

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Daniel Coradini Schwarz

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO E
CONTROLE DE TEMPERATURA PARA MOLDE DE INJEÇÃO E
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO MOLDE NO
MOLDADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

Daniel Coradini Schwarz

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO E
CONTROLE DE TEMPERATURA PARA MOLDE DE INJEÇÃO E
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO MOLDE NO
MOLDADO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Neri Volpato, Ph.D.

CURITIBA

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "Desenvolvimento de um Sistema de Aquecimento e Controle de Temperatura para Molde de Injeção e Estudo da Influência da Temperatura do Molde no Moldado", realizado pelo aluno Daniel Coradini Schwarz, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Neri Volpato, *Ph.D.*

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. José Aguiomar Foggiatto, Dr. Eng.

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Profa. Maria das Graças Contin Garcia Pelisson, Esp. Eng.

DAMEC, UTFPR

Avaliadora

Curitiba, 12 de Novembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho agradece:

À UTFPR pela disponibilização dos laboratórios e ferramentas utilizados para a realização do trabalho.

Ao Professor David Kretschek pelo auxílio com o processo de injeção.

A Wilson Germano Gaebler Junior pela colaboração com as injeções dos corpos de prova e com o planejamento do processo de usinagem.

Ao Professor José Aguiomar Foggiatto pelo auxílio prestado para a utilização do programa de simulação de injeção.

Ao Professor Neri Volpato pela cooperação e orientação prestada durante a realização deste trabalho

RESUMO

CORADINI SCHWARZ, Daniel. Desenvolvimento de um Sistema de Aquecimento e Controle de Temperatura para Molde de Injeção e Estudo da Influência da Temperatura do Molde no Moldado. 2012. 78 f. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Este trabalho está inserido na área de fabricação, mais especificamente em injeção de polímeros. O principal objetivo foi desenvolver um sistema de aquecimento para moldes de injeção. Duas opções para este sistema foram propostas e avaliadas, a melhor opção foi então desenvolvida. Com o sistema de aquecimento em funcionamento, foram injetadas peças em polipropileno em diversas temperaturas de molde. Adicionalmente, utilizou-se um programa de simulação de injeção para se avaliar os parâmetros de injeção. Ensaios mecânicos foram realizados nos moldados para se analisar a influência da temperatura do molde nos mesmos.

Palavras-chave: injeção de polímeros, temperatura do molde, polipropileno, simulação de injeção.

Abstract

CORADINI SCHWARZ, Daniel. Desenvolvimento de um Sistema de Aquecimento e Controle de Temperatura para Molde de Injeção e Estudo da Influência da Temperatura do Molde no Moldado. 2012. 71 f. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

This study belongs to mechanical fabrication domain, specifically to polymer injection. The main objective was to develop a system to control the temperature of an injection machine's mold. Two options for this system were proposed and analyzed, the best option was then developed. With this system ready, parts were injected in polypropylene with different mold temperatures. Also, an injection simulation software was used to evaluate the injection parameters. The parts were mechanically tested so the influence of the mold temperature on the mechanical properties could be evaluated.

Keywords: injection molding, mold temperature, polypropylene, injection simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Volume específico em função da temperatura.....	17
Figura 2 - Estrutura básica do polipropileno.....	17
Figura 3 - Configuração estereoespecífica do PP.....	18
Figura 4 - Máquina de injeção.....	19
Figura 5 - Funcionamento comando proporcional.....	22
Figura 6 - Comparação entre métodos de controle.....	23
Figura 7 – Esquema dos componentes do sistema de aquecimento.....	24
Figura 8 - Instalação das resistências cartucho.....	25
Figura 9 – Instalação da resistência tubular flexível.....	26
Figura 10 – Simulação em regime permanente.....	28
Figura 11 – Simulação em regime transiente.....	29
Figura 12 – Perfil do canal usinado.....	31
Figura 13 – Porta molde com canal para a resistência usinado.....	31
Figura 14 - Resistência instalada no porta-molde.....	32
Figura 15 – Posição do termopar inserido no inserto.....	33
Figura 16 – Montagem dos componentes do sistema de aquecimento.....	34
Figura 17 – Temperatura do molde em função do tempo de aquecimento.....	36
Figura 18 - Fluxograma das etapas do projeto.....	38
Figura 19 – Inserto de aço 1045.....	39
Figura 20 – Pressão mínima para preenchimento completo do molde.....	45
Figura 21 – Preenchimento da cavidade (molde a 20°C).....	46
Figura 22 – Simulação de resfriamento.....	47
Figura 23 – Simulação de contração.....	48
Figura 24 - Comportamento da contração em função da temperatura do molde.....	49
Figura 25 – Resultados da simulação de contração.....	50
Figura 26 - Curvas de tensão deformação para temperatura do molde de 30°C.....	51
Figura 27 - Curvas médias de tensão-deformação.....	52
Figura 28 - Gráficos tensão de flexão-deformação.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de convecção natural.....	27
Tabela 2 – Orçamento para montagem do sistema de aquecimento	29
Tabela 3 – Ferramentas para usinagem do porta-molde	30
Tabela 4 – Temperaturas medidas com aquecimento do molde.....	35
Tabela 5 – Parâmetros de injeção.....	40
Tabela 6 – Medição dos corpos de prova de tração.....	48
Tabela 7 – Medição dos corpos de prova de flexão	49
Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração	52
Tabela 9 - Resultados do ensaio de flexão	54

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Contexto do Tema.....	11
1.2	Caracterização do Problema.....	11
1.3	Objetivos	12
1.4	Justificativa.....	13
2	Revisão bibliográfica.....	15
2.1	Polímeros.....	15
2.1.1	Cristalinidade dos Polímeros	15
2.1.2	Temperaturas de Transição.....	16
2.1.3	Características Gerais do Polipropileno.....	17
2.2	Processo de Moldagem por Injeção.....	18
2.2.1	Máquinas de Injeção.....	18
2.2.2	Parâmetros de Injeção.....	19
2.2.3	Controle de Temperatura do Molde.....	22
3	Desenvolvimento e Teste do Sistema de Aquecimento do Molde.....	24
3.1	Resistência elétrica	24
3.2	Simulações térmicas	26
3.3	Usinagem do porta-molde e montagem da resistência	30
3.4	Controlador de temperatura	32
3.5	Medição da temperatura do molde.....	33
3.6	Montagem e teste do sistema de aquecimento.....	34
4	Materiais e métodos.....	38
4.1	Injeção dos corpos de prova	38
4.2	Medição dos Corpos de Prova.....	40
4.3	Ensaio de tração	40
4.4	Ensaio de flexão.....	41
4.5	Simulação de injeção	41

4.5.1	Geração da malha	42
4.5.2	Escolha do material	43
4.5.3	Parâmetros de injeção.....	43
5	Resultados.....	45
5.1	Resultados de simulação de injeção.....	45
5.2	Análise Dimensional dos corpos de prova	48
5.3	Ensaio de tração	50
5.4	Ensaio de flexão.....	53
6	Conclusão.....	56
	REFERÊNCIAS.....	58
	Apêndice A – Desenho de fabricação- usinagem porta-molde.....	60
	Apêndice B – Utilização do Sistema de Controle de Temperatura.....	61
	Apêndice C – Curvas obtidas nos ensaios de tração	63
	Apêndice D – Curvas obtidas nos ensaios de flexão	66
	Anexo A – Resistência Tubular Flexível.....	69
	Anexo B – Resistências Cartucho	71
	Anexo C – Polipropileno H301	72
	Anexo D – Controlador de Temperatura n1040.....	73
	Anexo E – Relé SSR 2510	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Tema

Os polímeros tiveram uma grande expansão na indústria a partir da segunda guerra mundial. Novos materiais plásticos como nylon, acrílico, polietileno e neoprene substituíram materiais naturais que não estavam mais disponíveis. A partir de então a empregabilidade dos polímeros vem crescendo e novos materiais e métodos de processamento vêm sendo desenvolvidos (AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010).

A injeção é um dos processos mais versáteis e modernos no campo de processamento de polímeros (MANRICH, 2005). As máquinas de injeção começaram a ser desenvolvidas no século XIX e em meados do século XX surgiram as primeiras máquinas com rosca-pistão. Este modelo se tornou predominante na indústria (HARADA, 2004).

O processo de injeção é adaptado para a produção de peças em grandes quantidades. Atualmente, também é importante a utilização de moldes-protótipo, que podem ser utilizados como parte do projeto do molde de produção e também para a fabricação em pequena escala.

A aplicação de simulação computacional no processo de injeção vem crescendo em importância. As simulações são utilizadas para diversas finalidades como verificação do preenchimento do molde, da contração do moldado, do aprisionamento de ar, entre outros.

1.2 Caracterização do Problema

Moldes-protótipo são utilizados na indústria para que se possa analisar o processo de injeção, a funcionalidade do produto e a qualidade do moldado antes da fabricação de um molde definitivo. Isto requer que o processo de fabricação com um molde-protótipo seja o mais semelhante possível com a fabricação que aconteceria com um molde de produção. Em uma produção em série, o molde é aquecido com a fabricação das primeiras peças até entrar em equilíbrio térmico. Na fabricação de

pequenos lotes a temperatura do molde não chega a estabilizar e isso pode tornar problemática a determinação dos parâmetros de fabricação. Adicionalmente, não se sabe qual é o efeito destas condições no moldado.

Assim como acontece em algumas indústrias, um programa de simulação vem sendo utilizado pelo laboratório de processamento de polímeros da UTFPR para determinar parâmetros de injeção. Serafini e Siegel (2010) e Gryzinski (2011) realizaram injeções no laboratório de processamento de polímeros da UTFPR utilizando parâmetros de injeção obtidos em simulação numérica. Estes parâmetros não se mostraram adequados. Suspeita-se que uma das causas é que algumas variáveis, entre elas a temperatura do molde, não eram as mesmas nas simulações e nas condições de injeção reais.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento e a montagem de um sistema de aquecimento e controle de temperatura para um molde de injeção de termoplásticos. Em seguida deve-se realizar um estudo breve da influência da temperatura do molde nas propriedades mecânicas dos moldados em polipropileno, variando-se a temperatura do molde de aço utilizado. Adicionalmente, tem-se como objetivo utilizar um programa de simulação de injeção para estimar os parâmetros de injeção, e baseado nos resultados analisar as possíveis fontes de erro nos parâmetros de simulação utilizados.

Pode-se então ressaltar três objetivos específicos do projeto:

- Desenvolver um sistema para controlar a temperatura do molde.
- Estimar parâmetros de injeção através de um programa de simulação de injeção
- Estudar a influência da temperatura do molde sobre as propriedades mecânicas e estruturais do moldado.

1.4 Justificativa

A fabricação de moldes-protótipo é importante, pois permite que se saiba como será a injeção para uma determinada geometria, se o produto está adequado para sua função e quais serão as propriedades do produto antes da fabricação de um molde de produção. Segundo Rosato (2000), moldes protótipos são ferramentas muito úteis para o projeto de moldes. Podem ser usados para responder a diversas dúvidas sobre a qualidade final do moldado. Moldes-protótipo apresentam custo benefício em muitos casos maior do que o das simulações (que pode ser usadas para os mesmos fins) e podem responder a questões adicionais como acabamento, marcas de pinos extratores, textura além das mais usuais dúvidas quanto à qualidade e moldabilidade do produto (resistência do moldado, preenchimento de seções finas, etc...).

Neste sentido, a injeção com molde-protótipo deve ser a mais semelhante possível com a injeção que ocorreria com o molde de produção. A temperatura do molde é um parâmetro que, se não controlado, tende a ser diferente na injeção com um molde-protótipo e na injeção em série de peças com um molde de produção. Assim este estudo sobre a temperatura do molde pode esclarecer qual é a diferença que este parâmetro vai provocar no processo e no moldado. Rosato (2000) cita a necessidade de o molde protótipo ser mais sofisticado para se obter melhores resultados, como a utilização de materiais semelhantes ao do molde de produção e também salienta a temperatura do molde, citando a utilização de um ciclo de refrigeração igual ao que seria utilizado em produção.

Gryzinski (2011) desenvolveu um estudo sobre a aplicação de liga de zinco em molde-protótipo. As injeções realizadas neste estudo foram feitas a temperaturas de molde abaixo do que é aconselhado na literatura, já que não havia um equipamento para controlar esta temperatura e a temperatura ambiente era baixa. Sugeriu-se que algumas das características dos moldados podem ser oriundas das baixas temperaturas de molde. Assim um sistema para o controle da temperatura do molde permite que sejam identificadas quais variações tanto nos parâmetros de injeção quanto nas características dos moldados são função da temperatura do molde e quais são devido às demais variáveis.

Outro ponto abordado no projeto são as simulações numéricas, estas são cada vez mais utilizadas em diversas áreas para se diminuir os gastos com ensaios experimentais e os tempos de projeto. Também para a injeção de polímeros as simulações são importantes para diminuir o tempo gasto com a determinação dos parâmetros de injeção e diminuir a perda de materiais que ocorre durante esse processo. O Moldex3D, utilizado neste estudo, é um dos quatro programas de simulação de injeção mais utilizados (KNIGHTS, 2008). Este programa foi disponibilizado pelo laboratório NUFER, Núcleo de Ferramental e Prototipagem da UTFPR, e já foi utilizado em estudos precedentes de trabalho de conclusão de curso e dissertação de mestrado. Assim deseja-se também correlacionar os resultados obtidos em simulação com resultados reais, já que estudos anteriores realizados no laboratório NUFER não alcançaram essa correlação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

Polímeros são materiais de alto peso molecular que são suficientemente moles em determinada temperatura para serem moldados em alguma etapa da sua manufatura (HARADA, 2004). As moléculas são formadas por partes repetidas, denominadas meros, que são normalmente de baixo peso molecular (MANRICH, 2005).

Os polímeros podem ser divididos em dois grandes grupos: termoplásticos e termofixos. Termoplásticos podem ser fundidos e solidificados repetidas vezes, sem alterações das propriedades do material. Termofixos sofrem um processo de solidificação irreversível (processo de cura) que cria ligações cruzadas entre as moléculas.

Os polímeros são compostos complexos que são definidos por diversas características tais como: estrutura repetida, peso molecular e distribuição de peso molecular, estereorregularidade, temperatura de transição, cristalinidade, propriedades químicas, propriedades mecânicas, entre outros. Algumas das propriedades de maior interesse são discutidas nas secções seguintes.

2.1.1 Cristalinidade dos Polímeros

Os polímeros podem apresentar estruturas cristalinas. Ao contrário dos metais e cerâmicas, que são constituídos de átomos e íons, os polímeros são formados por moléculas, o que torna os arranjos formados mais complexos. A estrutura formada pode ser totalmente amorfa ou parcialmente cristalina, até aproximadamente 95% de cristalinidade (CALLISTER, 2002).

Vários fatores influem no grau de cristalinidade. Quanto mais rápido o resfriamento de um polímero menor será seu grau de cristalinidade (CALLISTER, 2002). Isto ocorre pois as moléculas precisam de tempo para se organizarem em cristais. As características da molécula também influem. Moléculas com ramificações têm mais dificuldade em se organizar em cristais. O polietileno de baixa densidade,

que apresenta ramificações, tem grau de cristalinidade entre 40% e 65% enquanto o polietileno de alta densidade, que não tem ramificações, apresenta um grau de cristalinidade entre 85% e 95% (MANRICH, 2005).

As propriedades físicas dos materiais são influenciadas pelo grau de cristalinidade do polímero. Por exemplo, os polímeros cristalinos são, em geral, mais resistentes a esforços mecânicos e ao amolecimento pelo calor (CALLISTER, 2002).

2.1.2 Temperaturas de Transição

Duas temperaturas são de grande importância para a definição do estado físico de um polímero: a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão.

A transição vítrea ocorre na região amorfa dos polímeros devido a uma redução no movimento das cadeias moleculares em função da redução da temperatura. Todos os polímeros apresentam esta transição, porém ela é mais pronunciada nos polímeros com baixo grau de cristalinidade (pois a região amorfa é maior). Ao ultrapassar a temperatura de transição vítrea o polímero passa de um estado vítreo para o estado fluido (CALLISTER, 2002).

Ao ultrapassar a temperatura de fusão a fase cristalina de um polímero passa de um estado molecular ordenado (material sólido) para um desordenado (líquido viscoso) (CALLISTER, 2002). A estrutura cristalina se desfaz e se torna amorfa. Dessa maneira os polímeros que já são totalmente amorfos em condições normais não apresentam temperatura de fusão, e ainda quanto maior o grau de cristalinidade de um polímero maior a influência desta transição na sua estrutura. Segundo MANRICH (2005), esta transformação ocorre na realidade ao longo de uma faixa de temperatura, geralmente de 2 a 10 graus Celsius. A temperatura de fusão é normalmente determinada como o ponto médio desta faixa de temperatura.

As temperaturas de fusão e de transição vítrea podem ser observadas no gráfico do volume específico em função da temperatura, exemplificado na Figura 1. Os polímeros totalmente amorfos (curva A) apresentam uma temperatura de transição vítrea bastante evidente e não apresentam temperatura de fusão. Os sólidos cristalinos (curva C) por sua vez não apresentam transição vítrea, mas tem

uma mudança acentuada de volume específico durante a fusão. Os semicristalinos (curva B), como apresentam uma fase cristalina e também uma fase amorfa, apresentam um comportamento intermediário, pode-se notar uma temperatura de transição vítrea e também uma temperatura de fusão.

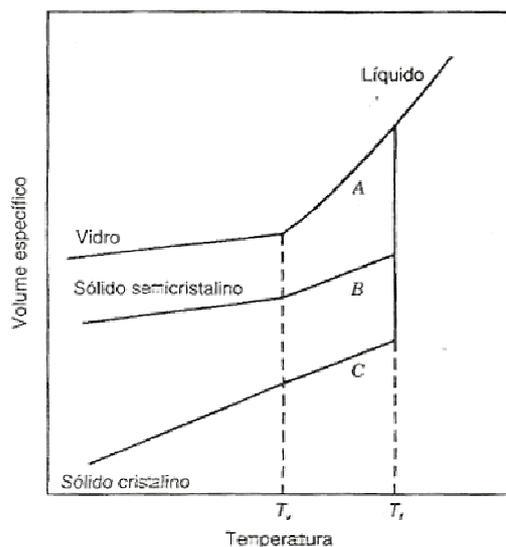


Figura 1 - Volume específico em função da temperatura
Fonte: Callister (2002)

2.1.3 Características Gerais do Polipropileno

O polipropileno, cuja sigla é PP, tem grande aplicação na indústria porque tem boas propriedades a um preço relativamente baixo. Este polímero representa uma grande parte dos termoplásticos utilizados na indústria brasileira (MANRICH, 2005). A estrutura repetida (mero) deste polímero é mostrada na Figura 2.

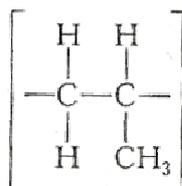


Figura 2 - Estrutura básica do polipropileno
Fonte: Callister (2002)

O PP é um termoplástico bastante versátil, podendo apresentar comportamento flexível ou rígido dependendo da estrutura química. Dois fatores importantes são o grau de cristalinidade e a estereorregularidade deste polímero.

O grupo metil (CH_3) pode formar diferentes configurações estereoespecíficas, mostradas na Figura 3. A forma mais comum comercialmente é o PP isotático.

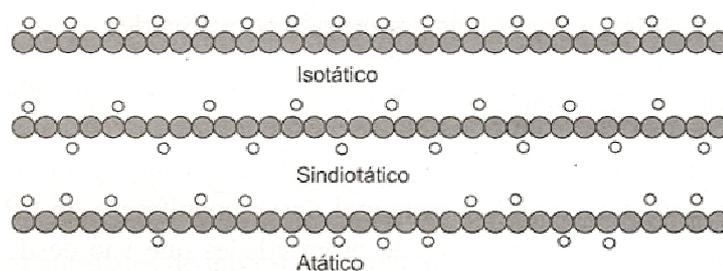


Figura 3 - Configuração estereoespecífica do PP
Fonte: Manrich (2005)

As propriedades dependem da configuração estereoespecífica. O PP atático, por exemplo, não cristaliza, em função da posição aleatória dos radicais que dificulta a formação de uma estrutura regular. Em geral, para as outras formações, o PP costuma apresentar cristalinidade entre 30 e 65% (MANRICH, 2005).

2.2 Processo de Moldagem por Injeção

2.2.1 Máquinas de Injeção

As máquinas de injeção podem ser divididas em máquinas a pistão, com cilindro vertical ou horizontal, e máquinas com rosca-pistão. As máquinas a pistão foram as primeiras desenvolvidas, porém as máquinas com rosca-pistão tem se tornado mais populares devido à sua versatilidade e à capacidade de injeção (HARADA, 2004). A Figura 4 mostra o esquema de uma máquina injetora e suas principais partes.

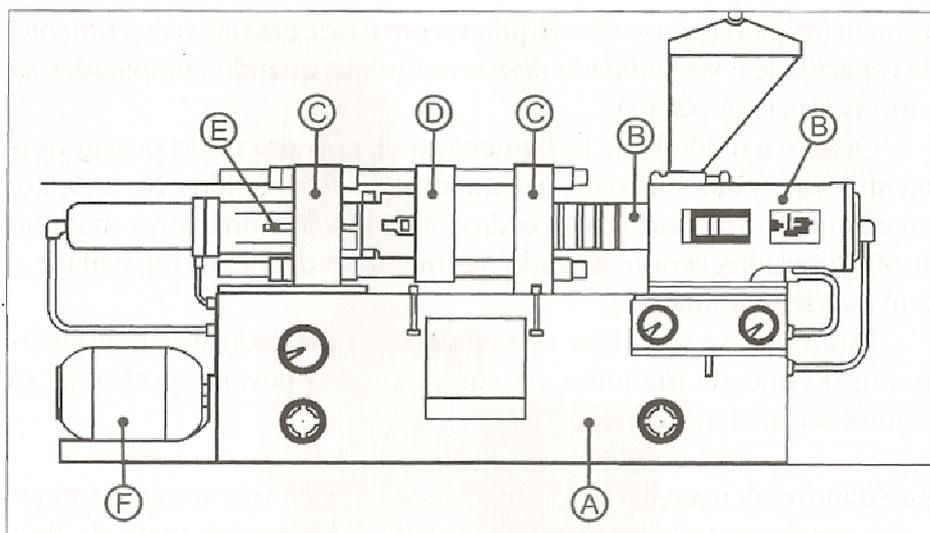


Figura 4 - Máquina de injeção

Fonte: Harada (2004)

- A) Base – apoiada sobre o piso, sustenta as demais partes da injetora
- B) Conjunto injetor – conjunto responsável pela injeção do polímero
- C) Placa estacionária – suporta as colunas da máquina e uma das partes do molde
- D) Placa móvel – se desloca através das colunas da máquina, suporta a segunda parte do molde
- E) Conjunto de fechamento – sistema que opera o fechamento e abertura da placa móvel
- F) Motor e sistema hidráulicos – motor e sistema hidráulicos responsáveis pelo acionamento dos movimentos da máquina

2.2.2 Parâmetros de Injeção

Pressão de injeção

É a pressão no cilindro de injeção. A pressão a ser adotada depende de diversos fatores. Entre outros, cita-se (HARADA, 2004):

- Geometria do molde: quanto mais delgadas as secções a serem preenchidas maior a pressão necessária para que haja um preenchimento adequado.
- Características do polímero: polímeros com menor viscosidade exigem menor pressão para preencher a cavidade.
- Temperaturas envolvidas: as temperaturas do cilindro e do molde influem no resfriamento do polímero, quanto maior a temperatura menor a viscosidade e menor a pressão requerida para a injeção.
- Geometria do bico de injeção

Força de fechamento

O polímero injetado no molde exerce uma força sobre as paredes da cavidade, esta força tende a abrir o molde. Esta força é proporcional à área projetada da cavidade e à pressão de injeção. A pressão na cavidade é apenas uma fração da pressão de injeção devido às perdas de carga. Assim a força de fechamento pode ser estimada pela equação (1) (HARADA, 2004), na qual a força de fechamento é relacionada à área projetada da cavidade do moldado e à pressão de injeção:

$$F_{\text{Fechamento}} = A_{\text{área projetada}} * \left(de \frac{1}{3} a \frac{2}{3} \right) * P_{\text{pressão injeção}} \quad (1)$$

Pressão de recalque

Após o preenchimento do molde deve-se manter uma pressão no cilindro para que não haja retrocesso de material da cavidade durante o processo de resfriamento. Essa pressão é geralmente menor do que a pressão de injeção, em parte para evitar tensões internas (MANRICH, 2005).

Temperatura de Injeção

É a temperatura do polímero no bico de injeção. Em uma injetora por rosca-pistão o calor responsável pela fusão do polímero é gerado em parte pela energia da

rosca, que é convertida em energia térmica devido à viscosidade do polímero, e em parte por resistências localizadas nas paredes do cilindro. O cilindro de injeção é dividido em zonas no sentido axial, as temperaturas de cada zona podem ser ajustadas de acordo com a necessidade.

