



## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DE AÇOS AVANÇADOS DE TERCEIRA GERAÇÃO

João V. M. Cunha<sup>1</sup>, Felipe A. C. Carellos<sup>1</sup>, Laura U. Stumpf<sup>1</sup>, Orlando L. Garcia<sup>2</sup>, Fábio C. Otoni Júnior<sup>2</sup>, Sara S. F. Dafe<sup>1\*</sup>

1 - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

2 - Stellantis, Avenida do Contorno 3455, Betim, MG, Brasil.

[saradafe@pucminas.br](mailto:saradafe@pucminas.br)

### RESUMO

A engenharia automotiva tenta sempre otimizar os veículos de modo a equilibrar segurança, eficiência e custo de produção. A redução no peso dos automóveis é um dos principais focos da indústria automotiva. Um dos principais procedimentos para a redução de peso é a substituição do material de determinada peça por um material mais nobre, possibilitando assim uma redução de espessura e peso. A busca por aços que possuam propriedades mecânicas que possam suprir as demandas da engenharia veicular moderna tem levado a criação de novos aços. Neste sentido, o trabalho consiste na caracterização mecânica e microestrutural de dois aços avançados da terceira geração por meio de testes de tração e análises metalográficas, bem como sua comparação com aqueles atualmente utilizados pela indústria automobilística. Os resultados obtidos para os dois aços são promissores para a sua utilização na indústria. A matriz microestrutural do aço TRIP 980 é formada por ferrita e bainita, e a do aço Q&P, por sua vez, é formada por martensita. O aço TRIP 980, apresentou um máximo limite de resistência de 990 MPa, com um alongamento de 23% para a direção de 90°, enquanto o aço Q&P apresentou o máximo limite de resistência de 1238 MPa com alongamento de 13% na direção de laminação.

**Palavras-chave:** TRIP; Q&P; microestrutura; transformação de fase.

### INTRODUÇÃO

A necessidade de automóveis com melhor eficiência energética cada vez mais vem aumentando devido à escassez dos combustíveis de origens fósseis e a crescente preocupação com o aquecimento global. Uma solução para essa melhora é a utilização de chapas de aço mais finas na confecção do carro<sup>(1)</sup>.

A utilização de chapas mais finas, levaria a redução do peso total do veículo, e com isso a redução das emissões. Uma redução de 5% de peso pode levar a redução de até 1,8% de CO<sub>2</sub>, enquanto uma redução de 10% de peso pode levar até 3,6% de CO<sub>2</sub> a menos liberado na atmosfera<sup>(2)</sup>.

O trabalho tem como objetivo a caracterização dos aços TRIP 980 e do Q&P 1180 de modo a verificar se suas propriedades estão com valores condizentes com os aços atualmente utilizados na confecção dos veículos, como o aço comercial DP600, como possíveis substitutos para melhoria da resistência mecânica.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Materiais

Para a elaboração do trabalho foram utilizados um aço Q&P 1180 e um aço TRIP 980, fornecidos pela Stellantis.

### Métodos

O processo de metalografia foi dividido em quatro etapas: corte, embutimento, lixamento e polimento. Na etapa de corte foram realizados os cortes por eletroerosão a fio, de corpos de prova retangulares de 10 mm x 8 mm, em três diferentes orientações (0°, 45° e 90° em relação ao sentido de laminação).

Na etapa subsequente foram realizados os embutimentos das amostras em uma resina condutora elétrica, com a seção transversal de lado 10 mm do corte normal ao plano do embutimento. Em seguida foram iniciados os processos de lixamento, onde foram utilizadas lixas impregnadas com diferentes granulometrias de carbeto de silício (SiC), percorrendo a sequência de 80, 180, 320, 400, 600, 800 e 1200 mesh.

Após a etapa de lixamento e limpeza, foi realizada a etapa de polimento, o material abrasivo utilizado foi pasta de diamante, sendo nas granulometrias de 3 e 1 µm. O reagente utilizado no ataque químico para revelação da microestrutura foi o Nital, com concentração de 4%.

Para a realização dos ensaios de tração, o material foi recebido em forma de chapas, e os corpos de prova (CPs) foram fabricados de acordo com 3 diferentes orientações, no sentido de laminação (0°), a 45°, e a 90°. Para o dimensionamento dos CPs de tração, foi consultado a norma ISO 6892-1<sup>(3)</sup>.

