

# A SIMULAÇÃO NUMÉRICA SOZINHA É SUFICIENTE PARA GARANTIR UMA PEÇA ESTAMPADA EM BOAS CONDIÇÕES?

POR FERNANDO HENRIQUE TERSETTI

A simulação computacional de processos de estampagem se tornou algo corriqueiro nos departamentos de engenharia de diversas empresas no mercado, tanto a nível local quanto mundial. São raras as exceções em que nenhum tipo de simulação é usada, seja ela feita internamente ou contratada de fornecedores.

As primeiras simulações deste tipo começaram a ser realizadas na década de 1990 e de lá para cá houve uma evolução impressionante tanto na qualidade dos resultados dos softwares de simulação, quanto nos conhecimentos dos engenheiros nesta aplicação.

A obtenção de primeiras peças ferramentadas sem rupturas é hoje algo tão comum que engenheiros de gerações mais novas nunca tiveram uma experiência diferente desta. Em algumas empresas, encontramos uma média de 85% da peça dentro do dimensional nas primeiras peças estampadas. Com essas informações, é de se espantar quando em outros locais se observa um retrocesso significativo: Rupturas extensas, vários *loops* de *tryout* para correção dimensional e até mesmo de rupturas onde antes isso era considerado problema do passado.

Esse fenômeno pode ser explicado por uma característica da mente humana estudada por psicólogos mundialmente há séculos. Em 1885, o psicólogo alemão Hermann Ebbinghaus desenvolveu um estudo cujo objetivo era entender e mensurar a capacidade da memória humana de reter informações em um curto prazo de tempo.

Com base nos resultados de seu estudo, Hermann criou a então chamada Curva do Esquecimento, que descreve, naquela época, a capacidade da mente humana de registrar as informações recebidas.

A mente humana, imediatamente após “aprender” algo, retém 100% da informação. Cerca de 20 minutos depois, pouco mais de 40% da informação é perdida, avançando assim sucessivamente até cerca de apenas 21% de lembrança daquilo que foi aprendido 31 dias após o fato.

Vale lembrar que, na época do estudo, não havia, como hoje, acesso massivo a informação. A quantidade de dados absorvidos pela mente de um adulto saudável hoje é significativamente superior aquela de 1885, o que pode significar que nem mesmo os 21% de memorização sejam atingidos.

De forma correlata, a troca de gerações e a passagem do tempo faz com que em algumas empresas apareça uma certa desconfiança nos resultados e o questionamento sobre a real necessidade das simulações. Isso acontece porque muitos não lembram ou até mesmo não viveram épocas em que uma peça precisava de meses e meses de *tryout* para, enfim, ser manufaturada sem rupturas.

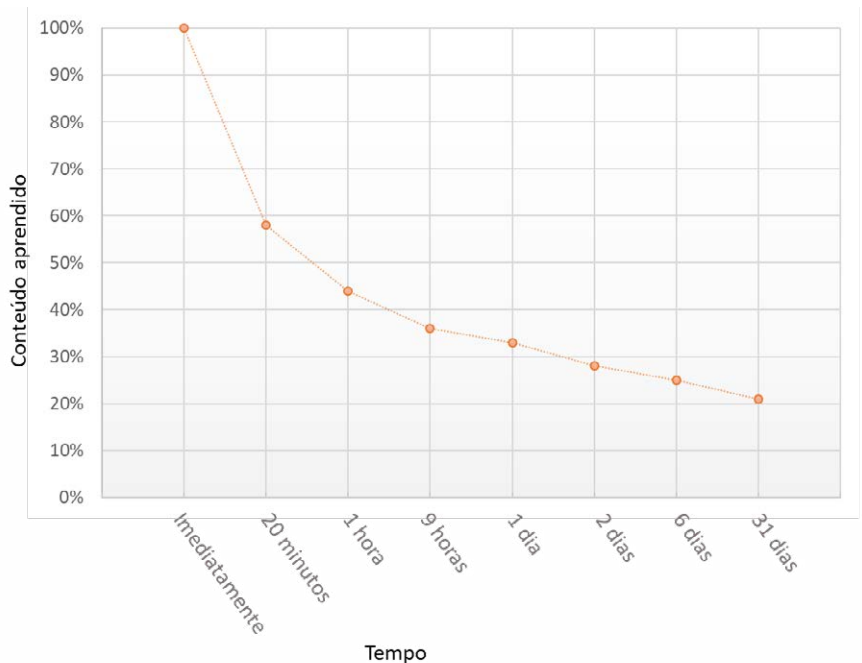


Figura 1: - Curva do esquecimento

# AutoForm

O líder mundial em software de engenharia de conformação de chapas metálicas e montagem de carrocerias brutas

## O MITO DA SIMULAÇÃO

Na década de 1990, em seu início, a simulação era tratada como um mito, havia desconfiança generalizada nos resultados e eram poucas as empresas que se arriscavam nesse novo mundo. Nos anos 2000 ela foi sendo cada vez mais aceita, mas ainda assim era tratada como uma espécie de “mandinga” ou um simples item de um *checklist* que precisava ser executado por exigência dos clientes.

