

Comparação de estampabilidade entre aço e alumínio para utilização em embalagens metálicas

Bruno Cordeiro, bruno.cordeiro@ufrgs.br⁽¹⁾

Camila Pereira Lisboa, camila.lisboa@ufrgs.br⁽²⁾

Renan da Silva Ramalho, renan.ramalho@ufrgs.br⁽³⁾

Lírio Schaeffer, schaeffer@ufrgs.br⁽⁴⁾

Resumo

As embalagens metálicas têm aumentado a participação no mercado internacional, especialmente no setor de bebidas, onde diminui a utilização do vidro. São produzidas essencialmente por embutimento profundo, podendo haver outra operação posterior, por exemplo o estiramento. As principais matérias-primas para produção de latas e demais embalagens são o aço de baixo carbono e o alumínio, ambos materiais apresentam vantagens e desvantagens em relação ao outro, as principais diferenças são as propriedades mecânicas e físicas, como tensão de escoamento e densidade, por exemplo, além de quesitos econômicos. Neste estudo buscou-se avaliar as características produtivas de estampagem por embutimento profundo dos dois materiais, para tal procurou-se variar parâmetros, como: diâmetro de punção, raio de punção, raio da matriz, diâmetro da geratriz, entre outros. Assim buscando entender a influência de cada um durante o processo de estampagem em uma simulação computacional do processo a partir das características obtidas experimentalmente das duas matérias-primas. A geometria simulada com as características mecânicas do aço obteve resultados melhores, como maior profundidade de embutimento e menor espessura antes da ruptura, por exemplo.

Palavras-chave: Embalagem metálica, simulação computacional, embutimento.

⁽¹⁾ Engenheiro Mecânico, mestrando do programa de pós-graduação em minas, metalurgia e materiais - PPG3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽²⁾ Engenheira Mecânica, mestranda do programa de pós-graduação em minas, metalurgia e materiais - PPG3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽³⁾ Engenheiro Mecânico, mestrando do programa de pós-graduação em minas, metalurgia e materiais - PPG3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽⁴⁾ Engenheiro Mecânico, doutor em engenharia, professor titular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Introdução

As embalagens metálicas representam boa parte da forma de acondicionamento de alimentos no planeta. Foram impulsionadas rapidamente em países desenvolvidos como os Estados Unidos e parte da Europa e, nas últimas décadas, espalharam-se pelos países com menor desenvolvimento. O baixo custo e a estabilidade química são seus principais atrativos[1][2].

O mercado de bebidas, que corresponde a grande parte do consumo, vem modificando-se nos últimos anos, as garrafas de vidro que já dominaram o mercado estão em diminuição. Neste contexto aumenta o espaço para materiais alternativos como as embalagens PET e as latas metálicas, atualmente as garrafas PET e as latas metálicas são cerca de 60% e 8%, respectivamente, do mercado brasileiro no segmento de refrigerantes, chegando a aproximadamente 20% no segmento de cervejas [1].

Os processos de fabricação mais difundidos atualmente são: embutimento simples, embutimento simples seguido de embutimento reverso e embutimento simples seguido de estiramento [2][3]. O embutimento ou estampagem profunda é um processo bastante utilizado na indústria onde se realiza o processo de conformação a partir de uma matéria-prima em forma de chapa (geratriz ou blank) transformada em geometrias com ressaltos profundos ou rasos. É extensamente utilizado por sua alta produtividade, qualidade obtida e pela baixa necessidade de usinagem posterior gerando assim baixo custo produtivo [4].

A matéria-prima para fabricação dos embutidos são as folhas-de-flandres ou alumínio. As folhas-de-flandres são lâminas de aço recobertas por uma camada de estanho, que tem como função proteger a peça contra corrosão por conta da água, oxigênio, entre outros componentes químicos presentes nos produtos, além de aumentar a relação máxima de estampagem possível para o material [2].

A relação de estampagem (β) é determinada pelo quociente entre o diâmetro da geratriz (D_0) e o diâmetro do punção (d_p). É a partir deste valor que define-se quantos estágios serão necessários para realização do processo [5].

Na Figura 1 verifica-se a relação de estampagem para cada espessura de folhas de flandes.