Os corpos de prova foram cortados através de uma prensa de corte, e em seguida as bordas dos CPs foram retificadas para que não houvesse interferência nas propriedades do aço devido a deformação causada pelo corte e os ensaios mecânicos fossem comprometidos.

O ensaio de tração foi realizado conforme a norma ISO 6892-1<sup>(3)</sup>, com a velocidade de ensaio de 1,20 mm/min para a região elástica e 15,00 mm/min para a região plástica. Após a realização dos ensaios de tração nos corpos de prova nos três ângulos de orientação (0°,45°,90°), foram traçados os gráficos para cada um dos corpos de prova, e a partir deles foi possível calcular suas propriedades.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A figura 1a apresenta a micrografia do aço TRIP. A partir da comparação com exemplos da literatura foi possível identificar uma microestrutura composta por uma matriz de ferrita e bainita, com ilhas de martensita e austenita. Esta microestrutura condiz com as apresentadas por Zaefferer *et al.*<sup>(4)</sup>, Colpaert<sup>(5)</sup>, e Arlazarov *et al.*<sup>(6)</sup>.

A microestrutura do aço Q&P, indicada na figura 1b, por sua vez, apresenta uma matriz martensítica, também apresentando frações de bainita e austenita.

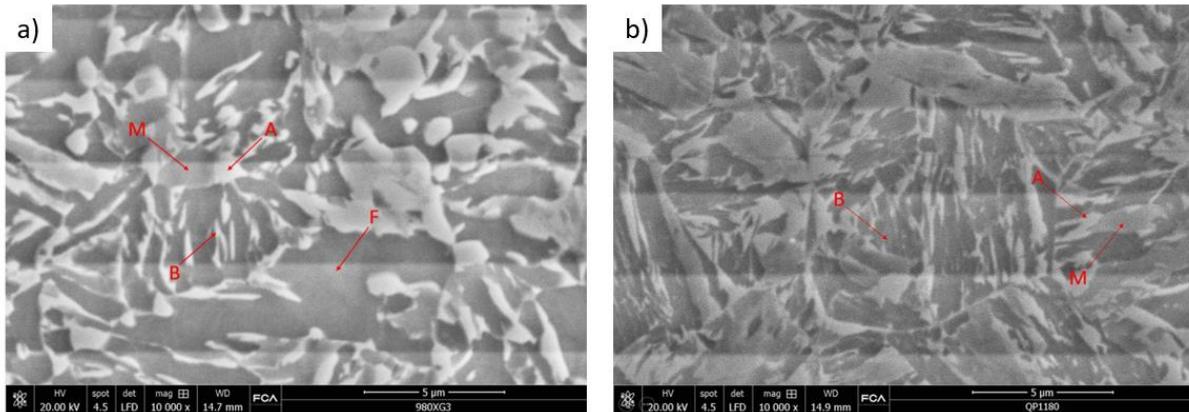


Figura 1: Metalografia do aço TRIP (a) e Q&P (b) com ampliação de 10000x, com indicação das fases de Austenita (A), Bainita (B), Ferrita (F) e Martensita (M).

As figuras 2a e 2b apresentam os ensaios de tração dos aços TRIP e Q&P, respectivamente. O aumento repentino da tensão por volta de 0,9% de deformação é devido ao aumento de velocidade do ensaio, conforme norma descrita na metodologia.

