

# MODELO AVANÇADO DE QUEBRA RUGAS DE LINHA ADAPTATIVA

POR WESLEY APARECIDO DA SILVA

No processo de conformação de chapas metálicas a definição da operação de repuxo é a mais complexa e a que demanda maior tempo de desenvolvimento. Isto ocorre porque é necessário atingir um controle adequado do escoamento da chapa com o objetivo de encontrar um estado de deformação equilibrado, já que uma restrição muito elevada potencialmente gerará falhas por ruptura e uma restrição muito baixa levará ao enrugamento, além de afetar os resultados dimensionais relacionados com o retorno elástico.

O estado de deformação é influenciado por diversos fatores, como a rigidez do material, a espessura e até mesmo a geometria da superfície do repuxo, tornando esta uma etapa complexa a ser definida. O objetivo é eliminar o método de tentativa erro visando minimizar as perdas durante o *try-out*, encontrando-se uma corrida de chapa ideal que garanta uma peça sem rupturas ou rugas e que principalmente assegure a repetibilidade do processo. O departamento de engenharia vem atuando com presença cada vez mais forte na definição e validação dos processos, onde os *softwares* de CAE são ferramentas poderosas que trazem para os especialistas a possibilidade de simular virtualmente diferentes cenários a fim de encontrar o processo ideal, reduzindo assim tempo e custo de *try-out*. Estimasse que para cada 1 hora de engenharia ocorra uma redução de 5 horas no chão de fábrica, entre usinagem, ajuste e *try-out*. (Esses dados foram levantados por uma montadora que possui todo o processo mapeado da construção de suas ferramentas).

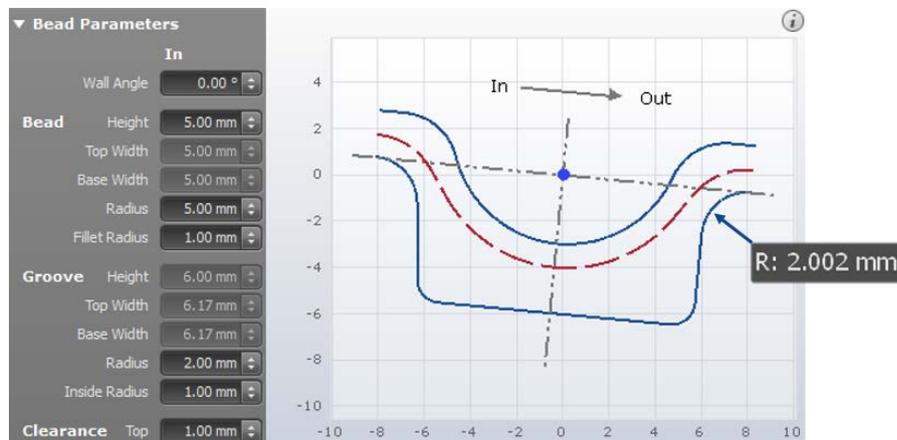


Figura 1: Superfície automática

Entretanto, mesmo na engenharia se faz necessário otimizar os tempos, e para o processo de simulação de conformação de chapas metálicas os *softwares* de simulação oferecem alguns artifícios que podem auxiliar nessa tarefa.

Na operação de repuxo, para se obter o controle do escoamento da chapa um recurso de processo bastante usual é a restrição gerada por quebra-rugas, sendo estes perfis definidos sobre a superfície do prensa-chapa que atuam como um freio para o deslocamento da chapa ao longo da conformação. Eles podem ser definidos com diferentes graus de restrição dependendo da sua geometria, podendo ter raios e alturas variadas. Seus raios de entrada e saída podem começar a partir de aproximadamente 2,0mm.

Tendo em vista a proporção em que os raios do quebra-rugas podem ser definidos, considerando que a

simulação será baseada em elementos finitos, é esperado que a quantidade de elementos para caracterizar estes raios seja muito grande e o tamanho dos elementos bastante pequeno, e a combinação desses fatores implicará em um aumento significativo do tempo de cálculo já que a todo momento a superfície da malha é atualizada de acordo com as interações entre ela e as superfícies das ferramentas.

