



38th SENAFOR

22nd International Forging Conference - Brazil

8th International Sheet Metal Forming Conference/5th BrDDRG Congress

7th International Powder Metallurgy Conference Brazil

8th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energy

Comparative study for geometrical and analytical drawbeads - Estudo comparativo entre quebra-rugas geométrico e analítico / Senafor Brazil

Olavo C. Haase ⁽¹⁾
Matheus B. Alvim ⁽²⁾
Victor L. Silveira ⁽³⁾
Pedro M. Stemler ⁽⁴⁾
Ricardo A. M. Viana ⁽⁵⁾
Alisson S. Duarte ⁽⁶⁾

ABSTRACT

Controlling the material flow in stamping processes is important to avoid defects such as fracture and wrinkling. This can be achieved by adopting a drawbead, which is a variation on the geometry of the tools that generates restriction forces due to deformation on the blank. Considering drawbeads in simulations has gained importance with the application of the Finite Elements Method to simulate stamping processes, since they are critical to the results obtained. This paper compares the use of equivalent drawbeads, that represent just the restriction forces generated, with the use of geometrical drawbeads, that represent the entire drawbead geometry on the software. Simulations for a FeP05 steel, 2 mm thick blank were conducted for different process parameters. It was possible to observe that the differences on the results between the equivalent and geometrical drawbeads were accentuated by the alteration of drawbead restriction.

Key words — Analytical Drawbead, Geometrical Drawbead, Sheet Metal Forming, Finite Elements Method.

RESUMO

O controle do fluxo de material em processos de estampagem é importante para evitar defeitos como fratura e enrugamento. Esse controle pode ser alcançado pelo uso de

⁽¹⁾ Iniciação Científica, Escola de Engenharia da UFMG, olavohaase@ufmg.br

⁽²⁾ Assistente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, matheusbma@gmail.com

⁽³⁾ Iniciação Científica, Escola de Engenharia da UFMG, victordelima17@ufmg.br

⁽⁴⁾ Assistente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, pedro.stemler@sixpro.pro

⁽⁵⁾ Gerente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, ricardo@sixpro.pro

⁽⁶⁾ Professor, Escola de Engenharia da UFMG, e Consultor Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, alissonds@ufmg.br

um quebra-rugas, uma variação na geometria das ferramentas de conformação que gera forças de restrição causadas pela deformação da chapa. A representação dos quebra-rugas nas simulações tem ganhado relevância com a aplicação do Método dos Elementos Finitos para simular processos de estampagem, já que esse componente é de crítica importância para os resultados obtidos. Esse artigo compara o uso do modelo analítico, que representa somente as forças de restrição criadas, com o modelo geométrico, que representa a geometria por completo no software. Simulações para uma chapa de aço FeP05, com 2 mm de espessura foram conduzidas considerando diferentes parâmetros de processo. Foi possível observar que as diferenças nos resultados entre o modelo analítico e geométrico de quebra-rugas se acentuaram pela alteração de certos parâmetros de processo.

Palavras-chave — Quebra-rugas Analítico, Quebra-rugas Geométrico, Estampagem, Método dos Elementos Finitos.

1. INTRODUÇÃO

Processos de estampagem envolvem a conformação de chapas metálicas por deformações de dobramento, de alongamento, de estampagem ou por combinações destes tipos de deformação [1]. Esses processos utilizam matrizes e punções com formatos complementares, de forma que quando a chapa inicialmente plana é forçada para o interior da cavidade da matriz pelo punção ela obtém o formato final desejado [2]. Além disso, apresentam grande potencial para produzir peças leves e de alta resistência e podem ser mais econômicos que outros processos, visto que reduzem a necessidade de usinagem e soldagem posterior e as peças podem ser produzidas em poucas operações [3].

É importante controlar o fluxo de material nos processos de conformação de chapas, de forma que a chapa adquira resistência e para que se evite fraturas ou enrugamento [4]. Um tipo comum de estampagem é a estampagem de simples efeito. Nesse tipo de processo, são usados prensa-chapas. Inicialmente, a região periférica do blank é pressionada contra a região externa da matriz e o prensa-chapas. Então, o punção força a chapa contra a cavidade da matriz. Na região onde a chapa está em contato com a matriz e o prensa-chapas passam a existir forças de restrição à movimentação da chapa geradas por atrito [5].

Na estampagem a deformação plástica pode ocasionar diversos resultados, anisotropia, desgaste, encruamento, fratura, enrugamento ou combinações desses [6]. Por isso é importante controlar-se a movimentação da chapa, o que usualmente é alcançado usando-se prensa-chapas e quebra-rugas [7]. Os quebra-rugas são geometrias compostas por uma protuberância ou por um entalhe na matriz, com um formato complementar no prensa-chapas. Dessa forma, quando a chapa é pressionada entre a matriz e o prensa-chapas, passam a existir forças mecânicas de restrição ao movimento da mesma, já que o blank precisa se deformar para atravessar a região do quebra-rugas [8].