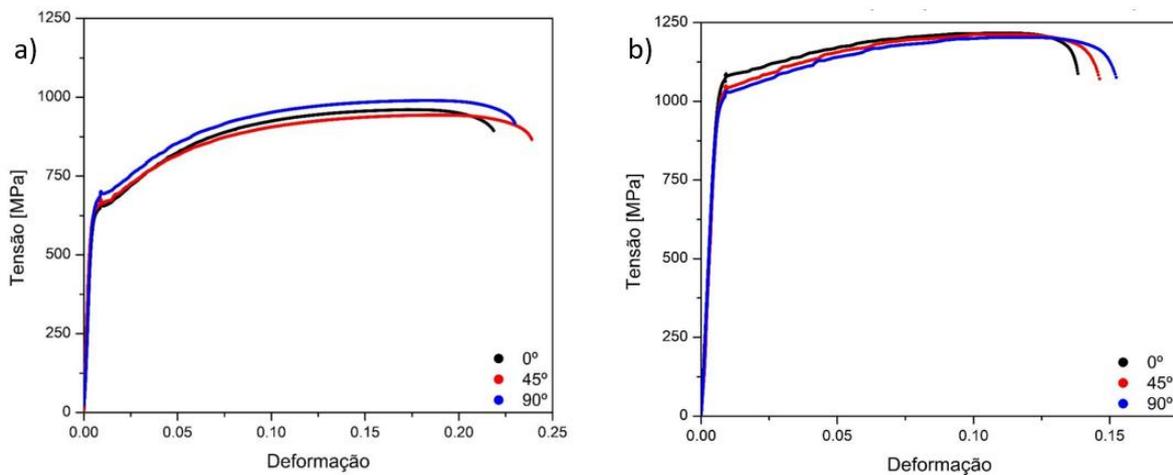


Figura 2: Tensão x Deformação do aço TRIP (a) e Q&P (b) nas três diferentes orientações

Tabela 1: Propriedades mecânicas das diferentes orientações do TRIP 980

		Tensão Máxima	Tensão Escoamento	n	K	Alongamento
		MPa	MPa	-	MPa	%
0°	Média	958,4	635,7	0,2322	1750,5	22,05
	Desvio	3,6	9,4	0,0034	15,3	0,74
45°	Média	938,8	638,2	0,2217	1668,0	23,76
	Desvio	3,9	3,7	0,0027	15,0	0,62
90°	Média	988,8	635,5	0,2353	1802,2	23,21
	Desvio	2,0	53,4	0,0125	21,6	0,70

Analisando os resultados da tabela 1, podemos notar uma variação média de 4,9% nos valores das propriedades mecânicas entre as orientações, demonstrando que a variação na orientação do corpo de prova não foi um fator crítico, o que indica um comportamento isotrópico. A orientação de 90° se destacou apresentando valores superiores aos demais para a tensão limite de resistência, onde os corpos de prova orientados a 45° demonstraram os menores valores com uma diferença de 48 MPa entre eles.

A maior tensão de escoamento foi observada nos corpos de prova à 90° e apresentou um aumento de 45 MPa com relação ao aço TRIP estudado por Wei *et al.*<sup>(7)</sup>, um aumento equivalente de 7,29%. O aço TRIP 980 também apresentou um alongamento total superior ao aço estudado por Wei *et al.*<sup>(7)</sup>, um aumento no alongamento total de 8,05% para a orientação de 45°, equivalente a 51,94%.

A combinação dessas propriedades indica um aço mais tenaz e que permite a estampagem de geometrias mais complexas. Os resultados mecânicos do aço TRIP 980 condizem com a microestrutura analisada previamente, já que a matriz ferrítica propicia ductilidade e conformabilidade, sendo reforçada mecanicamente pelas ilhas bainíticas e martensíticas.

Tabela 2: Propriedades mecânicas nas diferentes orientações do aço Q&P 1180

	Tensão Máxima	Tensão Escoamento	n	K	Alongamento
	MPa	MPa	-	MPa	%
0°	<b>Média</b>	1217,2	0,1250	1796,9	13,99
	<b>Desvio</b>	11,5	0,0011	12,6	1,68
45°	<b>Média</b>	1213,5	0,1359	1835,5	13,87
	<b>Desvio</b>	15,1	0,0018	24,5	1,21
90°	<b>Média</b>	1192,8	0,1416	1824,1	15,24
	<b>Desvio</b>	7,2	0,0044	26,0	0,52

A variação nas propriedades mecânicas devido às diferentes orientações não foi significativa levando em consideração o desvio padrão, o que indica um comportamento isotrópico. Podemos destacar os resultados para a orientação de 0° que apresentou maior tensão de escoamento e limite de resistência, aumentos respectivos de 7,08% e 2,21% quando comparados à orientação de 90°, porém obteve o menor alongamento total.

Analisando as tensões de escoamento e limite de resistência, o Q&P se assemelha ao aço TRIP bainítico estudado por Hojo *et al.*<sup>(8)</sup>, apresentando um limite de escoamento próximo à 1 GPa e um limite de resistência superior a 1200 MPa. O aço Q&P apresenta um grande aumento no seu alongamento máximo quando comparado ao aço estudado por Hojo *et al.*<sup>(8)</sup>, aumento total de 7,12% para a orientação de 90°, variação equivalente à 85,8% do alongamento máximo.

