



IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE SIMULAÇÃO CAE EM UMA EMPRESA CALÇADISTA: ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS¹

Carlos Alberto Costa²
Marcos Ribeiro³
Marcos Alexandre Luciano⁴

Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre a racionalização de tempo e recursos no processo de desenvolvimento de matrizes em uma empresa fabricante de calçados. O processo foi otimizado pela implementação de uma ferramenta de CAE (Autodesk Moldflow) para análise reológica. Para desenvolvimento do trabalho foram levantados dados relativos aos tempos e recursos consumidos antes e depois da implementação da ferramenta de simulação, tais como matéria prima consumida no processo de injeção, retrabalhos realizados nos moldes e redução no tempo de aprovação dos produtos em linhas de produção, ou seja, aprovação e ajustes iniciais do processo de produção. Os resultados alcançados comprovam as vantagens adquiridas na utilização do software, reduzindo o número de correções de alto custo e consumo de material para a empresa. O polímero injetado para o levantamento de dados nesse estudo foi o PVC.

Palavras-chave: Ferramenta CAE; Redução de custos; Moldes de injeção; Calçados.

IMPLEMENTATION OF A CAE SYSTEM IN A SHOE MANUFACTURING COMPANY: BENEFITS

Abstract

This article presents a study on time and resources optimization in the development of injection moulds in a shoe manufacturing company. The process was optimized by implementing a CAE (Autodesk Moldflow) tool for rheological analysis. Information about costs related to time and resources consumed before and after implementation, such as raw material consumed, rework and reduced approval time of products in production lines, were studied and analyzed. The results demonstrate the advantages gained in using the software, reducing the number of correction and rework and material consumption for the company. The injected polymer utilized on this study was PVC.

Key Words: CAE tool; Costs reduction; Injection mold; Shoe manufacturing.

¹ Contribuição técnica ao 10º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 8 a 10 de agosto de 2012, São Paulo, SP.

² Doutor Engenharia de Manufatura, Professor/Pesquisador Área de Engenharia Mecânica – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS

³ Tecnólogo Produção Moveleira, Projetista, Grendene SA, Carlos Barbosa, RS Formação. Cargo. Grendene AS.

⁴ Doutor Engenharia Mecânica, Professor/Pesquisador Área de Engenharia Mecânica – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS



1 INTRODUÇÃO

Em busca de competitividade, as empresas procuram cada vez mais se adaptar as novas tendências do mercado, que exigem uma grande diversificação dos produtos. Competitividade, segundo Martins e Laugeni,⁽¹⁾ é ter condições de concorrer com um ou mais fabricantes ou fornecedores de um produto ou serviço em um determinado mercado. Neste contexto, Proença e Silva Filho⁽²⁾ afirmam que é crucial a minoração do tempo de lançamento de novos produtos, bem como a redução de custos dos projetos. Desse modo, deve-se destacar a grande importância nas ações diárias que proporcionem maior produtividade e otimização. Sendo assim, otimização se constitui numa vasta e sólida área do conhecimento. Desta forma, segundo Bennaton,⁽³⁾ para que o processo de otimização seja efetivo deve-se adotar ferramentas que auxiliem na construção de resultados, proporcionando ganhos significativos de produtividade. Consoante a isso, Moreira⁽⁴⁾ destaca que a produtividade de um sistema de produção é definida como a relação entre o que foi produzido e os insumos utilizados num certo período de tempo. Nesta direção, Heizer e Render⁽⁵⁾ comentam que produtividade é a razão entre as saídas (bens e serviços) e as entradas (recursos). Desta forma, melhorar a produtividade significa ser mais eficiente. Para os autores, a produtividade pode ser obtida de duas maneiras: redução das entradas enquanto as saídas permanecem constantes, ou aumento das saídas enquanto as entradas continuam constantes.

A busca permanente por melhores resultados faz parte da realidade diária de todas as empresas. Como produzir mais, com menos recursos, de forma mais rápida e com inovação? Essa busca deve ser auxiliada, por meio de simulação, para que se possa atingir estes objetivos. Conforme Palomino,⁽⁶⁾ modelos de simulação são ferramentas para tomada de decisão, que utilizam um conjunto de funções matemáticas, tendo como finalidade reproduzir as características operacionais de um sistema que atua sob certas circunstâncias. Técnicas de simulação tornaram-se ferramentas muito importante no projeto e na análise de diversos tipos de processos. Com tais técnicas, é possível observar o comportamento dinâmico de um processo, em condições controladas, realizando trabalhos que ajudem a prever o seu comportamento real, de forma rápida e a um baixo custo. Nesta direção, Freitas Filho⁽⁷⁾ define simulação como sendo o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, com o propósito de entender seu comportamento e/ ou avaliar estratégias para sua produção. Sendo assim, dentro de alguns limites, a aplicação da simulação nos processos das empresas possibilita prever o que vai acontecer, auxiliando na tomada de decisão, evitando o desperdício de tempo e recursos preciosos.