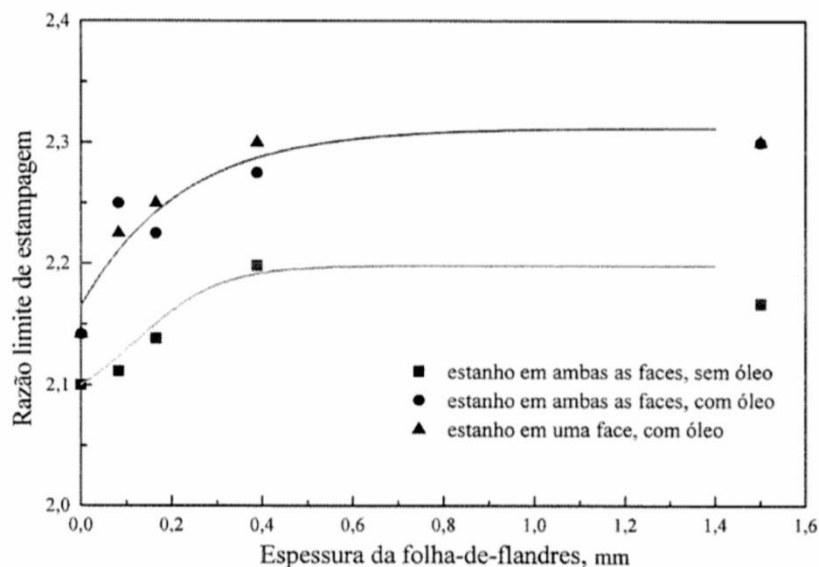


Figura 1 - Relação de estampagem x espessura da folha-de-flandres [2].

Há outros fatores relevantes na escolha do material, por exemplo, o alumínio possui melhor resistência à corrosão, menor densidade e também gera uma possibilidade econômica com a coleta dos rejeitos para reciclagem. Em contrapartida o aço possui tempo de erosão consideravelmente menor e também apresenta custo menor, até por isto sendo pouco atrativa a coleta dos rejeitos [2][6]. Com relação ao custo é importante citar no mercado nacional a crescente estratégia de utilização do aço, simbolizada pela parceria entre a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e a *Metalic* (líder do setor de embalagens de aço) na fabricação do aço especiais que permitem maiores estiramentos, por consequência maiores reduções de espessuras e, consequentemente, aumento de competitividade [1][3].

O objetivo principal do presente estudo é realizar a avaliação dos materiais disponíveis sob o ponto de vista do processo de fabricação por estampagem. Neste contexto buscou-se comparar as condições de estampabilidade das duas matérias-primas, alumínio AlMg2,5 com espessura de 0,27 mm e aço ABNT 1020 com espessura de 0,22 mm, assim sendo possível analisar se é possível utilizar espessuras menores quando a estampagem é realizada com aço, visando diminuir a massa do produto final.

Metodologia

A geometria utilizada para a análise é próxima à geometria real no primeiro estágio de produção de latas comerciais, assim como os parâmetros que foram variados são valores utilizados em embalagens metálicas de diversos setores. Os conjuntos de parâmetros totalizam 24 combinações que foram os dados de entrada para criar as simulações no software de análise de elementos finitos PAM-STAMP da empresa ESI Group.

O Quadro 1 evidencia os parâmetros relevantes na simulação computacional e os valores utilizados. Os parâmetros são espessura inicial (s), folga entre punção e matriz (f), diâmetro do punção (d_p), diâmetro da geratriz (D_0), raio do punção (r_p), raio da matriz (r_m) e coeficiente de atrito (μ).

Quadro 1 - Parâmetros e valores utilizados na simulação.

AÇO ABNT 1010 s = 0,22mm f = 0,3mm AlMg 2,5 s = 0,27mm f = 0,3mm			
	D_0 (mm)	r_p (mm)	r_m (mm)
$d_p = 33\text{mm}$ e $\mu = 0,08$	60	0,95	1,20
	60	2,50	3,00
	60	3,50	4,50
	66	2,50	3,00
	66	3,50	4,50
	74	3,50	4,50
$d_p = 50\text{mm}$ e $\mu = 0,06$	100	1,50	1,50
	100	3,50	4,50
	110	3,50	4,50
$d_p = 73\text{mm}$ e $\mu = 0,04$	121	1,50	1,50
	121	3,50	4,50
	138	3,50	4,50

A Figura 2 demonstra o corpo construído para realizar a simulação. Além dos parâmetros já citados a imagem denota também a altura (h) do embutimento, que será um dos resultados obtidos.