Temperatura do Molde

Embora o maior enfoque seja dado à temperatura de injeção a temperatura da superfície do molde também é um parâmetro importante no processo de injeção. Segundo Harada (2004), temperaturas altas de molde geram as seguintes consequências:

- O tempo de resfriamento é maior, o que torna o ciclo mais lento.
- O polímero permanece mole por mais tempo, o que facilita o preenchimento do molde e gera uma maior cristalinidade.
- O gradiente de temperatura tende a ser menor, o que reduz as tensões internas no produto.
- As linhas de junção são minimizadas.
- A superfície do moldado é mais brilhante.

Alguns métodos para o controle da temperatura do molde foram desenvolvidos e se baseiam nos seguintes princípios (KNIGHTS, 2010):

- Circulação de um fluido através de canais no molde. Água, óleo ou ar podem ser utilizados. Normalmente, este sistema é usado para resfriar o molde, o que diminui o tempo de injeção. Porém, o fluido pode ser aquecido antes de passar pelo molde.
- Resistências elétricas colocadas no molde. São bastante utilizadas em processos de injeção de termofixos (ROSATO, 2000).
- Aquecimento por indução de corrente elétrica no molde. Os indutores podem ser colocados no molde ou montados ao redor deste.
- Radiação por lâmpadas de infravermelho.

2.2.3 Controle de Temperatura do Molde

Para modificar a temperatura do molde em sistemas com resistência elétrica pode-se utilizar um controlador de temperatura, componente cuja função é regular a potência do sistema de aquecimento. Para isso é necessário que haja um elemento capaz de ler a temperatura em algum ponto do molde e um relé para abrir e fechar o circuito elétrico de alimentação. Este controle de temperatura pode ser feito de várias maneiras, as três que mais foram encontradas em equipamentos comerciais pesquisados são:

- Controle “on/off”

Este controle é o mais simples de todos. Uma temperatura desejada é configurada no controlador. Este mantém o circuito fechado enquanto a temperatura lida é inferior à desejada. Quando esta é ultrapassada o controlador abre o circuito elétrico voltando a fechar novamente quando a temperatura lida voltar a ser inferior ao limite configurado.

- Controle proporcional

Este tipo de controle regula a potência proporcionalmente à diferença entre as temperaturas desejada e lida. A Figura 5 ilustra o funcionamento de um dos controladores proporcionais do mercado. A temperatura estabiliza após um determinado tempo, ao contrário do controle “on/off” que oscila indeterminadamente. Porém, existe um erro de estado estacionário, representada na Figura 5 como desvio.

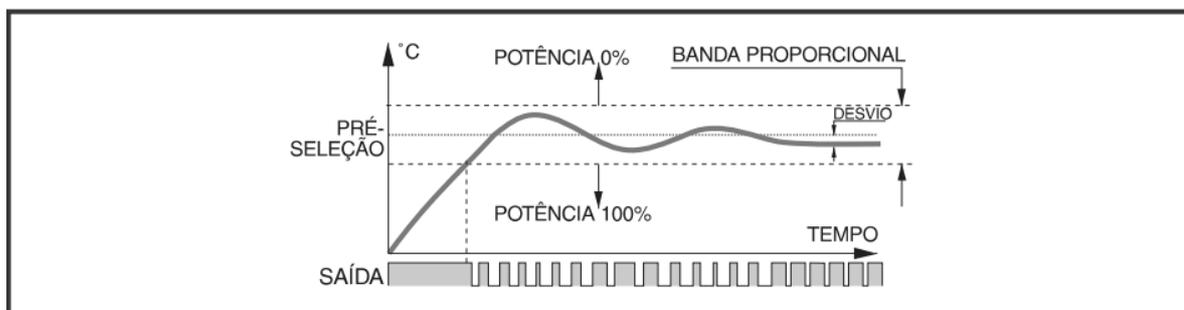


Figura 5 - Funcionamento comando proporcional
Fonte – Catálogo Coel (2012)

- Controladores PID (Proporcional integral derivativo):

Este controlador é o mais completo dos três modelos. Ele regula a potência em função da diferença de temperatura (controle proporcional) em função da derivada da temperatura pelo tempo (controle derivativo) e em função da integral da temperatura pelo tempo (controle integral).

De uma maneira bastante simplificada pode-se dizer que o controle integral permite ao sistema estabilizar exatamente na temperatura desejada, eliminando o erro de estado estacionário. O controle derivativo permite melhorar a resposta transitória, isto é, diminuir o tempo para se estabilizar na temperatura desejada (NISE, 2002).

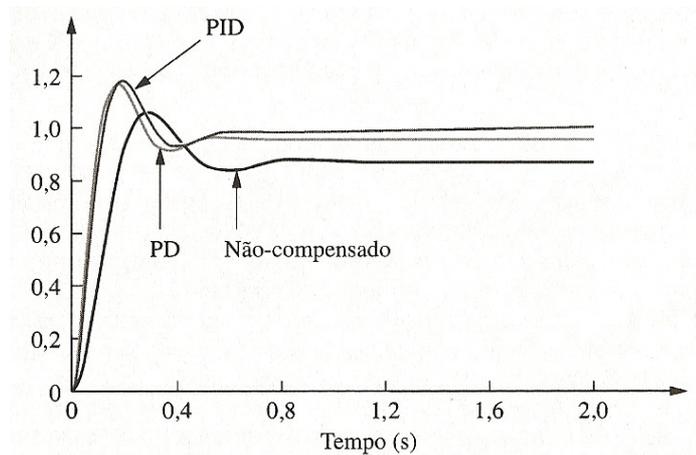


Figura 6 - Comparação entre métodos de controle
Fonte – Nise (2002)

A Figura 6 mostra uma comparação entre o controle proporcional (não compensado), o controle proporcional derivativo (PD) e o controle PID. Nota-se que o controle PD diminui o tempo de resposta e neste caso melhora o erro de estado estacionário, o controle PID elimina este erro.

3 DESENVOLVIMENTO E TESTE DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DO MOLDE

Neste capítulo serão abordadas as etapas de desenvolvimento do sistema de aquecimento do molde.

A Figura 7 apresenta um esquema do sistema. A fonte de tensão alternada de 220V alimenta o controlador de temperatura e a resistência elétrica. Em série com esta última há um relé. Este abre e fecha o circuito de alimentação para regular a potência média dissipada pela resistência. O relé é comandado pelo controlador de temperatura através de um sinal de controle. O termopar é conectado ao controlador para que esse regule a potência de acordo com a temperatura lida no molde.

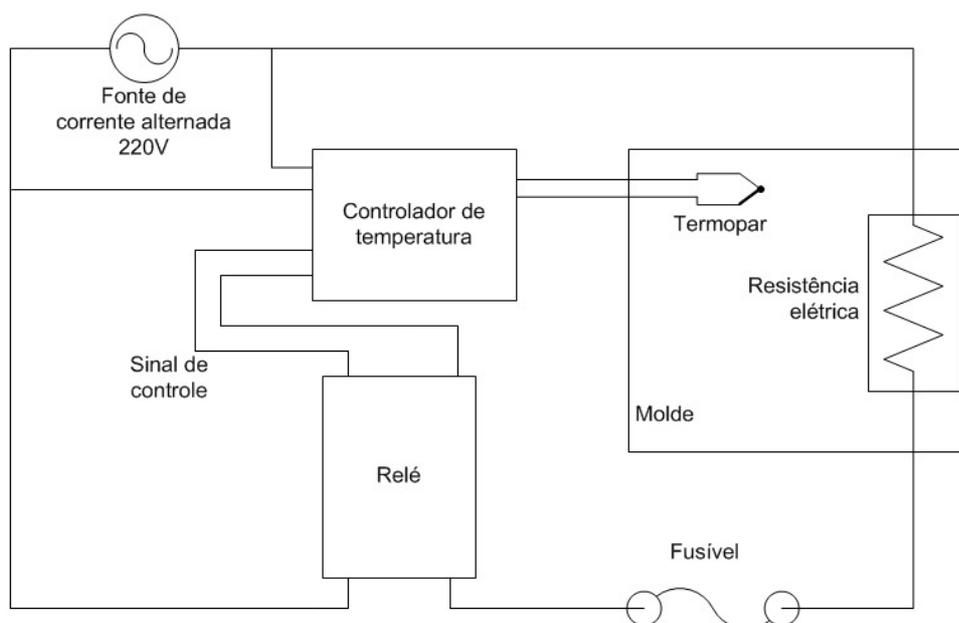


Figura 7 – Esquema dos componentes do sistema de aquecimento¹

3.1 Resistência elétrica

Optou-se por utilizar uma resistência elétrica por ser o método mais simples e bastante utilizado para aquecimento de sistemas semelhantes. As opções de resistências foram estudadas e duas delas foram avaliadas mais a fundo:

¹ Figuras nas quais não constam fonte são de autoria própria

resistências cartucho (cilíndrica e rígida) e resistência tubular flexível (perfil circular e flexível).

A resistência cartucho é de simples instalação, basta fazer furos de diâmetro preciso para que a resistência entre com o ajuste adequado. Para que o calor fosse distribuído de maneira adequada pelo menos quatro resistências seriam necessárias. Foi proposta a instalação mostrada na Figura 8. A imagem a esquerda mostra o posicionamento da placa na qual seriam instaladas as resistências (placa destacada em amarelo), à direita a mesma placa com as resistências em vermelho. Um catálogo da fabricante IBEL é mostrado no Anexo B para que se tenha ideia das características da resistência cartucho, porém não foi encontrado modelo adequado para esta aplicação entre os modelos comerciais. Logo a opção proposta abaixo seria feita sob medida, as informações necessárias e o orçamento mostrado mais a frente foram obtidos junto à empresa Sunheat.

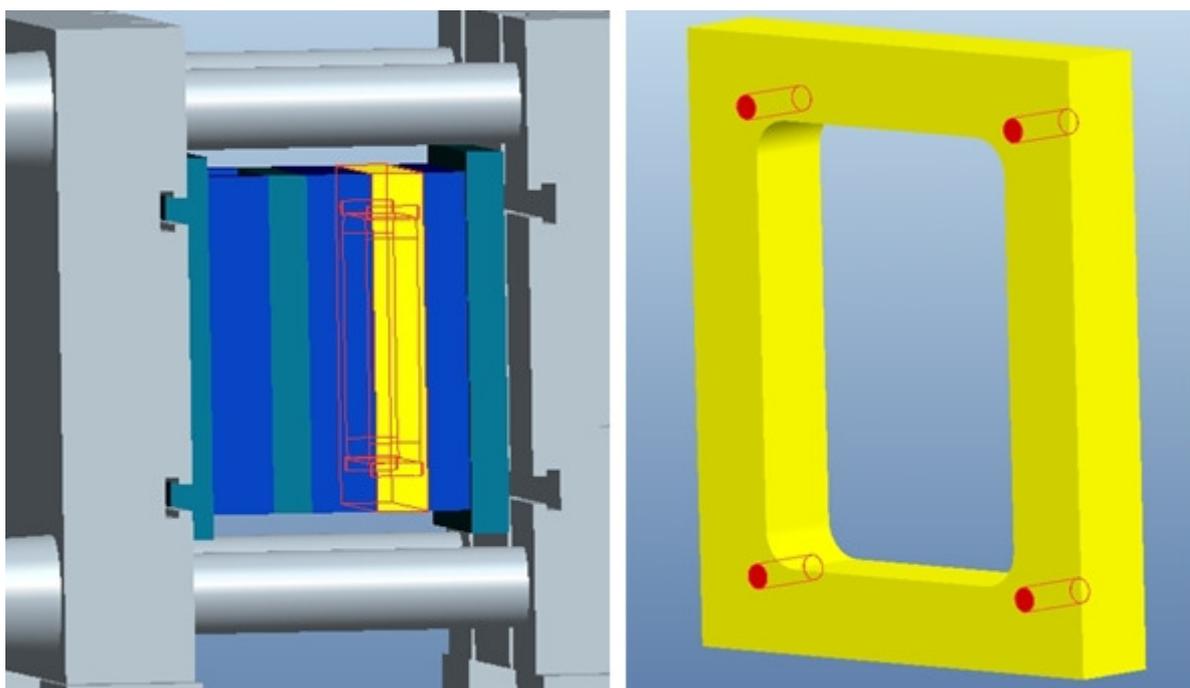


Figura 8 - Instalação das resistências cartucho

A resistência tubular flexível é de mais difícil instalação, pois é necessário fresar um canal na superfície da peça na qual a resistência deve ser colocada. Porém, como será visto mais adiante nas simulações térmicas, ela oferece um aquecimento mais uniforme. Esta não é feita sobre medida e um modelo adequado

foi escolhido do catálogo. A Figura 9 mostra a instalação proposta para esta resistência, novamente a placa instalada é destacada em amarelo e a resistência está em vermelho. O catálogo da resistência é mostrado no Anexo A, a resistência da opção proposta é a de 750mm e diâmetro 6,5mm.

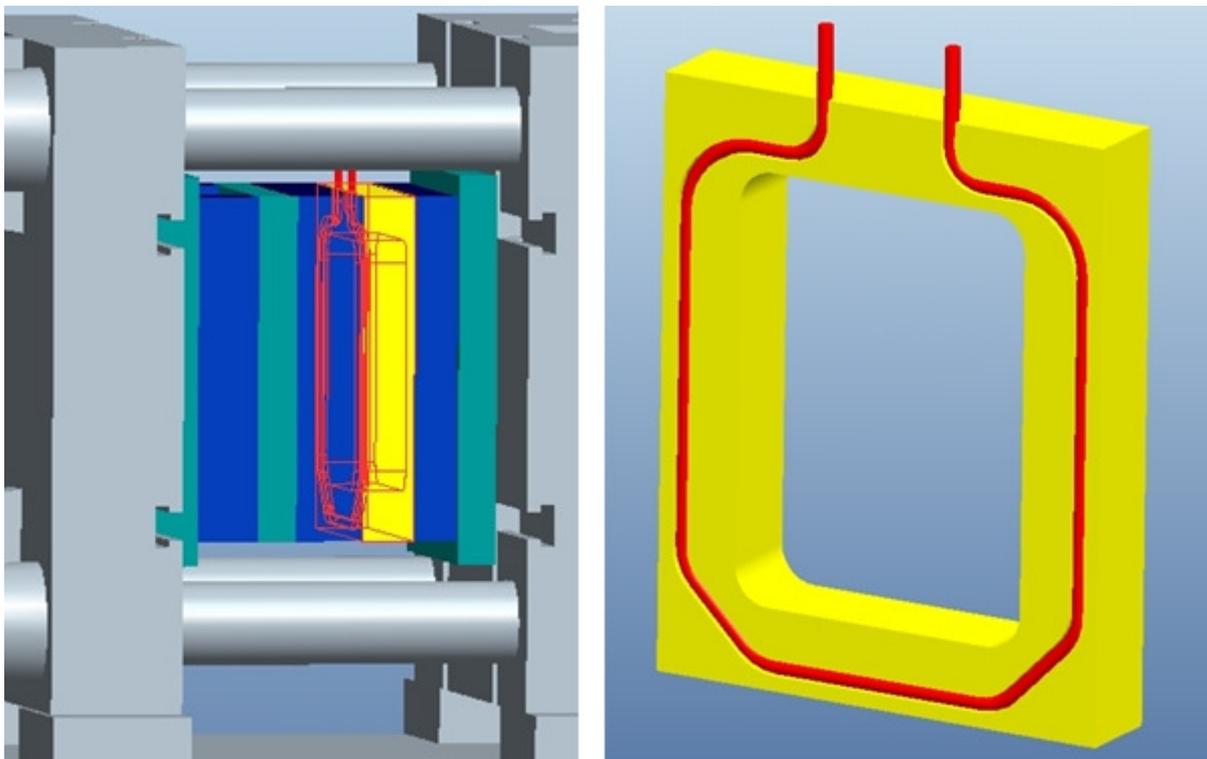


Figura 9 – Instalação da resistência tubular flexível

Ambas as propostas inserem resistências na mesma placa, que é a última placa da parte fixa do porta-molde. As placas à esquerda da amarela nas imagens 8 e 9 compõem a parte móvel, esta parte translada sobre as guias para abrir e fechar o molde. O aquecimento deve ser feito com o molde fechado para que o calor seja transferido para a parte móvel por condução e aqueça ambas as partes do molde.

3.2 Simulações térmicas

Simulações térmicas foram realizadas para verificar a distribuição de temperaturas no molde, para estimar a potência necessária para o aquecimento e saber qual a velocidade de resposta do sistema. Utilizou-se o programa PRO-

ENGINEER Wildfire 5.0 para tal. Fez-se um modelo aproximado do porta-molde e das placas da máquina injetora.

As trocas de calor por condução e convecção foram consideradas e as trocas de calor por radiação foram desprezadas, já que as diferenças de temperatura são relativamente pequenas. Os coeficientes de condução e calor específico são determinados automaticamente no programa ao se atribuir os materiais dos componentes. Foi adotada uma resistência de contato de $2000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para as interfaces metal-metal. As perdas de calor por convecção são devido à convecção natural (sem ventilação forçada) e variam com a posição da superfície de troca de calor. Assim foram calculados coeficientes para três casos: superfície horizontal superior (troca de calor com o ar acima), superfície horizontal inferior (troca de calor com o ar abaixo) e superfícies verticais. As superfícies curvas ou em ângulos não retos foram consideradas como verticais. As equações empíricas utilizadas para o cálculo dos coeficientes foram retiradas de Incropera (1990). Os valores resultantes dos coeficientes de convecção natural constam na Tabela 1:

Tabela 1 – Coeficiente de convecção natural

	Coeficientes de convecção ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Placa horizontal superior	4,87
Placa vertical	4,33
Placa horizontal inferior	2,23

A Figura 10 mostra os resultados das simulações feitas em regime permanente, a imagem é da interface entre as placas fixa e móvel. As simulações mostradas foram feitas supondo-se uma temperatura ambiente de 10°C e com potência de 227W . Esta é suficiente para aquecer o ponto central do inserto até 40°C para a resistência tubular, a mesma potência aquece o sistema até cerca de 38°C para as resistências cartucho. Isto mostra que a resistência tubular é cerca de 7% mais eficiente. A diferença em eficiência dita é devido à geometria e a transferência de calor das duas opções avaliadas, já que as resistências convertem toda energia dissipada em calor.

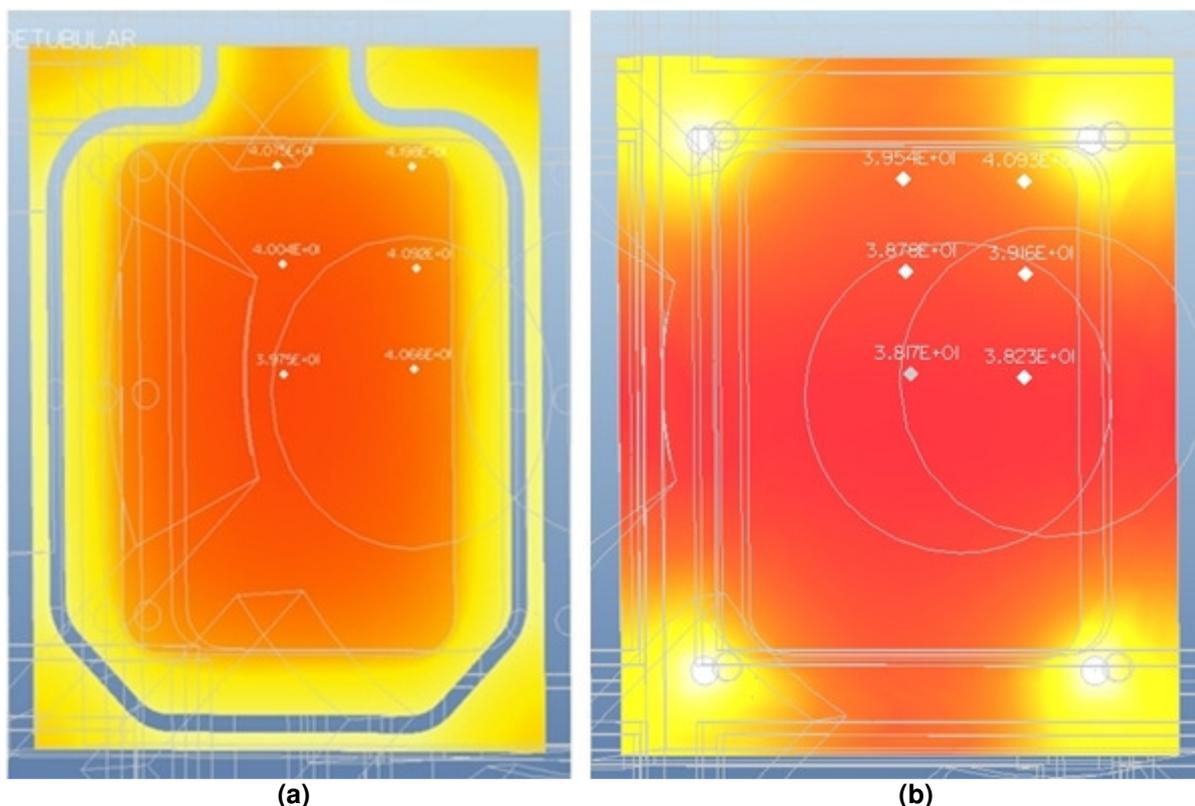


Figura 10 – Simulação em regime permanente (a) Resistência tubular flexível (b) Resistências cartucho

Pode-se observar que a resistência tubular resulta em um aquecimento mais uniforme. Há cerca de 3°C de diferença entre o centro e os extremos do inserto para as resistências cartucho e apenas 2°C para a resistência tubular..

O modelo disponível para a resistência tubular flexível é de 950 W, esta potência é superior à necessária, porém não há modelo de menor potência. Segundo as simulações, esta resistência pode aquecer o molde a cerca de 120°C. Muito embora temperaturas bem inferiores sejam utilizadas, a alta potência é útil pois permite que o aquecimento ocorra mais rapidamente. As resistências cartucho poderiam ter qualquer potência desejada, já que seriam feitas sob medida. A Figura 11, obtida de uma simulação transiente, mostra a variação da temperatura no ponto central da face do inserto em função do tempo para as duas opções de resistências propostas, ambas com 950W. Assim, pode-se ter uma ideia do tempo necessário para se atingir uma dada temperatura de molde. Não há uma grande diferença entre a resposta em regime transiente das duas opções, segundo as simulações.

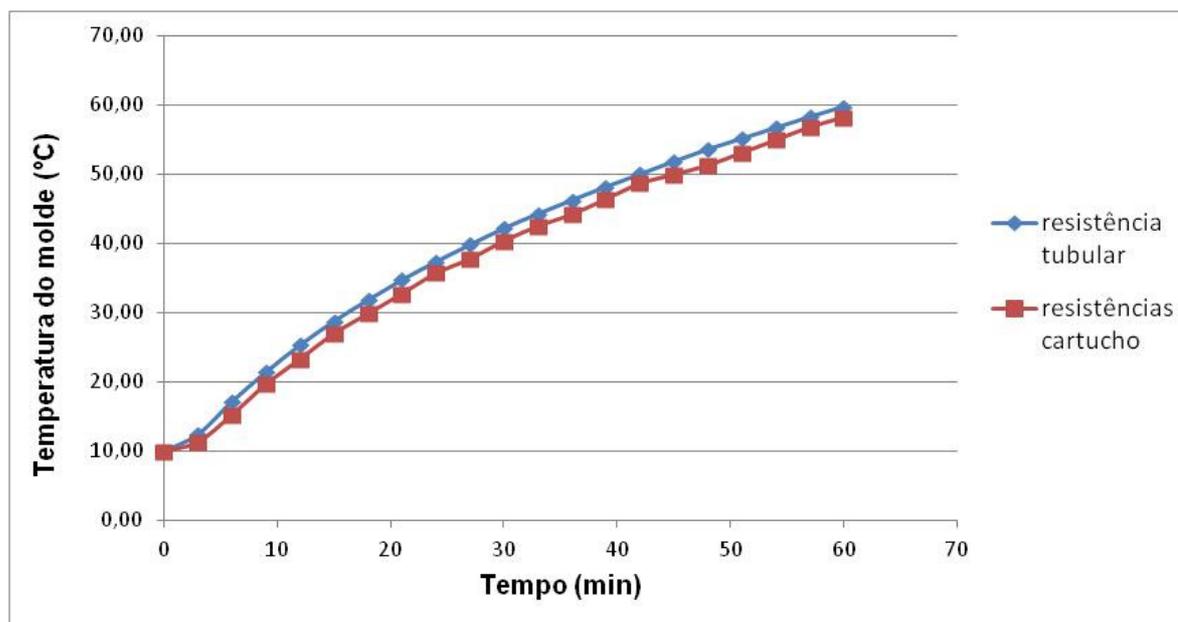


Figura 11 – Simulação em regime transiente

A Tabela 2 mostra o orçamento para os dois sistemas cogitados.

