



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

AVANÇO NO PROCESSO DE INJEÇÃO – SENSOR DE PRESSÃO NA CAVIDADE ADVANCES IN THE INJECTION PROCESS - CAVITY PRESSURE SENSOR

Camilo Elesbão de Souza e Silva¹ camilo.silva@mail.usf.edu.br

Lucas Alejandro Diaz¹ lucas.diaz@mail.usf.edu.br

Universidade São Francisco, Bragança Paulista

Marcelo Aparecido Carlos² marcelo.acarlos@usf.edu.br

Universidade São Francisco, Bragança Paulista

Resumo. O avanço da tecnologia relacionada ao processo de injeção de termoplásticos passa por uma grande transformação conceitual, onde processos antes controlados e monitorados em função das respostas da máquina passam a ter como retorno as pressões internas da cavidade como real valor exercido no momento de fabricação do produto. Tal conceito permite maior controle e repetibilidade para obtenção de performances superiores.

Palavras-chave: Capacidade. Processo. Termoplástico. Máquina. Fabricação. Performance. Sensor. Cavidade.

Abstract: The advance of technology related to the thermoplastic injection process is going through a great conceptual transformation, where processes that used to be controlled and monitored based on the machine's responses now have as a feedback the internal pressures of the cavity as the real value made at the moment of the product manufacturing. This concept allows greater control and repeatability to obtain superior performance.

Keywords: Capacity. Process. Thermoplastic. Machine. Manufacturing. Performance. Sensor. Cavity.

1 INTRODUÇÃO

Devido à globalização e o avanço constante dos meios tecnológicos os níveis de concorrência entre indústrias passam a se tornar ainda mais pressionados que no século passado, onde poucas empresas de manufatura detinham o portfólio do conhecimento e se destacavam pelo emprego da tecnologia, muitas vezes de forma pioneira. Amparado pelo desenvolvimento da informática e da sua capacidade de processar e distribuir informações e dados em todo o planeta, este processo adquire uma velocidade incalculável (DAL CIN, 1997).

Já com o crescimento exponencial da tecnologia e busca constante por processos de melhor desempenho que garantam repetibilidade e maiores índices de

qualidade, o desenvolvimento de novas ferramentas e a aplicação de novos conceitos, podem garantir a sobrevivência de uma empresa ou até mesmo o ganho de mercado.

No setor de injeção de termoplástico isso não é diferente, a busca por avanços conceituais de injeção, assim como o emprego da tecnologia nas máquinas e nas linhas de produção são constantemente promovidos por grandes indústrias que buscam se destacar no mercado e apresentar ao cliente novos índices de confiabilidade e flexibilidade de produtos (VAUGHAN, 2003).

O processo de injeção de termoplástico tem passado por constante evolução desde o seu desenvolvimento. As análises e aplicação do método sempre está diretamente ligada a três variáveis fundamentais, sendo elas: Pressão, Temperatura e Velocidade, onde os monitoramentos sempre foram a partir das resultantes demonstradas pela máquina, através de sensores e leitores aplicados na injetora por meio da leitura de resistências, ou monitoramento de pressão na ponta de rosca. De uma forma indireta é possível monitorar as três principais variáveis de um processo de injeção e assim desenvolvê-lo e monitorá-lo de uma melhor forma, buscando o constante controle e índices satisfatórios de repetibilidade (GROLEAU, 2002).

O emprego de sensores de pressão na cavidade do produto a ser injetado é uma busca tecnológica altamente avançada e que permitirá realizar as análises de processo de uma forma direta, através da resultante do processo e não da máquina como feito até hoje. Tal avanço permite que os níveis de controle e repetibilidade tão buscados possam ser altamente elevados assim como os índices de qualidade. Desta forma o método de injeção é alterado, onde seu desenvolvimento e controle passam a ser com base na leitura de uma das principais variáveis, a pressão, porém neste método a pressão a ser monitorada e controlada é a pressão real exercida pelo material na cavidade do produto e no momento da injeção e não mais a pressão resultante do esforço exercido pela máquina (VANDEKERKHOF, 2008).

O problema de pesquisa foi elaborado através da análise comparativa do processo de injeção empregado do método tradicional e sua conversão para o método através da aplicação de sensor de pressão na cavidade, assim alterando os meios de monitoramento e controle de um produto de produção em larga escala. Toda a transformação e análise de dados foram realizadas em uma multinacional localizada no estado de São Paulo. Além de identificar os prós e contras da aplicação do conceito, assim como os ganhos ao processo é fundamental o entendimento da

análise conceitual que foi realizada, as ferramentas que foram empregadas e o conhecimento técnico que passou a ser adquirido com o estudo em andamento e ao finaliza-lo. Portanto a avaliação do desempenho proposto, não deve ser vista apenas como uma melhoria de processo, mas sim como uma mudança conceitual a partir do emprego da tecnologia.

A justificativa em utilizar o controle e monitoramento da pressão na cavidade se dá pelo fato em obter qualidade no produto final, eliminando problemas comuns de injeção como falta de preenchimento, baixa compactação volumétrica, rebarbas, assim como variações dimensionais causadas pela alteração do comportamento do material plástico, onde esses elementos elevam o custo de fabricação, devido à necessidade de alteração do processo ou quando há necessidade do molde passa por manutenções corretivas, gerando muitas vezes grande quantidade de peças refugadas e retrabalhadas. Uma vez que este controle traz segurança e robustez ao processo de injeção, o custo de fabricação tende a baixar, pois a ferramenta ficará por mais tempo em funcionamento durante a fabricação do produto e sem paralizações pelos fatos citados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sensores de Pressão – Sistema nervoso do processo de injeção.

No mundo atual, os fabricantes de moldes para injeção de termoplásticos buscam reinventar seus negócios, a fim de agregar valores exclusivos assim como novos ganhos para seus clientes. A utilização de sensores de pressão na cavidade associada com a compressão de sua utilização pode trazer ao fabricante novas expectativas de negócios e a expansão de seu mercado de atuação. Como qualquer tecnologia pioneira e em curva de ascensão compreender seus detalhes são fundamentais para agregar valor. Visando o desencadear a compressão de sua utilização foi utilizada bases técnicas fornecidas diretamente dos fornecedores e desenvolvedores para dissertação deste artigo, a fim de que ao final de sua leitura possam-se compreender os diferentes tipos e estilos de sensor assim como meios e formas de utilização.

