Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Filipa Salgado Machado

Estudo do empeno e contração de peças moldadas por injeção em compósitos de PP com pigmentos metálicos

novembro de 2013

Estudo do empeno e contração de peças moldadas por injeção em compósitos de PP com pigmentos metálicos
Ana Filipa Salgado Machado

UMinho | 2013

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Filipa Salgado Machado

Estudo do empeno e contração de peças moldadas por injeção em compósitos de PP com pigmentos metálicos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António José Pontes

novembro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Ana Filipa Salgado Machado

Endereço eletrónico: anasalgadomachado8@gmail.com Telefone: 00351 913427407

Número do Cartão do Cidadão: 13570860

Título da dissertação: **Estudo do empeno e contração de peças moldadas por injeção em compósitos de PP com pigmentos metálicos.**

Orientador: Professor Doutor António José Pontes

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Universidade do Minho a arquivar mais de uma cópia da dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter a dissertação entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto:

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A execução deste projeto de dissertação de mestrado não seria possível sem a ajuda de várias pessoas, às quais quero expressar a minha gratidão pela ajuda prestada.

À minha família, amigos e namorado que, partilharam sempre comigo o amor, carinho e compreensão, um obrigado por sempre acreditarem no meu sucesso.

Ao Professor Doutor António Pontes, orientador do projeto de dissertação de mestrado, gratifico a informação que partilhou. Agradeço, ainda, a total liberdade em atingir os meus objetivos a partir de formulação de perguntas, cujas respostas reais e concretas serviram de fio condutor à minha aprendizagem. Por tudo isto, o meu sincero obrigado.

Aos Técnicos do Departamento de Engenharia de Polímeros, que pela colaboração e apoio prestados, foram os alicerces fundamentais para a realização do meu projecto de trabalho. O meu agradecimento pela transmissão de experiências e de conhecimentos, assim como, pelo bom ambiente proporcionado, durante este trabalho.

O meu sincero obrigado a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização do meu trabalho.

RESUMO

Os recentes avanços tecnológicos nos materiais poliméricos têm conduzido a um aumento crescente do uso de partículas metálicas nos mesmos em substituição de peças metálicas. A proliferação desta nova conceção apresenta como principais vantagens a redução dos custos de produção por eliminação de operações de pintura e acabamento pós processamento e mantém o prestígio da aparência metálica. Para além destas vantagens, as peças plásticas com a incorporação deste tipo de pigmentos apresentam uma redução do peso da peça quando comparadas ao metal.

É possível obter o efeito metálico incorporando no polímero pigmentos metálicos. Estes compósitos podem ser produzidos através da moldação por injeção. A combinação de partículas metálicas com o polímero confere, dependendo do pigmento metálico a utilizar, propriedades associadas ao metal, fornecendo, deste modo, uma cor metálica apelativa, opacidade, ductilidade e brilho. O processo de moldação por injeção é, no entanto, complexo, uma vez que é frequente o aparecimento de vários defeitos como a contração e o empeno das peças moldadas por injeção. Tais defeitos estão dependentes de variados fatores, entre os quais, as condições de processamento e as características morfológicas do material e dos pigmentos metálicos. Este trabalho tem como principal objetivo a produção de peças com aparência metálica, pelo processo de moldação por injeção, usando dois materias com diferente índice de fluidez, reforçados com pigmentos metálicos de bronze e de alumínio. Utilizou-se um molde instrumentado com sensores de pressão e de temperatura. Os respectivos sinais foram monitorizados através de um sistema de aquisição de dados.

Propõe-se avaliar a influência das condições de processamento - como a temperatura do molde e a segunda pressão - na contração e no empeno das peças moldadas. Com efeito, pretende-se perceber o que acontece às propriedades físicas dos compósitos.

O uso de partículas de bronze e alumínio confere aspeto metálico dourado e prateado às peças produzidas em polipropileno. A variável de processamento que mais influencia a contração e o empeno das moldações é a segunda pressão de 40 MPa. O aumento da temperatura do molde não influencia significativamente a contração das moldações.

ABSTRACT

Recent technological advances in the polymeric materials have led to an increasing use of metallic particles in them to replace metal parts. The proliferation of this new conception presents as main advantages the reduction part weight the reduction of production costs by removing paint finish and post processing operations and maintains the prestige of metallic appearance. In addition to these advantages, the plastic parts with the incorporation of this type of pigments have reduced part weight in comparison to metal.

It is possible get the metallic effect incorporating into the polymer metallic pigments. These composites can be produced by injection molding. The combination of metallic particles with the polymer provides, depending on the use of metallic pigment, properties associated with the metal, providing, therefore, an attractive metallic color, opacity, brightness and ductility. The injection molding process is, however, complex since the frequent occurrence of various defects such as shrinkage and warpage of injection molded parts. Such defects are dependent on several factors, among which, the processing conditions and the morphological characteristics of the material and metallic pigments. The main purpose of this work is the production of parts with metallic appearance, by the injection molding process, using two materials with different melt flow index, reinforced with metallic pigments bronze and aluminum. It has used a mold instrumented with sensors for pressure and temperature. The respective signals were monitored by a data acquisition system.

It is proposed assess the influence of processing conditions - such as mold temperature and the holding pressure - the shrinkage and warpage of molded parts. In fact it is intended to realize what happens to physical properties of the composites.

The use of bronze and aluminum particles are able to produce gold and silver metallic looking to the parts produced in polypropylene. The variable of processing that most influences the shrinkage and warpage of parts is the holding pressure of 40 MPa. The increase of mold temperature das not significantly affect the shrinkage of parts.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABELAS xvii
1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Enquadramento 1
1.2 Objetivos e estratégia de trabalho 2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁGICA 5
2.1. Pigmentos metálicos 5
2.1.1. Alumínio 6
2.1.2. Bronze 6
2.2. Formas dos pigmentos metálicos nas propriedades óticas 6
2.3. Efeito metálico nos plásticos 7
2.4. Matriz polimérica - Polipropileno 8
2.5. Processamento de polímeros 9
2.6 Fatores que influenciam a contração e empeno na peça 10
2.6.1. Condições de processamento 12
2.6.1.1. O efeito da temperatura 12
2.6.1.2. O efeito da pressão 12
2.7. Contração e empeno em materiais reforçados 13
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 15
3.1. Material 15
3.2. Pigmentos metálicos 15
3.3. Processamento dos compósitos 16

3.4. Procedimento de avaliação da contração e empeno 21
3.4.1. Contração 21
3.4.2. Empeno 21
3.5. Aspeto metálico das moldações 22
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS 23
4.1. Evolução da pressão na cavidade moldante 23
4.1.1. Evolução da pressão para o PP Ducor 3048 TC 23
4.1.2. Evolução da pressão para o PP reforçado 24
4.1.2.1. PP/Al 27 24
4.1.2.2. PP/Al 75 26
4.1.2.3. PP/Bronze 27
4.2. Evolução da pressão para o PP Carpilene R50 28
4.2.1. Evolução da pressão para o PP reforçado 30
4.2.1.1. PP/Al 27 30
4.2.1.2. PP/Al 75 32
4.2.1.3. PP/Bronze 33
4.3. Evolução da pressão nos compósitos 34
4.4. Evolução da temperatura na cavidade moldante 36
4.4.1. Evolução da temperatura para o PP Ducor 3048 TC 36
4.4.2. Evolução da temperatura para o PP Carpilene R50 37
4.5. Evolução da temperatura nos compósitos 39
4.6. Contração 40
4.6.1. Influência da segunda pressão no PP Ducor 3048 TC 41
4.6.1.1. PP sem a adição de cargas metálica 41
4.6.1.2. PP/Al 27 41
4.6.1.3. PP/Al 75 42
4.6.1.4. PP/Bronze 42

4.6.2. Influência da temperatura do molde no PP Ducor 3048 TC 43
4.6.2.1. PP sem a adição de cargas metálicas 43
4.6.2.2. PP/Al 27 44
4.6.2.3. PP/Al 75 45
4.6.2.4. PP/Bronze 45
4.6.3. Influência da segunda pressão no PP Carpilene R50 46
4.6.3.1. PP sem adição de cargas metálicas 46
4.6.3.2. PP/Al 27 46
4.6.3.3. PP/Al 75 47
4.6.3.4. PP/Bronze 47
4.6.4. Influência da temperatura do molde no PP Carpilene R50 48
4.6.4.1. PP sem adição de cargas metálicas 48
4.6.4.2. PP/Al 27 49
4.6.4.3. PP/Al 75 50
4.6.4.4. PP/Bronze 50
4.7. Contração dos materiais em estudo 51
4.8. Empeno 53
4.8.1. Influência da segunda pressão 53
4.8.1.1. PP sem adição de cargas metálicas 54
4.8.1.2. PP/Al 27 54
4.8.1.3. PP/Al 75 55
4.8.1.4. PP/Bronze 56
4.8.2. Influência da temperatura do molde 56
4.8.2.1. PP sem adição de cargas metálicas 56
4.8.2.2. PP/Al 27 57
4.8.2.3. PP/Al 75 58
4.8.2.4. PP/Bronze 59

5. CONCLUSÃO 61

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 65

7. BIBLIOGRAFIA 67

8. ANEXOS 71

Anexo I – Fichas técnicas dos materiais 71

Anexo II – Curvas de temperatura para o PP Ducor 3048 TC reforçado com pigmentos metálicos 77

Anexo III - Curvas de temperatura para o PP Carpilene R50 reforçado com pigmentos metálicos 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema com as principais tarefas do trabalho 2

Figura 2 - Tabela com propriedades dos pigmentos metálicos (Wheeler, 1999). 5

Figura 3 - Reflexão da luz nas partículas de alumínio (Adaptado de Harris, 1999). 5

Figura 4 - Evolução da pressão na cavidade moldante durante um ciclo de injeção (adaptado de Reinert, 2005). 10

Figura 5 - Peça em estudo 17

Figura 6 - Máquina de injeção 17

Figura 7 - Molde com a localização dos sensores; P1 e P2 - Sensores de pressão; T1, T2 e T3 - Termopares; IR - Infravermelhos. 17

Figura 8 – Sistema de aquisição de dados – Priamus Box Tull 18

Figura 9 - Locais das medições da contração na moldação 21

Figura 10 – Aspeto metálico das moldações 22

Figura 11 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 24

Figura 12 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 24

Figura 13 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 25

Figura 14 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 25

Figura 15 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 75 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 26

Figura 16 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 75 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 27

Figura 17 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 28

Figura 18 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 28

Figura 19 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 29

Figura 20 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 30

Figura 21 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 31

Figura 22 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 31

Figura 23 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 32

Figura 24 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 33

Figura 25 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 34

Figura 26 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2. 34

Figura 27 – Curvas de pressão dos compósitos do PP Ducor 3048 TC. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 35

Figura 28 - Curvas de pressão dos compósitos do PP Carpilene R50. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1. 35

Figura 29 - Curvas de temperatura para o PP Ducor 3048 TC sem adição de cargas metálicas em função da temperatura do molde de 25, 40 e 55 ^{0}C a uma segunda pressão constante de 30 MPa. a) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 – ST1; b) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 2 – ST2 e c) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 3 – ST3. 37

Figura 30 - Curvas de temperatura para o PP Carpilene R50 sem adição de cargas metálicas em função da temperatura do molde de 25, 40 e 55 ^{0}C a uma segunda pressão constante de 30 MPa. a) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 – ST1; b) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 2 – ST2 e c) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 3 – ST3. 39

Figura 31 – Curvas de temperatura dos compósitos do PP Ducor 3048 TC. Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 - ST1..... 40

Figura 32 - Curvas de temperatura dos compósitos do PP Carpilene R50. Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 - ST1. 40

Figura 33 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC sem adição de partículas metálicas. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 41

Figura 34 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 27 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 42

Figura 35 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 75 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 42

Figura 36 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% de bronze. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 43

Figura 37 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3..... 44

Figura 38 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 27 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 44

Figura 39 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 75 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 45

Figura 40 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% de bronze. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 45

Figura 41 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 sem adição de partículas metálicas. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. .. 46

Figura 42 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 47

Figura 43 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 47

Figura 44 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 48

Figura 45 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3..... 49

Figura 46 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% de Al 27 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 49

Figura 47 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% de Al 75 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. 50

Figura 48 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3. .. 51

Figura 49 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 20 MPa e uma TM de 40ºC. 52

Figura 50 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 40 MPa e uma TM de 40ºC. 52

Figura 51 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 30 MPa e uma TM de 25ºC. 52

Figura 52 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 30 MPa e uma TM de 55ºC. 53

Figura 53 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP sem adição de cargas metálicas. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 54

Figura 54 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 27 μm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 55

Figura 55 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 75 μm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 55

Figura 56 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 0,5% de bronze. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 56

Figura 57 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP sem adição de cargas metálicas. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 57

Figura 58 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 27 μm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 58

Figura 59 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 75 μm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 58

Figura 60 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 0,5% de bronze. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez. 59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do alumínio (wheeler, 1999)..... 6

Tabela 2 - Propriedades do bronze (Wheeler, 1999)..... 6

Tabela 3 - Efeito das formas das partículas nas propriedades óticas (Edenbaum, 1996). 7

Tabela 4 - Gamas típicas das principais condições de injeção para o polipropileno; Pinj – Pressão de injeção (Rosato et al., 2000). 9

Tabela 5 - Propriedades do PP Carpilene® R 50 15

Tabela 6 - Propriedades do PP Ducor 3048 TC..... 15

Tabela 7 – Informação sobre os pigmentos metálicos..... 16

Tabela 8 - Condições de processamento do PP 18

Tabela 9 - Condições de processamento a variar neste estudo para o PP Carpilene® R 50 19

Tabela 10 - Condições de processamento a variar neste estudo para o PP Ducor 3048TC..... 20

Tabela 11 - Numero de peças a injetar 20

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os materiais termoplásticos tiveram o seu desenvolvimento após a segunda guerra mundial, tendo tido um enorme crescimento durante a segunda metade do seculo XX. Os termoplásticos são relativamente fáceis e rápidos de processar pelo método da moldação por injeção tendo, normalmente, elevadas cadências de produção com uma excelente precisão dimensional.

A cor era utilizada para disfarçar a coloração natural ou descoloração das resinas termoendurecíveis. Com a disponibilidade dos materiais termoplásticos, essencialmente os incolores, a coloração do plástico já não é apenas uma ferramenta essencial para a venda de um produto mas também é um fator importante no design do mesmo (Ahmed, 1979). Os típicos processos de metalização e pintura de peças foram, de certa forma, ultrapassados com a imitação do metal utilizando plástico com pigmentos metálicos (Bunge, 1998). Desta forma, os polímeros com pigmentos metálicos permitiram a substituição dos metais, mantendo o aspeto metálico, atribuindo a qualidade e o prestígio do metal (Wheeler, 1999). A percentagem de carga necessária para os polímeros alcançarem um bom efeito metálico é de 0.5 a 1% para pigmentos de alumínio e de 1 a 3% para pigmentos de bronze (Harris, 1999). Todavia, Santos destaca que a percentagem de carga que melhor se adequa às necessidades em termos estéticos e em termos de melhoria de propriedades para o polipropileno é de 2% para pigmentos de alumínio e de 0,5% para pigmentos de bronze. A contração e o empeno são defeitos provenientes do processo de moldação de injeção e estão também associados à coloração de peças plásticas. A utilização de alguns corantes, pigmentos orgânicos, proporcionam núcleos de cristalização que eventualmente iniciam o crescimento do cristal no polímero. A variação da taxa de cristalização, bem como alterações morfológicas resultam em diferentes contrações para cada pigmento utilizado. Os pigmentos inorgânicos não influenciam significativamente a contração. Contudo, os pigmentos orgânicos induzem uma maior contração, cerca de 20%, do que um material polimérico natural (Harris, 1999).

A bibliografia existente sobre o tema é escassa. Como tal, a imitação do metal pelo plástico e os seus problemas de aplicação é um tema de elevado interesse no que toca ao ramo industrial.

1.2 Objetivos e estratégia de trabalho

O presente trabalho tem como principal objetivo a produção de compósitos de PP/Al 27, PP/Al 75 e PP/Bronze com aspeto metálico, moldados por injeção. Porém, antes do processamento é necessário proceder à mistura dos materiais poliméricos com os pigmentos metálicos, sendo essencial utilizar equipamentos de mistura adequados para cada material. Deste modo, procedeu-se à mistura mecânica, tambor rotativo, para o PP/Al. Todavia, para uma melhor mistura do PP/Bronze utilizou-se o equipamento de extrusão de duplo fuso, isto porque o bronze é fornecido em pó e os materiais poliméricos em grânulos. Utilizou-se o polipropileno como material polimérico, mas com diferentes valores de índice de fluidez. Neste trabalho pretende-se estudar a influência das condições de processamento na contração e no empeno das moldações para os diferentes materiais. Com efeito, a geometria da peça apresenta uma aba para, posteriormente, se determinar o empeno da mesma.

Na Figura 1, está representado um esquema com as principais tarefas do trabalho e a sequência de realização das mesmas.

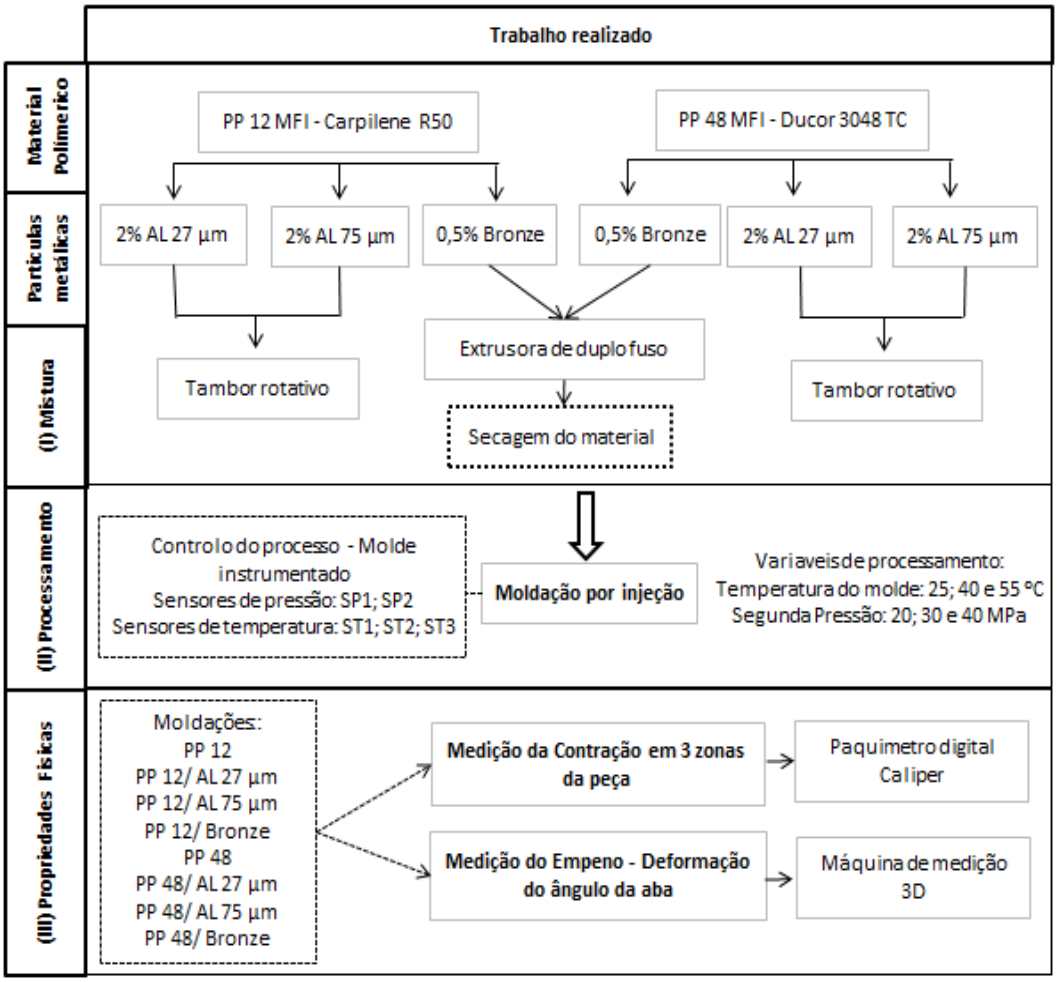


Figura 1 - Esquema com as principais tarefas do trabalho

A dissertação está dividida em oito capítulos, o primeiro capítulo consiste num enquadramento do tema da dissertação, na descrição dos objetivos de trabalho e na estratégia de trabalho efetuada. No segundo capítulo são descritos os fundamentos teóricos sobre a matriz polimérica, pigmentos metálicos, efeito metálico nos plásticos e a influência das condições de processamento na contração e no empeno das moldações. No terceiro capítulo é descrito o procedimento experimental com indicação dos materiais utilizados - matriz polimérica e pigmentos metálicos - e detalhes sobre o processamento e o procedimento de avaliação da contração e do empeno das peças injetadas. No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos do controlo do processo de moldação por injeção através da utilização de sensores de pressão e temperatura localizados no molde. No mesmo capítulo são também apresentados e discutidos para todos compósitos a contração e o empeno. No quinto capítulo são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, seguindo-se as sugestões para trabalhos futuros no capítulo sexto. No sétimo e oitavo capítulo são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos, respetivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁGICA

2.1. Pigmentos metálicos

São vários os pigmentos metálicos disponíveis na indústria, cada um com a sua característica, fornecendo às peças efeitos visuais e propriedades mecânicas distintas. Na Figura 2 são visíveis vários exemplos de pigmentos metálicos com as suas propriedades, nomeadamente a cor, o brilho, a resistência à corrosão, a gravidade específica e o custo.

	Colour	Brilliance	Corrosion Resistance	Malleability	SG	Cost
Aluminium	White	High	Moderate	High	2.70	Moderate
Bronze	Gold	High	Moderate	High	~8.50	Low-moderate
Copper	Reddish	Medium-high	Medium-poor	High	8.96	Moderate
Nickel	Off-white	Medium	Good	Moderate	8.90	Moderate-high
Stainless steel	Off-white	Medium	Good	Low	~8.00	Moderate-high
Zinc	Blue-white	Low	Good	Moderate	7.13	Low
Iron	Grey	Low	Poor	Moderate	7.87	Low
Silver	White	Very high	Fair-good	Very high	10.50	Very high

Figura 2 - Tabela com propriedades dos pigmentos metálicos (Wheeler, 1999).

Por norma, os pigmentos metálicos apresentam-se em flocos finos de metal com uma forma, aproximadamente, plana. Estes atuam como pequenos espelhos que refletem quase toda a luz incidente, como indica a Figura 3. A sua importância reside essencialmente nesse aspeto, fornecendo a cor metálica à peça. Quanto mais luz for reflectida, mais brilhante será a aparência metálica, mas como a dispersão da luz aumenta, o brilho é reduzido proporcionalmente (Harris, 1999).

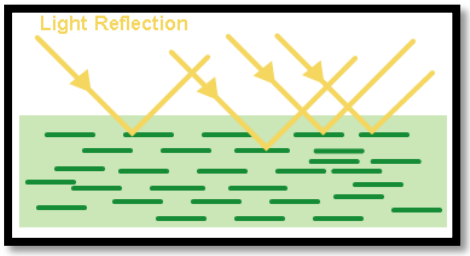


Figura 3 - Reflexão da luz nas partículas de alumínio (Adaptado de Harris, 1999).

As partículas metálicas podem ser adquiridas no mercado em forma de pó, pigmento encapsulado, pasta ou grânulos (resultantes de masterbatch). A utilização de masterbatch é a forma mais adequada no manuseamento, mistura e processamento com materiais plásticos.

2.1.1. Alumínio

Os pigmentos de alumínio suportam elevadas taxas de cortes presentes durante o processamento. Para fornecer à peça injetada uma boa opacidade deve adicionar-se na matriz polimérica cerca de 0,5 a 1% de pigmentos de alumínio (Ahmed, 1979). O alumínio é utilizado para distintas aplicações, uma vez que este apresenta ótimas propriedades, tais como: boa refletividade, boa condutividade térmica e elétrica e baixa densidade. Contudo, este pode levar à ignição e causar explosões, quando misturado com halogénios e cloreto de metilo (Gomes, 2008).

Na Tabela 1 são indicadas algumas propriedades do alumínio.

Tabela 1 - Propriedades do alumínio (wheeler, 1999)

Carga metálica	Densidade (g/cm^3)	Temperatura de fusão (˚C)
Alumínio	2.70	660

2.1.2. Bronze

É necessário incorporar no compósito uma percentagem de 1 a 3% de ligas de bronze para fornecer um bom aspeto metálico à peça (Harris, 1999). As ligas de bronze apresentam como caraterística um brilho elevado, proporcionando à peça uma cor dourada parecida com a cor do ouro (Budinski, 1979). As partículas de bronze têm a sua origem na combinação de dois materiais, o cobre e o zinco. Deste modo, é possível atingir uma variedade de cores consoante a combinação dos dois materiais (Kremitzl, 2003).

Na Tabela 2 apresentam-se algumas propriedades do bronze.

Tabela 2 - Propriedades do bronze (Wheeler, 1999)

Carga metálica	Densidade (g/cm^3)	Temperatura de fusão (˚C)
Bronze	8700	1000

2.2. Formas dos pigmentos metálicos nas propriedades óticas

Os pigmentos metálicos apresentam variadas formas e, deste modo, fornecem diferentes aspetos visuais às peças moldadas. Face ao exposto, será descrito as várias formas dos pigmentos metálicos que se podem encontrar no mercado e como estas influenciam o aspeto final das moldações.

Os pigmentos com formas irregulares ou designados de "Corn Flake" apresentam diâmetros e espessuras elevadas e proporcionam à peça uma excelente opacidade. Devido às extremidades irregulares dos bordos, os "Corn Flake" contribuem, substancialmente, para a difusão da luz (Ahmed, 1979).

Os pigmentos finos de alumínio com formas irregulares apresentam um efeito prata acinzentado quando não se conseguem orientar paralelamente à superfície do molde, como é o caso de peças moldadas por injeção. Por outro lado, estes pigmentos de alumínio são mais utilizados na produção de filmes, bem como, no processo de co-extrusão porque possuem elevada opacidade e habilidade para se orientarem (Charvat, 2003; Edenbaum, 1996).

A geometria lenticular ou "Silver Dollar" é designada como uma geometria de floco. Neste caso, esta forma apresenta bordas arredondadas e lisas, apresentando, uma superfície plana. Quando correctamente orientados, os pigmentos de alumínio refletem mais luz, apresentando uma cor acinzentada causada pela dispersão da luz. Apresentam diâmetros e espessuras baixas reduzindo a sua capacidade de orientação nos plásticos (Ahmed, 1979), (Charvat, 2003).

Os pigmentos metálicos de forma esférica oferecem ao polímero uma diferente aparência estética. Com efeito, estes pigmentos proporcionam à peça muito menos opacidade devido à sua baixa área de superfície (Charvat, 2003).

Na Tabela 3 descreve-se a influência das formas das partículas metálicas nas propriedades óticas das peças.

