



Monitoramento microcontrolado do estado das resistências de aquecimento de injetoras por moldagem

Microcontrolled Monitoring the State of Heating Elements of Injection moulding Machine

Willian Rodrigues de Paula and Sergio Luiz Stevan Jr.

Resumo – O processo de moldagem de polímeros por injeção fundamenta-se pelo controle de pressão do polímero e da temperatura dos moldes. A falha de alguns dos elementos de aquecimento resulta em falha de processo e perda de qualidade das peças produzidas e a identificação destas falhas podem demorar, gerando descartes. Este artigo aborda um sistema microcontrolador baseado na plataforma Arduino para monitorar as grandezas elétricas resistivas dos moldes e realizar o bloqueio da máquina, proporcionando identificação imediata do problema, reduzindo perdas de produção e agilizando o processo de manutenção das máquinas.

Palavras-chave — Injeção por moldagem, Resistências elétricas, monitoramento, bloqueio

Abstract– The injection molding process is based on the pressure control of the polymer and the temperature of the molds. Failure of some of the heating elements results in process failure and loss of quality of the produced parts, and the identification of these failures may be slow, generating discards. This paper discusses a microcontrolled system based on the Arduino platform, to monitor the resistive electrical magnitudes of the molds and, in case of fail, generate alarm and to block the machine operation, providing immediate identification of the problem, reducing production losses and streamlining the process of machine maintenance..

Index Terms— Injection molding, Electrical resistors, monitoring, blocking.

W. R. de Paula, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil, willian.302@gmail.com

S. L. S. Junior, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil, sstevanjr@utfpr.edu.br

I. INTRODUÇÃO

A automação industrial vem ao longo dos tempos proporcionando o aumento do desempenho de máquinas e equipamentos, através melhor conhecimento de plantas industriais, controle e otimização dos processos como um todo.

Durante século XVIII, James Watts através de seu desenvolvimento impulsionou o início dos sistemas automáticos através do desenvolvimento das máquinas a vapor, em uma época conhecida como revolução industrial. Com passar dos anos obteve-se um aumento significativo das indústrias, através da descoberta de novas fontes de energia e a troca do ferro pelo aço, tornando o setor industrial subdesenvolvido na Europa e América do Norte. Através do desenvolvimento com o crescimento das indústrias surgiram os primeiros relés eletromecânicos quando aprimorou o processo das indústrias na II revolução industrial [1].

Na década de 70 surgiram os microcontroladores, quando difundiu-se o desenvolvimento de importantes circuitos eletrônicos como os microprocessadores. A partir disso com a evolução da tecnologia outras companhias desenvolveram seus próprios microcontroladores, ampliando a disponibilidade e diminuindo o custo no mercado [2].

Desde o desenvolvimento das máquinas de injeção por moldagem no século XIV, o processo de injeção de plástico tem sofrido evolução. No início, a produção de peças moldadas sofria com falta de padronização, mão de obra não qualificada e pouco controle no processo como um todo. Com o passar dos

tempos, a necessidade de melhoria do produto final fez com que investimentos se concentrassem principalmente na automatização e controle de todo o processo, proporcionando melhoria em qualidade, acabamento e quantidade de produção [3].

Neste cenário, este artigo apresenta uma breve descrição dos processos de injeção de plásticos que existem. Posteriormente, apresenta-se um estudo de caso, em que uma falha no processo é identificada. Baseado nesta falha descreve-se a necessidade de monitoramento de algumas grandezas elétricas e o projeto desenvolvido para este fim, baseado na escolha de dispositivos de baixo custo e de rápida prototipagem, como a plataforma Arduino e placas com conexões padronizadas chamadas de escudos (*Shields*).

II. MOLDAGEM POR INJEÇÃO

As primeiras máquinas de moldagem por injeção tiveram como base o processo de fundição de moldes, durante o ano de 1878 em Starkey nos Estados Unidos, quando obteve-se o desenvolvimento através da moldagem de nitrato de celulósido realizada por John Hyatt, quando foi criada uma das primeiras máquinas por injeção. O desenvolvimento de Hyatt era formado por um cilindro aquecido com câmaras a vapor e um bico que viabilizava como passagem o material no estado de fundição através de um embolo com acionamento hidráulico. Devido ao nitrato de celulósido apresentar instabilidade, tornou-se viável a instalação de uma prensa vertical, próximo ao seu desenvolvimento passando a injetar o material com a prensa fachada [3].

O desenvolvimento de Hyatt foi à base para a indústria de injeção por moldagem estabelecer sua tecnologia em sistemas de injeção, vindo ao longo dos anos difundindo a melhoria contínua dos processos por injeção através de redução de custo, maiores demandas e satisfação do produto moldado [3].

