

---

**CARACTERIZAÇÃO DOS AÇOS DP 600 E DP 780 PARA USO NA  
CONFORMAÇÃO MECÂNICA*****CHARACTERIZATION OF THE DP 600 AND DP 780 STEEL SHEET FOR  
METAL FORMING APPLICATION***

*Juliano Boeira Ercolani<sup>1</sup>*  
*Gabriel Grazziotin<sup>1</sup>*  
*Lucas Rodrigo Kehl<sup>1</sup>*  
*Alexandre da Silva Rocha<sup>1</sup>*

**Resumo:** Na indústria automobilística a procura por materiais com grande resistência mecânica e baixo peso sempre foi uma grande área de estudo. Em razão disso, os aços Dual Phase (DP) foram desenvolvidos. Esses aços possuem microestrutura ferrítica-martensítica, que conferem ao aço a dureza necessária para sua aplicação automobilística. O objetivo do presente trabalho é comparar a aplicabilidade de chapas de aço DP 600 e DP 780 na estampagem. Para isso foram realizados ensaios mecânicos de tração, análise de dureza superficial, anisotropia, ensaio Erichsen e desgaste abrasivo pelo ensaio de abrasão com roda de borracha. Os resultados mostram que o DP 780 requer uma força maior para se deformar e mesmo assim tem um alongamento menor que o DP 600, fenômeno observado no Ensaio de Tração. Também, o DP 600 teve um Índice Erichsen maior, mostrando melhor estampabilidade. Procura-se com esse estudo uma caracterização desses aços, podendo-se assim avaliar qual deles terá uma melhor utilização na conformação de chapas.

**Palavras-chaves:** Conformação Mecânica, Estampagem, DP 600, DP 780, Caracterização

**Abstract:** *In the automotive industry the search for materials with great mechanic resistance and low weight has always been a great field of study. Due to this necessity, the Dual Phase Steels (DP) has been developed. These steels have a ferritic-martensitic microstructure, which provides its necessary hardness to its automotive application. The main objective of this study is to compare the performance of the DP 600 and DP 780 steels in stamping processes. For that, mechanical tests were realized, such as tensile, Erichsen, anisotropy, diamond pyramid hardness analysis and abrasive wear with rubber wheel test. The results show that the DP 780 requires higher strength to deform and even so has a smaller elongation than the DP 600, phenomenon observed in the Tensile Test. Plus, the DP 600 had a higher Erichsen Index, showing better stamping. A detailed characterization is the goal of this project, giving conditions to determine which of the steels should have better results for sheet metal forming processes.*

**Keywords:** *Metal Forming, Stamping, DP600, DP780, Characterization.*

## **1 Introdução**

Os aços Dual Phase (DP) são compostos por uma fase predominante dúctil (ferrita), com ilhas dispersas de martensita (MARCONI et al., 2018; SCHWINDT; SCHLOSSER; SIGNORELLI, 2018). Esta microestrutura é obtida a partir de um resfriamento controlado das fases ferrita e austenita, transformando a austenita em martensita. A presença destas duas fases proporciona propriedades ao aço que contribuem a uma deformação uniforme e alta resistência mecânica (NASSER et al., 2010; YANG et al., 2019). Em razão dessas

---

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale – Brasil, email: [juliano.ercolani@ufrgs.br](mailto:juliano.ercolani@ufrgs.br)

propriedades, são aços muito utilizados na indústria automotiva (FARABI; CHEN; ZHOU, 2011; LIANG et al., 2015; ZHAO; ZHANG; LAI, 2018). A Figura 1 demonstra uma típica microestrutura de um aço Dual Phase (DE LA CONCEPCIÓN; LORUSSO; SVOBODA, 2015).

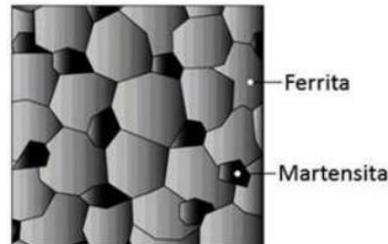


Figura 1. Ilustração da microestrutura de um aço DP

A figura 2 representa a microestrutura dos aços DP 600 (a) e DP 780 (b), que contêm ferrita mais ilhas de martensita (ZANLUCHI, 2014). A fase macia ferrítica é geralmente contínua, dando a estes aços uma excelente ductilidade. Quando esses aços se deformam, a deformação é concentrada na fase de menor resistência (ferrita) em torno das ilhas de martensita, propiciando uma alta taxa de encruamento (WANG et al., 2013).