Tabela 2 – Orçamento para montagem do sistema de aquecimento

	Resistência cartucho	Resistência tubular
Resistência	R\$ 384,00	R\$ 460,00
Relé	R\$ 45,00	R\$ 45,00
Controlador de Temperatura	R\$ 280,00	
Termopar	R\$ 25,00	
Outros	R\$ 30,00	
Total	R\$ 764,00	R\$ 840,00

Optou-se por utilizar a resistência tubular flexível. Os preços para as duas opções eram semelhantes. A resistência escolhida é um pouco mais eficiente (temperatura 7% maior para mesma potência dissipada), e a distribuição de temperatura é mais uniforme. Uma das supostas vantagens da resistência cartucho seria que, como é feita sob encomenda, ela poderia ter uma potência menor e mais próxima à necessária para o aquecimento do molde. Porém a potência de 950W da resistência escolhida se mostrou adequada, a potência mais elevada não é prejudicial e diminui o tempo que se leva para se estabilizar na temperatura desejada.

3.3 Usinagem do porta-molde e montagem da resistência

O desenho de fabricação do canal fresado para a instalação da resistência está no apêndice A. A largura do canal é dois décimos de milímetro menor do que o diâmetro da resistência de modo que esta entra levemente prensada. As dimensões foram feitas de acordo com o recomendado pelo fabricante. A usinagem foi feita em um centro de usinagem CNC (ROMI BRIDGEPORT) disponibilizada pela UTFPR de Ponta-Grossa. Optou-se por fazer o programa CNC manualmente já que a geometria é simples. Utilizou-se o programa CNC Simulator para se verificar as trajetórias programadas.

As duas fresas da Tabela 3 foram utilizadas para a usinagem do canal.

Tabela 3 – Ferramentas para usinagem do porta-molde

	Formato	Diâmetro (mm)	Material	Número de facas
Fresa 1	Topo plano	5	Metal Duro	Quatro
Fresa 2	Topo esférico	6		

A fresa 1 de topo plano foi usada para fazer o desbaste, já que ela corta o material com mais facilidade que a fresa de topo esférico (considerando uma abertura de canal). Foram feitos cinco passes mostrados na Figura 12 pelos pontos vermelhos, os pontos representam o centro da ferramenta em cada passe. Cortou-se 0,95mm por passe até que não se pode mais descer com esta ferramenta para não se invadir o limite do perfil.

Com a fresa 2 de topo esférico foram feitos mais dois passes ainda na linha central para dar a profundidade correta ao canal. Os passes da fresa 2 são representados em verde. Então foram feitos mais dois passes descentralizados em 0,15mm da linha central, um para cada lado, de modo a ajustar a largura do canal em 6,3mm.

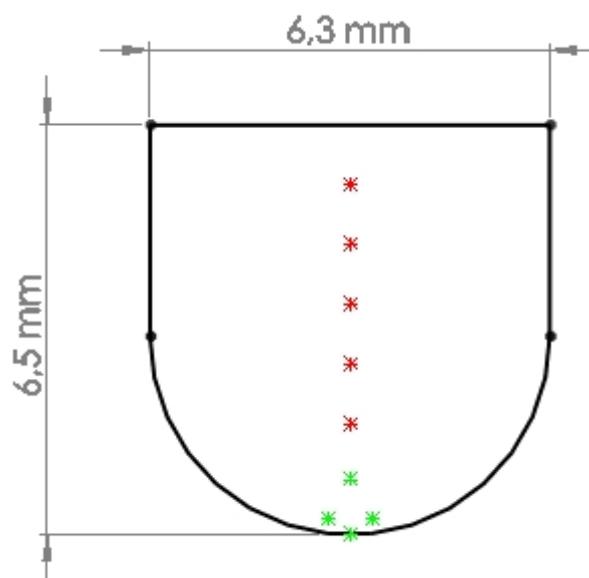


Figura 12 – Perfil do canal usinado; pontos vermelhos representam passes com fresa de topo plano; pontos verdes representam passes com fresa de topo esférico

A peça após a usinagem é mostrada na Figura 13.

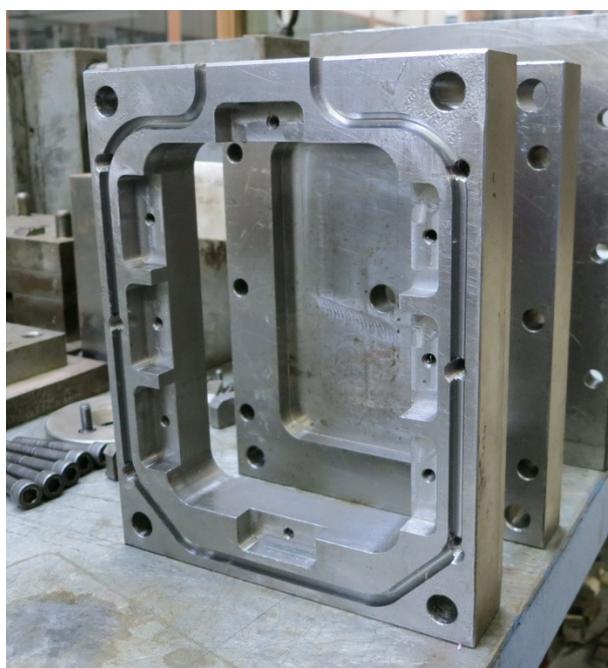


Figura 13 – Porta molde com canal para a resistência usinado

O canal usinado foi limpo e então a resistência foi alojada utilizando-se um martelo de borracha. Utilizou-se um martelo de bronze para achatar a superfície

exposta da resistência para que esta não ficasse acima da superfície do porta-molde (o que poderia prejudicar o fechamento do molde durante a operação de injeção). A Figura 14 mostra a resistência já instalada na placa.

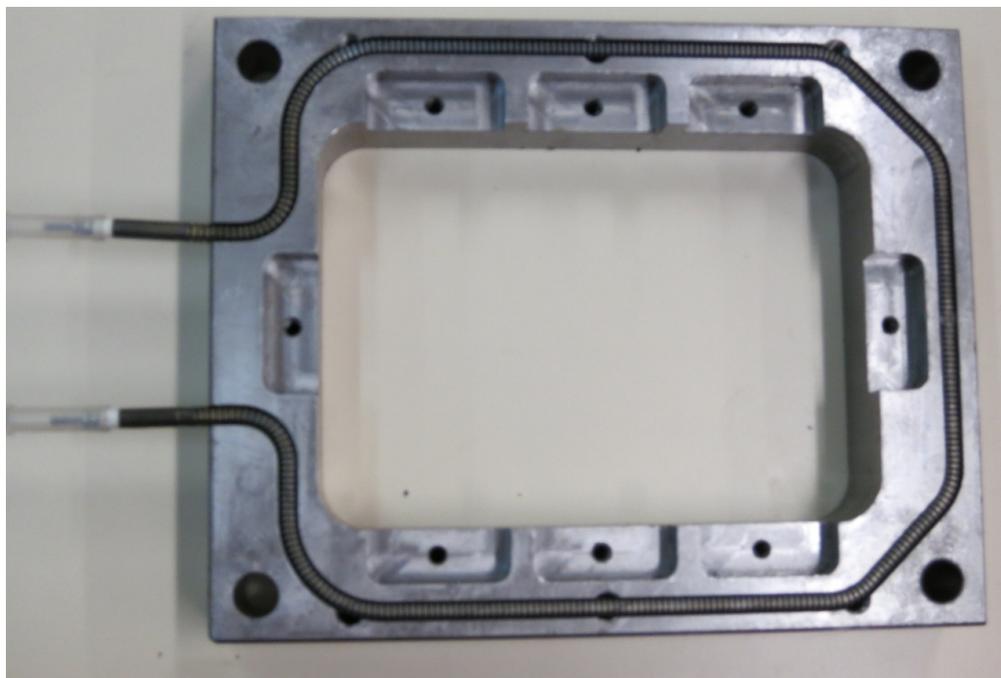


Figura 14 - Resistência instalada no porta-molde

3.4 Controlador de temperatura

O controlador de temperatura utilizado é o N1040 da NOVUS, algumas das características podem ser encontradas no Anexo D. A função do controlador é regular a potência média dissipada pela resistência, abrindo e fechando o circuito de alimentação. Para isso, alguns dos controladores vêm com relés eletromecânicos embutidos. Porém, o modelo utilizado contém um relé que suporta apenas 1,5 amperes, a resistência requer uma corrente de 4,3 amperes quando ligada em 220V. Como recomendado pelo fabricante, utilizou-se um relé externo e então se fez o comando deste através de uma saída de pulso do controlador. Foi utilizado um relé de estado sólido SSR4810 da própria NOVUS, especificações no Anexo E, este tem limite de 10 amperes.

O controlador utilizado é do tipo PID. Foi preferido utilizar este tipo de controle porque as temperaturas de molde que se utilizou neste estudo são próximas umas

das outras (10°C de diferença) e erros oriundos de um método de controle mais simples poderiam prejudicar o sistema.

3.5 Medição da temperatura do molde

Para a leitura da temperatura do molde foi utilizado um termopar tipo J. Este termopar é o mais simples e permite uma leitura adequada em grandes faixas de temperatura, também é bastante utilizado em sistemas de aquecimento semelhantes. Outra opção seria utilizar uma termoresistência. Estas são mais precisas porém a precisão do termopar tipo J já é suficiente, além disso os termoresistores são mais frágeis.

Como pode ser visto na Figura 15, fez-se um furo passante pela lateral da placa do porta-molde. Além disto optou-se por fazer um furo concêntrico de 25mm de profundidade no inserto. Assim o termopar, que tem 20mm, passa pelo porta-molde e é alojado diretamente no inserto. Deste modo não há interface metálica entre a ponta de leitura e a superfície de injeção, o que evita maiores erros de leitura que existiriam caso o termopar fosse alojado no porta-molde. Como será visto mais adiante a posição escolhida proporciona uma leitura satisfatória porém não ideal.

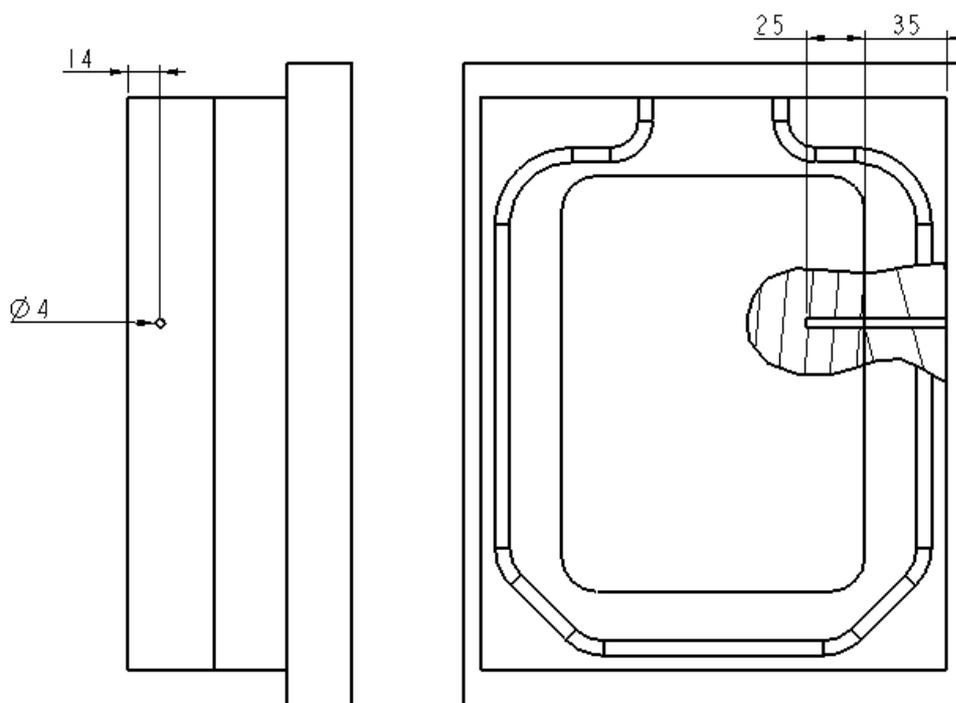


Figura 15 – Posição do termopar inserido no inserto (medidas em mm)

3.6 Montagem e teste do sistema de aquecimento

Os componentes do sistema de aquecimento já montados são mostrados na Figura 16. O Apêndice B contém informações sobre a instalação e utilização do sistema.

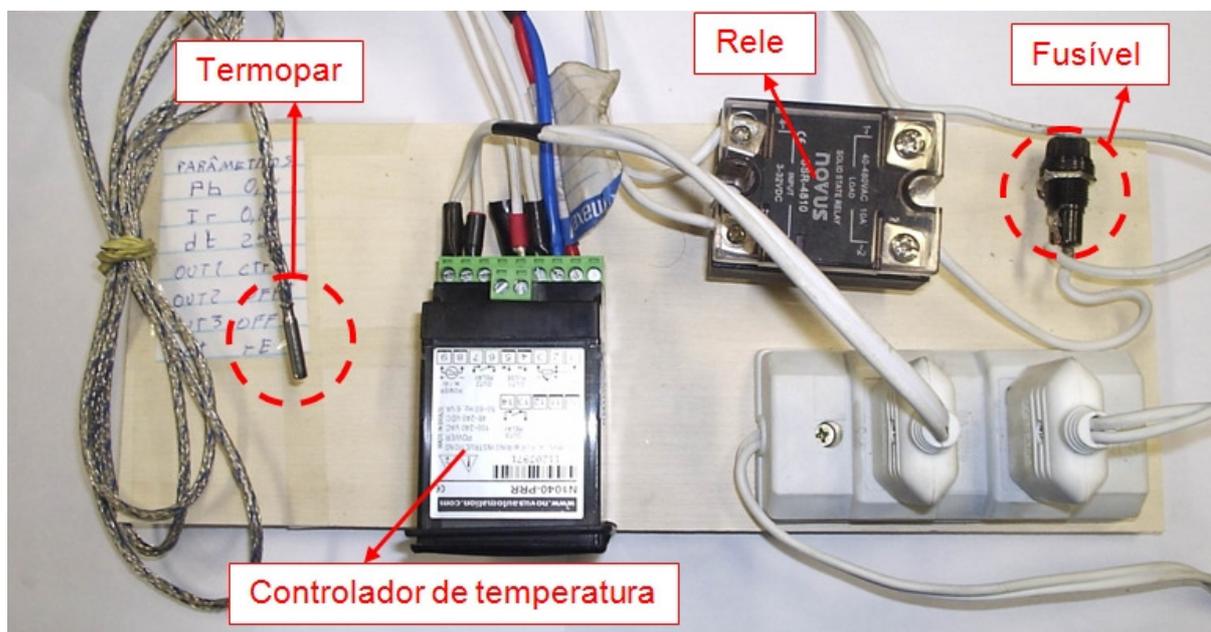


Figura 16 – Montagem dos componentes do sistema de aquecimento

Com o sistema já em funcionamento, os parâmetros “P” “I” e “D” do controlador de temperatura foram determinados através na função “auto-tunne” do próprio controlador. Os valores encontrados foram $P=0,4$ $I=0,19$ e $D=25$. Como estes parâmetros apresentaram um controle satisfatório não houve a necessidade de modificá-los manualmente.

O molde foi aquecido a cinco temperaturas diferentes durante as injeções dos corpos de prova: 20, 30, 40, 50 e 60 °C. Após o sistema estabilizar termicamente em cada um destes valores mediu-se a temperatura em diferentes pontos das faces dos dois insertos. Utilizou-se um segundo termopar de um multímetro ICEL MD-6110, com resolução de 1 °C (ICEL, 2008). Comparou-se a leitura deste termopar com a leitura do termopar acoplado ao controlador de temperatura e ambos forneceram os mesmos valores quando medindo a temperatura em um mesmo ponto. A temperatura ambiente era 20 °C durante este teste.

As primeiras medições foram feitas nos quatro cantos e no centro de cada inserto, as placas estavam abertas durante a medição para que o termopar pudesse ser encostado no inserto. Após as primeiras medições percebeu-se que o fato de o termopar não só estar encostado nos insertos, mas também estar rodeado de ar à temperatura ambiente poderia estar alterando os resultados. Assim realizou-se uma leitura com os moldes fechados, o termopar foi colocado na cavidade do inserto através do canal de injeção, fixado com uma fita adesiva na placa fixa. Os resultados estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Temperaturas medidas com aquecimento do molde

Temperatura lida no controlador		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Inserto placa móvel	Média cantos	21	28	35,8	42	51,3
	Centro	21	28	35,5	41,5	51
Inserto placa fixa	Média cantos	21,5	28	36	43,8	52,3
	Centro	21	28	36	43	52
Molde fechado		21	28	38	47	56

Observa-se que as diferenças entre as extremidades e o centro de cada inserto não são relevantes. A diferença de temperatura entre os dois insertos também não é muito significativa. Nota-se contudo que o inserto da placa fixa tem temperaturas um pouco superiores, como era esperado devido à posição da resistência (alojada na placa fixa).

As medidas feitas com o molde fechado são mais confiáveis pois não há interferência do ar à temperatura ambiente. Pode-se notar que ainda se tem uma certa diferença entre a temperatura no termopar do controlador e a temperatura na cavidade, a maior diferença medida é de 4°C para o aquecimento à 60°C. Esta diferença é compreensível pois o termopar do controlador está mais perto da resistência comparado à cavidade.

Também foi realizado um teste de aquecimento partindo-se da temperatura ambiente de 18°C diretamente até uma temperatura de 60°C configurada no controlador. A Figura 17 mostra o resultado, foram tomadas as temperaturas no interior da cavidade e as do controlador de temperatura. Também foi feita uma

simulação térmica com as mesmas condições iniciais, tomando-se as temperaturas no centro do inserto. O controlador passa a abrir e fechar o circuito de alimentação da resistência elétrica a partir de 25min, como indicado no gráfico, de maneira a estabilizar a temperatura em 60°C. Não foi possível reproduzir esse comportamento na simulação térmica, esta tem uma potência de 950W durante os 60 min mostrados na Figura 17, assim a comparação com a simulação só é válida até 25min.

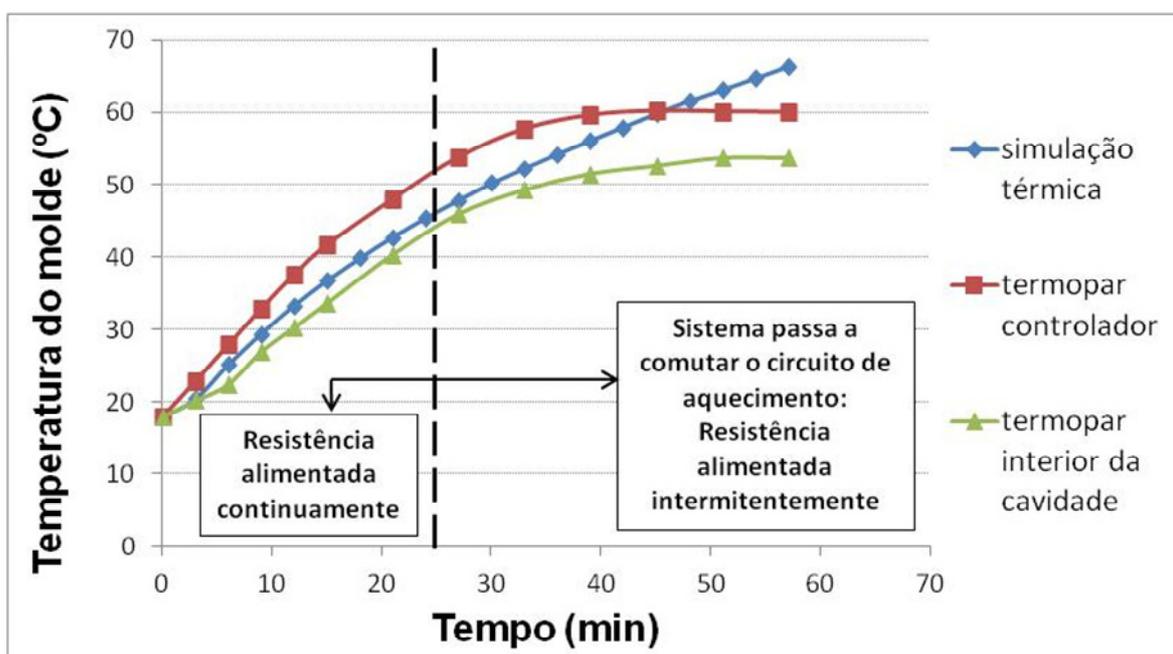


Figura 17 – Temperatura do molde em função do tempo de aquecimento

Como havia sido mostrado anteriormente, há uma certa diferença entre as temperaturas no interior da cavidade e no termopar do controlador. Esta diferença é de 9°C em 33min e diminui com o passar do tempo chegando a 6°C depois de uma hora passada. A diferença maior inicialmente é compreensível já que o termopar do controlador fica mais perto da resistência elétrica. Com um tempo maior decorrido os gradientes térmicos são menores e com isso a diferença entre os dois termopares é menor, porém ainda existente mesmo após as temperaturas estabilizarem (regime permanente).

Os testes feitos mostram que a principal fonte de erro do sistema é a posição do termopar. O controlador é capaz de estabilizar na temperatura desejada

mostrando variações de apenas um ou dois décimos de grau Celsius e os termopares tipo J têm normalmente erros de apenas ± 1 °C. Assim, a posição do termopar é a principal responsável pela precisão do aquecimento do molde.

A simulação térmica tem uma correlação bastante boa com a temperatura lida no interior da cavidade. Pode-se ver que a simulação previa temperaturas um pouco maiores que as obtidas. Isto é compreensível pois várias simplificações foram feitas para a simulação térmica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Um sistema para realizar o aquecimento foi desenvolvido e testado. Em seguida peças foram injetadas em cinco diferentes temperaturas de molde. Foi feita a medição das peças e também ensaios de tração e flexão nos corpos de prova. O fluxograma da Figura 18 mostra as etapas executadas no estudo.

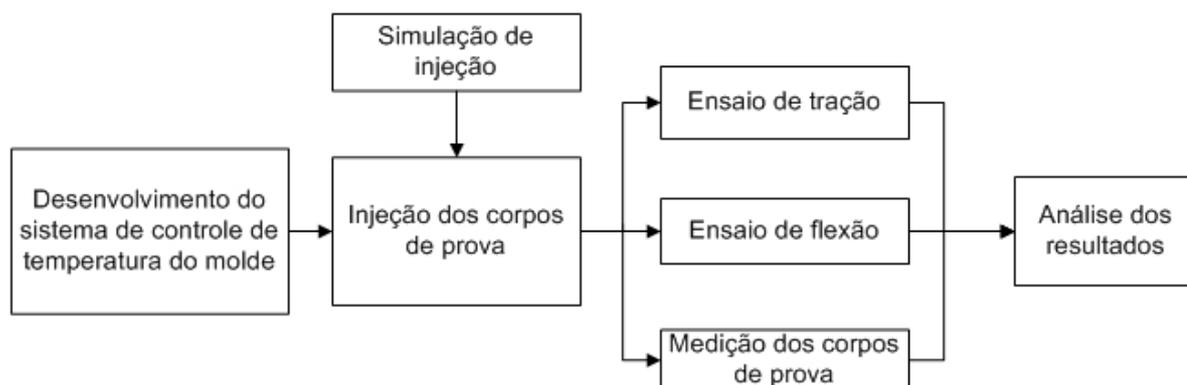


Figura 18 - Fluxograma das etapas do projeto

As informações sobre o desenvolvimento do sistema de controle de temperatura estão no capítulo 3. Os procedimentos para injeção dos corpos de prova, realização dos ensaios mecânicos e simulação de injeção são explicados a seguir.

4.1 Injeção dos corpos de prova

As injeções foram feitas na injetora Haitian HTF-58X, do laboratório de processamento de polímeros do NUFER. Foi utilizado um inserto já disponível no laboratório, em aço 1045, que foi utilizado por Gryzinski (2011). As geometrias das duas peças do inserto são mostradas na Figura 19. O moldado consiste em dois corpos de prova, um deles destina-se a ensaio de tração e outro a ensaio de flexão. O material injetado para a fabricação das peças será o polipropileno H301, da fabricante BRASKEM. Algumas das propriedades do polímero podem ser vistas na folha de dados do anexo C.