Tabela 3 - Efeito das formas das partículas nas propriedades óticas (Edenbaum, 1996).

Formas das partículas	Opacidade
Pigmentos com formas irregulares – "Corn Flake"	Excelente
Pigmentos com forma lenticular – "Silver Dollar"	Boa
Pigmentos com forma Esférica	Médio

2.3. Efeito metálico nos plásticos

Através da moldação por injeção incorpora-se partículas metálicas no polímero. Deste modo, o produto injectado apresenta coloração, reduzindo possíveis custos associados a etapas pós-processamento. A peça injetada apresenta um efeito visual apelativo e o prestígio das propriedades do metal. Por esta razão, os pigmentos metálicos são utilizados a fim de promover aos produtos um maior valor nas suas aplicações. Os pigmentos metálicos apresentam um tamanho pequeno com uma classe versátil de agentes para colorir as peças. Estes proporcionam às peças efeitos visuais que são impossíveis de se obter usando pigmentos orgânicos tradicionais.

O efeito metálico pode ser modificado consoante a forma, o tamanho e a distribuição das partículas metálicas no produto injetado. Os tons mais brilhantes são fornecidos pelos polímeros amorfos, como por exemplo, o PS, o PC e o PVC (Harris, 1999). Por norma, é necessário utilizar no compósito uma percentagem de 0,5 a 1% de pigmentos de alumínio com o intuito de conferir à peça um bom aspeto metálico. É indispensável incorporar uma maior percentagem de pigmentos de bronze, cerca de 1 a 3%, no compósito, devido à gravidade específica ser mais alta nestes pigmentos do que nos pigmentos de alumínio (Harris, 1999). Partículas de alumínio de grande tamanho, valores compreendidos entre os 60 a 330 μm, apresentam uma elevada refletividade tornando a sua aparência estética mais metálica, com efeito brilhante (Harris, 1999). Peças com aspeto metálico para além do serem chamativas para o cliente também apresentam vantagens técnicas tais como: a condutividade térmica e eléctrica, o aumento da densidade dos plásticos, a blindagem electromagnética e a protecção contra a corrosão de estruturas metálicas (Edenbaum, 1996).

2.4. Matriz polimérica - Polipropileno

O polipropileno é um dos materiais poliméricos mais utilizados no processamento de moldação por injeção. É um material semi-cristalino formado por zonas onde as moléculas estão organizadas em estruturas com grandeza tridimensional (zonas cristalinas) e zonas onde as cadeias estão distribuídas aleatoriamente (zonas amorfas). Os polipropilenos podem ser obtidos por diversos processos, incluindo os de catálise metalocênica. Os polipropilenos apresentam uma estrutura particular, isto é, o material combina rigidez e resistência estrutural (associado a zonas do material que se encontram cristalinas). Sendo um polímero semi-cristalino, este apresenta uma temperatura de transição vítrea relativamente elevada (cerca de -10 °C).

O PP possui uma vasta gama de aplicações, nomeadamente: utensílios domésticos, recipientes, peças da indústria automóvel, entre outras (Moore, 1996). Na indústria automóvel e em outros ramos da engenharia, a necessidade de balancear a redução do peso das peças e custos das mesmas sem comprometer a estética dos produtos fez com que os plásticos substituíssem os metais (Moritomi et al., 2010).

Na Tabela 4 apresenta-se as gamas típicas das principais condições de injeção para o polipropileno.

Tabela 4 - Gamas típicas das principais condições de injeção para o polipropileno; Pinj – Pressão de injeção (Rosato et al., 2000).

Material Plástico	Densidade (g/cm^3)	Temperatura de injeção (°C)	Temperatura do molde (°C)	Pressão de injeção (bar)	Pressão de manutenção (bar)	Contração (%)
Polipropileno	0,901	220 -280	10 -75	800 -1400	30 - 60% Pinj	1 - 2,5

2.5. Processamento de polímeros

A moldação por injeção é uma das técnicas de processamento mais eficientes da actualidade, no que toca à produção de peças plásticas com geometria complexa. A moldação por injeção é um processo cíclico onde o material é aquecimento e, posteriormente, fundido. Nesta fase ele é forçado para o interior de um molde, previamente fechado, e a uma determinada altura o material fundido começa a arrefecer e a solidificar resultando num produto quando extraído do molde.

A temperatura é um fator importante no processo de injeção. A primeira temperatura a ser definida é a temperatura de injeção que tem a função de aquecer e fundir o material antes que este seja injetado no molde. Todos os materiais poliméricos apresentam uma temperatura de fusão específica, à qual são processados, a fim de manterem inalteradas as suas propriedades físicas. A temperatura do molde também é importante neste processo. O molde contém uma cavidade com uma geometria específica. Este tem a função de manter o material fundido dentro da cavidade moldante, arrefecendo-o até a sua solidificação. Posteriormente, a peça é removida através de extratores e um novo ciclo de injeção é iniciado. Quando o material é aquecido, as moléculas ficam desligadas umas das outras e podem mover-se livremente. Quando se dá o arrefecimento do material, as moléculas ligam-se umas às outras, novamente, recuperando a sua força. Se o arrefecimento for muito rápido as moléculas param de se mover antes de estarem totalmente ligadas entre si, resultando num produto com menores propriedades físicas (Bryce, 1997).

A evolução da pressão é um fator a ter em conta quando se faz a moldação por injeção. Deste modo, o controlo da pressão é fundamental, sendo uma das variáveis que mais influencia o produto final. A pressão de injeção é a primeira pressão a ser usada no processo de injeção. Esta pode ser definida como a quantidade de pressão necessária para produzir o enchimento inicial na cavidade moldante. O enchimento inicial representa, aproximadamente, 95% do enchimento total da cavidade do molde. A segunda pressão é aplicada no final da primeira pressão de injeção e é usada com a intenção de preencher os restantes 5% que faltam na

cavidade moldante. A monitorização da pressão através da utilização de sensores de pressão permite regular a pressão, de modo, a se obter propriedades uniformes nas moldações.

Na Figura 4 está representado a evolução da pressão durante um ciclo de injeção. Observa-se que o ciclo começa quando o molde fecha, ponto 1, seguido pela injeção do polímero fundido na cavidade moldante. A pressão aumenta devido ao aumento do comprimento de fluxo no interior da cavidade, ponto 2. A cavidade encontra-se volumetricamente cheia no ponto 3, sendo necessário a aplicação da segunda pressão para compensar a contração do material, ponto 4, havendo uma diminuição da pressão da fase de compressão para a fase de compactação. Nessa etapa, o material começa a arrefecer aumentando, deste modo, a sua viscosidade. No ponto 5 observa-se a solidificação do ponto de injeção, jito, resultando numa queda repentina de pressão. A pressão é nula no ponto 6 devido à solidificação da peça finalizando o ciclo de injeção com a extracção da peça na cavidade do moldante (Osswald et al., 2001).

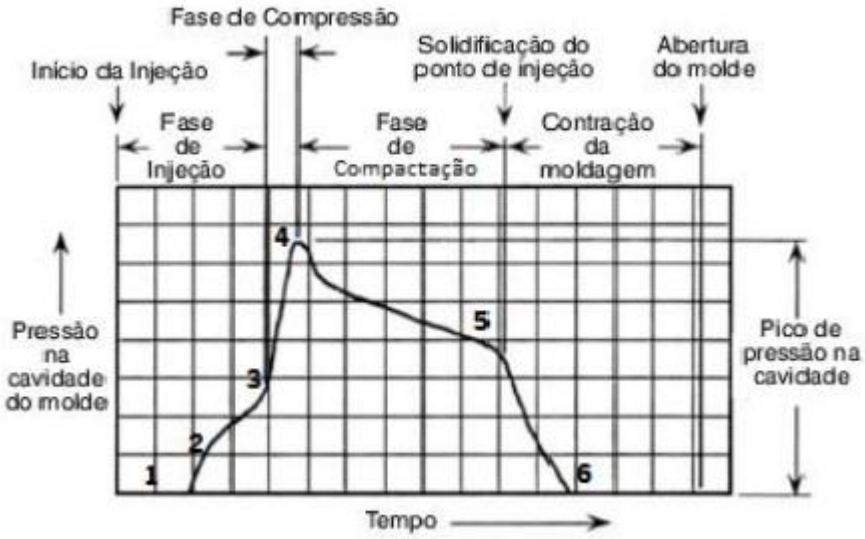


Figura 4 - Evolução da pressão na cavidade moldante durante um ciclo de injeção (adaptado de Reinert, 2005).

2.6 Fatores que influenciam a contração e empeno na peça

Hoje em dia, a elevada exigência em parâmetros apertados de qualidade nos produtos faz com que aumente o interesse no controlo do processo de injeção. Com efeito, é fundamental ter conhecimento do que acontece, na realidade, dentro da cavidade durante os ciclos de moldação por injeção.

A contração e o empeno são defeitos provenientes da moldação por injeção e estão dependentes das condições de processamento, do material a ser processado (amorfo e semi-cristalino) e dos reforços a utilizar no composto polimérico. As condições ambientais onde as peças permanecem após o processamento é um fator a ter em atenção, uma vez que estas condições, antes e após o processamento, influenciam as moldações.

A contração é definida como a redução da dimensão da peça, em comparação com o tamanho da cavidade moldante. Esta é proporcionada, essencialmente, pela contração térmica e pela compressibilidade, verificando-se uma diminuição no volume da peça (Hosseini et al., 2006; Zöllner, 2001). As condições de processamento devem ser selecionadas de forma a verificar-se uma correta contração da peça face às dimensões do molde. Os valores de contração devem manter-se estáveis ao longo dos ciclos de processamento e das mudanças ambientais (Goldon, 2010). Quando uma peça é extraída do molde, em certas condições de processamento, pode arrefecer e contrair durante 30 dias. É certo que os primeiros 95% do arrefecimento e da contração são obtidos nos primeiros minutos após a peça ser extraída do molde, mas os restantes 5% podem demorar um mês a estabilizar e finalizar (Reinert, 2005).

Os materiais amorfos apresentam uma baixa contração que ocorre igualmente em todas as direções. Esta contração é designada por contração isotrópica. Por outro lado, os materiais semi-cristalinos tendem a apresentar uma maior contração, sendo esta maior na direção do fluxo do que transversalmente à direção do fluxo. Esta contração é designada de contração anisotrópica. Contudo, quando se processa materiais reforçados a contração será menor na direção do fluxo e maior transversalmente à direção do fluxo. Este fenómeno acontece devido à orientação das fibras de reforço (Bryce, 1997; Kim et al., 2011).

Os materiais cristalinos tendem a sofrer um maior empeno em comparação com os materiais amorfos. A variação das densidades encontradas em materiais cristalinos criam tensões internas tendo como resultado o empeno (Bryce, 1997). O empeno numa moldação é o resultado das tensões criadas durante o processo de moldação por injeção ou logo após a extracção da peça no molde, cajo esta esteja muito quente.

Por norma, o empeno é associado a uma inadequada aplicação pressão e/ou tempo de injeção durante o processamento. Se for aplicada uma pequena pressão de injeção ou tempo, o material polimérico vai arrefecer e, posteriormente, solidificar antes que a cavidade esteja totalmente preenchida. Deste modo, as moléculas do polímero não vão estar próximas umas das outras, tendo espaço para se moverem livremente até à solidificação da moldação. Com efeito, a

camada exterior da moldação encontra-se solidificada mas a camada interior da moldação ainda está a arrefecer e é o movimento das moléculas, na camada interior, que causam a deformação, empeno, da peça. Por este motivo, deve-se aplicar uma maior pressão de injeção ou tempo para conter as moléculas na fase de arrefecimento até à solidificação da moldação (Bryce, 1997).

2.6.1. Condições de processamento

2.6.1.1. O efeito da temperatura

Uma maneira de alterar a contração da moldação é a partir do ajuste da temperatura do polímero quando este estiver dentro do cilindro da máquina de injeção. Geralmente, quanto maior for a temperatura do polímero maior a contração da moldação. Este fenómeno acontece devido à atividade individual das moléculas no fundido. Deste modo, quando se aumenta a temperatura, as moléculas expandem-se ocupando um maior espaço, ou seja, quanto maior a temperatura do fundido maior a expansão das moléculas no mesmo.

A contração pode ser alterada ajustando a temperatura do molde. Bryce declara que um molde a uma temperatura mais quente fornece uma menor contração do que um molde a uma temperatura mais fria. Com efeito, o molde frio vai solidificar mais cedo a "casca" do polímero do que o molde mais quente, resultando na contração da moldação antes que seja aplicada a segunda pressão. Por outro lado, um molde quente permite a continuação da movimentação das moléculas sendo, posteriormente, pressionadas pela segunda pressão antes da solidificação da moldação, resultando numa menor contração (Bryce, 1997). No entanto, com uma temperatura do molde mais quente há um ligeiro aumento da contração, isto porque quanto maior a temperatura do molde, maior o tempo de arrefecimento da peça, logo maior percentagem de cristalização e consequentemente maior contração (Santos, 2012).

2.6.1.2. O efeito da pressão

A pressão de injeção afeta diretamente a contração das moldações. Quanto maior for a pressão de injeção menor será a taxa de contração. Com efeito, a pressão de injeção faz com que as moléculas fiquem mais próximas. A uma maior pressão, as moléculas ficam mais apertadas e quanto mais próximas tiverem, menos movimentos podem realizar até o fundido solidificar, resultando numa menor contração. A contração é controlada durante a aplicação da pressão até à solidificação da moldação. Se isso não acontece-se, a contração seria maior porque as moléculas estão livres para se movimentar (Bryce, 1997).

2.7. Contração e empeno em materiais reforçados

Segundo Santos, a velocidade de injeção não afeta significativamente a contração. Com temperaturas do molde mais baixas as contrações das moldações são ligeiramente mais baixas. Para temperaturas do molde maiores há uma menor contração longitudinal, relativamente à contração transversal. A contração do PP ICORENE CO14RM não é alterada face à contração do PP/Al 75, logo não há influência na adição de partículas metálicas na contração da matriz polimérica (Santos, 2012).

A principal causa do empeno em materiais poliméricos reforçados é a orientação das fibras, mas a causa que mais influencia este defeito de processamento é a não distribuição uniforme da temperatura e da pressão durante a moldação por injeção. Para além disso, o tipo de material é muito importante para caraterizar e controlar o empeno das moldações (Kikuchi et al,.1996). A contração ortotrópica induz uma tensão residual nas peças moldadas por injeção devido à orientação preferencial das partículas resultando, deste modo, no empeno das moldações (Maier & Calafut, 1998).

Os materiais amorfos reforçados são mais sensíveis à segunda pressão e às variações da temperatura do molde do que os materiais semi-cristalinos reforçados. Para materiais não reforçados o aumento da segunda pressão diminui o empeno de peças moldadas por injeção Deste modo, uma aplicação adequada da segunda pressão pode evitar o empeno das moldações para materiais reforçados e não reforçados (Alves, 2007).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Material

Para a realização deste trabalho utilizou-se como matriz polimérica o polipropileno homopolímero, apropriado para a moldação por injeção. Os polipropilenos a utilizar são o Ducor 3048TC e o Carpilene® R 50, ambos fornecidos em forma de grânulos.

De forma a modificar as propriedades o polipropileno adicionam-se cargas e reforços com o intuito de fazer um balanceamento entre o bom custo e o bom desempenho da peça. A adição de cargas metálicas irá fornecer ao composto um tom metálico apelativo, bem como confere às peças plásticas boas propriedades mecânicas, elétricas e térmicas.

Na Tabela 5 e Tabela 6 estão descritas algumas propriedades dos materiais a utilizar neste projeto.

Tabela 5 - Propriedades do PP Carpilene® R 50

Índice de fluidez (230°C/2,16 kg)	12 g/10 min
Módulo à flexão (5mm/min)	1400 MPa
Resistência à tração (50mm/min)	32 MPa

Tabela 6 - Propriedades do PP Ducor 3048 TC

Densidade	0,91 g/cm^3
Índice de fluidez (230°C/2,16 kg)	48 g/10 min
Módulo à flexão (1mm/min)	1900 MPa
Resistência à tração (50mm/min)	39 MPa

3.2. Pigmentos metálicos

Os pigmentos de alumínio são compatíveis com uma vasta gama de termoplásticos, incluindo poliestirenos, poliolefinas, poliamidas e policarbonatos. Devido à opacidade muito baixa das partículas metálicas deve-se incorporar na matriz polimérica cerca de 0,5-1,5% de partículas de alumínio 75 μm.

As partículas de alumínio apresentam uma geometria "Corn Flake" e são fornecidas em pellets, contendo 70% de pigmento de alumínio e 30% de poliolefinas. O bronze é fornecido em pó e contém na sua composição cerca de 85% de cobre e 15% de zinco.

A Tabela 7, abaixo mencionada, fornece algumas informações sobre as partículas metálicas a utilizar neste trabalho.

Tabela 7 – Informação sobre os pigmentos metálicos

Propriedades	Pigmentos metálicos		
Designação/ aspeto visual	21075 Aluminium pigment de 75 microns 	Sparkle silvet 880-30 de 27 microns 	Bronze powder 7600 rich pale bronze de 15 microns 
Fabricante	Siberlane	Siberlane	Eckart
Fornecedor	Poliversal	Poliversal	Poliversal

O melhor processo de pré-mistura do polímero e das cargas metálicas é através da mistura mecânica, designado de tambor rotativo, com movimentação suave. Geralmente, o processo de mistura não deve exceder os 10 minutos. Uma vez que o bronze se encontra em pó, será necessário processar o compósito PP/ bronze por extrusão. Como tal, obtém-se um compósito granulado, pronto a ser utilizado na moldação por injeção.

3.3. Processamento dos compósitos

A peça em estudo, indicada na Figura 5, apresenta uma espessura de 1,5 mm, uma largura de 40 mm e um comprimento de 134 mm. Como caraterística a peça em estudo apresenta um ataque em lâmina. A geometria da peça é pensada com a intenção de se poder calcular a deformação do angulo da aba e, posteriormente, poder-se determinar o empeno da mesma. Com efeito, o ângulo de 30° pode ser influenciado com o empeno e contração da peça permitindo, deste modo, estudar a influência das condições de processamento, bem como, dos dois materiais em estudo.

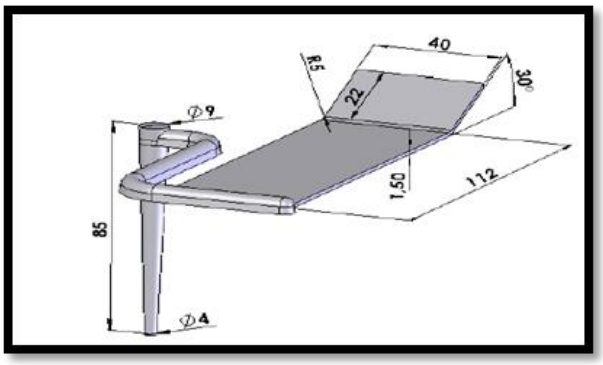


Figura 5 - Peça em estudo

A máquina de injeção utilizada para a obtenção das moldações foi a Engel SPEX VICTORY 50. A máquina de injeção apresenta uma força de injeção de 40 kN, e possui uma pressão máxima de injeção de 162 MPa. Na Figura 6 é visível a fotografia da máquina de injeção utilizada para obter as moldações.



Figura 6 - Máquina de injeção

O processamento realizou-se em condições de pressão e temperatura controlada através de sensores colocados no molde. Face ao exposto, o molde contém dois sensores de pressão, três termopares e um sensor de infravermelhos que não será utilizado neste estudo. Ambos estão localizados no molde em locais específicos como indica a Figura 7.



Figura 7 - Molde com a localização dos sensores; P1 e P2 - Sensores de pressão; T1, T2 e T3 - Termopares; IR - Infravermelhos.

As medições de pressão e de temperatura foram obtidas através do sistema de aquisição de dados, o Priamus Box Tull. Este aparelho foi utilizado com o objetivo de se obter informação adicional sobre as variações da pressão e da temperatura durante os ciclos de injeção. Deste modo, consegue-se controlar o processo de injeção. O Priamus Box Tull, indicado na Figura 8, contém duas unidades portáteis de medição. Numa das unidades de medição podem ser ligados seis sensores de pressão e quatro sensores de temperatura.

Para este estudo utilizou-se dois sensores de pressão (MPS 408), com dimensões padronizadas e unificadas de sensibilidade, o fator de sensibilidade para o SP1 é de 9,4 pc/bar e para o SP2 é de 6,5 pc/bar. Também foi utilizado três termopares (MGT 408) com dois pontos de medição a fim de se detetar o gradiente de temperatura na parede do molde, a saída para estes sensores é do tipo k (ni – cr – type).

Frente Trás





Figura 8 – Sistema de aquisição de dados – Priamus Box Tull

As variáveis de processamento a estudar são a temperatura do molde e a segunda pressão, as restantes condições de processamento serão mantidas constantes. A temperatura do molde e a segunda pressão serão variadas como indica a Tabela 8. Na Tabela 9 estão representadas as condições de processamento para o polipropileno baixo índice de fluidez, PP Carpilene R50, e na Tabela 10 estão descritas as condições de processamento para o polipropileno de elevado índice de fluidez, PP Ducor 3048 TC.

Tabela 8 - Condições de processamento do PP

Condições de processamento	Valor	Unidade
Perfil de temperaturas	230; 210; 180; 150; 30	^{0}C
Temperatura de injeção	230	^{0}C
Pressão de injeção	56,5	MPa

Temperatura do molde	25 - 40 - 55	^{0}C
Velocidade de injeção	30	mm/s
Segunda pressão	20 – 30 - 40	MPa
Tempo da segunda pressão	10	s
Tempo de arrefecimento	12	s
Tempo de ciclo	33	s
Tempo de injeção	2	s
Almofada	6	cm^3
Volume de dosagem	22	cm^3
Diâmetro do fuso	30	mm

Tabela 9 - Condições de processamento a variar neste estudo para o PP Carpilene® R 50

Moldação nº	Temperatura do molde (ºC)	Segunda Pressão (MPa)	Partículas metálicas
A1	40	20	0%
A2	40	30	
A3	40	40	
B4	25	30	
B5	40	30	
B6	55	30	
C7	40	20	2% de pigmentos de alumínio 27 μm
C8	40	30	
C9	40	40	
D10	25	30	
D11	40	30	
D12	55	30	
E13	40	20	2% de pigmentos de alumínio 75 μm
E14	40	30	
E15	40	40	
F16	25	30	
F17	40	30	
F18	55	30	
G19	40	20	0,5% de pigmentos de bronze
G20	40	30	
G21	40	40	
H22	25	30	
H23	40	30	
H24	55	30	

Tabela 10 - Condições de processamento a variar neste estudo para o PP Ducor 3048TC

Moldação nº	Temperatura do molde (ºC)	Segunda Pressão (MPa)	Partículas metálicas
A25	40	20	0%
A26	40	30	
A27	40	40	
B28	25	30	
B29	40	30	
B30	55	30	
C31	40	20	2% de pigmentos de alumínio 27 μm
C32	40	30	
C33	40	40	
D34	25	30	
D35	40	30	
D36	55	30	
E37	40	20	2% de pigmentos de alumínio 75 μm
E38	40	30	
E39	40	40	
F40	25	30	
F41	40	30	
F42	55	30	
G43	40	20	0,5% de pigmentos de bronze
G44	40	30	
G45	40	40	
H46	25	30	
H47	40	30	
H48	55	30	

Para cada condição retirou-se vinte moldações, dez destas para estabilizar o processo de moldação por injeção, as restantes dez para medir a contração e o empeno das moldações. Na Tabela 11 está apresentado o número total de peças a processar para realizar as medições da contração e do empeno.

Tabela 11 - Numero de peças a injetar

Número de peças a injetar	
Número total de peças a processar	480
Numero total de peças a processar incluindo 10 rejeitadas	960

3.4. Procedimento de avaliação da contração e empeno

3.4.1. Contração

As medições da contração foram efetuadas com um paquímetro digital Caliper, de precisão 0,01mm, 48 horas após o processamento das mesmas. Cada peça foi colocada numa superfície plana e com o paquímetro inclinado na direção do fluxo mediu-se três vezes a largura nas três zonas da peça. A contração foi analisada em três zonas na peça, a zona 1 que está representada como LP1, a zona 2 representada como LP2 e a zona 3 representada como LP3, como indica a Figura 9.



Figura 9 - Locais das medições da contração na moldação

Seguidamente, calculou-se a média total de contração nas três zonas da peça, utilizando a seguinte formula matemática:

$$Contração\ (\%) = \frac{Dimensão\ do\ Molde - Dimensão\ da\ Peça}{Dimensão\ do\ Molde} \times 100$$

3.4.2. Empeno

O empeno da peça foi medido numa zona específica a fim de se comparar a diferença entre o ângulo da aba na peça e o ângulo da aba no molde. A medição do empeno foi realizada através de um equipamento específico, equipamento de metrologia de medição 3D. As moldações foram colocadas num suporte metálico localizado na mesa do equipamento, deste forma as medições foram realizadas para todas a peças no mesmo local, na mesma posição. De seguida, foram efetuadas as medições do ângulo da aba em diversos locais ao longo do comprimento da peça. Para isso, definiu-se um plano 1 na zona horizontal da peça e, posteriormente, um plano 2 na zona inclinada da peça. Deste modo, o software permite calcular o ângulo entre os planos. Para cada peça foram medidos três planos na zona horizontal e três

planos na zona inclinada, de forma a ter-se uma média da deformação do ângulo da aba. Por fim, subtraiu-se o ângulo da peça ao ângulo do molde. Quanto menor for esta diferença menor será o empeno da peça.

3.5. Aspeto metálico das moldações

A substituição do metal por materiais poliméricos com aspecto metálico sem a alteração da contração e do empeno das peças é um dos objetivos principais deste trabalho de dissertação. Com efeito, o aspeto metálico das moldações é visível na Figura 10.

O efeito metálico é facilmente obtido quando estas partículas são usadas e todos os compósitos possuem cor metálica correspondente ao pigmento usado. Observar-se que os compósitos PP/Al 27 e PP/Al 75 apresentam uma cor prateada e o PP/Bronze uma cor dourada. Verifica-se que o PP/Al 27 tem um efeito metálico que produz a aparência de um aço polido, enquanto o PP/Al 75 apresenta na superfície um efeito metálico brilhante parecendo que a peça foi submetida a um processo de pintura.