A. Processo de injeção

A moldagem por injeção abrange um processo cíclico, que proporciona a transformação de materiais termoplásticos e termofixos, no qual o processo executa funções determinadas a todo ciclo, proporcionando três etapas de processo básicas de funcionamento durante o processo cíclico [3].

1) *Plastificação*: Tem características próprias com a função de tornar os materiais termoplásticos ideais a conformação.

2) *Preenchimento pressurização e recalque*: Durante esse processo as máquinas proporcionam a inserção do material dentro do molde até completar os espaços da cavidade, em seguida é submetido a uma pressão até atingir a densidade estabelecida sob as paredes do molde, formando a peça moldada.

3) *Resfriamento*: Destina-se exclusivamente a aplicação dos termoplásticos proporcionando a solidificação dos materiais inseridos no molde, estabilizando o material sob as paredes do molde.

B. Classificação dos Polímeros

1) *Termoplásticos*: Os termoplásticos são polímeros comuns com propriedade plástica, no qual em processo de aquecimento atinge seu estado de amolecimento ou de plastificação, no entanto sob elevada temperaturas pode atingir o estado de degradação, causando a deformação do polímero.

Até através do resfriamento os termoplásticos adquirem propriedades de regeneração de suas moléculas, retornando ao seu estado inicial de polímero, podendo ser reprocessado diversas vezes [4].

2) *Termofixos*: São compostos que reagem ao aumento da temperatura devido às características moleculares serramificadas, adquirindo o desenvolvimento da forma polímera através do calor apresentando um reagente de cura, tornando o polímero endurecido, no qual não pode ser reprocessado novamente devido à composição de suas moléculas [4].

C. Tipos de moldagem

Os Processos por moldagem são caracterizados pelas formas de moldagem utilizadas na conformação do material a ser moldado, classificados em moldagem por injeção, compressão, transferência e sopro, sendo dispostas no processamento de termoplásticos e termofixos.

1) *Moldagem por injeção*: Proporciona o modelo e a textura do produto moldado a partir da inserção do volume a ser dosado de matéria prima plástica, através do cilindro de injeção no molde, obtendo a fusão através do molde fechado sob pressão e posteriormente resfriado até adquirir a solidificação [5], apresentada na Figura 1.

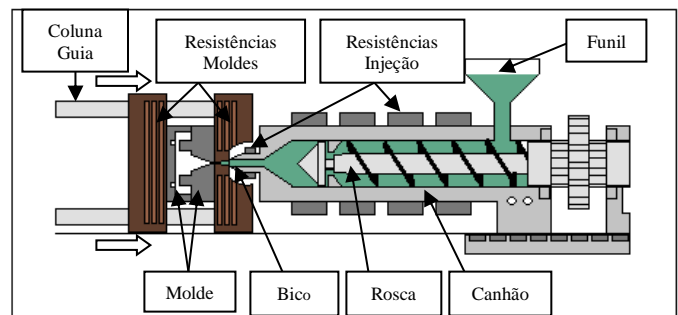


Fig. 1. Injeção por moldagem

2) *Moldagem por compressão*: São processos exclusivos dos materiais termofixos nos quais consistem na inserção de uma quantidade de matéria em pó ou pastilha entre as metades abertas de um molde aquecido, seguido de fechamento por pressão e calor, onde a matéria passa pelo processo de plastificação preenchendo a cavidade e atinge o endurecimento [5], observado na ilustração da Figura 2.

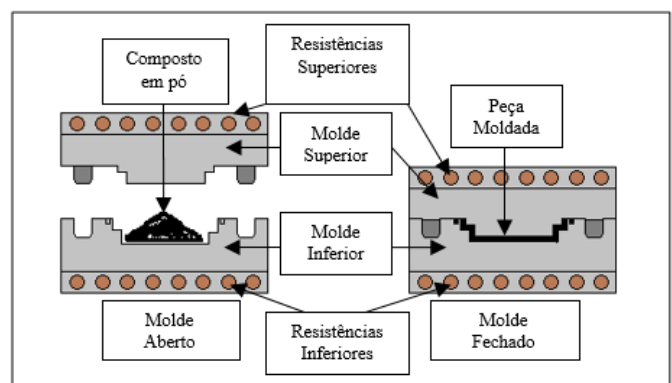


Fig. 2. Moldagem por compressão

3) *Moldagem por transferência*: Apresenta melhor aproveitamento da estrutura molecular dos produtos, tendo uma melhor fluidez do material composto para as cavidades homogeneamente, no qual o composto é primeiramente pré-aquecido até o estado de amolecimento na câmara de carregamento para depois ser depositada das cavidades do molde [5], conforme ilustrado na Figura 3.