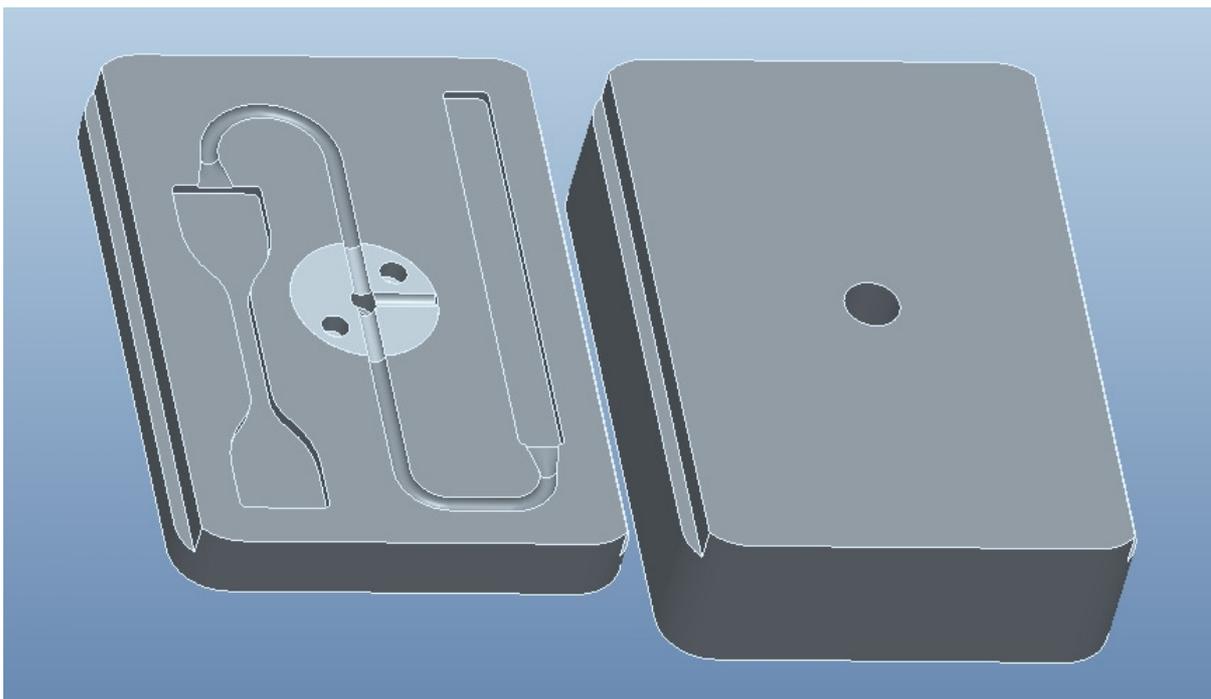


Figura 19 – Inseto de aço 1045

Cinco conjuntos de corpos de prova foram injetados em cada uma das seguintes temperaturas de molde: 20, 30, 40, 50 e 60°C. Antes de começar as injeções, esperou-se pelo menos 20 minutos após o controlador indicar que a temperatura havia estabilizado para se garantir uma homogeneidade da temperatura. Além disso, esperou-se 3 minutos entre as injeções em uma mesma temperatura de molde para que o calor proveniente da injeção anterior não afetasse o resultado da seguinte.

Antes das injeções, o polímero foi secado por 4 horas em uma estufa a uma temperatura de 60°C para se retirar qualquer umidade presente. Usou-se como referência os parâmetros de injeção encontrados em simulação, a partir desses foram feitas as modificações necessárias para que se obtivesse o melhor resultado possível.

Como dito anteriormente as injeções foram realizadas em diversas temperaturas de molde. Os demais parâmetros de injeção, que foram mantidos constantes para todas as injeções, estão na Tabela 5. Estes parâmetros podem não ser ótimos para todas as temperaturas de molde testadas, a pressão de injeção, por exemplo, poderia ser diminuída para temperaturas de molde mais altas

já que o escoamento do polímero é mais fácil. Porém preferiu-se não se fazer alterações para que as diferenças obtidas nos resultados possam ser diretamente relacionadas à mudança da temperatura de molde.

Tabela 5 – Parâmetros de injeção

Pressão de injeção	37 MPa
Velocidade de injeção	11 mm/s
Temperatura do polímero	230 °C
Pressão de recalque	20 MPa
Tempo de recalque	5 s
Tempo de resfriamento	20 s

4.2 Medição dos Corpos de Prova

Os corpos de prova obtidos foram medidos utilizando-se um paquímetro Mitutoyo de resolução 0,02mm. Comprimento, largura e espessura foram medidos para cada corpo de prova (largura do corpo de prova de tração medida na seção estreita).

Utilizou-se a medida do comprimento do corpo de prova de flexão para se calcular a contração dos corpos de prova. Para o cálculo utilizou-se como base a medida deste mesmo comprimento feita no inserto.

4.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração no equipamento EMIC DL-10000, máquina disponível no laboratório de ensaios destrutivos da UTFPR. O formato dos corpos de prova está de acordo com a norma ASTM D638. A velocidade de ensaio utilizada foi de 10mm/s. Com base nos resultados foram calculados o limite de resistência à tração e o limite de escoamento dividindo-se, respectivamente, a força no limite da fase elástica e a força máxima pela área da seção do corpo de prova. O limite de resistência é o ponto de maior tensão durante todo o ensaio, o limite de escoamento foi estabelecido pelo próprio programa da máquina de ensaio. Não há controle de temperatura no laboratório, portanto o ensaio foi realizado à temperatura ambiente,

cerca de 17°C na ocasião. A temperatura recomendada pela ASTM638 é de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Também se calculou o módulo de elasticidade, porém este foi calculado apenas para se comparar os resultados entre si. Não foi usado extensômetro durante o ensaio, o que faz as medidas absolutas de módulo de elasticidade não serem representativas.

4.4 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão de três pontos foi feito com base nas recomendações da norma ASTM D790. A distância entre apoios nos extremos utilizada foi de 54,4mm, a velocidade de descida do ponto médio foi 14,5mm/s. A deformação foi calculada através da equação 2 e a tensão de flexão através da equação 3. O módulo de elasticidade em flexão calculado é a tangente do ângulo formado na parte elástica do gráfico tensão-deformação. O limite de resistência à flexão é determinado pelo maior valor de tensão de flexão encontrado. Como no ensaio de tração, o ensaio de flexão foi feito à temperatura ambiente de 17°C ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ recomendado pela norma).

$$r = \frac{6 * d * D}{L^2} \quad \text{Equação (2)}$$

$$\sigma_f = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2} \quad \text{Equação (3)}$$

onde,

- σ_f : tensão de flexão
- r: deformação
- d: espessura do corpo de prova
- L: distância entre apoios extremos
- D: deflexão no ponto médio
- B: largura do corpo de prova
- P: carregamento no ponto médio

4.5 Simulação de injeção

A seguir são expostas as principais configurações que foram feitas para a realização da simulação. O programa utilizado é o moldex3D versão R11 disponível no laboratório NUFER da UTFPR.

Foram realizadas simulações de preenchimento, resfriamento e de contração utilizando os mesmos parâmetros de injeção utilizados na prática. Os resultados obtidos por estas análises, porém não são facilmente comparáveis aos obtidos durante a injeção dos corpos de prova. Na fase de preenchimento, por exemplo, pode-se obter em simulação o tempo que a frente de injeção demora a alcançar cada seção na cavidade, mas este resultado não pôde ser obtido na prática impedindo a correlação.

Por este motivo foi utilizado como parâmetro para correlacionar os resultados a pressão mínima de injeção, ou seja, a menor pressão de injeção que resulta em preenchimento completo do molde. Este resultado pode ser obtido em simulação e também durante as injeções. Além disto, esta pressão é sensível às propriedades do material, à geometria do molde e aos demais parâmetros de injeção, como a temperatura do molde.

As pressões mínimas de injeção foram determinadas em cinco temperaturas de molde: 20, 30, 40, 50 e 60°C. Durante as injeções e simulações foram utilizadas pressões iniciais que resultaram em preenchimento completo e a partir destas foram testadas pressões 1MPa menores até se encontrar o limite desejado.

4.5.1 Geração da malha

A malha foi feita através do molDEX3D designer. A geometria das peças foi importada em formato *.stl*. Os canais de injeção foram importados juntamente com a peça. Assim se tem certeza que a geometria dos canais é idêntica à do inserto, já que as opções de geração de canais do próprio programa não seriam suficientes para fazer uma geometria exatamente igual. A geração da malha pode ser feita com cinco opções de qualidade. Foi utilizada a opção mais simples, pois as opções mais refinadas geravam malhas muito pesadas para simulações subsequentes. Embora seja a opção mais simples apresentada pelo programa, a malha gerada parece já ser bastante refinada.

4.5.2 Escolha do material

Não foi possível encontrar as propriedades do polímero PP H301 da Braskem utilizado para as injeções no programa moldex. A empresa desenvolvedora do programa, CoreTech System Co. Ltd., indica empresas que prestam serviços de caracterização de polímeros. Também há parcerias com bases de dados *on-line* que possuem dados de vários polímeros. Porém nenhuma dessas possibilidades foi viável para a realização deste estudo.

Optou-se por selecionar um polímero de características semelhantes. A folha de dados, que está no Anexo C, do polímero utilizado nas injeções fornece alguns resultados de ensaios como Índice de fluidez (relacionado à viscosidade) e Temperatura de Amolecimento Vicat. Procurou-se um polímero com índices semelhantes e que constasse na lista de polímeros contida no programa. Utilizou-se o polímero com características mais semelhantes encontrado, denominado “Hostacom M1 U03L”.

Deve-se ressaltar a importância de se escolher um material adequado para a realização das simulações visto que há grande diferença de propriedades entre diferentes polímeros, mesmo entre dois polipropilenos diferentes. Dois dos polímeros disponíveis no laboratório para injeções, ambos PP, têm índices de fluidez de 1,5 e 10. Pode-se notar que uma má escolha do material para a realização das simulações comprometeria significativamente os resultados.

4.5.3 Parâmetros de injeção

A máquina utilizada para as injeções não está disponível no programa de simulação. Portanto utilizou-se uma máquina semelhante, a HTF90W1/J5-A, que é da mesma fabricante e tem características semelhantes. O diâmetro da rosca não era o mesmo e portanto foi ajustado para 30mm no programa. Isto garante que um determinado deslocamento do cilindro na simulação e na prática desloquem um mesmo volume de polímero.

O programa permite configurar perfis de pressão e velocidade de injeção como também pode ser feito na máquina injetora. Neste caso estes parâmetros são constantes, 37 MPa de pressão e 11 mm/s de velocidade de injeção. O campo “VO swich-over” indica o modo de transição para a fase de recalque, foi escolhido para trocar quando a posição da rosca chega em 10mm, assim como nas injeções. O material do molde selecionado é um aço P20; o molde é na realidade feito em aço 1045, porém este material não está disponível na lista e o aço P20 foi o material com propriedades térmicas mais semelhantes encontrado.

Uma das limitações para a utilização da simulação é a pressão de injeção. O programa considera a pressão de injeção como a pressão no bico de injeção. Na máquina injetora utilizada tem-se somente o controle da pressão hidráulica. Foi adotada uma razão entre a área do cilindro hidráulico e a área no cilindro de injeção de 10. Isto significa que a pressão de injeção é cerca de 10 vezes maior do que a pressão hidráulica, porém há perdas de carga que fazem o controle através da pressão hidráulica não ser muito preciso. Por este ponto de vista, teria sido melhor fazer o controle somente através da velocidade de injeção, colocando uma pressão de injeção bem acima do necessário, isto tornaria esta apenas uma “pressão limite” que não seria alcançada. Isto permitiria uma melhor correlação com a simulação.

5 RESULTADOS

5.1 Resultados de simulação de injeção

As pressões mínimas de injeção encontradas são mostradas na Figura 20.

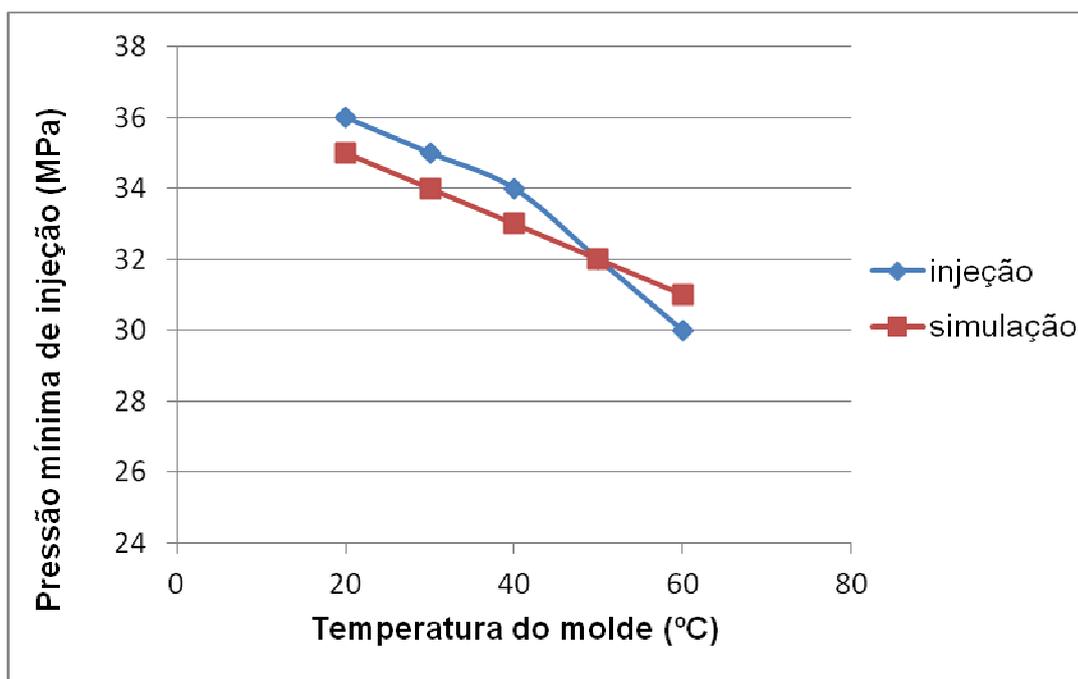


Figura 20 – Pressão mínima para preenchimento completo do molde

Pode-se notar que se atingiu uma boa correlação, isto mostra que as considerações feitas para a realização da simulação foram adequadas. Apesar disso deve-se dizer que as possíveis fontes de erro na simulação citadas anteriormente (malha grosseira, propriedades do material aproximadas, entre outros) não garantem uma exatidão na simulação como mostrado no gráfico acima.

Os estudos anteriores realizados no laboratório NUFER com simulações de injeção não obtiveram uma boa correlação com os resultados da prática. Uma das suspeitas levantadas era que as temperaturas de molde pudessem ser responsáveis.

Esta análise (Figura 20) mostra qual a influência da temperatura do molde no preenchimento da cavidade. Pode-se notar que a influência é limitada e não justifica

grandes disparidades entre simulação e prática. De modo geral se obteve uma redução de 1MPa na pressão de injeção para cada 10°C de aumento na temperatura do molde.

As Figuras 21, 22 e 23 mostram, respectivamente, os resultados das simulações de preenchimento, de resfriamento e de contração. Estas imagens são referentes às simulações nas condições de injeção da prática, com temperatura de molde de 20°C.

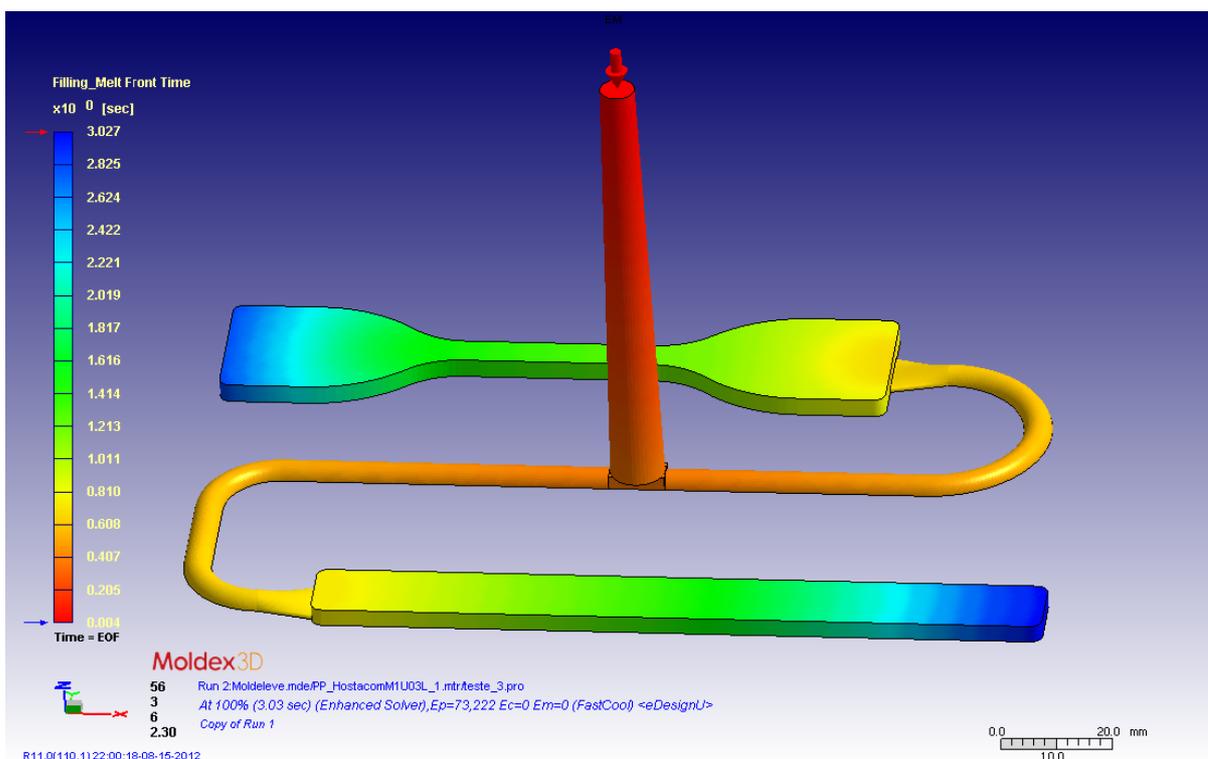


Figura 21 – Preenchimento da cavidade (molde a 20°C)

Esta primeira simulação mostra o tempo de preenchimento para cada seção do moldado, pode-se notar que as cavidades são preenchidas paralelamente em tempos quase iguais. O preenchimento do corpo de tração ocorre um pouco antes do que o do corpo de flexão, este comportamento também foi notado durante as injeções realizadas (observa-se na prática pelas peças em que não há preenchimento completo).

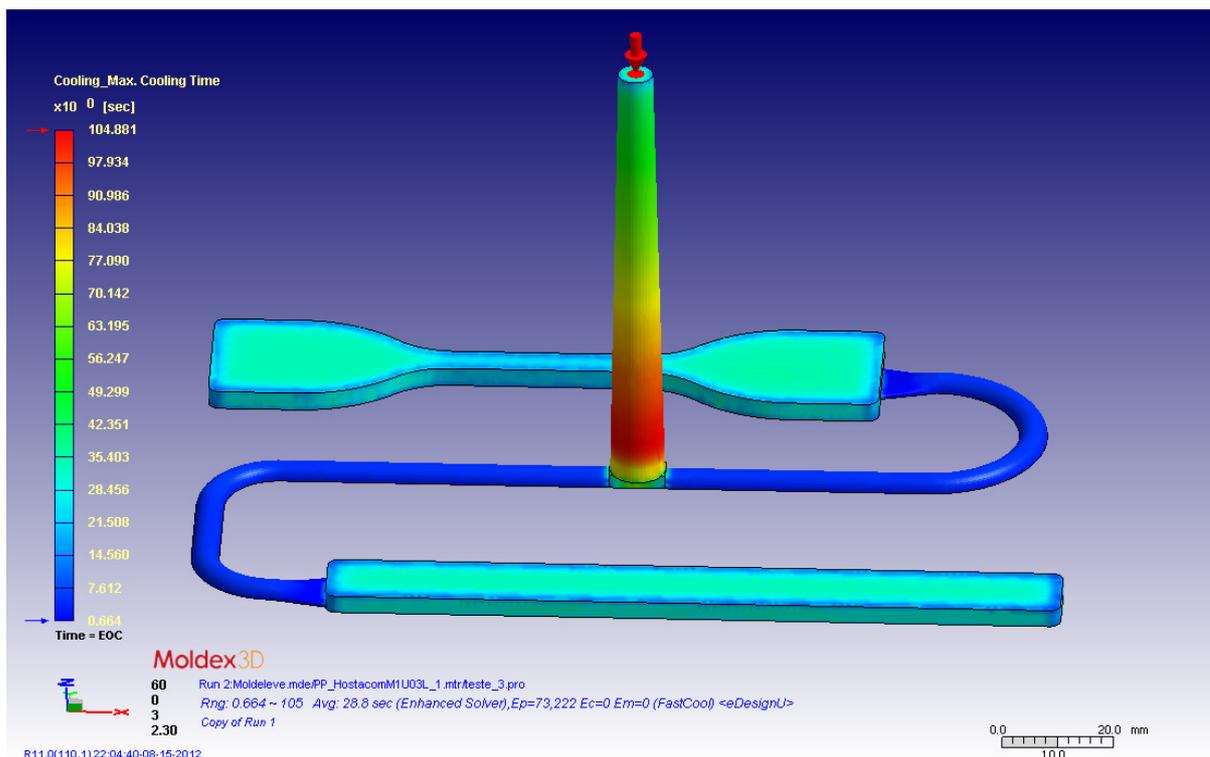


Figura 22 – Simulação de resfriamento

Pode-se observar através da simulação de resfriamento (Figura 22) que os moldados demoram cerca de 25s para se alcançar a temperatura de ejeção adotada pelo programa (145°C). O canal de injeção tem um tempo de resfriamento muito mais elevado, porém não é relevante já que distorções no canal não completamente resfriado não afetam os moldados. Não foi possível correlacionar este resultado com os da prática.

A Figura 23 mostra os deslocamentos de cada ponto da malha em relação ao centro da geometria em função da contração. O resultado de contração obtido através da simulação é comparado na seção 5.2 com as medições feitas nos corpos de prova.

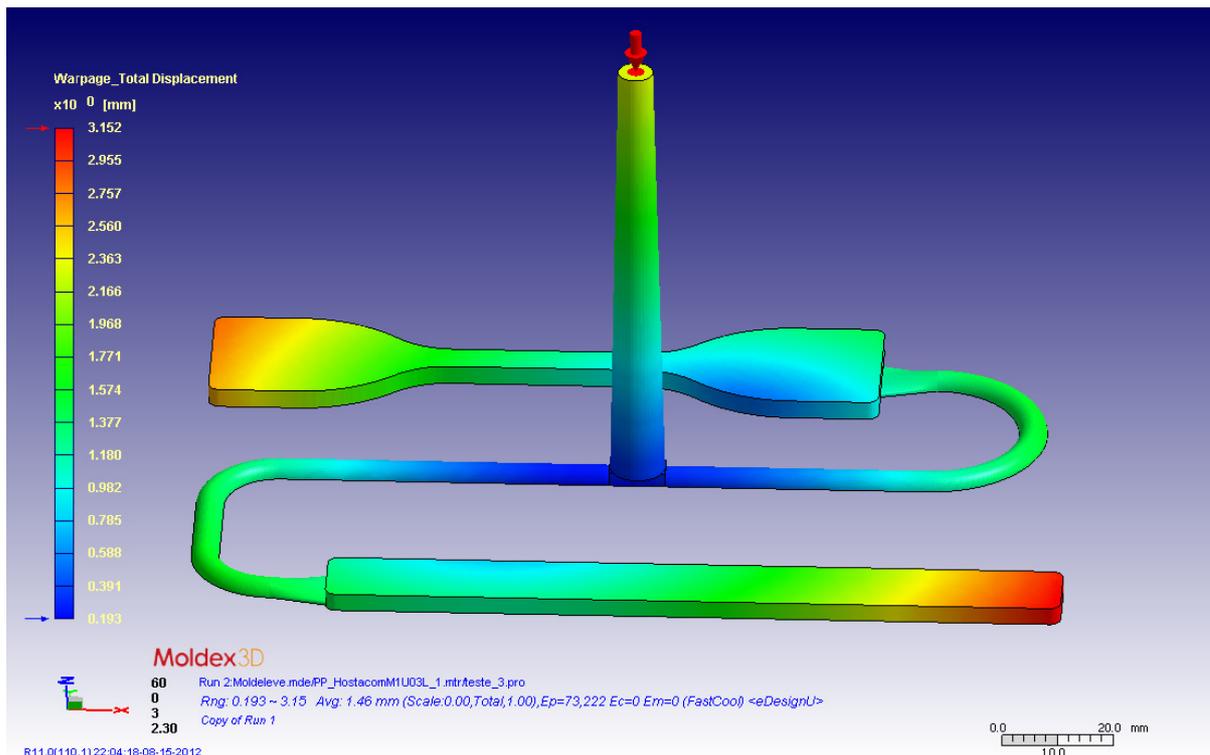


Figura 23 – Simulação de contração

5.2 Análise Dimensional dos corpos de prova

Como cinco corpos foram injetados em cada temperatura, fez-se uma média dos resultados das medições dos corpos de prova. Ao lado direito de cada média tem-se o desvio padrão. Também é mostrado a medida correspondente feita no inserto. A Tabela 6 mostra os resultados dos corpos de tração, e a Tabela 7 dos corpos de flexão.

Tabela 6 – Medição dos corpos de prova de tração

	Comprimento	desvio	Largura	desvio	Espessura	desvio
inserto	119,16		6,36		3,44	
20°C	117,484	0,017	6,288	0,011	3,404	0,009
30°C	117,444	0,033	6,284	0,009	3,400	0,020
40°C	117,396	0,036	6,280	0,000	3,408	0,011
50°C	117,356	0,038	6,280	0,000	3,392	0,011
60°C	117,324	0,017	6,264	0,017	3,376	0,009

Tabela 7 – Medição dos corpos de prova de flexão

	Comprimento	desvio	Largura	desvio	Espessura	desvio
inserto	130,78		13,12		3,38	
20°C	128,868	0,018	12,840	0,014	3,400	0,000
30°C	128,836	0,026	12,804	0,026	3,384	0,009
40°C	128,776	0,009	12,800	0,014	3,388	0,011
50°C	128,772	0,011	12,772	0,018	3,372	0,011
60°C	128,692	0,023	12,792	0,018	3,364	0,009

Pode-se observar que as dimensões dos corpos de prova são menores do que as dimensões do inserto, isto é devido à contração do polímero. Também se percebe que as dimensões para temperaturas de molde maiores são menores comparadas às temperaturas de molde inferiores. A Figura 24 mostra a contração do polímero. As barras verticais mostram o desvio padrão para cada ponto.