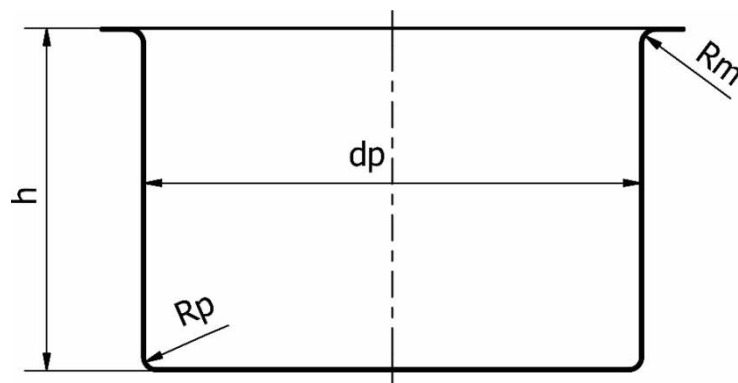


Figura 2 - Geometria utilizada na simulação

Na Figura 3 há um desenho esquemático do ferramental, com matriz, prensa-chapas e punções, além do blank. O sentido da força (F) atuante também está demonstrada.

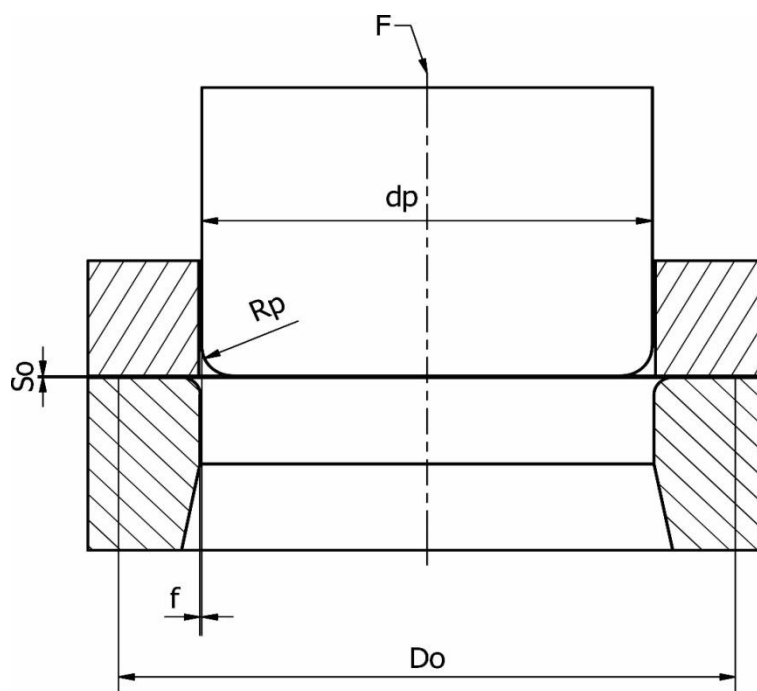


Figura 3-Conjunto peça/ferramenta com parâmetros utilizados na simulação. Fonte: Adaptado [2].

As propriedades mecânicas de ambas matérias-primas foram obtidas experimentalmente por SLJIVIC e MITRIC [7] e estão reproduzidas no quadro 2. São elas: Resistência máxima (R_m), Resistência ao escoamento (R), alongamento máximo (δ), anisotropia média ($\bar{R}$), encruamento (n), tensão de escoamento (K_f).

Tabela 2-Propriedades mecânicas utilizadas para criação da matéria-prima no software. Fonte: [7].

	R_m [N/mm ²]	R [N/mm ²]	δ [%]	$\bar{R}$	n	K_f [N/mm ²]
Aço	295	220	32	1,295	0,276	390
Alumínio	235	190	23	0,698	0,202	250

Discussões

A Figura 4 é um gráfico comparativo entre a deformação no momento da ruptura para o diâmetro de punção(d_p)=33mm. Com a variação da geratriz (D_o), raio de punção (r_p) e raio da matriz (r_m), as simulações realizadas para o aço permitiram deformações maiores antes do início da ruptura para todas as variações.

