

APLICAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA NO REDESIGN DE UM MOLDE DE SOPRO

Danilo Corrêa Silva¹

Mayara Manço Pillon²

Édson Detregiachi Filho³

Vânia Érica Herrera⁴

390

RESUMO

A Engenharia Reversa (ER) é uma técnica que permite, a partir de um modelo físico, desenvolver modelos virtuais, possibilitando alterar e adicionar novas partes a esse modelo, gerar ou atualizar bancos de dados de projetos ou de ferramentas existentes. O objetivo deste trabalho é discutir a aplicabilidade da ER no desenvolvimento de produtos, especialmente quando a base é um produto antigo, que não possui documentação técnica atualizada. Este trabalho é dividido em duas partes, a primeira consiste na apresentação e na fundamentação teórica dos conceitos ligados à ER, suas principais ferramentas e metodologias. A segunda apresenta uma análise da utilização da referida técnica na forma de estudo de caso em uma empresa. O estudo de caso consistiu no acompanhamento do processo de digitalização de um molde para modificação do projeto e correção dimensional do produto. Os resultados apontam que essa técnica pode ser utilizada com sucesso no desenvolvimento de produto principalmente quando a informação atual sobre o modelo físico foi perdida. Conclui-se que a ER é uma técnica capaz de reduzir tempo e custos do processo de desenvolvimento de produtos, já que em comparação com o processo de manufatura convencional os investimentos e o tempo necessários são menores.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Reversa. Digitalização. Desenvolvimento de Produto.

ABSTRACT

The Reverse Engineering (RE) is a technique that allows, from a physical model, to develop virtual models, enabling changing and adding new parts to this model, generate or update project databases or existing tools. The aim of this paper is to discuss the applicability of ER in product development, especially when applied to an old product, which has no updated technical documentation. This work is divided into two parts, the first is the presentation and a review of concepts related to the ER, its main tools and methodologies. The second presents an analysis of the use of this technique in the form of case study in a company. The case study consisted in monitoring the digitization process of a mold to modify its design and to correct its dimensions. The results show that this technique can be successfully used in product development, especially when information of the physical model has been lost. We conclude that RE is a technique capable of reducing time and costs of the product development process, since compared

¹ Departamento de Engenharia de Produção

² Bacharel em Engenharia de Produção

³ Departamento de Engenharia de Produção

⁴ Departamento de Engenharia de Produção

to the conventional manufacturing process it requires less financial investment and spend less time.

KEYWORDS: Reverse Engineering. 3D Scanning. Product Development.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da competitividade e economia globalizada leva as organizações a procurar novas tecnologias e alternativas, para aperfeiçoar e reduzir tempo em seu processo de desenvolvimento de seus produtos. Assim técnica de Engenharia Reversa (ER) consiste basicamente em reproduzir peças, produtos ou ferramentas a partir de modelos ou componentes existentes.

A ER pode ser caracterizada de acordo com sua aplicação de duas formas: a digitalização direta de componentes, também conhecido como escaneamento de geometrias e superfícies; e a análise funcional dos subconjuntos e componentes de um sistema ou conjunto.

A técnica de digitalização é utilizada no processo de ER para capturar dados de objetos em 3D e então, auxiliada por softwares, permite obter com grande precisão curvas, detalhes de superfícies e texturas.

Através dos modelos digitalizados podem ser realizadas medidas de desgaste, construção de novos moldes, análises de superfícies e aplicar os resultados com fidelidade a novos produtos similares. Para estas aplicações, em geral, são utilizados sistemas de alta tecnologia, como o *scanner* 3D à laser e sistemas computadorizados de auxílio ao desenho, projeto e manufatura.

Assim, a ER também pode ser utilizada para implementação de melhorias em produtos, onde o ponto de partida é outro produto com conceitos ou características técnicas melhores e já aplicados e testados no mercado, objetivando o aperfeiçoamento e não a simples cópia do produto já existente.