Os quebra-rugas se mostram bons substitutos para altas forças no prensa-chapas, que podem ser problemáticas, visto que demandam prensas poderosas e podem ocasionar desgaste e escoriação [4]. Essa medida também pode ser economicamente eficiente, entretanto o uso de quebra-rugas pode sujeitar a chapa a deformação excessiva [7]. Além disso, o ajuste da geometria dos quebra-rugas pode se mostrar um problema na fase de *try-outs*, e a múltipla deflexão da chapa e as pequenas áreas de contato podem causar desgaste prematuro nas ferramentas [9]. Por isso é importante que as geometrias dos quebra-rugas sejam bem otimizadas.

Uma vantagem da adoção de quebra-rugas é a possibilidade de encruar a chapa, já que a mesma aumenta sua resistência, uma vez que se deforma ao passar por um quebra-rugas. Isso é interessante, pois possibilita a redução de peso de peças, visto que o encruamento garante uma mesma resistência com menos material [10].

O uso de softwares de simulação baseados no Método dos Elementos Finitos para processos de estampagem tem sido empregado cada vez mais na indústria e os resultados observados são positivos. Esses softwares possibilitam reduzir o custo dos processos, já que reduzem o sucateamento de material, reduzem a necessidade de *try-outs* e facilitam a otimização dos processos. Existem duas formas de se representar quebra-rugas nesse tipo de software, usando-se o modelo analítico ou o modelo geométrico de quebra-rugas. O primeiro considera apenas as forças de restrição geradas pelo quebra-rugas, e o segundo representa no ambiente computacional a geometria do mesmo e efetivamente simula o que acontece com a chapa nessa região durante o processo.

Os quebra-rugas, especialmente seus raios, representam uma fração pequena das ferramentas em que se encontram. Dessa forma, ao utilizar o modelo geométrico, são necessários elementos muito pequenos para garantir que a região seja bem representada e a simulação seja precisa. Isso aumenta a quantidade de elementos, o que conseqüentemente aumenta a quantidade de passos de simulação necessários. Diante disso, o modelo analítico pode ser mais econômico que o geométrico, no que se refere a gastos computacionais [11;12;13].

Entretanto, o uso de somente as forças de restrição geradas pelo quebra-rugas na simulação de processos de estampagem pode não ser satisfatório para a representação do mesmo. Isso porque ao se considerar somente as forças de restrição, a deformação prévia do blanque, que aparece quando o mesmo atravessa o quebra-rugas é ignorada no restante da simulação. Usualmente, após passar por essa geometria, a chapa apresenta uma distribuição de deformações diferente e menor espessura, o que também é ignorado ao se empregar o modelo analítico [14].

Diante disso, é possível afirmar que o modelo analítico apresenta sérias limitações, visto que o mesmo não considera o dobramento e desdobramento que a chapa é sujeitada ao passar pelo quebra-rugas, que causam deformação. Além disso, a espessura de saída e a mudança na tensão de escoamento, causadas pelo encruamento, são negligenciadas [15]. Quando comparados os modelos, usando resultados experimentais e um método de otimização, o modelo geométrico se mostra muito mais próximo da realidade [16].

Em vista das informações apresentadas, o quebra-rugas é um parâmetro importante para os processos de estampagem e maneiras de simulá-lo adequadamente devem ser estudadas. Por isso, este estudo objetiva avaliar a influência das condições de restrição nas diferenças observadas entre os modelos de simulação de qubra-rugas.

2. METODOLOGIA

Quatro simulações de um processo de estampagem utilizando uma prensa de simples efeito foram conduzidas. As simulações utilizaram as mesmas ferramentas (Figura 1), representadas em forma de casca no software para diminuir o gasto computacional, visto que somente suas superfícies entram em contato com a chapa. Essas ferramentas são uma matriz, um prensa-chapas e um punção.