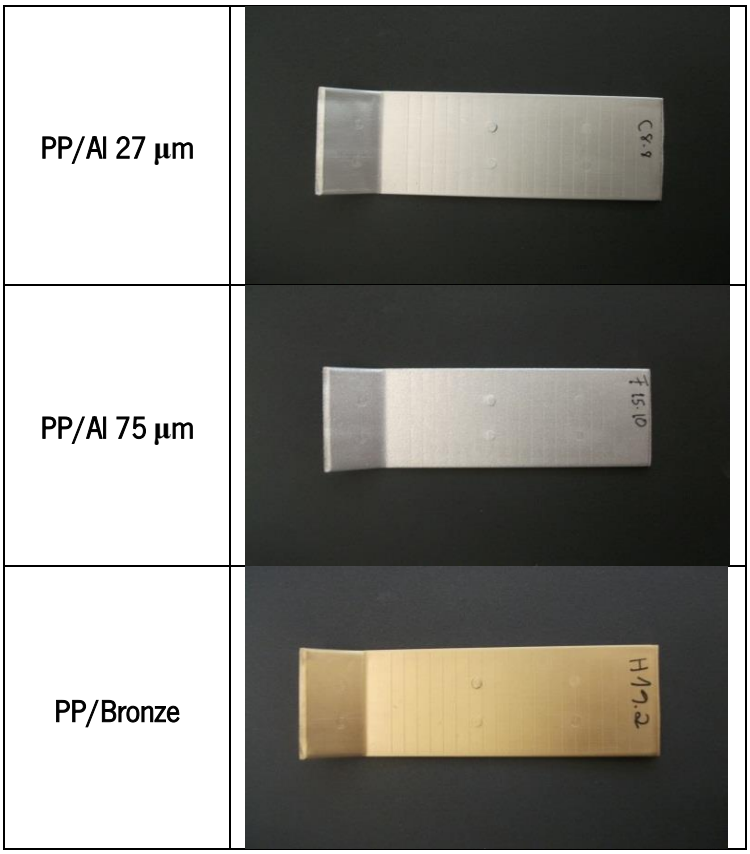


Figura 10 – Aspeto metálico das moldações

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. Evolução da pressão na cavidade moldante

A evolução da pressão durante o processo de injeção é apresentada neste capítulo. A monitorização da pressão foi realizada através da sensorização do molde. Deste modo, pretende-se verificar qual a influência das condições de processamento no empeno e na contração das peças moldadas por injeção.

Neste capitulo estão representadas as curvas de pressão para o polipropileno de elevado índice de fluidez, PP 3048 TC, e para o polipropileno de baixo índice de fluidez, PP Carpilene R50. As curvas de pressão são apresentadas em função das variáveis operatórias definidas, ou seja, em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa e a uma temperatura do molde contante de 40^{0}C. As curvas abaixo indicadas foram obtidas através do sensor de pressão 1, SP1, localizado no início do enchimento da peça, e através do sensor de pressão 2, SP2, localizado na fase final do enchimento da peça.

4.1.1. Evolução da pressão para o PP Ducor 3048 TC

As imagens baixo apresentadas são referentes ao polipropileno de alto índice de fluidez sem qualquer adição de cargas metálicas. A Figura 11 corresponde às curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 1 e a Figura 12 corresponde às curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 2.

A pressão é nula até atingir o sensor de pressão 1 e o sensor de pressão 2. Para uma segunda pressão mais baixa, 20 MPa, há uma queda de pressão repentina na cavidade. Com efeito, a pressão é nula mais rapidamente nessa condição do que nas restantes condições, nesta fase dá-se o início da contração.

A Figura 11 apresenta uma pressão máxima de 19 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 26 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 33,20 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

A Figura 12 apresenta uma pressão máxima de 14,80 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 24,43 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 31 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

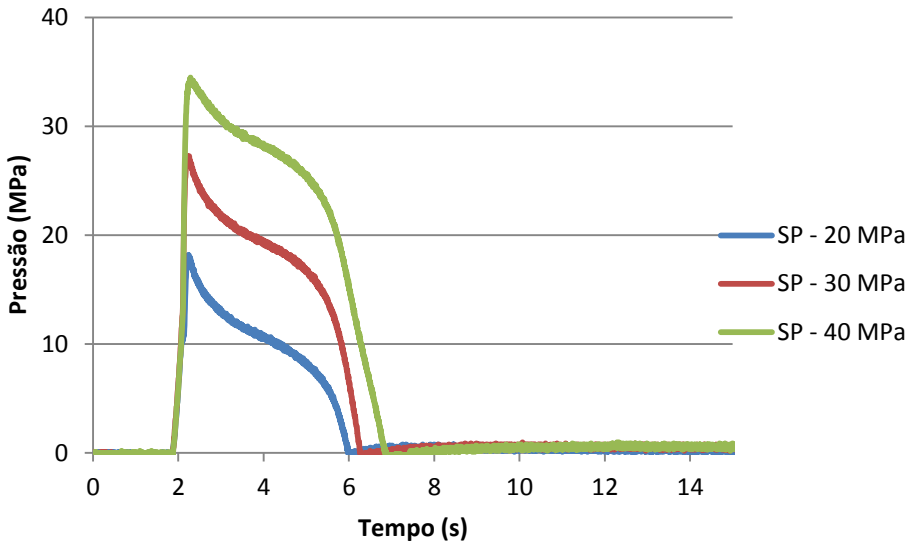


Figura 11 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

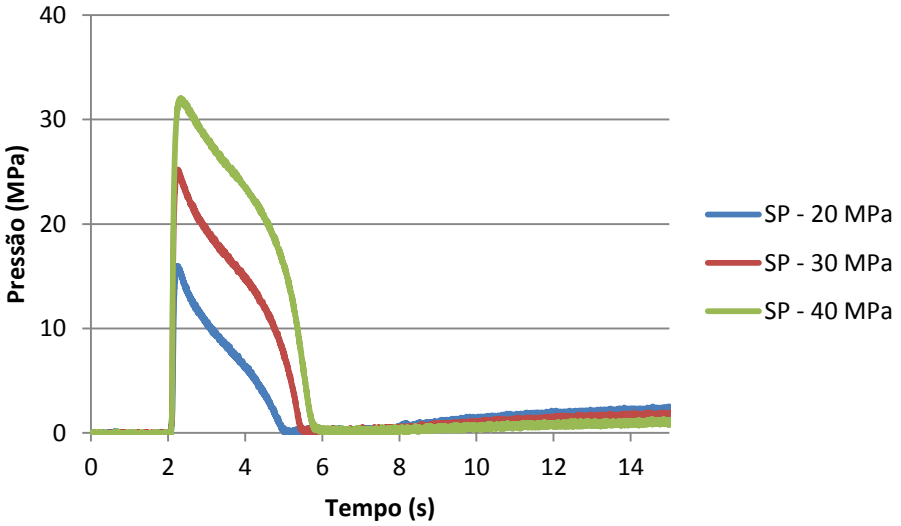


Figura 12 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.1.2. Evolução da pressão para o PP reforçado

4.1.2.1. PP/Al 27

As imagens baixo apresentadas são referentes ao polipropileno de elevado índice de fluidez com a adição de 2% de cargas de alumínio de tamanho 27 μm. A Figura 13 indica as curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 1 e a Figura 14 indica as curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 2.

O processo de injeção começa 2,7s quando o fundido atinge o sensor de pressão 1 e posteriormente o sensor de pressão 2. Há um aumento da pressão até aos 34,38 MPa na Figura

13 e, um aumento da pressão até aos 31,35 MPa na Figura 14 (final da fase de enchimento). Seguidamente, há uma diminuição da pressão, que ocorre devido ao arrefecimento do fundido. A pressão é nula quando se inicia a fase de solidificação do material.

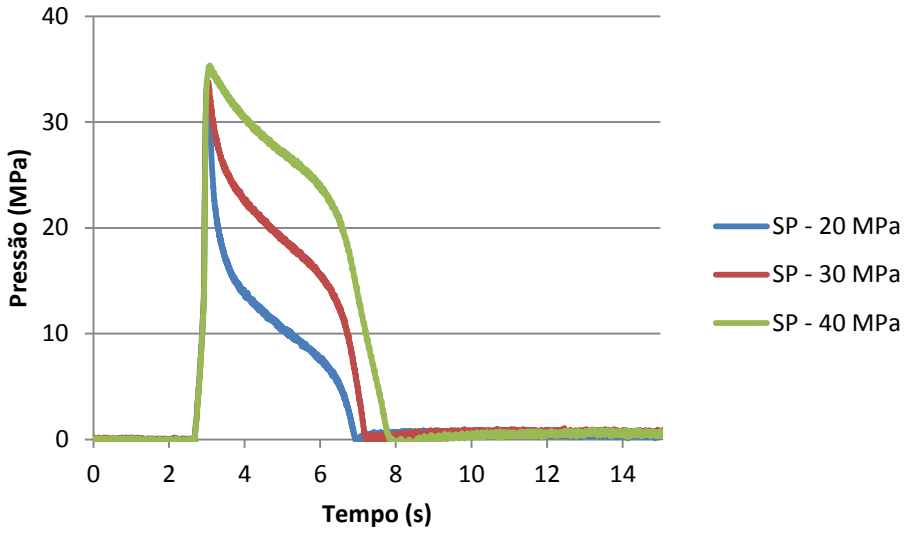


Figura 13 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

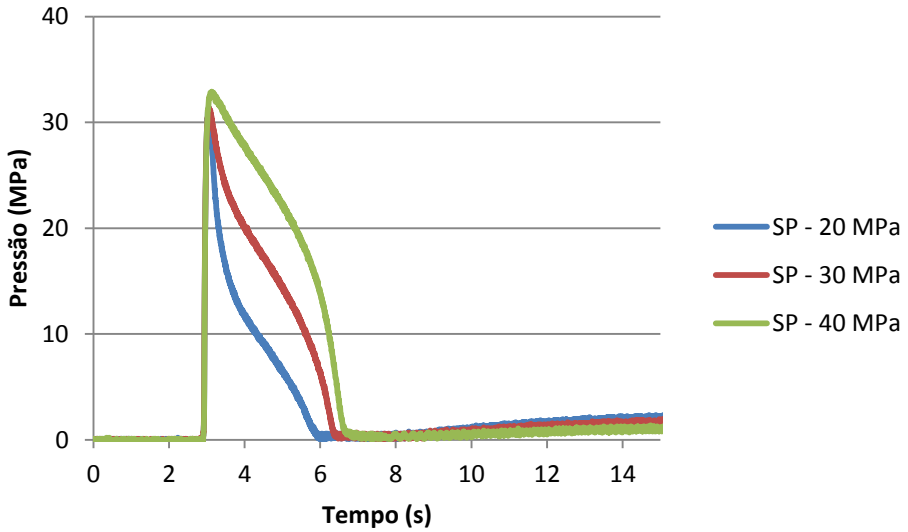


Figura 14 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.1.2.2. PP/Al 75

A Figura 15 e a Figura 16 são referentes ao polipropileno de elevado índice de fluidez reforçado com 2% de pigmentos de alumínio de tamanho 75 μm.

O processo de injeção começa aproximadamente aos 3,9s quando o fundido atinge os sensores de pressão localizados em zonas distintas no molde. Seguidamente, há aumento da pressão devido ao aumento do comprimento de fluxo no interior da cavidade. A cavidade encontra-se volumetricamente cheia sendo necessário uma maior pressão para que o fundido progrida para o interior do molde. Dá-se a comutação para a pressão de compactação (2ªP), havendo uma diminuição de pressão na fase de compressão para a fase de compactação.

A Figura 15 apresenta uma pressão máxima de 22,95 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 25,20 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 28,61 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. Observa-se através da Figura 16 uma pressão máxima de 21,02 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 22,68 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 26,1 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. A pressão é nula quando se dá a solidificação do material.

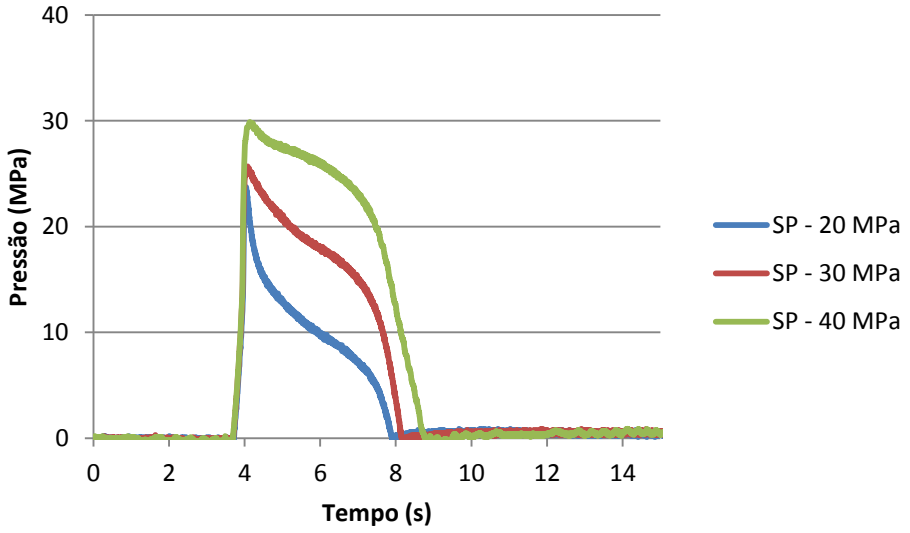


Figura 15 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 75 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40ºC. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

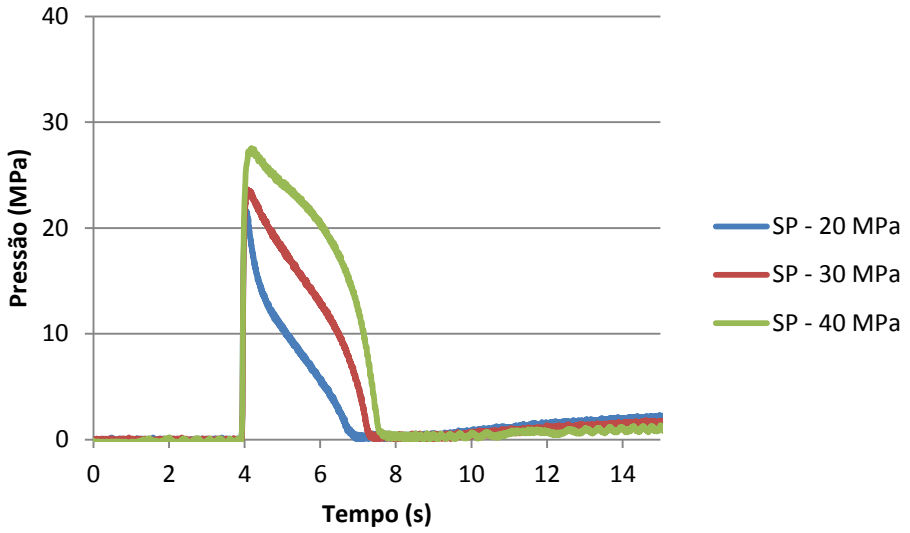


Figura 16 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% Al 75 µm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{0}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.1.2.3. PP/Bronze

As curvas de pressão para o polipropileno de alto índice de fluidez reforçado com 0, 5% de cargas de bronze são indicadas na Figura 17 e na Figura 18. Onde a Figura 17 representa as curvas de pressão obtidas pelo sensor de pressão 1 e na Figura 18 representa as curvas de pressão obtidas pelo sensor de pressão 2.

O processo de injeção começa aproximadamente aos 0,8s, quando o fundido atinge os sensores de pressão. A Figura 17 apresenta uma pressão máxima 20,55 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa de, de 24,36 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e de 31,44 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. Na Figura 18 verifica-se uma pressão máxima de 12,25 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, de 14,84 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e de 20,48 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

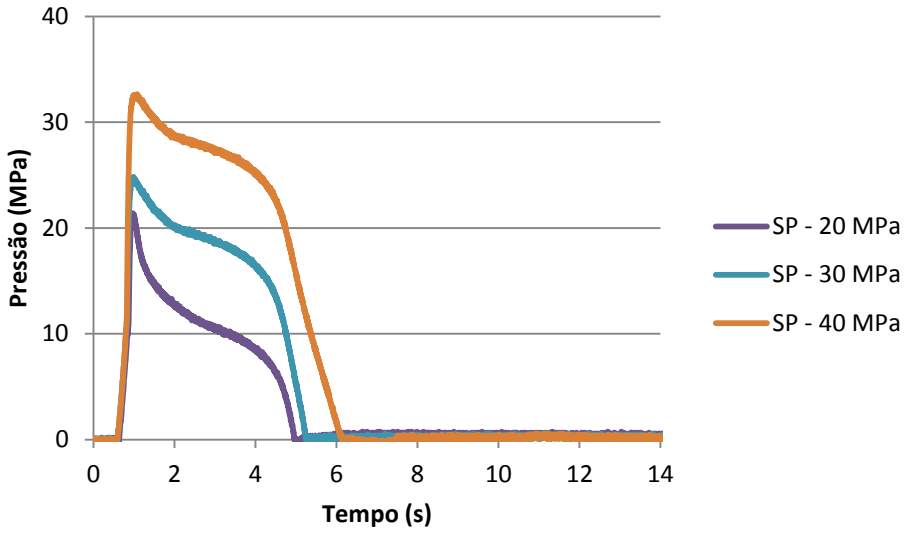


Figura 17 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

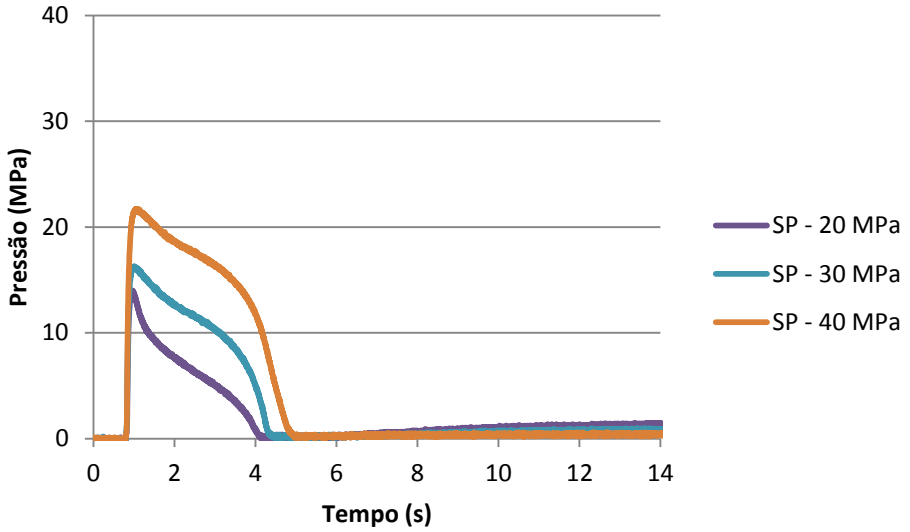


Figura 18 - Curva de pressão do PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.2. Evolução da pressão para o PP Carpilene R50

As figuras, abaixo apresentadas, são referentes ao polipropileno de baixo índice de fluidez sem a adição de cargas metálicas. A Figura 19 corresponde às curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 1 e a Figura 20 corresponde às curvas de pressão obtidas através do sensor de pressão 2.

Em ambas constata-se que a uma a pressão mais baixa, 20 MPa, há uma queda de pressão na cavidade.Com efeito, a pressão é nula mais cedo nessa condição do que nas restantes.

Observa-se através da Figura 19 uma correta comutação da pressão de injeção para a segunda-pressão de 40 MPa, o mesmo não acontece com as outras pressões utilizadas.

O processo de injeção começa aproximadamente aos 1,2s quando o fundido atinge os sensores de pressão. Através da Figura 19 observa-se uma pressão máxima de 12 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 18,26 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 24,02 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. Através da Figura 20 verifica-se uma pressão máxima de 9,34 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 14,60 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 20,25 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

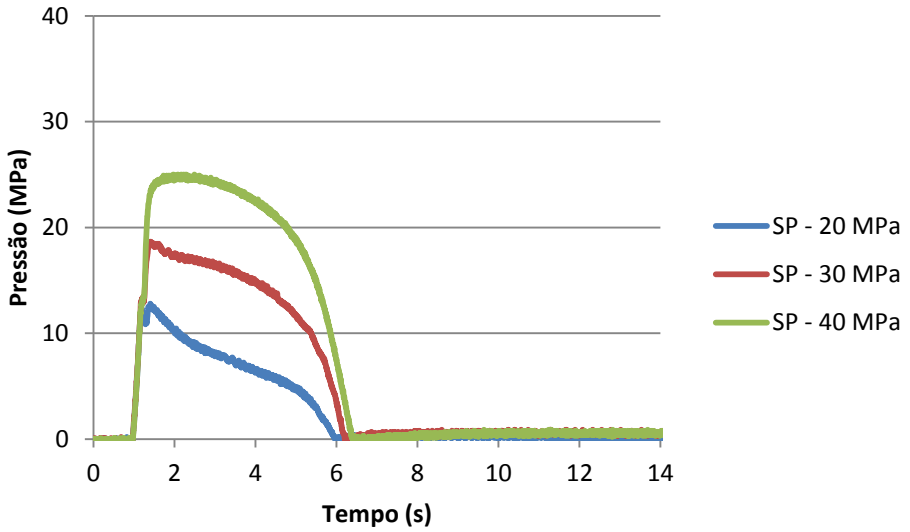


Figura 19 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{o}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

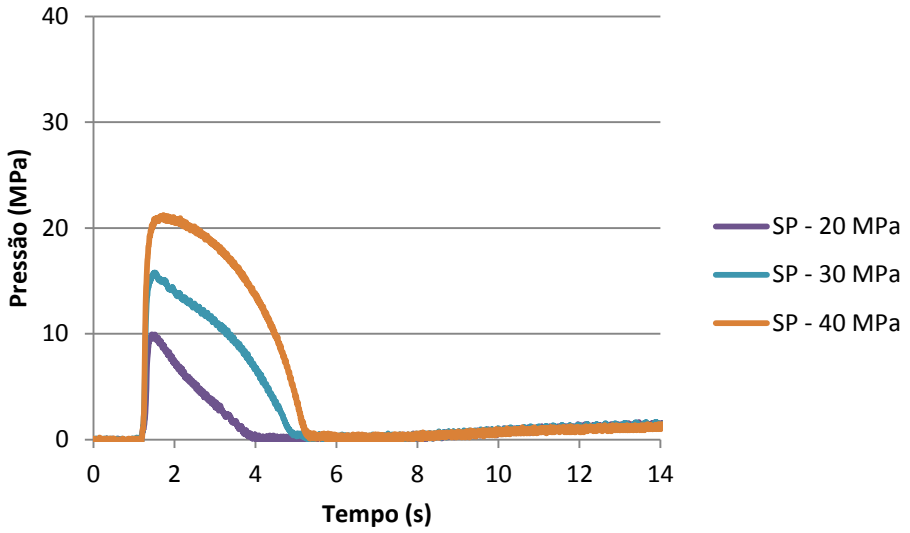


Figura 20 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40^{o}C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.2.1. Evolução da pressão para o PP reforçado

4.2.1.1. PP/Al 27

As curvas de pressão para o polipropileno de baixo índice de fluidez reforçado com 2% de cargas de alumínio de tamanho 27 μm são apresentadas na Figura 21 e a Figura 22. O processo de injeção começa aproximadamente aos 2,8s quando o fundido atinge os sensores de pressão localizados em zonas diferentes no molde.

Verifica-se, através das figuras, que a curva de segunda pressão de 20 MPa não apresenta uma variação de pressão esperada, uma vez que a curva possui um maior pico de pressão com uma segunda pressão de 20 MPa, este fenómeno é explicado pelo enchimento total da peça com a primeira pressão.

Ocorreu uma comutação prematura da fase de injeção para a segunda pressão, havendo um enchimento da peça com a segunda pressão nas curvas de pressão referentes a uma segunda pressão de 30 MPa e uma segunda pressão de 40 MPa. Os resultados das moldações desta condição de processamento não serão alterados, uma vez que este trabalho tem como estudo a influência da segunda pressão na contração e no empeno das peças injetadas.

A Figura 21 apresenta um pico de pressão de 33,4 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 14,74 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma

pressão máxima de 24,32 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. Observa-se através da Figura 22 um pico de pressão máximo de 29,30 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 13,04 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 21,91 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

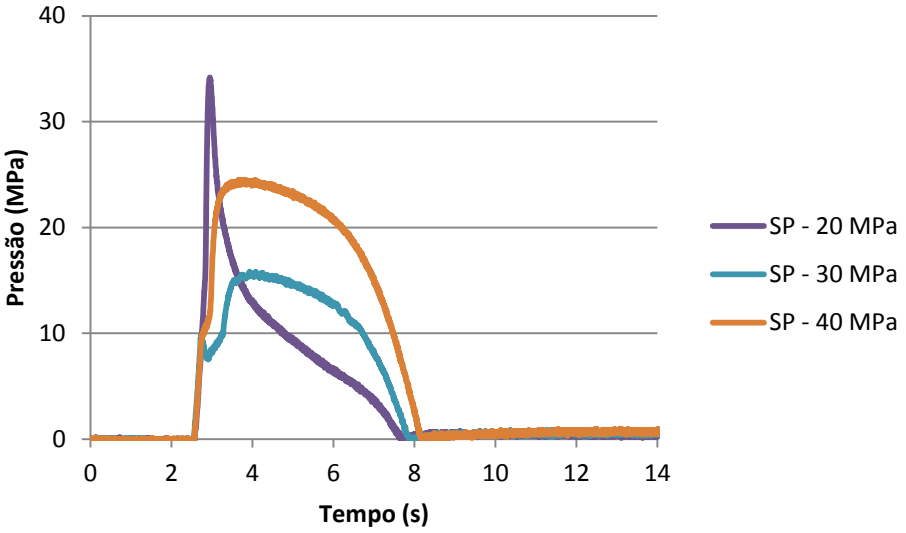


Figura 21 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

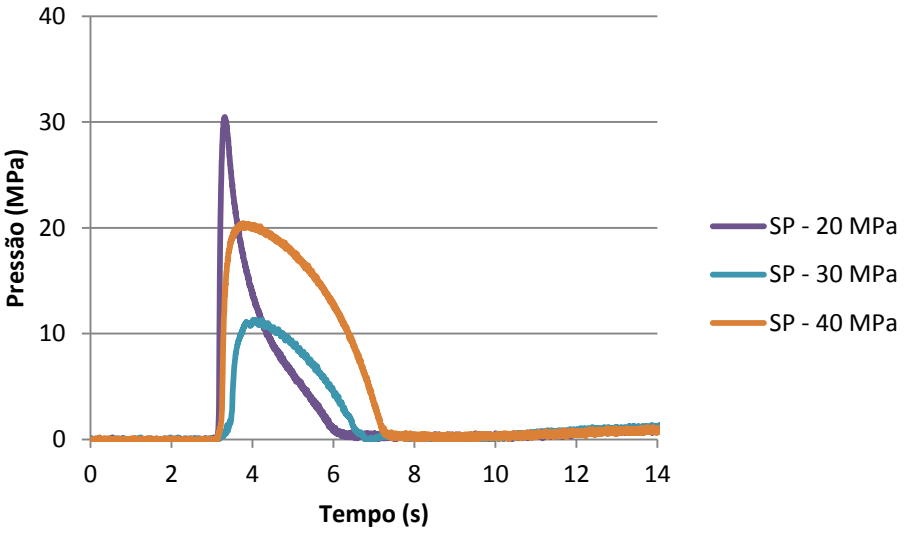


Figura 22 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 μm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.2.1.2. PP/Al 75

Tanto a Figura 23 como a Figura 24 apresentam a evolução da pressão para o polipropileno de baixo índice de fluidez reforçado com 2% de cargas de alumínio de tamanho 75 µm. O processo de injeção começa aproximadamente aos 4s quando o fundido atinge os sensores de pressão localizados em diferentes zonas no molde. Há um aumento da pressão aproximadamente até aos 25,70 MPa na Figura 23 e, um aumento da pressão aproximadamente até aos 22,30 MPa na Figura 24. Seguidamente, há uma diminuição da pressão, que ocorre devido ao arrefecimento do fundido. O aumento da segunda pressão não afeta significativamente a pressão da cavidade para o compósito PP/Al 75.

