

ANÁLISE DE DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS DO AÇO DP600 UTILIZADO EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Jonas Renato Dias Alves Dinis¹, jonas.dinis@fatec.sp.gov.br
Gabriel Alves Pereira¹, gabriel.pereira30@fatec.sp.gov.br
Emerson Augusto Raymundo^{1,4}, emersonaugustoray@gmail.com
Jorge Luiz Rosa^{1,3}, jlrosa@demar.eel.usp.br
Anderson Elias Furtado², anderson.furtado@faroroseira.edu.br
Nilcelene Generosa Vilela Gonzaga², nilcelene.gonzaga@faroroseira.edu.br
Ellen Helena da Silva^{1,2}, ellen.silva@faroroseira.edu.br

¹FATEC – Pindamonhangaba - SP, Brasil

²FARO – Faculdade de Roseira, Roseira - SP, Brasil

³USP – Escola de Engenharia de Lorena, Lorena - SP, Brasil

⁴UNISAL – Centro Universitário Salesiano, Lorena - SP, Brasil

Resumo: Os aços de alta resistência e baixa liga se tornaram o alvo das indústrias automobilísticas, pois pode diminuir o peso do automóveis e ainda ganhou em resistência a deformação. O mecanismo de desenvolvimento deste trabalho se passou pelo recebimento do material pela empresa, a caracterização química e metalográfica, elaboração dos corpos de provas para os tratamentos térmicos de normalização e têmpera, foram feitos ensaios de tração, análise metalográfica das amostras recebida e tratadas, foi analisado por meio de microscopia eletrônica as regiões de fratura. Os resultados obtidos do ensaio de tração mostraram que as amostras temperadas atingiram o dobro do limite de resistência e do módulo de elasticidade da amostra como recebida e bem superior ao normalizado, as microestruturas variaram entre dimples a espelhadas. A microestrutura resultante do material como recebido apresentou ferrita poligonal e ilhas de martensita, essas ilhas ficaram distribuídas em tornos do contornos de grãos da ferrita. As amostras normalizadas apresentaram uma complexa formação onde foi visualizado fases de martensita/austenita chamadas de MA. Pode ser observado também a presença de cementita nos contornos de grãos da austenita e ainda a presença de regiões perlíticas. Nas amostras temperadas apresentaram também fases complexas com a presença de austenita retida de cor clara com precipitados dentro do seu grão, a cor mais amarelada revelada como perlita fina, a cor mais azulada as martensita revenida. Juntos revelados nas corpos de prova temperados estrutura martensíticas com pequenos grãos de ferrita e perlita ediomórfica, ou seja, pelos seus contornos.

Palavras-chave: Aço DP600, Tratamento Térmico, ULSAB, Indústria Automobilística

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, o homem busca por materiais alternativos e por técnicas inovadoras. A partir da década de 1970, iniciou-se a filosofia do desenvolvimento sustentável. Com a crise do petróleo no final dos anos 70, vários países adotaram medidas a fim de reduzir o consumo de energia. A indústria automobilística também foi atingida neste sentido: o desafio era reduzir a massa dos veículos e em consequência seu consumo de combustível e emissão de poluentes também seriam reduzidos. Entretanto, não se poderia deixar de respeitar requisitos de conforto e segurança nos veículos (Pereira, 2004). Para viabilizar soluções em aço, siderúrgicas do mundo todo se uniram num consórcio, chamado ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body).

Esse programa conseguiu mostrar a viabilidade de construir carrocerias mais baratas e mais leves utilizando aços avançados de alta resistência nos projetos, entre eles os bifásicos (ULSAB, 1998). Com o sucesso do projeto ULSAB vários outros surgiram: (ULSAC, ULSAS, ULSAB-AVC), ABC e FSV, por exemplo. Todos eles com objetivo de desenvolver novos materiais e processos permitindo a fabricação de veículos mais leves e seguros usando o aço como material prioritário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os aços de alta resistência e baixa liga se tornaram o alvo das indústrias automobilísticas, pois pode diminuir o peso dos automóveis e ainda ganhou em resistência a deformação. Partindo dos conceitos descritos nessas novas filosofias de projeto, esse trabalho constituiu em realizar diferentes tratamentos térmicos numa chapa laminada de aço DP600 de 1,5mm de espessura. Esse material é utilizado na fabricação de longarina de um veículo japonês produzido em série no Brasil.