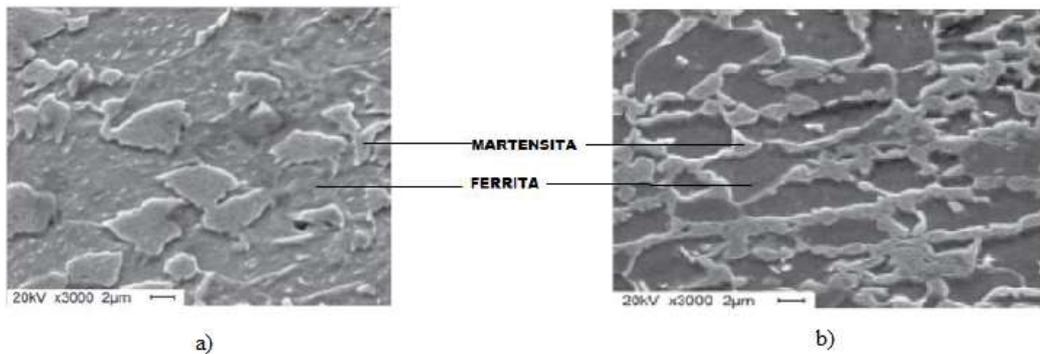


Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do a) aço DP 600 e b) aço DP 780.

A Figura 3 faz uma comparação das famílias de aços em relação à sua tensão de escoamento (eixo das abcissas) e da sua deformação (eixo das ordenadas). Observa-se que os aços DP têm maior resistência mecânica que os aços de alta resistência de baixa liga (HSLA), além de ter maiores deformações. Além disso, tem um limite de escoamento próximo aos aços TRIP, que são novos no mercado e também muito utilizados na indústria automobilística (LUN et al., 2017).

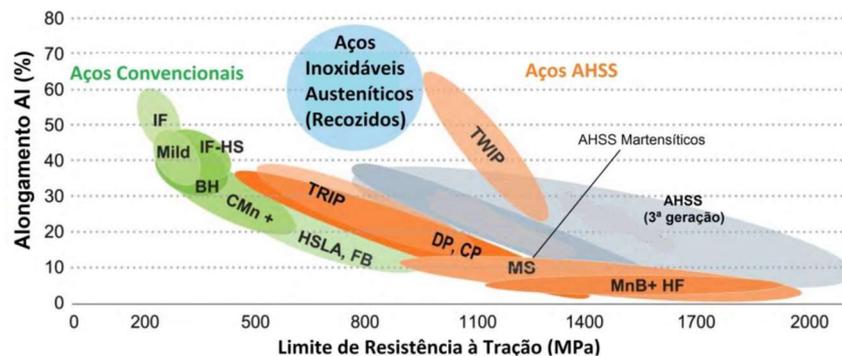


Figura 3. Gráfico comparativo das famílias dos aços. (THESING, 2018)

No presente trabalho, são analisados resultados de experimentos visando concluir para

quais aplicações os aços DP 600 e DP 780 têm melhor desempenho, visando sua aplicação na estampagem de aços, muito utilizada na indústria automotiva.

## 2 Materiais e Métodos

Os experimentos apresentados a seguir foram realizados no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os ensaios de Tração, Erichsen e Anisotropia foram realizados em uma máquina universal de ensaios EMIC modelo DL60000 com capacidade de 600 kN (figura 4). Já o ensaio de Abrasão foi realizado em um abrasômetro, de acordo com a norma ASTM G-65 e, as microdurezas foram medidas em um microdurômetro com ponta de diamante piramidal.

As chapas utilizadas nos ensaios foram de aços DP 600 e DP 780, objetos de estudo do presente trabalho. A chapa do DP 600 possuía uma espessura de 1,5 mm, já o DP 780, tinha 1 mm. Essa diferença de espessuras entre os dois materiais foi estudada no trabalho, sendo analisada a relação da espessura com o ensaio realizado.



**Figura 4.** Máquina Universal de Ensaios

### 2.1 Ensaio de Tração

O ensaio de tração é um experimento que gera tensões uniaxiais na chapa, de onde podem ser calculados valores como a tensão de escoamento, tensão máxima, tensão de ruptura e também a deformação máxima. Os corpos de prova utilizados nos ensaios possuíam dimensões de 250 mm de comprimento com 20 mm de largura, segundo a norma ASTM E8/E8M (ASTM E8/E8M, 2010). Cada ensaio foi realizado em três corpos de prova, sendo utilizado a velocidade de 2 mm/min.

### 2.2 Ensaio Erichsen

O ensaio Erichsen tem como principal objetivo avaliar a estampabilidade da chapa em processos de estampagem profunda (ORTEGA VEGA et al., 2018). Um punção com cabeça esférica de 20 mm de diâmetro em uma velocidade de 5 mm/min estira uma chapa para dentro de uma matriz até que ocorra ruptura (SORCE et al., 2019). O resultado do ensaio é o Índice Erichsen, a altura do “copo” formado pelo estiramento da chapa. Foram realizados ensaios

com três corpos de prova de dimensões de 90 mm x 90 mm (ISO 20482, 2003; TAKUDA et al., 2000).