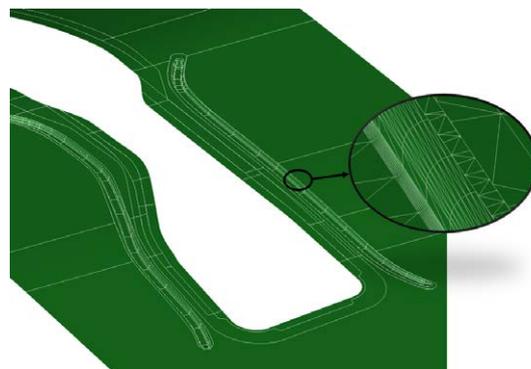


Figura 2: Elementos que caracterizam o raio

# AutoForm

Soluções de Software para  
Conformação de Chapas Metálicas

## Você está interessado em:

- ▶ Desenvolvimento de peças de chapas metálicas manufaturáveis?
- ▶ Um processo eficiente e seu planejamento de custos?
- ▶ Criação rápida e fácil de conceitos de ferramental e a validação final do processo de conformação?
- ▶ Um try-out eficiente e uma produção robusta e de alta qualidade?

## Nós podemos ajudá-los com:

- ▶ Soluções em software de alta qualidade, desenhadas para a sua realidade diária e com alto desempenho
- ▶ Todo o suporte técnico necessário para que você possa tomar as decisões corretas ao longo de toda a cadeia de desenvolvimento e produção dos processos de conformação em chapas metálicas

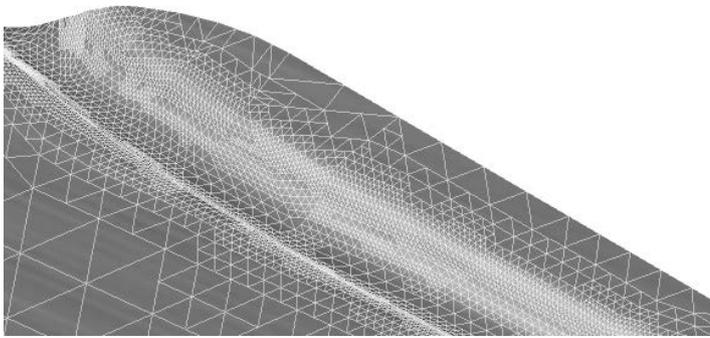


Figura 3: Elementos caracterizados da malha após formação do quebra-rugas

Voltando a questão da otimização dos tempos de engenharia, os softwares de simulação mais modernos oferecem alguns recursos para reduzir o tempo de cálculo para a representação dos quebra-rugas, sendo gerados modelos de quebra-rugas analíticos que simulam a restrição da chapa sem representar a sua geometria, que precisam ser analisados e utilizados com cautela.

Hoje existem basicamente dois modelos de quebra-rugas analíticos, o de linha constante e o avançado de linha adaptativo. O modelo constante é um modelo simplificado onde apenas a força de restrição do quebra-rugas é considerada, o que não condiz exatamente com a realidade já que a restrição é variável ao longo do processo de conformação, uma vez que a espessura da chapa e a rigidez gerada pelo encruamento irá variar. Esse modelo pode ser utilizado em estudos iniciais, apenas para ter uma ideia se será necessário ou não utilizar quebra-rugas e também identificar a possibilidade de segmentação, definindo diferentes restrições no entorno da linha de entrada da matriz. A vantagem desse modelo se comparado com o quebra-rugas puramente geométrico está no tempo de cálculo, uma vez que para os modelos analíticos não há caracterização dos raios do quebra-rugas e consequentemente a malha não será tão refinada nessa região.