Estes resultados condizem com a microestrutura apresentada, a matriz martensítica leva a altos valores das tensões de escoamento e resistência mecânica, bem como redução no alongamento total quando comparado ao aço TRIP 980 estudado.

## CONCLUSÕES

O aço TRIP 980 apresentou um comportamento isotrópico devido a baixa variação das propriedades mecânicas em função da orientação dos corpos de prova. Embora a variação tenha sido pequena, a orientação de 90° apresentou propriedades mecânicas levemente superiores, atingindo tensão de escoamento próxima a 666 MPa e tensão limite de resistência de 989 MPa, com um alongamento máximo de 22,82%.

Bem como o aço TRIP 980, o aço Q&P 1180 também apresentou um comportamento isotrópico, com valores levemente superiores para a orientação de 0°, atingindo uma tensão de escoamento de 1063 MPa e uma tensão limite de resistência de 1224 MPa, com alongamento máximo próximo a 14%.

Como era esperado, o aço TRIP apresentou possuir uma matriz ferrítica, com ilhas de martensita, austenita retida e bainita. Já o aço Q&P apresentou uma matriz martensítica com ilhas de bainita e austenita retida.

## **AGRADECIMENTOS**

À Stellantis pelo fornecimento do material estudado no trabalho. À CAPES pelo fomento da bolsa de pós-graduação.

## **REFERÊNCIAS**

1. ABBASI, E.; RAINFORTH, W. M., Microstructural evolution during bainite transformation in a vanadium microalloyed TRIP-assisted steel, *Materials Science & Engineering A*, 651, p. 822-830, 2016.
2. FONTARAS, G.; SAMARAS, Z., On the way to 130 g CO<sub>2</sub>/km—Estimating the future characteristics of the average European passenger car, *Energy Policy*, 38, p. 1826– 1833, 2010.
3. EUROPEAN STANDARD, ISO 6892-1, *Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature*, European Committee For Standardization, Brussels, 2009.
4. ZAEFFERER, S.; ROMANO, P.; FRIEDEL, F., EBSD as a tool to identify and quantify bainite and ferrite in low-alloyed Al-TRIP steels, *Journal of Microscopy*, Volume 3, p. 499-508, 2008.
5. COLPAERT, HUBERTUS; SILVA, ANDRÉ LUIZ V. DA COSTA; *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*, 4<sup>a</sup> edição, 2008.
6. ARLAZAROV, A.; BOUAZIZ, O.; MASSE, J.P.; KEGEL, F.; Characterization and modeling of mechanical behavior of quenching and partitioning steels, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 620, 2015, Pages 293-300.
7. WEI, S. T ; LIU, R. D ; LV, D ; XU, R. J ; LIN, L ; GUO, J. Y ; LU, X. F; Study on fibre laser spot welding of TRIP980 steel, *Materials Science and Technology*, Vol. 31(11), Pages 1271-1281, 2015.
8. HOJO, T.; UKAI, Y.; AKIYAMA, E.; Effects of Hydrogen on Tensile Properties at Slow Strain Rate of Ultra High-Strength TRIP-aided Bainitic Ferrite Steels; *International Conference on the Technology of Plasticity*, 2017.

## MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF ADVANCED THIRD GENERATION STEELS

### ABSTRACT

*Automotive engineering is always trying to optimize vehicles in a way to balance safety, efficiency and production costs. Weight reduction is one of the main focuses of the automotive industry. One of the main procedures to achieve weight reduction is by substituting the material of a component for a more noble material, allowing for thickness and weight reduction. The search for steels that can achieve the mechanical properties required by modern vehicle engineering brought us the creation of new steels. In this sense, this work consists in the mechanical and microstructural characterization of two third generation advanced steels by traction tests and metallographic analysis as well as its comparison with those currently used by the automotive industry. The results obtained for the two steels are promising for their use in industry. The microstructural matrix of TRIP 980 steel is formed by ferrite and bainite, and that of the Q&P steel is in turn formed by martensite. The TRIP 980 steel displayed a maximum tensile strength of 990 MPa with an elongation of 23% for the 90° orientation, while Q&P steel presented a maximum tensile strength of 1238 MPa with an elongation of 13% in the rolling direction.*

**Keywords:** TRIP; Q&P; microstructure; phase transformation.