### 2.3 Ensaio de Anisotropia

Os coeficientes de anisotropia são muito importantes na caracterização de uma chapa, pois eles descrevem como serão as deformações do material quando passar um processo de estampagem, demonstrando a razão entre a largura e a espessura na deformação durante o ensaio de tração (RAHMAAN et al., 2016). O coeficiente de anisotropia ( $r$ ) é calculado pela relação entre deformação na largura e deformação na espessura. A Figura 5 mostra em um desenho esquemático o cálculo de deformações e o cálculo do coeficiente de anisotropia.

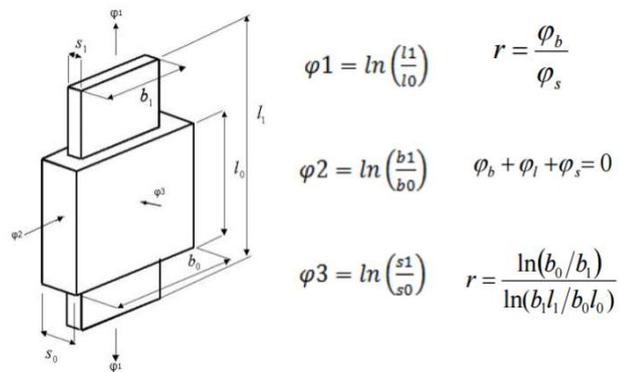


Figura 5. Esquema do cálculo de deformações e do coeficiente de anisotropia ( $r$ )

Sabendo que  $s$  representa a espessura e  $b$  representa a largura, valores de  $r$  maiores que 1 significam que a deformação na espessura é menor que na largura, o que é desejado, pois representa uma maior resistência ao afinamento da chapa (LI et al., 2020). Já valores de  $r$  menores que 1, mostram que a espessura se deforma mais que a largura. Desta forma, entende-se que valores ideais para o coeficiente de anisotropia são valores maiores que 1 ou próximos de 1, que representam uma deformação homogênea entre largura e espessura.

Outro importante parâmetro é o coeficiente de anisotropia planar ( $\Delta r$ ), que tem relação com o orelhamento da chapa quando passa por um processo de estampagem profunda, ou embutimento. O orelhamento normalmente é um acúmulo de deformações causado por uma má regulagem do prensa-chapas. Para valores mais distantes de 0 (podem ser negativos), maior a tendência ao orelhamento.

O ensaio é realizado com três corpos de prova para cada direção de laminação ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ). Os corpos de prova (CP) têm dimensões de 200 mm de comprimento e 20 mm de largura. Inicialmente foi determinado que todos sofreriam uma deformação no seu comprimento de 5%, ou seja, 10 mm. Após isto, eram feitas medidas de largura e espessura dos corpos ensaiados com auxílio de paquímetro digital e micrômetro, e os dados utilizados nos cálculos. Calcula-se um “ $r$ ” e um “ $\Delta r$ ” para cada direção de laminação e enfim calcula-se uma média. A média dos valores de “ $r$ ” é chamada de coeficiente de anisotropia normal ( $r_m$ ), que indica a habilidade de uma chapa resistir ao afinamento. As Equações 1 e 2 mostram como calcular  $r_m$  e  $\Delta r$  (ASTM E517-00, 2010).

$$r_m = \frac{r_{0^\circ} + 2r_{45^\circ} + r_{90^\circ}}{4} \quad (1)$$

$$\Delta r = \frac{r_{0^\circ} - 2r_{45^\circ} + r_{90^\circ}}{2} \quad (2)$$

## 2.4 Medidas de Microdureza Vickers

Antes de fazer o Ensaio de Abrasão foram feitas medidas da microdureza das chapas. É esperado que o aço DP780 tenha uma dureza maior devido a maior presença da fase martensita na sua microestrutura. Foram feitas quinze medidas aleatórias no plano da chapa, utilizando carga de 500g.

## 2.5 Ensaio de Abrasão

A máquina utilizada neste ensaio foi desenvolvida no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM). O Ensaio de Abrasão com roda de borracha envolve um corpo de prova e areia com granulometria e fluxo controlados. A areia passa entre a roda girando em contato com o corpo de prova, aplicando uma força na superfície e provocando um desgaste com a areia. O corpo de prova é preso em um braço de alavanca que tem um peso na outra extremidade, empurrando o corpo de prova contra a roda de borracha (STEVENSON; HUTCHINGS, 1996). O tipo de ensaio utilizado foi o Tipo B (ASTM G65-16E1, 2016), que tem um tempo de duração de 10 minutos, com velocidade angular de 200 rpm (KEMPSKI et al., 2016). A Figura 6 mostra a máquina utilizada no ensaio.