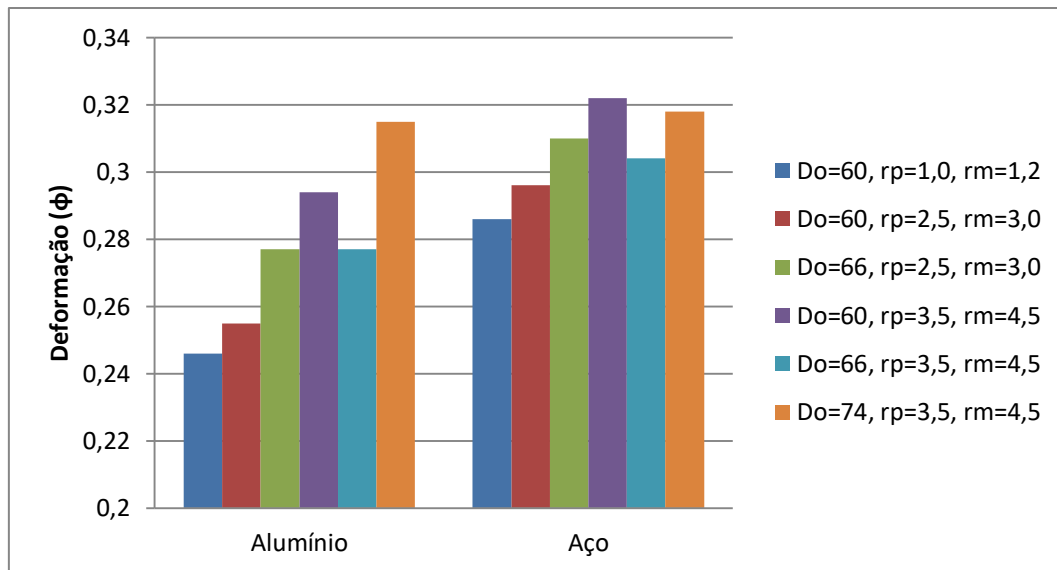


Figura 4-Relação entre deformação máxima e as duas matérias-primas para o diâmetro do punção de 33 mm com variação da geratriz e raios de punção e matriz.

A Figura 5 tem a relação entre a deformação (ϕ) e cada um dos materiais para o diâmetro de punção (d_p) = 50 mm. Novamente os resultados obtidos pelos parâmetros do aço para a deformação antes da ruptura foram maiores na comparação com o alumínio.

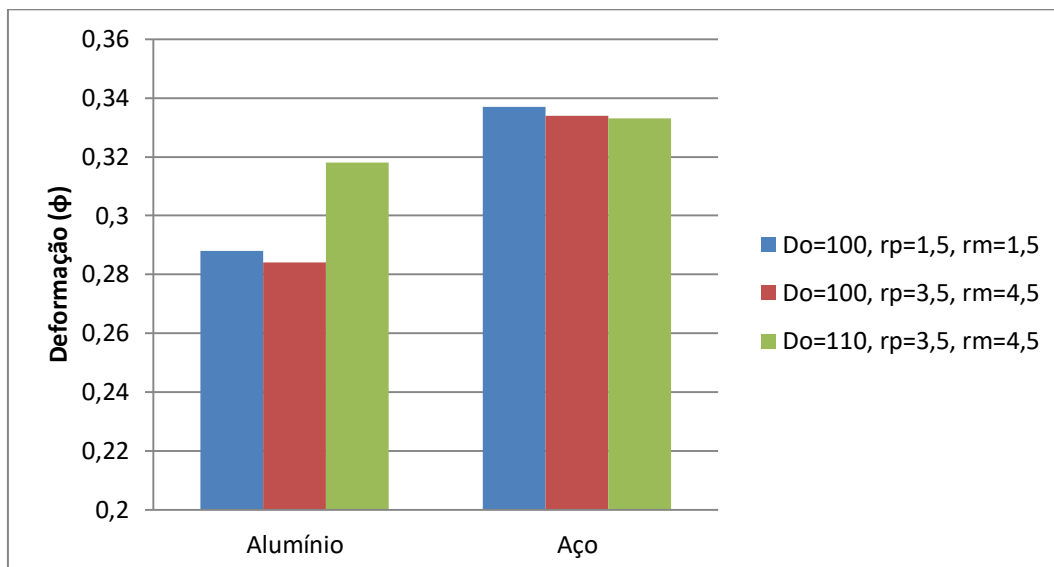


Figura 5-Relação entre deformação máxima e as duas matérias-primas para o diâmetro de 50 mm com variação da geratriz e raios de punção e matriz.