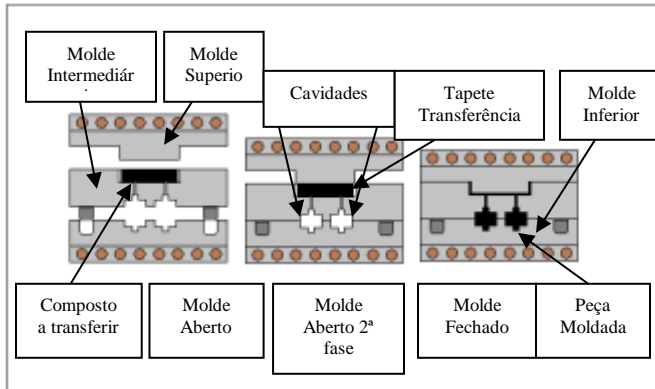


Fig. 3. Moldagem por transferência

4) *Moldagem por extrusão e sopro*: A moldagem por extrusão é exclusiva ao processo dos materiais termoplásticos, a fim de moldar peças ocas e fechadas. Entretanto a extrusora proporciona a fusão do plástico, através do atrito e do aquecimento das resistências, proveniente do uso da matéria prima, sendo posteriormente transportada em forma plastificada por uma rosca, envolvida em um cilindro chegando até o molde passando pelo cabeçote e bocal [6].

O material extrusado ao passar pelo cabeçote e bocal toma forma de uma mangueira, até o volume do material atingir o tamanho ideal, formando um tubo plastificado conhecido como parison, submetido em meio ao molde que posteriormente é fechado e comprimido. Assim, dentro do parison é realizado o sopro aquecido contra as cavidades do molde e resfriado para solidificar a peça moldada antes da extração [7], como é ilustrado na Figura 4.

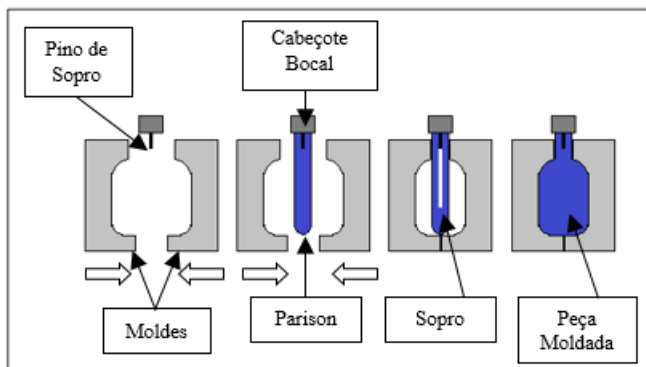


Fig. 4. Moldagem por Extrusão e Sopro

D. Modos de operação

Basicamente existem três modos de operação: automático, semi-automático e manual. O modo automático apresenta todas as sequências do processo no qual são realizadas automaticamente, tendo um novo processo do ciclo sem nenhuma intervenção do operador. O modo semi-automático

realiza todas as sequências do processo de moldagem porém depende do início do próximo ciclo pela intervenção do operador. Enquanto que no modo manual, todas as sequências de operação são realizadas pelo operador.

E. Falhas do Processo de moldagem por injeção

Devido ao contínuo processo de moldagens por injeção de máquinas e equipamentos, o desenvolvimento de falhas no processo atribui diretamente no desperdício e aos refugos impactando diretamente no custo. As falhas no processo são caracterizadas por falhas de matéria prima, processo ou máquina, no qual destacam-se as falhas por falta de preenchimento das peças moldadas, impurezas por sujeira nos moldes, temperaturas e pressões baixas ou elevadas.

As falhas por baixa temperatura no processo são formadas pelo aquecimento irregular das resistências nos moldes, sendo consequência por defeitos no circuito ou de equipamentos, vindo a proporcionar em processo inúmeras peças com porosidade ou baixa rigidez podendo ser visíveis ou não, conforme pode ser visualizado na figura 5.



Fig. 5. Peças moldadas

Em processo das moldagens as variáveis de temperatura são controladas a cada intervalo de tempo de uma hora, realizado visualmente pelos operadores, através da variável medida pelos sensores de temperaturas no molde inferior e superior e através dos sinalizadores digitais caracterizando o aquecimento das resistências. No entanto em qualquer situação de falha do sistema no circuito de aquecimento dos moldes durante o intervalo de controle, o processo continua ativo funcionando normalmente sem qualquer bloqueio e devido à lenta resposta da variável de temperatura medida a falha passa a ser despercebida, ocasionando alguns ciclos com peças moldadas com possíveis defeitos, causadas pelas baixas temperaturas, como mostra a Figura 6.