2. REVISÃO TEÓRICA

A Engenharia Reversa (ER) é uma técnica que se caracteriza pela reprodução de um modelo físico, para que este possa transformar-se em um modelo digital, ou seja, um processo de confecção de um produto a partir de um similar já existente (SOUZA; ULBRICH, 2009; SOKOVIC; KOPAC, 2005).

Ingle (1994) define a ER pode como um processo de desmontagem de um produto, com o objetivo de determinar como o produto foi desenvolvido ou projetado, desde seus componentes até o produto final.

De acordo com Souza e Ulbrich (2009), a ER pode ser dividida em duas etapas: digitalização do produto e reconstrução do modelo CAD a partir dos dados digitalizados.

A digitalização é o processo de captura de coordenadas de pontos das superfícies da peça. O resultado do processo de digitalização é uma nuvem de pontos 2D ou 3D, armazenados como uma imagem (DONG-FAN, 1996).

Souza e Ulbrich (2009) dividem o processo de digitalização em cinco etapas: a aquisição de dados; registro de referências no modelo; criação de malha; retrabalho de malha; e suavização da malha.

A **aquisição de dados** ocorre durante o processo de digitalização, várias tomadas de pontos são realizadas, quando o ângulo de atuação do equipamento não cobre todo o modelo, outra tomada de pontos é necessária. O resultado desta etapa é uma densa nuvem de pontos formada por várias tomadas em diferentes ângulos de visão.

O **registro de referências** no modelo é responsável por criar registros que possibilitem a combinação dos pontos levantados. O mínimo de registros necessários para juntar duas tomadas de digitalização consiste em três pontos. O objetivo da captura destas referências é fornecer informações para fazer o alinhamento entre as camadas digitalizadas.

A **criação de uma malha** triangular única é realizada após todas as tomadas de pontos serem alinhadas. Inicia-se um processo de união e redução de regiões sobrepostas.

O **retrabalho da malha** fecha lacunas e elimina ruídos. Em muitos casos, a sobreposição das camadas pode conter regiões de difícil acesso, impedindo a captura de pontos ou furos de processo, que não são necessários para construção do modelo.

A **suavização da malha** erros dimensionais, como ruídos (falhas), erros de calibração e registro, podem ser eliminados sem destruir a geometria do objeto. Para isso a malha deve passar pela etapa de suavização, que consiste em construir a malha considerando um desvio médio entre os pontos que fazem parte de uma determinada região.

Após a digitalização em si ocorre à reconstrução do modelo CAD, que nada mais é do que o assentamento das geometrias sobre os pontos obtidos na digitalização. Souza e Ulbrich (2009) dividem o processo de reconstrução do modelo CAD a partir dos dados digitalizados em quatro etapas: a extração de informações da digitalização, a adequação de informações extraídas para a composição do modelo CAD, a criação do modelo CAD e a comparação entre o modelo construído e o modelo original digitalizado.

Na etapa de **extração de informações da digitalização**, a digitalização servirá de referência para a construção do modelo CAD, ou seja, toda e qualquer medida necessária para criar o modelo será extraída da digitalização. Basicamente isto pode ser feito através da extração de cortes ou curvas contendo a forma do modelo.

Na **adequação das informações extraídas** para composição do modelo CAD, ocorre que muitas vezes, os cortes extraídos são irregulares, com ruídos ou falhas e as curvas precisam ser reconstruídas a fim de criar um modelo mais leve e suave.

Na etapa de **criação do modelo CAD**, com as curvas definidas o modelo CAD é criado, podendo seguir dois métodos: assentamento de superfície em cima dos dados da digitalização ou criação de modelo CAD pelo método tradicional (criando formas como extrusão, revolução, curva diretriz, rede, entre outros).

E por fim **a comparação entre o modelo construído e o modelo original digitalizado**, onde após a construção do modelo CAD, este deve ser sobreposto na malha triangular para que os erros na reconstrução possam ser verificados.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na divisão de Ferramentaria de uma empresa fabricante de máquinas agrícolas, onde um de seus clientes que utiliza um molde de sopro para confecção de tanque de combustível de 150 litros (Figura 1), que é utilizado em caminhões F1000.