Hoje o fabricante de moldes precisa estar além de desenvolver um molde sólido e resistente, clientes buscam assertividades maiores em termos de contração para

obtenção de produtos com dimensões críticas e que possam ser mantidas ao longo do tempo. É muito comum que o fornecedor de ferramentas não esteja presente integralmente no momento do desenvolvimento do processo de injeção para que possa acompanhar ver e aprender sobre o processo, porém o mesmo é extremamente solicitado a corrigir deficiências de moldagem, muitas das vezes sem saber se o molde realmente foi bem processado.

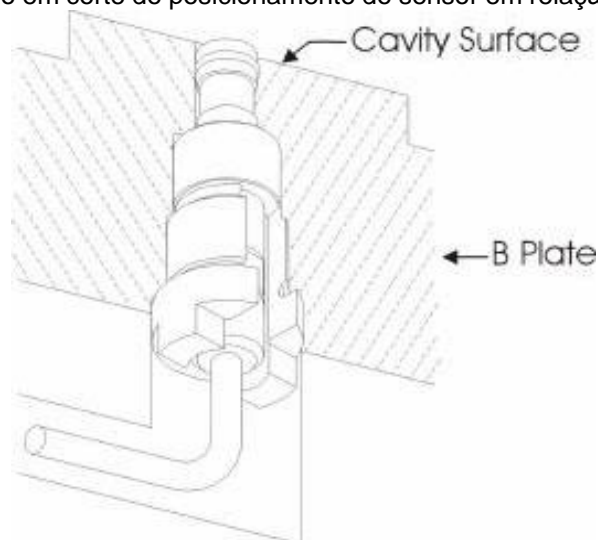
A utilização de sensores de pressão na cavidade pode permitir ao processista e ao fabricante da ferramenta a experiência de validar se processo de injeção está sendo bem executado, de modo que a ação pontuada para eventuais correções seja fruto de uma verdadeira necessidade e não uma ineficiência gerada pelo processo. Com base nos conhecimentos providos até aqui, podemos dizer que o sensor de pressão mede a pressão interna executada pelo plástico em determinadas regiões da cavidade definidas de maneira estratégica pelo time técnico, onde busca se visualizar de forma gráfica os momentos de preenchimento, compactação e resfriamento do produto. Os sensores também podem ser colocados no bico da máquina, sistemas de câmara quente, bico quente assim como até mesmo em canais de injeção, mas usualmente é aderida a cavidade em função do valor agregado a informação que está contida para o processo. Ao ler a pressão em sua localização são gerados pulsos elétricos na escala 1×10^{-12} que são lidos e convertidos por meio de amplificadores que enviam esses pulsos já amplificados para o painel controlador da máquina ou equipamento externo específico para leitura e monitoramento desses dados, monitorar assim como registrar essas informações são fundamentais para desenvolver abordagens de controle do processo, a fim de que tenhamos segurança e confiabilidade com o processo.

Existem duas tecnologias pioneiras no desenvolvimento dos sensores, sensores extensômetro que há muita incidência de utilização na região norte América, principalmente nos EUA, assim como a tecnologia piezoelétrica, que utiliza sinais gerados a partir da pressurização de cristais de quartzo, tal tecnologia teve predominância no mercado europeu, porém ambas são comumente utilizadas e embora tenham diferenças nos benefícios, geralmente são devidamente empregadas e fornecem leituras precisas e robustas para finalidade.

Os sensores podem ser aplicados de duas formas, esta primeira chamada direta, onde o sensor é embutido na cavidade em localidade definida em projeto onde

busca se bases planas e que permitam a devida aplicação onde seu diâmetro pode variar consideravelmente, porem muitas fontes indicam que o mais utilizado no mercado atualmente é de 1mm de diâmetro, possibilitando sua implementação em regiões de maior complexidade e design, onde o cabeamento é trazido pela parte posterior da cavidade, região interna do molde até suas conexões através de terminais e que fazem sua conexão com a base da tomada na ferramenta, que permite sua conexão externa para o amplificador, conforme demonstra a figura 01.

Figura 01 - Demonstração em corte do posicionamento do sensor em relação à superfície da cavidade



Fonte: Vaughan (2003)

A segunda possibilidade é o sensor indireto, este atua sob duas configurações, ou *slide* ou botão, esses sensores usam a força exercida pelo plástico em um pino estacionário que fica localizado na cavidade e que transmite a força aplicada para o sensor que este localizado de forma indireta em outra região interna do molde, embora haja toda a complexidade de utilização de diâmetros corretos para o pino de transferência assim como a necessidade de inclusão de cálculos de transferência de força para que se configurem leituras corretas assim como dimensões padronizadas do pino utilizado e calibrações periódicas, tal modelo adotado pode permitir o emprego de sensores a moldes de alta complexidade de *design* ou ferramentais que não permitem o emprego do modelo direto, conforme demonstrado na figura 02. Um ponto muito importante para utilização, independente do modelo adotado é a ancoragem da instalação dos sensores e de seu cabeamento assim como conectores, a fim de que evite se regiões que possam gerar esmagamento, rompimento dos cabos ou até mesmo seu contato com água e ou óleo.

Figura 02 – Localização do pino para sensor indireto

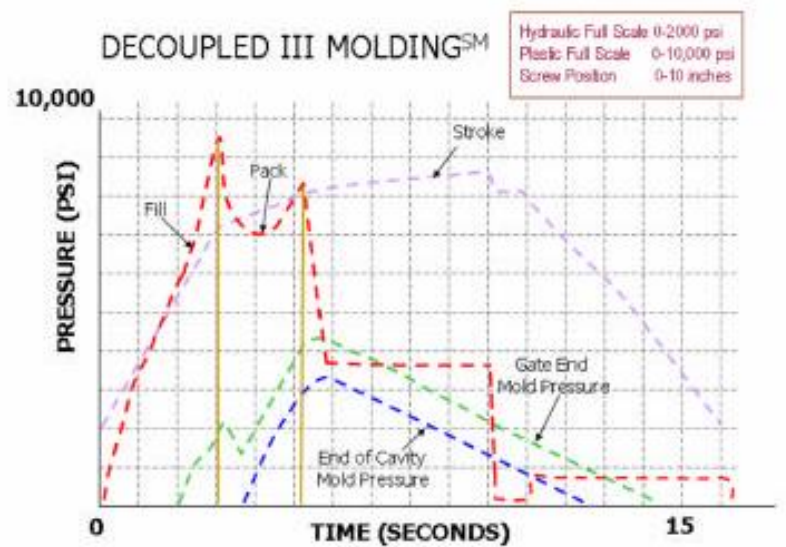


Fonte: Vaughan (2003)

