

# ANÁLISE DE ROBUSTEZ ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO PARA REDUÇÃO DE TAXA DE SCRAP NA PRODUÇÃO DE PEÇAS ESTAMPADAS

POR LEONARDO PRATA

Neste artigo iremos abordar caso prático onde o uso de um *software* CAE é utilizado como ferramenta auxiliar para reduzir a taxa de produtos rejeitados na produção de peças estampadas. Será utilizada como exemplo uma simulação do processo de estampagem completo de uma caixa de roda, do inglês 'Wheel House'.

A simulação inicial do produto *Wheel House* foi desenvolvida para que ela representasse o que o vai ser feito na realidade. O cerne do desenvolvimento de uma simulação com qualidade é seguir o paradigma de que se deve simular o que vai ser executado e, quando o processo for feito na prática, deve-se executar o que foi simulado.

Levando em consideração o que foi dito, a simulação do produto levou em consideração todas as entradas de dados que serão utilizadas na prática. Desde de dados de propriedades mecânicas do material metálico utilizado para a concepção do produto, fornecido por usinas, até as forças aplicadas pela prensa aos ferramentais atuantes no processo de conformação do produto.

Todos esses dados são inseridos no *software* de simulação e após o processamento pelo algoritmo os resultados pertinentes ao processo analisado são apresentados, permitindo a avaliação da qualidade da peça conformada. Um exemplo de resultado que pode ser analisado é o

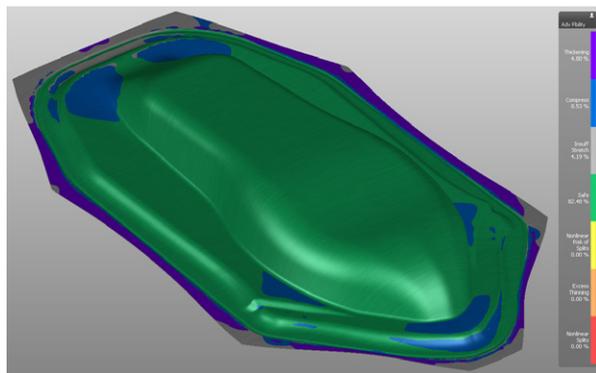


Figura 1: Produto *Wheel House* com o resultado *Formability*

*Formability* (figura 1). Este resultado mostra a conformabilidade do produto apresentando graficamente de maneira bem intuitiva as regiões da peça que estão com problemas (rupturas, rugas, etc...) ou não, baseando-se no estado de estiramento da chapa.

O especialista em processos de estampagem de chapas metálicas pode alterar algumas variáveis de projeto da peça ou do processo de produção, visando melhorar a qualidade do produto na etapa final. A alteração desses parâmetros afeta diretamente a qualidade do resultado da simulação. Como exemplo, propositalmente foi aumentada a força de sujeição da ferramenta "prensa-chapas" no processo de estampagem. Na prática esta força de sujeição é uma variável sob o controle do operador do maquinário. É possível ver na imagem (figura 2) que o aumento deste parâmetro resulta num estiramento excessivo da chapa, causando a sua ruptura e invalidando o produto.

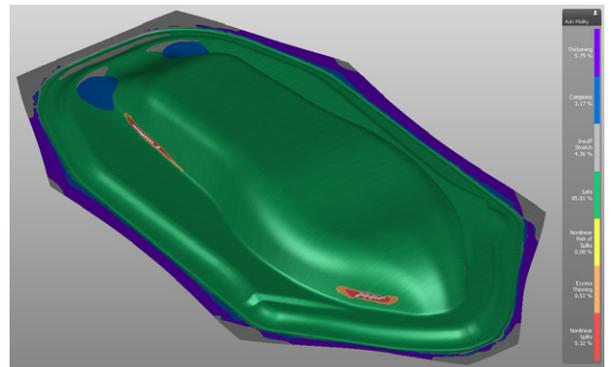


Figura 2: Produto *Wheel House* com o resultado de *Formability* com rupturas

Pode-se assumir erroneamente que para evitar o problema de ruptura o operador poderia simplesmente diminuir ao máximo a força de sujeição da ferramenta "prensa-chapas". Mas aí a chapa não entraria dentro do limite de deformação plástica e enfrentaria problemas de enrugamento para manter a sua estrutura, como mostra a imagem a seguir (figura 3).

A simulação nominal é um excelente referencial para a próxima etapa, que é reproduzir na prática exatamente o que o foi simulado. Esta etapa já prediz muitos problemas dentro da elaboração do processo de conformação, informando ao especialista previamente as estratégias que ele deve evitar. Sendo assim, através de alguns loops de correção ele desenvolverá uma simulação dentro dos critérios desejados para uma boa concepção do produto e do processo.