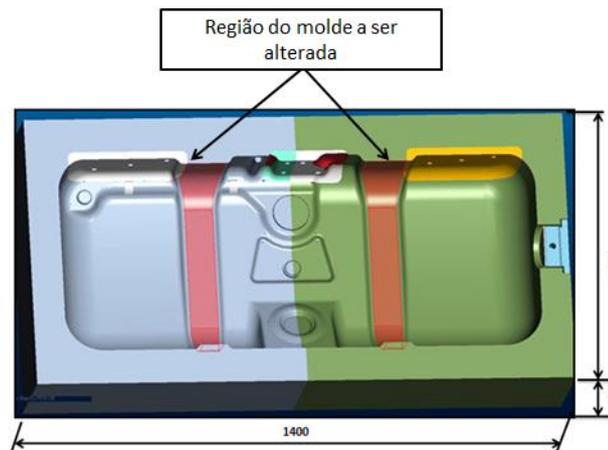
Figura 1- Molde



Fonte: o autor.

Essa ferramenta apresentava um de problema de contração no produto devido à troca da matéria prima utilizada, o que demandava a modificação da ferramenta, com a deposição de material em determinada região do molde (Figura1) para assim compensar contrações do material durante o processo.

Figura 1 - Região do molde a ser alterada



Fonte: o autor.

A solução inicial era soldar e usinar a região do molde. No entanto, após avaliação foi verificado que a solda oferecia riscos como falhas devido a impurezas sendo considerado mais viável incluir um postiço (uma peça que será montada em um alojamento) ao invés de solda na região. Constatou-se também que a documentação do projeto estava desatualizada gerando assim a necessidade de “copiar” o modelo físico para um modelo 3D antes de projetar a alteração solicitada pelo cliente, garantindo assim a precisão da usinagem.

Inicialmente várias tomadas de pontos foram realizadas e todos os dados digitalizados são convertidos em imagem 3D. O laser foi passado sobre a superfície do molde até ter a garantia que a imagem 3D estava completa sem furos ou falhas. Com a imagem 3D completa inicia-se o processo de criação da malha.

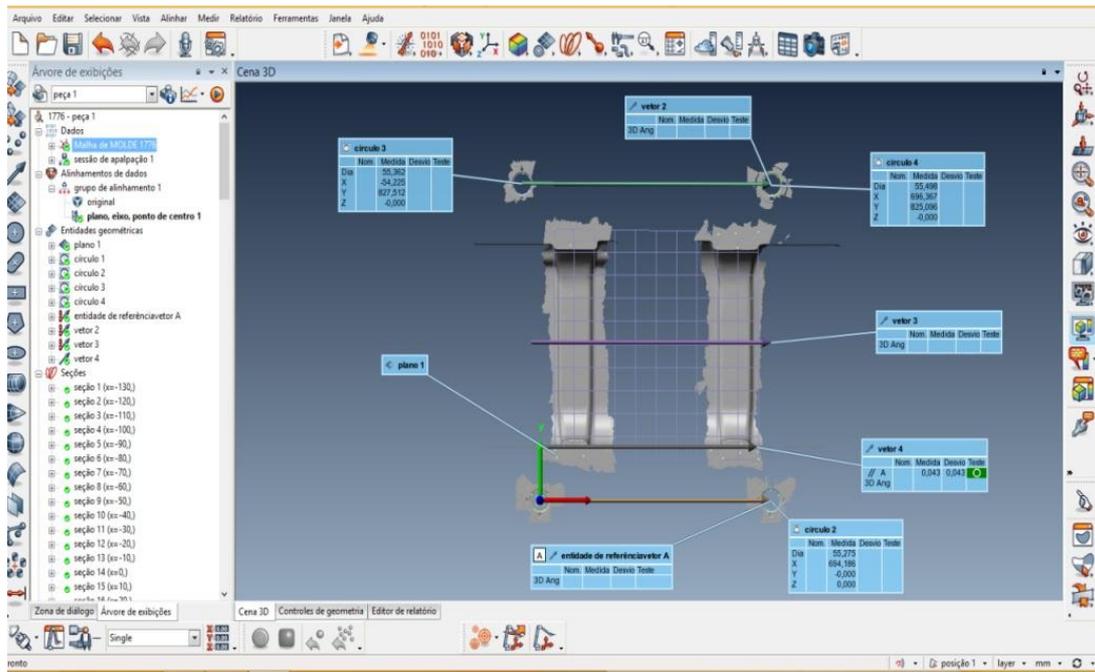
A criação da malha e a suavização da mesma são realizadas simultaneamente pelo software utilizado, onde arquivo da imagem 3D é importado. Essa criação da malha envolveu etapas automatizadas no próprio software.