Na figura 6 a relação da deformação antes da ruptura com relação aos dois materiais utilizados nas simulações. Nesta vez com os valores obtidos para o diâmetro de punção (d_p) = 73 mm.

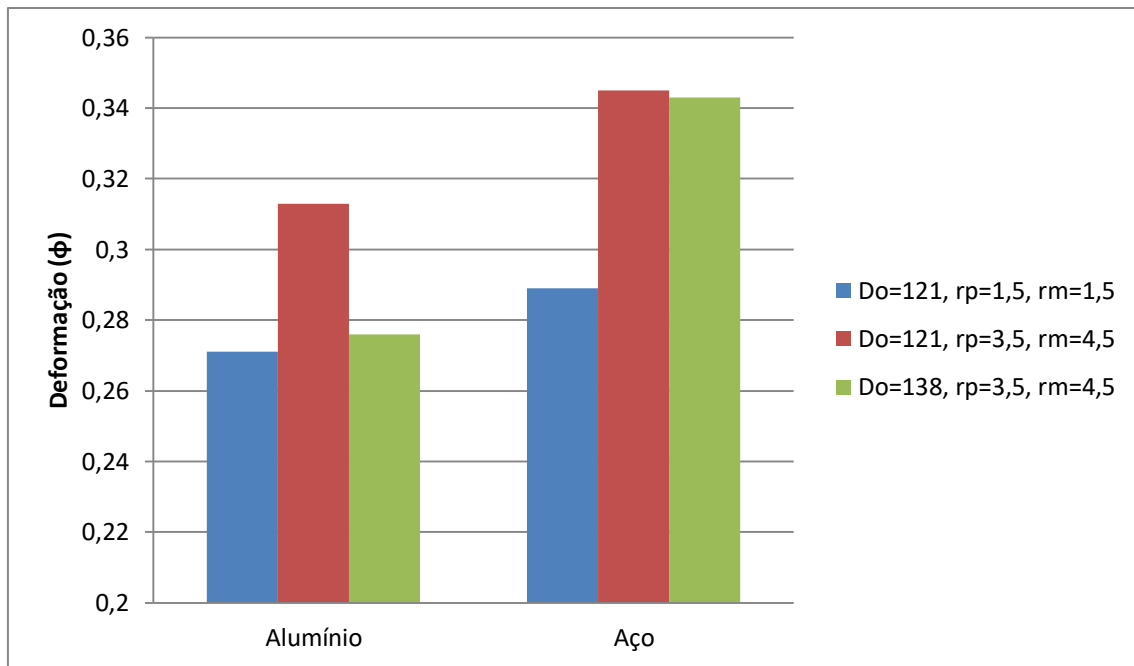


Figura 6-Relação entre deformação máxima e as duas matérias-primas para o diâmetro de 73 mm com variação da geratriz e raios de punção e matriz.

A força máxima é relacionada com a relação de estampagem na Figura 7, apenas com um ponto de divergência demonstrando forças maiores para a realização do processo de estampagem do aço.