Neste contexto, o projeto desenvolvido baseia-se no monitoramento das três fases do circuito de aquecimento das resistências inferiores e superiores dos moldes, através de leituras de correntes elétricas e potência consumida por sensores de corrente e tensão elétrica aplicados nos elementos aquecedores. Os parâmetros lidos são constantemente amostrados em uma interface homem-máquina (IHM) em formato de display de 7 seguimentos, sendo conjuntamente ligado a alarmes sonoro e visual do circuito e proporcionando atuação de controle para bloqueio do processo.

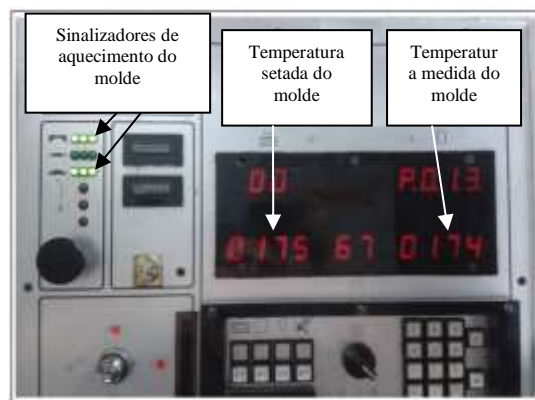


Fig. 6. Monitoramento visual de aquecimento do molde

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma vez caracterizado o problema de falha no aquecimento dos moldes, verificou-se a necessidade de identificação da falha de aquecimento dos elementos resistivos de uma data injetora por um método diferente do padrão dela apresentado pelo fabricante que é o monitoramento da temperatura. Para tal, foi proposto um dispositivo capaz de monitorar as grandezas elétricas (potência e corrente elétrica) de cada conjunto de elementos resistivos de modo a identificar uma falha diretamente no elemento. Portanto, desenvolveu-se um algoritmo capaz de, através destas variáveis, controlar o processo, gerando alarmes sonoros, avisos em texto e bloqueando a máquina, não permitindo que peças sejam injetadas com temperatura diferente da ideal.

A. Sensor de corrente invasivo ACS 712 (20A)

O sensor ACS 712, funciona com princípio do efeito hall, no qual detecta o campo magnético processado pelas correntes alternadas ou contínuas proveniente nos seus pinos de entrada, gerando uma tensão de saída proporcional de 100mV/A, apresenta um circuito entre entrada e saída completamente isolado por opto - isoladores, proporcionando leituras máximas de correntes em -20A a +20A [8], conforme é apresentado na Figura 7. Este modelo de sensor é utilizado interrompendo o circuito e inserindo-o no circuito, o qual foi escolhido devido a apresentar um custo significativamente baixo em relação aos modelos de sensores de corrente não invasivo, mas sem causar prejuízo à aplicação.

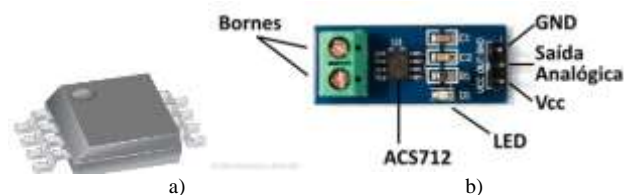


Fig. 7. a) ACS 712; b) Sensor de corrente ACS 712 - (20A)

Fonte: Adaptado de: Arduino e Cia; Datasheet Allegro

B. Atuador

Visando estabelecer um sistema de bloqueio do processo das máquinas de injeção, em paralelo ao sistema de monitoramento das resistências, não permitindo o início subsequente do processo após uma falha detectada pelo monitoramento, optou-se em disponibilizar um módulo relé com alimentação de 5V, propicio a aplicação do projeto

utilizando através do contato normalmente fechado(NC), o bloqueio de sinal da válvula pneumática de fechamento da porta frontal da máquina, no qual é a primeira sequência do processo assim que inicia o ciclo da máquina. Portanto se as correntes monitoras pelos sensores ACS712 forem iguais a 6 amperes e os contatores de aquecimento (KM1 ou KM2) do molde inferior e superior estiverem acionados proporcionando o retorno, o módulo relé permanece desligado mantendo o circuito de fechamento da porta frontal da máquina em condições normais. Porém se as correntes monitoras permanecerem abaixo de 5 amperes e os contatores de aquecimento (KM1 ou KM2) dos moldes inferior e superior der condições de acionamento, o módulo relé é acionado abrindo o circuito de acionamento do fechamento da porta frontal da máquina inibindo o próximo ciclo.