Para isso foram definidos parâmetros básicos dentro do programa e os mesmos determinam as características da malha final produzida: nível de suavização, distância máxima, passo de amostragem da superfície e o desvio padrão.

Com a malha então criada foi realizado o retrabalho da malha e o registro de referências. Nesta etapa foram apagados todos os pontos que não faziam parte da peça, como por exemplo, o desempenho onde o molde foi apoiado e que eventualmente foram digitalizados também. Não foi necessário fechar lacunas visto que a primeira etapa de aquisição dos dados a imagem 3D se encontrava livre de falhas. Foi necessário apenas criar elementos para referência, círculos e plano foram criados, formando assim os elementos de referência.

Para o registro das referências (Figura 3) foi utilizado os diâmetros das colunas do molde, para alinhamento e origem em X, Y, por se tratar de um elemento responsável pela centragem do molde era a região mais indicada. O plano para de fechamento do molde foi utilizado como referência em Z.

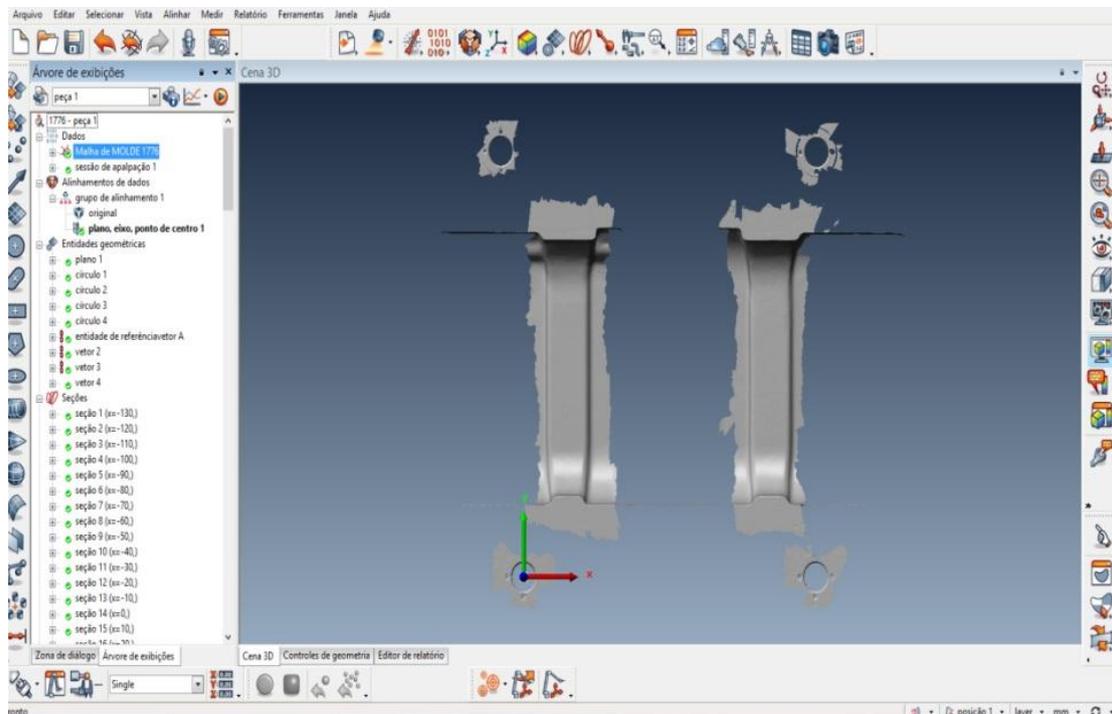
Figura 3 - Registro de referências.