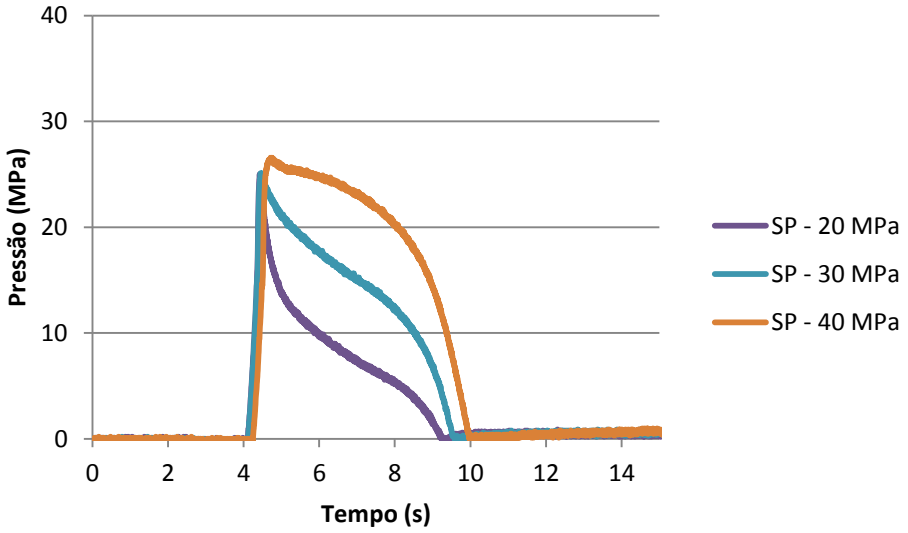


Figura 23 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 µm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40ºC. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

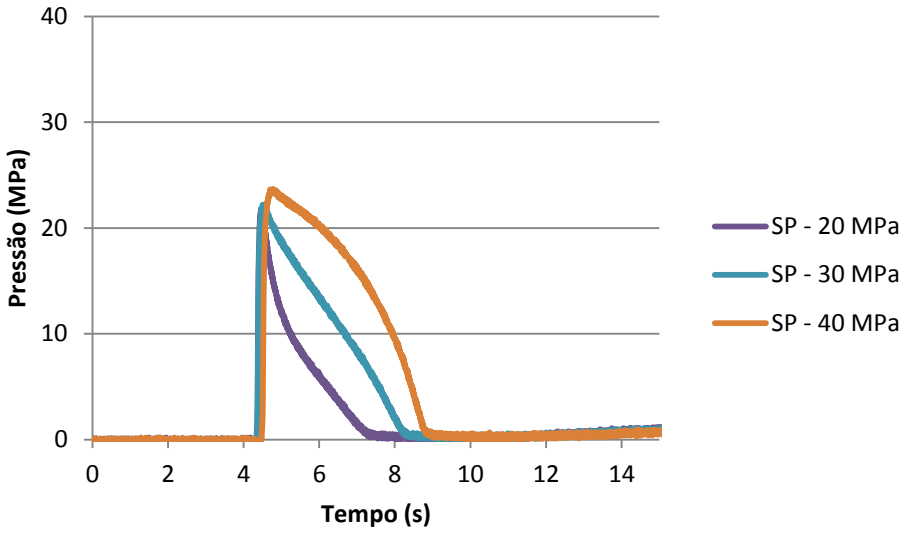


Figura 24 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 µm em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40ºC. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.2.1.3. PP/Bronze

As curvas de pressão do polipropileno de baixo índice de fluidez reforçado com 0,5% de cargas de bronze são apresentadas na Figura 25 e a Figura 26. O processo de injeção começa aproximadamente aos 3,5s quando o fundido atinge os sensores de pressão. De seguida, verifica-se um aumento da pressão e ocorre a comutação da segunda pressão, havendo uma diminuição da pressão resultando do aumento de viscosidade devido ao arrefecimento do fundido.

A injeção não ocorreu como esperado, uma vez que a curva de segunda pressão de 20 MPa apresenta um enchimento da peça com a primeira pressão. Nas restantes curvas ocorreu uma comutação prematura da fase de injeção para a segunda pressão, havendo um enchimento da peça com a segunda pressão. Esta condição de processamento não irá afetar os resultados da contração e do empeno uma vez que uma das variáveis em estudo é a segunda pressão.

A Figura 25 apresenta um pico de pressão de 25,20 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 16,64 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 25,77 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa. Verifica-se na Figura 26 um pico de pressão de 15,69 MPa para uma segunda pressão de 20 MPa, uma pressão máxima de 11,21 MPa para uma segunda pressão de 30 MPa e uma pressão máxima de 15,95 MPa para uma segunda pressão de 40 MPa.

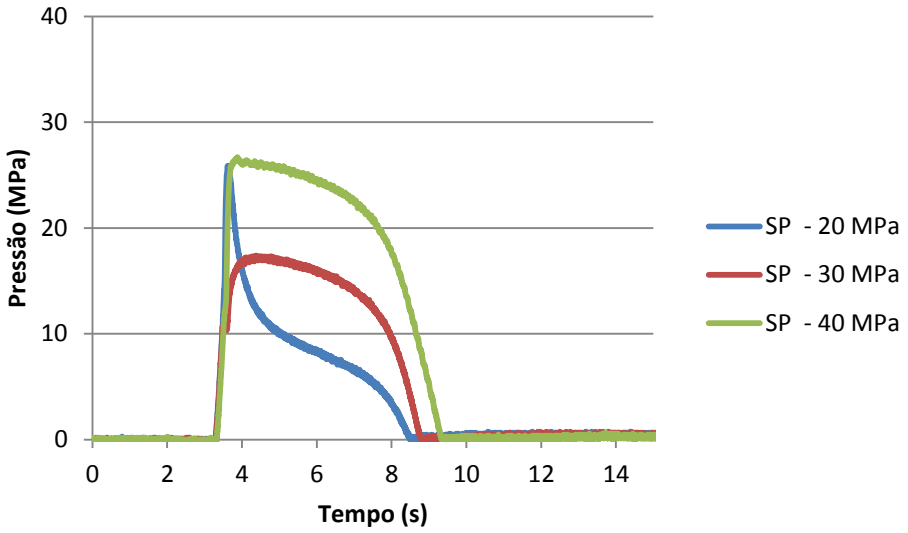


Figura 25 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

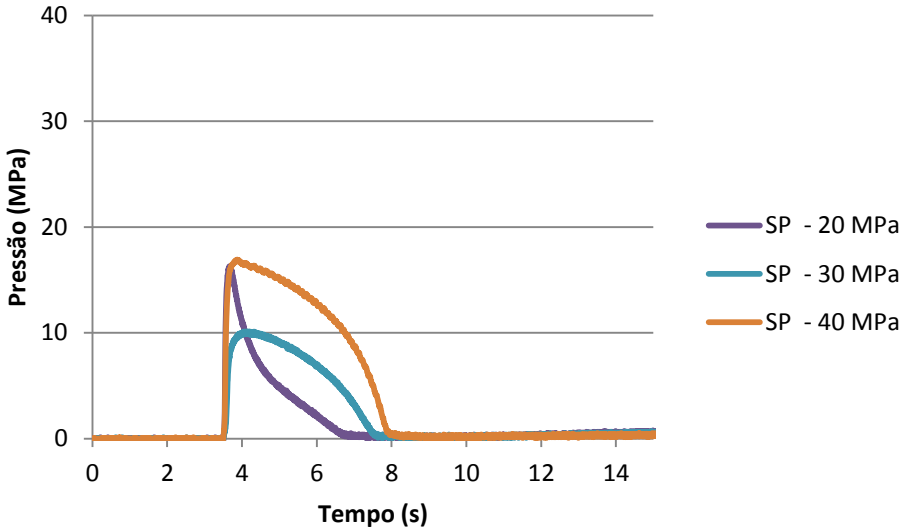


Figura 26 - Curva de pressão do PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze em função da segunda pressão de 20, 30 e 40 MPa a uma temperatura do molde constante de 40°C. Curvas obtidas através do sensor de pressão 2 – SP2.

4.3. Evolução da pressão nos compósitos

Na Figura 27 é apresentado todas as curvas de pressão referentes ao PP Ducor 3048 TC. Ambas as curvas foram obtidas a uma temperatura do molde contante de 40°C e a uma segunda pressão de 40 MPa.

O PP sem carga e o PP/Al 27 apresentam uma maior pressão na cavidade do que os restantes compósitos. Com a introdução do pigmento metálico há uma maior resistência à

passagem do material fundido na cavidade, resultando numa menor pressão na cavidade moldante.

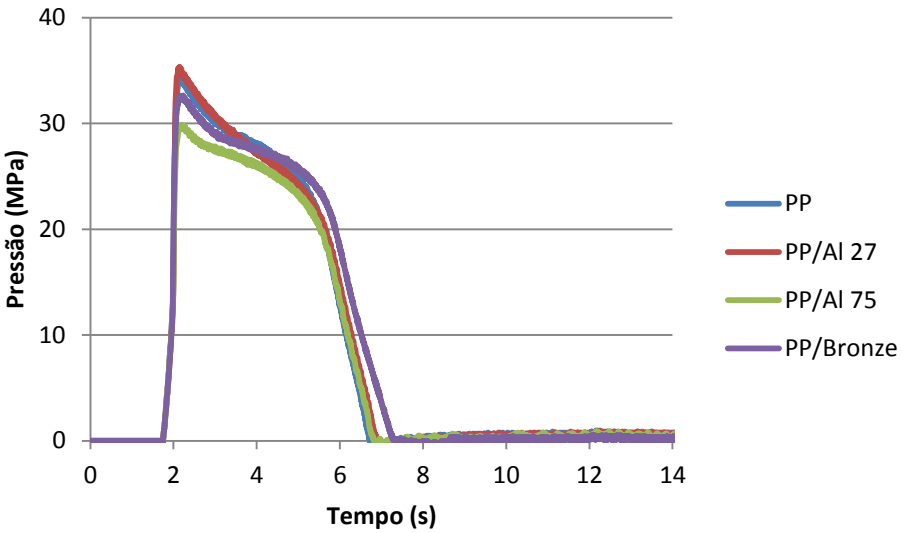


Figura 27 – Curvas de pressão dos compósitos do PP Ducor 3048 TC. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

A Figura 28 representa as curvas de pressão do PP Carpilene R50. As curvas de pressão do PP, PP/Al 27 e PP/Bronze apesentam valores de pressão muito próximos. Contudo, o PP/Al 27 apresenta uma menor pressão de injeção em comparação com os restantes compósitos. Comparando a Figura 27 com a Figura 28, verifica-se uma pressão de injeção mais baixa para o PP Carpilene do que para o PP Ducor 3048 TC.

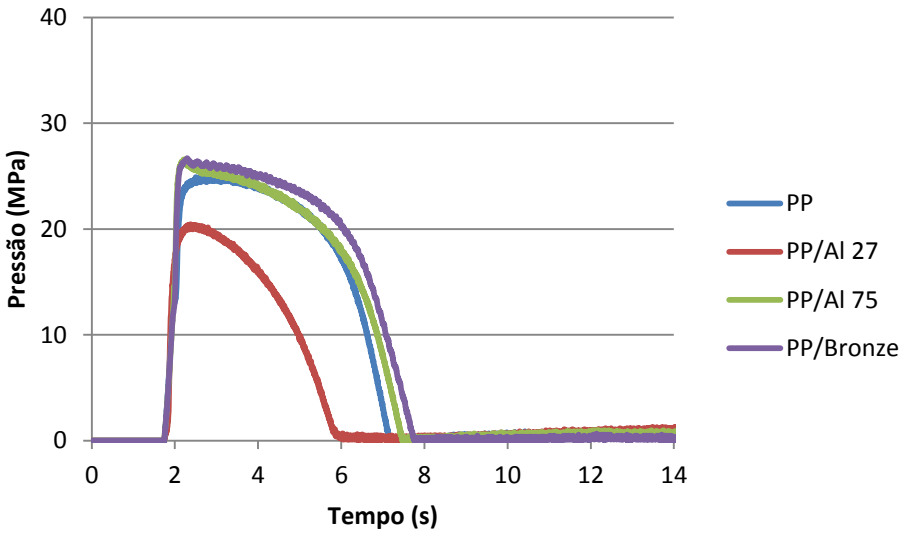


Figura 28 - Curvas de pressão dos compósitos do PP Carpilene R50. Curvas obtidas através do sensor de pressão 1 – SP1.

4.4. Evolução da temperatura na cavidade moldante

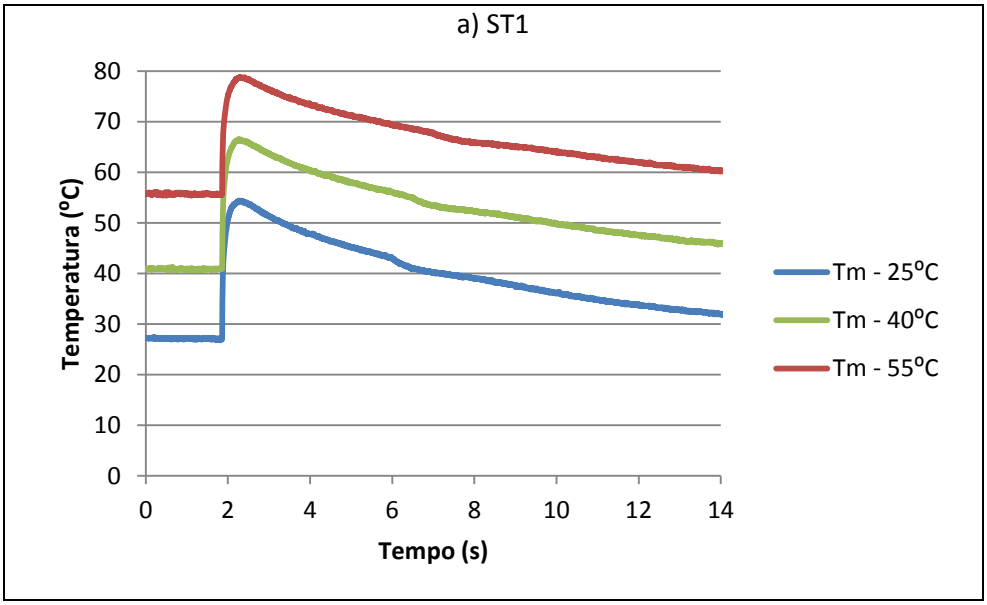
4.4.1. Evolução da temperatura para o PP Ducor 3048 TC

A Figura 29 indica as curvas de temperatura obtidas através dos sensores de temperatura localizados em diferentes zonas no molde. São apresentadas as curvas de temperatura para o polipropileno de elevado índice de fluidez, PP Ducor 3048 TC, sem a adição de cargas metálicas. O sensor de temperatura 1 encontra-se localizado no início do enchimento do molde e o sensor de temperatura 3 encontra-se no final da fase de enchimento do molde (zona da aba).

Observa-se através da Figura 29 uma diminuição da temperatura à medida que se aumenta a distância do ponto de injeção, ou seja, o sensor de temperatura 1, ST1, lê uma maior temperatura do fundido em comparação com o sensor de temperatura 3, ST3, localizado no molde. O ST2 poderá não ler na totalidade a temperatura do fundido devido ao ruido que se verifica nas curvas.

No ST1 verifica-se uma Tmáx de 52,05^{0}C para uma Tmolde de 25 ^{0}C, uma Tmáx de 64,62^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 76,95^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C. Em relação ao ST2 observa-se uma Tmáx de 41,08^{0}C para uma Tmolde de 25^{0}C, uma Tmáx de 52,05^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 72,07^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C. Por fim, o ST3 apresenta uma Tmáx de 50,02^{0}C para uma Tmolde de 25^{0}C, uma Tmáx de 60,08^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 71,07^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C.

As restantes figuras do efeito da temperatura do molde para o PP Ducor 3048 TC reforçado com pigmentos metálicos encontram-se no Anexo II.



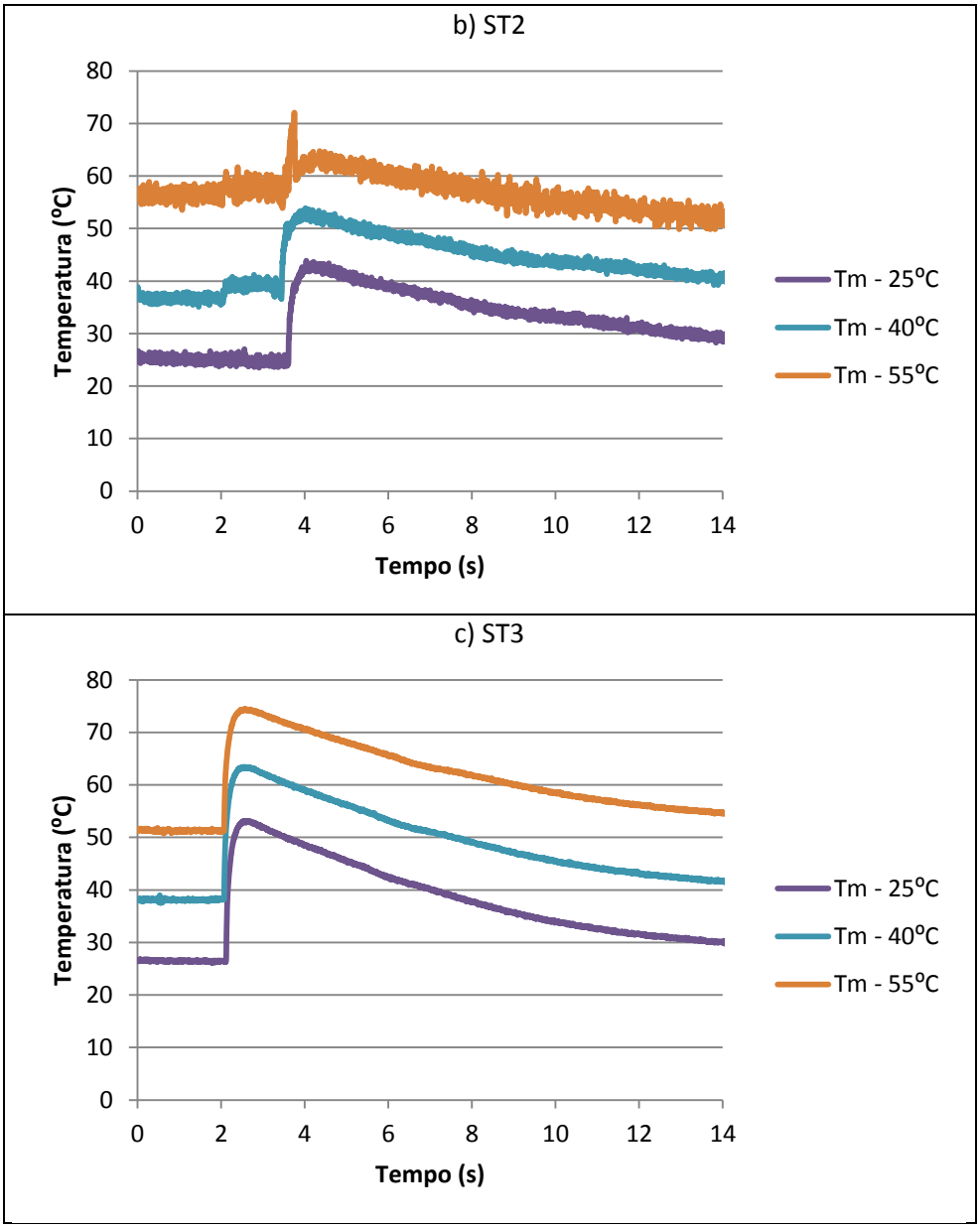


Figura 29 - Curvas de temperatura para o PP Ducor 3048 TC sem adição de cargas metálicas em função da temperatura do molde de 25, 40 e 55 ºC a uma segunda pressão constante de 30 MPa. a) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 – ST1; b) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 2 – ST2 e c) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 3 – ST3.

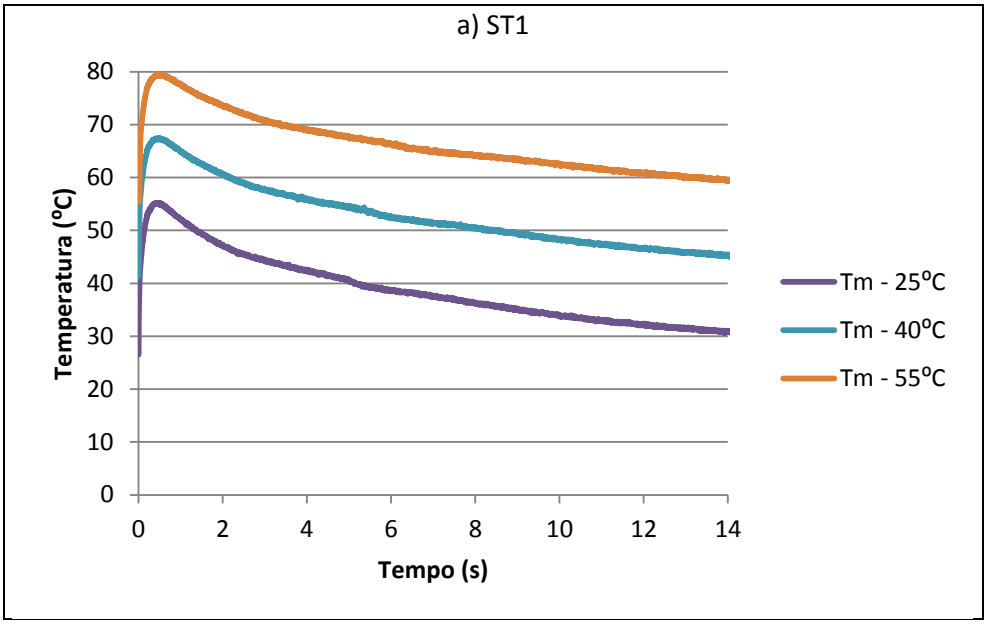
4.4.2. Evolução da temperatura para o PP Carpilene R50

Na Figura 30 estão contidas as curvas de temperatura obtidas através dos sensores de temperatura localizados em diferentes zonas no molde. São apresentadas as curvas de temperatura para o polipropileno de baixo índice de fluidez, PP Carpilene R50, sem a adição de cargas metálicas.

Observa-se, através da Figura 30, uma diminuição da temperatura do molde à medida que se aumenta a distância do ponto de injeção, ou seja, o sensor de temperatura 1, ST1, localizado no inico do enchimento lê uma maior temperatura do fundido em comparação com o sensor de temperatura 3, ST3, localizado no final do enchimento da peça. O ST2 poderá não ler na totalidade a temperatura do fundido devido ao ruido que se verifica nas curvas de temperatura.

No ST1 verifica-se uma Tmáx de 55^{0}C para uma Tmolde de 25^{0}C, uma Tmáx de 67,07^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 79^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C. Em relação ao ST2 observa-se uma Tmáx de 47,78^{0}C para uma Tmolde de 25^{0}C, uma Tmáx de 57^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 68,16^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C. Por fim, o ST3 apresenta uma Tmáx de 53,76^{0}C para uma Tmolde de 25^{0}C, uma Tmáx de 63,28^{0}C para uma Tmolde de 40^{0}C e uma Tmáx de 74^{0}C para uma Tmolde de 55^{0}C.

As restantes figuras do efeito da temperatura do molde para o PP Carpilene R50 reforçado com pigmentos metálicos encontram-se no Anexo III.



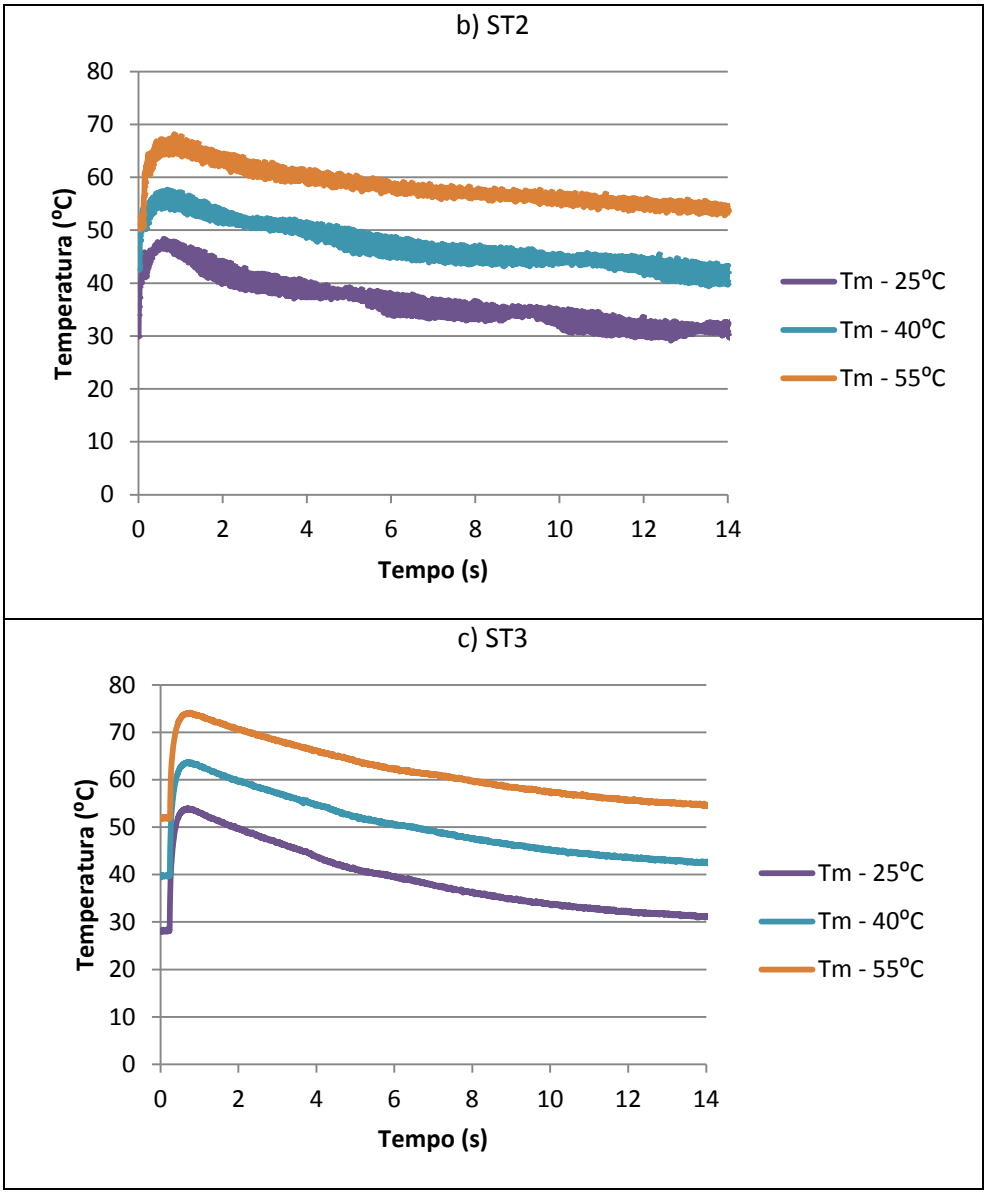


Figura 30 - Curvas de temperatura para o PP Carpilene R50 sem adição de cargas metálicas em função da temperatura do molde de 25, 40 e 55 ºC a uma segunda pressão constante de 30 MPa. a) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 – ST1; b) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 2 – ST2 e c) Curvas obtidas através do sensor de temperatura 3 – ST3.