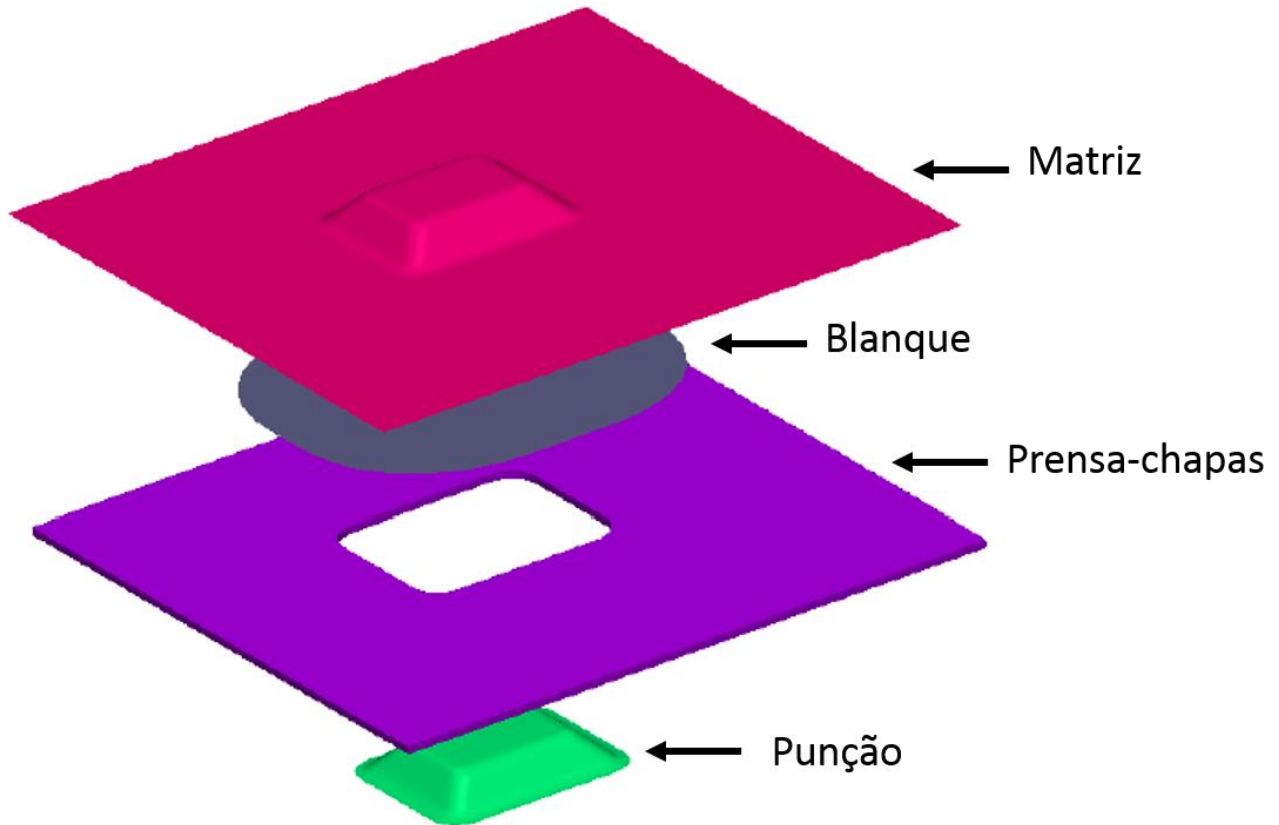


Figura 1: Ferramentas do processo (Matriz, prensa-chapas e punção).

As simulações foram feitas considerando duas geometrias de quebra-rugas com parâmetros diferentes e considerou-se uma simulação com o modelo analítico e uma simulação com o modelo geométrico de quebra-rugas para cada geometria considerada. As Figuras 2 e 3 mostram as dimensões da matriz e do blanque respectivamente.

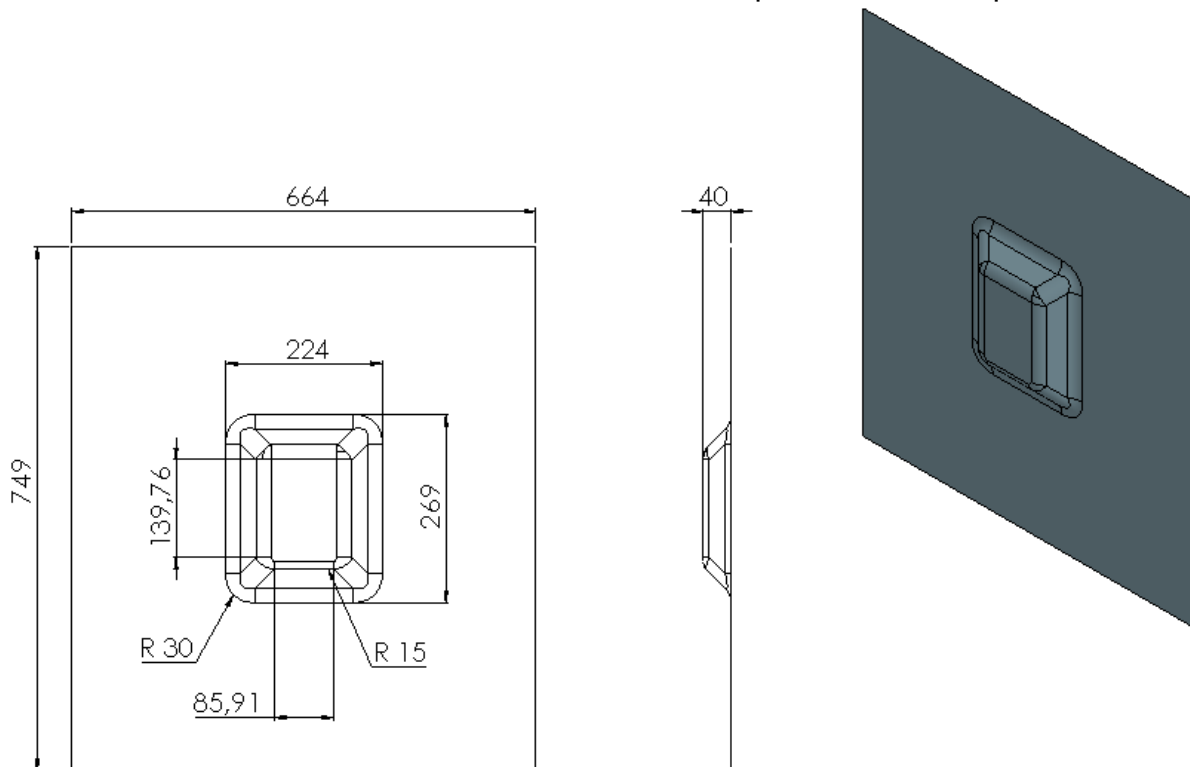


Figura 2: Dimensões da matriz.