C. Plataforma Arduino

O Arduino apresenta uma plataforma padronizada de prototipagem com característica eletrônica de hardware e um software de códigos aberto, desenvolvido com aquisição de um microcontrolador *ATmel*. Proporciona uma linguagem de programação C++, podendo ser programada em linguagem *Java* e C [9].

No presente projeto foi utilizado o Arduino UNO, devido a sua praticidade e custo benéfico, suas especificações consistem em um microprocessador (ATmega 328), com 14 pinos de entradas/saídas digital, 6 pinos de entrada/saída analógica, tensão de trabalho (5V). Através dos pinos de entrada/saída digital foram utilizadas doze portas para ligação dos dispositivos periféricos do projeto, nas entradas analógicas fez-se o uso das seis portas para leitura dos sensores e consequentemente utilizou-se tensão de (5V) com propósito de alimentar os sensores e o modulo relé, porém fez-se o uso da tensão (3V) para alimentação do IHM.

D. Interface Homem-máquina (IHM)

O display Nokia 5110 é um dispositivo de resolução gráfica de 84 coluna x48 linhas de pixel, gerenciado por um próprio controlador (PCD8544) [10].

A aplicação do display Nokia no projeto contextualizado definiu-se pelo custo e resolução gráfica, no qual através da comunicação com o Arduino utilizaram-se informações das medições de correntes dos circuitos e condições específicas para determinar o status do monitoramento, criando através de intervalos de tempo a mudança de leitura das condições das três fases de aquecimento por corrente e potência das resistências inferiores e superiores.

IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Cada um dos conjuntos resistivos, superior e inferior, são aplicados aos respectivos moldes. Tais conjuntos de resistências distribuídos uniforme proporcionam o aquecimento de uma determinada região do molde por transferência de calor, sendo caracterizada por seis resistências por molde como um todo, no qual cada área do molde é submetida por um conjunto de duas resistências associadas em série, e quando submetidos à tensão de 220Vac, admitem corrente elétrica nominal de 6A por conjunto, permitindo tolerância de (17%) da nominal. Através dos sensores de corrente elétrica é possível avaliar o estado e integridade do conjunto resistivo e ainda fornecer

informações destas grandezas como potências consumidas instantaneamente.

Por meio do monitoramento constante da corrente elétrica, quando a mesma admitir valores menores que a tolerâncias de 17% da corrente nominal, o sistema subentende que algum conjunto resistivo associado interrompeu-se, causando uma variação de temperatura em uma região do molde. Assim um sistema de bloqueio é ativado, atuando como mensagem de texto no IHM como *status* de resistência (aberta) e também um alarme visual e sonoro, conforme ilustrado pelo fluxograma da Figura 8.

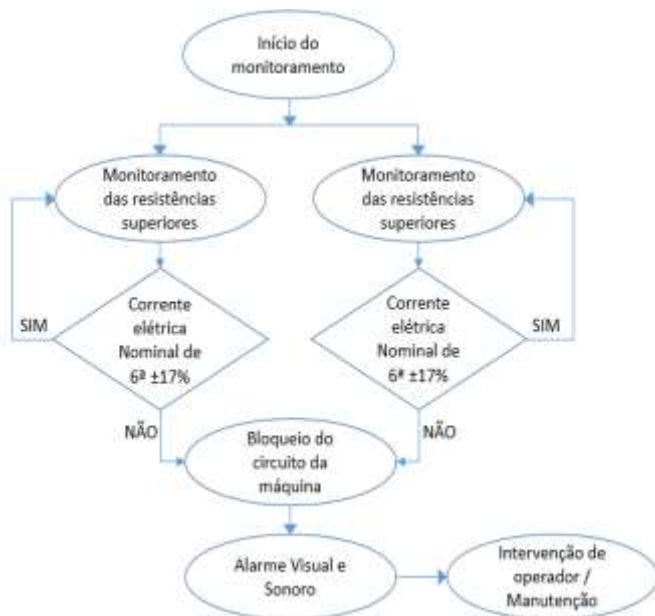


Fig. 8. Fluxograma do Algoritmo de Bloqueio da Máquina

A. Circuito de monitoramento das resistências

Com base no projeto idealizado no artigo proposto foi desenvolvido o circuito elétrico do sistema de aquecimento da máquina de injeção (composto pela aquisição dos contatores de acionamento resistivo dos moldes inferior e superior KM1 e KM2, ligado aos transformadores de corrente (Trafo) que proporcionam a alimentação dos sinalizadores de aquecimento). No entanto desenvolve-se a arquitetura eletrônica de *hardware* abordado no contexto do sistema de monitoramento microcontrolado, integrado ao circuito da máquina injetora, estabelecendo uma forma alternativa de interagir com o sistema dos processos industriais, conforme é apresentado na Figura 9.