4.5. Evolução da temperatura nos compósitos

A Figura 31 e a Figura 32 representam as curvas de temperatura dos compósitos para os dois materiais em estudo. Os compósitos foram obtidos a uma temperatura do molde de 25ºC e uma segunda pressão de 30MPa. Verifica-se que não há uma grande influência da temperatura quando se utiliza materiais reforçados com pigmentos metálicos para ambos os materiais em estudo. Contudo, o compósito PP/ Bronze é o que apresenta uma maior temperatura, sendo aproximadamente cerca de 60ºC.

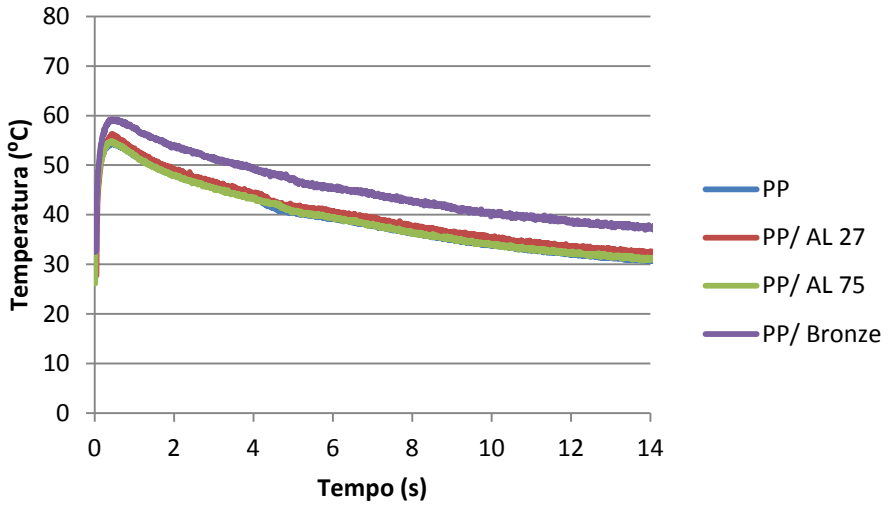


Figura 31 – Curvas de temperatura dos compósitos do PP Ducor 3048 TC. Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 - ST1.

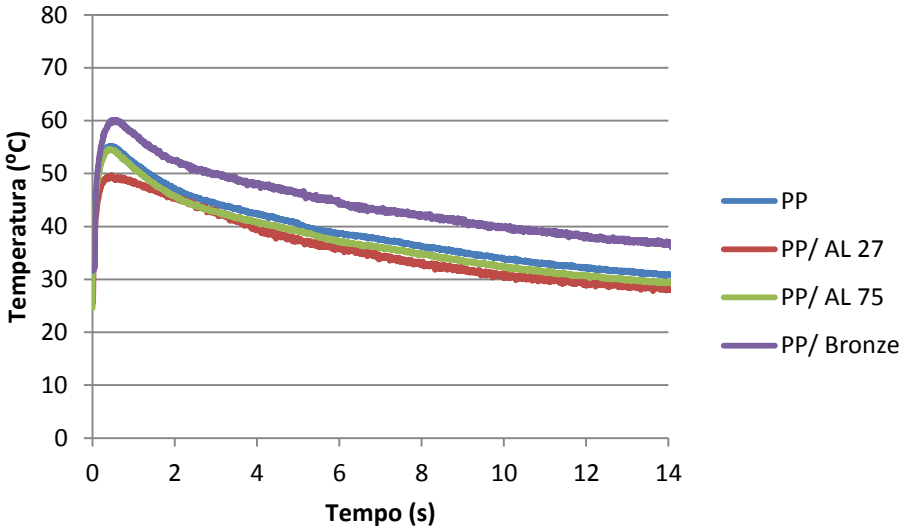


Figura 32 - Curvas de temperatura dos compósitos do PP Carpilene R50. Curvas obtidas através do sensor de temperatura 1 - ST1.

4.6. Contração

Neste capítulo apresentam-se os valores da contração para os dois materiais poliméricos. O material com índice de fluidez elevado está representado com o nome de PP Ducor 3048 TC e o material com índice de fluidez baixo com o nome de PP Carpilene R50. Este estudo foi realizado com o fim de se compreender o efeito das condições de processamento em diferentes polímeros com a adição de cargas metálicas, tais como o alumínio e o bronze.

4.6.1. Influência da segunda pressão no PP Ducor 3048 TC

Os gráficos a baixo mencionados foram obtidos com as seguintes condições de processamento: uma temperatura do molde contante de 40^{0}C e uma variação da segunda pressão com valores compreendidos entre 20, 30 e 40 MPa.

4.6.1.1. PP sem a adição de cargas metálica

Através da Figura 33 é visível a influência da segunda pressão na contração da peça. Deste modo, verifica-se uma menor contração para uma segunda pressão de 40 MPa. Todos os valores de contração encontram-se dentro do esperado para o polipropileno. A contração aumenta na direção do fluxo. Como tal, a zona 1 (inicio da fase de enchimento) da peça apresenta uma menor contração porque a pressão nesse local é maior e uma contração maior na zona 3 da pena (final da fase de enchimento).

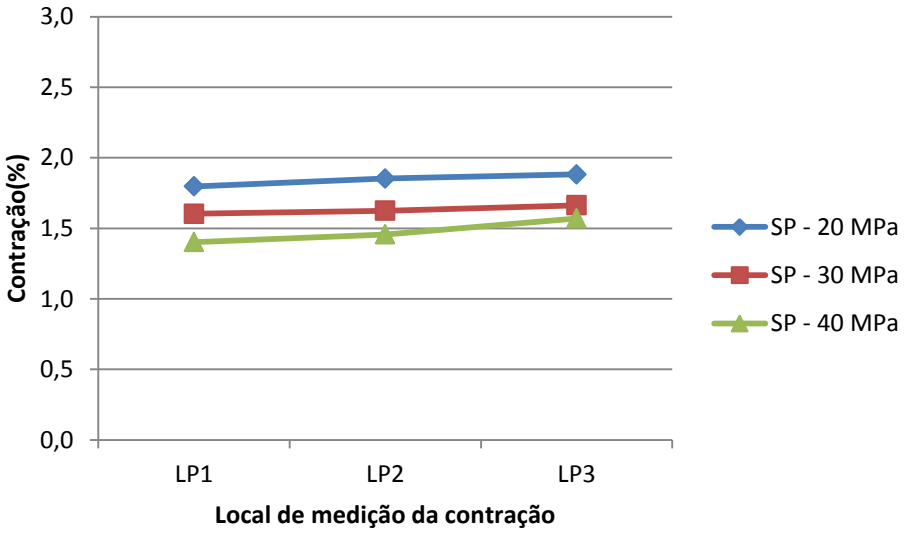


Figura 33 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC sem adição de partículas metálicas. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.1.2. PP/Al 27

Através da Figura 34 é visível a influência da segunda pressão na contração da peça. Com efeito, observa-se uma menor contração de 1,24% para uma segunda pressão de 40 MPa. Em relação às diferentes zonas da peça, observa-se que a zona da aba é que apresenta um maior valor de contração. Por outro lado, a zona 1 da peça, localizada no início do enchimento da peça, apresenta uma maior contração.

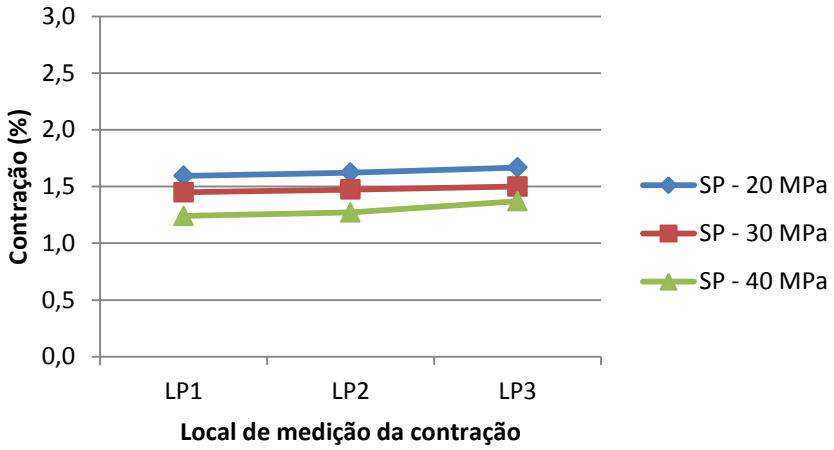


Figura 34 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 27 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.1.3. PP/Al 75

A Figura 35 representa a contração do PP reforçado com 2% de Al 75 μm. Face ao exposto, observa-se uma menor contração de 1,16% para uma segunda pressão de 40 MPa. Quanto maior a segunda pressão menor é o valor da contração nas moldações.

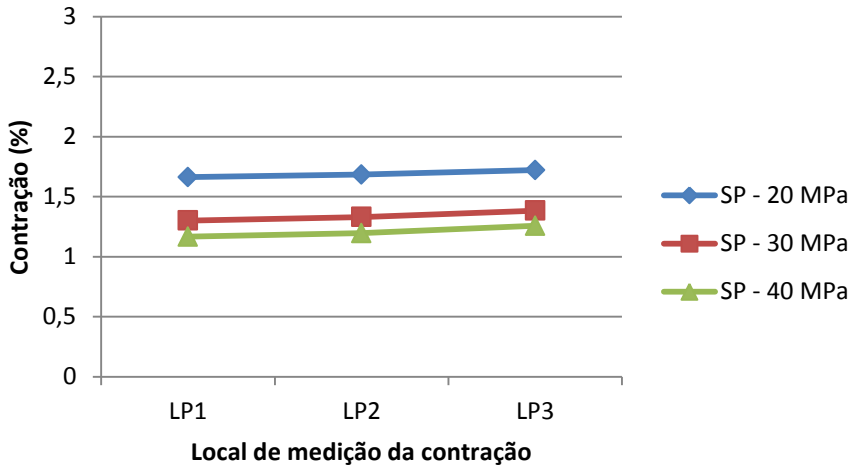


Figura 35 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 75 μm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.1.4. PP/Bronze

Observa-se, através da Figura 36, uma menor contração é atingida com uma segunda pressão de 40 MPa, tendo o valor de 1,03% na zona 1, 1,03% na zona 2 e 1,05% na zona 3. A zona da aba, LP3, apresenta uma maior contração devido a uma pressão mais baixa no final do enchimento da peça.

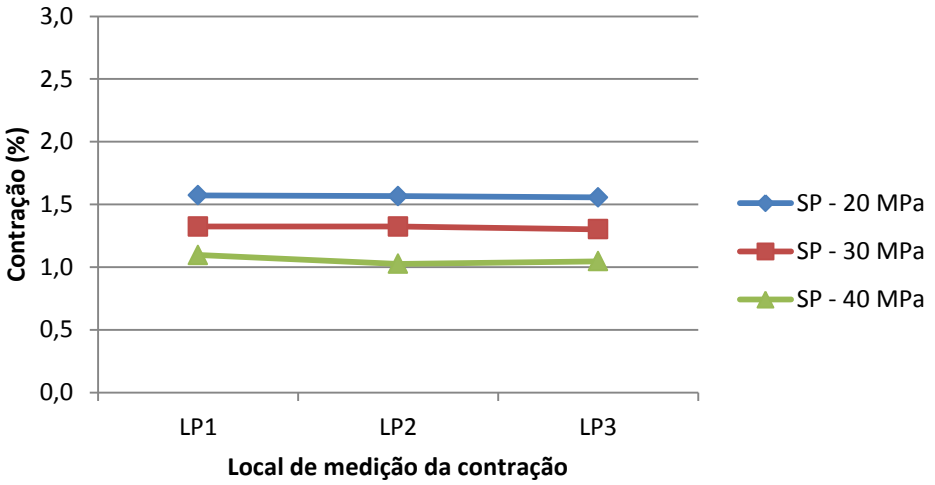


Figura 36 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% de bronze. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.2. Influência da temperatura do molde no PP Ducor 3048 TC

Neste capítulo apresentam-se os valores da contração para o polipropileno de elevado índice de fluidez com a adição de partículas metálicas. As figuras abaixo mencionadas foram obtidas com as seguintes condições de processamento: uma segunda pressão contante de 30 MPa e uma variação da temperatura do molde com valores compreendidos entre 25, 40 e 55 ^{0}C.

4.6.2.1. PP sem a adição de cargas metálicas

A Figura 37 indica a contração do PP Ducor 3048 TC. Através da Figura 37 verifica-se que não há uma variação significativa do aumento da temperatura do molde na contração. Contudo, verifica-se uma menor contração a uma temperatura do molde de 25 ^{0}C. Observa-se uma menor contração na zona 1 da peça, início do enchimento, em comparação com as restantes zonas da peça.

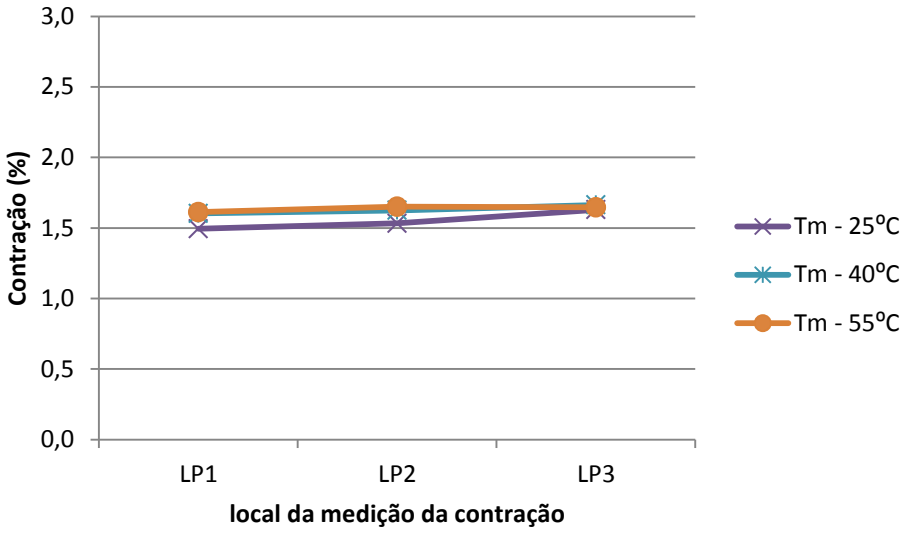


Figura 37 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.2.2. PP/Al 27

Observa-se através da Figura 38 uma mínima diferença no valor da contração com o aumento da temperatura do molde. Com efeito, verifica-se uma menor contração da peça para uma temperatura do molde de 25 e 40^{o}C.

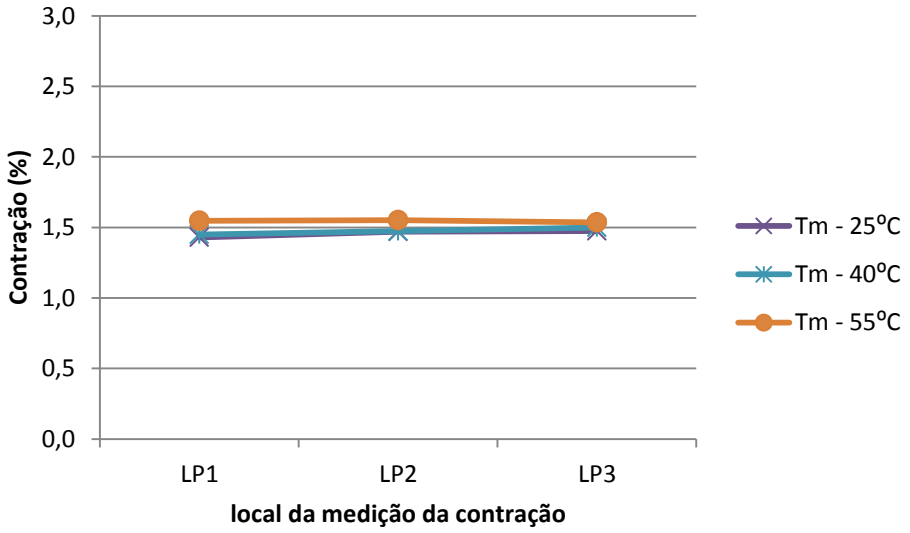


Figura 38 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 27 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.2.3. PP/Al 75

Através da Figura 39 verifica-se que não há uma variação significativa da contração com aumento da temperatura do molde. Contudo, verifica-se uma menor contração a uma temperatura do molde de 40^{0}C e uma maior contração a uma temperatura do molde de 55^{0}C.

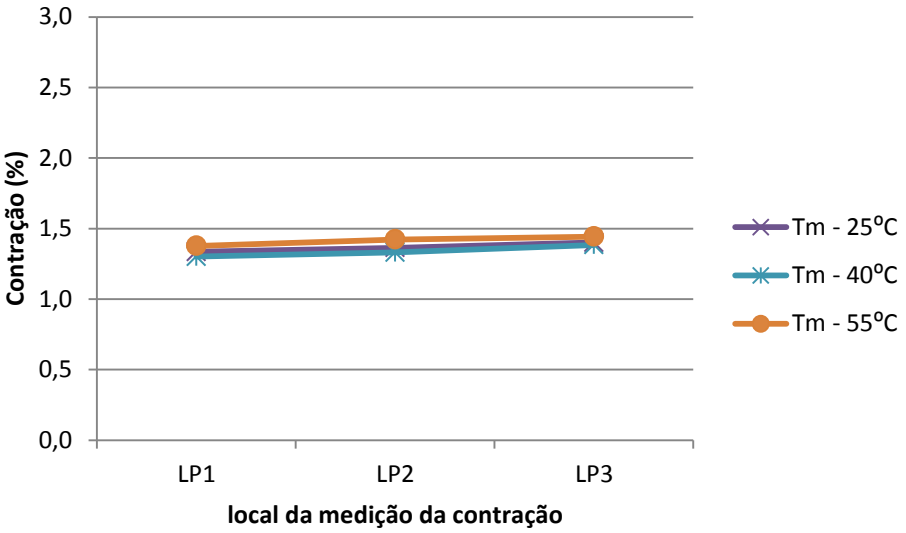


Figura 39 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 2% de Al 75 µm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.2.4. PP/Bronze

Através da Figura 40 verifica-se que não há uma alteração significativa na contração com o aumento da temperatura do molde. Observa-se que na zona 2 e 3 a contração é aproximadamente a mesma, sendo de 1,32% para zona 2 e de 1,30% para a zona 3.

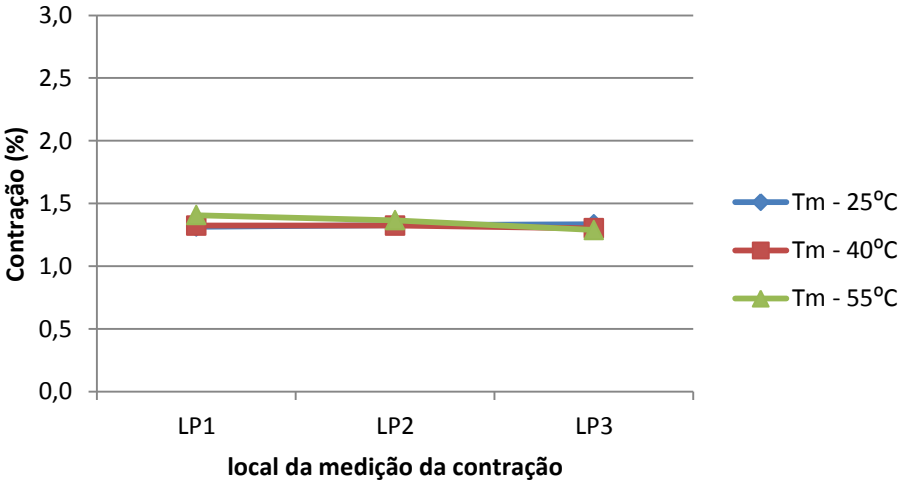


Figura 40 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Ducor 3048 TC reforçado com 0,5% de bronze. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.3. Influência da segunda pressão no PP Carpilene R50

Os gráficos a baixo mencionados foram obtidos com as seguintes condições de processamento: uma temperatura do molde contante de 40^{0}C e uma variação da segunda pressão com valores compreendidos entre 20, 30 e 40 MPa.

4.6.3.1. PP sem adição de cargas metálicas

Através da Figura 41 é visível a influência da segunda pressão na contração da peça. Deste modo, verifica-se uma menor contração para uma segunda pressão de 40 MPa. De uma forma geral, observa-se um aumento da contração da zona 1 para a zona 3 da peça.

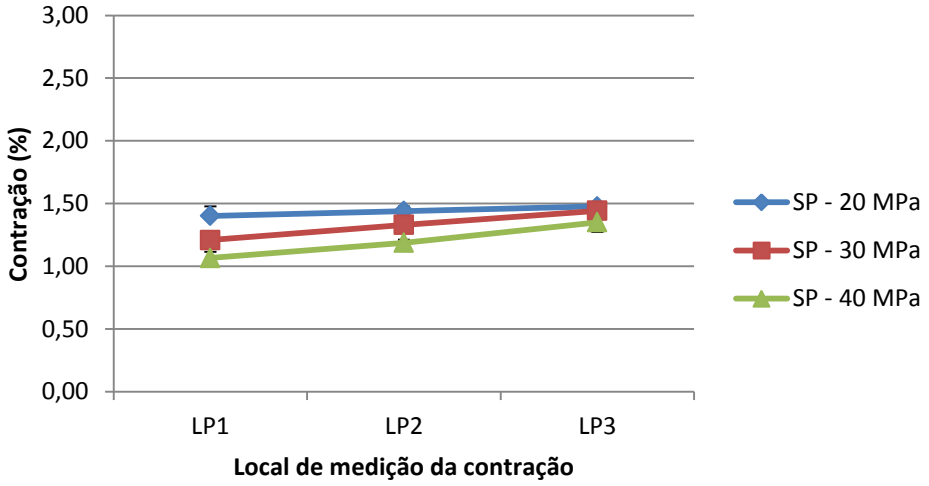


Figura 41 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 sem adição de partículas metálicas. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.3.2. PP/Al 27

Através da Figura 42 verifica-se que não há uma variação significativa do aumento da segunda pressão na contração. Contudo, observa-se uma menor contração a uma segunda pressão de 40MPa na zona 1 e 2 da peça. Por outro lado, na zona 1 e 2 observa-se uma maior contração a uma segunda pressão de 20MPa. Observa-se que não houve uma variação significativa com o aumento da segunda pressão na contração na zona 3 da peça.

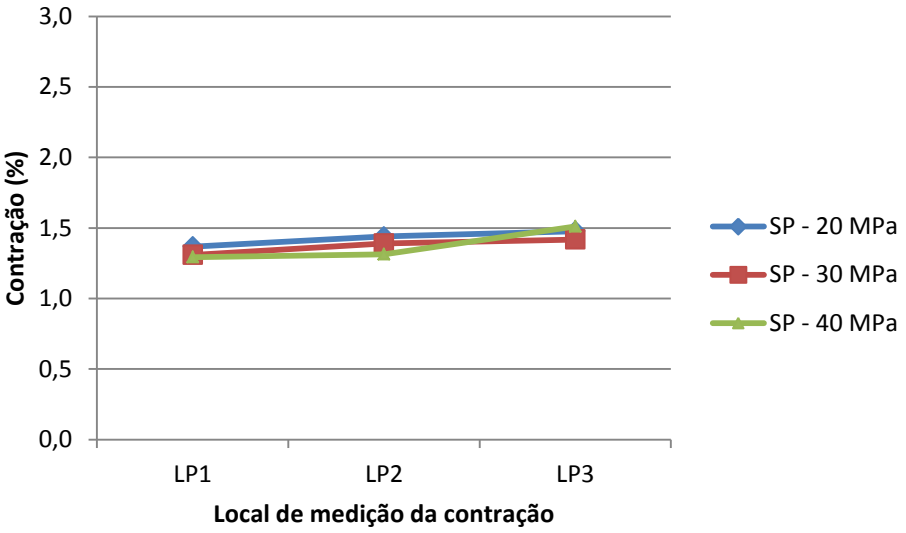


Figura 42 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 27 µm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.3.3. PP/Al 75

Através da Figura 43 é visível a influência da segunda pressão na contração da peça. Deste modo, verifica-se uma menor contração para uma segunda pressão de 40 MPa nas três zonas da peça. Observa-se que quando maior for a segunda pressão menor será a contração.

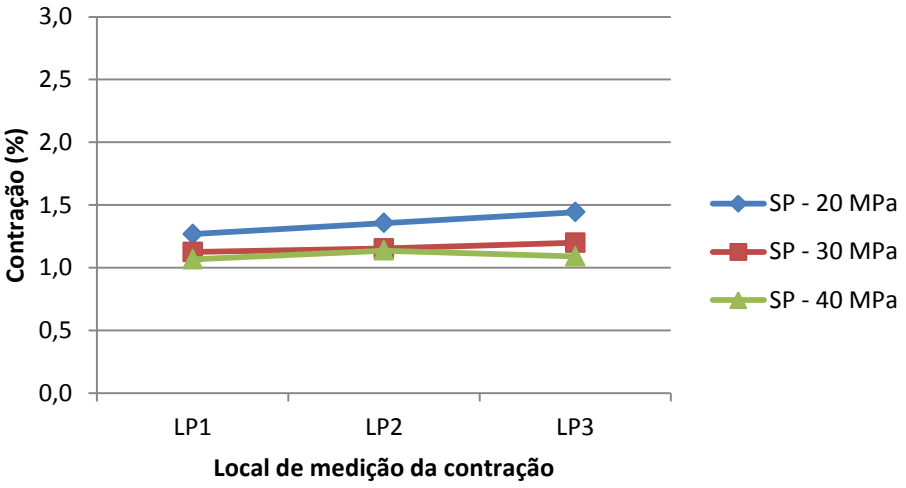


Figura 43 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% Al 75 µm. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.3.4. PP/Bronze

Através da Figura 44 é visível a influência da segunda pressão na contração da peça. Deste modo, observa-se que quando maior for a segunda pressão menor será a contração. Face ao exposto, verifica-se que a contração é menor para uma segunda pressão de 40 MPa.