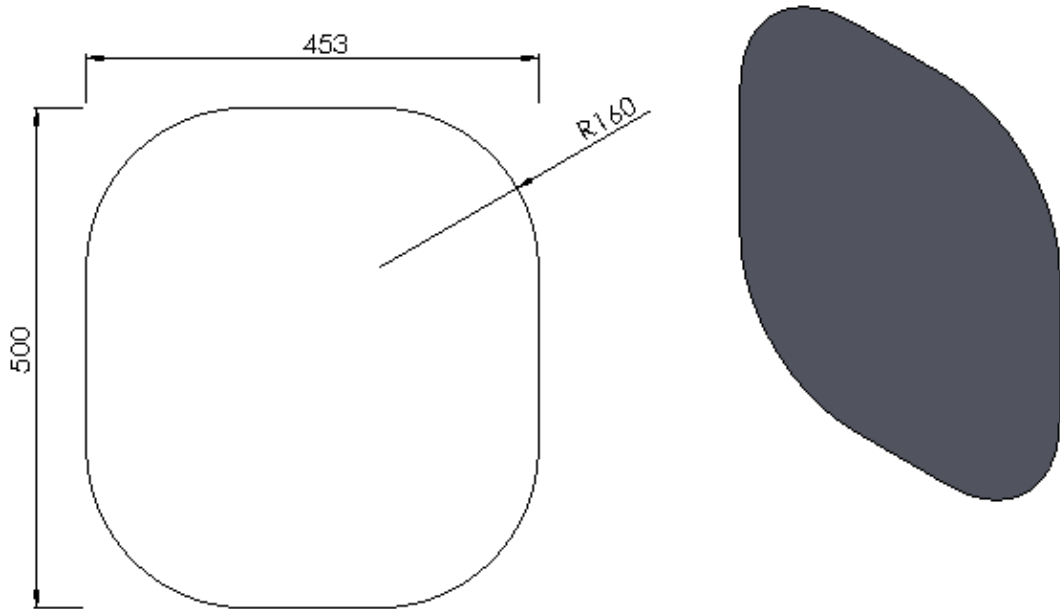


Figura 3: Dimensões do blanque.

As simulações consideraram chapas de 2 mm do aço Fep 05, comumente empregado para estampagem profunda. A Curva de Escoamento e a Curva Limite de Conformação estão mostradas nas Figuras 4 e 5, respectivamente [17].

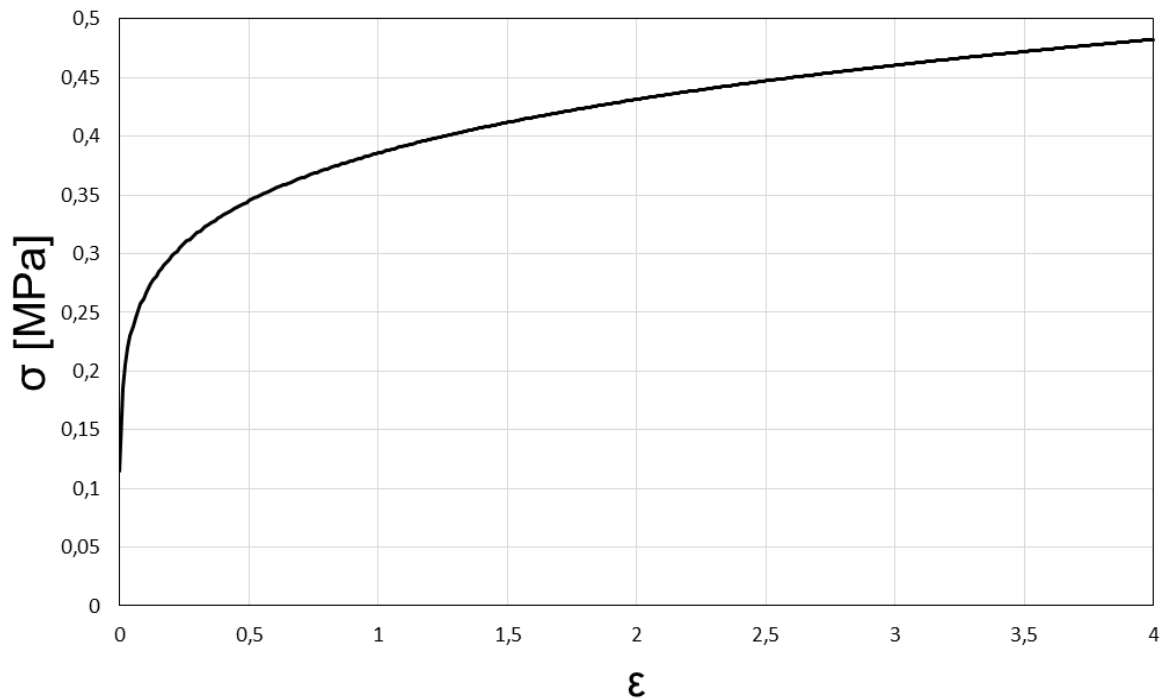


Figura 4: Curva de Escoamento do material.