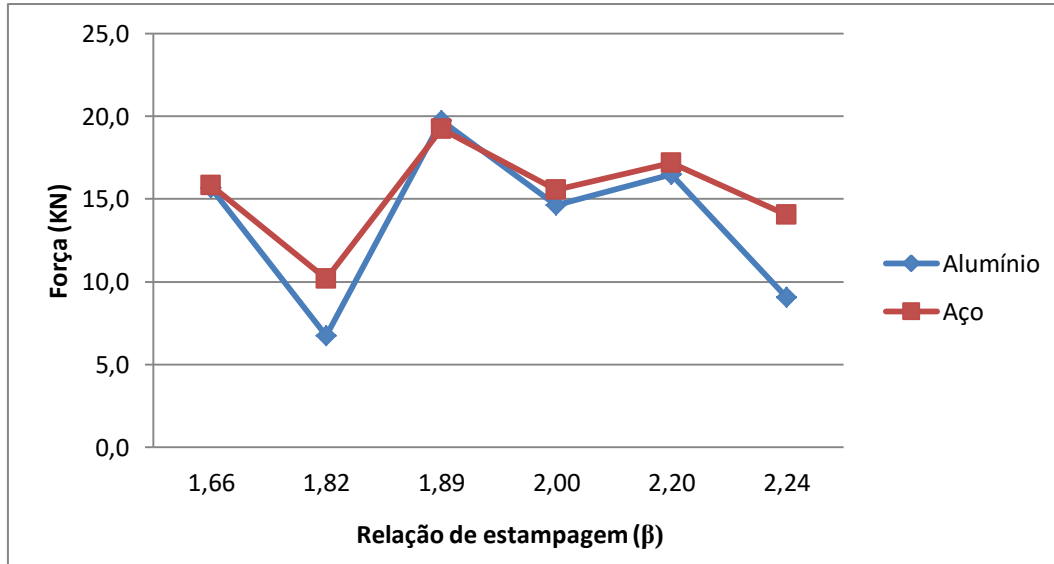


Figura 7- Valores máximos de força, em KN, para cada um dos valores de relação de estampagem (β).

Na Figura 8 observam-se os maiores valores obtidos na comparação entre a relação de estampagem e uma relação entre o diâmetro do punção e a espessura final no momento do início da ruptura, quanto maior este valor maior a diminuição de espessura permitida para o material. Podemos verificar que

não houve grande diferença entre os dois materiais nos valores máximos obtidos, assim como as médias dos resultados obtidos para cada situação.

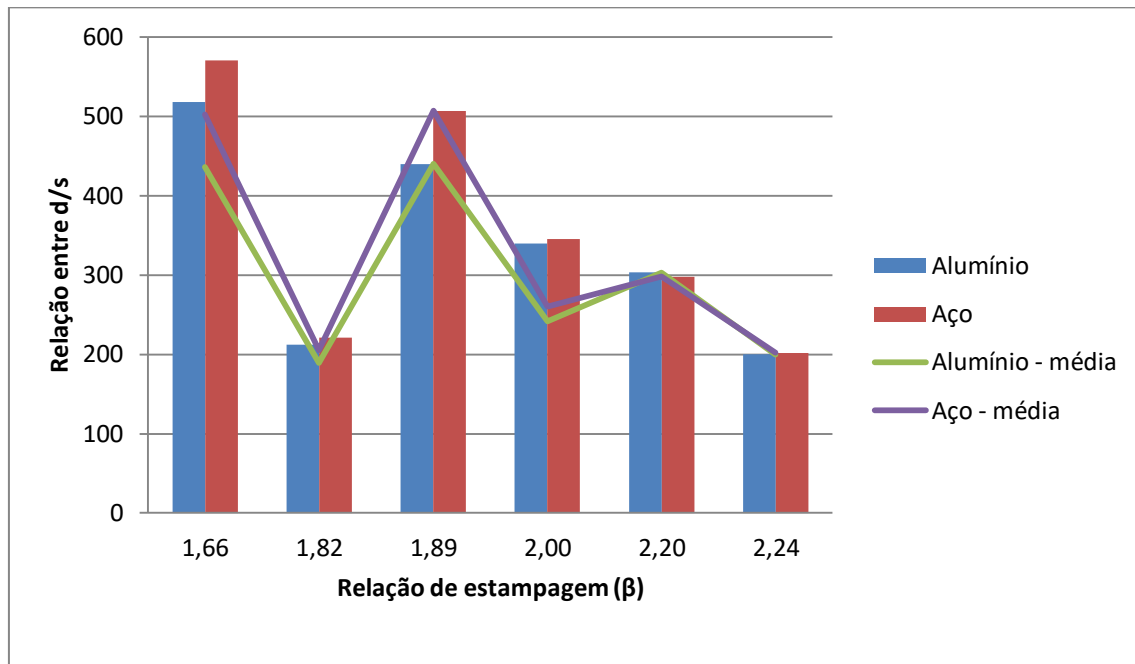


Figura 8-Comparação entre relação de estampagem (β) e a relação do punção (d_p) pela espessura no momento da ruptura (s).