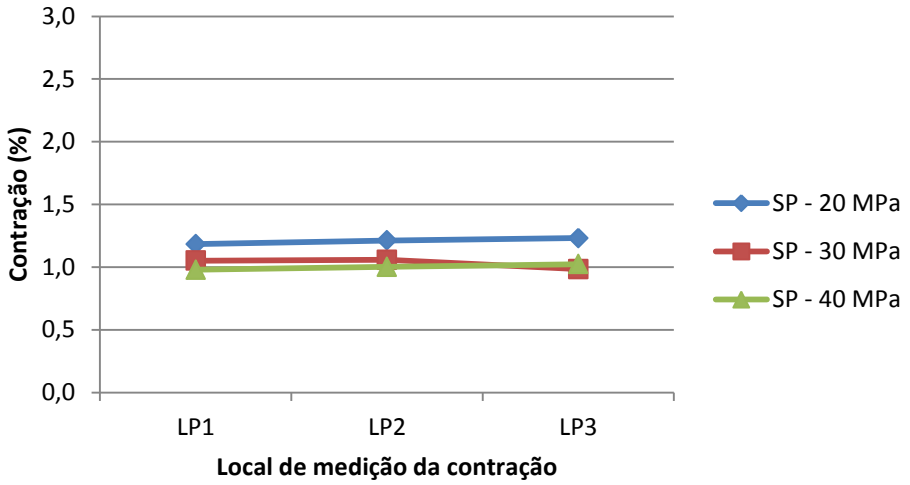


Figura 44 - Influência do aumento da segunda pressão na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze. SP – Segunda pressão; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.4. Influência da temperatura do molde no PP Carpilene R50

Neste capítulo apresentam-se os valores da contração para o polipropileno de baixo índice de fluidez com a adição de partículas metálicas. Os gráficos a baixo mencionados foram obtidos com as seguintes condições de processamento: uma segunda pressão contante de 30 MPa e uma variação da temperatura do molde com valores compreendidos entre 25, 40 e 55^{0}C.

4.6.4.1. PP sem adição de cargas metálicas

Através da Figura 45 verifica-se que não há uma variação significativa do aumento da temperatura do molde na contração. Verifica-se que a contração na zona 1 da peça é aproximadamente de 1,21%, na zona 2 é de 1,33% e na zona 3 é de 1,43%.

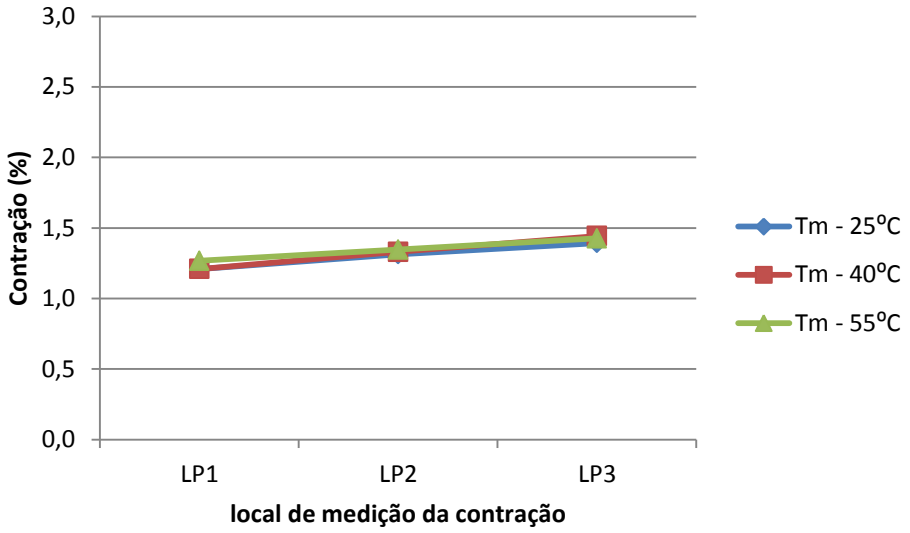


Figura 45 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.4.2. PP/Al 27

Observa-se, através da Figura 46, uma ligeira alteração da contração com o aumento da temperatura do molde. Face ao exposto, verifica-se uma menor contração na zona 1 da peça para uma temperatura do molde de 25^{0}C, sendo aproximadamente de 1,20%.

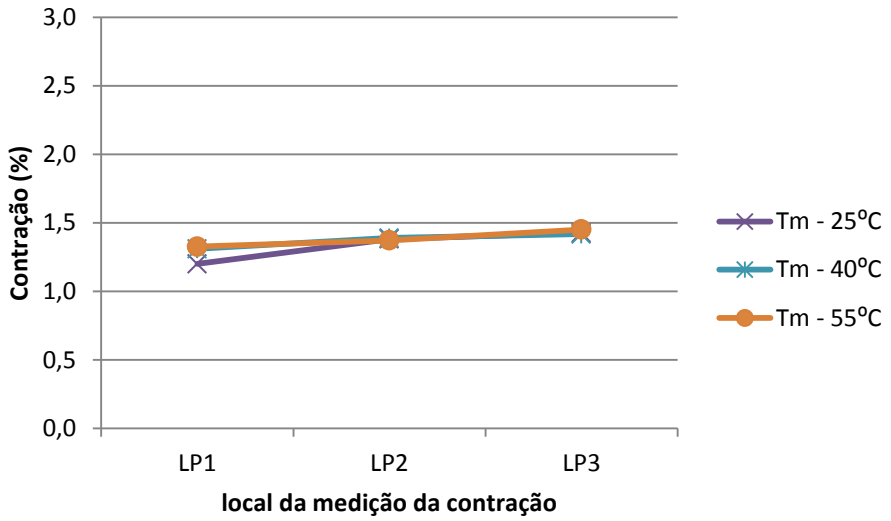


Figura 46 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% de Al 27 µm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.4.3. PP/Al 75

Através da Figura 47 observa-se a influência da temperatura do molde na contração da peça em diferentes locais para o compósito PP/Al 75. Deste modo, verifica-se que não há uma variação significativa do aumento da temperatura do molde na contração. Observa-se que a zona 3 apresenta uma ligeira maior contração em comparação com as restantes zonas da peça.

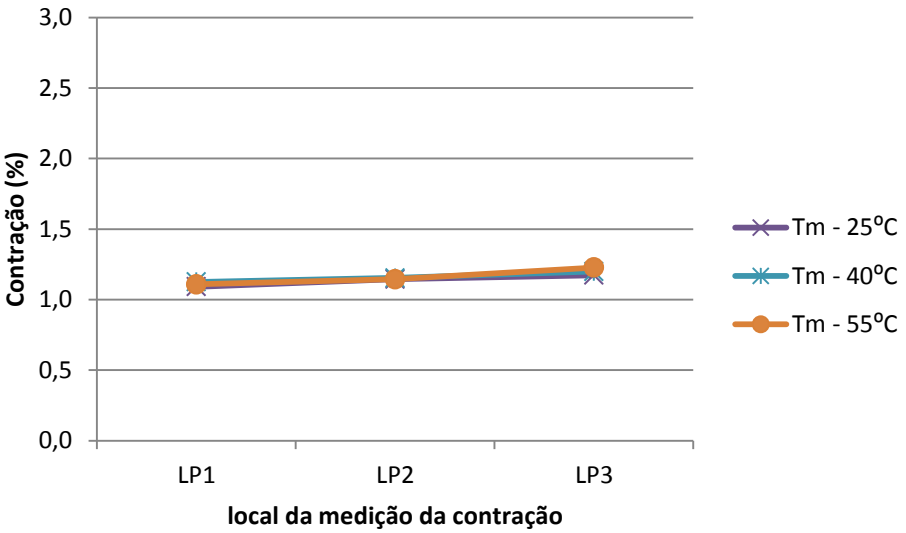


Figura 47 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 2% de Al 75 μm. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.6.4.4. PP/Bronze

Através da Figura 48 observa-se a influência da temperatura do molde na contração da peça em diferentes locais para o compósito PP/Bronze. Verifica-se que há uma ligeira variação da contração com o aumento da temperatura do molde. Deste modo, é visível uma diminuição da contração em todas as zonas da peça para uma temperatura do molde de 25 e 55^{0}C e verifica-se uma maior contração para uma temperatura do molde de 40^{0}C na zona 1 e 2 da peça.

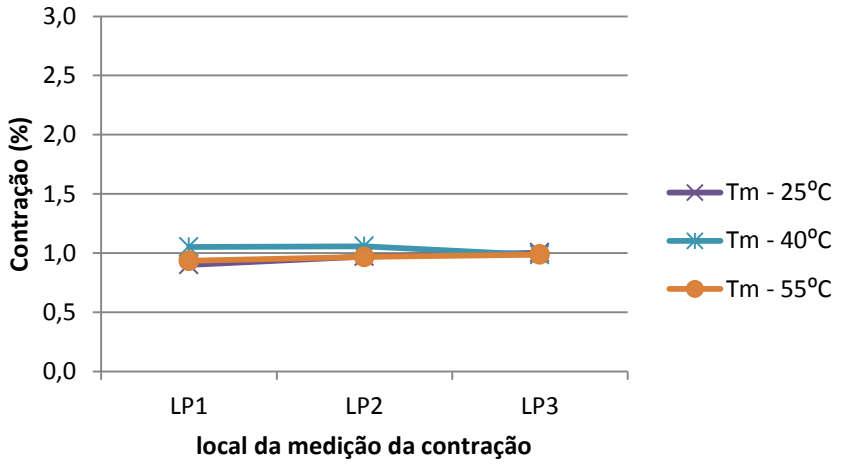


Figura 48 - Influência do aumento da temperatura do molde na contração da peça para o PP Carpilene R50 reforçado com 0,5% de bronze. Tm – Temperatura do molde; LP1 – Dimensão da peça na zona 1; LP2 – Dimensão da peça na zona 2 e LP3 – Dimensão da peça na zona 3.

4.7. Contração dos materiais em estudo

A contração para os dois materiais em estudo são apresentados nas próximas figuras. Verifica-se através da Figura 49 que o PP Carpilene, baixo MFI, apresenta uma menor contração em comparação com o PP Ducor, elevado MFI. Comparando a Figura 49 com a Figura 50, verifica-se uma maior influencia na contração quando se aumenta a segunda pressão para o PP Ducor 3048 TC. Todavia, não há uma grande influência do aumento da segunda pressão na contração para o PP Carpilene R50. De todos os compósitos o que apresenta menor contração para os dois materiais em estudo é o PP/Bronze.

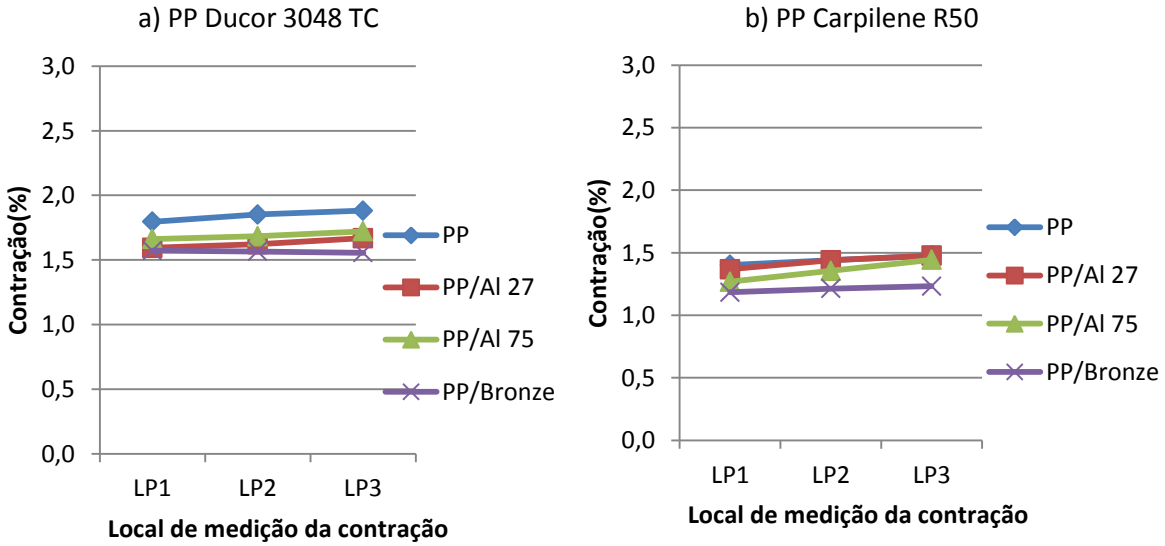


Figura 49 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 20 MPa e uma TM de 40°C.

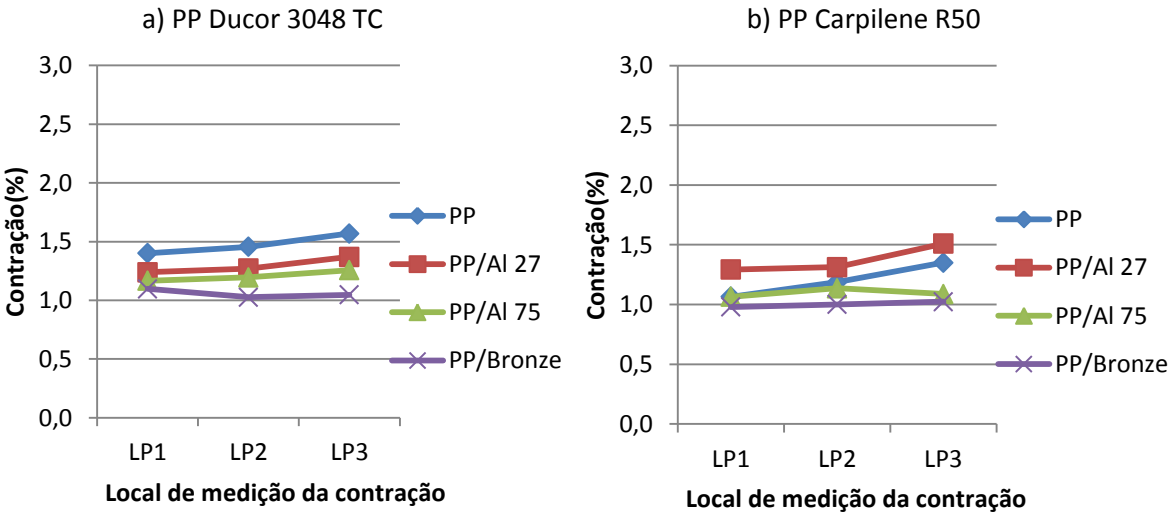


Figura 50 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 40 MPa e uma TM de 40°C.

Comparando a Figura 51 e a Figura 52, verifica-se que não há uma influência significativa na contração quando se aumenta a temperatura do molde. Todavia, em ambas as figuras observa-se uma menor contração para o PP Carpilene, baixo MFI, do que para PP Ducor, elevado MFI. O compósito que apresenta menor contração é o PP/ Bronze.

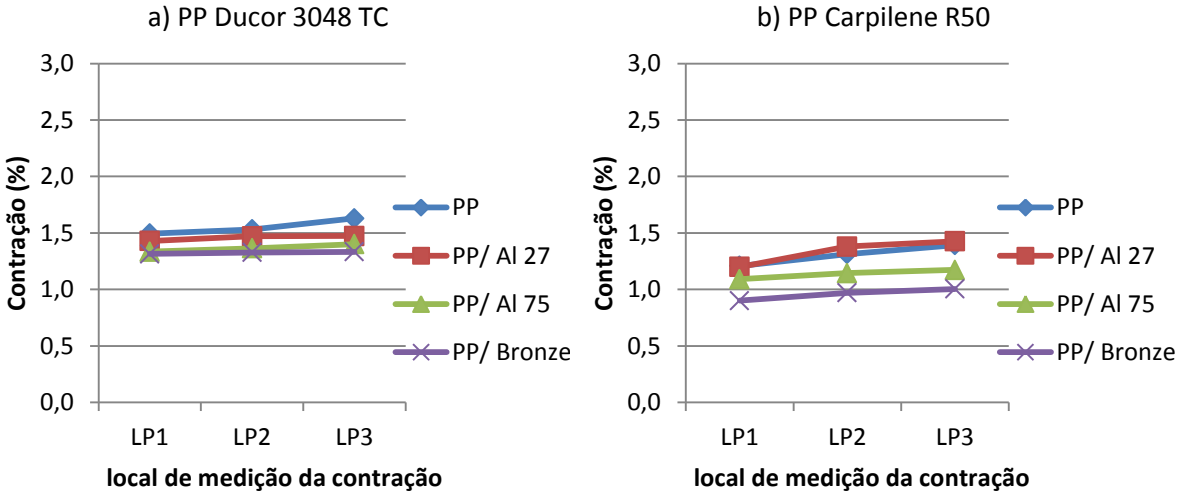


Figura 51 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 30 MPa e uma TM de 25°C.

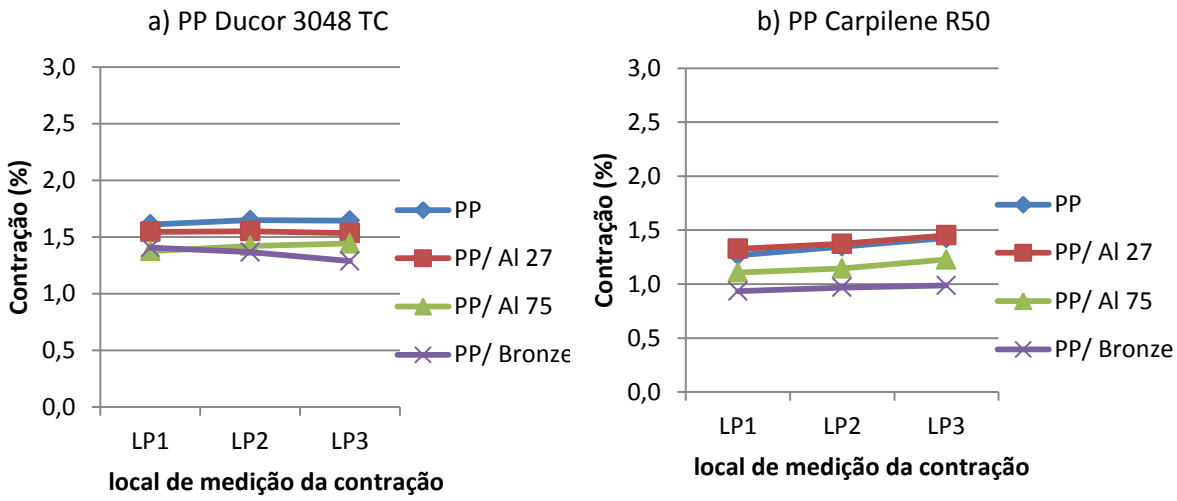


Figura 52 - Contração dos compósitos para os dois materiais em estudo. Compósitos obtidos com uma SP de 30 MPa e uma TM de 55ºC.

4.8. Empeno

O fundido ao preencher a cavidade moldante vai arrefecer e, posteriormente, solidificar á medida que entra em contacto com as paredes do molde. Com efeito, a solidificação do polímero ocorre a diferentes níveis de pressão em tempos distintos, dando origem a tensões térmicas e futuramente à contração e ao empeno da peça moldada.

Neste capítulo está descrito a influência da segunda pressão e da temperatura do molde no empeno da aba. Os valores positivos de empeno estão relacionados com uma deformação da aba no sentido anti-horário, tendo um ângulo superior a 30º. Por outro lado, os valores negativos estão relacionados com uma deformação da aba no sentido horário, tendo um ângulo inferior a 30º.

4.8.1. Influência da segunda pressão

As figuras abaixo mencionadas foram obtidas com as seguintes condições de processamento: uma temperatura do molde contante de 40ºC e uma variação da segunda pressão com valores compreendidos entre 20, 30 e 40 MPa. Os resultados serão apresentados para os dois materiais em estudo, onde o PP 12 MFI corresponde ao polipropileno de baixo índice de fluidez e o PP 48 MFI corresponde ao polipropileno de elevado índice de fluidez.

4.8.1.1. PP sem adição de cargas metálicas

Os resultados do empeno para ambos os materiais estão visíveis na Figura 53. Face ao exposto, verifica-se que os valores mais semelhantes ao angulo da aba no molde são para o polipropileno de elevado índice de fluidez, visto que apresenta valores mais próximos de zero. O PP 12 MFI apresenta uma diminuição do empeno para uma segunda pressão de 40 MPa. O mesmo se verifica para o PP 48 MFI, ou seja, observa-se um menor empeno para uma segunda pressão de 30 e 40 MPa.

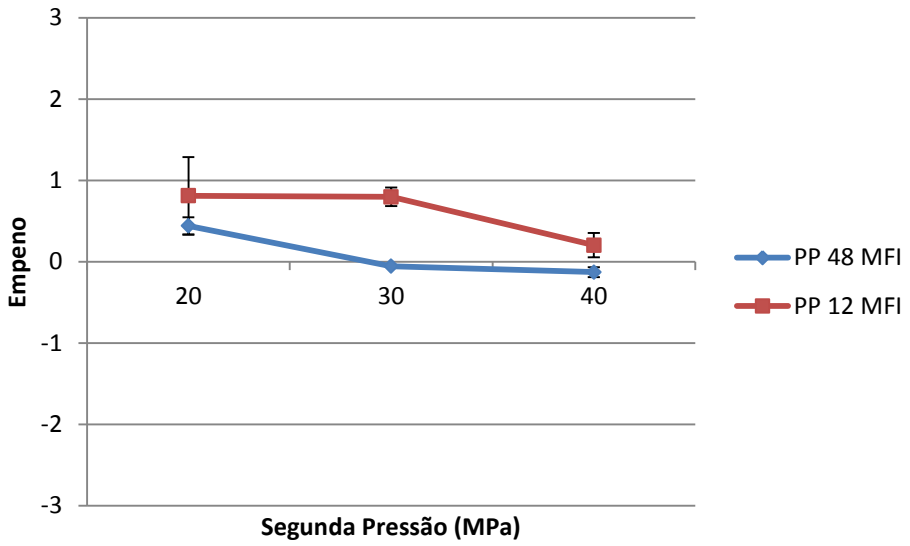


Figura 53 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP sem adição de cargas metálicas. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.1.2. PP/Al 27

Na Figura 54 está representado o empeno da aba para diferentes valores de segunda pressão. O empeno foi avaliado para os dois materiais em estudo, PP 48 MFI e PP 12 MFI, ambos incorporados com 2% de alumínio.

Através da Figura 54 é possível observar a influência da segunda pressão no empeno da aba, tendo um menor valor em ambos os materiais para uma segunda pressão de 40 MPa, uma vez que os valores correspondentes para esta segunda pressão estão mais próximos de zero. Por outro lado, verifica-se um aumento do empeno para uma segunda pressão de 20 MPa em ambos os materiais.

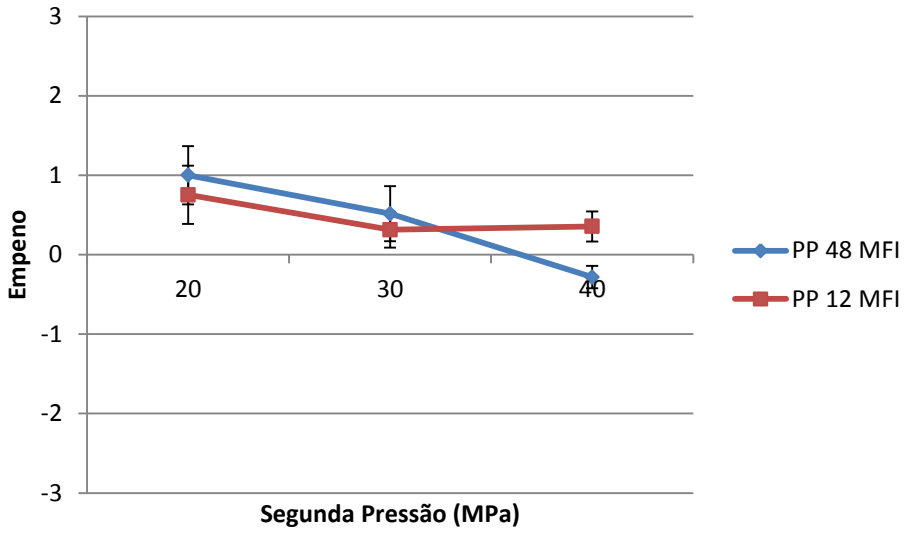


Figura 54 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 27 µm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.1.3. PP/Al 75

Os resultados do empeno para os dois materiais em estudo são visíveis na Figura 55. Face ao exposto, verifica-se que os valores do empeno são bastantes semelhantes entre os dois materiais, PP 48 MFI e PP 12 MFI. Observa-se um valor mais próximo de zero a uma segunda pressão de 40 MPa para ambos os materiais tendo, deste modo, um menor valor de empeno em comparação com as restantes pressões utilizadas.

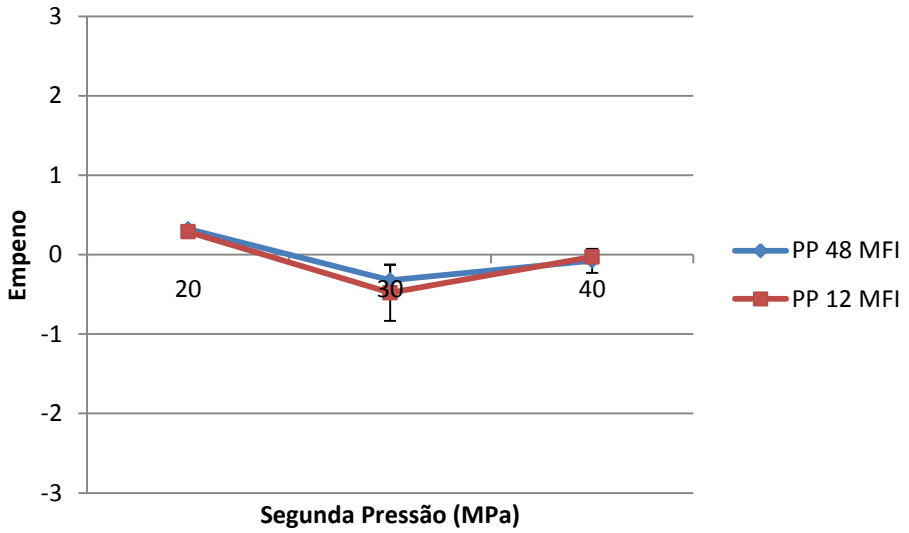


Figura 55 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 75 µm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.1.4. PP/Bronze

Na Figura 56 está representado o empeno da aba para diferentes valores de segunda pressão. O empeno foi avaliado para os dois materiais em estudo, PP 48 MFI e PP 12 MFI, ambos incorporados com 0,5% de bronze. Através da Figura 56 é visível que o polipropileno de elevado índice de fluidez, PP 48 MFI, apresenta um menor empeno em comparação com o polipropileno de baixo índice de fluidez, PP 12 MFI. Observa-se que a segunda pressão tem influência no empeno da aba. Deste modo, verifica-se um menor valor de empeno para uma segunda pressão de 40 MPa para os materiais em estudo.