**Figura 6.** Abrasômetro com roda de borracha localizado no LdTM (UFRGS)

Para o ensaio de abrasão, os corpos de prova utilizados têm formato de bloco. Adaptando-os para realizar a abrasão em chapas, corpos de prova das chapas com dimensão próxima de 25 mm x 60 mm dos aços DP 600 e DP 780 foram cortados e, em seguida, foram colados na superfície.

Os conjuntos dos batentes (corpos de prova em forma de bloco) com as chapas foram pesados antes e depois dos ensaios, de forma que fosse calculada a perda volumétrica, utilizando a densidade do material, previamente calculada utilizando o princípio de Arquimedes. Foram confeccionados quatro corpos de prova para cada material ensaiado. A perda volumétrica é calculada pela Equação 3 (KLIMPEL et al., 2005).

$$Perda\ Volumétrica\ (mm^3) = \frac{massa\ perdida\ (g)}{densidade\ (\frac{g}{cm^3})} \cdot 1000 \quad (3)$$

## 3 Resultados e discussões

Realizados os ensaios propostos, pôde-se analisar os resultados encontrados. Nas Figuras 7 e 8 é possível ver que as curvas obtidas nos três corpos de prova ficaram muito próximas, permitindo afirmar que os resultados são confiáveis e possuem uma boa

reprodutibilidade.

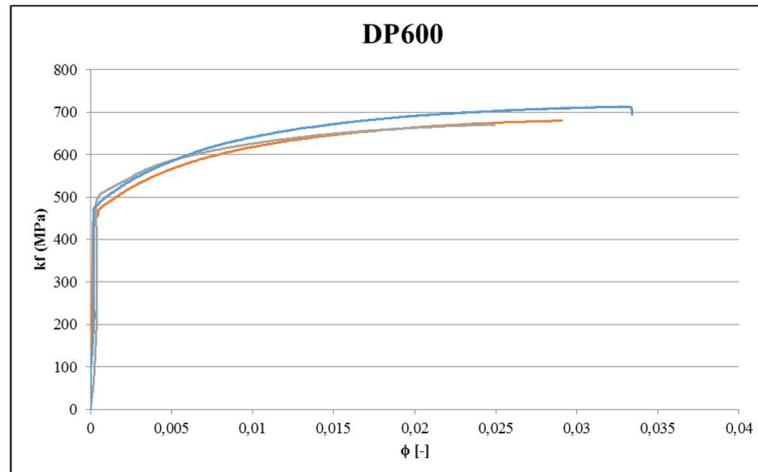


Figura 7. Resultado do ensaio de tração para os três corpos de prova do aço DP600

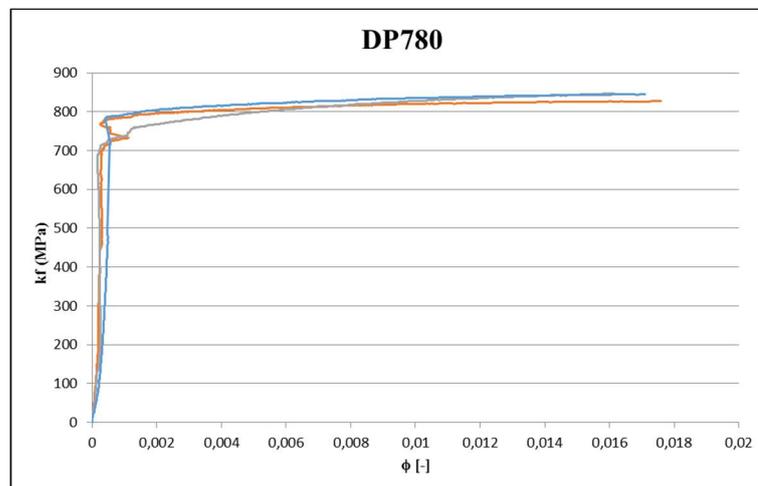


Figura 8. Resultado do ensaio de tração para os três corpos de prova do aço DP780

A Figura 9 apresenta a comparação entre as curvas que indicaram maiores valores de tensão. Assim, nota-se que a chapa de DP 600 apresenta maior alongamento com menores tensões aplicadas. Esse resultado foi ao encontro de outros trabalhos (AGHAEI; ZIAEI-RAD, 2020; LI et al., 2019; LIN; TANG, 2019; WANG et al., 2013), pois era esperado que o aço DP 780 exigisse uma força maior devido a sua microestrutura com maior quantidade de martensita (ÇAVUŞOĞLU; GÜRAL; GÜRÜN, 2017).