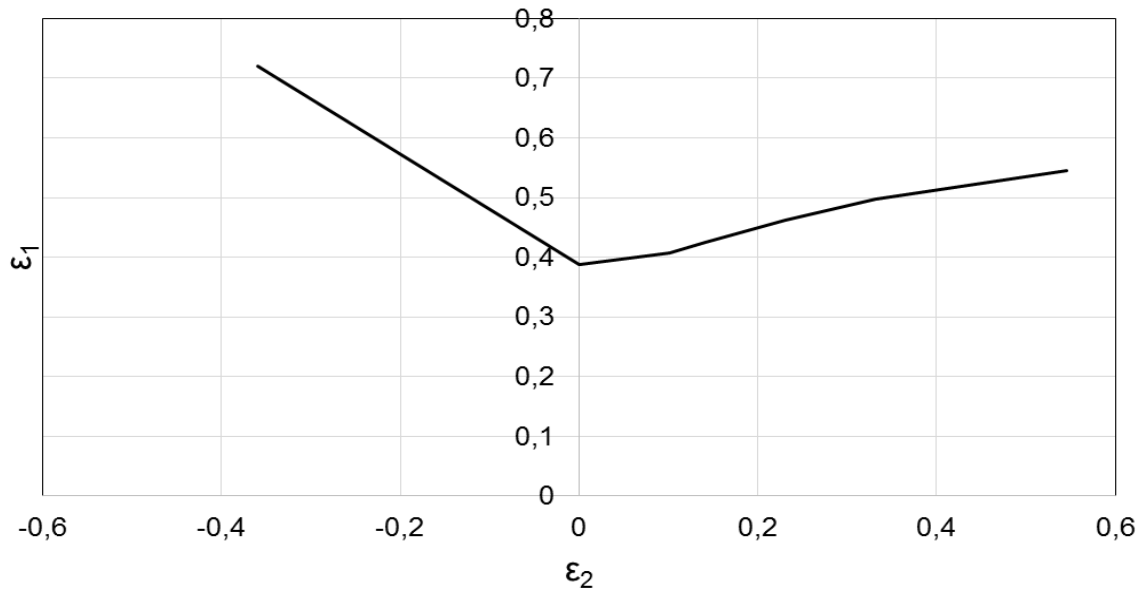


Figura 5: Curva Limite de Conformação do material.

As simulações conduzidas consideraram três estágios. O primeiro estágio foi o de Gravidade (*Gravity*), no qual avaliou-se os efeitos da gravidade no posicionamento da chapa. Para essa peça não houve deformação permanente durante esse estágio, visto que a dimensão da chapa é pequena. O segundo estágio foi o de Fechamento (*Holding*), no qual a periferia da chapa é pressionada entre a matriz e o prensa-chapas. Para as simulações que consideraram o modelo geométrico de quebra-rugas, a chapa se deforma consideravelmente na região do quebra-rugas durante essa etapa. E por fim, o último estágio foi o de Estampagem (*Stamping*), no qual ocorre a estampagem propriamente dita e a chapa é pressionada entre o punção e a matriz.

A Figura 6 mostra esquematicamente os parâmetros geométricos presentes no tipo de quebra-rugas considerado nas simulações (quadrado). A Tabela 1 mostra os parâmetros de cada simulação, que incluem os parâmetros geométricos considerados e o modelo de simulação de quebra rugas adotado.

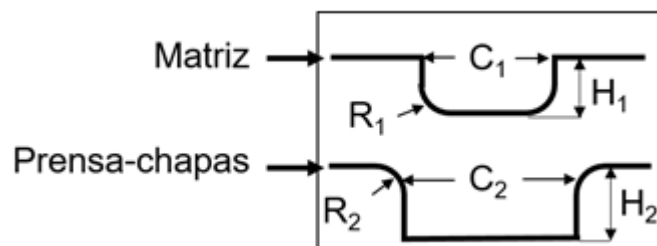


Figura 6: Parâmetros geométricos de um quebra-rugas quadrado.

Tabela 1: Parâmetros das simulações

Simulações	Modelo de quebra-rugas	Parâmetros geométricos					
		C1	C2	R1	R2	H1	H2
1	Analítico	8	16	2	2	8	12
2	Geométrico	8	16	2	2	8	12
3	Analítico	8	16	4	4	8	12
4	Geométrico	8	16	4	4	8	12

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram plotados na curva limite de conformação do material, de modo que baseado no histórico de deformação de cada elemento da peça discretizada fosse possível avaliar o que aconteceria com a chapa em cada região. Os possíveis resultados são alto risco de enrugamento, risco de enrugamento, estiramento insuficiente, seguro, ocorrência de estrição e fratura.

A primeira simulação considerou raios pequenos no quebra-rugas, o que gerou uma condição de restrição alta para a peça em questão, visto que houve uma região com ocorrência de estrição, conforme indicado por uma seta branca na Figura 7. A posição da região com ocorrência de estrição foi inesperada, visto que o raio na região de baixo da peça era menor e, portanto, esperava-se que as maiores deformações ocorressem no raio. O modelo considerado foi o analítico, o que pode ter sido a razão para a discrepância observada no resultado, uma vez que as deformações causadas pela passagem da chapa pelo quebra-rugas são ignoradas. Possivelmente ao não considerar o encruamento prévio causado pelo quebra-rugas a chapa ficou sujeita a estrição nas paredes, por apresentar menor resistência.