B. Shields desenvolvidos

Os *Shields* utilizados no projeto foram desenvolvidos através de placas de circuito impresso ilhadas, sendo separadas em dois grupos de *hardware*, inferior e superior atribuindo uma melhor proporção do *layout* do circuito.

1) *Shield Inferior*: Para desenvolvimento do *shield* inferior foi aplicada a placa de circuito impresso as barras de pinos empilháveis, que formam o elo entre a controladora e o *shield*, utilizou-se o acoplamento dos três sensores de corrente para leitura do circuito das resistências do molde inferior, ligados as entradas analógicas (A0, A1e A2), fez-se por meio de um

buzzer e um *led* à sinalização e o alarme de falha das resistências inferiores do molde ligados as saídas digitais 4 e 13, também optou-se em colocar o IHM, para visualização dos *status* e valores das correntes e potencias atreladas as resistências inferiores e superiores dos *shields*. No entanto permitiu-se o uso de resistores de (220Ω) e (10KΩ), ligados ao *led* de sinalização e ao IHM que dispõe de uma tensão de trabalho inferior a de funcionamento do Arduino para comunicação do sistema, conforme é apresentado na figura 10 a).

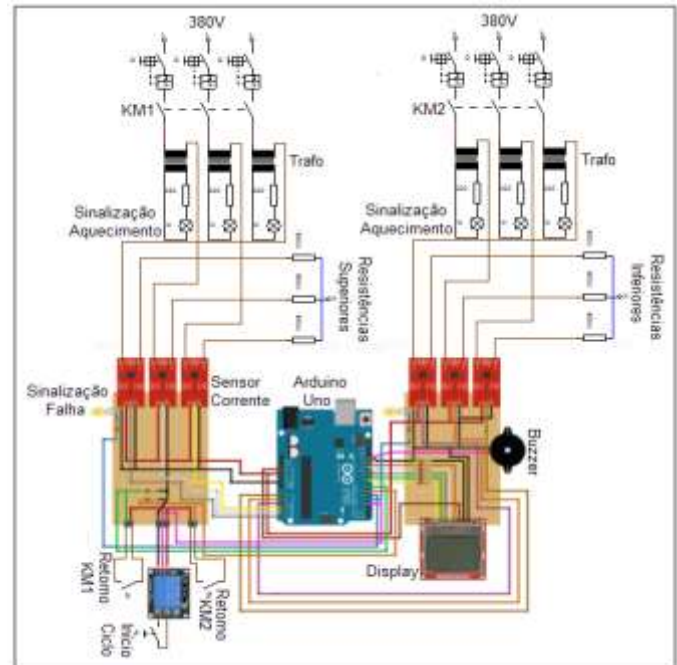


Fig. 9. Circuito de monitoramento das resistências

2) *Shield Superior*: Para o confecção do *shield* superior manteve-se a mesma estrutura física do *shield* inferior, ligados através dos pinos empilháveis formando um barramento, no qual permaneceu o conceito em acoplar os três sensores de corrente, com objetivo de realizar a leitura das correntes das três fases do circuito de aquecimento do molde superior, ligados a entradas analógicas (A3, A4 e A5). Utilizou-se por meio de um *led* de sinalização, ligado a saída digital 5 integrado ao funcionamento do *buzzer*, o alarme de falha das resistências superiores, também optou-se em disponibilizar os conectores ligados as entradas digitais 7 e 6 obtendo o sinal de retorno dos contatores de aquecimento (KM1 e KM2) inferior e superior ligados ou desligados, para consequentemente definir o status no IHM e os alarmes de sinalização sonora. Assim fez-se o uso de dois resistores de (10KΩ), ligados individualmente as entradas digitais 7 e 6 de retorno dos contatores fazendo um *pull-down*, devido algumas das perturbações no nível lógico das entradas digitais. (Obteve-se um conector para alimentação e sinal através da alimentação de (5V) e saída digital 3 para o módulo relé que atuara como bloqueio do processo em situação de falha das resistências do circuito, conforme é ilustrado na Figura 10 b).