O processo de estampagem possui variáveis de ruído. Variáveis de ruído são variáveis que influenciam na qualidade da peça, mas que não temos um controle delas na prática. Um ótimo exemplo é o próprio material metálico que é adquirido da usina para a fabricação do produto. Dentro da própria norma que especifica as propriedades mecânicas do material é possível observar que existem faixas de variação aceitáveis (figura 4)

É de interesse dos especialistas que seja desenvolvido um processo onde essas variáveis de ruído não influenciem muito o resultado final da simulação nominal. Caso uma simulação tenha capacidade de manter grande parte do resultado final mesmo levando em conta a possível variação dos parâmetros, é considerado que o processo é robusto.

Através do módulo Sigma do software Autoform é possível avaliar, utilizando as simulações, se um pro-

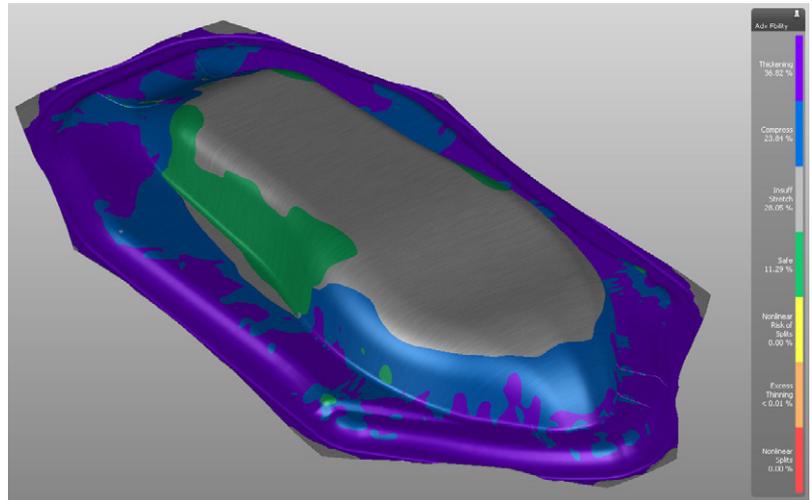


Figura 3: Produto *Wheel House* com o resultado *Formability* com enrugamento

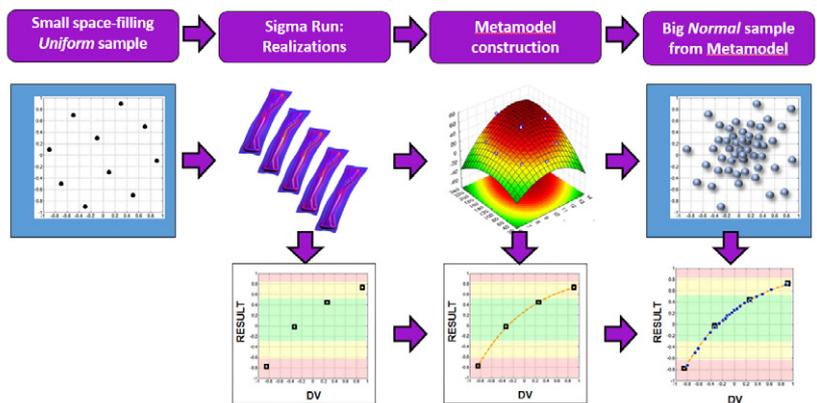


Figura 5: AutoForm *Essentials Noise*



C/Bizkargi, 6 | Pol. Ind. Sarrikola | E-48195 LARRABETZU | Bizkaia - SPAIN

www.vinco.es

Classificação simbólica	Classificação numérica	Condição de fornecimento	Símbolo	Re N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	Alargamento de rutura (% mín.)		
						A <sub>80</sub>	mín.	máx.
DC04	1.0338	Leve passagem de têmpera	C590	mín. 540	mín. 590	-	185	-
			LC	máx. 210 3)	270 - 350 3)	38 1) 3)	-	105 3)
		Temperado	C290	220 - 325	290 - 390	24	95	117
			C340	mín. 240	340 - 440	-	105	130
			C390	mín. 350	390 - 490	-	117	155
			C440	mín. 400	440 - 590	-	135	172
C490	mín. 460	490 - 590	-	155	185			
C590	mín. 560	590 - 690	-	185	215			
DC05	1.0312	Leve passagem de têmpera	LC	máx. 180 3)	270 - 330 3)	40 1)	-	100 3)
DC06	1.0873	Leve passagem de têmpera	LC	máx. 180 3)	270 - 350 3)	38 1) 3)	-	-

Figura 4: Propriedades Mecânicas e Requisitos De Dureza En 10130 / En 10139

cesso é robusto. O *software* tem como ponto de partida a simulação nominal, e insere dentro dos parâmetros de cálculo a definição de diversas interações onde os valores das variáveis de ruído são modificados dentro de faixas estabelecidas. Depois tudo é compilado para um único arquivo de análise onde é possível verificar a influência das variações dos valores das variáveis consideradas nos resultados da simulação nominal desenvolvida inicialmente.