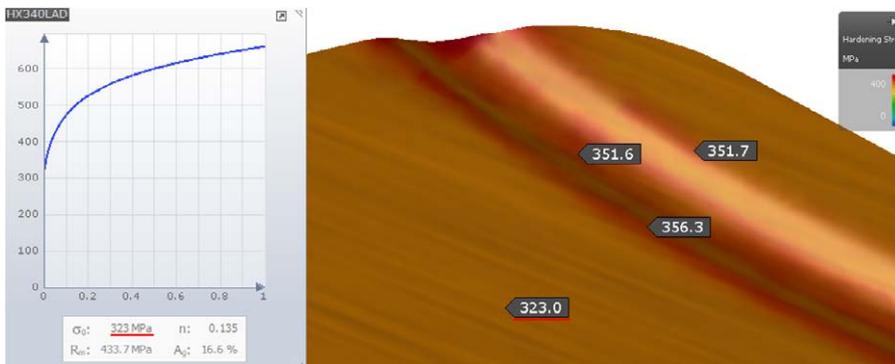


Figura 4: Aumento da rigidez após o encruamento na região do quebra-rugas geométrico

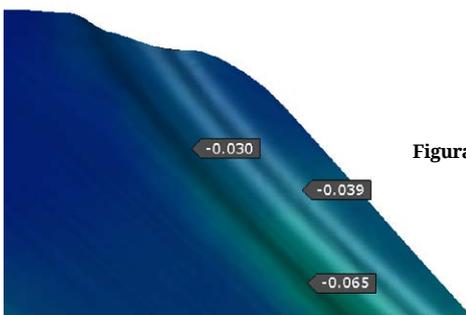


Figura 5: Afinamento da chapa

Tel: +55 11 4121 1644  
info@autoform.com.br

www.autoform.com

**AUTOFORM**  
Forming Reality

Pensando nessa limitação do modelo analítico de linha constante, alguns desenvolvedores estão trabalhando a fundo na formulação de modelos analíticos cada vez mais avançados para se aproximarem a realidade, e esse recurso já está disponível em alguns dos *softwares* mais atualizados na forma do modelo de linha adaptativo.

No modelo de linha adaptativo avançado, a força de restrição irá variar de acordo com o incremento do cálculo, já que o modelo se adapta conforme variam a espessura e o enrijecimento gerados pelo encruamento no momento corrente. Dessa forma esse modelo, além de garantir um menor tempo de simulação, também traz maior precisão para os resultados, como pode ser visto no artigo publicado no blog [formingworld.com](http://formingworld.com) pela empresa EBZ SysTec, que utiliza esse recurso para otimizar o tempo da sua engenharia sem perder a correlação dos resultados de simulação com a prática.

Outro fator de extrema importância quando utilizado o modelo de quebra-rugas analítico constante está relacionado com a precisão do resultado do retorno elástico do *blank* após o repuxo, que é prejudicado uma vez que o perfil do quebra-rugas não é formado na superfície do chapa e esse tem influência tanto no momento gerado após o alívio de tensões quanto na própria rigidez produzida pela forma do perfil, mascarando assim o resultado do retorno elástico.

Nesse ponto o modelo de linha adaptativo avançado também oferece a possibilidade de calcular apenas o fechamento do prensa-chapa com o quebra-rugas geométrico. Pelo fato do quebra-rugas não ser tão profundo e por não ter grande fluxo de material durante o fechamento o tempo de cálculo será menor. Posteriormente, do momento do primeiro toque da chapa com punção até se alcançar o fundo da matriz, será utilizado o modelo de linha adaptativa, pois o volume da peça normalmente possui uma profundidade maior e inevitavelmente a chapa escoará mais e consequentemente demandará de uma quantidade maior de iterações. Sendo assim, para essa etapa a utilização do modelo adaptativo trará uma redução bastante significativa do tempo de cálculo. E para finalizar e garantir maior precisão no resultado do retorno elástico o perfil do quebra-rugas que foi simulado durante o fechamento do prensa-chapa é aplicado novamente à condição final do repuxo no momento anterior ao alívio de tensões, sendo essa função conhecida como unflattening ou desplanificação, permitindo um resultado mais preciso do cálculo do *springback*.