Onde localizar um sensor é uma das grandes perguntas técnicas associada ao time de Engenharia de desenvolvimento de processos em função das discordâncias técnicas e muitas vezes entendimento diferenciado da real aplicação do sensor esta é uma pergunta extremamente explorada pela equipe na fase de desenvolvimento. É importante que os sensores sejam localizados corretamente a fim de obter o máximo possível em termos de informação para o processista e embora existam muitas exceções a regra no mundo da injeção, a aplicação de sensores para o monitoramento do processo deve ser localizada próximo ao último terço de preenchimento da cavidade EOC (*End Of Cavity*), permitindo que as análises gráficas do preenchimento possam expressar leituras da pressão interna no momento de preenchimento, manutenção e no momento de visualizações de pressões repetitivas em determinadas regiões do produto que podem apresentar maior variação e conseqüente problemas de qualidade relacionados ao dimensional assim como falhas de injeção e visíveis oscilações de preenchimento, assim como o momento do zero pressão, ou seja, momento de resfriamento total da cavidade, congelamento e conseqüente solidificação do produto. Mas vale a pena lembrar que neste método as aplicações são variáveis, uma vez que o objetivo é o monitoramento do processo e muitas vezes de problemas já conhecidos de determinados produtos já consolidados, cabe ao time de engenharia mitigar as regiões críticas a serem monitoradas e a necessidade do controle para todo o processo ou para regiões específicas.

Porém quando falamos em controle de processo, o que temos hoje de conhecimento com base em estudos de caso refere se a aplicação de sensor de pressão POG (*Post Of Gate*), neste modelo o sensor é alocado próximo ao capilar do produto (Região de entrada do material) e que permite uma análise gráfica completa do processo, passando pelo momento real de preenchimento, compactação, manutenção e resfriamento visualizando a diminuição de pressão concentrada na última região do produto que é justamente o capilar. Esta aplicação permite que não só sejam criados pontos de monitoramento do processo como um todo, mas que possa ser executado o controle do processo por meio da pressão de preenchimento, onde com base nos estudos prévios e determinados pela leitura gráfica, associada a configuração do equipamento seja ele externo ou integrado a máquina por meio de saídas programáveis, pode ser dado input para a que a transferência do momento de preenchimento, para compactação a chamada comutação, seja realizada na pressão específica e determinada no desenho do processo. Permitindo assim que deixemos de utilizar os recursos e leituras secundárias da máquina para executar os passos do processo, passando a ser utilizado o real monitoramento interno da pressão para execução das etapas de processo executadas pela máquina, conforme demonstra a figura 03.

Figura 03 – Demonstração gráfica das curvas do sensor de pressão interna, utilizando EOC e POG



Fonte: Vandekerkhof (2008)

Tal procedimento implica em um ganho imensurável ao processo quando comparado a controle executado pela máquina baseada em seus dados secundários, pois diante deste novo modelo e adotando o controle da pressão interna, passamos a obter um processo com maior nível de controle associado a variáveis geradas pela matéria prima em diferentes condições de fluidez, grades e até mesmo possíveis contaminações, assim como condições de secagem, falhas e obstruções do sistema de canais quentes e câmaras quentes bem como de falhas operacionais uma vez que sempre a mandatória para sequência do processo é a real pressão interna estar de acordo com a estipulada em seu desenvolvimento e *input* setado ao controle da máquina.

2.2 Análise da Capacidade de Processo

As técnicas estatísticas são muito utilizadas no o ciclo do produto assim como no desenvolvimento de atividades anteriores à fabricação, para quantificar a variabilidade do processo, para analisar a variabilidade em relação à especificação do produto, para ajudar no desenvolvimento da fabricação na eliminação ou redução dessa variabilidade no qual chamamos de análise da capacidade do processo.

A capacidade do processo está relacionada a uniformidade de uma variação de uma determinada característica crítica para a qualidade no processo que são vistos em duas maneiras como a variabilidade natural em um instante específico e a variabilidade ao longo do tempo. Esta análise é muito aplicada na metodologia DMAMC no qual segue o conceito de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar as oportunidades de melhorias de um processo existente ou em desenvolvimento.

A definição da medida da capacidade de um processo é baseada na dispersão de seis sigmas na distribuição da característica da qualidade do produto empregando-se uma distribuição normal com uma média μ e o desvio-padrão σ , desta forma, os seus limites naturais de tolerância do processo se situam na seguinte forma:

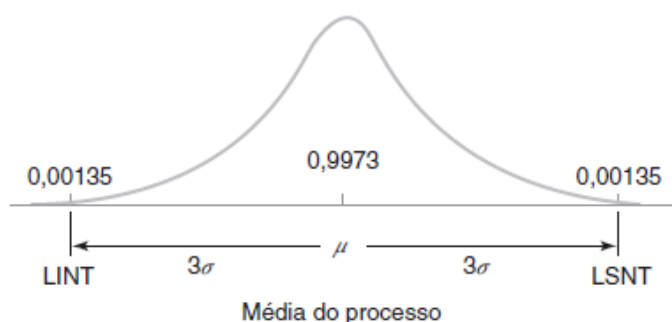
$$LSNT = \mu + 3\sigma$$

$$LINT = \mu - 3\sigma$$

Para uma distribuição normal, os limites naturais de tolerância incluem 99,73% da variável onde apenas 0,27% da saída do processo fica fora dos limites naturais de tolerância tendo em mente dois cenários, conforme figura 04:

1. 0,27% fora dos limites naturais de tolerância corresponde a 2.700 peças não conformes por milhão ou 2700 PPM.
2. Se a distribuição é não normal onde a porcentagem de produção que fica fora de $\mu \pm 3\sigma$, poderá ser consideravelmente diferente de 0,27%.

Figura 04 – Limites de tolerância: Superior e inferior na distribuição normal



Fonte: Montgomery (2009)

2.3 Definição da Análise da Capacidade do Processo

Podemos definir a análise da capacidade de um processo como um estudo formal para se estimar a capacidade do processo que pode ser apresentada através de uma distribuição de probabilidade contendo um centro caracterizado pela média e uma dispersão produzida pelos desvios-padrão especificados. Em consequência, o estudo da capacidade de um processo avalia parâmetros funcionais ou características críticas para a qualidade do produto e não o processo em si. Quando observamos diretamente o processo, podemos controlar ou monitorar a coleta de dados pois estamos conhecendo a sequência temporal dos dados no qual se faz inferências sobre a estabilidade do processo ao longo do tempo. Porém quando dispomos apenas de unidades amostrais do produto, não se observa diretamente a história temporal da produção onde denominamos como caracterização do produto que por sua vez, estimar-se somente a distribuição da característica do produto ou a produção do processo e nada se poder ser inferido, pois não é visualizado o comportamento dinâmico do processo ou seu estado de controle estatístico (MONTGOMERY, 2009).