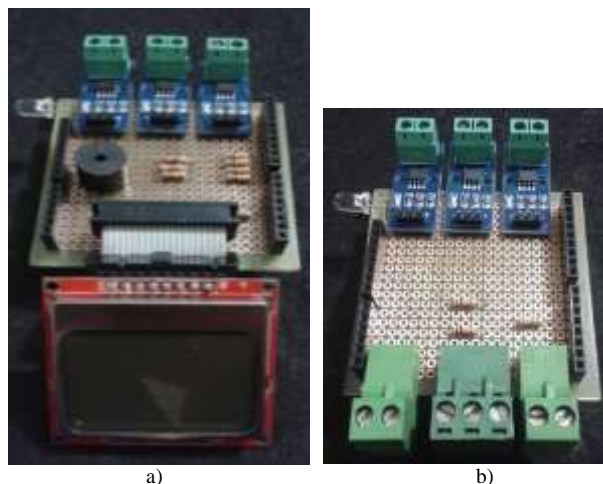


Fig. 10. Shields: a) *Shield Inferior*; e b) *Shield Superior*

V RESULTADOS

Uma vez finalizado o protótipo, o mesmo foi devidamente acoplado a uma máquina de injeção, de modo a que testes fossem realizados.

A Figura 11 ilustra o circuito montado, no qual pode se identificar o sistema de controle principal baseado no Arduino, as duas *shields* compostas pelos sensores, atuadores (relés para intertravamento e bloqueio em situações de falha) e IHM (para ilustrar os valores de potência e corrente nos elementos aquecedores), por fim alarmes sonoro e visual sinalizando os defeitos.

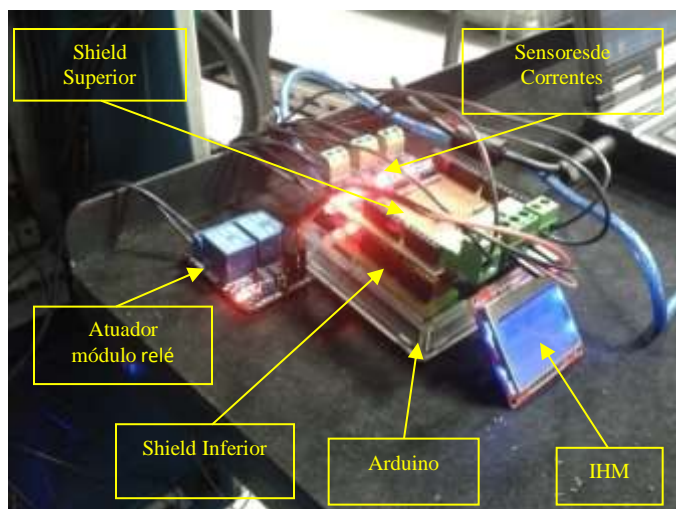


Fig. 11. Protótipo final do circuito de monitoramento das resistências

Durante os testes realizados na máquina de injeção em processo, foi possível monitorar e simular as possíveis condições do circuito. Através das mensagens de texto exibidas na IHM tornou-se possível visualizar os valores de corrente geradas pelas cargas resistivas do molde inferior e superior em condições (ligada), identificada através do *status*, apresentado na Figura 12 a) e b). No entanto permitiu-se monitorar os valores de potência consumida das cargas resistivas do molde superior e inferior com base nas medições de corrente e definição de tensão, mostrado na Figura 12 c).

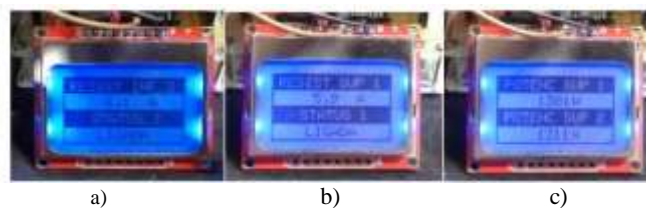


Fig.12. Imagens da IHM, em que: a) Circuito molde inferior; b) Circuito molde superior; e c) Potências

Para monitorar o funcionamento do circuito resistivo dos moldes em condições de regime permanente da temperatura, podem-se visualizar as informações através do IHM com os valores de corrente igual a 0A, agregado ao *status* desligado pertinente ao circuito de aquecimento, conforme é ilustrado na Figura 13 a) e b). Consequentemente os valores indicados pelas potências das cargas resistivas dos moldes permaneceu em 0W, como pode ser observado na Figura 13 c).

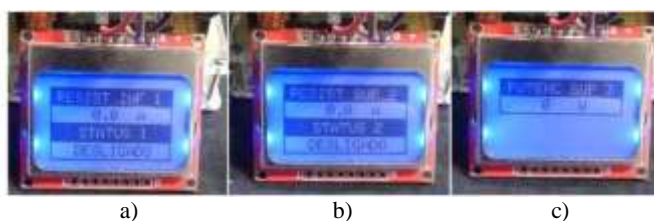


Fig.13. Imagens da IHM, em que: a) Circuito molde inferior; b) Circuito molde superior; e c) Potências

Tornou-se viável com a monitoramento pelo IHM, identificar possíveis falhas no circuito resistivo dos moldes, (informando os valores de corrente e situações dos *status* identificado como resistência aberta), apresentado na Figura 14 a) e b). No entanto os valores de potência adquiriram situações de 0W, em função das correntes medidas, como é mostrado na Figura 14 c).