Fonte: o autor.

A Figura 4 ilustra o resultado da malha já com as origens definidas.

Figura 4 - Malha criada



Fonte: o autor.

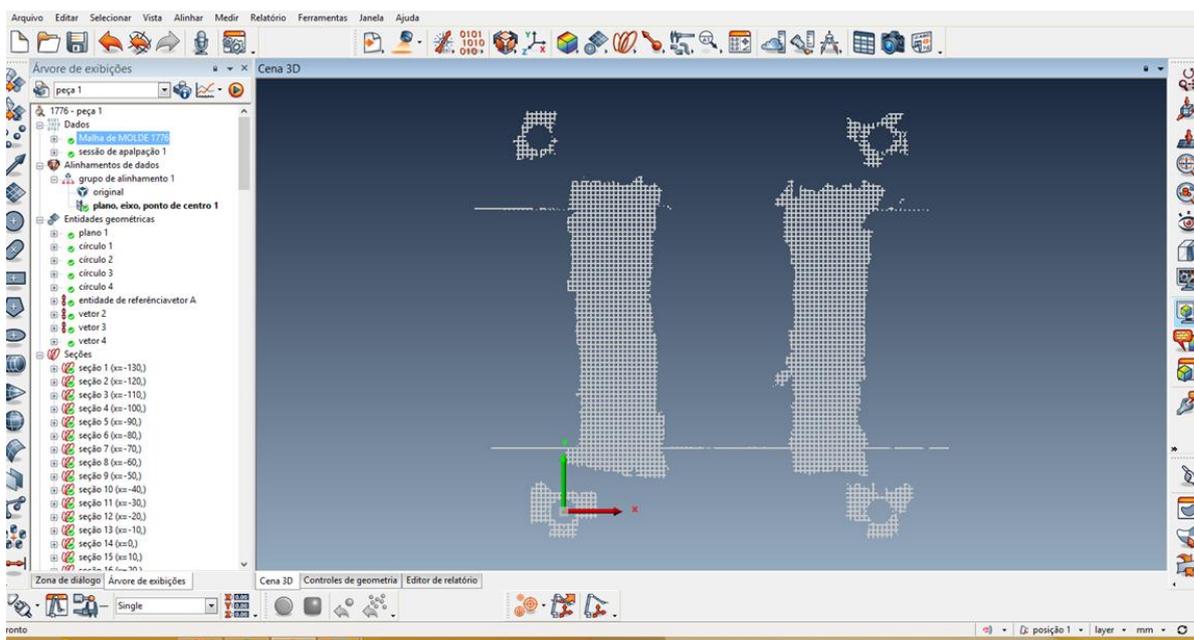
O processo todo de digitalização levou cerca de uma hora e trinta minutos, considerando preparação do molde e do equipamento assim como a digitalização da superfície, o resultado final da digitalização é uma malha triangular ou cortes.

Na etapa de reconstrução do modelo CAD, a malha triangular criada é exportada como um arquivo do tipo STL. Os cortes da digitalização podem ser nos eixos x, y ou z e exportados em IGES.

Os cortes devem ser homogêneos e devem ter aproximadamente o mesmo tamanho, ou seja, iniciar e terminar nos mesmos limites.

Para este projeto foi necessário realizar cortes na malha com as seções (Figura 5), com um espaçamento cinco milímetros, o processo foi realizado em x,y e z. Essas seções foram exportadas em IGES para o projetista.

Figura 5 - Seções da malha



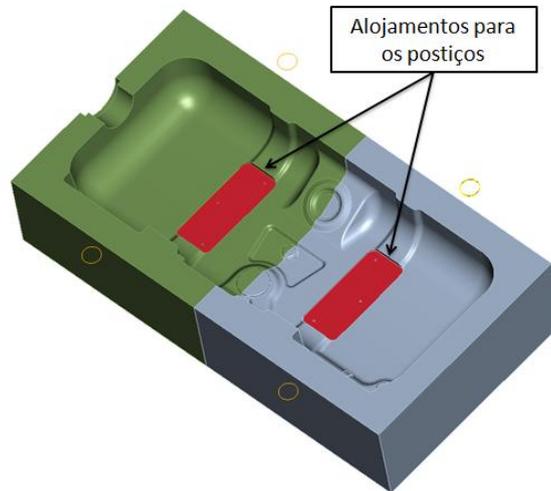
Fonte: o autor.