Os raios utilizados são fatores relevantes para otimização do processo, podemos perceber pela Figura 9 que a relação de raio de matriz por raio do punção de 1,30 foi a que obteve o maior valor absoluto de tensão máxima antes da ruptura, com valor 584 MPa quando simulado com os parâmetros do aço, o menor valor foi obtido na relação de 1,00, ou seja, com valores iguais para os raios.

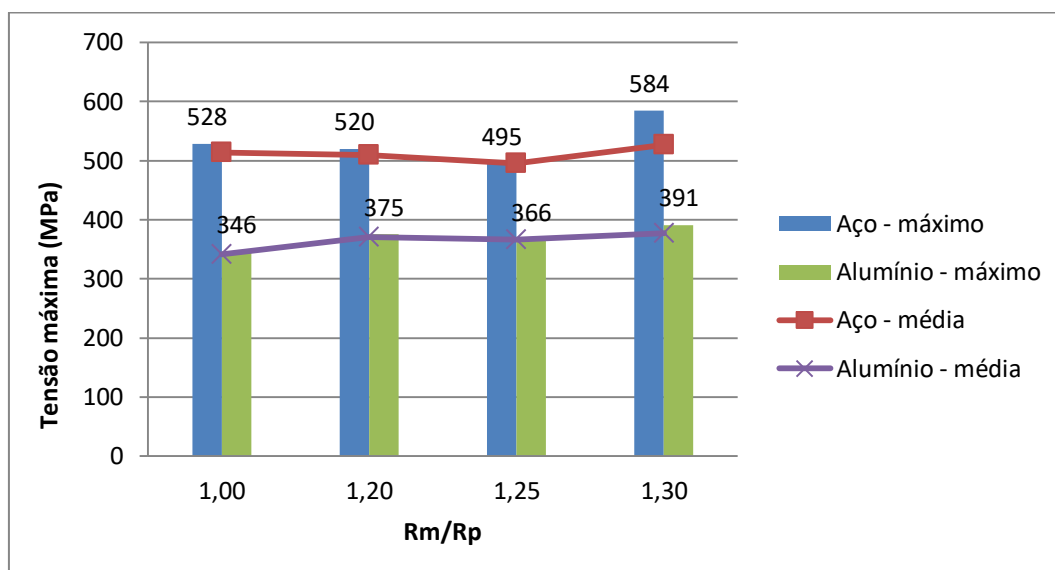


Figura 9- Tensão máxima obtida para cada um dos valores relativos ao quociente entre os raios utilizados no processo, da matriz(r_m) e do punção(d_p).

A Figura 10 apresenta a comparação de todos os resultados obtidos. Pode-se verificar a comparação entre os dois materiais quando observamos as cores iguais para os dois materiais, por exemplo, as duas barras de cor laranja, marcam os valores máximos obtidos para o embutimento para ambos os materiais, sendo a altura máxima para o alumínio o valor de 24,97 mm e para o aço 33,18 mm quando o diâmetro do punção foi de 73 mm, a relação de estampagem de 1,89 e a relação entre os raios de 1,30. Em contrapartida é possível notar que o menor valor foi quando o diâmetro do punção foi de 33 mm, a relação de estampagem de 1,82 e a relação entre raios de 1,25, este último sendo especificamente problemático por possuir o raio do punção com valor bastante baixo.

De maneira geral na comparação direta o aço permitiu maior profundidade de embutimento que o alumínio.