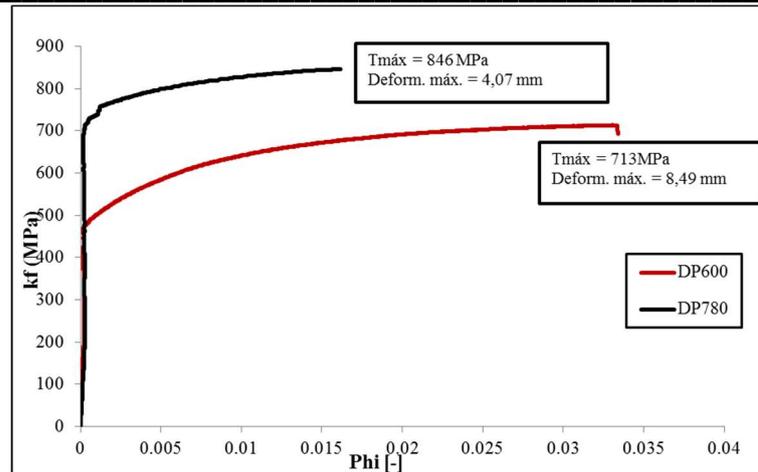


Figura 9. Comparação do resultado do ensaio de tração dos dois aços

O gráfico da figura 10 mostra os resultados obtidos através do ensaio Erichsen. Observa-se que o DP 600 deforma mais sem romper, e exerce uma força maior. Tendo em vista que a espessura do DP 600 é maior que a do DP 780 (DP 600 com 1,5 mm e DP780 com 1 mm) o resultado observado no Erichsen pode ser atribuído a este fato. Maiores espessuras, quando submetidas a tensões biaxiais, exigem maiores forças para se deformarem. Contudo, o DP 600 mesmo com uma espessura igual ao DP 780 deve ter um melhor desempenho na estampagem (NASSER et al., 2010; ZHAO; ZHANG; LAI, 2018).

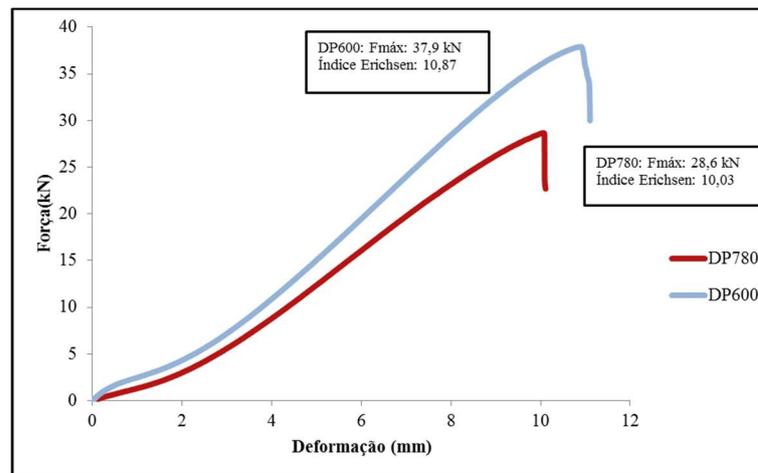


Figura 10. Comparação dos Índices Erichsen de cada material

O valor do Índice Erichsen corresponde à deformação no ponto de força máxima, porque neste ponto a chapa começa a sofrer deformação de sua espessura e em seguida sofre a ruptura.

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados dos ensaios de anisotropia para os dois materiais.

Tabela 1. Resultados de anisotropia para o DP 600

DP 600									
Ângulo (°)	CP01			CP02			CP03		
	0	45	90	0	45	90	0	45	90
Espessura Inicial (mm)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Espessura Final (mm)	1,470	1,460	1,460	1,460	1,470	1,460	1,460	1,470	1,470
Largura Inicial (mm)	20,620	20,550	21,180	20,700	20,860	21,170	20,390	20,850	20,210
Largura Final (mm)	20,150	20,100	20,750	20,190	20,420	20,700	20,060	20,400	19,830
Coef. de Anisotropia - r	1,14129	0,81917	0,75886	0,92296	1,05524	0,83065	0,60368	1,08001	0,93956
Coef. de Anisotropia Normal - $r_m$	0,8846250			0,9660199			0,9258135		
Coef. de Anisotropia Planar - $\Delta r$	0,1309064			-0,1784334			-0,3083853		