Para se fazer uma estimativa confiável da capacidade do processo, devemos ter o controle estatístico do mesmo. Caso contrário, faremos uma análise de forma errada sobre o desempenho do processo pois dados coletados em períodos de tempo

diferentes podem levar a conclusões diferentes do verdadeiro processo. A análise da capacidade de um processo é essencial para o programa global de melhoria da qualidade. Entre as principais utilizações de dados de uma análise da capacidade de um processo destacam-se:

1. Predizer até que ponto o processo conseguirá manter as tolerâncias especificadas;
2. Auxiliar a seleção ou modificação de um processo;
3. Estabelecer um intervalo entre amostras para monitoramento de um processo;
4. Especificar as exigências de desempenho para um equipamento novo;
5. Selecionar aspectos do gerenciamento da cadeia de suprimentos;
6. Planejar a sequência de processos de produção;
7. Reduzir a variabilidade significativa em um processo;

Com isso análise da capacidade de um processo é uma técnica que pode ser aplicada em todo o ciclo do produto, no planejamento, gerenciamento da cadeia de suprimento e planejamento da produção.

3 METODOLOGIA

Demonstrar os meios de classificação da pesquisa parte do princípio de evidenciar o propósito, abordagem e as técnicas envolvidas no presente trabalho. Sendo assim a tabela 01, nos mostra as relações do estudo quanto à natureza, aos objetivos, aos procedimentos assim como a forma de abordagem do problema (GIL, 2002).

Tabela 01 – Classificação metodológica

| CLASSIFICAÇÃO | JUSTIFICATIVA |
|-----------------------------------|---|
| FORMA DE ABORDAGEM - QUALITATIVA | EM FUNÇÃO DOS MÉTODOS QUALITATIVOS EMPREGADOS, COM EXECUÇÃO DE ANÁLISES, PERCEPÇÕES E COMPREENSÃO. |
| NATUREZA - PESQUISA APLICADA | EM FUNÇÃO DA GERAÇÃO DE CONHECIMENTO PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS E EXPLORAÇÃO DE BENEFÍCIOS ESPECÍFICOS. |
| OBJETIVOS - PESQUISA EXPLORATÓRIA | EM FUNÇÃO DO OBJETIVO DE PROPOR FAMILIARIDADE COM O TEMA, VISTO QUE É POUCO CONHECIDO E EXPLORADO. |
| PROCEDIMENTOS - ESTUDO DE CASO | EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS QUALITATIVOS PARA RECOLHA DE DADOS E EXECUÇÃO DE ANÁLISES, VISANDO PRODUZIR CONHECIMENTO A RESPEITO DO TEMA. |

Fonte: Elaborada pelos autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Contribuir com a organização, através do estudo e análise de implementação do sensor de pressão na cavidade, visando a obtenção de impactos positivos relacionados ao processo de fabricação, manutenção de ferramentas e evitando impactos causados por falhas operacionais.

Onde busca se inicialmente a exploração do tema e ganho de conhecimento, projetando mudanças na forma de concepção de novos produtos e ferramentas, buscando um nivelamento técnico do time multidisciplinar, a fim de proporcionar a organização melhores resultados junto a seus clientes.

Adotando práticas de análise técnica que passam a gerar maior credibilidade junto aos fornecedores e concorrentes assim como melhorar a imagem junto aos clientes explorando os níveis mais avançados de tecnologia no ramo de atuação.

Busca se também o engrandecimento dos autores, profissional e academicamente, permitindo a exploração de novos e avançados métodos de análise assim como facilitar futuras pesquisas na Universidade São Francisco bem como potencializar os estudos técnicos para áreas da metalurgia, desenvolvimento de produtos e ferramentas assim como técnicos – tecnólogos em polímeros, especialistas em injeção de termoplásticos.

5 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa serão apresentados os meios de análise, a implementação dos controles de processo e os resultados obtidos até o presente momento do estudo. Onde o capítulo passa a ser dividido nos seguintes aspectos: Caracterização de empresa, caracterização de recursos, coleta de dados, interpretação e análise de implementação das curvas do sensor assim como resultados observados ao curto prazo e benefícios ao longo prazo.

5.1 Caracterização da empresa

Empresa localizada em Bragança Paulista interior de São Paulo, atua no Brasil a 50 anos e globalmente a mais de 70 anos. Pioneira no setor de conectores automotivos é considerada referência global em termos de metodologia de processo de injeção de termoplásticos, caracterização de produtos assim como design e soluções

inovadoras. Atende os mercados nacionais e tem boa participação na exportação de produtos a todos os continentes.

5.2 Caracterização de recursos

Todos os estudos foram realizados em uma injetora horizontal da fabricante Arburg, modelo Allrounder 520 H 1500-400, uma das empresas pioneiras na adoção das interfaces de leitura e viabilidade de utilização dos sensores de pressão, em conjunto com o software da própria injetora, não sendo necessário a utilização de periféricos externos para leituras gráficas e criação de meios de controle. Também para o estudo a utilização de um ferramental de 8 cavidades de um produto relativamente novo onde o molde já foi projetado com as adaptações necessárias para a implementação do sensor.

5.3 Coleta de dados

Para realizar esta etapa foi necessário o deslocamento de dois colaboradores, um para execução do setup de matéria prima e execução da instalação do molde o segundo posteriormente para auxiliar na realização de validação das ligações do cabeamento do sensor junto ao molde e ao amplificador e a conexão de saída do sinal do amplificador para a leitura do software da injetora a partir de uma saída programável disponibilizada na interface da injetora.

As coletas de dados foram realizadas em dois eventos, tendo seu planejamento ao final de junho, execução do primeiro evento em 19 de Julho de 2021 e o segundo evento em 23 de Agosto de 2021.

5.4 Implementando a curva do sensor de pressão

O ferremental que possui sensores de pressão deverá contar fixado a ele ou junto a uma pasta documental, as plaquetas da fornecedora dos sensores que são responsáveis pela identificação da fabricante do sensor, além da sua principal e vital informação, sua sensibilidade. O valor de sensibilidade é transferido para o painel da máquina para que o software faça as devidas conversões, correções e geração de dados com precisão, assim permitindo sua leitura e formação gráfica já pontuas em unidade de pressão, Bar ou Psi.