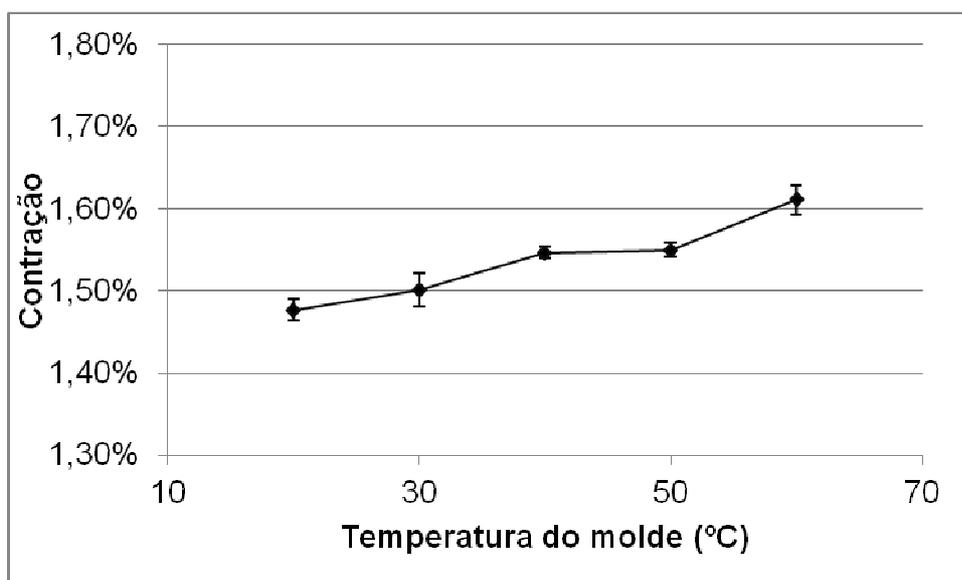


Figura 24 - Comportamento da contração em função da temperatura do molde

O aumento da contração com a elevação da temperatura do molde ocorreu como previsto na literatura (ROSATO, 2000). Porém nota-se que a diferença é bastante pequena, cerca de 0,025% de aumento na contração para cada 10°C de aumento na temperatura do molde. Este comportamento indica que há um aumento

da fase cristalina em função do maior tempo de resfriamento, já que esta fase é mais densa que a fase amorfa.

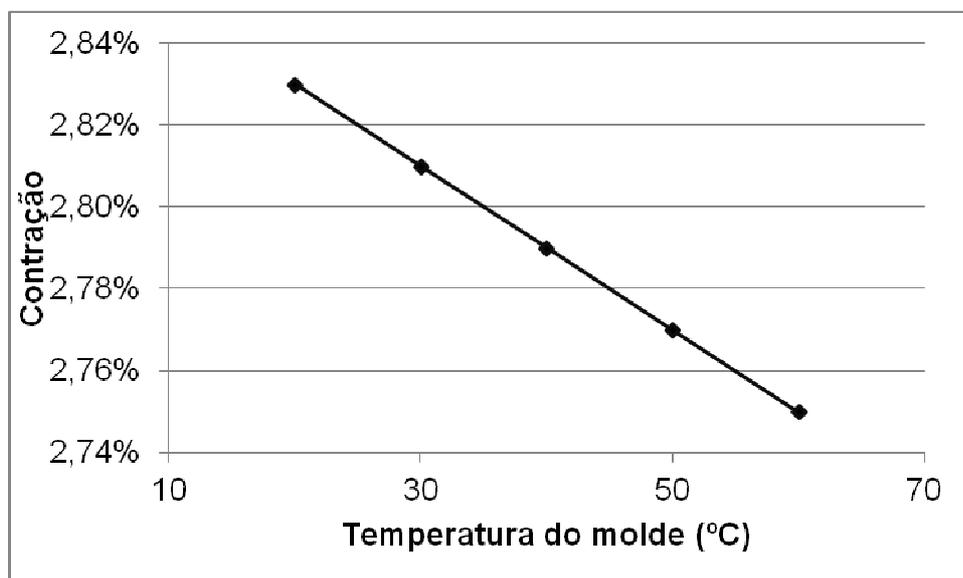


Figura 25 – Resultados da simulação de contração

A contração obtida pela simulação de injeção também foi medida no corpo de flexão, os resultados são mostrados na Figura 25. A simulação previu uma contração quase duas vezes maior do que a observada na prática. Também não foi capaz de prever o comportamento da contração em função das variações na temperatura do molde, observou-se uma diminuição da contração com o aumento da temperatura do molde.

5.3 Ensaio de tração

Vinte e cinco corpos de prova foram ensaiados no total, sendo 5 corpos em cada temperatura do molde testada. Alguns dos corpos de tração injetados apresentaram vazios de contração, os resultados destes foram eliminados e portanto só são mostrados os resultados referentes aos injetados que não apresentaram defeitos, 15 no total (3 para cada temperatura de molde). O gráfico da Figura 26 mostra os resultados para a temperatura de molde de 30°C. Constam as curvas dos corpos de prova 2, 3 e 5, sendo os corpos 1 e 4 descartados devido à vazios de

contração. Curvas semelhantes foram obtidas para as demais temperaturas de molde, elas estão no apêndice C.

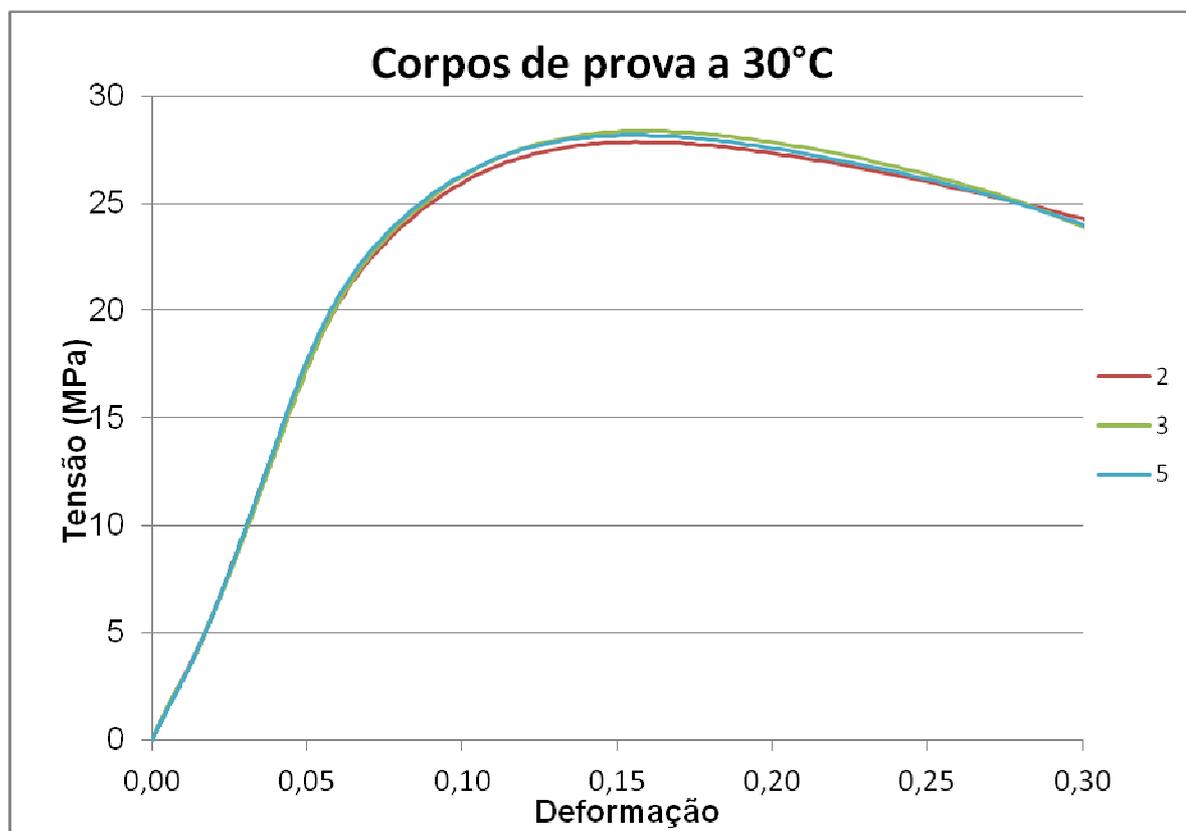


Figura 26 - Curvas de tensão deformação para temperatura do molde de 30°C

Fez-se uma curva média das três curvas mostradas. Com as tensões de cada um dos três ensaios para cada valor de deformação fez-se uma média e assim obteve-se um só valor de tensão para cada valor de deformação. O mesmo foi feito para as outras temperaturas de molde, os gráficos obtidos são mostrados na Figura 27.

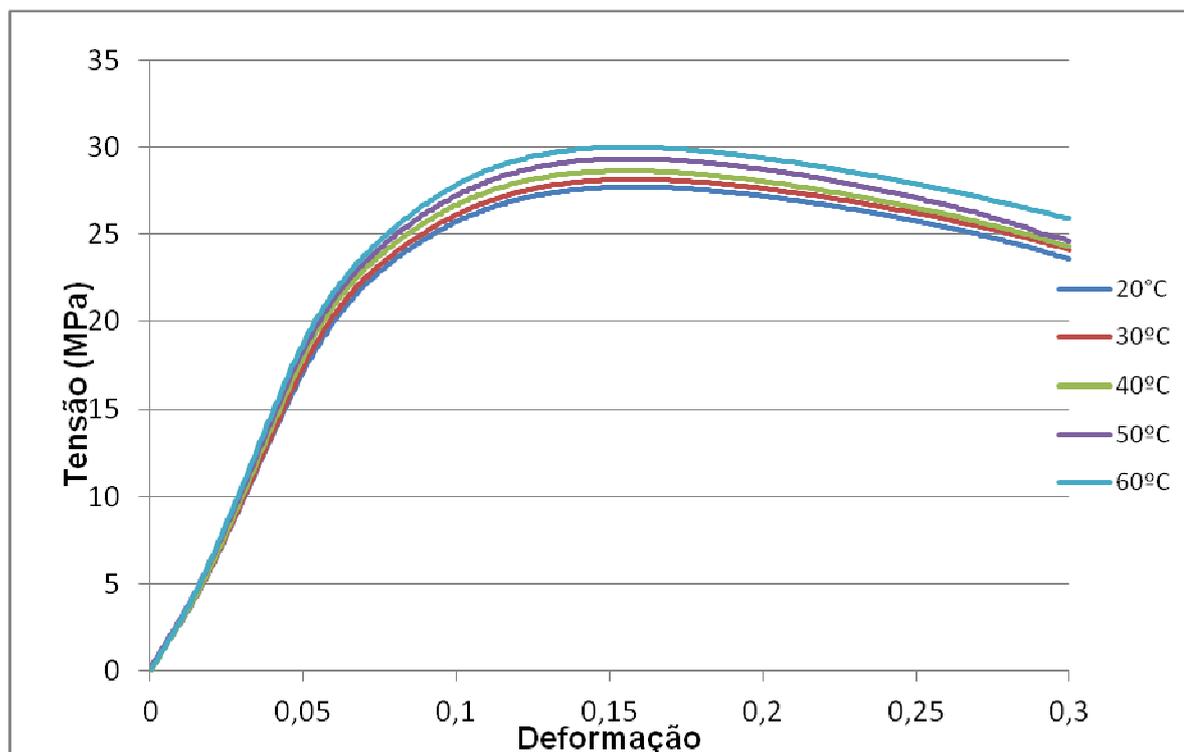


Figura 27 - Curvas médias de tensão-deformação

O módulo de elasticidade, o limite de escoamento e o limite de resistência estão na Tabela 8. Os desvios padrões estão colocados ao lado dos valores das grandezas calculadas.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração

	módulo de elasticidade ²		limite de escoamento		limite de resistência	
	média (MPa)	desvio (MPa)	média (MPa)	desvio (MPa)	média (MPa)	desvio (MPa)
20°C	338,9	13,4	19,64	0,59	27,70	0,50
30°C	343,5	3,6	20,00	0,42	28,14	0,21
40°C	354,5	0,9	20,44	0,14	28,63	0,22
50°C	363,3	2,9	20,62	0,19	29,33	0,19
60°C	371,6	11,2	20,77	0,23	29,99	0,04

Pode-se observar um aumento do módulo de elasticidade com o aumento da temperatura de molde. Nota-se também que o limite de escoamento e o limite de resistência à tração são maiores para temperaturas de molde mais elevadas. Este aumento na resistência deve ser causado pelas menores taxas de resfriamento, que

² Valores apenas válidos para comparação entre si devido à não utilização de extensômetro

causam maior cristalinidade e menores tensões residuais. As relações obtidas são bastante significativas, tendo-se em vista o aumento bem definido das grandezas avaliadas com o aumento da temperatura e também os baixos desvios padrões (com exceção da temperatura de 20°C que apresentou uma curva um pouco divergente e valores de desvio padrão mais elevados).

Os corpos de prova que tinham vazios de contração, que também foram testados porém não incluídos nos resultados acima, apresentaram resistência semelhante aos corpos sem vazios, ao invés de serem menos resistentes como poderia ser esperado. Os vazios causam pontos de concentração de tensões, o que diminui a resistência, porém eles podem reduzir as tensões residuais quando são formados, o que poderia compensar o efeito anterior e ser responsável por manter a resistência mecânica no mesmo patamar.

5.4 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi feito primeiramente com velocidade de descida do ponto médio de 1,45mm/s. Porém o corpo não chegou a romper nem a passar pelo limite de resistência até um deslocamento limite de 7,5mm. Este limite existe porque depois deste deslocamento o corpo está tão deformado que as equações de viga utilizadas já não são uma aproximação adequada. Conforme recomendado pela norma a velocidade foi aumentada para 14,5mm/s, porém ainda não se obteve ruptura antes de 7,5mm. O polipropileno utilizado se mostrou muito dúctil para a realização deste ensaio. O ensaio foi realizado mesmo sem a ruptura para os 25 corpos de prova, porém os resultados não são muito significativos para se avaliar a resistência mecânica. A Figura 28 mostra os gráficos com as curvas médias para cada temperatura de molde. As curvas para cada temperatura estão no apêndice D. A Tabela 9 mostra os valores para o limite de resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão.

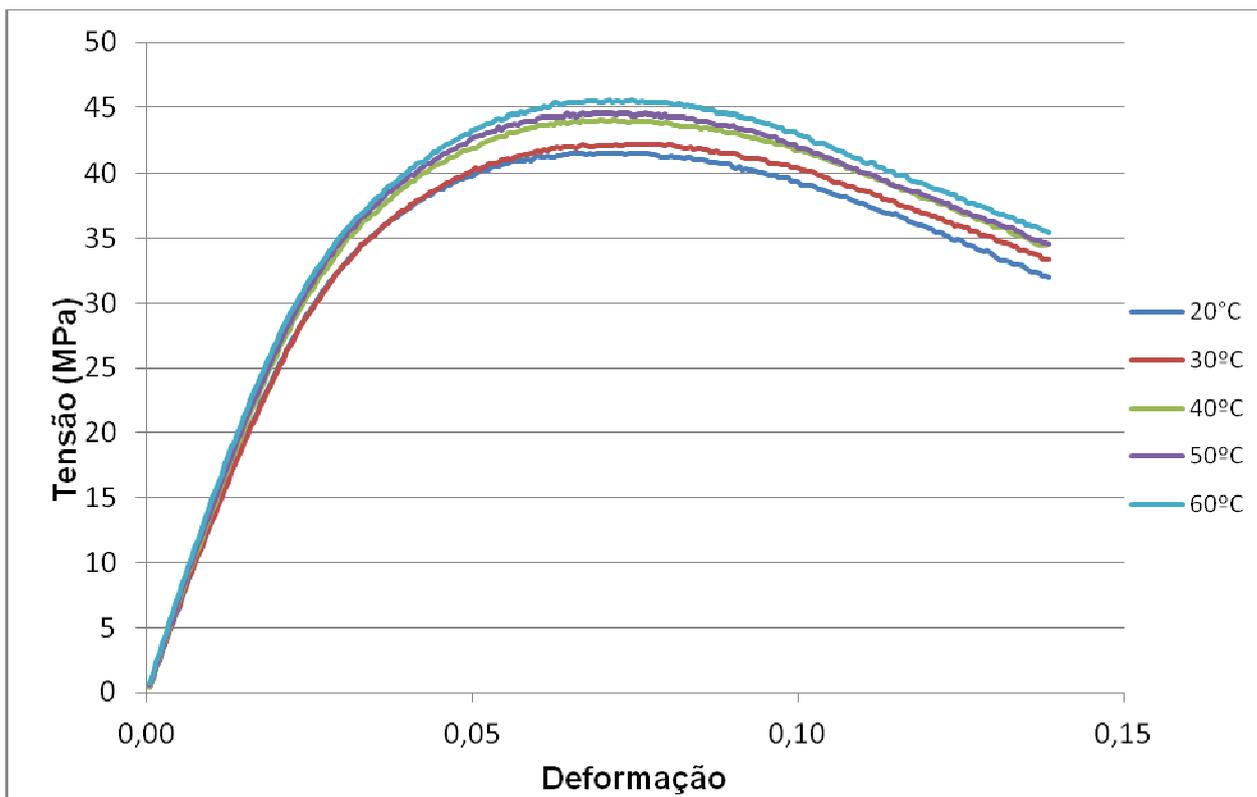


Figura 28 - Gráficos tensão de flexão-deformação

Tabela 9 - Resultados do ensaio de flexão

	módulo de elasticidade		limite de resistência ³	
	média (MPa)	desvio (MPa)	média (MPa)	desvio (MPa)
20°C	1277,2	14,8	41,57	0,60
30°C	1270,6	27,5	42,27	0,68
40°C	1345,3	13,6	44,12	0,41
50°C	1367,0	19,8	44,56	0,37
60°C	1392,3	9,9	45,71	0,60

Pode-se notar que como na tração o limite de resistência aumenta com o aumento da temperatura do molde, porém os resultados não são de grande relevância devido aos motivos já mencionados.

O módulo de elasticidade na flexão contudo não é afetado pelo mesmo problema, pois é determinado no início do teste. Pode-se notar que o módulo de elasticidade em flexão cresce com o aumento da temperatura do molde. Apenas os dois primeiros valores, a 20°C e a 30°C, não seguiram este padrão, porém os

³ Valores não significativos devido à excessiva deformação dos corpos de prova durante o ensaio

valores são quase iguais (apenas 7 MPa de diferença) e para as demais temperaturas a relação foi bastante clara.

6 CONCLUSÃO

O sistema de aquecimento funcionou conforme desejado. Foram analisados o tempo de resposta do sistema e o erro entre as temperaturas configurada no controlador e lida na parede do inserto. O tempo de resposta atende às necessidades e está de acordo com o previsto pelas simulações térmicas. Existe um certo erro na temperatura, aproximadamente 1°C para cada 10°C de aumento na temperatura do molde em relação à temperatura ambiente. Esta diferença ocorre sobretudo em função da posição do termopar, este está posicionado a uma certa distância da parede de injeção da cavidade. Para melhorar a precisão é possível aproximar mais o termopar, fazendo um furo mais profundo no inserto, contudo deve-se tomar cuidado para não prejudicar a resistência do deste.

O ensaio de tração dos corpos de prova demonstrou que o aumento da temperatura do molde causou aumento significativo na resistência à tração. A resistência à flexão não pode ser determinada pois os corpos de prova de flexão não romperam durante o ensaio devido ao comportamento muito dúctil, porém foi observado um aumento do módulo de elasticidade à flexão com o aumento da temperatura do molde. A contração também é maior com o aumento da temperatura do molde, o que indica um aumento da fase cristalina. Porém esse acréscimo na contração é muito pequeno.

A simulação de preenchimento do molde teve uma boa correlação com o que foi observado na prática. Também foram obtidos resultados de tempo de resfriamento do moldado e de contração. A simulação de resfriamento parece ter bons resultados, o tempo de resfriamento indicado pela simulação foi bem próximo ao utilizado na prática. A simulação de contração mostrou resultados muito acima dos obtidos na prática, e o comportamento em função da temperatura de molde também foi diferente ao observado em simulação. Pode-se perceber as possíveis utilidades da simulação para aperfeiçoar o processo de injeção, como observar os gradientes de temperatura no moldado, algo difícil de medir na prática. Também foram estabelecidos alguns dos pré-requisitos para que a simulação alcance um bom resultado, embora tenha sido uma análise bastante simples. Ainda restam

parâmetros a serem aprimorados já que alguns resultados como a análise da contração não se mostraram adequados.

Este projeto permitiu esclarecer algumas dúvidas em relação à influência da temperatura do molde no processo de injeção. O estudo nas propriedades do moldado foi simplificado de maneira que ainda existem alguns pontos a serem explorados em trabalhos futuros. As medições dos corpos de prova indicam que há um aumento da fase cristalina com o aumento da temperatura do molde. Porém, para uma análise quantitativa, a cristalinidade poderia ser medida através de um ensaio de difração de raio X, já que é um parâmetro bastante importante para a caracterização do polímero.

Os ensaios mecânicos mostraram alguns resultados importantes indicando um aumento da resistência com o aumento da temperatura do molde. Porém ainda é possível fazer uma análise mais completa. Poderiam ser incluídos, por exemplo, ensaios de dureza e de resistência ao impacto, que são interessantes para a caracterização de polímeros.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. **History of Polymers & Plastics for teachers**. American Chemistry, 2010. Disponível em:

http://www.americanchemistry.com/hops/intro_to_plastics/teachers.html

Acesso em: 02 de Outubro de 2011

CALLISTER JR. W.D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro, 2002

CANEVAROLO, S. V. JR. **Ciência dos Polímeros. Um Texto para Tecnólogos e Engenheiros**. São Paulo, 2002

COEL. **Boletim Técnico. Controladores de Temperatura Analógicos**, 2012.

Disponível em: <http://www.coel.com.br/data.coel/products/product.pdf,39,318.pdf>

Acesso em: 03 de março de 2012

GRYZINSKI, I. **Aplicação de Liga de Zinco em Molde-Protótipo Usinado e Análise do Moldado em Polipropileno**; Dissertação de mestrado, UTFPR. Curitiba, 2011

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. São Paulo, 2004

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 3rd ed. New York, 1990

ICEL. **Manual de Instruções Do Multímetro Digital Modelo MD-6110**, 2008.

Disponível em: <http://www.icel-manaus.com.br/manual/1.pdf>

Acesso: 06 de março de 2012

KNIGHTS, M. **Molding Simulation: New Frontiers in Process Prediction**. Plastics technology; 2008. Disponível em: <http://www.ptonline.com/articles/molding-simulation-new-frontiers-in-process-prediction>

<http://www.ptonline.com/articles/molding-simulation-new-frontiers-in-process-prediction>

Acesso em: 30 de Março de 2012

KNIGHTS, M. **Hot/Cold Thermal Cycling of Injection Molds Heats Up**. Plastics technology, 2010. Disponível em: <http://www.ptonline.com/articles/hot-cold-thermal-cycling-of-injection-molds-heats-up>

Acesso em: 10 de Outubro de 2011

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeções e moldes**. São Paulo, 2005

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2002

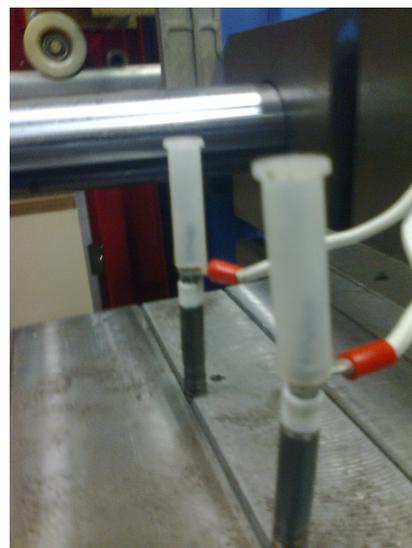
ROSATO, D.; ROSATO, D.; ROSATO, M. **Injection Molding Handbook**; Massachusetts, 2000

SERAFINI, D. P.; SIEGEL E. **Comparativo do Processo de Injeção entre uma Injetora Vertical e uma Horizontal**; Trabalho de conclusão de curso, UTFPR. Curitiba, 2010

APÊNDICE B – UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

Conexão dos fios da resistência

Os terminais da resistência devem ser ligados como mostrados na figura à direita. Deve-se prestar atenção pois estas conexões estão ligadas em 220V. Os terminais em formato olhal entram nos parafusos da resistência e são prensados entre duas pequenas porcas.



Conexões do controlador e do relé

Os **fios de alimentação** do controlador devem ser ligados nos **terminais 8 e 9**, não importa a ordem (já que é tensão alternada).