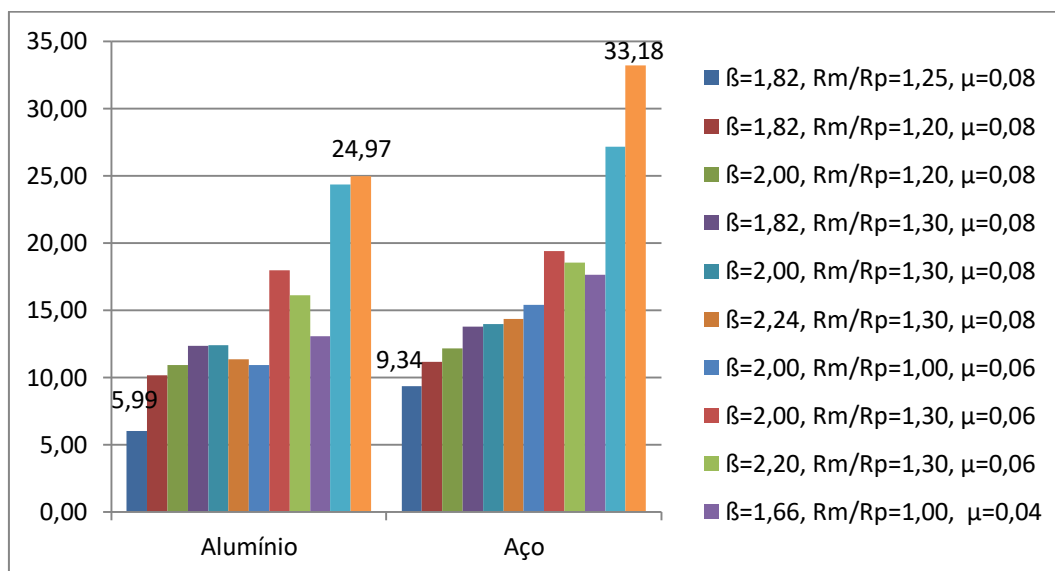


Figura 10-Comparação geral entre alumínio e aço com relação a altura de embutimento antes de haver a ruptura. Cada uma das barras tem um valor para os parâmetros β , R_m/R_p , μ .

Conclusões

Pode-se concluir que o as folhas de aço mesmo com espessuras menores, neste caso $s=0,22$ mm permitem estampagem com maior estabilidade do que as folhas de alumínio com espessuras ligeiramente superiores no processo de embutimento profundo.

A porcentagem de 25% a mais na altura máxima de embutimento evidencia este fato, mesmo com espessura aproximadamente 20% menor, fator intimamente ligado ao custo por peça, assim como uma redução da influência do peso final do produto, que inicialmente conferia vantagem ao alumínio.

Este estudo vai ao encontro de SLJIVIC e MITRIC [7] demonstrando maior possibilidade de deformar as folhas-de-flandres, assim como trabalhar com tensões mais elevadas.

É possível verificar também a influência dos diversos parâmetros durante o processo de estampagem, por exemplo, a escolha dos raios de matriz e punção, fator muitas vezes negligenciado nos processos de simulação computacional. A simulação com menor atrito, $\mu=0,04$ com raios de punção e matriz de 3,5 e 4,5mm, respectivamente, alcançando deformações cerca de 18% maiores antes da ruptura quando comparado ao conjunto com ambos raios de 1,5mm.

Bibliografia

- [1] ANDRADE, M. L. A.; VIEIRA, J. R. M.; CUNHA, L. M. S. Latas para cervejas e refrigerantes: o desafio alumínio x aço. Março/1998. BNDES – Rio de Janeiro.
- [2] FERNANDES, J. M. Estudo da fabricação de latas em folhas-de-flandres pelos processos de embutimento profundo e estiramento. Agosto/1998. 95p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas
- [3] SOUZA, A. C. B.; JUNIOR, D. M. P.; OLIVEIRA, J. V. Concorrência entre embalagens de aço e alumínio: Uma análise de mercado no segmento de bebidas carbonatadas. Junho/2010. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – Centro de Ensino Superior de São Gotardo.
- [4] SCHAEFFER, L. NUNES, R. M. BRITO, A. M. Tecnologia da estampagem de chapas metálicas. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2017. 126 p.
- [5] SCHAEFFER, L. ROCHA, A. S. Conformação Mecânica – Cálculos aplicados em processos de fabricação. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2007. 200 p
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA EMBALAGEM(ABRE). (2014). Crescimento da venda de latas no Brasil é expressivo, mas sofre impacto com elevação do preço das bebidas. Disponível em: <http://www.abre.org.br/noticias/crescimento-da-venda-de-latas-no-brasil-e-expressivo-mas-sofre-impacto-com-elevacao-do-preco-das-bebidas>, acesso em 15/08/18 às 13h.
- [7] SLJIVIC, M.; MITRIC, M. Stabilitat tiefgezogener konservendosen. Werstatt und Betrieb. 1995 – Munique, Alemanha.
- [8] SCHAEFFER, L. Manufatura por conformação mecânica. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2016. 218 p.