A Figura 8 mostra os resultados da Simulação 2, na qual considerou-se os mesmos parâmetros geométricos da Simulação 1 e, portanto, teve uma condição de restrição alta. Entretanto, o modelo considerado foi o geométrico. Houve ocorrência de estrição no raio da lateral esquerda e ocorrência de uma fratura no raio inferior, o que era esperado, visto que o raio inferior é menor e, portanto, atua como um maior concentrador de tensões. Ambas as regiões estão indicadas por setas brancas na figura.

A Simulação 3 (Figura 9) considerou uma condição de restrição menor em relação as duas primeiras simulações. Entretanto, houve regiões com ocorrência de estrição e novamente fora do local esperado, assim como na Simulação 1. As regiões ocorreram nas faces superior e laterais, e estão indicadas na figura por setas brancas. Assim como na Simulação 1, a Simulação 3 considerou um quebra-rugas analítico, o que pode ser a causa dos resultados inesperados.

A quarta simulação considerou os mesmos parâmetros geométricos da terceira, com menor restrição e maiores raios em relação à primeira e à segunda simulações. Seu resultado está mostrado na Figura 10, sendo possível observar que a maior parte da peça útil (dentro da linha do quebra-rugas) está na região segura da Curva Limite de Conformação, não havendo ocorrência de estrição ou fratura.

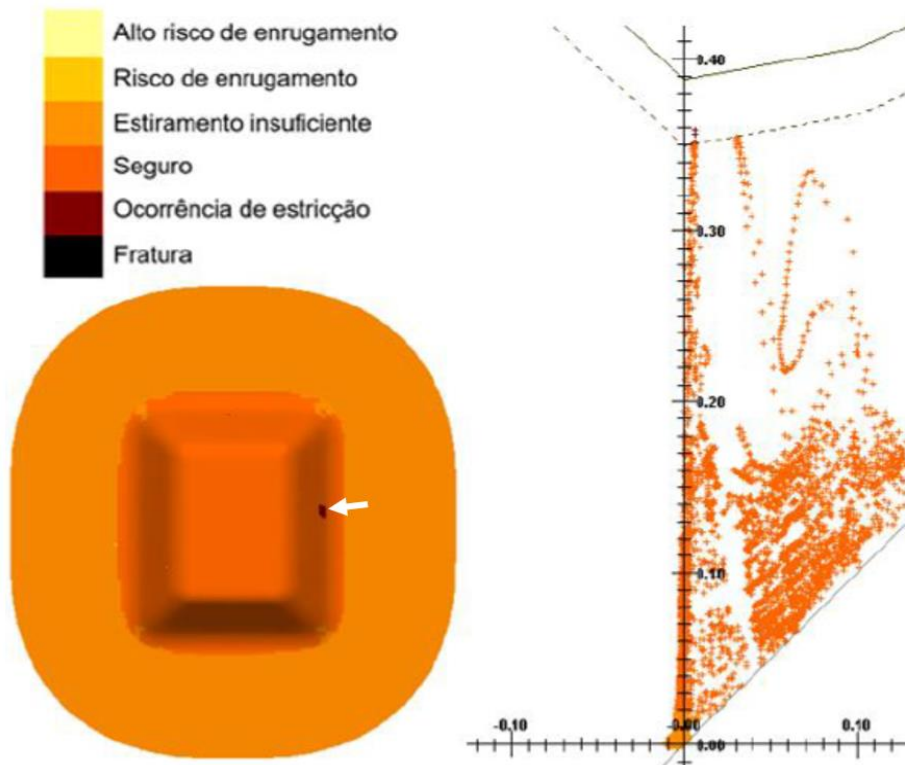


Figura 7: Resultado da Simulação 1 com região de ocorrência de estricção indicada em branco.