Posteriormente, do momento do primeiro toque da chapa com punção até se alcançar o fundo da matriz, será utilizado o modelo de linha adaptativa, pois o volume da peça normalmente possui uma profundidade maior e inevitavelmente a chapa escoará mais e consequentemente demandará de uma quantidade maior de iterações. Sendo assim, para essa etapa a utilização do modelo adaptativo trará uma redução bastante significativa do tempo de cálculo. E para finalizar e garantir maior precisão no resultado do retorno elástico o perfil do quebra-rugas que foi simulado durante o fechamento do prensa-chapa é aplicado novamente à condição final do repuxo no momento anterior ao alívio de tensões, sendo essa função conhecida como unflattening ou desplanificação, permitindo um resultado mais preciso do cálculo do *springback*.

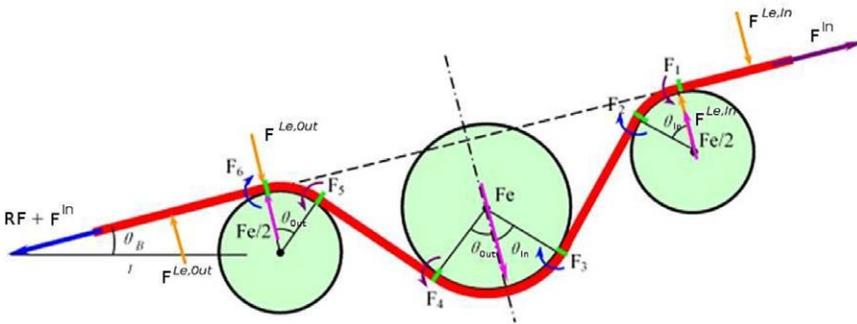


Figura 6: Representação da formula para o cálculo do modelo de linha adaptativo

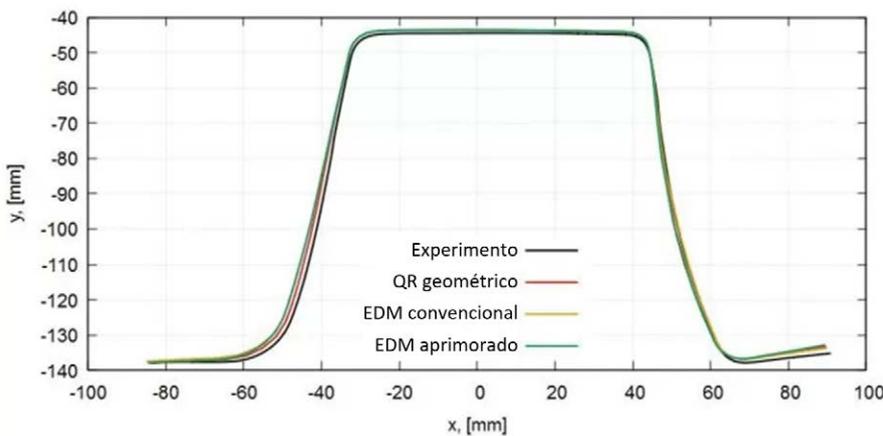


Figura 7: Comparativo entre os modelos de quebra-rugas (retorno elástico) benchmark da Numisheet