Após o cálculo de todas as realizações o *software* compila todos os resultados em um único modelo através de um metamodelo matemático (figura 5):

**ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE ROBUSTEZ**

Depois de calculadas todas as interações o AutoForm apresenta alguns resultados que podem ser facilmente interpretados utilizando-se os recursos da interface do *software*.

Como exemplo o resultado adotado para avaliação será o “*Thinning*” ou “Afinamento” em tradução direta. É ideal que para uma boa qualidade da peça o afinamento da espessura da chapa não ultrapasse dos 30% em nenhuma região do produto, além do que este afinamento excessivo tende a causar rupturas. Entre 20% e 30% temos um sinal de alerta, dependendo do perfil do produto, um afinamento nesse intervalo pode também causar problemas. O fator de 20% de afinamento é ideal para se trabalhar com esse perfil.

Em conjunto com o resultado de “*Thinning*” será feita uma análise do critério CPK. O CPK é a capacidade geral do processo ou precisão do processo: Uma estatística de capacidade de qualidade que qualifica a largura e a posição dos resultados mais importantes de 99,73% da distribuição do metamodelo em relação à posição absoluta da faixa de especificação dada.

Na figura 6 é possível observar uma região vermelha no produto apresentando uma taxa de defeitos maior que 15,6%. Ou seja, mesmo

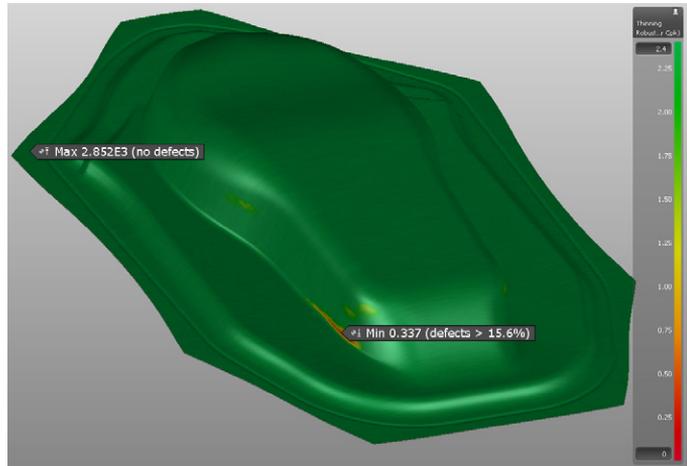


Figura 6: Resultado *Thinning lower CPK*

tendo uma simulação considerada boa com os valores dentro do aceitável na situação nominal, o produto apresentará problemas relacionados a afinamento em no mínimo em 15% das vezes quando submetido as alterações causadas pelas variáveis de ruído. Causando assim uma elevada perda de produtos que não serão utilizados nas montagens dos carros gerando um aumento de custo no produto final.

A próxima etapa é, através da alteração da simulação nominal, encontrar uma condição mais estável para o resultado “*Thinning*” de modo que, ao fazer o estudo de robustez, o resultado seja mais satisfatório. Então uma nova abordagem da simulação nominal foi realizada onde se reduziu o valor nominal da força de sujeição do “prensa-chapas”

Após isso, uma nova análise de Robustez foi feita levando em consideração as mesmas taxas de variação das variáveis de ruído mostradas no capítulo anterior, mas agora, tendo como base a nova simulação nominal feita com a redução da força de sujeição.

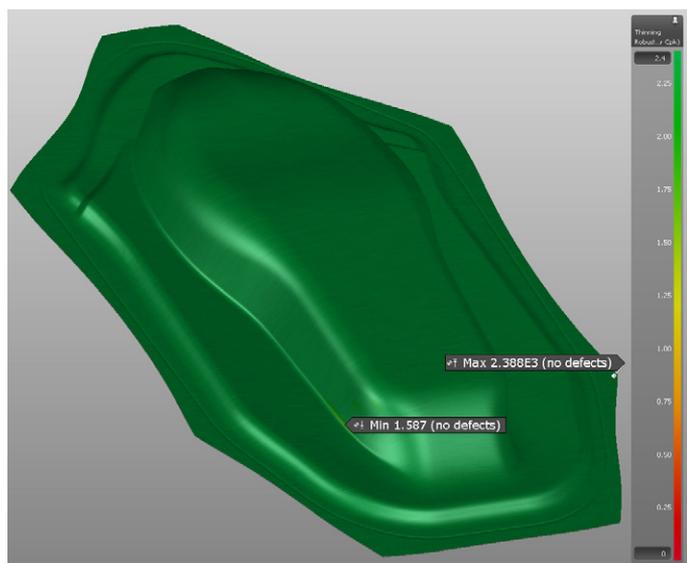


Figura 7: Resultado *Thinning lower CPK* da nova simulação

# AutoForm

A tecnologia de ponta da AutoForm compreende toda a cadeia de processos de montagem de carrocerias brutas