O **terminal 3 do relé** (positivo) deve ser ligado ao **terminal 5 do controlador** (positivo); o **terminal 4 do relé** (negativo) deve ser ligado ao **terminal 4 do controlador** (negativo). Neste caso os fios não podem ser invertidos pois a corrente é contínua e a polaridade deve ser observada.

Obs: Não se deve usar as saídas indicadas como “relé” no manual do controlador (saídas 6 e 7) neste caso e sim as saídas “pulso” como foi dito (saídas 4 e 5). Isto porque os terminais “relé” se referem ao relé eletromecânico embutido no próprio controlador e não às saídas para um relé externo, como é adequado neste caso.

O **terminal positivo do termopar** (vermelho) deve ser conectado ao **terminal 2 do controlador**; o **terminal negativo** (azul) do termopar de ser conectado ao **terminal 3 do controlador**.

Os **terminais 1 e 2 do relé** devem ser conectados de modo a colocar o relé em série com o circuito de alimentação da resistência, não há diferença na ordem destes terminais (corrente alternada).

Parâmetros PID

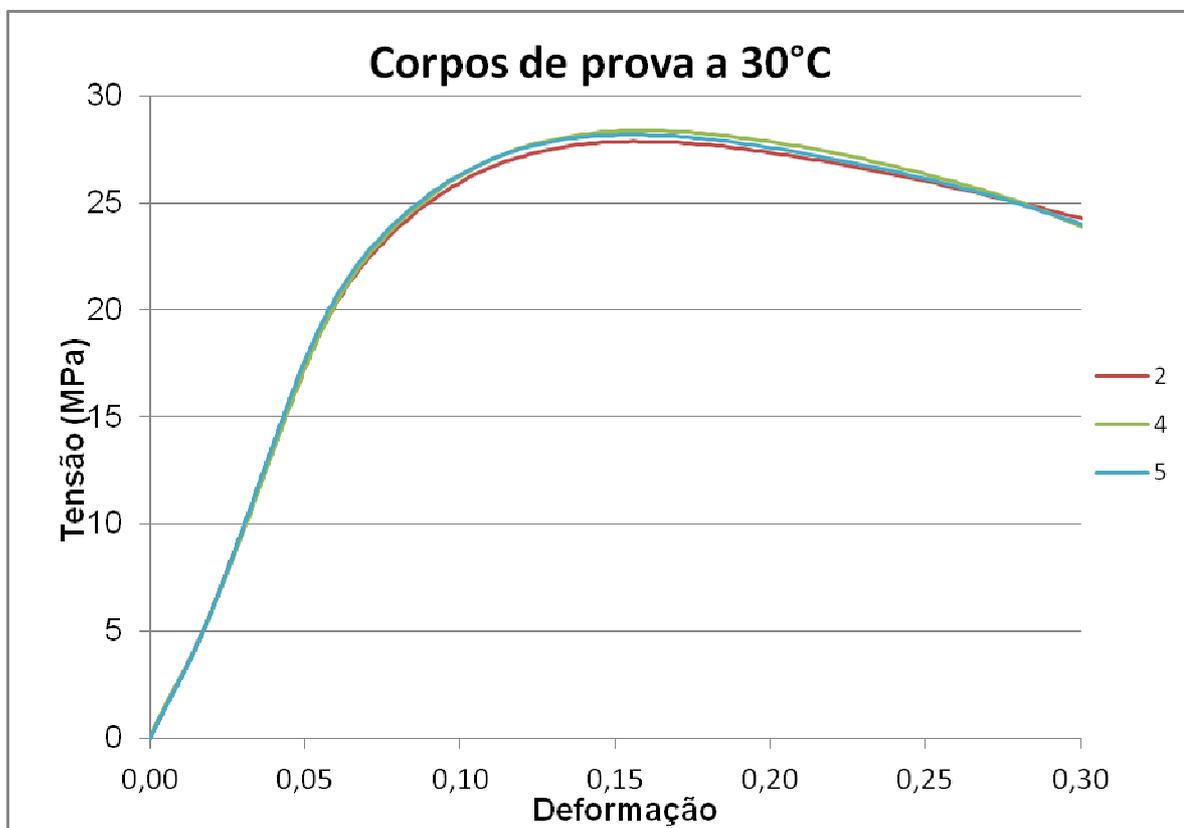
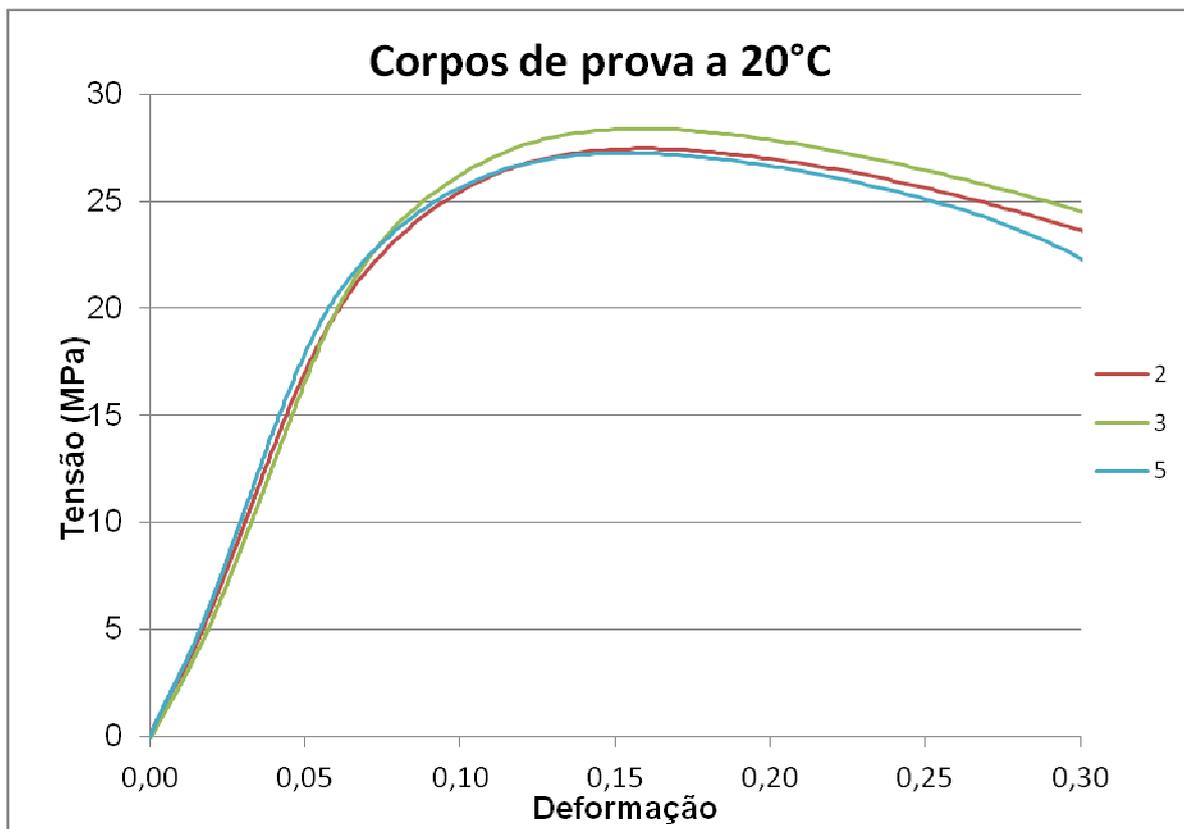
Os parâmetros adequados para o controlador de temperatura são:

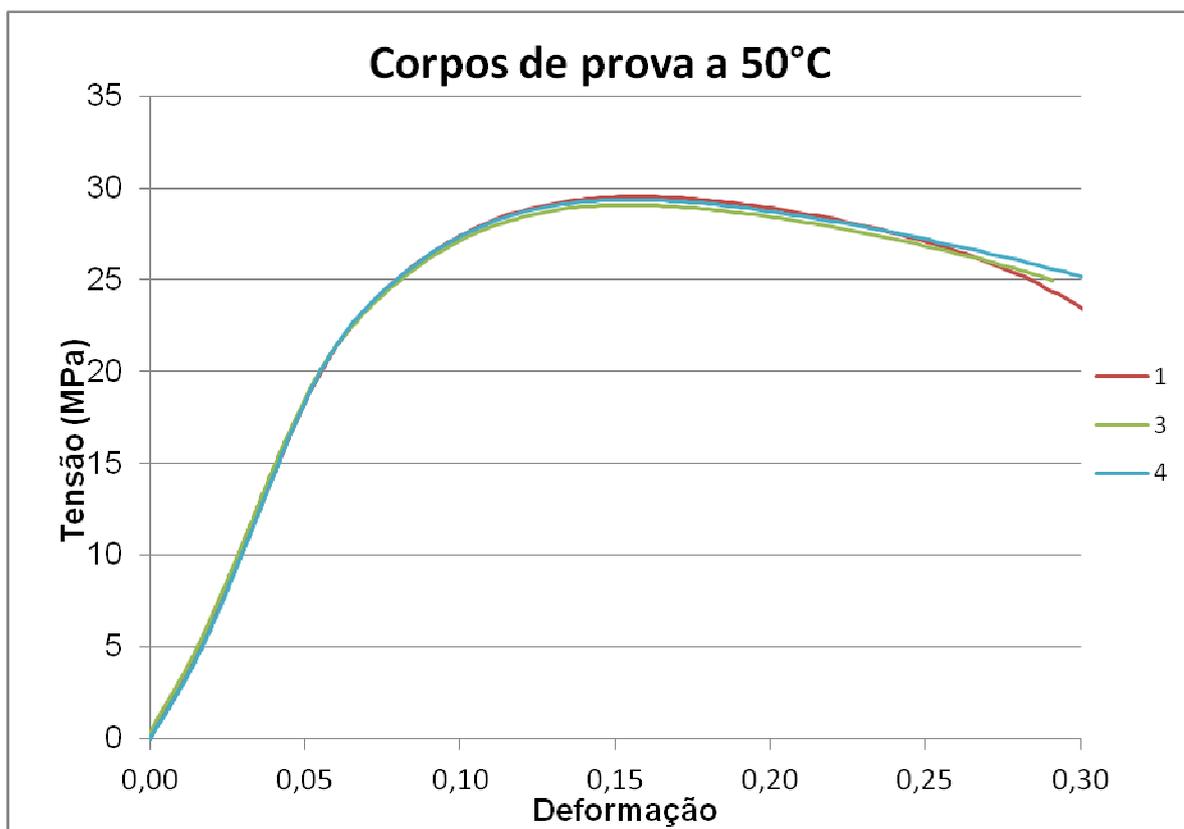
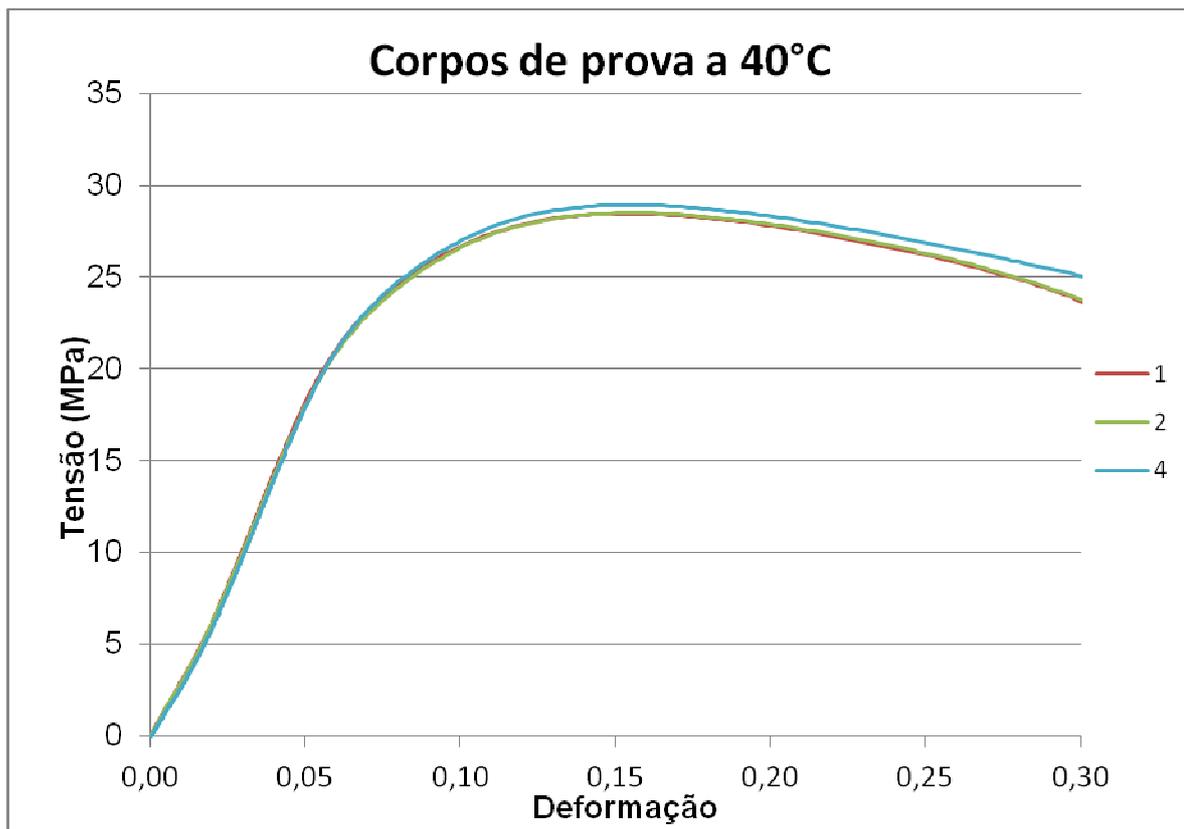
Parâmetros PID		Demais parâmetros	
Pb	0,4	Out1	Ctrl
Ir	0,19	SFSt	60s
dt	25	Act	rE

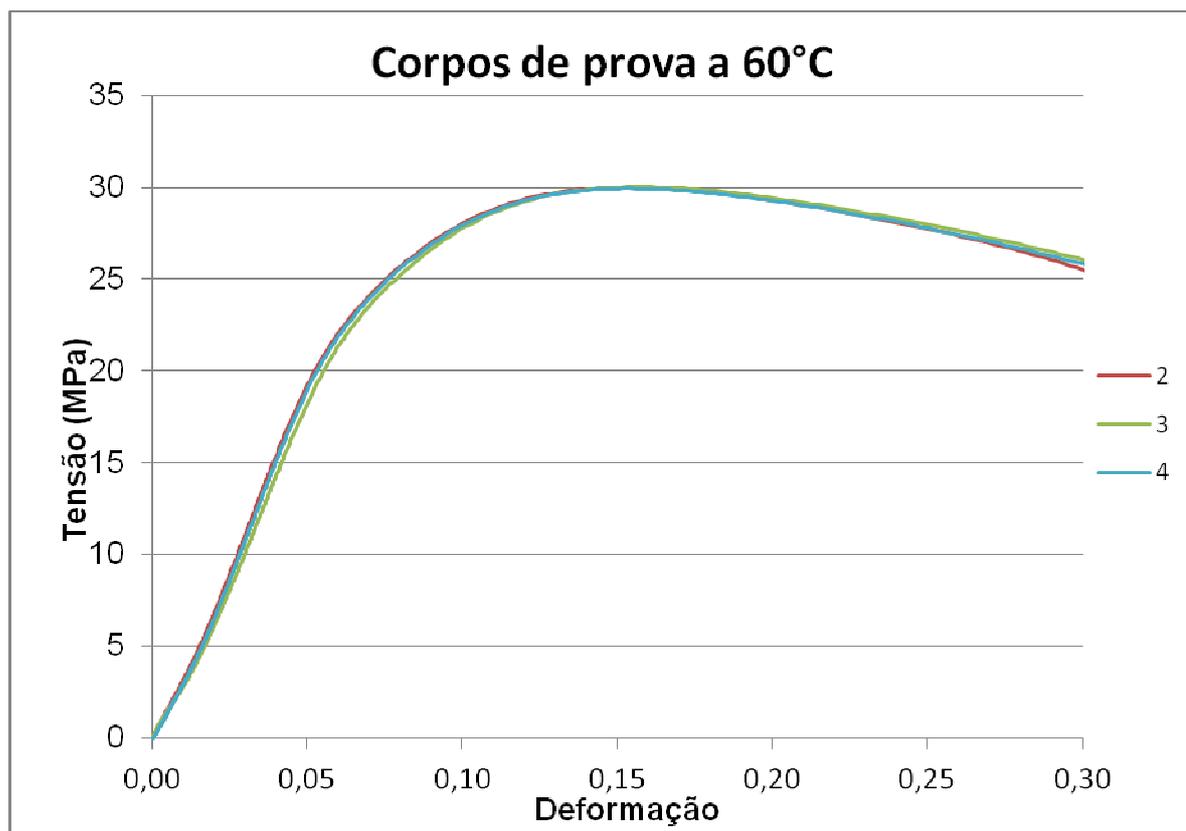
Mais informações sobre o controlador podem ser vistas no anexo D.

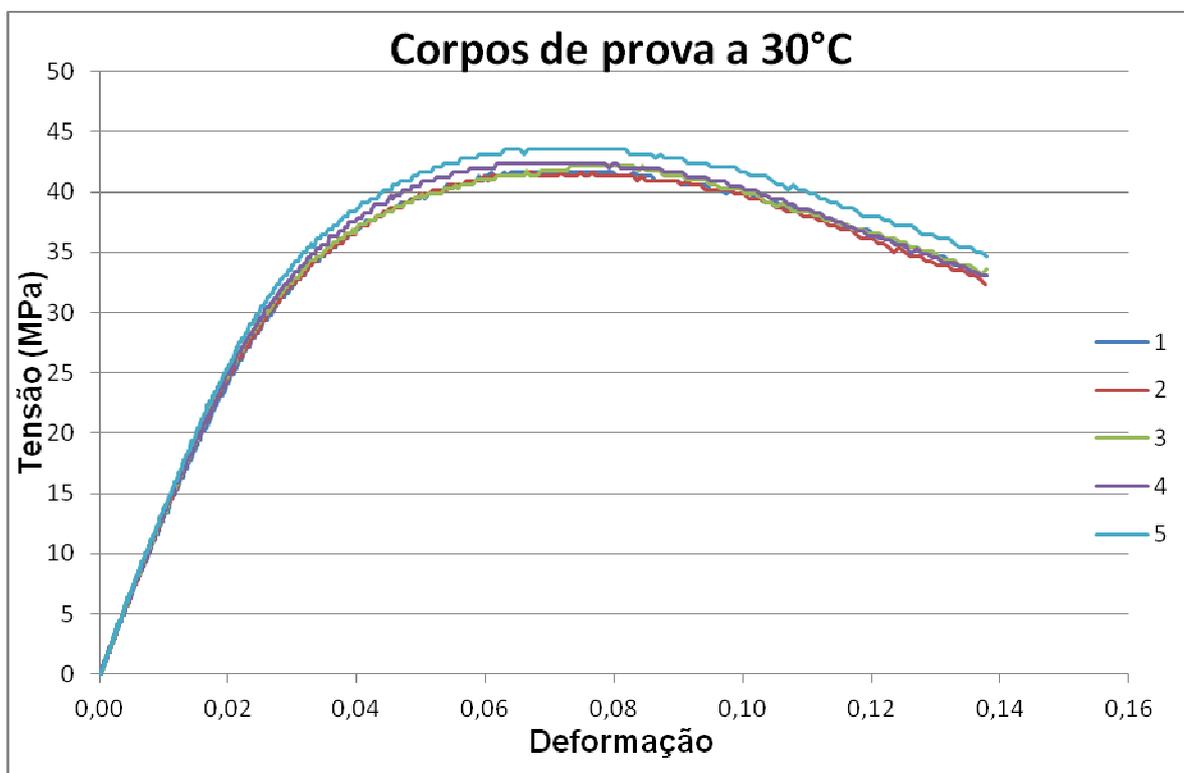
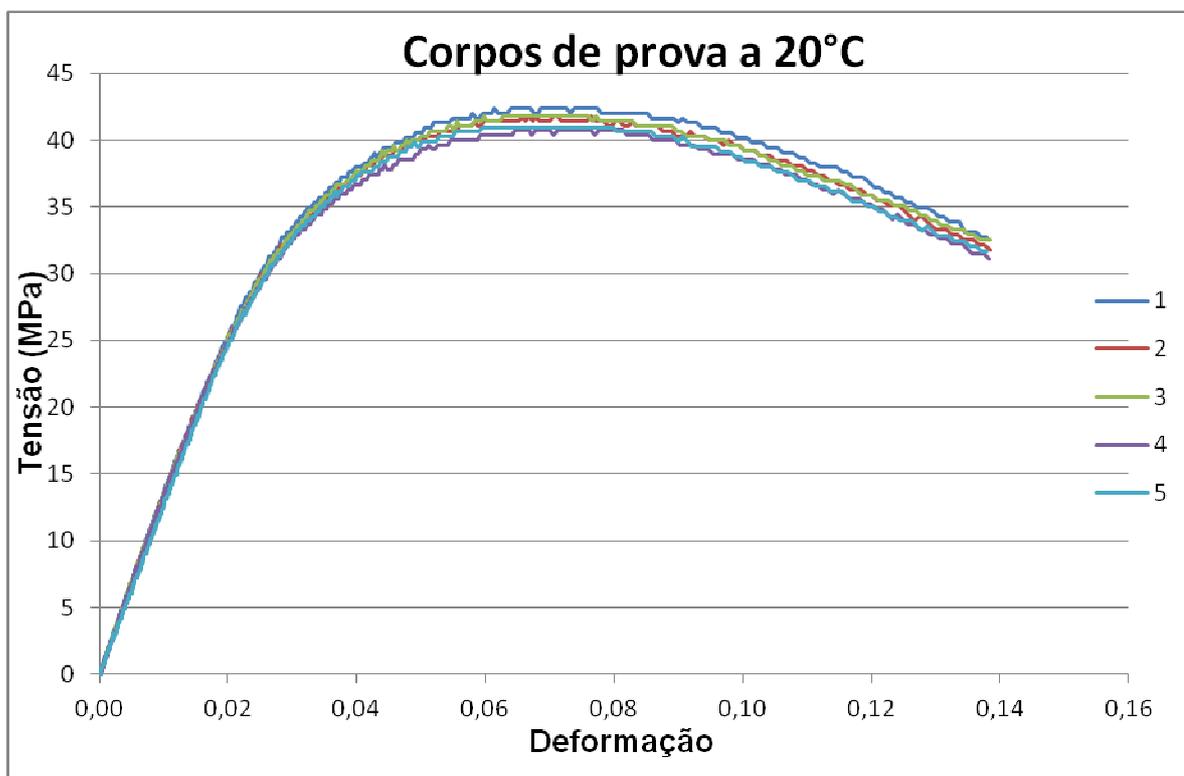
Utilização

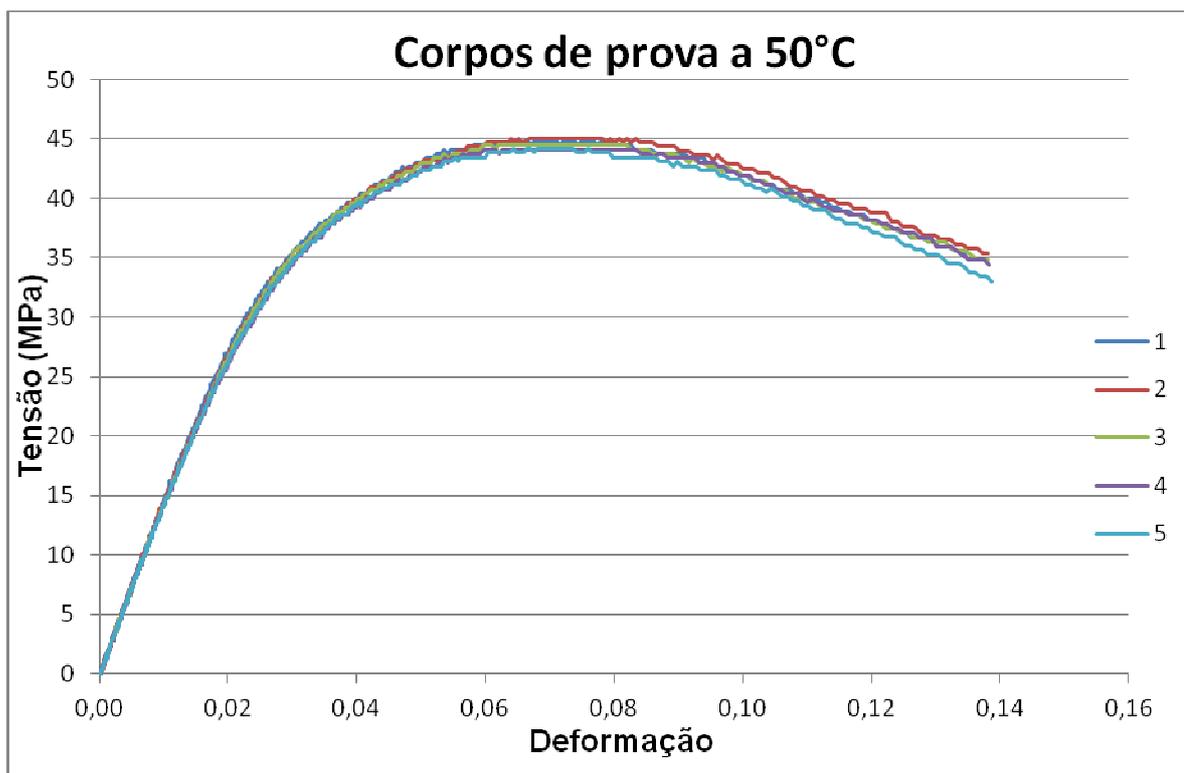
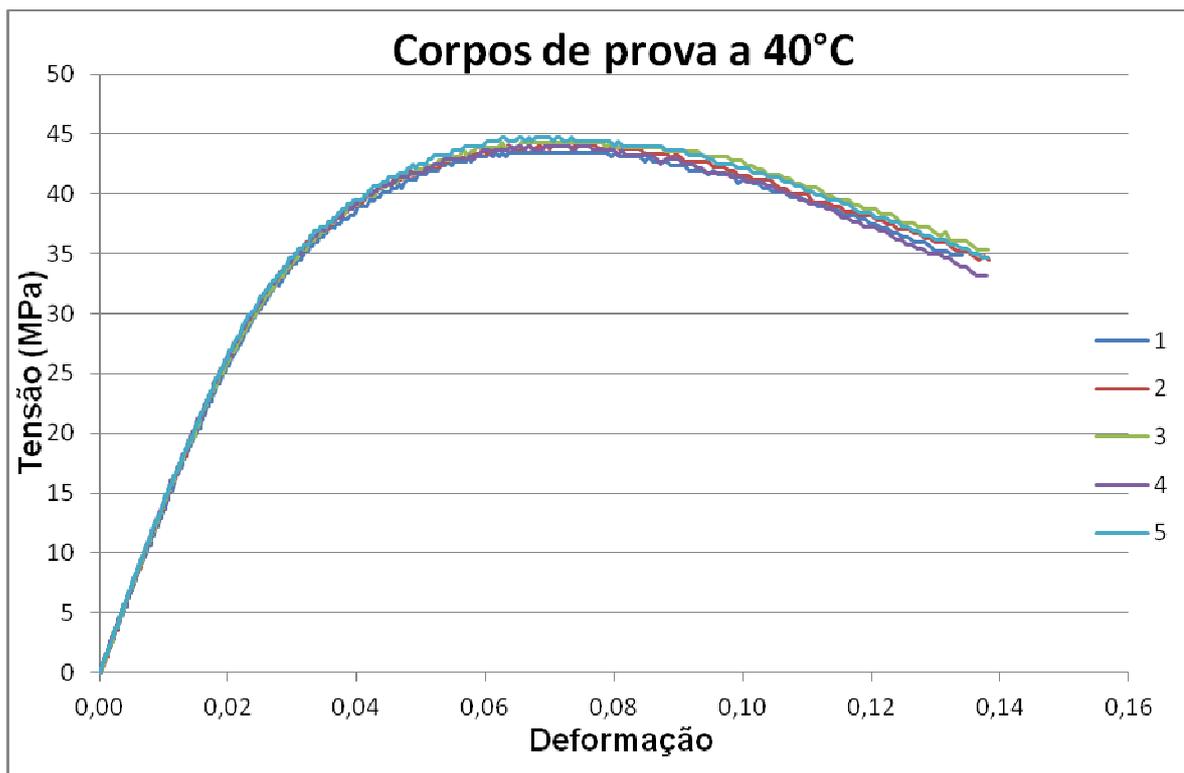
Uma vez que o sistema esteja instalado corretamente basta ligar a tomada de alimentação da resistência e a tomada do controlador para que o sistema entre em funcionamento. A temperatura desejada e ajustada no controlador.