Esse artigo apresenta um case de implementação de uma ferramenta computacional para análise reológica aplicada a uma empresa do setor calçadista. Por se tratar de uma grande empresa, seus setores de projeto e desenvolvimento de produtos e moldes, setor de *tryout* de moldes e produção estão todos localizados em unidades diferentes, o que faz com que qualquer erro ou retrabalho possua sempre um alto custo de correção. Desta forma, a ferramenta foi implementada principalmente com a função de reduzir tempo e minimizar erros no processo de ajuste das máquina para a produção do produto final.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Projeto de Moldes para Injeção Plástica

O desenvolvimento da indústria de plásticos assumiu uma posição de destaque na produção industrial em todo o mundo. Entretanto, não é suficiente desenvolver apenas as matérias primas, é necessário assegurar a qualificação e o aprimoramento do processamento. Uma melhor utilização das máquinas-ferramentas existentes deverá ser efetuada para otimizar o processo.⁽⁸⁾

Na sequência de desenvolvimento de uma peça injetada, desde o primeiro rascunho até a extração na máquina, o molde de injeção é o último elo, porém, não é o menos importante. Diante disso, Harada⁽⁹⁾ defende que o projeto cuidadoso de um ferramental é o principal ponto para garantir alto nível de produção e baixa manutenção. Portanto, devem ser observados diversos fatores técnicos durante o seu desenvolvimento, a fim de que as possibilidades de falhas possam ser minimizadas. Como observado na literatura, o molde de injeção é uma ferramenta complexa, possuindo cavidades, placas de fixação, sistemas de extração, refrigeração, preenchimento etc.^(9,10)

A escolha do molde utilizado depende da complexidade da cavidade ao qual a peça será injetada. É comum efetuarem-se retrabalhos em moldes, o que acontece devido ao fato de que os técnicos experientes têm dificuldades em prever o comportamento do molde e da massa fundida que escoam no interior das cavidades.

Com a simulação de injeção é possível minimizar os custos relativos ao excesso de testes, alterações no molde e desperdício de matéria prima. Esta simulação e análise integra os setores, desde o início do projeto do produto até a fabricação da peça final. Suprir de conhecimento o projetista do produto, o projetista do molde e o responsável pelo ajuste da injetora são alguns dos benefícios das ferramentas de simulação reológica.

Segundo Naveiro,⁽¹¹⁾ o processo de projeto de um produto é normalmente conduzido por uma equipe multidisciplinar, com cada especialista sendo responsável por uma parte do projeto e, ao mesmo tempo, sendo obrigado a negociar com os demais especialistas os requisitos e restrições comuns, de forma a alcançar uma solução aceitável. Sendo assim dois aspectos da atividade de projeto devem ser observados: o coletivo e o individual, no processo de seleção de ferramentas computacionais de auxílio ao projeto CAD/CAM e CAE.⁽¹²⁻¹⁴⁾ Especificamente com relação as ferramentas CAE, essas oferecem à equipe de projetos a possibilidade de realizar diferentes análises (experimentos) por meio de métodos computacionais.⁽²⁾ Esses experimentos, se realizados em condições 'reais', resultariam em grandes gastos associados a alterações no molde, manufatura, custos de operação e parada de máquinas. O grande potencial desse método é a possibilidade de testar novos conceitos de molde através do método numérico minimizando problemas antes do nascimento de um produto e possibilitando o estudo do processo e qualidade da peça a um custo relativamente baixo.

Consegue-se grande flexibilidade na otimização do produto através de interações virtuais em detalhes, como configurações das entradas dos materiais no molde, detalhes no desenho da peça, condições de processo e sua influência na manufatura e qualidade do produto final. Como resultado, é possível realizar experimentos em curto espaço de tempo (horas), que de outra forma, por meio de tentativas e erros experimentais necessitariam dias, semanas ou meses.⁽¹⁵⁾ Somado a isso, com o uso de softwares de simulação, minimizam-se modificações corretivas,



como posição das entradas, alteração de espessuras devido a problemas como atrasos de produção, grande quantidade de refugos e dificuldades na regulagem da máquina injetora. Finalmente, deve-se salientar que na escolha da ferramenta CAE, deve-se levar em conta as facilidades de integração entre as ferramentas CAD/CAM/CAE, principalmente no que diz respeito a formatos dos arquivos. A integração destas ferramentas vem sendo constantemente aperfeiçoada, de maneira que permite a obtenção de resultados expressivos para as empresas.