Após a execução dos tratamentos térmicos, foram realizadas análises das propriedades mecânicas tais como, limite de resistência à tração e alongamento. Dessas condições, ou seja, das peças tratadas termicamente e como recebido foram também analisadas suas microestruturas via microscopia ótica. Por meio dos resultados dessas análises pode discutir qual seria as estruturas mais adequada para a construção de veículos mais leves e seguros.

O material do trabalho trata-se de um aço que Dual Phase – DP, com 600 kgf/mm² de limite de resistência à tração. Este material foi doado pela empresa Magnetto Automotive, a fim de proporcionar o desenvolvimento tecnológico do material.

O material fornecido foi em forma de chapas, com espessura de 1,5 mm e sua composição conforme a imagem da “Fig. 1”. A composição química está representada pelas porcentagens dos elementos de liga (% em peso) na “Tab. 1”. Conforme pode ser observado pela composição se trata de um material com baixa concentração dos elementos, porém com varia desses. Esses aços de alta resistência e baixa liga se tornaram o alvo das indústrias automobilísticas, pois com essas características pode diminuir o peso dos automóveis e ainda ganhou em resistência a quebra e a deformação.

Partindo dos conceitos descritos ou nessas novas filosofias de projeto, esse trabalho pode contribuir por meio de uma proposta de se realizar diferentes tratamentos térmicos nesta chapa laminada de aço DP600.

Tabela 1 – Composição química na porcentagem máxima do material estudado

Aço	Carbono	Manganês	Alumínio	Silício	Fósforo	Enxofre	Cobre	Boro
DP	0,23	3,3	0,010	2,0	0,090	0,015	0,20	0,006

Fonte: Informado pelo fabricante

Os corpos de prova foram seccionados da chapa e divididos em três grupos. Cada grupo com quatro corpos de prova, no primeiro grupo, manteve-se em condições normais ou como recebido. Nos grupos seguintes 2 e 3, os corpos de prova foram submetidos à normalização e a têmpera, respectivamente. O dispositivo utilizado para o ensaio de tração foi uma máquina de tração Emic DL10000, com célula de carga com capacidade de 100 kN do laboratório de ensaios da USP/EEL. Os corpos de prova estudados foram confeccionados conforme a norma, ou seja, consequente da sua espessura, a geometria dos corpos de provas pode ser visualizada por meio da imagem da “Fig. 1”.