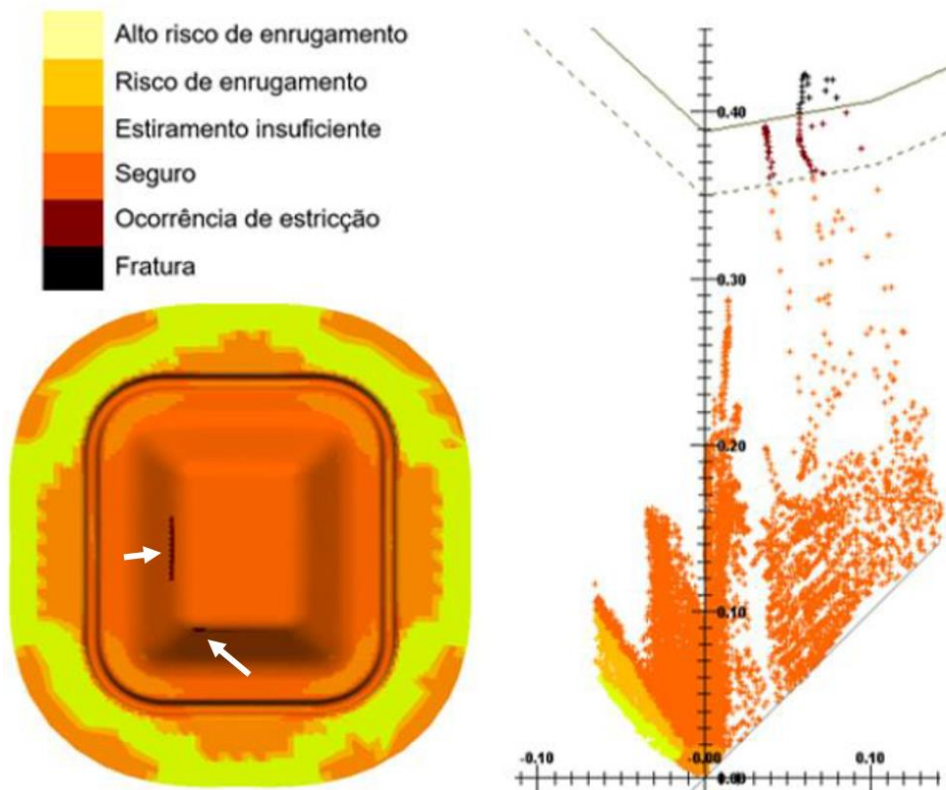


Figura 8: Resultado da Simulação 2 com regiões de ocorrência de estricção e de fratura indicadas por setas brancas.

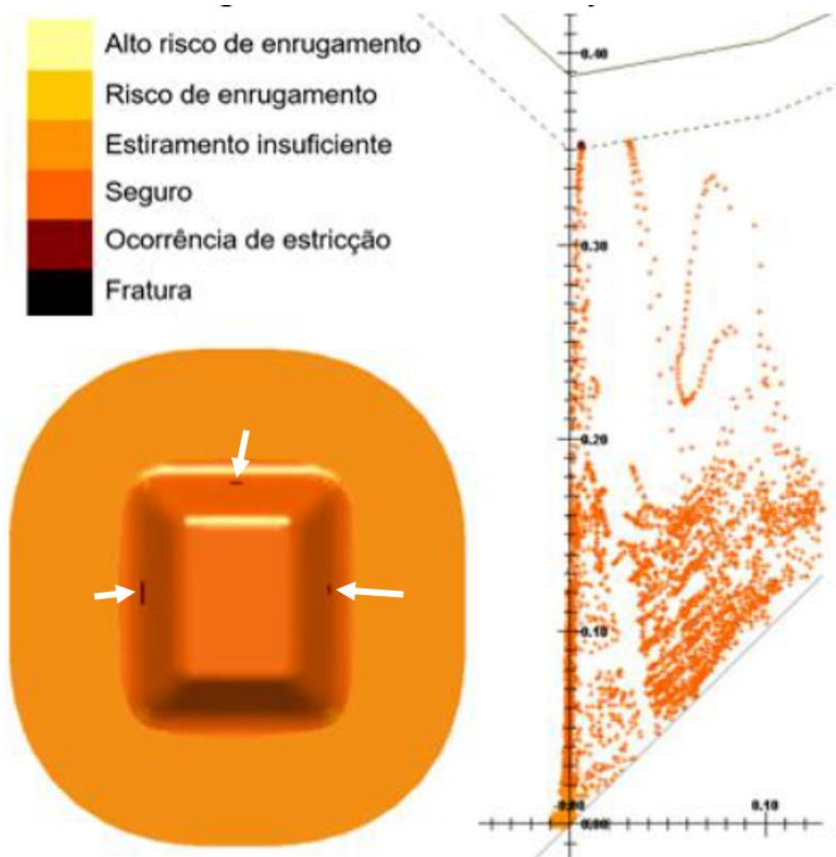


Figura 9: Resultado da Simulação 3 com regiões de ocorrência de estricção indicadas por setas brancas.