2.2 Simulação de Injeção no Desenvolvimento e Fabricação de Peças e Moldes

Para Carneiro,⁽¹⁶⁾ os produtos plásticos fabricados no passado possuíam geometrias bem comportadas e com poucos detalhes. Todavia, com a evolução dos materiais plásticos utilizados, exigências cada vez maiores do mercado consumidor e aplicações cada vez mais específicas as geometrias dos produtos foram se tornando cada vez mais complexas, resultando na necessidade do emprego de tecnologias avançadas para o seu desenvolvimento. Conforme Dihlmann,⁽¹⁷⁾ a previsão do preenchimento de uma cavidade, inicialmente realizada de forma manual, tornou-se inviável à medida que os produtos se tornaram mais complexos. Desta forma, foram surgindo soluções numéricas computadorizadas para apoiar a resolução de equações matemáticas relativas a simulação de escoamento do material, comportamento térmico, empenamento e contração.

Um dos primeiros programas comerciais que ganhou destaque nesse área foi o Molflow.⁽¹⁸⁾ Desde então foram surgindo melhorias e novas tecnologias nos sistemas de simulação, tornando os mesmos mais precisos e rápidos, permitindo cálculos e simulações tais como de empenamento, injeção a gás e co-injeção. Como uma ferramenta de engenharia evoluída e madura, a facilidade de uso do programa tornou a simulação disponível e ao alcance dos projetistas de peças e moldes.⁽¹⁸⁾ Desta forma, com o apoio desse tipo de ferramenta uma empresa poderá produzir um número maior de moldes, reduzindo a quantidade de *try-out* realizados, e acelerando todo o processo produtivo. Além disso, a obtenção de ganho na primeira tentativa e o trabalho sem margem de erro propiciam mais tempo livre para a injeção dos modelos programados, proporcionando um sincronismo maior na condução de todos os projetos da matrizaria.

3 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA

Esse trabalho foi realizado em uma das maiores empresas produtoras mundiais de calçados sintéticos e líder em vários segmentos no mercado brasileiro. A empresa tem por excelência a elaboração e desenvolvimento de calçados termoplásticos, injetados, fabricados com uma tecnologia própria e exclusiva, a partir de matrizes produzidas internamente. Assim, fabrica calçados inovadores e originais, de forma mais rápida, com maior precisão, menor emprego de mão-de-obra e custos inferiores aos dos diversos concorrentes.

A capacidade anual de produção, dependendo do mix de produtos, pode atingir 200 milhões de pares, desenvolvida em cinco unidades industriais: três no estado do Ceará (Sobral, Crato e Fortaleza), uma no estado da Bahia (Teixeira de Freitas) e uma no estado do Rio Grande do Sul (Farroupilha). Atualmente, a empresa mantém em torno de 21.000 funcionários e quase 9.000 clientes. Seus produtos estão presentes em 60.000 pontos de venda no Brasil, correspondendo a 70% do volume



de vendas de calçados nacionais e em 20.000 no exterior, com exportações para mais de 80 países.

A empresa possui um cronograma de produção extenso, com um mix de produtos diversificado. Sua logística distribuída, com unidades espalhadas pelo país, proporciona bons resultados quando um processo é otimizado. Por intermédio da simulação de injeção, consegue-se antecipar a produção dos moldes, resultando diretamente na agilidade e competitividade da empresa no lançamento de seus produtos. A diversificação e reformulação constante destes produtos proporcionam maiores opções de compra para o consumidor final.

Apesar da grandiosidade dos números apresentados no mercado interno e externo, a empresa busca constantemente a otimização de seus processos e redução de custos. A análise da implementação do software CAE no processo de construção dos moldes e a comparação dos resultados obtidos no estudo permitem a empresa compreender melhor o investimento realizado, sendo esse o foco do trabalho apresentado nesse artigo. Para tanto, esse trabalho definiu as seguintes etapas:

- entendimento do processo ao qual foi inserida a nova ferramenta, por meio de visitas e entrevistas com os supervisores de injeção e supervisores de manutenção de matrizes; com o responsável pelas análises de simulação e acompanhamento das simulações realizadas; e com os supervisores de injeção da unidade localizada em Sobral;
- levantamento de informações nos setores de PCP e de Compras, para posterior análise e comparação de dados apresentados no artigo;
- análise das alterações obtidas no processo após a inserção do software de simulação; e
- comparação dos resultados alcançados no final do processo.

Foram utilizados como referência dados reais coletados na empresa, auxiliando os responsáveis a avaliar o investimento feito. Para condução da pesquisa foram considerados os cuidados abordados por Koche,⁽¹⁹⁾ Triviños,⁽²⁰⁾ Gil,⁽²¹⁾ e Marconi e Lakatos⁽²²⁾ no que se refere a delimitação do problema de pesquisa, pesquisa bibliográfica, coleta e análise de dados.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

4.1 Processo de Desenvolvimento de Moldes e Matrizes

Sempre que um novo modelo de produto é criado, são confeccionadas as matrizes piloto e de coleção. Esse processo inicia no setor da Modelagem, onde o modelista recebe um caderno técnico do produto (Figura 1). Neste caderno técnico são apresentados desenhos em várias vistas do modelo e seus componentes, para que o profissional possa destacar os contornos do modelo e conformá-los sobre uma forma que reproduz o formato de um pé. Após esta conformação, são obtidas as peças planificadas do modelo e seus componentes e, depois, os mesmos são enviados ao setor de CAD2D Modelagem. Essas peças planificadas manualmente são digitalizadas para os ajustes das linhas do protótipo e escala e, a partir desta digitalização, o processo será assistido por computador.