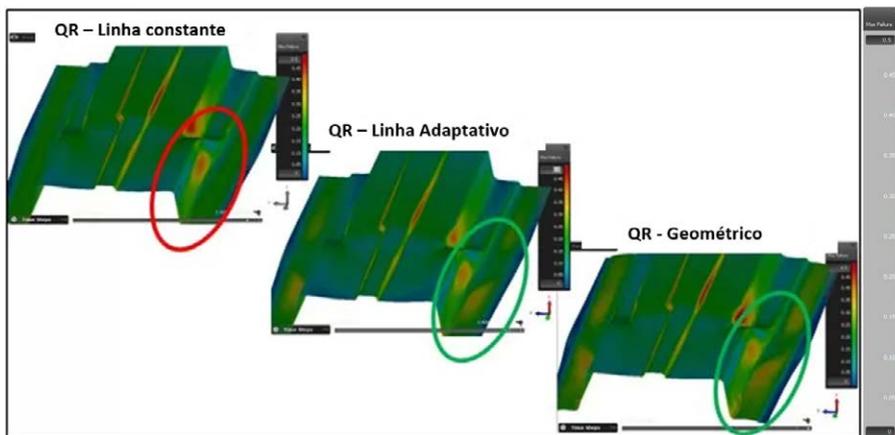


Figura 8: Resultado e aperfeiçoamento da precisão com a aplicação das opções de modelagem de quebra-rugas correspondentes. Cortesia da EBZ SysTec GmbH

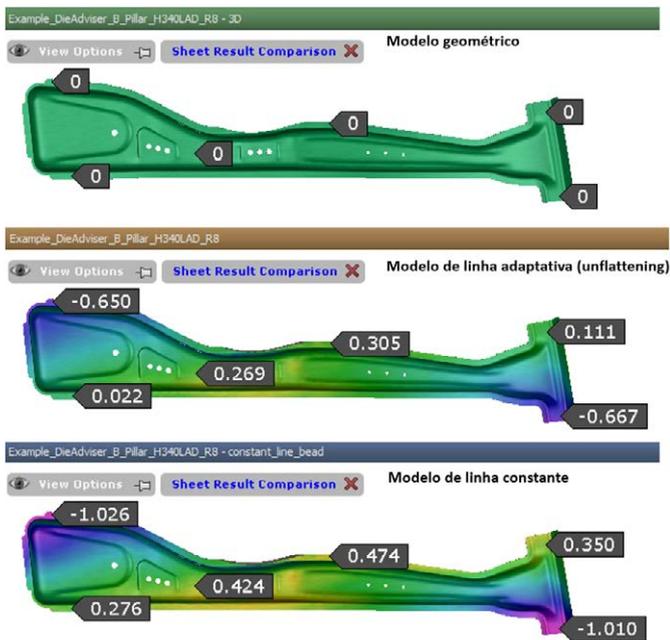


Figura 9: Comparativo entre o modelo geométrico e os modelos analíticos

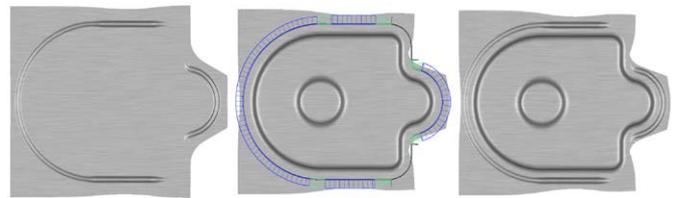


Figura 10: Fechamento do prensa-chapa, conformação até o fundo da matriz e momento anterior ao alívio de tensões. (Função *unflattening*)

Dessa forma, trabalhando com o modelo de linha adaptativo avançado é possível economizar cerca de 55% do tempo de cálculo se comparado com uma simulação rodada com os quebra-rugas geométricos e ainda garantir uma elevada precisão dos resultados.



**Wesley Aparecido da Silva** - Engenheiro de aplicação AutoForm, possui mais de 13 anos de experiência na área de ferramentaria em diversas tarefas nas áreas de estamparia, ferramentaria, engenharia de processos e desenvolvimento. Atualmente atua com a implementação, treinamento e suporte do software AutoForm.  
+55 11 4121 6772/ wesley.aparecido@autoform.com.br

## TODO GRANDE PROJETO PASSA POR UMA GRANDE FERRAMENTARIA

MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICOS



gtf.ind.br



B3 MARKETING