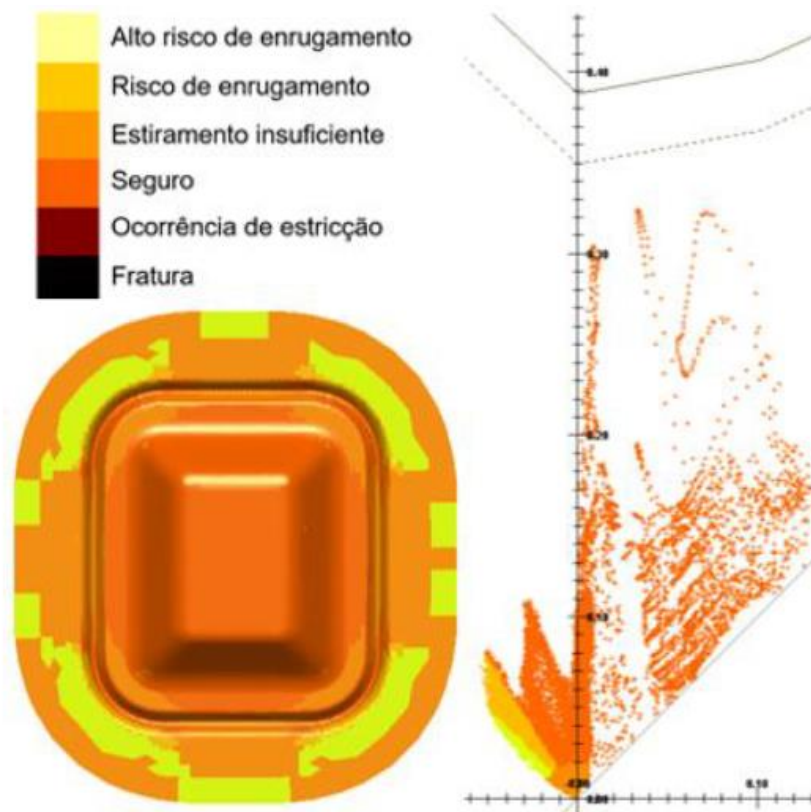


Figura 10: Resultado da Simulação 4.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme esperado, diferenças expressivas foram observadas quando se comparou os resultados das simulações utilizando o modelo de quebra-rugas analítico ou geométrico. Entretanto, ao alterar os raios, alterando assim a condição de restrição, não houve grande diferença nos resultados para as simulações considerando o modelo analítico. Além disso, os resultados observados foram contra intuitivos, visto que as estirções ocorreram fora da região da peça com o maior concentrador de tensões, ou seja, com o menor raio.

Para as simulações usando o modelo geométrico, a diferença nos resultados ao alterar-se os raios, e conseqüentemente a condição de restrição do quebra-rugas, foi bem acentuada. Os resultados observados para as simulações com esse modelo foram concordantes com o esperado, já que a fratura ocorreu na região com o menor raio na peça e, ao diminuir-se a restrição, a fratura deixou de ocorrer.

A diferença entre os resultados das duas primeiras simulações (com maior restrição) foi significativamente maior que a diferença entre os resultados das duas últimas simulações (com menor restrição). Isso indica que a diferença entre os resultados para os dois modelos distintos de quebra-rugas se acentua com o aumento da restrição imposta pelo quebra-rugas. Esse fenômeno está de acordo com o esperado, visto que, o modelo analítico não considera a deformação prévia no estágio do fechamento, que é mais significativa para quebra-rugas com restrições maiores.

REFERÊNCIAS

- [1] KULKARNI, K. M. Review of forging, stamping, and other solid-phase forming processes. *Polymer Engineering & Science*, v. 19, n. 7, p. 474-481, 1979.
- [2] ALTAN, Taylan; TEKKAYA, A. Erman (Ed.). *Sheet metal forming: fundamentals*. Asm International, 2012.
- [3] ZUGASTI, P. J. G.; CASTILLO, H. I. M.; LANGE, D. F. A case study of drawbead design of a deep drawn rectangular part using FEM. In: *Proceedings of the 2009 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE*. 2009. p. 13-19.
- [4] MURALI, G.; GOPAL, M.; RAJADURAI, A. Effect of circular and rectangular drawbeads in hemispherical cup forming: finite element analysis and experimental validation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 37, n. 6, p. 1701-1709, 2012.
- [5] NINE, H. D. Drawbead forces in sheet metal forming. In: *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Springer, Boston, MA, 1978. p. 179-211.
- [6] BRUSCHI, S. et al. Testing and modelling of material behaviour and formability in sheet metal forming. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, v. 63, n. 2, p. 727-749, 2014.
- [7] DUARTE, A. S.; VIANA, R. A. M. *Tópicos para Simulação em Estampagem*. 1ª Edição. Belo Horizonte: Sixpro Virtual an Practical Process, 2017. 149.
- [8] SAMUEL, M. Influence of drawbead geometry on sheet metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 122, n. 1, p. 94-103, 2002.
- [9] GROCHE, PETER, and MATTHIAS Christiany. "Evaluation of the potential of tool materials for the cold forming of advanced high strength steels." *Wear* 302.1 (2013): 1279-1285.
- [10] SCHMID, H., S. SUTTNER, and M. MERKLEIN. "An incremental analysis of a deep drawing steel's material behaviour undergoing the predeformation using drawbeads." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 896. No. 1. IOP Publishing, 2017.
- [11] CHEN, FUH-KUO, and JIA-HONG LIU. "Analysis of an equivalent drawbead model for the finite element simulation of a stamping process." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 37.4 (1997): 409-423.

- [12] MEINDERS, T.; CARLEER, B. D.; GEIJSELAERS, H. J. M.; HUÉTINK, J. "The implementation of an equivalent drawbead model in a finite-element code for sheet metal forming." *Journal of Materials Processing Technology* 83.1 (1998): 234-244.
- [13] MEINDERS, T., H. J. M. GEIJSELAERS, and J. HUÉTINK. "Equivalent drawbead performance in deep drawing simulations." (1999).
- [14] CARLEER, B. D.; VREEDE, P. T.; DRENT, P.; LOUWES, M. F. M.; HUÉTINK, J. Modelling drawbeads with finite elements and verification. *Journal of materials processing technology*, v. 45, n. 1-4, p. 63-68, 1994.
- [15] FIRAT, M.; LIVATYALI, H.; CICEK, O.; ONHON, M. F. Process and Die Design of Panel Stampings with Segmented Drawbeads.
- [16] WANG, Z.; ZHANG, Q.; LIU, Y.; ZHANG, Z. A robust and accurate geometric model for automated design of drawbeads in sheet metal forming. *Computer-Aided Design*, v. 92, p. 42-57, 2017.
- [17] ESI Group. Pam-Stamp, version 2017.0. Paris, France (2017). 1 CD-ROM.