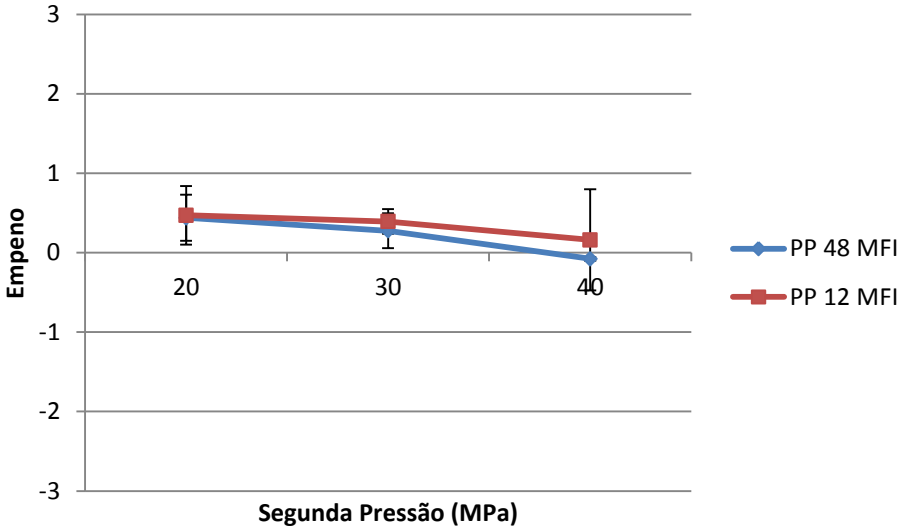


Figura 56 - Efeito da segunda pressão no empeno da aba para o PP reforçado com 0,5% de bronze. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.2. Influência da temperatura do molde

Este capítulo descreve a influência da temperatura do molde no empeno da aba para os dois materiais em estudo. Os gráficos a baixo mencionados foram obtidos com as seguintes condições de processamento: uma segunda pressão contante de 30 MPa e uma variação da temperatura do molde com valores compreendidos entre 25, 40 e 55 ^{0}C.

4.8.2.1. PP sem adição de cargas metálicas

Observa-se através da Figura 57 que o aumento da temperatura do molde tem influência no empeno da aba. Com efeito, o PP 48 MFI apresenta um mínimo empeno em comparação com o PP 12 MFI. A uma temperatura do molde de 40^{0}C observa-se um valor superior de

empeno para o PP 12 MFI, valor influenciado pela contração, uma vez que a uma temperatura do molde de 40 ^{0}C a contração é maior na zona da aba.

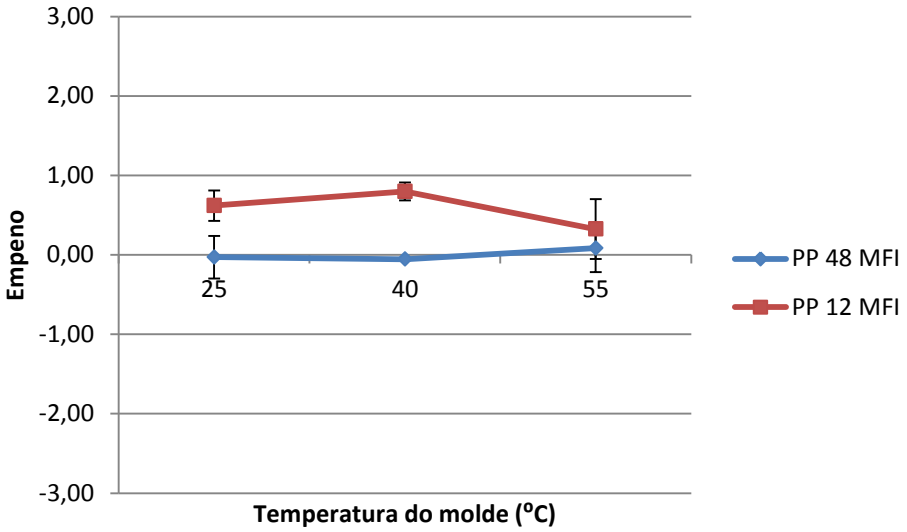


Figura 57 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP sem adição de cargas metálicas. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.2.2. PP/Al 27

Observa-se através da Figura 58 que o PP 12 MFI apresenta um menor empeno em comparação com o PP 48 MFI. A uma temperatura do molde de 25^{0}C para ambos os materiais verifica-se um maior empeno em comparação com as restantes temperaturas do molde. Em relação ao PP 12 MFI observa-se que o valor do empeno é praticamente nulo para uma temperatura do molde de 55^{0}C.

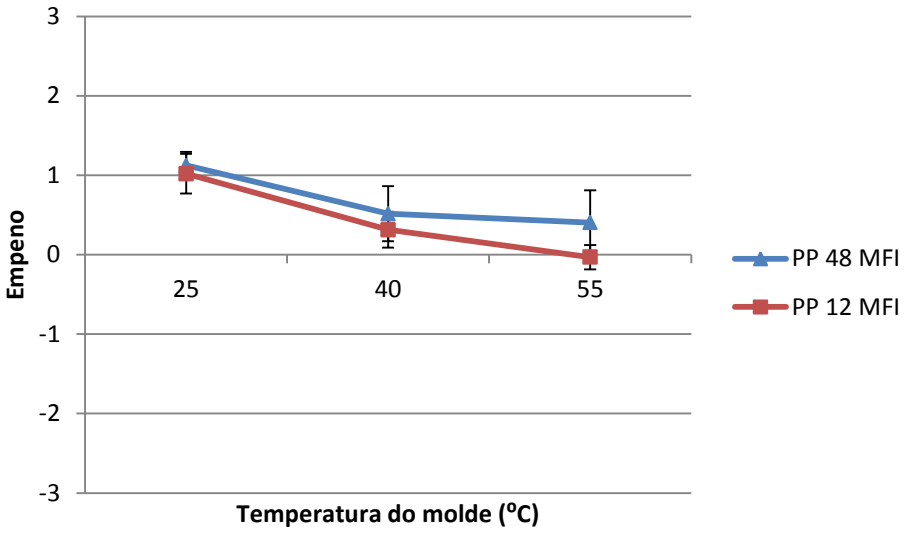


Figura 58 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 27 µm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.2.3. PP/Al 75

O empeno para o PP reforçado com 2% de partículas de alumínio de tamanho 75 µm está indicado na Figura 59. Para o PP 12 MFI verifica-se um maior empeno a uma temperatura do molde de 25^{0}C e um menor empeno para uma temperatura do molde de 55^{0}C, uma vez que este valor encontra-se mais próximo de zero. Observa-se um menor empeno para o PP 48 MFI a uma temperatura do molde de 55^{0}C.

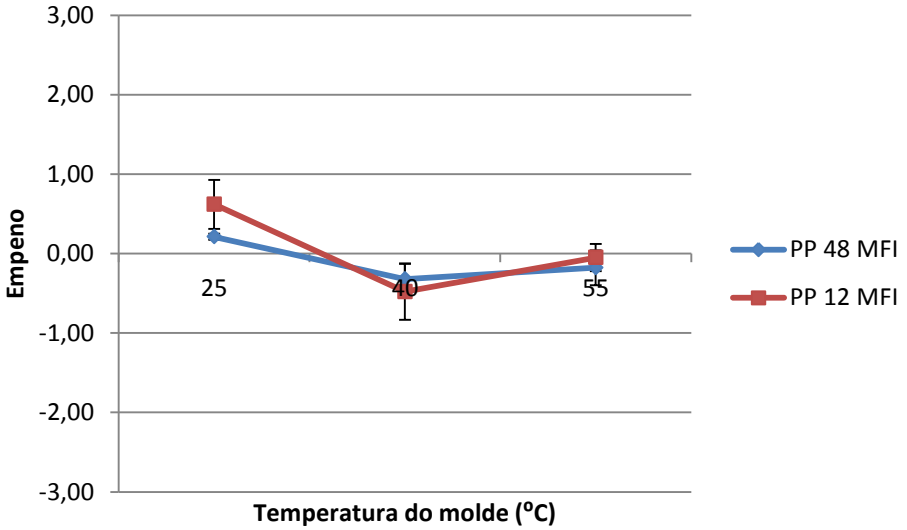


Figura 59 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 2% Al 75 µm. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

4.8.2.4. PP/Bronze

Na Figura 60 está indicado o empeno para o polipropileno reforçado com 0,5% de pigmentos de bronze. Face ao exposto, verifica-se para ambos os materiais um menor empeno para uma temperatura do molde de 25^{0}C, uma vez que estes valores encontram-se mais próximos de zero. A uma temperatura do molde de 55^{0}C observa-se um aumento do empeno para ambos os materiais.

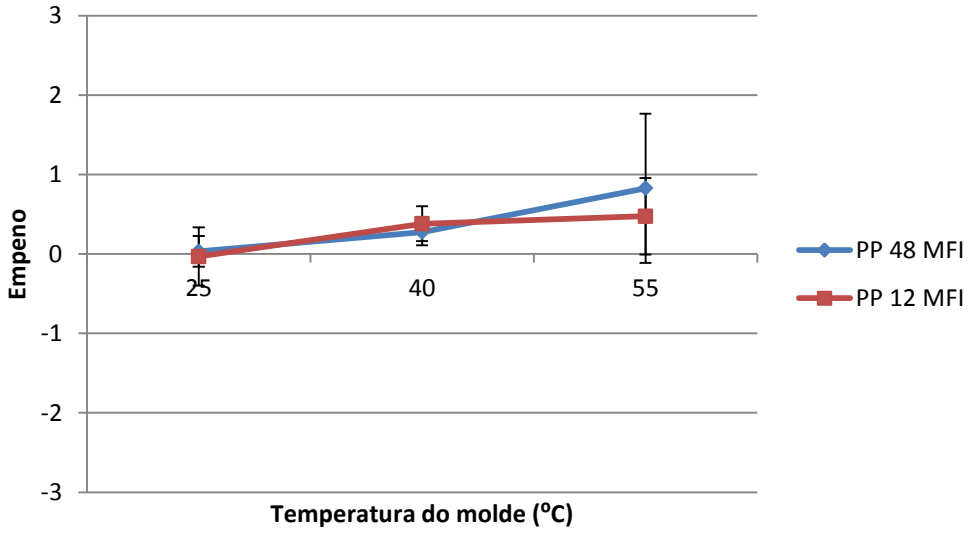


Figura 60 - Efeito da temperatura do molde no empeno da aba para o PP reforçado com 0,5% de bronze. PP 48 MFI – Polipropileno de elevado índice de fluidez; PP 12 MFI – Polipropileno de baixo índice de fluidez.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar a contração e o empeno dos compósitos de PP/Al, PP/Bronze, moldados por injeção. Utilizou-se dois PP´s com diferente valor de índice de fluidez. Na moldação por injeção as variáveis de processamento foram a segunda pressão (20; 30; 40MPa) e a temperatura do molde (25; 40; 55ºC). Desta forma, avaliou-se a influência das condições de processamento, dos pigmentos metálicos e dos materiais na contração e no empeno das peças moldadas.

Evolução da pressão na cavidade moldante

A pressão é nula até atingir o sensor de pressão 1 e o sensor de pressão 2 localizados no molde. Observa-se em todos os compósitos que a uma segunda pressão mais baixa, 20 MPa, há uma queda de pressão repentina na cavidade. Com efeito, a pressão é nula mais rapidamente nessa condição do que nas restantes condições.

Constata-se uma pressão de injeção mais baixa para o PP Carpilene, baixo MFI, do que para o PP Ducor 3048 TC, elevado MFI.

Conclui-se que não há uma variação significativa da pressão quando se incorpora na matriz polimérica – PP Ducor 3048 TC - pigmentos metálicos. Contudo, para o PP Carpilene R50 verifica-se uma maior resistência à passagem do material fundido na cavidade com o compósito PP/ Al 27, resultando numa menor pressão na cavidade moldante.

Evolução da temperatura do fundido na cavidade moldante

Há uma diminuição da temperatura à medida que se aumenta a distância do ponto de injeção, ou seja, o sensor de temperatura 1, ST1, lê uma maior temperatura do fundido em comparação com o sensor de temperatura 3, ST3, localizado na fase final do enchimento.

Conclui-se que não há uma variação significativa da temperatura para os dois materiais em estudo. Da mesma forma, verifica-se que não há uma grande influência da temperatura quando se utiliza materiais reforçados com pigmentos metálicos.

Contração

O PP Carpilene, baixo MFI, apresenta uma menor contração com a utilização de uma segunda pressão de 40 MPa. Do mesmo modo, o PP Ducor, elevado MFI, apresenta uma menor contração para uma segunda pressão de 40 MPa. Para ambos os PP´s verifica-se que há influência da contração com a adição de pigmentos metálicos. Deste modo, os PP´s reforçados com pigmentos de bronze são os que apresentam menor contração.

Os valores de contração são muito próximos em todos os compósitos para os diferentes materiais quando se varia a temperatura do molde. Contudo, observa-se uma menor contração, porém não muito diferente, nos compósitos reforçados com pigmentos metálicos. A peça em estudo apresenta contrações diferentes na direção do fluxo. Deste modo, verifica-se uma maior contração à medida que se aumenta a distância do ponto de injeção. Este fenómeno pode ser explicado pela diminuição da pressão ao longo do enchimento a peça.

Em suma, conclui-se que quanto maior for a segunda pressão de injeção menor será a contração dos compósitos, o aumento da temperatura do molde não afeta significativamente a contração da peça e a utilização de partículas metálicas induz aos compósitos uma menor contração, em comparação com o polipropileno puro.

Empeno

A segunda pressão influencia o empeno das moldações. Como tal, o aumento da segunda pressão diminui a deformação do ângulo da aba. Deste modo, observa-se uma menor empeno com a utilização de uma segunda pressão de 40 MPa para todos os compósitos. A incorporação dos pigmentos metálicos na matriz polimérica influencia o empeno das moldações. O valor mais próximo de zero – moldação com menor empeno - foi obtido para uma segunda pressão de 40 MPa e uma temperatura do molde contante de 40ºC no PP Carpilene/Al 75 e no PP Ducor/ Bronze. De todos os compósitos o que apresenta um maior empeno é o PP Ducor/ Al 27 para uma segunda pressão de 20 MPa e uma temperatura do molde contante de 40ºC.

A temperatura do molde afeta o empeno das moldações. Para os materiais reforçados com pigmentos metálicos verifica-se que o PP Carpilene apresenta um menor empeno em comparação com o PP Ducor, quando a deformação do ângulo da aba se encontra mais próxima de zero. De todos os compósitos o PP/Bronze é o que apresenta um menor empeno para uma temperatura do molde de 25ºC e uma segunda pressão de 30 MPa. Por outro lado, o que

apresenta um maior empeno é o PP Ducor incorporado com 2% Al 27 para uma temperatura do molde de 25^{0}C e uma segunda pressão de 30 MPa.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho permitiu ter uma melhor perceção dos efeitos das partículas metálicas na contração e no empeno das moldações. Com efeito, estudou-se a influência das condições de processamento, temperatura do molde e segunda pressão, para um material semi-cristalino, o polipropileno, com diferentes valores de índice de fluidez. Neste contexto sugerem-se os seguintes trabalhos:

- Criar base de dados dos compósitos utilizados neste trabalho de dissertação no software Autodesk Moldflow Insight. Comparar os resultados obtidos da contração e do empeno, descritos nesta dissertação com os obtidos através do software mencionado;

- Selecionar uma matriz polimérica amorfa com diferente índice de fluidez e comparar os resultados obtidos com os resultados desta dissertação. Otimizar as condições de processamento para cada um dos compósitos e compara-los.

- Estudar a condutividade térmica e elétrica de materiais poliméricos reforçados com cargas metálicas e compreender qual a percentagem e quais as cargas metálicas que têm uma maior influência na condutividade térmica e elétrica.

7. BIBLIOGRAFIA

Ahmed, M. (1979). "Coloring of Plastics: Theory and Practice". (Van Nostrand Reinhold Company, Ed.) (p.228). New York

Alves, F. F. S. P. (2007). "Shrinkage and Warpage Behaviour on Injection Moulding Parts". University of Minho, Guimarães, Portugal.

Bryce. M. D. (1997). "Plastic injection Moulding...material selection and product design fundamentals". Volume II: Fundamentals of injection Molding series. Plublished the Society of manufacturing Engineers. Dearborn, Michigan.

Budinski, K. (1979). "Engineering Materials: Properties & Selection". (Reston, Ed.) (p. 436). Virginian.

Charvat, R. (2003). "Coloring of Plastics – Fundamentals". (John Wiley & Sons, Ed.). New York.

Edenbaum, J. (1996). "Plastics Additives and Modifiers Handbook". London: Plastics Industry Consultant. 1113p. ISBN 0-412-74120-2.

Gomes, C. (2008). "Efeito da Incorporação de Partículas Inorgânicas na Deformalidade e Propriedades Finais do Poli (Tereftalato de Etileno) para Embalagens". Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

Gordon, M. J. (2010). "Total quality process control for injection molding". (John Wiley & Sons, Ed.)John Wiley & Sons. New Jersey.

Harris, R. M. (1999). "Coloring Technology for Plastics". New York: Plastics Design Library. ISBN 1-884207-78-2.

Hosseini, H., Berdyshev, V. B., A. Mehrabani-Zeinabad, (2006). "A Solution for Warpage in Polymeric Products By Plug-Assisted Thermoforming". European Polymer Journal 42, 2006 1836-1843.

Kikuchi, Hiroyuki and Koyama, Kiyohito. (1996)."Generalized Warpage Parameter - Polymer Engineering and science", vol.36, n°10.

Kim, J. Y., Kim, S. Y., Song, Y. S., & Youn, J. R. (2011). "Relationship Between the Crystallization Behavior and the Warpage of Film-Insert-Molded Parts". Journal of Applied Polymer Science, 120(3), 1539-1546.

Kobayashi, Y., Teramoto, G., & Kanai, T. (2011). "The Unique Flow of Polypropylene at the Weld Line Behind an Obstacle in Injection Molding". Polymer Engineering and Science, 51(3), 526-531. Retrieved.

Kremitzl, H. (August 2003). "Encapsulated Gold Bronze Pigments. Eckart Gmbh &Co". KG. Veldem, Germany.

Maier, C., & Calafut, T. (1998). "Polypropylene: The definitive user`s guide and databook". (Platics Design Livrary, Ed.). New York.

Moore, E. P. (1996). "Polypropylene handbook: polymerization, characterization, properties, processing, applications". (Hanser Gardner, Ed.). New York.

Martins, I. C., Santos, I., & Pontes, J. A. (2012). "On the Effect of Metallic Particles on the Performance of Injection Molded PP Plastics Parts". Institute for Polymer and Composites/I3N, University of Minho, Guimarães, Portugal.

Moritomi, S. et al. (2010). "Polypropylene Compounds for Automotive Applications". SUMITOMO KAGAKU, 1, 1–16.

Osswald. A. T., Gramann. J. P., Turng. L. (2001). "Injection Molding Handbook". (Henser, Ed.). New York.

Reinert, A. F. (2005). "Estudo da influência da pressão de recalque na moldagem por injeção de POM em moldes fabricados em estereolitografia". Universidade Federal de Santa Catariana.

Rosato D.V., Rosato, D.V. e Rosato, M.G. (2000). "Injetion Molding Handbook", Van Nostrand Reinhold, 3ª Ed. New York

Santos, O. I. (2012). "Estudo de compósitos em polipropileno com pigmentos metálicos para aplicações moldadas por injeção". Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

Wheeler, I. (1999). "Metallic Pigments in Polymers". UK: Rapra Technology Limited.

Zöllner, O. (2001). "The Fundamentals of Shrinkage of Thermoplastics". Bayer.

8. ANEXOS

Anexo I – Fichas técnicas dos materiais

PP Ducor 3048 TC – Polipropileno de elevado índice de fluidez

Data Sheet

DUCOR Petrochemicals

Ducor 3048 TC

Ducor 3048TC is a clarified, controlled rheology modified homopolymer. The product is nucleated and contains an anti-electrostatic agent, and exhibits a very good flowability, high-transparancy and stiffness.

Food Contact Applications: This grade is in compliance with most regulations regarding food contact applications (EU, FDA). Specific information is available upon request.

Properties (Typical values)

Properties		Unit	Test method	Value
Melt flow rate				
MFR 230 / 2. 16		g/10 min	ISO 1133	48
Technical properties				
Tensile modulus of elasticity (v= 1mm/min)		MPa	ISO 527-2	1900
Tensile yield stress (v = 50mm/min)		MPa	ISO 527-2	39
Tensile yield strain (v = 50mm/min)		%	ISO 527-2	7
Tensile strain at break (v = 50mm/min)		%	ISO 527-2	>20
Shear modulus		MPa	ISO 6721-2	1000
Charpy impact strength notched	+23°C	kJ/m^2	ISO 179 / 1eA	2
	+/- 0°C	kJ/m^2	ISO 179 / 1eA	1.5
	- 30°C	kJ/m^2	ISO 179 / 1eA	1
Charpy impact strength unnotched	+23°C	kJ/m^2	ISO 179 / 1eU	75
	- 30°C	kJ/m^2	ISO 179 / 1eU	11
Izod impact strength notched	+23°C	kJ/m^2	ISO 180 / 1A	2.2
	- 30°C	kJ/m^2	ISO 180 / 1A	1.1
Ball indentation hardness (H 358/30)		MPa	ISO 2039-1	90
Thermal properties				
Melting point, DCS		°C	ISO 3146	163
Heat deflection temperature:				
- HDT / A (1.8 MPa)		°C	ISO 75-2	60
- HDT / B (0.45 MPa)		°C	ISO 75-2	100
Vicat softening temperature:				
- VST / A (10N)		°C	ISO 306	155
- VST / B (50N)		°C	ISO 306	98
Other properties				
Haze *(injection moulded disk, 1 mm thick)*		%	ASTM D 1003	11
Density		g/cm³	ISO 1183	0.91
Applications				
Thin walled package with high transparency				

Last updated: 01-07-2011

For further information please contact: sales@ducorchem.com

DUCOR cannot anticipate all conditions under which this information and our products or the products of other manufacturers in combination with our products may be used. DUCOR accepts no responsibility for results obtained by the application of this information or the safety and suitability of our products alone or in combination with other products. Users are advised to make their own tests to determine the safety and suitability of each such product or product combination for their own purposes. Unless otherwise agreed in writing, DUCOR sells the products without warranty, and buyers and users assume all responsibility and liability for loss or damage arising from handling and use of our products, whether used alone or in combination with other products. The property values quoted are typical of European produced grades only and do not constitute a specification. Unless specifically indicated, the grades mentioned are not suitable for applications in the pharmaceutical/medical sector.

PP Carpilene R50 – Polipropileno de baixo índice de fluidez

CARMEL OLEFINS

Technical Data Sheet

CAPILENE® R 50

Polypropylene Homopolymer

Description

CAPILENE® R 50 is a polypropylene homopolymer intended for injection molding, characterized by good flow properties combined with good balance of stiffness and impact.

Applications

CAPILENE® R 50 is a general purpose homopolymer. Typical applications are household articles and garden furniture.

Quality, Environment and Safety Regulations

Material Safety Data Sheet and Product Safety declarations are available on our web site http://www.caol.co.il

Properties		Method	Typical Value*	Unit
Physical				
Melt Flow Rate	(230°C/2.16Kg)	ISO 1133	12	g/10min
Mechanical	(50mm/min)			
Tensile Stress at Yield	(50mm/min)	ISO 527-2	32	MPa
Tensile Strain at Yield	(50mm/min)	ISO 527-2	11	%
Flexural Modulus	(5mm/min)	ISO 178	1400	MPa
Izod Impact Strength, notched	(+23°C)	ISO 180	2.3	KJ/m^2
Thermal				
Vicat Softening Temperature	(10N)	ISO 306	155	°C
Heat Deflection Temperature	(0.45MPa)	ISO 75-2	85	°C

**Typical values; not to be construed as specifications.*

LT21075 Aluminium Pigment (Al 75)

PRODUCT DATA SHEET

SILBERLINE®
The Global Supplier of Effect Pigments™

Grade Name LT21075 Aluminium Pigment

PRODUCT DESCRIPTION

* Sparkling aluminium flake pigment for plastics
* Low dusting, dry granular delivery form
* Compatible with a wide range of thermoplastics

PRODUCT APPLICATION

LT21075 provides a sparkling aluminium flake pigment, developed to provide sparkle effects, in a free flowing, non-dusting, meterable, granular form. It has been developed for direct pigmentation of moulded and extruded articles and for colouration of masterbatch and compound, where its high metal content offers considerable formulating flexibility.

TECHNICAL DATA

Grade:

Al Pigment Content:	70.0% Nominal by weight
Carrier Content]:	30.0% Nominal by weight
Non Volatile Content:	98.5% Minimum at 100°C
Particle Size (Microns)	Approx 75µm (by Malvern Mastersizer)

INCORPORATION GUIDELINES

This grade is compatible with a wide range of thermoplastics, including styrenics, polyolefins, polyamides, polycarbonates, polyesters and acetals. It may also be suitable for other polymers, but compatibility tests are recommended. Due to its very low opacity, LT21075 is generally used at 0.5-1.5% on polymer, in combination with colorants, to give a sparkle effect. It is normally sufficient to tumble blend the granules with polymers and any other colorants and additives before processing. As with all aluminium flake pigments, the use of high shear forces should be minimised as they cause loss of brightness and metallic effect.

SAFETY AND HANDLING

Aluminium pigment should be stored in the original shipping container and kept tightly sealed. Store containers in a dry room at a temperature below the flash point of the solvent. Avoid any conditions that will suspend or float the particles in the air, creating a dust cloud. For additional information, please refer to MSDS for this product, or the Aluminium Association's "TR-2" brochure, both of which are available by calling the Silberline phone number at the bottom of the page.

All statements, information and data presented herein are believed to be accurate and reliable but are not to be taken as a guarantee, express warranty or implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose, or representation, express or implied, for which seller assumes legal responsibility, and they are offered solely for your consideration, investigation and verification. Statements or suggestions concerning possible use of this product are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe on any patent.
© 2008 Silberline Manufacturing Co., Inc. All Rights Reserved.

PDS-xxxxxxx/Issue01/October 2008

Banbeath Road, Leven, Fife, KY8 5HD, United Kingdom
Phone: +44 (0) 1333 424734 • Fax: +44 (0) 1333 421369 • www.silberline.com
Facilities in Brazil • China • India • Mexico • Scotland • Singapore • United States

Sparkle silvet 880 -30-E1 (Al 27)

SILBERLINE®
The Global Supplier of Effect Pigments™

PRODUCT DATA SHEET

SPARKLE SILVET® 880-30-E1 (SLL) Aluminum Pigment

PRODUCT DESCRIPTION

Sparkle Silvet® 880-30-E1 is a medium particle size, bright Sparkle Silver® aluminium pigment produced in pellet form to reduce the potential for generating airborne particles and to improve ease of handling. The pellets are composed of 70% aluminium pigment carried in 30% polyolefin and are produced by a low shear process for easy dispersion. The pigment flake has a cornflake geometry. The particle size distribution range is controlled to produce clean chromatic effects when used with transparent pigments and dyes. This grade will produce bright metallic effects with small grain aesthetics when used alone or with other pigments.
-Medium Sparkle Silver® Flake Grade
-Aluminium Pigment Granules
-Non-Leafing

PRODUCT APPLICATION

Sparkle Silvet® E1 grades are easy to disperse and are compatible with a variety of polymers, particularly polyolefins. They are typically used to make concentrates or compounds for use in final processing by injection molding, extrusion, blow molding or blown film processes. In some cases Sparkle Silvet® E1 can be used directly in end use processing but care must be taken to assure complete dispersion is achieved. Their pellet or granular form make them easy to handle and incorporate. Additionally, Sparkle Silvet® E1 grades can be employed in co-extruded powder coating applications.