Não havia grandes preocupações com a qualidade dos dados de entrada, como a definição das propriedades do material, a cinemática do processo, a acurácia das geometrias etc. Isso contribuiu com a desconfiança de alguns, pois refletia diretamente em resultados físicos divergentes daqueles obtidos virtualmente.

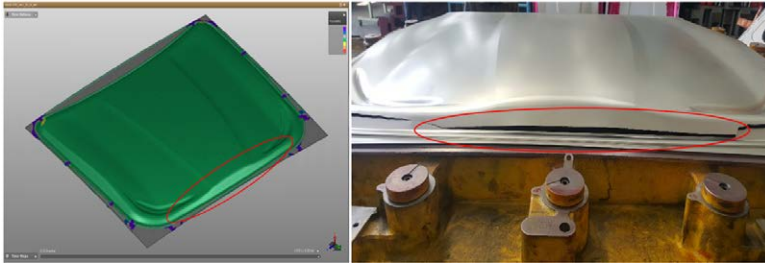


Figura 2: Divergências entre simulação e prática

## A CREDIBILIDADE DA SIMULAÇÃO

Com a evolução dos processos, controle de entradas e principalmente integração dos departamentos, os resultados práticos passaram a cada vez mais coincidir com aqueles obtidos na simulação, o que trouxe credibilidade para as indicações e solicitações do time de engenharia responsáveis por ela.

Como mencionado anteriormente, é possível encontrar empresas que atingem números médios de eficiência na casa dos 85%, e isso quando falamos em comparativos de desvios dimensionais. Peças sem ruptura já são consideradas um resultado natural em muitos departamentos de engenharia. A pergunta que fica e é tema deste

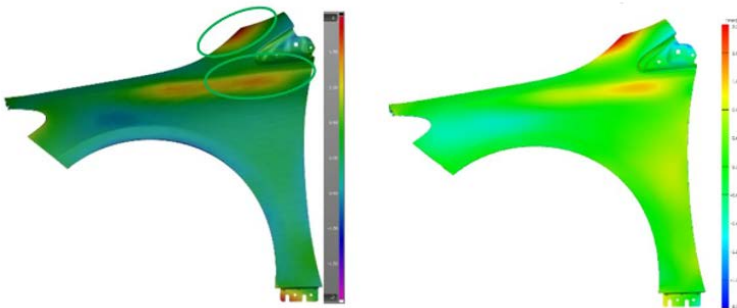


Figura 3: Comparativo: Simulado x Realizado com correlação adequada

artigo é então: Executar a simulação numérica, mesmo que quase à perfeição, é suficiente para garantir um resultado satisfatório?

A resposta direta é: Não, não é suficiente!

## O CONTROLE DO PROCESSO

Na manufatura de peças estampadas, conjuntos e subconjuntos da estrutura de um carro (BiW), por exemplo, existe um número finito, porém muito alto de variáveis que influenciam direta e indiretamente no resultado final alcançado, sendo a



As soluções de software da AutoForm formam uma plataforma completa para a engenharia, avaliação e aperfeiçoamento dos processos de conformação de chapas metálicas e montagem de carrocerias brutas. Esta plataforma permite a total digitalização, o perfeito fluxo de dados e informações e a integração dos padrões da Indústria 4.0.

### Endereço:

Rua José Versolato, 101  
Conjunto 142 – Torre A – Centro  
São Bernardo do Campo, São Paulo  
CEP 09750-730  
Brazil

Telefone: (11) 4121-1644  
E-mail: info@autoform.com.br

**AUTOFORM**  
Forming Reality

www.autoform.com

simulação numérica, apesar de muito importante, apenas uma destas variáveis.

Por isso, para alcançar resultados satisfatórios de forma sistemática é imprescindível controlar todo o processo de desenvolvimento, que inclui, mas não se limita à simulação numérica. Isso significa que é preciso ter cuidado com tudo aquilo que vem antes da simulação, como dados de entrada, informações do material, condições de contorno etc. E com tudo aquilo que vem após a simulação, como o desenvolvimento das superfícies de usinagem, a construção e montagem do ferramental, ajustes, *tryout* etc.

Em outras palavras, se preocupar com parâmetros avançados de simulação, como o modelo de quebra-rugas, encruamento cinemático ou até mesmo o modelo de atrito considerado, pode se tornar um desperdício de energia caso a preocupação com estas informações se encerre ao término da simulação, deixando de lado detalhes como o controle de acabamento da ferramenta (responsável pelo coeficiente de atrito real) ou em qual condição os quebra-rugas foram realmente usinados.