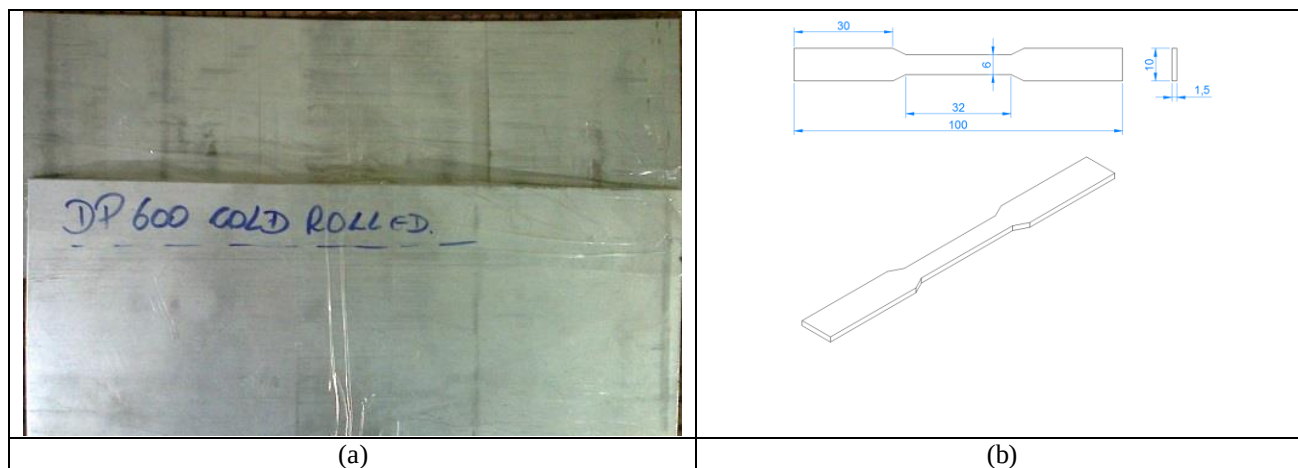


Figura 1. (a) Material como recebido, em chapas com espessura de 1,5 mm. (b) Representação esquemática do corpo de prova segundo norma E8/E8M – 13a.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, realizou-se a análise das propriedades mecânicas para cada condição, sendo a condição 01, normalizada, condição 02 bifásica, a condição 03 temperado e não revenido. Na figura 2, abaixo, podem ser vistas as curvas obtidas para cada corpo de prova nos ensaios de tração.

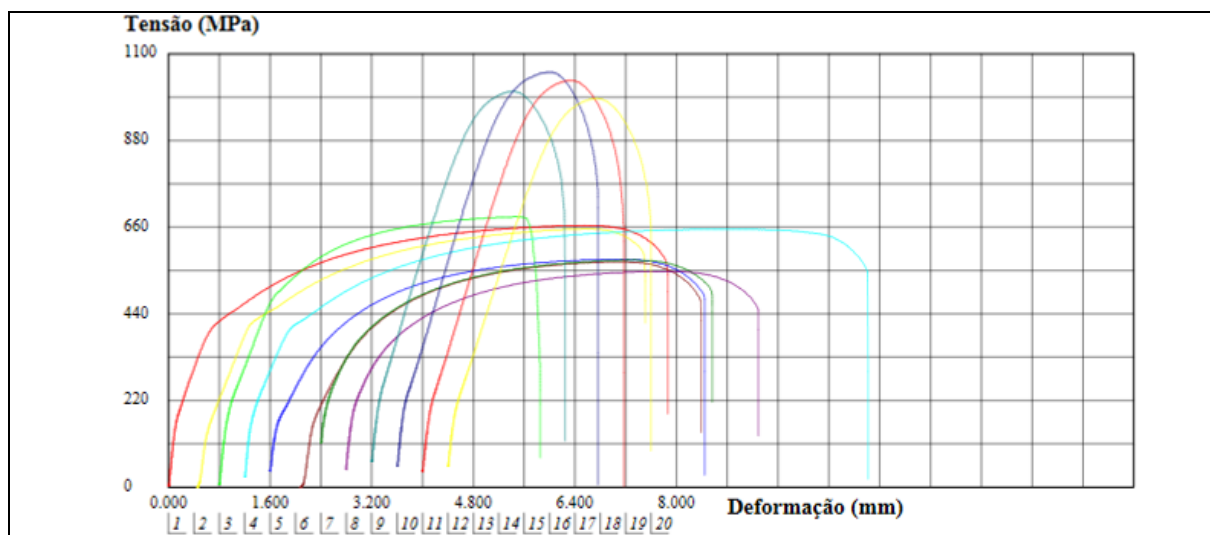


Figura 2. Resultados dos ensaios de tração.

Por meio da “Tab. 2” pode também ser visualizado os resultados das três situações propostas. Pode ser observado que as medidas de resistência a tração do ensaio de têmpera se mostrou acima das amostras como recebida e muito acima ou dobro do processo de normalização. Porém, pode ser observado que as amostras do grupo 03 ficaram com pouca deformação item importante na sua aplicação.