Depois que as peças são digitalizadas e ajustadas, é aplicado à escala, utilizando-se fatores específicos para largura, comprimento e espessura. Deste modo, são obtidas as linhas da coleção e piloto que são enviadas para o setor de Escalas e Projetos, onde são desenvolvidos os dimensionamentos das matrizes. É importante ressaltar, que para a empresa em questão, matrizes são os pares macho-fêmea que são



responsáveis por dar a forma ao calçado enquanto o molde será a estrutura que abriga as matrizes e que ser de interface com a máquina de injeção. Sendo assim, são quatro os tipos básicos de matrizes normalmente realizadas pela empresa. O que muda efetivamente é o dimensionamento dos moldes, que variam conforme o posicionamento das cavidades e a armação dos canais de injeção que são definidos pelos projetistas. Este posicionamento das cavidades interfere diretamente na montagem da matriz, muitas vezes, definindo qual tipo de molde e que forma de injeção será utilizada. Essas análises para tomada de decisão são baseadas na experiência dos projetistas e supervisores da produção, que são os responsáveis pela construção efetiva do molde, e sua efetiva validação.

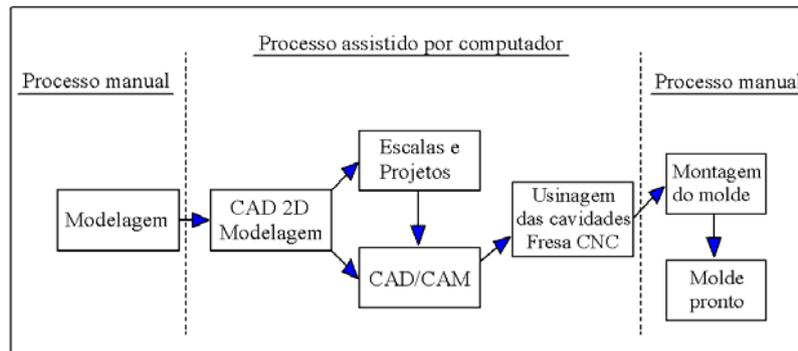


Figura 1 - Processo de confecção de moldes e matrizes.

Aprovado o projeto da escala ou piloto, o arquivo do desenho é transformado para o formato *pdf.*, e esta imagem do dimensionamento é enviada para o setor de CAD/CAM. Paralelamente a este processo, o setor CAD2D Modelagem, envia suas linhas da coleção ou piloto para o setor CAD/CAM. O setor de CAD/CAM visualizando a imagem do projeto 2D já desenvolvido e, juntamente com as linhas da escala recebidas, poderá iniciar a fase de modelamento das cavidades 3D e montagem das matrizes. Quando o modelamento for finalizado, é gerado um programa CNC para usinagem final das matrizes. Desta maneira, são copiadas ou usinadas as cavidades e canais de injeção modelados sobre as chapas que foram dimensionadas pelos projetistas do CAD 2D. Os problemas em relação à montagem, configuração e escolha do tipo de injeção somente são constatados quando a matriz for testada em uma máquina injetora, onde ocorrerá o retrabalho.

Mesmo que o responsável por esse desenvolvimento tivesse uma grande experiência e visão do processo como um todo, seria difícil a identificação correta de situações que eventualmente acabam por interferir no produto final. Somado a isso, mesmo com a grande semelhança dos produtos, pequenas alterações de posicionamento ou volume das cavidades podem resultar em diferenças expressivas. Desta forma, utilizando-se a simulação, as matrizes podem ser projetadas dentro dos limites do próprio molde e da máquina injetora, atingindo todos os requisitos necessários para que não existam interferências nos processos subsequentes.

4.2 Processo após a Inserção da Ferramenta de Simulação Reológica

Com a inserção da ferramenta de simulação reológica, inicialmente, o processo de desenvolvimento tornou-se mais lento, pois foram acrescentados alguns procedimentos nos setores, sendo o mais afetado o de CAD/CAM (Figura 2). Após o projetista CAD/CAM finalizar o modelamento do projeto, este deve ser adaptado



antes do envio ao setor de simulação para validação, e não mais enviado diretamente para a máquina CNC. Esta adaptação inicia-se com a criação de uma casca ou superfície facetada sobre toda a peça modelada, sendo indicado o posicionamento do ponto de injeção. Foram agregados, também, alguns modelamentos específicos que anteriormente eram desnecessários. Por exemplo, todo pino que represente uma restrição à passagem de material deve ser devidamente modelado, caso contrário, a simulação efetuada posteriormente não proporcionará a mesma precisão. Estes pinos não eram modelados anteriormente, pois eram posicionados pelos matriseiros nas operações seguintes. Contudo, com a simulação, este modelamento torna-se necessário para que o operador do software CAE visualize todos os obstáculos ao qual o material terá que fluir. Sendo assim, o projetista CAD/CAM acaba retardando os seus procedimentos.

