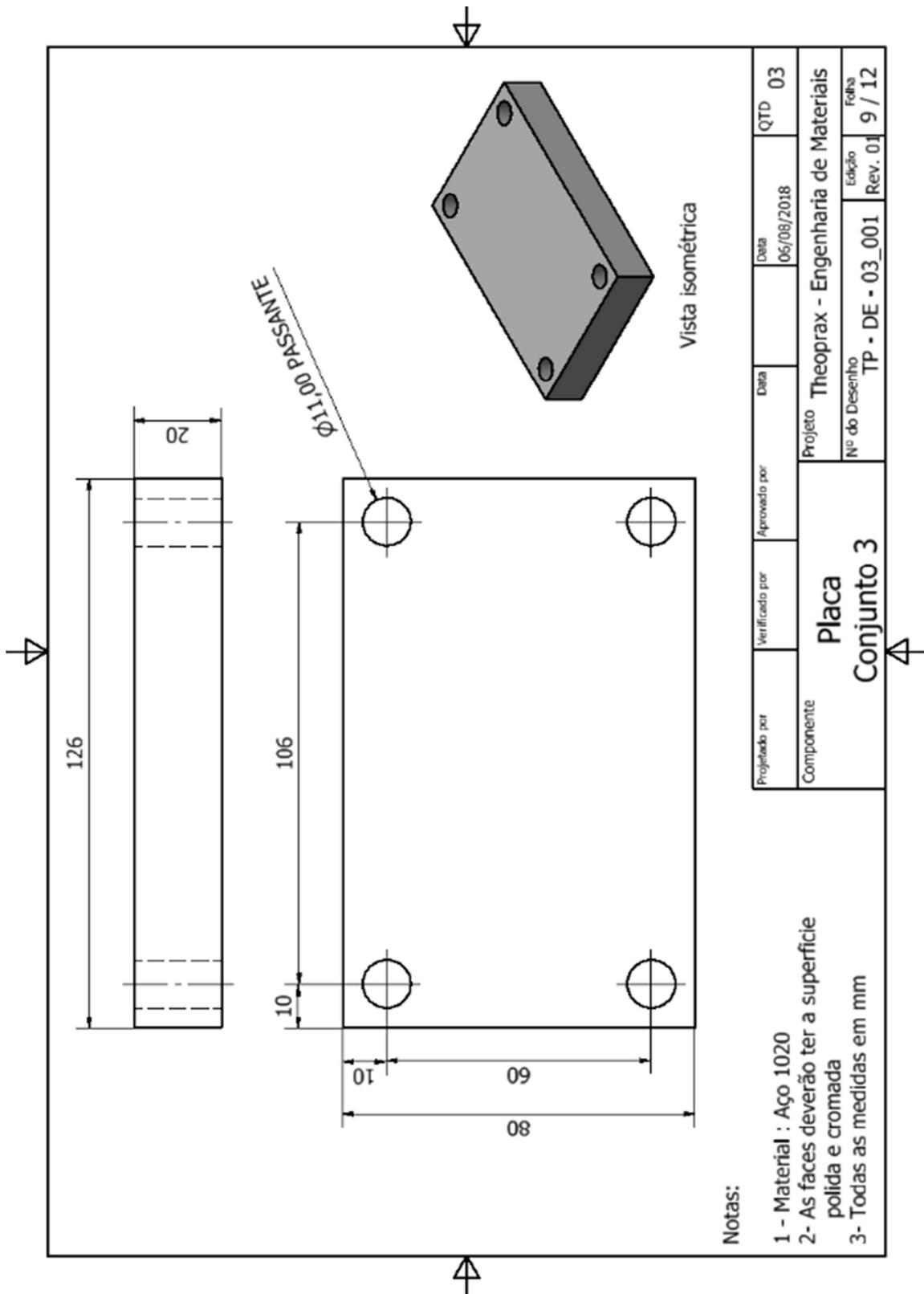


Figura 52 – Projeto de molde para de teste de DPC: placa.