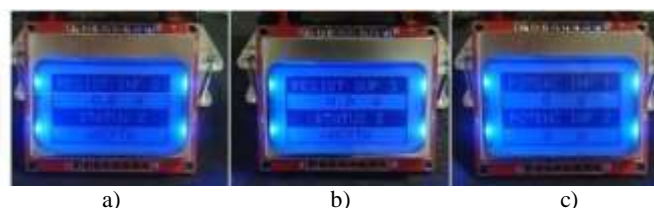


Fig.14. Imagens da IHM, em que: a) Falha no molde inferior; b) Falha no molde inferior; e c) Potências

Entretanto vinculado ao sistema monitorado durante as simulações e testes obteve-se também a visualização através dos *shields* os alarmes de falha do sistema de aquecimento agregados as condições de resistência aberta, identificando qual circuito apresenta falha como é ilustrado na Figura15.



Fig. 15. Alarmes visuais sinalizadores de falha

Como principal consequência da instalação do protótipo, houve o aumento da produtividade do conjunto de máquinas injetoras analisado, uma vez que com ele, foi possível indicar a ocorrência de uma falha de forma imediata, evitando perda de material e demora na substituição dos elementos resistivos. Entretanto, dados estatísticos mais precisos não puderam ser avaliados.

VI. CONCLUSÃO

A falha de sistemas de aquecimento em injetoras por moldagem resulta na perda de produção e descarte de material devido à falta de alteração de temperatura de moldagem e o monitoramento tardio desta grandeza em boa parte das injetoras em operação.

O desenvolvimento do projeto de monitoramento microcontrolado do estado das resistências de aquecimento das injetoras por moldagem, atingiu os objetivos inicialmente idealizados, proporcionando um sistema alternativo às máquinas de processos de injeção por moldagem, com tecnologia limitada, utilizando um sistema convencional para realizar o monitoramento e bloqueio em situação de falha.

Através da plataforma microcontrolada Arduino foi possível desenvolver o projeto e testá-lo de forma fácil, devido sua configuração de prototipagem rápida, proporcionando um protótipo facilmente validado.

Como resultado final, verificou-se a redução de perdas e descartes de produto não conforme e aumento de produtividade pela redução do tempo de identificação de ocorrência de falhas elétricas nos conjuntos resistivos.

REFERÊNCIAS

- [1] DORF, Richard C; KUSIAK, Andrew (ed.). **Handbook of design, manufacturing, and automation**. New York, Wiley 1994.
- [2] REINHARDT, Andreas et al. SmartMeter. KOM: A **Low-cost wireless sensor for distributed power metering**. In: Local Computer Networks (LNC), 2011 IEEE 36th Conference on IEEE, 2011. p. 1032-1039.
- [3] KLEMPNER, Daniel et al. (Ed.). **Handbook of polymeric foams and foam technology**. Munich etc.: Hanser, 1991.
- [4] BLASS, Arno; **Processamento de Polímeros**, 2.ed, Editora da UFSC, Florianópolis 1988.
- [5] ROSATO, Dominick V; ROSATO, Marlene G. **Injection molding handbook**; Springer Science & Business Media, 2000.
- [6] COUTINHO, Fernanda M. B, MELLO, Ivana L, DE SANTA MARIA, L. C. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, V. 13, n. 1, p. 1-13, 2013.
- [7] AWAJA, Firas, PAVEL. Dumitru, **Injection stretch blow moulding process of reactive extruded recycled PET and virgin PET blends**. European Polymer Journal, v 41, n 11, p. 2614-2634, 2005.
- [8] ALLEGRO. **ACS712. Datasheet** Rev. 15 Massachusetts 2013. Acessado em 12 de outubro de 2016 em, <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/168326/ALLEGRO/ACS712.html>
- [9] S. L. STEVAN JR. E R. A. SILVA, **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino, Teoria e Projetos**; Ied. Erica/Saraiva, 2015.
- [10] PHILIPS, Semicondutores. **PCD8544 – 48X84 Pixels Matrix LCD Controller/driver**. 1999. Acessado em 16 de outubro de 2016 em, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/18170/PHILIPS/PCD8544.html>



© 2016 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).