O setor de análise CAE, após receber o modelo virtual, faz a simulação e análise do processo de injeção. O software utilizado é o Molflow®. Existe muita troca de informações nessa fase. Alguns relatórios para o acompanhamento e controle de projetos foram criados, facilitando a definição de prioridades e pendências.

Nesta etapa o analista CAE prepara o modelo, com dados relativos ao material a ser injetado, características da máquina de injeção, posicionamento dos canais de alimentação, pontos de injeção e bucha de injeção. Com base nisso, é realizada uma análise crítica sobre os dados gerados, validando a situação ideal de injeção. Com o molde validado, o analista passará as alterações do molde para o projetista CAD/CAM que fará os devidos ajustes no seu modelo e, após, enviará o projeto para a máquina CNC. Com a análise e simulação virtual do molde, o analista CAE tem a liberdade de movimentar as cavidades e redefinir os canais de injeção do molde, até atingir o resultado ideal.

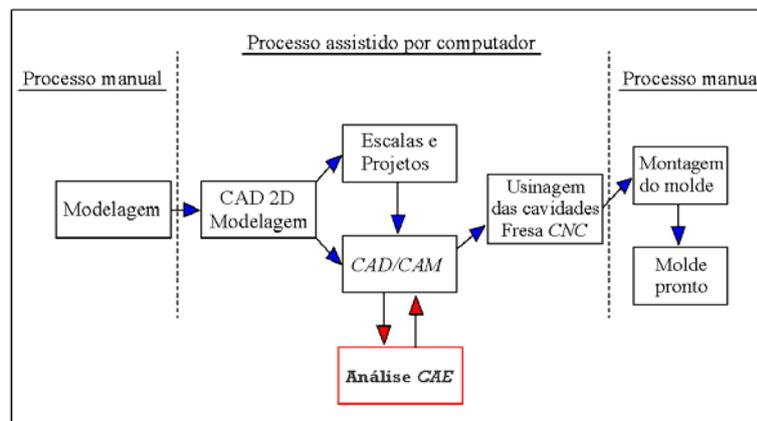


Figura 2 - Fluxograma ilustrando a inclusão do processo de simulação de injeção.

4.3 Comparativo dos Resultados Obtidos após a Implementação do Software

4.3.1 Comparativo em matrizes-piloto

Neste comparativo são observados os resultados obtidos em matrizes piloto, onde são injetadas peças para aprovação técnica e cartela de cores. Nesta aprovação são avaliados vários requisitos técnicos do produto, como: design, montagem, viabilidade para produção em massa e insumos necessários. Depois desta aprovação, é realizada a injeção da cartela de cores para apresentação do produto em diferentes combinações de cores.

Com base em informações obtidas pelos responsáveis da matrizaria da empresa, no sistema anterior, onde o canal de injeção era definido conforme a experiência dos



projetistas, consumia-se em média duas horas e cinquenta minutos para reposicionamento do canal de injeção, sendo necessárias em média três alterações. Analisando-se o projeto com o software, obteve-se a média de cinquenta minutos por modelo com apenas uma alteração necessária. Desta forma, a probabilidade de se realizar *embuchamento*, procedimento realizado para tampar o canal que alimenta a cavidade, foi praticamente zerada com o uso do software. Nos projetos anteriores existiam retrabalhos no procedimento de embuchamento, os quais eram causados pela usinagem imprecisa do canal de alimentação da cavidade que ficava muito longe da posição correta. Este procedimento aumentava em no mínimo mais uma hora, resultando em três horas e quarenta minutos de retrabalhos por modelo. A Tabela 1 mostra um comparativo dos resultados obtidos para matrizes piloto produzidas mensalmente. São produzidas em média trinta matrizes-piloto por mês, sendo obtidos alguns ganhos com o novo processo:

- economia com a redução de mão de obra referente aos retrabalhos;
- redução no consumo de tempo para aprovação técnica e cartela de cores;
- economia de PVC consumido; e
- redução na quantidade de matrizes/alterações nos canais de injeção.

Tabela 1 - Comparativo dos resultados obtidos para matrizes piloto/mensal

Produção mensal: 30 matrizes	Sistema Antigo	Sistema Atual	Ganho
Redução do tempo de aprovação e cartela de cores em uma matriz	3 dias	1 dia	2 dias
Matrizes com alteração de canal de injeção	11 matrizes	2 matrizes	9 matrizes
Consumo de PVC	39 Kg	7 Kg	32 Kg
Gasto PVC	5,5 Unid	1 Unid	450%
Custo Mão-de-obra	40 Unid	1 Unid	3900%

A partir dos dados mostrados na Tabela 1, constata-se que foi obtida uma redução nos custos de produção, totalizando um ganho de 43,5 Unidades de Valor, representando o somatório do ganho com o consumo de PVC e mão de obra nos trinta moldes produzidos durante um mês. Foi escolhido se trabalhar em Unidades de Valor para preservar a exposição de valores aportados pela empresa. Nesse caso, a Unidade de Valor está associada com os valores em R\$ atingidos pelo ambiente após a implementação da ferramenta de CAE.