**APÊNDICE D – *Datasheet* das juntas desenvolvidas**

**PVCCP**

**Descrição:** A classe PVCCP são compostos de PVC, com variação de carga e plastificante, além de antioxidante, estabilizante térmico, lubrificante e pigmento. O processo de fabricação por meio de calandragem e prensagem, permite obter um produto com alta recuperação e resistência mecânica, além de uma boa selabilidade. É indicada para uma ampla gama de fluidos de utilidades, não corrosivos e nem inflamáveis, em baixas pressões e temperaturas, tais como, água, ar, espuma, entre outros.

|                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| Condições de fornecimento | Placas de 210 mm x 297 mm     |
|                           | Espessuras entre 1,7 e 2,6 mm |
| Cor                       | Preta                         |
| Norma atendida            | ASTM F104 (F991000)           |

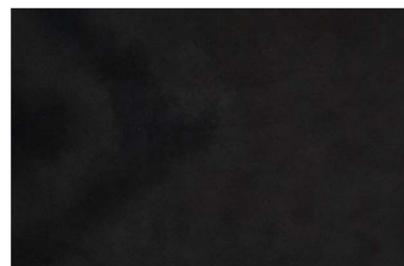


Ilustração do material fornecido

| Propriedades típicas  |                                 | PVCC50P20 | PVCC60P20 | PVCC50P10 |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   |                                 |           |           |           |
| Temperatura de transição vítrea (°C)  |                                 | 50,54     | 49,96     | 63,98     |
| Temperatura de fusão (°C)   |                                 | 63,69     | 62,67     | 69,92     |
| Temperatura de início de degradação (°C)  |                                 | 271       | 274       | 268       |
| Temperatura de amolecimento Vicat (°C) ASTM D1525   |                                 | 56,32     | 65,4      | 69        |
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) ISO 1183-1   |                                 | 1,49      | 1,60      | 1,56      |
| Dureza (Shore D) ASTM D2240   |                                 | 73,5      | 77,1      | 81,7      |
| Deformação permanente à compressão (%) ASTM D395  |                                 | 83,96     | 84,87     | 78,13     |
| Compressibilidade à 5000 psi (%) ASTM F36   |                                 | 5         | 3,6       | 2,95      |
| Recuperação à 5000 psi (%) ASTM F36   |                                 | 72,6      | 85,7      | 85,2      |
| Selabilidade com nitrogênio 30 psi (mL/h) ASTM F37  |                                 | 0,33      | 0,17      | 3,33      |
|   |                                 | 0,08      | 0,17      | 32,08     |
| Resistência à tração (MPa) ASTM 152   | Paralela                        | 26,6      | 28,6      | 44        |
|   | Transversal                     | 25,5      | 29,6      | 42,4      |
| Relaxamento (P <sub>QR</sub> ) DIN EN 13555   |                                 | 0,16      | 0,13      | 0,26      |
| Resistência química ASTM D542<br>S: Resistência química satisfatória;<br>S*: satisfatória, porém é necessário melhor avaliação. | Água bruta                      | S         | S         | S         |
|   | Água com detergente (10%)       | S         | S         | S         |
|   | Ácido clorídrico (HCl) (10%)    | S         | S         | S         |
|   | Hidróxido de sódio (NaOH) (10%) | S*        | S*        | S*        |

Os parâmetros de aplicação indicados neste folheto são típicos. Para cada aplicação específica deverá ser realizado um estudo independente e uma avaliação de compatibilidade. Um equívoco na seleção do produto mais adequado ou na sua aplicação pode resultar em danos materiais e/ou em sérios riscos pessoais.

## ANEXO A – Tabela de compatibilidade química de papelões hidráulicos

## Papelões Hidráulicos

Recomendação de Aplicação

A: recomendado - B: consultar TEADIT - C: não-recomendado

| Fluidos                          | U60 NA | NA1002 | NA1040 | NA1060 | 1082 SAN | NA1100 | NA1085 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
| Ácido Clorídrico 10%             | A      | A      | B      | C      | A        | A      | A      |
| Água                             | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Água Destilada                   | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Água, Sem Sal Oxidante           | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Água de Alimentação de Caldeira  | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Água de Esgoto                   | A      | A      | A      | B      | A        | A      | A      |
| Água Régia                       | C      | C      | C      | C      | C        | C      | C      |
| Água do Mar                      | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Aguarrás                         | A      | A      | A      | C      | A        | A      | C      |
| Água Salgada                     | A      | A      | A      | A      | A        | A      | A      |
| Alcatrão (Asfalto)               | B      | B      | B      | C      | B        | B      | C      |
| Álcool Amílico                   | B      | B      | B      | B      | B        | B      | A      |
| Hidróxido de Potássio (T < 50°C) | B      | B      | C      | B      | B        | B      | A      |
| Hidróxido de Sódio (T < 50°C)    | B      | B      | C      | B      | B        | B      | A      |
| Skýdrol                          | C      | C      | C      | C      | B        | C      | C      |
| Soluções de Detergente           | A      | A      | A      | B      | A        | A      | B      |