Tabela 2. Resultados de anisotropia para o DP 780

DP 780									
Ângulo (°)	CP01			CP02			CP03		
	0	45	90	0	45	90	0	45	90
Espessura Inicial (mm)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Espessura Final (mm)	0,950	0,990	0,960	0,970	0,990	0,960	0,970	0,980	0,960
Largura Inicial (mm)	20,860	20,550	20,230	20,550	20,550	20,210	20,800	19,750	20,280
Largura Final (mm)	20,050	20,170	19,900	20,270	20,120	19,830	20,310	19,380	19,810
Coef. de Anisotropia - r	0,77211	1,85711	0,40289	0,45041	2,10407	0,46498	0,78267	0,93611	0,57440
Coef. de Anisotropia Normal - $r_m$	1,2223075			1,2808816			0,8073226		
Coef. de Anisotropia Planar - $\Delta r$	-1,2696069			-1,6463739			-0,2575678		

Observando os três corpos de prova do DP 600, eles tiveram valores de coeficientes muito próximos, validando o experimento. Já no DP 780, o corpo de prova 3 (CP03) teve um resultado diferente dos demais. Contudo, o resultado foi aceito, já que é esperada uma variação entre as amostras.

A Tabela 3 apresenta a média dos coeficientes normal e planar dos três corpos de prova obtidos para o ensaio de anisotropia.

Tabela 3. Comparação dos Coeficientes de anisotropia normal e planar médios

	DP600	DP780
$r_m$	0,9254	1,1035
$\Delta r$	-0,1186	-1,05784

A partir dos resultados vistos na Tabela 3 nota-se que o valor do coeficiente de anisotropia normal dos dois aços é próximo de 1, mostrando que as deformações na espessura e na largura são muito próximas. Também é possível observar que há uma grande diferença entre os coeficientes de anisotropia planar dos materiais. Os valores negativos podem ser aceitos normalmente devido ao sinal negativo presente na Equação 2. Foi visto que os valores dos seus coeficientes de anisotropia normal ficaram muito próximos e, sabendo que este coeficiente relaciona a deformação na largura com a deformação na espessura, os dois aços demonstram ter um pequeno afinamento da espessura em relação à largura durante um processo de estampagem, tendo em vista que os dois coeficientes ficaram próximos de zero. Contudo, é importante notar que o coeficiente normal do DP 600 é menor que 1, ou seja, a espessura sofre uma deformação maior que na largura. Por outro lado, o caso do DP 780 foi o oposto. Fazendo uma análise do coeficiente de anisotropia planar, observa-se que o aço DP 780 tem uma alta tendência ao orelhamento, enquanto o DP 600 tem uma tendência bem

menor. Isto é devido a distância dos valores de  $\Delta r$  de zero. Quanto maior a distância, maior a tendência ao orelhamento.

A Tabela 4 mostra os resultados das médias de microdureza Vickers feitas a partir das medições.

Tabela 4. Valores médios de microdureza dos aços DP 600 e DP 780

	Microdureza (HV0,5)
DP600	216
DP780	271

Os resultados obtidos foram conforme o esperado. Houve uma diferença nos valores de microdureza de aproximadamente 20,33%. Com isso, a chapa metálica do aço DP 780 teve maior resistência à abrasão devido a sua maior dureza superficial.

A Figura 11 mostra os resultados do ensaio de abrasão das chapas.

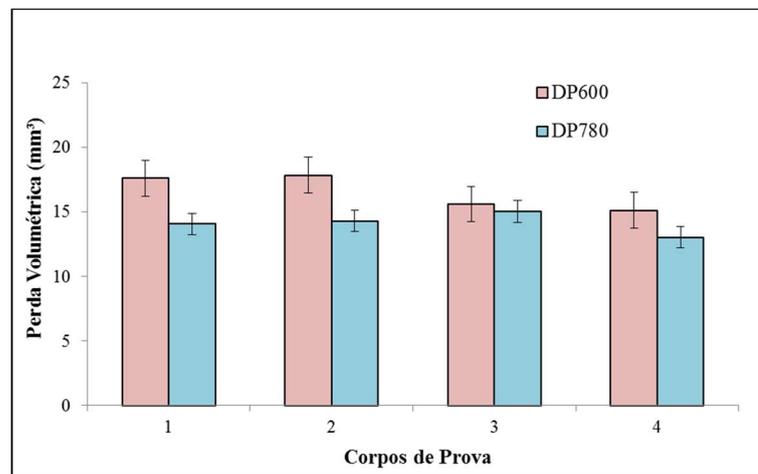


Figura 11. Resultados da Perda Volumétrica de cada corpo de prova do Ensaio de Abrasão

Observa-se que a perda volumétrica do DP 780 sempre foi menor do que o DP 600. Fazendo-se uma analogia com a microdureza medida e a perda volumétrica por abrasão, a Figura 12 apresenta um gráfico de colunas que mostra essas duas grandezas para os dois aços. Os valores de perda volumétrica são uma média dos quatro corpos de prova de cada aço.