TECHNICAL DATA

Non-Volatile:	98.5 minimum by weight
Particle Size (microns):	27
Specific Gravity:	ca 1.72
Composition:	70.0% (±2.00) Al flake, 30.0% (±2.00) carrier
Carrier:	Polyolefin
Carrier Percentage:	30%

INCORPORATION GUIDELINES

It is normally sufficient to tumble blend the pellets with the base resin and any additional colourants or additives before processing. Incorporation techniques should not subject the flakes to high shear forces.

SAFETY AND HANDLING

Aluminium pigment should be stored in the original shipping container and kept tightly sealed. Store containers in a dry room at a temperature below the flash point of the solvent. Avoid any conditions that will suspend or float the particles in the air, creating a dust cloud. For additional information, please refer to MSDS 100 for this product, or the Aluminium Association's "TR-2" brochure, both of which are available by calling the Silberline phone number at the bottom of the page.

All statements, information and data presented herein are believed to be accurate and reliable but are not to be taken as a guarantee, express warranty or implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose, or representation, express or implied, for which seller assumes legal responsibility, and they are offered soley for your consideration, investigation and verification. Statements or suggestions concerning possible use of this product are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe on any patent. © 2006 Silberline Manufacturing Co.,Inc. All Rights Reserved.

Silberline Ltd., Banbeath Road, Leven, Fife, Scotland KY8 5HD
Phone: 44-1-333-424734 Fax: 44-1-333-421369 www.silberline.com
Plants in Tamaqua and Lansford, Pennsylvania; Decatur, Indiana; Leven, Fife, Scotland; and Singapore

Bronze powder 7600 rich pale gold

TECHNICAL DATA SHEET

ECKART Effect Pigments

REVISION: **2** EDITION: **April 1999** IDENT-NO.: **4H.1560.1**

Product denomination: **STANDART Bronze Powder Ink Lining 7600 Rich Pale Gold**

Article number: **63412..**
Product description: **Flake metal powder based on a copper-zinc-alloy (ca. 85 % Cu, 15 % Zn)**

test criteria	nominal	unit	test method
bulk density	**0,5 - 0,8**	**kg/l**	**6C.3103.1**
passing 45 µm	**98 - 100**	**%**	**6C.3211.1**
particle size distribution			**4C.0002.1**
D 10	**3 - 5**	**µm**	**4C.0002.1**
D 50	**9 - 11**	**µm**	**4C.0002.1**
D 90	**18 - 23**	**µm**	**4C.0002.1**
gravure printing	**OK**		**4C.5151.1**

EC-Safety data sheet no.: GB001
Other remarks:

"The Data on this technical information sheet correspond with the current status of our knowledge and experience. The liability for the application and processing of our products lies with the buyer, and he is also responsible for observing any third party rights. We reserve the right to alter any product data as a result of technical progress or further developments in the manufacturing process."

For more information and samples, please contact:

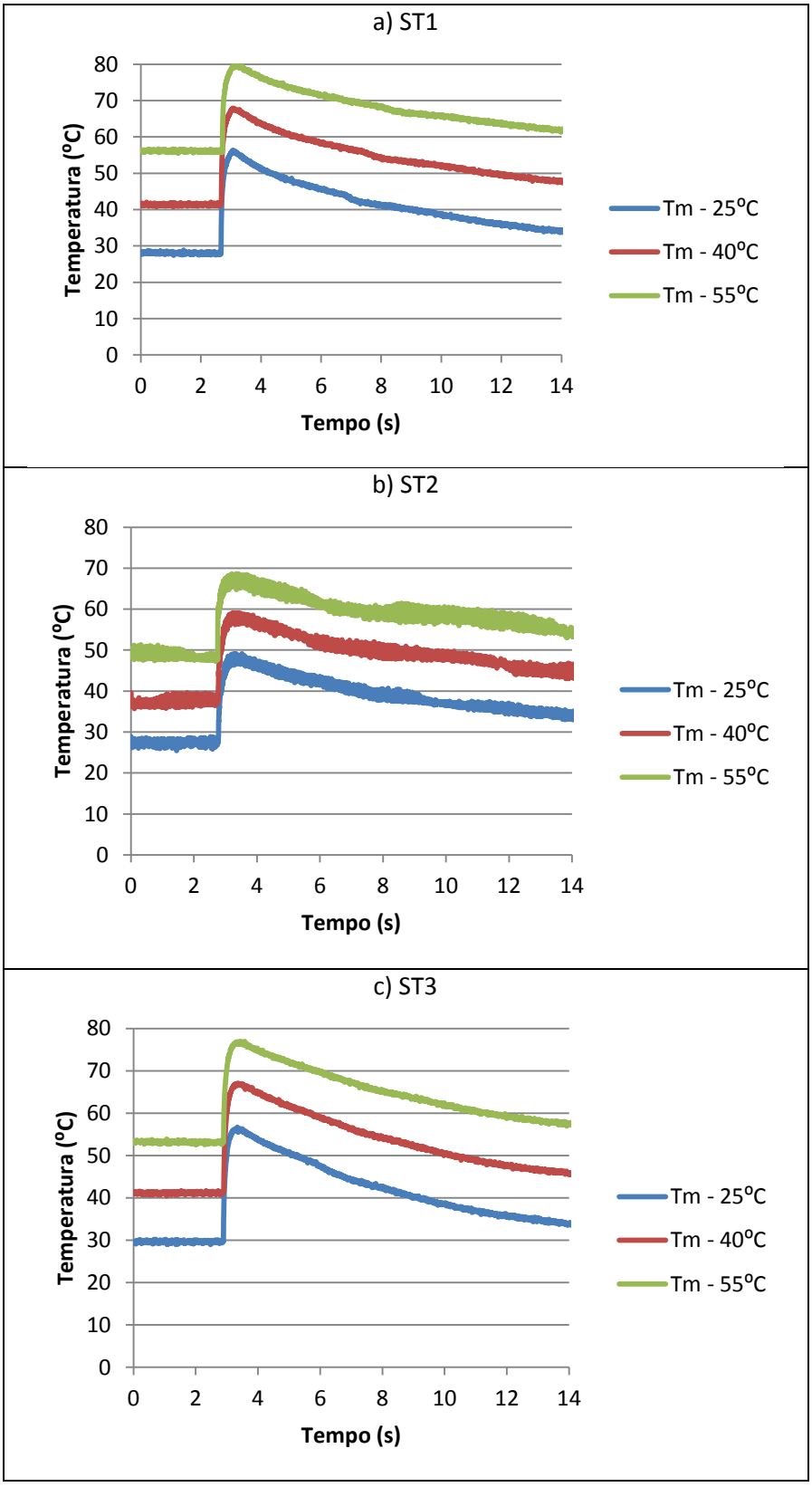
ECKART GmbH
Kaiserstraße 30
D-90763 Fürth

Telephone: 09 11 / 99 78 - 0
Telefax: 09 11 / 99 78 - 3 88

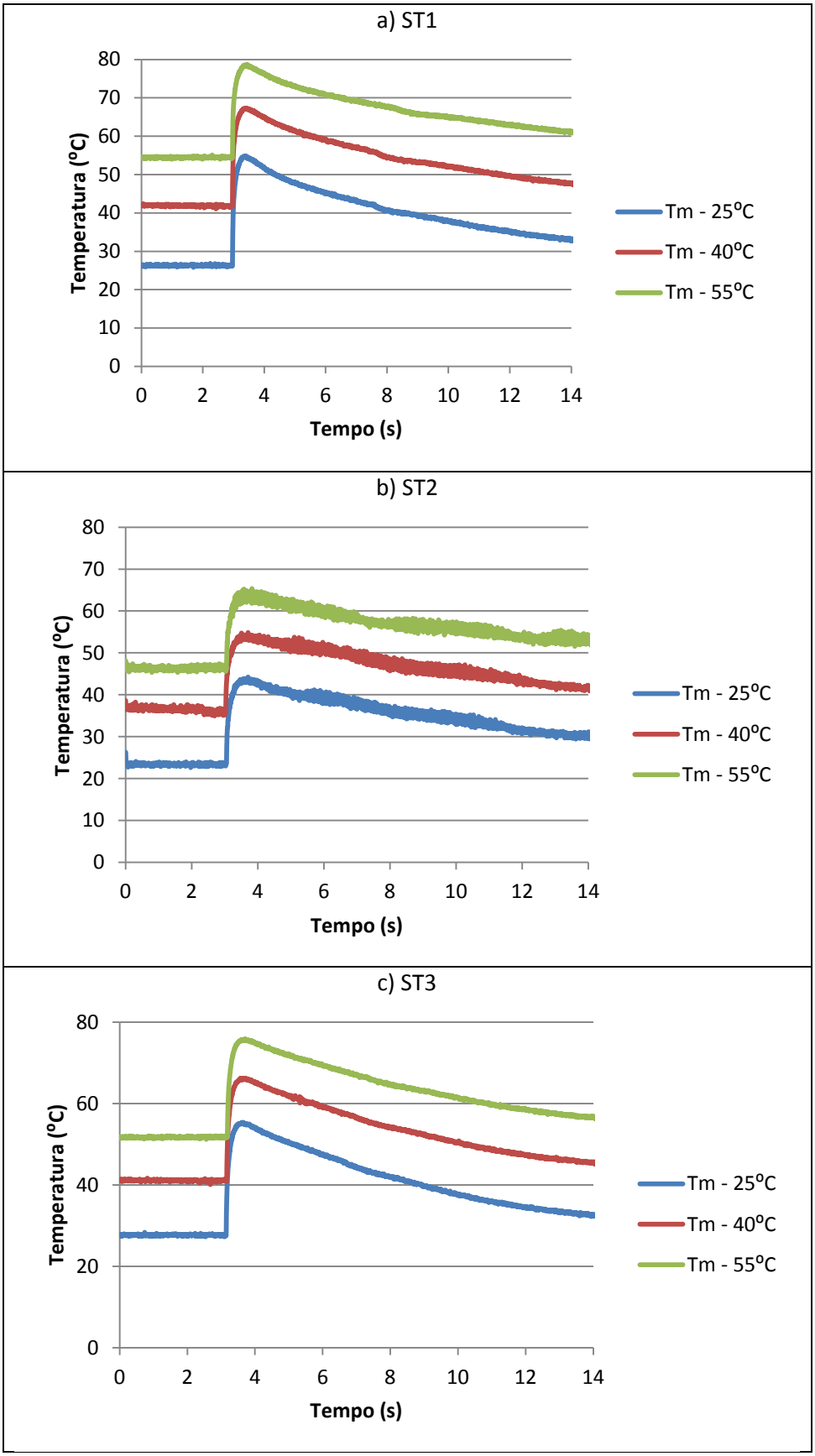
depart., name: OGF-QC-PI, Otto Lambert | date,approved: 08.04.1999 signed Dr. Günter Sommer

Anexo II – Curvas de temperatura para o PP Ducor 3048 TC reforçado com pigmentos metálicos

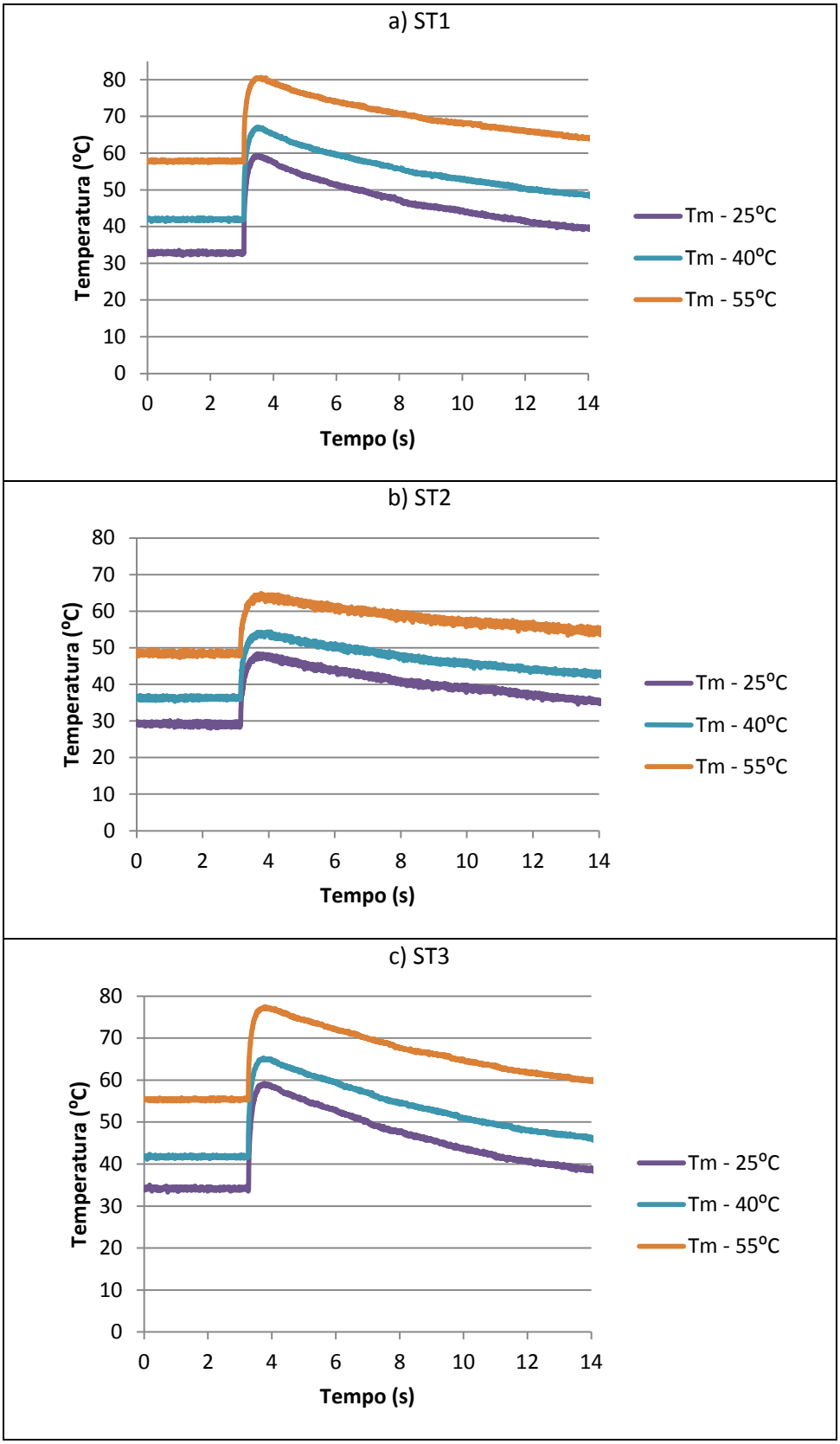
- PP/ Al 27



- PP/Al 75

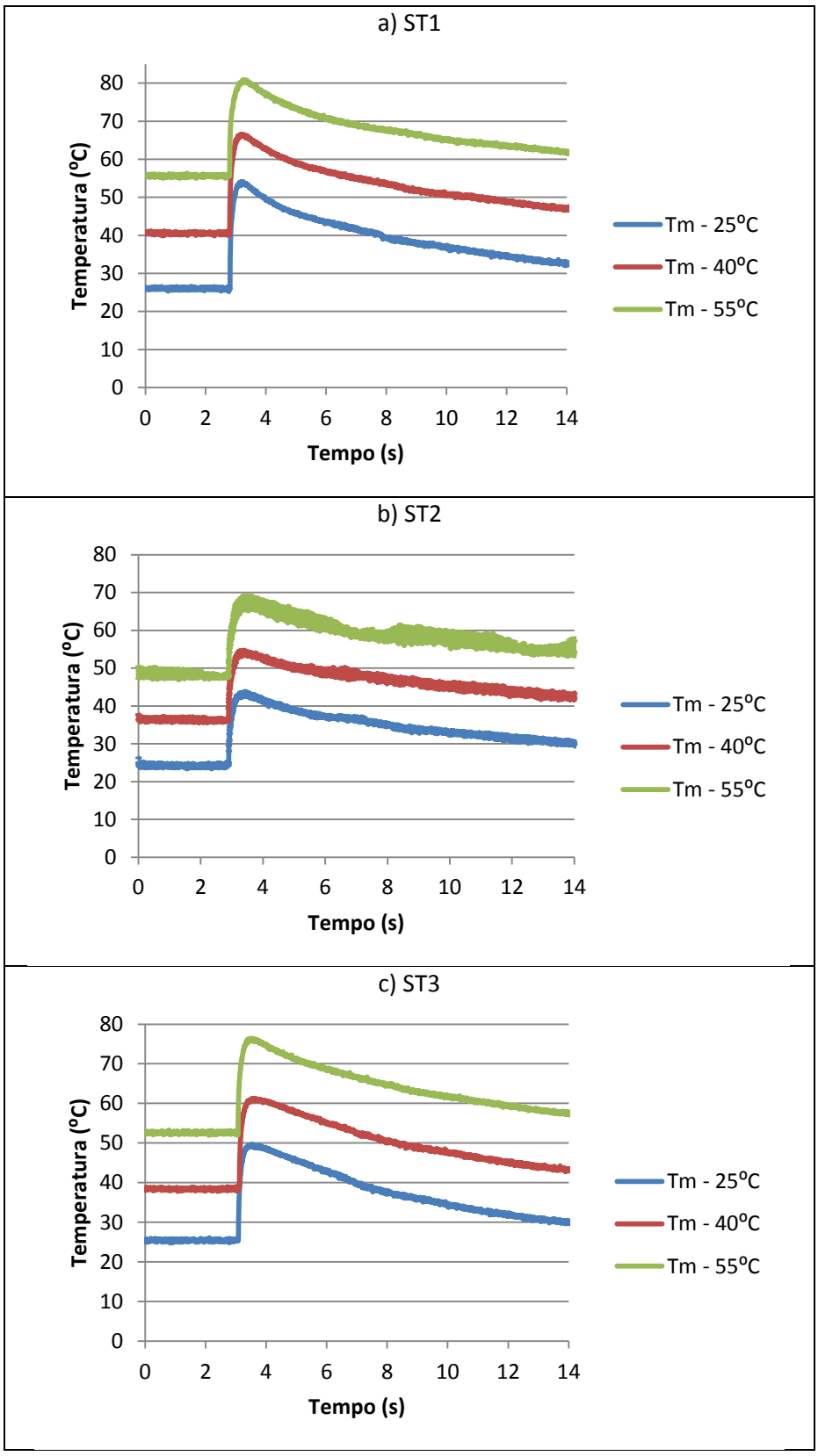

a) ST1
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
b) ST2
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
c) ST3
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC

- PP/Bronze

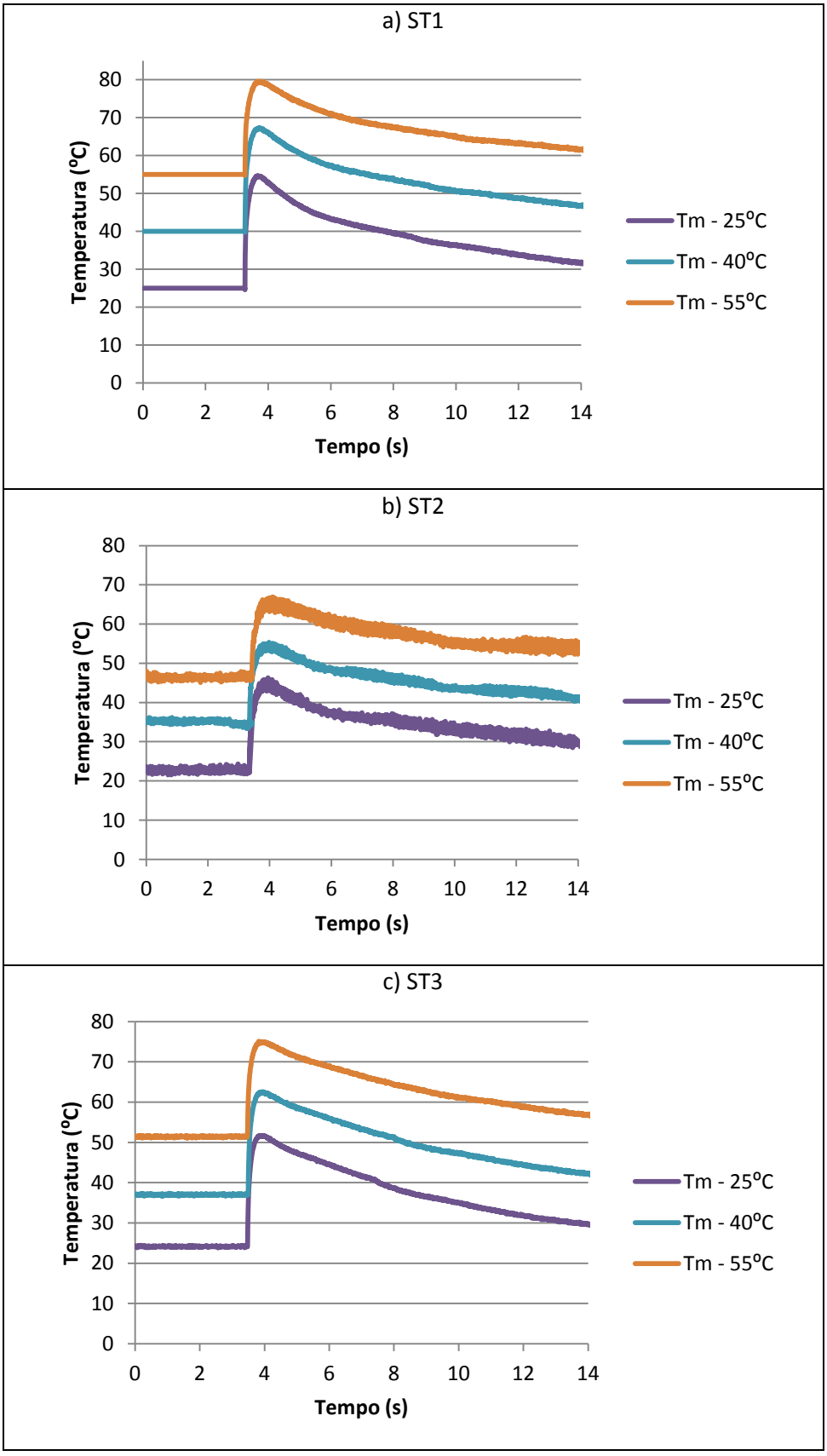

a) ST1
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
b) ST2
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
c) ST3
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC

Anexo III - Curvas de temperatura para o PP Carpilene R50 reforçado com pigmentos metálicos

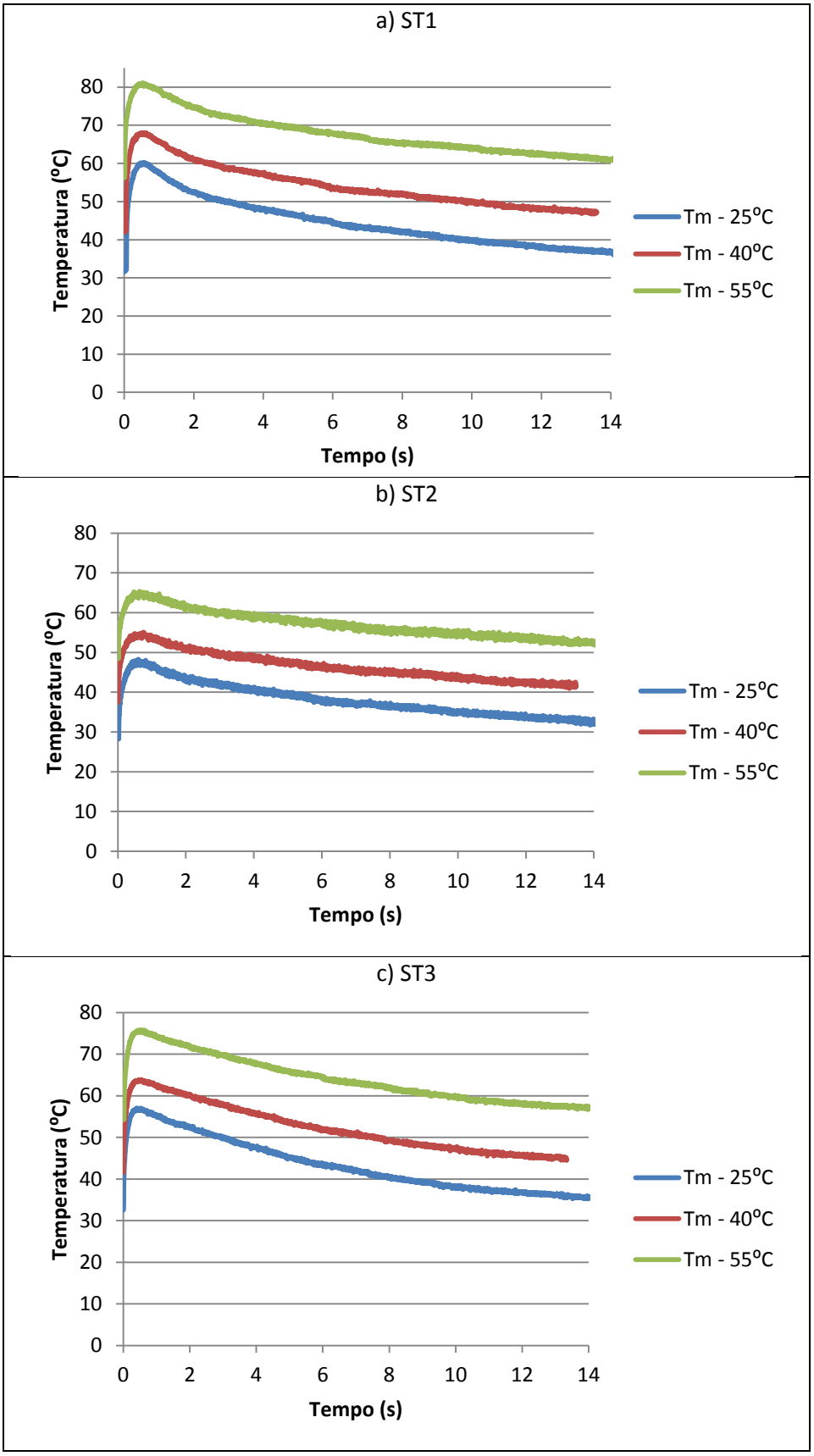
- PP/ Al 27



- PP/ Al 75


a) ST1
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
b) ST2
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
c) ST3
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC

- PP/ Bronze


a) ST1
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
b) ST2
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC
c) ST3
Temperatura (ºC)
Tempo (s)
Tm - 25ºC
Tm - 40ºC
Tm - 55ºC