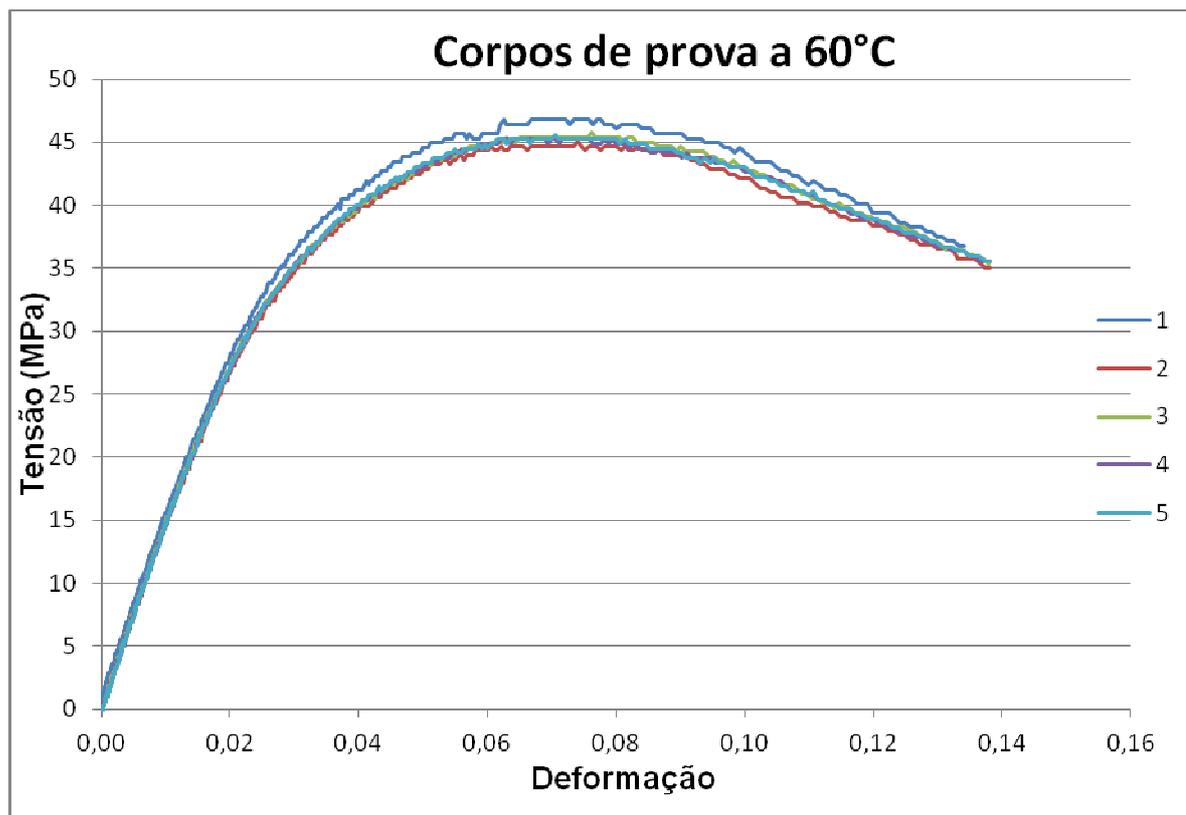
APÊNDICE C – CURVAS OBTIDAS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO





APÊNDICE D – CURVAS OBTIDAS NOS ENSAIOS DE FLEXÃO





ANEXO A – RESISTÊNCIA TUBULAR FLEXÍVEL

<http://www.hotset-worldwide.com/us/products/hotflex-flexible-tubular-heaters/>

hotflex[®] Flexible tubular heater

- Easy installation with a uniform finish
- Can be formed by hand
- Stored in a straight condition to save storage space
- No special installation tools required
- Patented technology ensures industry leading heat transfer
- Up to 75% sheath contact with round and square hotflex heaters when recommended groove geometry is followed
- Rapid heat-up times
- Minimal temperature difference between heater sheath and heated tool
- 3-dimensional groove geometry possible
- Industry's smallest bending radius
- Hotflex's flexibility enables heat to be located where it is needed; an improvement over rigid cartridge heaters
- Reduced energy costs: tool mass can be reduced



Technical key features

Sheath material	stainless steel
Sheath temperature of heating element	max. 700 °C / 1290 °F
Standard connection voltage	230 V
High voltage test*	1000 V AC
Insulation resistance*	≥ 5 MOhm at 500 V DC
Leakage current*	< 0.5 mA at 253 V AC
Wattage tolerance	± 10 %
Length tolerance	± 1.5 %

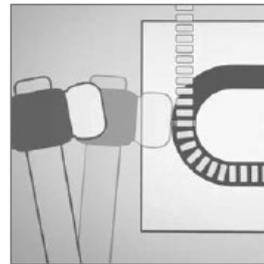
* tested at environmental temperature

Options

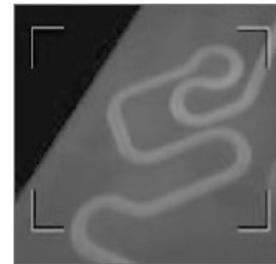
- Bendable unheated zones
- Connection voltage from 12 V to 250 V
- Individual length
- Individual wattage
- Individual connection options

Recommended groove geometry

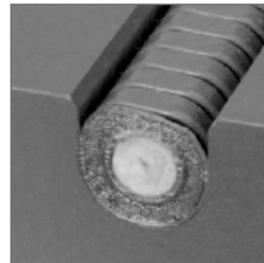
Type hotflex	Groove dimensions [mm] w x h	
□ 6,0 ^{+0.1}	6,1 ^{+0.1}	x 7,1 ^{+0.1}
∅ 6,5 ^{+0.1}	6,0 ^{+0.1}	x 6,5 ^{+0.1}
∅ 8,0 ^{+0.1}	7,7 ^{+0.05}	x 8,0 ^{+0.1}
□ 8,0 ^{+0.1}	8,1 ^{+0.1}	x 9,1 ^{+0.1}
∅ 8,2 ^{+0.1}	7,9 ^{+0.05}	x 8,2 ^{+0.1}
∅ 8,5 ^{+0.1}	8,2 ^{+0.05}	x 8,5 ^{+0.1}
∅ 10,0 ^{+0.1}	9,7 ^{+0.05}	x 10,0 ^{+0.1}



Installation without special tools



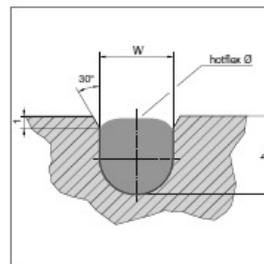
Ideal heat transfer



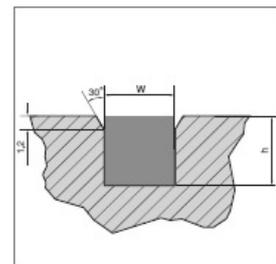
Installed, round groove geometry



Installation example



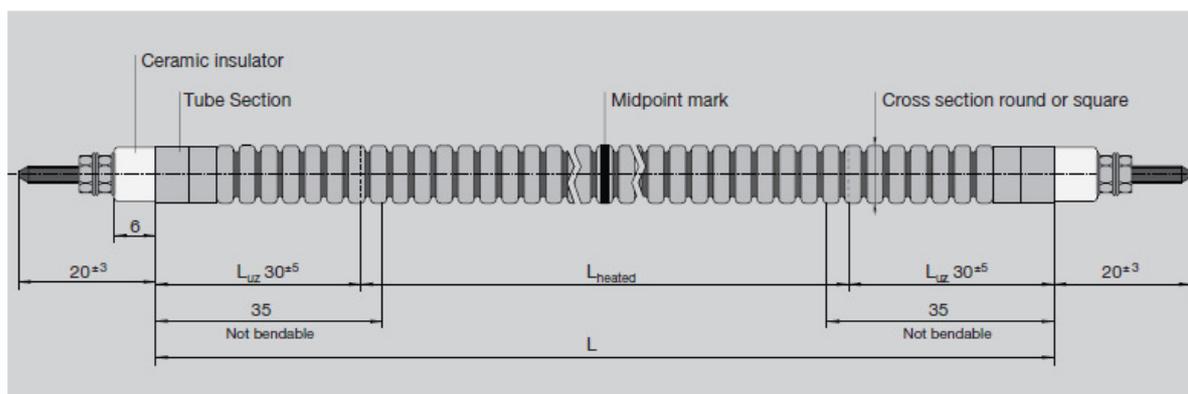
Round groove geometry



Square groove geometry

<p>Ceramic terminal connector "plug'n heat" Temp. resist. 230°C / 445°F Short term max. 280°C / 535°F 14x21x25 mm / 5.51x8.27x9.84" available with stock items</p>	<p>Standard: threaded pins M2.5 Option: M4 from ∅ 8.0 mm with set of nuts and washers</p>	<p>Plain Ni-leads with ceramic beads insulation, up to 600 °C / 1110 °F available with stock items</p>	<p>Insulated Ni-leads Glass silk: up to 320 °C / 605 °F PTFE: up to 260 °C / 500 °F Silicon: up to 180 °C / 350 °F Option: eyelet connector M4 available with stock items</p>	<p>High temperature mineral fibre insulated Ni-leads, with ceramic sealed tube section</p>	<p>Flat plug W = 6.3 mm / 0.249 inch available with stock items</p>
--	---	--	---	--	---

hotflex® Flexible tubular heater



Dimensions

Depending on the number of bends the hotflex length can increase up to 1 %.

Type hotflex	L min [mm]	L max [mm]	Tube section max [mm]	Min. bending radius internal	max. Sheath surface load [W/cm ²]	max. wattage [W] at 230 V
□ 6.0	300	1.800	24	6.5	10	2190
∅ 6.5	300	1.800	24	6.5	10	2190
∅ 8.0	300	2.600	10	10	15	5200
□ 8.0	300	2.600	10	10	15	5200
∅ 8.2	300	2.600	10	10	15	5200
∅ 8.5	300	2.600	10	10	15	5200
∅ 10.0	300	2.600	10	10	12.5	5200

Stock range ∅ 6.5 mm (230 V) with threaded pins M2.5

Stock ID	L [mm]	P [W]
6500300	300	350
6500350	350	400
6500400	400	500
6500450	450	600
6500500	500	650
6500550	550	700
6500600	600	800
6500650	650	850
6500700	700	900
6500750	750	1000
6500800	800	1100
6500850	850	1200
6500900	900	1300
6500950	950	1350
6501000	1000	1400
6501050	1050	1450
6501100	1100	1500
6501150	1150	1550
6501200	1200	1600
6501250	1250	1650
6501300	1300	1700
6501350	1350	1800
6501400	1400	1900
6501450	1450	2000
6501500	1500	2100

Stock range ∅ 8.0 mm (240 V*) with threaded pins M4

Stock ID	L [mm]	P [W]
6300400	400	795
6300450	450	910
6300500	500	1025
6300550	550	1145
6300600	600	1260
6300650	650	1380
6300700	700	1495
6300750	750	1615
6300800	800	1730
6300850	850	1845
6300900	900	1960
6300950	950	2080
6301000	1000	2195
6301050	1050	2316
6301100	1100	2430
6301150	1150	2545
6301200	1200	2665
6301250	1250	2780
6301300	1300	2895
6301350	1350	3015
6301400	1400	3130
6301450	1450	3245
6301500	1500	3365
6301550	1550	3480
6301600	1600	3600

Stock range ∅ 8.5 mm (230 V) with threaded pins M2.5

Stock ID	L [mm]	P [W]
6100300	300	650
6100350	350	750
6100400	400	900
6100450	450	1050
6100500	500	1150
6100550	550	1300
6100600	600	1450
6100650	650	1600
6100700	700	1750
6100750	750	1900
6100800	800	2050
6100850	850	2200
6100900	900	2350
6100950	950	2500
6101000	1000	2650
6101050	1050	2800
6101100	1100	2930
6101150	1150	3060
6101200	1200	3190
6101250	1250	3320
6101300	1300	3450
6101350	1350	3580
6101400	1400	3710
6101450	1450	3840
6101500	1500	3970

Stock range ∅ 8.5 mm (230 V) with threaded pins M2.5

Stock ID	L [mm]	P [W]
6110500	500	700
6110550	550	780
6110600	600	860
6110650	650	950
6110700	700	1000
6110750	750	1100
6110800	800	1190
6110850	850	1250
6110900	900	1350
6110950	950	1430
6111000	1000	1500
6111050	1050	1590
6111100	1100	1650
6111150	1150	1750
6111200	1200	1830
6111250	1250	1900
6111300	1300	1990
6111350	1350	2070
6111400	1400	2150
6111450	1450	2230
6111500	1500	2300

* with connection voltage 230 V wattage will decrease by 8 %

ANEXO B – RESISTÊNCIAS CARTUCHO

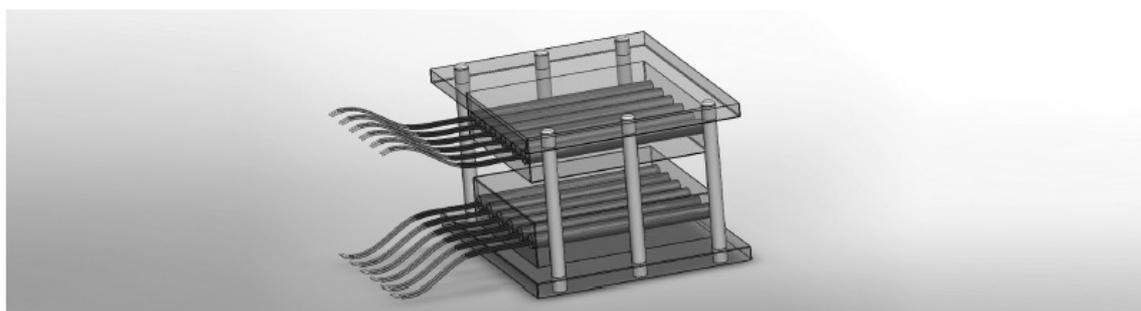
<http://www.ibrel.com.br/catalogo/catalogo-2012.pdf>



Resistência Elétrica Tipo Cartucho

Aplicações:

Estampos, mordentes e moldes em processos de plásticos, borracha, hotstamp e embalagens.



Cartucho



	Alta Carga	Baixa Carga
Diametro (mm)	6,5 a 19	9,53 a 38
Comprimento (mm)	25 a 400	50 a 2000
Tensão	Até 460	Até 220
Densidade de Potência (w/cm^2)	Até 25	Até 3.5
Temperatura Superficial (C)	Até 750	Até 300
Material	Inóx	Inóx / Latão
Retifica	H7	-
Comprimento Terminais (mm)	200 a 2000	200 a 2000

Descrição Detalhada:

Resistores de aquecimento especialmente projetados para trabalharem em uma ampla faixa de temperaturas, suportando altas densidades térmicas e impactos mecânicos, devido ao seu processo de fabricação de alta pressão e retífica de precisão.

Exemplos:



Modelo: RCO-02



Modelo: RCO-08



Modelo: RCO-09



Modelo: RCO-10



Modelo: RCO-04



Modelo: RCO-14



Modelo: RCO-07



Modelo: RCO-06



Modelo: RCO-13

ANEXO C – POLIPROPILENO H301

<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Consultar-Produtos>



Folha de Dados

Revisão 8 (maio/10)

Polipropileno H 301

Subfamília:
Homopolímero

Descrição:

O H 301 é um polipropileno de médio índice de fluidez, com distribuição normal de peso molecular e aditivado para uso geral. É indicado para processos de moldagem por injeção e extrusão de fibras. Este produto apresenta excelente processabilidade com boa estabilidade do fundido, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

Aplicações:

Utilidades domésticas; Tampas com lacre ou *flip-top*; Tampas injetadas para uso geral; Monofilamento para cordas, redes de pesca; Filamentos contínuos para fios de costura, móveis, colchões.

Processo:

Moldagem por Injeção
Extrusão de Fibras

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230/2,16)	D 1238	g/10 min	10

Propriedades Típicas*:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm ³	0,905
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	GPa	1,2
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	32
Alongamento no Escoamento	D 638	%	14
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	100
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	25
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	91
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	53
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	153

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação FDA (*Food and Drug Administration*) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações a Braskem tem desenvolvido resinas *tailor-made* para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ – Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 9003-07-0.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- As resinas Braskem não contêm aditivos compostos por metais ou outras substâncias que tenham o objetivo de promover oxidação. Tais aditivos e a decomposição e fragmentação de resinas causada pela ação de oxidação, podem contaminar o meio ambiente, prejudicar o desempenho da embalagem e ainda aumentar o potencial de migração de componentes da embalagem para alimentos, comprometendo a aprovação da resina com relação aos requisitos da Resolução 105/99 da ANVISA. Sua utilização, em conjunto com resinas Braskem, implica perda imediata das garantias de desempenho descritas neste documento.
- Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.

ANEXO D – CONTROLADOR DE TEMPERATURA N1040

www.novus.com.br

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

Controlador N1040

CONTROLADOR DE TEMPERATURA - MANUAL DE INSTRUÇÕES – V1.1x D



ALERTAS DE SEGURANÇA

Os símbolos abaixo são usados no equipamento e ao longo deste manual para chamar a atenção do usuário para informações importantes relacionadas com segurança e o uso do equipamento.

CUIDADO: Leia o manual completamente antes de instalar e operar o equipamento	CUIDADO OU PERIGO: Risco de choque elétrico

Todas as recomendações de segurança que aparecem neste manual devem ser observadas para assegurar a segurança pessoal e prevenir danos ao instrumento ou sistema. Se o instrumento for utilizado de uma maneira distinta à especificada neste manual, as proteções de segurança do equipamento podem não ser eficazes.

INSTALAÇÃO / CONEXÕES

O controlador deve ser fixado em painel, seguindo a seqüência de passos abaixo:

- Fazer um recorte de 46 x 46 mm no painel;
- Retirar a presilha de fixação do controlador;
- Inserir o controlador no recorte pelo frontal do painel;
- Recolocar a presilha no controlador pressionando até obter uma firme fixação.

CONEXÕES ELÉTRICAS

A disposição dos recursos no painel traseiro do controlador é mostrada na Fig. 01:

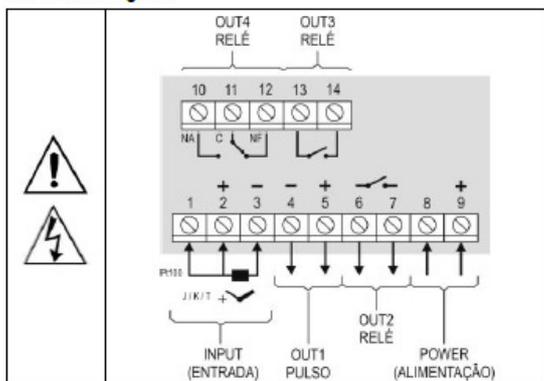


Fig. 01 - Conexões das entradas, saídas e alimentação

RECOMENDAÇÕES PARA A INSTALAÇÃO

- Condutores de sinais de entrada devem percorrer a planta separados dos condutores de saída e de alimentação, se possível em eletrodutos aterrados.
- A alimentação dos instrumentos eletrônicos deve vir de uma rede própria para instrumentação.
- É recomendável o uso de FILTROS RC (supressor de ruído) em bobinas de contactoras, solenóides, etc.
- Em aplicações de controle é essencial considerar o que pode acontecer quando qualquer parte do sistema falhar. Os dispositivos internos do controlador não garantem proteção total.

RECURSOS

ENTRADA DE SINAL (INPUT)

O tipo de entrada a ser utilizado pelo controlador é definido na configuração do equipamento. A Tabela 01 apresenta as opções de entrada disponíveis ao usuário, dentre as quais uma deve ser selecionada durante a configuração do controlador.

TIPO	CÓDIGO	FAIXA DE MEDIÇÃO
Termopar J	tc J	Faixa: -110 a 950 °C (-166 a 1742 °F)
Termopar K	tc K	Faixa: -150 a 1370 °C (-238 a 2498 °F)
Termopar T	tc t	Faixa: -160 a 400 °C (-256 a 752 °F)
Pt100	Pt	Faixa: -200 a 850 °C (-328 a 1562 °F)

Tabela 01 - Tipos de entradas

SAÍDAS

O controlador possui dois, três ou quatro canais de saída, de acordo com o modelo solicitado. Estes canais devem ser configurados pelo usuário para operarem como **Saída de Controle**, **Saída de Alarme 1**, **Saída de Alarme 2**, **Saída de Alarme 1 e 2** e ainda executar a função **LBD** (descrita mais adiante neste manual).

- SAÍDA OUT1 - Saída tipo pulso de tensão elétrica, 5 Vcc / 25 mA. Disponível nos terminais 4 e 5 do controlador.
- SAÍDA OUT2 - Relé SPST-NA. Disponível nos terminais 6 e 7 do controlador.
- SAÍDA OUT3 - Relé SPST-NA. Disponível nos terminais 13 e 14 do controlador.
- SAÍDA OUT4 - Relé SPDT. Disponível nos terminais 10, 11 e 12 do controlador.

SAÍDA DE CONTROLE

A Saída de Controle do processo pode operar em modo **ON/OFF** ou em modo **PID**. Para operar em modo **ON/OFF**, o valor definido no parâmetro **Pb** deve ser **0.0**. Os valores para os parâmetros do PID podem ser definidos automaticamente com a auxílio da Sintonia Automática (**ALtun**).