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Compr. Base (mm)	Força @Ruptura (N)	Deformação @Ruptura (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Ruptura (MPa)	Mod. Elasticidade (MPa)
CP 1	5,81	1,45	35,00	4600,17	7,86	664,49	546,05	53464,06
CP 2	5,77	1,50	36,00	4641,62	7,11	656,00	536,29	44161,34
CP 3	5,89	1,44	34,60	2196,48	5,06	686,70	258,97	54362,92
CP 4	5,67	1,51	36,40	4600,17	9,82	655,33	537,30	57888,84
CP 5	6,36	1,56	34,31	4816,95	6,84	578,36	485,50	44409,76
CP 6	6,05	1,58	35,29	4565,11	6,38	572,95	477,57	40916,95
CP 7	6,14	1,62	35,08	4667,12	6,17	576,90	469,21	43362,04
CP 8	6,08	1,61	35,80	4421,65	6,49	548,10	451,70	57766,29
CP 9	6,09	1,56	36,55	6522,49	3,04	1005,33	686,55	51015,76
CP 10	5,62	1,57	34,95	6503,36	3,17	1053,92	737,06	49255,94
CP 11	5,98	1,57	36,25	6088,93	3,18	1032,92	648,55	49331,90
CP 12	5,99	1,68	36,33	6672,32	3,20	987,12	663,04	45536,92

Tabela 2. Medidas dos ensaios de tração

Em se tratando dos aços avançados e de alta resistência como o do presente trabalho, também pode ser observado além da influencia dos elementos de ligas também dos tratamentos térmicos. Estes tipos de aços foram desenvolvidos com alvo se ter materiais mais econômicos, mais leves, de alta plasticidade e resistência a tração e ainda ter boa tenacidade.

Para tanto, esses aços estão sendo desenvolvidos sob aspectos de uma preciosa seleção de elementos químicos de tratamento térmicos via aquecimento e resfriamento minucioso. A família dos aços avançados de alta resistência (AAAR) inclui o Dual-Phase (DP), são empregados em indústrias automobilísticas através de elementos estruturais como carrocerias onde são excelentes em processos de colisão, muito por conta da sua alta deformabilidade e tenacidade.

As imagens da “Fig. 3” foram obtidas no laboratório da FATEC de Pindamonhangaba representam o material como recebido, sua micrografia revelada se assemelha a autores pesquisados, ou seja, apresenta ferrita poligonal e ilhas de martensita, essas ilhas estão distribuídas em tornos do contornos de grãos da ferrita, a quantidade de fase martensítica que pode ser visualizado, por meio dessa análise descrita pode-se concluir sendo um material aço DP duplex, além disso não apresenta nenhuma dispersão e nem rede definida, conclui-se também uma estrutura bifásica. Por outro lado, a morfologia não se apresenta tão uniforme e fina demonstrando variações de tamanho e forma dos microconstituintes. Como em comum ou mesmo particular de materiais tratados com resfriamento rápido não apresentou a formação de austenita retida que as vezes vem junto a martensita.