O projetista importou as seções em IGES no Pro/ENGINEER iniciou a criação de modelo CAD onde com o modelo já criado ele vai ajustando o mesmo de acordo as dimensões das seções da malha. Ele monta as seções no modelo 3D e realiza as adequações necessárias no mesmo para que fique o mais próximo das seções.

Durante o ajuste da digitalização com o modelo o projetista vai comparando a todo o momento a diferença entre a superfície e a digitalização, e se necessário vai diminuindo a mesma até que fique com um valor bem baixo e próximo ao real.

Após adequar a superfície do modelo 3D com o real (digitalização), é incluído o alojamento para os postigos na cavidade (Figura 6).

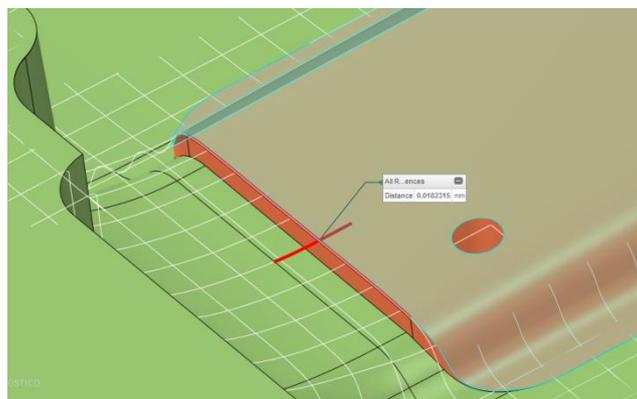
Figura 6 - Cavidade com alojamentos para o postigo



Fonte: o autor.

E por fim são projetados os dois postigos, com a curvatura de 5mm para compensar a contração e corrigir o dimensional do produto. O processo todo de reconstrução do modelo CAD, com as alterações necessárias, levou cerca de oito horas para conclusão. A Figura 8 exibe a diferença encontrada entre a superfície e a digitalização ao final do processo de reconstrução do modelo CAD, cerca de 0,018mm.

Figura 8 - Diferença entre a superfície e o modelo CAD digitalizado



Fonte: o autor

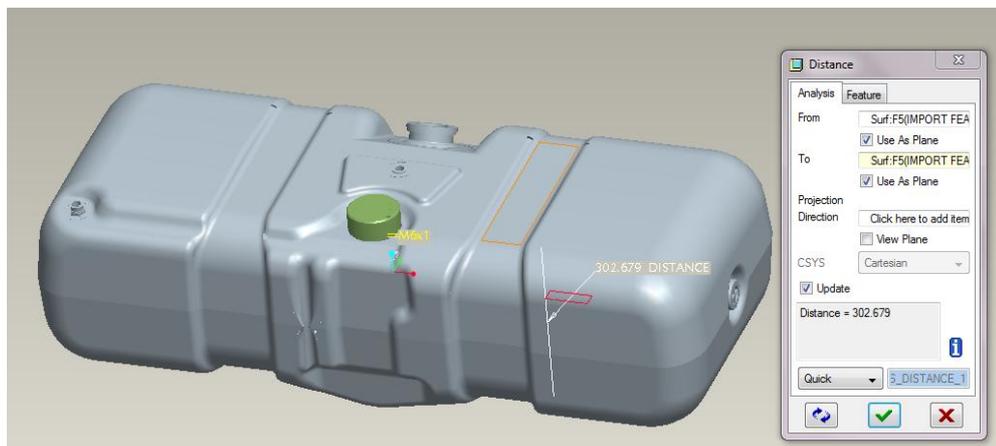
Após o projeto concluído foram iniciadas a fabricação dos postigos e a usinagem do alojamento para os postigos na cavidade, onde foram utilizadas máquinas conhecidas como Centros de Usinagem. Essas máquinas trabalham produzindo uma grande variedade de perfis diferentes com velocidade, economia e qualidade. A usinagem dos postigos e da cavidade foi realizada em 16 horas.