Considerando que num período de seis meses foram produzidos 176 projetos, conseguiu-se uma economia de 261 Unidades de Valor (aprox. R\$ 6.348,00). Os dados não apresentaram ganhos monetários expressivos nos estudos realizados nas matrizes-piloto, no entanto, existiram outros ganhos importantes, mas difíceis de mensurar, como: maior segurança ao trabalhador, pois quanto menor a movimentação de matrizes, menor a possibilidade de acidentes; redução no tempo para a injeção da aprovação e cartela de cores, acelerando, desta forma, todo o processo de produção das matrizes piloto.

4.3.2 Comparativo em matrizes de coleção

No período de março de 2011 a agosto de 2011, foram realizados e acompanhados 266 estudos de projetos simulados. Os dados relativos a esses projetos foram obtidos para mensurar os ganhos reais alcançados e identificar de que forma a ferramenta de simulação reológica otimizou o processo. Os 266 projetos foram divididos entre projetos de matrizes piloto e projetos de matrizes de coleção. A Figura 3 mostra como o estudo foi dividido:



- matrizes de expandidos, que injetam as solas dos calçados, onde são injetados juntos o PVC e o gás expensor responsável pela propagação do termoplástico nas paredes das cavidades; e
- matrizes de *full plastic*, onde são injetados os componentes do calçado, cabedais, enfeites, soletas, biqueiras, tacos e tiras de fechamento.

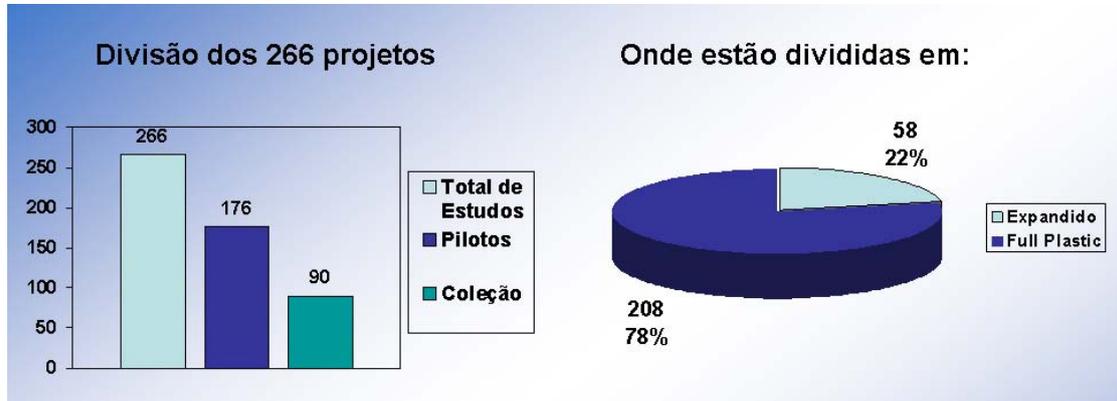


Figura 3 - Acompanhamento dos modelos simulados.

A Figura 4 mostra uma comparação com relação ao projeto do molde um produto específico, como exemplo. Trata-se de um produto de coleção, tipo *Full Plastic* de um modelo feminino, com tamanho único. Na Figura 4(a) o projeto, desenvolvido pelo setor de projetos CAD 2D, localizado na matrizaria da Unidade B, observa-se a vista de topo do molde, canais de refrigeração, disposição das doze cavidades e do canal de injeção. Nesse caso, o layout do projeto foi desenvolvido conforme a experiência do projetista, baseado em informações fornecidas pelo PCP. Para esse modelo específico a grade de vendas fornecida prevê a quantidade de duzentos mil pares mediante pesquisa de mercado.

A Figura 4(b) mostra o mesmo projeto, porém, com as alterações realizadas após a análise CAE. Pode-se observar as alterações no layout das cavidades em função da distribuição do canal de injeção. Também, por meio da escala de cores, foram atribuídas diferentes dimensões aos canais de injeção. As quatro cavidades mais próximas ao bico de injeção sofrem maior pressão, por isso, possuem o canal de injeção com dimensionamento menor, para que, deste modo, o seu preenchimento aconteça no mesmo momento das outras cavidades que estão mais afastadas. Desta forma, as dimensões do canal de alimentação são otimizadas, não sendo iguais como anteriormente. No processo anterior os canais eram padronizados na medida de raio 3,5 mm por 4,0 mm de largura. Essa padronização gerava desbalanceamento no molde, excesso de pressão de fechamento na matriz e desperdício de material do canal de injeção.