Figura 05 – Plaquetas de identificação de dados do sensor.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para poder dar início ao estudo em máquina é fundamental que o processo de injeção até então sem a utilização dos sensores, passe por alguns ajustes que viabilizem melhores condições de processabilidade e proporcionem maior repetibilidade ao processo, conforme mencionado no capítulo anterior Sensores de Pressão – Sistema nervoso do processo de injeção, é fundamental a aplicação do chamado *Decoupled* III. Onde passamos a injetar com a aplicação de duas velocidades, a primeira, uma velocidade média a alta responsável pelo preenchimento de 95% do produto, depois é realizada uma desaceleração e a segunda velocidade deve ser baixa, emprega se geralmente de 25% a 40% da primeira velocidade, como podemos observar na figura 06 pontuada abaixo, neste ponto busca se o preenchimento de 99% a 100% do produto. Este ponto é crucial para o processo, pois ao realizar este ajuste, a segunda velocidade gera uma desaceleração do conjunto e em função da inércia do material que está sendo injetado, o final do preenchimento é realizado de uma maneira estável, sem aplicação de forças excessivas, simplesmente pela inercia causada pela desaceleração.

Ao final desta etapa, validamos a pressão de leitura dos sensores neste momento do processamento, está pressão após ser observada ciclo a ciclo irá indicar a pressão a ser utilizada na comutação e transferência para etapa de recalque.

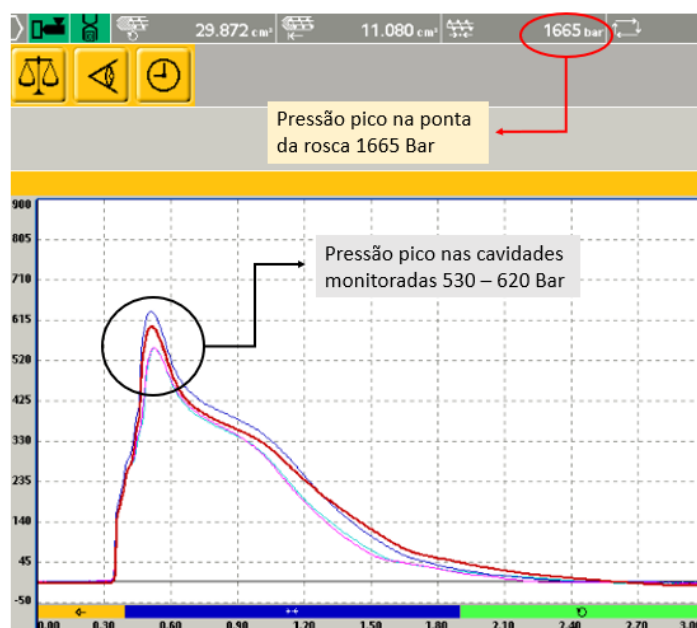
Figura 06 – Ajustes de velocidade *Decoupled 3*



Fonte: Elaborada pelos autores

Ao ligarmos os sensores podemos observar que agora temos uma nova condição gráfica gerada pela máquina. Observa se que sua formação permanece na relação de pressão x tempo, e que os valores pontudos ao longo de todo o gráfico são inferiores aos valores capturados pela leitura somente da máquina. É o que chamamos de perda de pressão, onde a pressão exercida pela injetora perde energia ao longo de todo o caminho percorrido pelo material até o devido preenchimento da cavidade, portanto a pressão interna é muito menor que a pressão externa, não há uma relação precisa, mas podemos pontuar que em muitos casos a pressão interna está na relação de 10% a 40% da pressão pico na ponta da rosca, conforme podemos observar na figura 07.

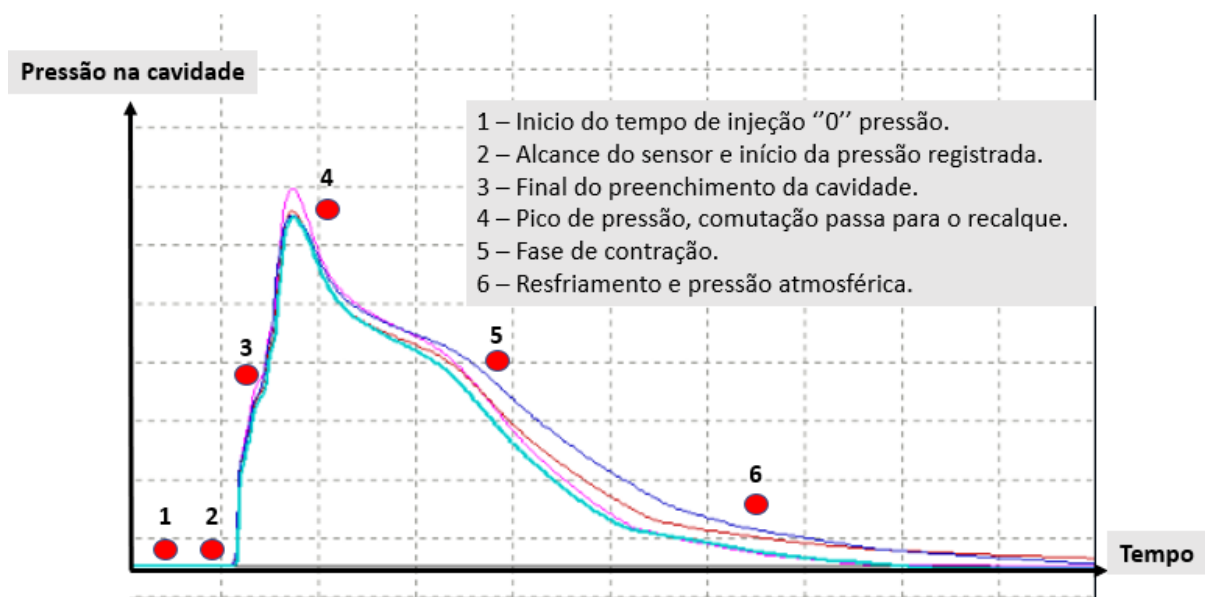
Figura 07 – Gráfico do sensor de pressão – picos de pressão



Fonte: Elaborada pelos autores

Cada ponto do gráfico do sensor de pressão passa a ser associado ao gráfico da injetora e é neste momento que alguns pontos da pressão interna podem ser observados como resultantes da programação da máquina conforme ela exerce o processo. A figura 08 abaixo permite que possamos identificar esses pontos e assim gerarmos uma nova visão do processo, desta vez resultante da cavidade ao longo da injeção

Figura 08 – Análise da pressão na cavidade



Fonte: Elaborada pelos autores

Diante de todo esse entendimento passamos a analisar as respostas da pressão interna da cavidade e partir desses dados podemos implementar os meios de controle para o processo em estudo.