**O CONCEITO DE GÊMEO DIGITAL E COMO UTILIZÁ-LO**

Com o foco em tentar solucionar problemas como os descritos acima, podemos adaptar conceitos existentes no mercado de modo a conseguir indicadores mensuráveis que nos permitam identificar quais e onde estão as divergências de processo que podem gerar resultados indesejados na manufatura de peças e subconjuntos.

O Gêmeo Digital é hoje um dos temas mais mencionados nos fóruns e encontros relacionados à manufatura. Sua base parte do princípio de que uma réplica digital de um ativo físico é criada, no caso, a simulação numérica, e a partir dos resultados observados neste Gêmeo (mestre) Digital é então projetada e construída a ferramenta física. Na prática, deve-se ajustar os procedimentos de construção e ajuste do ferramental e as condições de contorno do *tryout* até que se alcance o

resultado previsto virtualmente, e nunca o contrário.

E como então garantir que o construído alcance na prática os resultados do Gêmeo Digital? Para isso é preciso analisar uma série de variáveis e condições de contorno que podem ser resumidas nos 2 grandes campos mostrados na Figura 4.

**FUNDAMENTOS:**

Aqui, olhamos para aquilo que é a base para a simulação. Em termos simplificados, a simulação é um cálculo baseado em modelos matemáticos que tentam reproduzir o comportamento físico do fenômeno estudado a partir de variáveis de entrada fornecidas pelo usuário. Ou seja, o *card* de material utilizado, por exemplo, nada mais é do que uma tentativa de representar virtualmente o comportamento físico daquele material. Assim sendo, um erro na definição do *card* de material fatalmente gerará um resultado incorreto na simulação.

E o material é apenas um dos dados de entrada. Esse comportamento característico é válido para todos os outros itens do campo de fundamentos: Sistema tribológico, parâmetros da simulação (condições de contorno) e a avaliação dos resultados.

**PROCESSOS:**

São todas as variáveis que são diretamente ligadas ao processo de manufatura, como as geometrias utilizadas, a cinemática do ferramental, parâmetros de processo, forças de sujeição, quebra-rugas etc.

Outro item de processo importante é aquilo que chamamos de robustez, ou seja, a capacidade do processo de absorver variações incontroláveis na prática como a flutuação das propriedades mecânicas do material na troca de bobina, variação de força de prensa, posição inicial do *blank*, entre outras. Um processo robusto é aquele que entrega um produto funcional independente das condições de entrada destes “ruídos”, desde que eles estejam dentro das faixas de variação aceitas pelas normas.

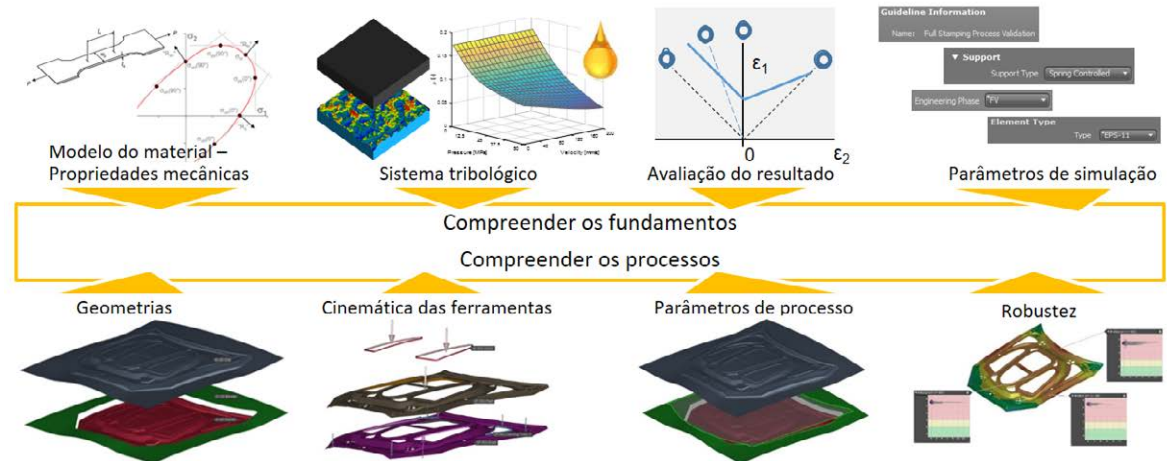


Figura 4: Fundamentos e Procedimentos

## FUNDAMENTOS E PROCESSOS: BUSCANDO A CORRELAÇÃO

Uma vez entendida a diferença entre os fundamentos e os procedimentos o objetivo dos times de engenharia, construção e *tryout* passa a ser um só, que é garantir que os dados coincidam entre mundo virtual (Gêmeo Digital) e mundo físico (ferramental).