Somado a isso, o canal de injeção deste molde foi reduzido em 300 milímetros de comprimento, resultando numa redução de peso em 22 gramas. Considerando-se que são produzidos 200 mil pares de calçados, o ganho gerado é de aproximadamente 16,3 Unidades de Valor em material PVC, somente com este componente do produto. Durante os seis meses de acompanhamento foram realizados 90 moldes de coleção, o que multiplicado pela economia acima média acima citada resultaria em 1.469 Unidades de Valor de economia somente com a redução de canais de injeção.

Salienta-se que o valor de cada Unidade de Valor para esse cenário de matrizes de coleção, equivale a 6 vezes a Unidade de Valor para matrizes piloto (Tabela 1).

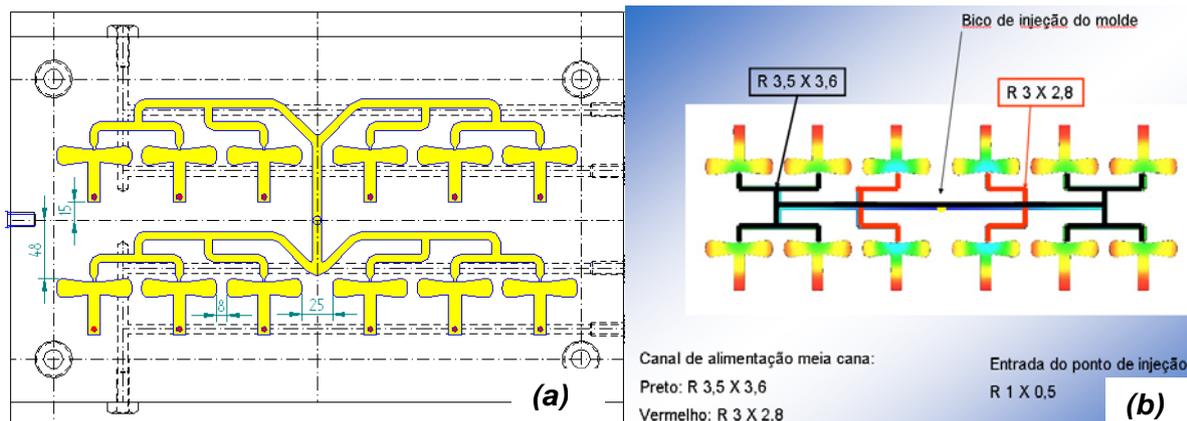


Figura 4 – Distribuição das matrizes e canais de alimentação (a) baseado na experiência (b) baseado no sistema CAE

A Tabela 2 apresenta os resultados finais do comparativo, analisando-se todos os 266 projetos acompanhados, divididos em piloto e coleção, conforme ilustrado anteriormente na Figura 4. Somando-se os ganhos obtidos com os 266 projetos analisados, foi obtida uma economia de 1.513 Unidades de Valor em apenas seis meses de análises.

Tabela 2 - Comparativo dos resultados obtidos sobre todos os projetos analisados

	Projetos piloto: 176 simulações			Projeto coleção: 90 simulações		
	Antes	Depois	Ganho	Antes	Depois	Ganho
Consumo de PVC	230 Kg	41 Kg	189 Kg	128.970 Kg	65.970 Kg	63.000 Kg
Gasto com PVC	5,3 Unid	1 Unid	430%	3.009 Unid	1.540 Unid	95%
Custo com mão de obra	39 Unid	1 Unid	3800%	-	-	-
		Total	42,3 Unid		Total	1.469 Unid

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para obtenção dos resultados alcançados neste artigo, foi feito o acompanhamento dos estudos realizados nos modelos analisados pelo setor de CAE e entrevistas com os Supervisores responsáveis pela injeção das matrizes piloto e coleção. Encontraram-se algumas dificuldades para mensurar os ganhos, pois não se tinha dados registrados do processo antes do uso da ferramenta de análise reológica. Desta forma, os dados obtidos foram coletados a partir das entrevistas com os profissionais envolvidos no processo. No entanto, a partir da comparação apresentada no desenvolvimento do trabalho o investimento justificou-se plenamente. Acelerando a aprovação do produto, conseguiu-se reduzir o tempo de injeção da cartela de cores, não sendo melhorado somente o tempo na produção de matrizes piloto, pois este ganho produziu uma reação em cadeia positiva, interferindo em todo cronograma da fábrica. Como consequência, acelerou o processo de produção das matrizes de escala, que produz resultados superiores em função das quantidades produzidas que são muito maiores. Sobre a movimentação das matrizes também foram alcançados grandes avanços, pois a redução da movimentação das matrizes entre os setores para a realização de retrabalhos diminuiu a possibilidade de acidentes de trabalho.