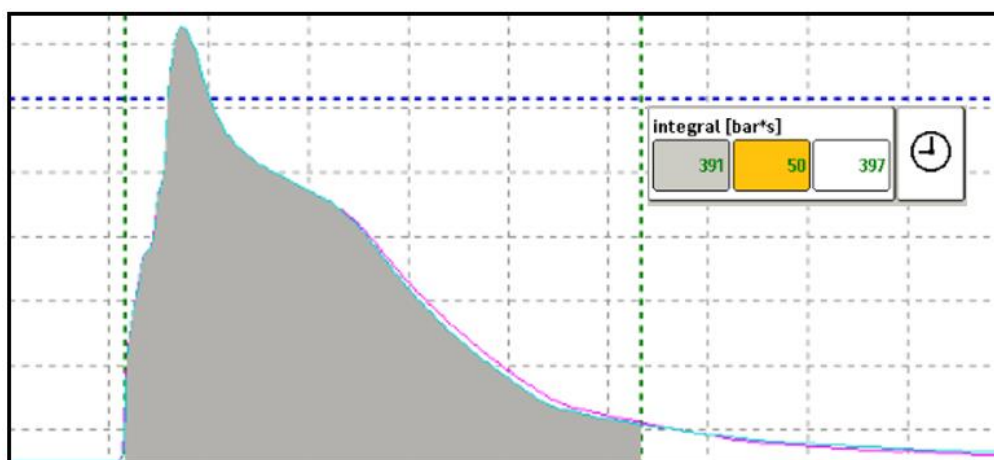
5.5 Implementação de controles do processo

No estudo, buscamos realizar os controles mais finos de processo, uma vez conhecida a curva de pressão na cavidade para peças com boa qualidade e dentro dos aspectos solicitados pela carta de controle do produto, buscou se avaliar sua repetibilidade e condições de processo ciclo a ciclo. Onde observou se pequenas alterações do comportamento de sua curva em 100 ciclos avaliados, deste ponto

partimos para implementação do controle das integrais das curvas, neste método é possível realizar o monitoramento de toda a área abaixo das curvas mapeadas e partir disso delimitar controles, denominados ranges tanto superiores como inferiores para denominação da curva ideal.

Deste modo a máquina realiza todo o acompanhamento da formação da curva de pressão a partir dos ranges já incluídos ao monitoramento, onde a partir de alterações em função de quaisquer anomalias que gerem curvas distintas das caracterizadas como padrão as peças serão descartadas, descarte esse que pode ocorrer por um processo posterior como uma automação ou então pela própria máquina que altera sua bandeja seletora para peças não aprovadas, evitando assim a contaminação de produtos cujo processo tenha passado por variações acima dos níveis delimitados como ideal. Na figura 09 podemos observar a formação do controle da integral em tempo real, ciclo a ciclo exercidos pela máquina.

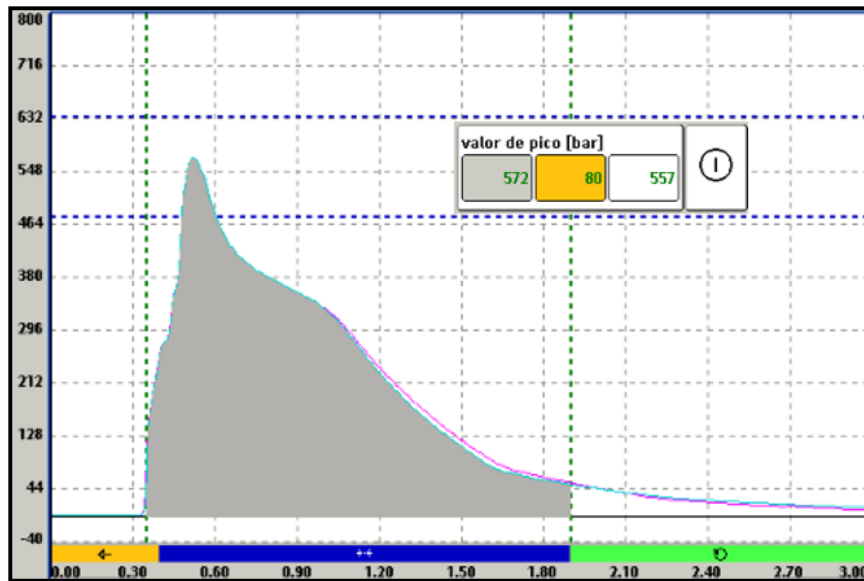
Figura 09 – Implementação da integral



Fonte: Elaborada pelos autores

Uma vez exercido o controle das integrais busca se aplicar o controle dos picos de pressão. Por meio deste controle é possível delimitarmos ranges aceitáveis conforme observadas oscilações normais ciclo a ciclo (100 ciclos observados). Assim uma vez monitorados e controlados podemos garantir a segurança ferramental e do processo para eventuais anomalias, oscilações causadas por quaisquer fatores e erros operacionais durante o início e repartida dos processos. Na figura 10 podemos observar a implementação do controle dos picos de pressão na cavidade.

Figura 09 – Implementação da integral



Fonte: Elaborada pelos autores

5.6 Premissas para coleta de dados para análise da Capacidade de Processo após definição de parâmetros

Com as definições de parâmetros para controle utilizando o sensor de cavidade, foi realizado um estudo de Capacidade de Processo para evidenciar a estabilidade dimensional das características do produto ao longo do tempo no processo produtivo. Com isso, foram extraídas 125 amostras a qual foram coletadas em um determinado período abrangendo a fabricação do início ao fim.

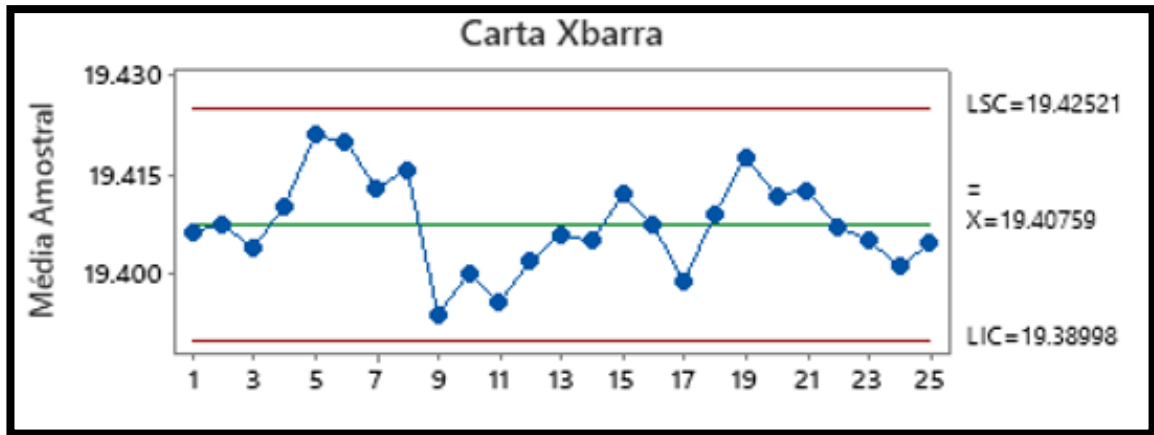
Após coleta, as amostras foram disponibilizadas para realização do dimensional de uma determinada característica do produto onde este processo de medição é feito em um equipamento de precisão para que sejam coletados os resultados sem erros grosseiros e aleatórios, permanecendo no mínimo possível o erro sistemático e suas incertezas.