Após o cálculo, uma mesma análise do resultado thinning em cruzamento com o critério CPK é realizada, e pode-se ver uma grande melhora do produto onde antes existia um problema de afinamento excessivo em uma região crítica (figura 7).

Ainda dentro do software AutoForm, é possível fazer uma análise do impacto que essa modificação gerou no custo do produto. Um dos módulos do software leva em consideração o ferramental e as quantidades de operações necessárias para manufaturar o produto permitindo fazer uma previsão do custo de cada uma das peças produzidas.

Na primeira abordagem (figura 8) é possível ver uma análise de custos levando em consideração a taxa de rejeição de 15,6%, gerando um preço de R\$28,81 por peça. Já na segunda abordagem é possível ver a mesma análise de custos levando em consideração uma taxa de rejeição de 3%. Essa taxa foi baseada numa análise conservadora onde mesmo com a simulação de robustez mostrando que a peça não enfrentará problemas relacionados ao afinamento excessivo, ela ainda pode ser rejeitada por algum outro fator que não foi previsto. Nessa nova simulação o preço por peça cai para R\$26,98.

Levando em consideração o volume de produção de quinhentas mil peças essa modificação implica em uma redução de custos de R\$915.000,00 para a produção desta única peça do carro.

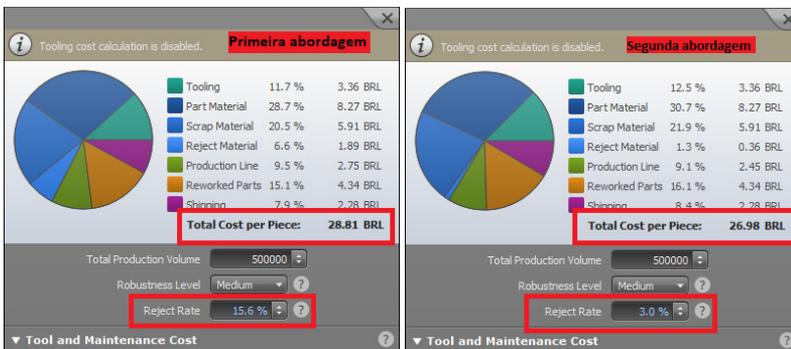


Figura 8: Custos por peça

## CONCLUSÃO

Neste artigo foi possível mostrar que é possível obter resultados muito satisfatórios através da simulação computadorizada de um processo de estampagem de chapas metálicas. Ele pode ser utilizado como referência para análises dos índices de robustez nos departamentos de engenharia de manufatura, ainda na etapa de desenvolvimento do processo de estampagem de produtos feitos de chapa metálica, trazendo assim benefícios na diminuição de eventos não desejados na produção real e na redução dos custos de produção.

O mesmo fluxo de trabalho pode ser desenvolvido para outros produtos estampados, com maior ou menor complexidade para se obter os mesmos indicadores e para fornecer aos responsáveis pelos projetos mais propriedade para tomar decisões relacionadas ao planejamento da produção do produto.



**Leonardo Prata**

Engenheiro de Aplicação Sênior pela AutoForm com mais de dez anos de experiência no mercado automotivo. Também é MBA em gerenciamento de Projetos pela IBMEC SP e membro do Corporate Support and Training Team da AutoForm Engineering GmbH.  
Contato: leonardo.prata@autoform.com



Os Softwares da AutoForm suportam toda a cadeia do processo de montagem de carrocerias desde sua análise de viabilidade inicial, passando pela engenharia de processos e toda a sua cadeia de produção. Usando o AutoForm Assembly é possível melhorar os processos de montagem, alcançando os níveis desejados de qualidade e repetibilidade da carroceria desde a fase inicial de sua cadeia de processos.

## Endereço:

Av. Francisco Prestes Maia, 275 – salas 11 e 12  
Centro de São Bernardo do Campo – SP  
Telefone: (11) 4121-1644  
E-mail: info@autoform.com.br

[www.autoform.com](http://www.autoform.com)

**AUTOFORM**  
Forming Reality