Com todas as usinagens concluídas, os postigos e a cavidade foram inspecionados para ter certeza da adequação à tolerância do desenho antes da montagem, e sendo assim aprovados, os postigos foram montados na cavidade pelos ferramenteiros. É muito importante que não fique nenhum desencontro ou diferença entre a superfície do molde e o postigo, pois isso pode prejudicar a superfície do produto. O processo de montagem e acabamento foi realizado em 8 horas.

Em seguida o molde foi encaminhado para o cliente, que realizou o teste do molde na produção e também um novo dimensional do produto (Tabela 1) verificando se este está de acordo com a tolerância especificada.

Tabela 1 – Dimensional do produto

Medida Nominal	Tolerância	Antes da alteração	Após a alteração
302,68	±0,5	Min. 307,60 Máx. 307,70	Min. 302,75 Máx. 302,80



Fonte: o autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo da ER é prático, pois é dividido em duas etapas básicas, a digitalização onde é realizada a captura de coordenadas de pontos das superfícies da peça através de scanners que poder ser com contato físico ou não, e a reconstrução do modelo em CAD 3D, que consiste em extrair informações dos dados capturados pela digitalização e a partir deles, reconstruir o modelo geométrico.

Através do estudo de caso foi possível atingir o objetivo do trabalho, no caso apresentado era necessário reproduzir a cópia fiel de determinada superfície de um molde para assim então se pudesse realizar uma alteração para melhoria no produto que estava apresentando problema de contração.

A alteração não poderia ser realizada sem a atualização do projeto da ferramenta antes, ou seja, a reconstrução do modelo CAD. Isso se deve ao fato de que a alteração exigia precisão, pois se fosse considerado sobremetal a mais ou a menos na ferramenta, o problema nas dimensões do produto não seria corrigido e não resultaria um produto de qualidade, sendo necessárias outras alterações até chegar ao desejado.

Por se tratar de um molde de produção é imprescindível que a parada do molde na linha ocorra em curtos períodos e que as alterações sejam eficazes. Os custos com essas alterações são altos, já que exigem profissionais e recursos especializados como projetistas, ferramenteiros, máquinas CNC de alta precisão e softwares de auxílio ao projeto e a manufatura.

Conclui-se então que a utilização desta técnica permitiu que em um curto período de tempo, uma ferramenta que estava com um projeto 3D desatualizado devido a ajustes manuais e alterações sofridas durante os anos, fossem atualizadas, sendo assim possível inserir uma modificação com precisão que resultou na correção do problema dimensional do produto.

REFERÊNCIAS

INGLE, K. A. **Reverse engineering**. McGraw-Hill Professional Publishing, 1994.
DONG-FAN, C.; MING-LUN, F. Reconstruction technique in reverse engineering. In: Industrial Technology, 1996. **Proceedings of The IEEE International Conference on. IEEE**, 1996. p. 37-41.

SOKOVIC, M.; KOPAC, J. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. **Journal of Materials Processing Technology**, p.1-6, 2005. Disponível

SILVA, Danilo C.; PILLON, Mayara M.; FILHO, Édson D.; HERRERA, Vânia Érica. **PLICAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA NO REDESIGN DE UM MOLDE DE SOPRO**.

em:<[http://www.researchgate.net/publication/222670753_RE_\(reverse_engineering\)_as_necessary_phase_by_rapid_product_development](http://www.researchgate.net/publication/222670753_RE_(reverse_engineering)_as_necessary_phase_by_rapid_product_development)> Acesso em: 12 jun. 2015.

SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. **Engenharia integrada por computador e sistemas CAD/CAM/ CNC: Princípios e Aplicações.** São Paulo: Artliber, 2009. 332 p.