5.7 Análise dos resultados da Capacidade de Processo

Com os dados obtidos no dimensional do produto, são computados em um software estatístico para análise gráfica dos componentes que possam demonstrar influencia no processo e serem localizados período da sua coleta. Para uma interpretação de forma suscinta, os dados foram divididos em 25 subgrupos de 5 amostras cada onde podemos notar no gráfico da Carta Xbarra (Figura 10) a Média

Amostral de 19,40759mm e analisar que não foram encontradas causas especiais fora do Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC).

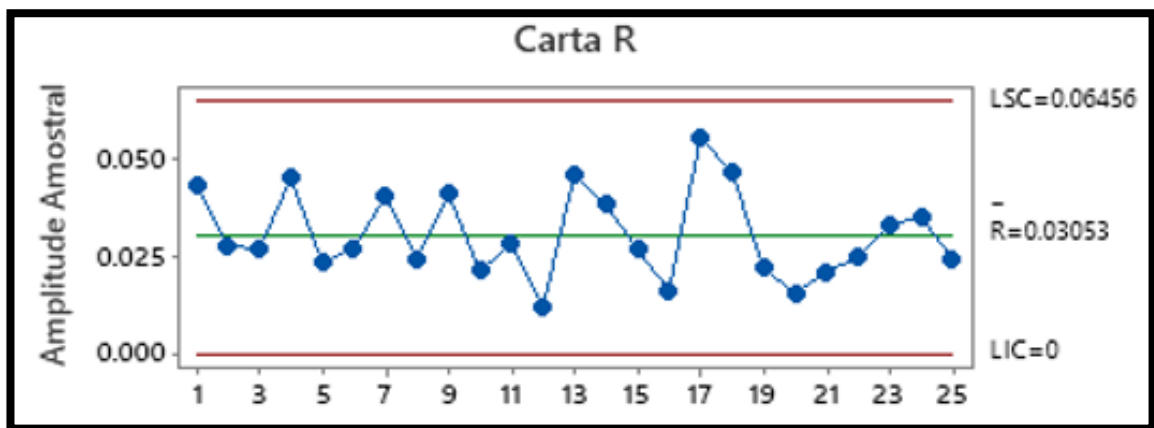
Figura 10 – Gráfico da Carta de Xbarra



Fonte: Elaborada pelos autores

Na análise da Carta R (Figura 11), notamos uma baixa Amplitude Amostral entre os resultados obtidos das amostras, ou seja, a diferença entre a amostra de menor valor e a amostra de maior valor é de 0,03053mm.

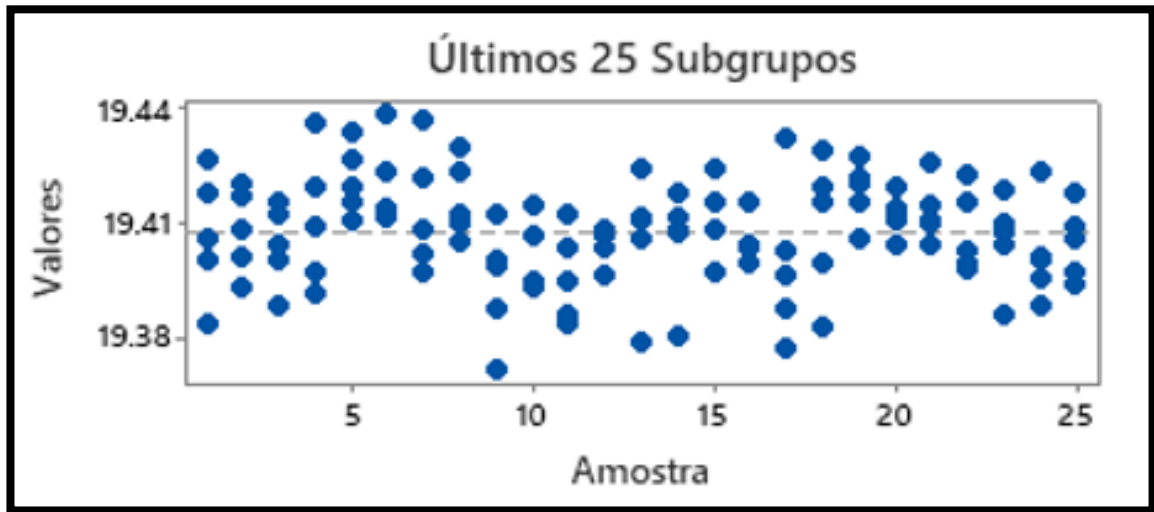
Figura 11 – Gráfico da Carta R



Fonte: Elaborada pelos autores

Na tabela dos Últimos 25 Subgrupos (Figura 12), conseguimos visualizar a dispersão de cada amostra em seu respectivo subgrupo.

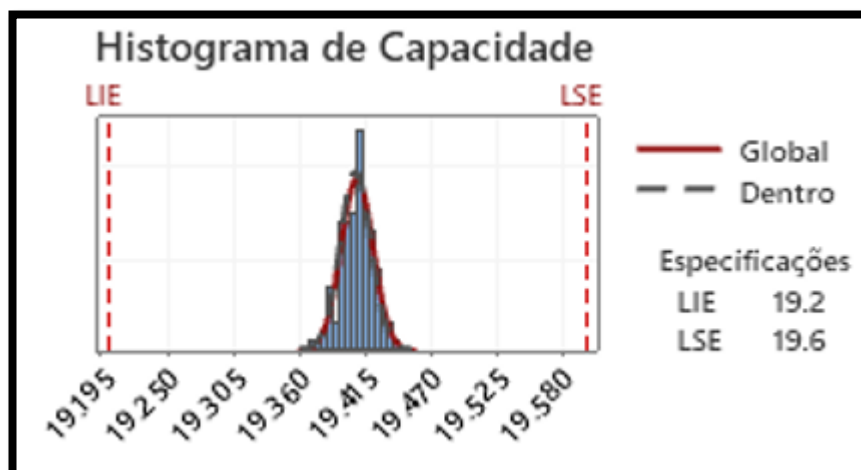
Figura 12 – Tabela Últimos 25 Subgrupos



Fonte: Elaborada pelos autores

Ao avaliar graficamente o histograma de Capacidade (Figura 13), podemos observar uma curva simétrica e acentuada no qual denominamos como uma Distribuição Normal dos resultados e com uma boa centralização entre o Limite Superior de Especificação (LSE) e Limite Inferior de Especificação (LIE).