O investimento feito pela empresa para realizar a implementação desta ferramenta de simulação, considerando a compra da licença, a renovação da mesma, treinamento de usuários, salários dos usuários e hardware foi de aproximadamente 1.454 Unidades de Valor. Conforme demonstrado no desenvolvimento do trabalho, em apenas seis meses conseguiu-se obter ganhos (1.469 Unidades de valor) que cobriram os investimentos realizados pela empresa para implementação deste software de simulação. Deve-se considerar, também, os ganhos de difícil mensuração, mas que geraram aceleração do sistema produtivo global da empresa. Após o desenvolvimento do estudo, pode-se justificar a aquisição do software. Surgem, também, oportunidades para ampliação da utilização deste recurso, que podem ser implementadas, com módulos mais avançados como, por exemplo, análise de contração das peças. A ampliação na utilização desta ferramenta de simulação tende a tornar todo o processo ainda mais assertivo, resguardando os recursos da empresa.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi realizado um estudo de caso com o objetivo principal de realizar um estudo comparativo da implementação de um software de simulação de injeção reológica, apresentando resultados que justificassem o seu investimento, alcançando o objetivo proposto. Através da ilustração de um projeto realizado pela empresa, conseguiu-se exemplificar de que forma foi obtida a redução no consumo de matéria prima, na movimentação de matrizes e no tempo de fases de produção, impactando no desempenho produtivo da empresa. Isso evidencia o fato e a necessidade das empresas terem sempre claramente armazenados seus dados de forma que possa efetivamente fazer análises dos ganhos com esses tipos de implementações.

A simulação não é por si só a solução de todos os problemas, mas sim uma ferramenta poderosa que, nas mãos de profissionais competentes, pode gerar enorme economia para as empresas e permitir rápida evolução tecnológica. No estudo desenvolvido, a inserção da ferramenta veio acompanhada de uma nova proposta formal no processo de desenvolvimento e produção de produtos, onde todos os participantes entendem sua parte e contribuição no mesmo.

REFERÊNCIAS

- 1 MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- 2 PROENÇA, Adriano; FILHO, Sérgio José Mecena da Silva. Manufatura integrada por computador – sistemas integrados de produção: Estratégia, Organização, Tecnologia e Recursos Humanos. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- 3 BENNATON, Jocelyn Freitas. Considerações a respeito da organização. abstracts. San Francisco: Elsevier, 2001. p.30
- 4 MOREIRA, Daniel Augusto. Medida da produtividade na empresa moderna. São Paulo: Pioneira, 1991.
- 5 HEIZER, Jay; RENDER, Barry. Administração de operações – bens e serviços. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- 6 PALOMINO, Reynaldo Chile. Gestão estratégica da produção – teoria, cases e pesquisas. Rio Grande do Sul: EducS, 2006.
- 7 FREITAS FILHO, Paulo José de. Introdução à modelagem e simulação de sistemas. Florianópolis: Visual Books, 2001.



- 8 SORS, László; BARDÓCZ, László; RADNÓTI, István. Plásticos – moldes e matrizes. São Paulo: Hemus, 2002. Tradução de: Luiz Roberto de Godoi Vidal.
- 9 HARADA, Julio. Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos São Paulo: Artliber, 2004.
- 10 CRUZ, Sérgio. Moldes de Injeção. 2. ed. São Paulo: Hemus, 2002.
- 11 NAVEIRO, R. M. A Gestão do Conhecimento no processo virtual de desenvolvimento de produtos. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da UFRJ, 2005.
- 12 FERREIRA, A.B. CAD/CAM: conceitos e aplicações em projetos mecânicos e critérios para a seleção e utilização em Engenharia. Dissertação de Mestrado Escola Politécnica. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990.
- 13 SOLINHO, J. L. G. A indústria mecânica e a revolução do processo de projeto. CADware Technology. Ano 2. 1998. n. 8. p. 31-33.
- 14 KOCHAN, ANNA 1986. Implementando CIM – Manufatura Integrada por Computador . Bedford: IFS (Publicação). 142 pp.
- 15 KIAM, T.M. PEREIRA, N.C. Estudo de Caso de peças moldadas pelo processo de injeção – compressão para termoplásticos utilizando análise computacional. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 1, p. 16-22, 2007.
- 16 CARNEIRO, M.S. 2011. Disponível em:<<http://www.moldesinjecao plasticos.com.br>>. Acesso em: 15 de Setembro, 2011, 22:15:00.
- 17 DIHLMANN, C. Simulação e análise do preenchimento de cavidades em moldes para injeção de termoplásticos utilizando método manual e tecnologia CAE/CAD. Dissertação, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- 18 MOLDFLOW CORPORATION. Simulation Fundamentals Training Manual MPI 6.0. Julho/2006.
- 19 KOCHE, J. C. Fundamentos de Metodologia Científica – Teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 27. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2010.
- 20 TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais – a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987. RUSSO, G.M. **Guia prático de terceirização:** como elaborar um projeto de terceirização eficaz. Campus. Brasília, DF, 2007. 13 p.
- 21 GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- 22 MARCONI, M. A., LAKATOS, E. M. Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2009.