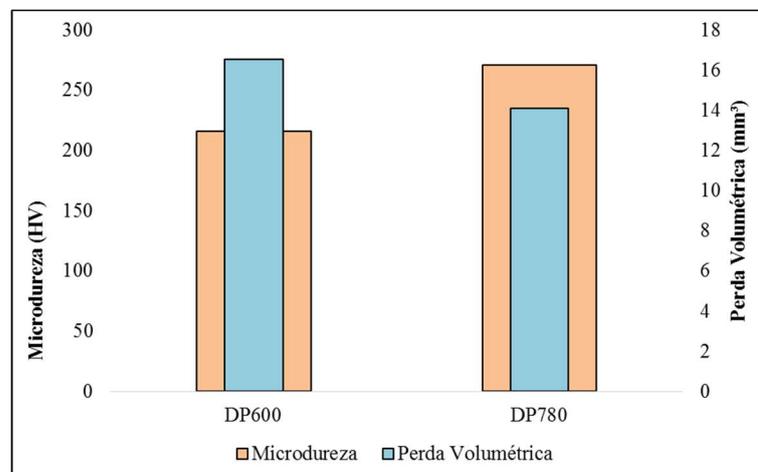


Figura 12. Análise de microdureza junto com perda volumétrica

Em todos os corpos de prova, o DP 780 teve um desgaste menor que o DP 600. Esse resultado mostra que, quando em contato com a ferramenta de estampagem, o DP 780 deverá exigir uma força maior de conformação em uma condição a seco, e provocará um desgaste abrasivo maior na ferramenta e também no próprio plano da chapa. A Figura 12 permite concluir que quanto maior a microdureza, menor o desgaste que o material sofrerá, e quanto menor a microdureza, maior o desgaste.

#### 4 Conclusões

Ao final de todos os experimentos, foi possível concluir que os dois DP's têm comportamentos muito diferentes quando conformados.

No Ensaio de Tração foi possível observar que o DP 780, que tem maior quantidade de martensita (fase menos dúctil), precisa de uma força maior e se deforma menos que o DP 600. Contudo, os dois aços têm uma deformação elástica muito pequena. O fenômeno oposto foi observado no Ensaio Erichsen: o DP 600 precisou de uma força maior e teve o Índice Erichsen também maior, mostrando uma maior capacidade de estampagem.

O DP 600 mostra ter melhores condições para ser estampado analisando os resultados obtidos no ensaio de anisotropia. Pelos valores obtidos para os coeficientes, ele tem menor tendência ao orelhamento e pequena deformação da espessura.

Nos ensaios para analisar a resistência ao desgaste, os resultados de microdureza foram conforme esperados. O DP 780, por ter uma maior presença de martensita, fase mais dura e menos dúctil, teve uma microdureza aproximadamente 20,33% maior que o DP 600. Com este resultado foi esperado que no ensaio de abrasão o DP 780 tivesse um rendimento melhor; e foi o que aconteceu. Em todos corpos de prova o DP 780 apresentou um menor desgaste abrasivo, observado pela perda de volume.

Ao fim, conclui-se que devido às características distintas das duas chapas, o estudo individual da aplicação de cada uma delas é de extrema importância para que se tenha o melhor desempenho possível. Para componentes que não possuem dobras com ângulos muito pequenos e geometrias com copos de pequena profundidade, por exemplo, é indicado que o DP 780 seja utilizado. Também, peças que passarão por altas tensões e atuação de grandes forças têm como melhor escolha de material o DP 780. Agora, geometrias com grandes áreas de deformação oriundas da estampagem, pequenos ângulos de dobra e que passam por processos de embutimento, o DP 600 mostra ser a melhor opção.

#### Agradecimentos

O autor e os coautores do presente trabalho agradecem pela contribuição e apoio financeiro da CAPES e do CNPq.

#### Referências

AGHAEI, M.; ZIAEI-RAD, S. A micro mechanical study on DP600 steel under tensile loading using Lemaitre damage model coupled with combined hardening. **Materials Science and Engineering A**, v. 772, n. September 2019, p. 138774, 2020.

ASTM E517-00. Standard Test Method for Plastic Strain Ratio  $r$  for Sheet Metal. **ASTM International**, 2010.

ASTM E8/E8M. **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials** ASTM International. [s.l: s.n.].

ASTM G65-16E1. **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry**

**Sand/Rubber Wheel Apparatus.** [s.l: s.n.].

ÇAVUŞOĞLU, O.; GÜRAL, A.; GÜRÜN, H. Influence of strain rate on tensile properties and fracture behaviour of DP600 and DP780 dual-phase steels. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 44, n. 10, p. 773–781, 2017.