## ANEXO B – Datasheet NA1002



Data Sheet Jul/16

## NA1002

## Papelo Hidráulico de Fibra Aramida e NBR

**Descrição:**

O NA1002 é um papelo hidráulico não-amianto de uso universal contendo fibra de aramida, cargas reforçantes e outros materiais estáveis a elevadas temperaturas ligados com borracha NBR. O processo de fabricação por meio de calandragem, sob alta pressão e temperatura, aliado a um rigoroso controle de qualidade permite obter um produto com excelente selabilidade e resistência química.

**Aplicações:**

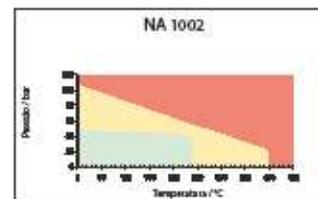
É um produto de uso universal *indicado, principalmente, para derivados de petróleo, solventes, água, vapor saturado e produtos químicos em geral, com a melhor relação custo/benefício*, encontrada em produtos da família dos papelos hidráulicos.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Condições de Fornecimento | Folhas de 1500 x 1600mm ou 1500 x 3200mm<br>Espessuras de 0,4 a 6,4 mm (1/64" a 1/4") |
| Norma atendida            | ASTM F104 – F712120E22-M5   |
| Temperatura               | Uso contínuo: até 240°C   |
|                           | Máxima: até 400°C   |
| Pressão                   | Uso contínuo: até 50 bar  |
|                           | Máxima: até 110 bar   |
| Cor                       | Verde   |

**Propriedades Físicas Típicas:**

|  |        |
|--|--------|
| Densidade - ASTM F1315 - g/cm <sup>3</sup>         | 1,75   |
| Compressibilidade - ASTM F36J - %                  | 7 - 17 |
| Recuperação - ASTM F36J - % mínimo                 | 45     |
| Resistência à Tração - ASTM F152 - MPa             | 11,5   |
| Perda ao Fogo - ASTM F495 - % máximo               | 34     |
| Aumento de Espessura - ASTM F146 - % máximo        |        |
| ASTM óleo IRM 903, 5h a 150°C                      | 12     |
| Fuel B, 5h a 25°C                                  | 10     |
| Aumento de Peso - ASTM F146 - % máximo             |        |
| ASTM óleo IRM 903, 5h a 150°C                      | 15     |
| Fuel B, 5h a 25°C                                  | 15     |
| Creep - ASTM F38 - %                               | 25     |
| Retenção de Torque - DIN 52913 - N/mm <sup>2</sup> | 28     |
| Selabilidade a 1000psi - ASTM F37A - ml/h          | 0,25   |

Testes ASTM são baseados em folhas com espessura de 0,8 mm e o teste DIN em folhas com espessura de 2,0 mm



- Área compatível para aplicação
- Consultar a Engenharia de Produtos Teadit\*
- Deve ser feita uma análise técnica mais detalhada

\* Consulte a Engenharia de Aplicação de Produtos Teadit pelo e-mail: [engenhariadeprodutos@teadit.com.br](mailto:engenhariadeprodutos@teadit.com.br)

Os parâmetros de aplicação indicados neste folheto são típicos. Para cada aplicação específica deverá ser realizado um estudo independente e uma avaliação de compatibilidade. Consulte-nos a respeito de recomendações para aplicações específicas. Um equívoco na seleção do produto mais adequado ou na sua aplicação pode resultar em danos materiais e/ou em sérios riscos pessoais, sendo que a Teadit não se responsabiliza pelo uso inadequado das informações contidas no presente folheto, nem por imprudência, negligência ou imperícia na sua utilização, colocando seus técnicos à disposição dos consumidores para esclarecer dúvidas e fornecer orientações adequadas em relação a aplicações específicas. Estas especificações estão sujeitas a mudanças sem prévio aviso, sendo que esta edição substitui todas as anteriores.

Teadit Indústria e Comércio Ltda.

Av. Pastor Martin Luther King Jr., 8939 - Colégio - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP. 21530-012

Fone: +55 (19) 3765-6501 - e-mail: [comercial@teadit.com.br](mailto:comercial@teadit.com.br) - [www.teadit.com/br](http://www.teadit.com/br)