Figura 13 – Histograma de Capacidade

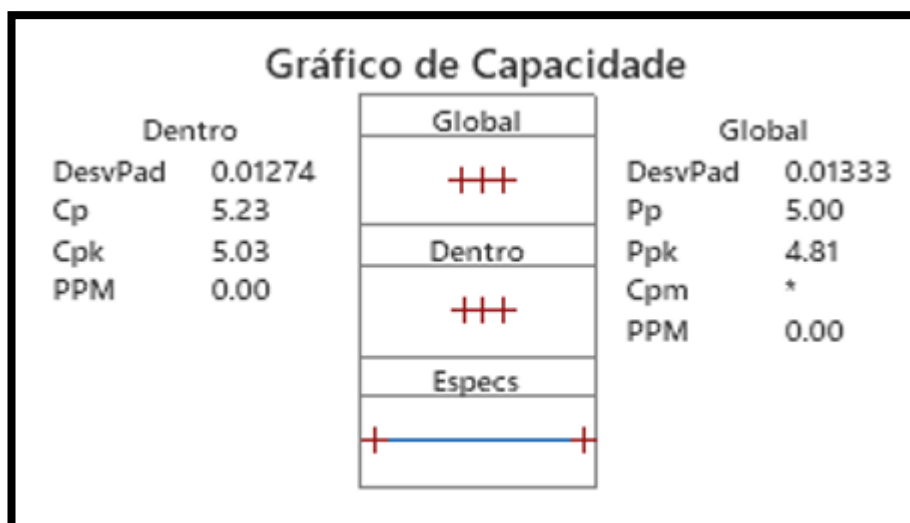


Fonte: Elaborada pelos autores

No Gráfico de Capacidade (Figura 14), Cp obteve um índice de 5,23 e o Cpk com índice de 5,03 com Desvio Padrão de 0,01274. Assim como os índices de

Performance Pp de 5,00 e Ppk 4,81 com Desvio-Padrão de 0,01333 seguindo o mesmo critério acima de 1,67.

Figura 14 – Gráfico de Capacidade



Fonte: Elaborada pelos autores

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho partiu do objetivo de apresentar um estudo de caso de uma aplicação prática da utilização de sensores de pressão na cavidade para maiores métodos de processabilidade e controle de processo de injeção de termoplásticos de uma empresa de tecnologia de grande porte. Para que o objetivo pudesse ser atingido foi apresentado como é empregado o sensor ao processo, seus métodos de processabilidade, análises gráficas e de resultado assim como desdobramentos em relação aos meios de controle a serem explorados.

Após a aplicação dos sensores, constatou se que a leitura e interpretação das pressões internas na cavidade, permitem com que o processo desenvolvido passe por análises de efeito que processos convencionais não podem oferecer, tais efeitos apresentados ao longo do processo evidenciam situações ocasionados por todas as variáveis do processamento e assim permitem que ela possa ser analisada a fundo e torna possível a busca por melhorias e correções que antes só podiam ser atribuídas a um efeito no produto final.

A partir deste estudo pudemos evidenciar que os sensores sim podem oferecer maior segurança aos meios, além de um bom processamento. Ao empregar se os controles de pico de pressão e o monitoramento das integrais das curvas nos deparamos com a eliminação de pequenos ruídos que são causados nos inícios de processo e repartidas do processo ao longo de sua produção, onde observa se uma diminuição das frequências de reparo ferramental por rebarbas e principalmente falhas operacionais, representando uma queda de 60% nas necessidades de atuação ferramental durante a monitoria do estudo caso, quando comparado ao mesmo período do ano de 2020 sem a aplicação dos sensores.

Em meio a tanta tecnologia aplicada na segurança do processo, o produto além de se apresentar de forma qualitativamente estável, deveria oferecer características dimensionais e visuais que pudessem comprovar o efeito final. Diante disso análises dimensionais foram realizadas de maneira direcional a regiões funcionais do produto e que são de suma importância para o processamento posterior realizado pelo cliente. Pode se observar comportamentos estáveis e que evidenciam a repetibilidade do processo, além dos controles de dispersão e de cartas muito bem definidas que mostram centralização entre seus limites de controle.

Diante do exposto conclui se que o presente trabalho alcançou todos os objetivos propostos. Onde evidencia se o importante emprego da tecnologia para destaque em um mercado tão competitivo e de crescimento exponencial. Ademais é demonstrado vantagens nos aspectos cruciais de qualidade do processo e do produto, assim como da manutenção de máquina e ferramentais que podem ser absorvidos em grande escala assim que este ganhar abrangência, buscando a excelência de produtos e processos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DAL CIN, **Globalização, novas tecnologias e mudanças no mundo do trabalho**. [S.l]: Opinião, 1997. Disponível em: <<https://www.extraclasse.org.br/opiniaio/1997/06>> Acessado em> 10/03/2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GRALEAU, **Cavity Pressure selection options and Solutions**. [S.l]: Opinião, 2008. Disponível em: < <https://rjginc.com/know-how/articles/>> Acessado em>

06/03/2021.MONTGOMERY, Douglas C., 2009 -, **Introdução ao controle estatístico da qualidade** / Douglas C.

MONTGOMERY; **tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores.** - 7. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2017. il. ; 28 cm. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/>> Acessado em> 02/05/2021.

PROCESSO de injeção de olho na qualidade final do produto. Disponível em: <www.maispolimeros.com.br/2019/09/03/plastico-processo-de-injecao> Acessado em> 25/02/2021.

VANDEKERKHOF, ***Comparing Cavity Pressure Sensor Technologies Using In-Mold Data.*** [S.l]: Opinião, 2008. Disponível em: < https://rjginc.com/wp-content/uploads/2018/09/antec_02-Piezo.pdf> Acessado em> 06/03/2002.

VAUGHAN, ***Pressure sensors in the injection Mold.*** [S.l]: Opinião, 2003. Disponível em: < <https://rjginc.com/know-how/articles/>> Acessado em> 07/03/2021.