DE LA CONCEPCIÓN, V. L.; LORUSSO, H. N.; SVOBODA, H. G. Effect of Carbon Content on Microstructure and Mechanical Properties of Dual Phase Steels. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 1047–1056, 2015.

FARABI, N.; CHEN, D. L.; ZHOU, Y. Microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar DP600/DP980 dual-phase steel joints. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 509, n. 3, p. 982–989, 2011.

ISO 20482. Metallic materials — Sheet and strip — Erichsen cupping test. **ISO - International Organization for Standardization**, 2003.

KEMPSKI, L. A. et al. **DESGASTE ABRASIVO DO AÇO DINX100CrMoV8-1-1 NITRETADO A PLASMA PELO MÉTODO DE ABRASÃO.** 5º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul. **Anais...2016**

KLIMPEL, A. et al. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 164–165, p. 1056–1061, 2005.

LI, Q. et al. Study on the plastic anisotropy of advanced high strength steel sheet: Experiments and microstructure-based crystal plasticity modeling. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 176, n. February, p. 105569, 2020.

LI, S. et al. In-situ EBSD study of deformation behaviour of 600 MPa grade dual phase steel during uniaxial tensile tests. **Materials Science and Engineering A**, v. 759, n. March, p. 624–632, 2019.

LIANG, J. et al. Characteristics of the resistance spot welding joints in dissimilar thickness dual-phase steels. **ISIJ International**, v. 55, n. 9, p. 2002–2007, 2015.

LIN, C.; TANG, D. Effect of microstructure and mechanical properties on tensile loading-unloading characteristics of cold-rolled DP780 steels. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 631, n. 2, 2019.

LUN, N. et al. Microstructure and mechanical properties of fibre laser welded medium manganese TRIP steel. **Materials and Design**, v. 131, p. 450–459, 2017.

MARCONI, C. D. et al. Optimización del proceso RSW para acero DP 1000. **Revista Materia**, v. 23, n. 2, 2018.

NASSER, A. et al. Determination of the flow stress of five AHSS sheet materials (DP 600, DP 780, DP 780-CR, DP 780-HY and TRIP 780) using the uniaxial tensile and the biaxial Viscous Pressure Bulge (VPB) tests. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 210, n. 3, p. 429–436, 2010.

ORTEGA VEGA, M. R. et al. Oleate-Based Protic Ionic Liquids As Lubricants for Aluminum 1100. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 37, p. 12386–12396, 2018.

RAHMAAN, T. et al. Effect of strain rate on flow stress and anisotropy of DP600, TRIP780, and AA5182-O sheet metal alloys. **International Journal of Impact Engineering**, v. 88, p. 72–90, 2016.

SCHWINDT, C. D.; SCHLOSSER, F.; SIGNORELLI, J. W. Efecto del cambio en el camino de deformación en la formabilidad de chapas de acero DP-780 y zinc Zn20. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 2, 2018.

SORCE, F. S. et al. Quantification of coating surface strains in Erichsen cupping tests. **Journal of Materials Science**, v. 54, n. 10, p. 7997–8009, 2019.

STEVENSON, A. N. J.; HUTCHINGS, I. M. Development of the dry sand/rubber

wheel abrasion test. **Wear**, v. 195, n. 1–2, p. 232–240, 1996.

TAKUDA, H. et al. Formability of a thin sheet of Mg-8.5Li-1Zn alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 101, n. 1, p. 281–286, 2000.

THESING, L. A. **EXPANSÃO DE FUROS EM CHAPAS DE AÇO AVANÇADO DE ALTA RESISTÊNCIA (DOCOL 190M)**. Tese (Doutorado)—[s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

WANG, W. et al. Experimental study on high strain rate behavior of high strength 600-1000MPa dual phase steels and 1200MPa fully martensitic steels. **Materials and Design**, v. 47, p. 510–521, 2013.

YANG, L. et al. Effect of microstructure on tensile and fatigue properties of laser-welded DP780 and DP980 high-strength steel joints. **Materials Science and Engineering A**, v. 754, n. March, p. 535–555, 2019.

ZANLUCHI, J. J. D. **AVALIAÇÃO DE RETORNO ELÁSTICO PARA PROCESSOS DE ESTAMPAGEM À FRIO DOS AÇOS BIFÁSICOS DP 600 E DP 800**. Dissertação (Mestrado)—[s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ZHAO, Y.; ZHANG, Y.; LAI, X. Effect of epoxy adhesive on nugget formation in resistance welding of SAE1004/DP600/DP780 steel sheets. **Materials**, v. 11, n. 10, 2018.