SAÍDA DE ALARME

O controlador possui dois alarmes que podem ser direcionados para quaisquer dos canais de saída. Esses alarmes podem ser configurados para operar as diferentes funções descritas na Tabela 02.

oFF	Alarme desligado.	
Lo	Alarme de Valor Mínimo Absoluto. Liga quando o valor da PV (temperatura) estiver abaixo do valor definido pelo Setpoint de alarme (SPA1 ou SPA2).	
Hi	Alarme de Valor Máximo Absoluto. Liga quando o valor da PV estiver acima do valor definido pelo Setpoint de alarme.	
dIF	Alarme de Valor Diferencial. Nesta função os parâmetros "SPA1" e "SPA2" representam erros (diferença) entre PV e SP de CONTROLE.	
dIFL	Alarme de Valor Diferencial Mínimo. Dispara quando o valor de PV estiver abaixo do ponto definido por SP-SPA1 (utilizando alarme 1 como exemplo).	
dIFH	Alarme de Valor Diferencial Máximo. Dispara quando o valor de PV estiver acima do ponto definido por SP+SPA1 (utilizando alarme 1 como exemplo):	
IErr	Alarmes de Sensor Aberto (Sensor Break Alarm). Atua quando a Entrada apresenta problemas como sensor rompido, mal conectado, etc.	

Tabela 02 – Funções de alarme

Nota: As figuras também são válidas para o Alarme 2 (SPA2).

BLOQUEIO INICIAL DE ALARME

A opção de **bloqueio inicial** inibe o acionamento do alarme caso exista uma condição de alarme no processo no momento em que o controlador é ligado. O alarme somente é habilitado após o processo passar por uma condição de não-alarme.

O bloqueio inicial é útil, por exemplo, quando um dos alarmes está configurado como alarme de valor mínimo, o que pode causar o acionamento do alarme logo na partida do processo; comportamento muitas vezes indesejado.

O bloqueio inicial não é válido para a função **IErr** (Sensor Aberto).

OFFSET

Recurso que possibilita ao usuário realizar pequeno ajuste na indicação de PV. Permite corrigir erros de medição que aparecem, por exemplo, na substituição do sensor de temperatura.

FUNÇÃO LBD – LOOP BREAK DETECTION

O parâmetro **LbdT** define um intervalo de tempo máximo, em minutos, para que PV reaja ao comando da saída de controle. Se PV não reage minimamente e adequadamente ao longo deste intervalo, o controlador sinaliza em seu display a ocorrência do evento LBD, que indica problemas no laço (loop) de controle.

O evento LBD pode também ser direcionado para um dos canais de saída do controlador. Para isso, basta configurar o canal de saída desejado com a função **Ldb** que, na ocorrência deste evento, é acionada.

Com valor 0 (zero) esta função fica desabilitada.

Esta função permite ao usuário detectar problemas na instalação, como por exemplo, atuador com defeito, falha na alimentação elétrica da carga, etc.

FUNÇÃO SAÍDA SEGURA NA FALHA DO SENSOR

Função que coloca a saída de controle em uma condição segura para o processo, quando um erro na entrada de sensor é identificado.

Com uma falha identificada no sensor, o controlador determina para a saída de controle o valor percentual definido no parâmetro **IEou**. O controlador permanecerá nesta condição até que a falha no sensor desapareça. Quando em modo ON/OFF os valores para **IEou** são apenas 0 e 100 %. Com controle em modo PID qualquer valor entre 0 e 100 % é aceito.

OPERAÇÃO

O painel frontal do controlador, com seus elementos, pode ser visto na Fig. 02:



Fig. 02 - Identificação das partes do painel frontal

Display: Apresenta a variável medida, símbolos dos parâmetros de configuração e seus respectivos valores/condições.

Sinalizador TUNE: ligado enquanto o controlador está em processo de sintonia.

Sinalizador OUT: sinaliza o estado instantâneo da(s) saída(s) de controle.

Sinalizadores A1 e A2: sinalizam a ocorrência de uma condição de alarme.

Tecla P: Tecla utilizada para avançar aos sucessivos parâmetros e ciclos de parâmetros.

Tecla de incremento e Tecla de Decremento: Estas teclas permitem alterar os valores dos parâmetros.

Tecla de retrocesso: Tecla utilizada para retroceder parâmetros durante a configuração.

INICIALIZAÇÃO

Ao ser energizado, o controlador apresenta nos primeiros 3 segundos o número da sua versão de *software* presente, então passa a apresentar no display superior o valor da variável de processo (PV) medido (temperatura). No display inferior é apresentado o valor de SP. Esta é a **Tela de Indicação**.

Para ser utilizado em um processo, o controlador necessita ser configurado previamente. A configuração consiste na definição de cada um dos diversos parâmetros apresentados. O usuário deve entender a importância de cada parâmetro e, para cada um, determinar uma condição válida ou um valor válido.

Os parâmetros de configuração estão reunidos em grupos de afinidades, chamados ciclos de parâmetros. Os 5 ciclos de parâmetros são:

1 – Operação / 2 – Sintonia / 3 – Alarmes / 4 – Entrada / 5 – Calibração

A tecla **P** dá acesso aos ciclos e aos parâmetros destes ciclos:

Mantendo pressionada a tecla **P**, a cada 2 segundos o controlador salta de um ciclo a outro, apresentando o primeiro parâmetro de cada ciclo:

PV >> Rctun >> FunR1 >> tYPE >> PASS >> PV ...

Para entrar no ciclo desejado, basta soltar a tecla **P** quando seu primeiro parâmetro é apresentado. Para avançar sobre os parâmetros desse ciclo, utilizar a tecla **P** com toques curtos. Para retroceder parâmetros, utilizar a tecla **◀**.

Cada parâmetro tem seu símbolo apresentado no display superior enquanto seu respectivo valor/condição é apresentado no display inferior.

Em função da Proteção da Configuração adotada, o parâmetro **PASS** é apresentado como primeiro parâmetro do ciclo onde inicia a proteção. Ver capítulo **Proteção de Configuração**.

DESCRIÇÕES DOS PARÂMETROS

CICLO DE OPERAÇÃO

PV + SP	Tela Indicação de PV . No display superior (vermelho) o valor da variável medida (PV) temperatura é apresentado. No display inferior (verde), é mostrado o valor de Setpoint (SP) de controle.
SPR1 SPR2	SP de Alarme: Valor que define o ponto de atuação das saídas de alarme. Para os alarmes programados com as funções do tipo Diferencial , estes parâmetros definem desvios. Para a função de alarme IErr este parâmetro não é utilizado. Parâmetros mostrados neste ciclo apenas quando habilitados nos parâmetros SP1E e SP2E .

CICLO DE SINTONIA

Rctun <i>Auto-tune</i>	AUTO-TUNE : Habilita a sintonia automática dos parâmetros PID (Pb , Ir , dt). Consultar o capítulo Determinação dos Parâmetros PID neste manual e no website www.novus.com.br para mais detalhes. OFF - Sintonia automática desligada FRSt - Executar a sintonia em modo rápido FULL - Executar a sintonia em modo preciso
Pb <i>Proporcional Band</i>	Banda Proporcional - Valor do termo P do modo de controle PID, em percentual da faixa máxima do tipo de entrada. Ajustável entre 0 e 500.0 %. Quando em 0.0 (zero), determina modo de controle ON/OFF.
Ir <i>Integral Rate</i>	Taxa Integral - Valor do termo I do modo de controle PID, em repetições por minuto (Reset). Ajustável entre 0 e 99.99. Apresentado apenas se banda proporcional ≠ 0.
dt <i>Derivative Time</i>	Tempo Derivativo - Valor do termo D do modo de controle PID, em segundos. Ajustável entre 0 e 300.0 segundos. Apresentado apenas se banda proporcional ≠ 0.
CL <i>Cycle Time</i>	Tempo do Ciclo PWM - Valor em segundos do período do ciclo PWM do controle PID. Ajustável entre 0.5 e 100.0 segundos. Apresentado apenas se banda proporcional ≠ 0.
HYSL <i>Hysteresis</i>	Histerese de controle - Valor da histerese para controle ON/OFF. Ajustável entre 0 e a largura da faixa de medição do tipo de entrada selecionado.

RCL <i>Action</i>	Lógica de Controle: rE Controle com Ação Reversa . Própria para aquecimento . Liga saída de controle quando PV está abaixo de SP. dIr Controle com Ação Direta . Própria para refrigeração . Liga saída de controle quando PV está acima de SP.
SFSL <i>Softstart</i>	Função SoftStart – Intervalo de tempo, em segundos, durante o qual o controlador limita a velocidade de subida da saída de controle (MV). De 0 a 9999 s. Valor zero (0) desabilita a função Softstart.
Out1 Out2 Out3 Out4	Modo de operação dos canais de saídas OUT1, OUT2, OUT3 e OUT4: oFF - Não utilizada. CLrL - Atua como saída de controle. R1 - Atua como saída de alarme 1. R2 - Atua como saída de alarme 2. RIR2 - Atua como saída de alarmes 1 e 2, simultaneamente. Lbd - Atua como saída para a função LBD.

CICLO DE ALARMES

FunR1 FunR2 <i>Function Alarm</i>	Funções de Alarme. Define as funções dos alarmes entre as opções da Tabela 02 .
SPR1 SPR2	SP de Alarme: Valor que define o ponto de atuação das saídas de alarme. Para os alarmes programados com as funções do tipo Diferencial , estes parâmetros definem desvios. Para a função de alarme IErr este parâmetro não é utilizado.
SP1E SP2E <i>SP Enable</i>	Permite apresentação dos parâmetros SPA1 e SPA2 também no ciclo de operação do controlador. YES - mostra parâmetro SPA1/SPA2 no ciclo de operação no - NÃO mostra parâmetro SPA1/SPA2 no ciclo de operação
BLR1 BLR2 <i>Blocking Alarm</i>	Bloqueio inicial de Alarmes. YES - habilita bloqueio inicial no - inibe bloqueio inicial
HYR1 HYR2 <i>Hysteresis of Alarm</i>	Histerese de Alarme. Define a diferença entre o valor de PV em que o alarme é ligado e o valor em que ele é desligado.
FLSh <i>Flash</i>	Permite sinalizar a ocorrência de condições de alarme fazendo piscar a indicação de PV na tela de indicação. YES - habilita sinalização de alarme piscando PV no - Não habilita sinalização de alarme piscando PV

CICLO DE ENTRADA

tYPE <i>Type</i>	Tipo de Entrada. Seleção do tipo entrada utilizado pelo controlador. Consultar a Tabela 01 .
FLrL <i>Filter</i>	Filtro Digital de Entrada - Utilizado para melhorar a estabilidade do sinal medido (PV). Ajustável entre 0 e 20. Em 0 (zero) significa filtro desligado e 20 significa filtro máximo. Quanto maior o filtro, mais lenta é a resposta do valor medido.
dPPo <i>Decimal Point</i>	Determina a apresentação de ponto decimal.
un1t <i>Unit</i>	Define a unidade de temperatura a ser utilizada: C - indicação em Celsius. F - indicação em Fahrenheit.

OFF5 <i>Offset</i>	Parâmetro que permite ao usuário fazer correções no valor de PV indicado.
SPLL <i>SP Low Limit</i>	Define o limite inferior para ajuste de SP. Para o tipo de entrada 0-50 mV, este parâmetro define o limite inferior da escala de indicação desta entrada.
SPHL <i>SP High Limit</i>	Define o limite superior para ajuste de SP.
LbdL <i>Loop break detection time</i>	Intervalo de tempo da função LBD. Intervalo de tempo máximo para a reação de PV a comandos da saída de controle. Em minutos.
IEou	Valor percentual a ser aplicado à saída quando ocorrer uma falha no sensor conectado a entrada do controlador.

CICLO DE CALIBRAÇÃO

Todos os tipos de entrada são calibrados na fábrica. Se necessária uma recalibração, esta deve ser realizada por um profissional especializado. Se este ciclo for acessado acidentalmente, não promover alterações em seus parâmetros.

PR55	<i>Password</i> . Entrada da Senha de Acesso. Este parâmetro é apresentado antes dos ciclos protegidos. Ver tópico Proteção da Configuração.
CAL Ib	<i>Calibration</i> . Habilita a possibilidade de calibração do controlador. Quando não habilitada a calibração os parâmetros relacionados são ocultados.
InLC	<i>Input Low Calibration</i> . Declaração do sinal de calibração de início da faixa aplicado na entrada analógica.
InHC	<i>Input High Calibration</i> . Declaração do sinal de calibração de fim da faixa aplicado na entrada analógica.
r5tr	<i>Restore</i> . Resgata as calibrações de fábrica de entrada, desconsiderando toda e qualquer alteração realizada pelo usuário.
CJ	<i>Cold Junction</i> . Temperatura de junta fria do controlador.
PR5C	<i>Password Change</i> . Permite definir uma nova senha de acesso, sempre diferente de zero.
Prot	<i>Protection</i> . Estabelece o Nível de Proteção. Ver Tabela 04.
FrE9	<i>Frequency</i> . Freqüência da rede elétrica local.

PROTEÇÃO DE CONFIGURAÇÃO

O controlador permite a proteção da configuração elaborada pelo usuário, impedindo alterações indevidas. O parâmetro **Proteção (Prot)**, no ciclo de Calibração, determina o nível de proteção a ser adotado, limitando o acesso aos ciclos, conforme tabela abaixo.

Nível de proteção	Ciclos protegidos
1	Apenas o ciclo de Calibração é protegido.
2	Ciclos de Entrada e Calibração estão protegidos.
3	Ciclos de Alarmes, Entrada e Calibração estão protegidos.
4	Ciclos de Sintonia, Alarmes, Entrada e Calibração estão protegidos.
5	Todos os ciclos, exceto a tela de SP no ciclo de operação são protegidos.
6	Todos os ciclos inclusive SP estão protegidos.

Tabela 04 – Níveis de Proteção da Configuração

SENHA DE ACESSO

Os ciclos protegidos, quando acessados, solicitam ao usuário a **Senha de Acesso** que, se inserida corretamente, dá permissão para alterações na configuração dos parâmetros destes ciclos. A senha de acesso é inserida no parâmetro **PR55** que é mostrado no primeiro dos ciclos protegidos. Sem a senha de acesso, os parâmetros dos ciclos protegidos podem ser apenas visualizados.

A senha de acesso é definida pelo usuário no parâmetro Password Change (**PR5C**), presente no ciclo de Calibração. **Os controladores saem de fábrica com a senha de acesso definida como 1111.**

PROTEÇÃO DA SENHA DE ACESSO

O controlador prevê um sistema de segurança que ajuda a prevenir a entrada de inúmeras senhas na tentativa de acertar a senha correta. Uma vez identificada a entrada de 5 senhas inválidas consecutivas, o controlador deixa de aceitar senhas durante 10 minutos.

SENHA MESTRA

No eventual esquecimento da senha de acesso, o usuário pode utilizar o recurso da Senha Mestra. Esta senha quando inserida, dá acesso com possibilidade de alteração do parâmetro Password Change (**PR5C**) permitindo ao usuário a definição de uma nova senha de acesso para o controlador.

A senha mestra é composta pelos três últimos dígitos do número de série do controlador **somados** ao número 9000.

Como exemplo, para o equipamento com número de série 07154321, a senha mestra é 9321.

O número de série do controlador pode ser obtido pressionando  por 5 segundos.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PID

Durante a sintonia automática o processo é controlado em modo ON/OFF no setpoint (SP) programado. A auto-sintonia pode levar muitos minutos para ser concluída em alguns processos. O procedimento recomendado para sua execução é:

- Ajustar o valor de SP desejado para o processo.
- Habilitar a sintonia automática na tela **“Auto”** selecionando **FAST** ou **FULL**.

A opção FAST executa a sintonia em um tempo mínimo possível enquanto a opção FULL prioriza uma sintonia mais precisa.

Durante a sintonia automática o sinalizador TUNE permanece acesso no frontal do controlador. O usuário deve aguardar o fim da sintonia para então utilizar o controlador.

Durante a execução da sintonia automática, oscilações de PV podem ser induzidas no processo em torno do setpoint.

Se a sintonia não resultar em controle satisfatório, a **Tabela 05** apresenta orientação em como corrigir o comportamento do processo.

PARÂMETRO	PROBLEMA VERIFICADO	SOLUÇÃO
Banda Proporcional	Resposta lenta	Diminuir
	Grande oscilação	Aumentar
Taxa de Integração	Resposta lenta	Aumentar
	Grande oscilação	Diminuir
Tempo Derivativo	Resposta lenta ou instabilidade	Diminuir
	Grande oscilação	Aumentar

Tabela 05 - Orientação para ajuste manual dos parâmetros PID

Consultar website www.novus.com.br para mais detalhes.

MANUTENÇÃO

PROBLEMAS COM O CONTROLADOR

Erros de ligação e programação inadequada representam a maioria dos problemas apresentados na utilização do controlador. Uma revisão final pode evitar perdas de tempo e prejuízos.

O controlador apresenta algumas mensagens que tem o objetivo de auxiliar o usuário na identificação de problemas.

MENSAGEM	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA
----	Entrada aberta. Sem sensor ou sinal.
<i>Err1</i> <i>Err6</i>	Problemas de conexão e/ou configuração. Revisar as ligações feitas e a configuração.

Outras mensagens de erro mostradas pelo controlador representam danos internos que implicam necessariamente no envio do equipamento para a manutenção.

CALIBRAÇÃO DA ENTRADA

Consultar website www.novus.com.br para mais detalhes.

IDENTIFICAÇÃO

N1040 – PR – F	Versão básica. Duas saídas OUT1= pulso / OUT2= relé - alimentação ampla: 100 a 240 Vca 24 a 240 Vcc
N1040 – PRR	Modelo com expansão. Três saídas OUT1= pulso / OUT2 e OUT3= relé
N1040 – PRRR	Modelo com expansão. Quatro saídas OUT1= pulso / OUT2, OUT3 e OUT4= relé

ESPECIFICAÇÕES

DIMENSÕES: 48 x 48 x 80 mm

Peso Aproximado: 75 g

ALIMENTAÇÃO: 100 a 240 Vca ($\pm 10\%$), 50/60 Hz

..... 48 a 240 Vcc ($\pm 10\%$)

..... 24 a 240 Vcc ($\pm 10\%$) para modelo N1040-PR-F

Consumo máximo: 6 VA

CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

Temperatura de Operação: 0 a 50 °C

Umidade Relativa: 80 % @ 30 °C

Para temperaturas maiores que 30 °C, diminuir 3 % por °C

Uso interno; Categoria de instalação II, Grau de poluição 2;
altitude < 2000 metros

ENTRADA Termopares J, K, T e Pt100 (conforme Tabela 01)

Resolução Interna: 32767 níveis (15 bits)

Resolução do Display: 12000 níveis (de -1999 até 9999)

Taxa de leitura da entrada: até 55 por segundo

Precisão: Termopares J, K, T: 0,25 % do span ± 1 °C

..... Pt100: 0,2 % do span

Impedância de entrada: Pt100 e termopares: > 10 M Ω

Medição do Pt100: Tipo 3 fios, ($\alpha=0,00385$)

Com compensação de comprimento do cabo, corrente de excitação de 0,170 mA.

SAÍDA OUT1: Pulso de tensão, 5 V / 25 mA

SAÍDA OUT2: Relé SPST; 1,5 A / 240 Vca / 30 Vcc

SAÍDA OUT3: Relé SPST; 1,5 A / 240 Vca / 30 Vcc

SAÍDA OUT4: Relé SPDT; 3 A / 240 Vca / 30 Vcc

PAINEL FRONTAL: IP65, Policarbonato (PC) UL94 V-2

GABINETE: IP30, ABS+PC UL94 V-0

COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA: EN 61326-1:1997 e EN 61326-1/A1:1998

EMISSION: CISPR11/EN55011

IMUNIDADE: EN61000-4-2, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-8 e EN61000-4-11

SEGURANÇA: EN61010-1:1993 e EN61010-1/A2:1995

CONEXÕES PRÓPRIAS PARA TERMINAIS TIPO PINO;

CICLO PROGRAMÁVEL DE PWM DE 0.5 ATÉ 100 SEGUNDOS;

INICIA OPERAÇÃO APÓS 3 SEGUNDOS DE ALIMENTADO;

CERTIFICAÇÃO: 

INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA

Projetos de sistema de controle devem levar em conta que qualquer parte do sistema tem o potencial de falha. Este produto não é um dispositivo de segurança ou proteção e seus alarmes internos não provêm proteção em caso de sua falha. Dispositivos de segurança externos devem ser previstos sempre que houver risco a pessoas ou patrimônio.

O desempenho e especificações deste produto podem ser afetados pelo seu ambiente de operação e instalação. É responsabilidade de usuário garantir o adequado aterramento, blindagem, roteamento de cabos e filtragem de ruídos elétricos, seguindo as normas locais e boas práticas de instalação e compatibilidade eletromagnética.

SUORTE E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Este produto não contém qualquer peça passível de reparação. Contate nosso representante local para obter serviço autorizado. Para solução de problemas visite nossa FAQ em www.novus.com.br.

GARANTIA LIMITADA E LIMITAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

A NOVUS garante ao comprador de origem que este produto é livre de defeitos de matéria prima e fabricação sob uso e serviços normais dentro de 1 (um) ano a partir da data de expedição da fábrica ou de seu canal oficial de vendas para o comprador de origem.

A responsabilidade da NOVUS durante o período de garantia restringe-se ao custo da correção do defeito apresentado pelo equipamento ou sua substituição, e termina juntamente com o prazo de garantia.

Para informações completas sobre garantia e limitações de responsabilidade, verificar a seção em nosso web site www.novus.com.br.

ANEXO E – RELÉ SSR 2510

www.novus.com.br



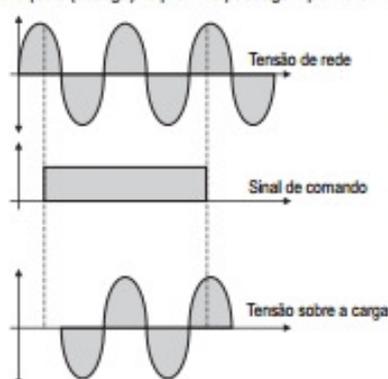
CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Os Relés de Estado Sólido são dispositivos eletrônicos usados no acionamento de cargas resistivas ou indutivas com inúmeras vantagens sobre os convencionais relés eletromecânicos. Um sinal de comando (INPUT) determina o acionamento da carga através dos terminais de saída (OUTPUT).

.Sem ruído elétrico, faiscamento ou desgaste mecânico. Sinalizador luminoso (LED) indicador de estado ligado ou desligado. Circuito interno de proteção (Snubber) da saída. Zero Crossing, liga em zero Volt, desliga em zero Ampère. Isolação ótica entre comando e potência.

FUNCIONAMENTO

Ao receber um sinal de comando em seus terminais de entrada (INPUT), o SSR conduz (liga) e alimenta a carga. A condução acontece efetivamente na próxima passagem por zero da tensão de rede. No desligamento acontece o mesmo. O sinal de comando é retirado, porém o SSR somente bloqueia (desliga) na próxima passagem por zero.



Isto implica em atrasos nunca superiores a 8,3 milissegundos entre o instante de disparo do comando LIGA/DESLIGA e a efetiva alimentação/desalimentação da carga.

O fato de ligar e desligar a alimentação da carga sempre em um cruzamento por zero da tensão de rede trás vantagens importante para instalação. Praticamente não são geradas interferências elétricas na instalação e o SSR não é submetido a condições severas de chaveamento.

Outra implicação é a impossibilidade de chavear tensão contínua (DC), somente tensão alternada (AC).

CONEXÕES ELÉTRICAS

São duas ligações necessárias: Sinal de comando e ligação com a carga. Na ligação com a carga, um fusível ultra-rápido deve ser utilizado para proteger a instalação. Terminais bem fixados e fios adequados ajudam na eficiência de instalação

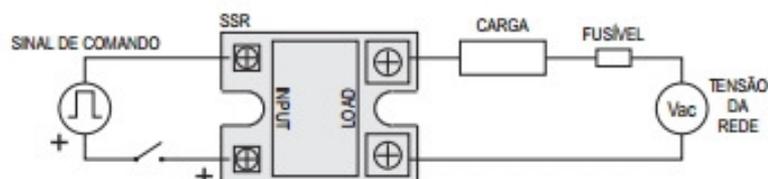


Fig 1 - Conexões elétricas

ESPECIFICAÇÕES

Parâmetro	Unidade	Modelo					
		SSR 2510 SSR 4810	SSR 2525 SSR 4825	SSR 2540 SSR 4840	SSR 4860	SSR 4880	SSR 48100
Corrente de carga (I _L)	A rms	10	25	40	60	80	100
Tensão de Chaveamento	V rms	50 a 250 (25XX) / 75 a 480 (48XX)			40 a 480		
Queda de tensão (V _{SSR})	V rms	1,1 a 1,5			1,6 a 1,8		
Corrente de fuga	mA rms	< 5 (25XX) / < 14 (48XX)			< 5		
Frequência	Hz	47 a 70			47 a 63		
divót	W _{fus}	50 a 200			300		
Tensão de controle	Vcc	4 a 32			3 a 32		
Corrente de controle	mAcc	5 a 12			6 a 25		
Tempo comutação	ms	< 10			< 10		
Disparo		Cruzamento por zero			Cruzamento por zero		
Isolamento	V rms	4000			2000		
Temperatura carcaça	°C	-30 a 80			-40 a 80		