Isso significa dizer que, antes de qualquer avaliação dos resultados ou até mesmo início do *tryout*, certos aspectos devem ser observados:

- **Propriedades do material:** O material do *blank* que será utilizado no *tryout* prestes a se iniciar coincide com aquele utilizado na simulação? Os dados de ensaio são conhecidos? As propriedades mecânicas são as mesmas?
- **Tamanho e posicionamento do *blank*:** O *blank* foi cortado e posicionado na ferramenta de acordo com o definido na simulação?
- **Sistema tribológico:** O acabamento superficial das áreas de contato na ferramenta coincide com o que foi adotado como condição de contorno na simulação? O comportamento do par tribológico ferramenta/chapa real é o mesmo considerado na simulação?
- **Parâmetros de simulação:** As recomendações de cálculo foram seguidas? As condições de contorno foram bem definidas e representam fielmente aquilo que foi construído?
- **Pós-processamento:** A avaliação dos resultados foi feita da maneira correta? Todos os critérios de aprovação como afinamento máximo, ruptura, estiramento mínimo, desvio dimensional etc. foram atendidos?
- **Geometrias:** As geometrias da ferramenta são as mesmas que foram validadas na simulação? Os alívios de usinagem feitos representam aquilo que foi considerado na simulação?
- **Cinemática das ferramentas:** A movimentação das ferramentas, quem desloca quem, pontos de contato e cursos respeitam aquilo que foi definido na simulação?
- **Parâmetros de processo:** As definições de processo na ferramenta (forças de sujeição, altura de quebra-ruga, raios de entrada e saída, alívios, apertos, etc.) representam as que foram consideradas na simulação?
- **Robustez:** O processo é capaz de absorver variações os dados de entrada, como variação das propriedades mecânicas, espessura, atrito, temperatura etc.?

Uma resposta positiva a todas essas perguntas certamente aumentará as chances de que durante o *tryout* se consiga atingir os resultados obtidos na simulação. Essa afirmação pode ser feita pois, respeitando os pontos mencionados conseguiremos um controle daquilo que vem antes da simulação, ou seja, a preparação dos dados e coerência com aquilo que será executado, assim como aquilo que vem após a simulação, que é a construção do ferramental.

Metaforicamente falando, é como se estivéssemos

comparando maçãs com maçãs e bananas com bananas ao se verificar a correlação entre os resultados do *tryout* físico e da simulação.

A consideração de todos estes fatores durante o desenvolvimento traz uma série de benefícios que podem ser descritos em tópicos:

- **O *Lead Time* do projeto** é consideravelmente reduzido, visto que há uma redução significativa em tempo de construção, ajuste, *tryout* e *buyoff*. Há relatos e estudos que apontam para reduções na casa de até 6 meses no desenvolvimento de um veículo como um todo;
- **Redução da "departamentalização":** a adoção do gêmeo digital e suas aplicações na engenharia fatalmente fará com que diversos departamentos passem a conversar entre si, reduzindo o comportamento típico "isso não é problema meu" e elevando o "caso eu resolva isso agora os custos serão menores", mesmo que não para o setor que realizou o trabalho;
- **Aumento de confiabilidade:** com respostas mais assertivas e rápidas, será mais fácil provar o valor da simulação em negociações com clientes.

## O QUE ESPERAR PARA O FUTURO?

Como mencionado no texto, hoje escutamos em congressos e apresentações diversas palavras e expressões, geralmente em inglês e na maioria dos casos conectadas a Indústria 4.0, como os termos *digital-twin*, *big data*, inteligência artificial, entre outras. Há um termo ainda pouco discutido, porém também de grande valia, chamado hoje de *Smart Engineering*, que nada mais é que um conglomerado de ações, que utiliza todos os conceitos citados no artigo para desenvolver processos de produção robustos e inteligentes.

O termo inteligente se torna interessante pelo fato de que a metodologia utiliza informações tanto do modelo matemático do processo físico, ou seja, simulação numérica, tanto quanto informações de dados coletados pelo sensoriamento dos processos, se assemelhando ao *machine learning* e mirando cada vez mais em processos extremamente eficientes.

Vou parar por aqui pois o *Smart Engineering* merece um artigo dedicado a ele, dada as proporções de suas aplicações, e o veremos em uma nova publicação!



**Fernando Henrique Tersetti** - Coordenador da equipe técnica na AutoForm do Brasil sendo parte integrante do time responsável pelo suporte a aplicação do software no mercado brasileiro e argentino, possui 10 anos de experiência na indústria automobilística tendo atuado na área de projetos de ferramentas para estamparia e simulação de processos de estampagem e armação de conjuntos soldados e/ou grafados. Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação, MBA em Gerenciamento de Projetos e MBA em Gestão de Pessoas. +55 11 4121-1644  
[fernando.tersetti@autoform.com.br](mailto:fernando.tersetti@autoform.com.br)