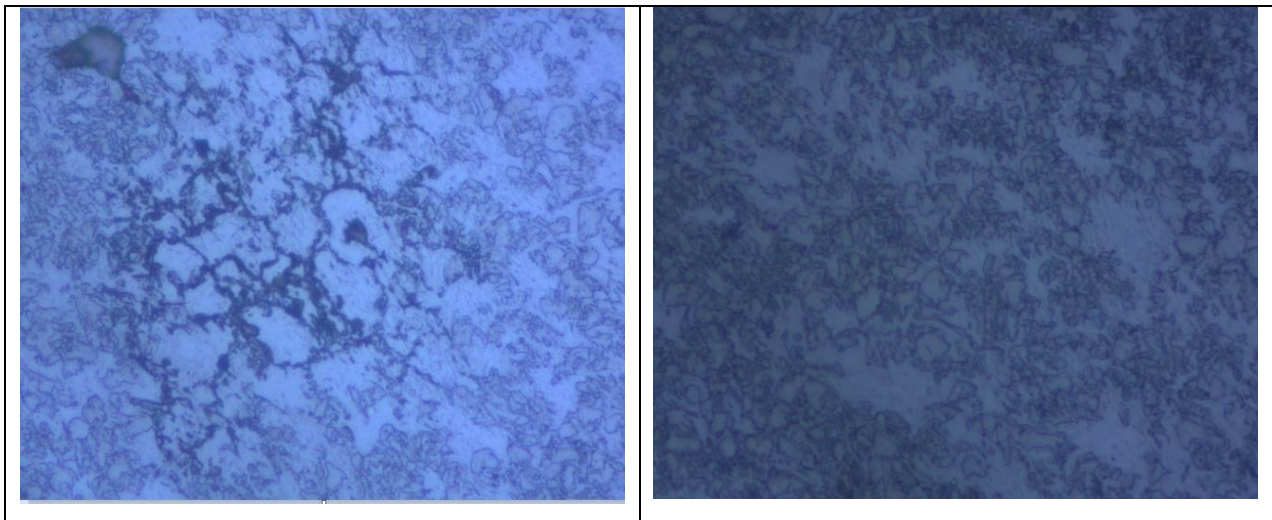
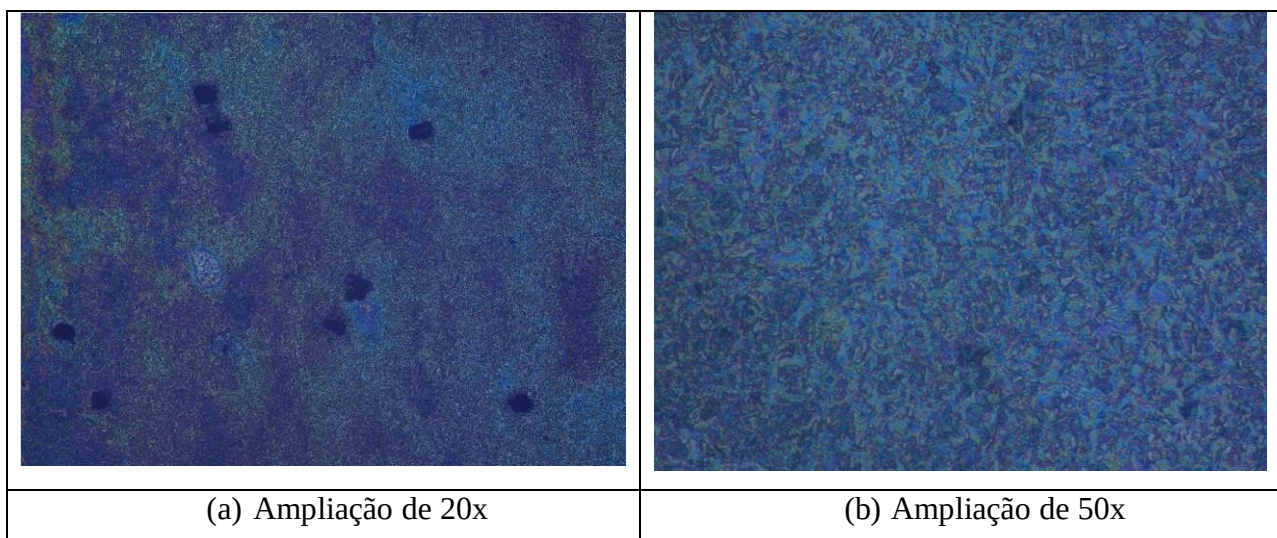


Figura 3. Imagens da amostra como recebida, 100x, nital 3%.

Por meio da adição de manganês em quantidade adequadas pode resultar em formação de um sulfeto de ponto de fusão mais elevado, para alguns autores o sulfeto de manganês pode precipitar em temperaturas mais elevadas. Em se tratando de um processo de tratamento à temperatura elevada isto pode conduzir a formação destes sulfetos.

O manganês participa no processo de dessulfuração do refino dos aços ele ajuda a diminuir a velocidade de resfriamento neste sentido a diminuição da formação das dentritas ou grãos colunares. Nos aços pode ter a função de aumentar da resistência mecânica, melhorar a temperabilidade e resistência ao choque. O manganês está presente basicamente em aços para construção mecânica. Fortemente seus produtos estão envolvidos em peças automotivas como neste trabalho e em trilhos ferroviários.

Segundo Chiaverini (2008), o manganês é considerado como elemento gamagênicos, em um processo de tratamento térmico seu efeito é parecido com o níquel, ou seja, ele abaixa a temperatura crítica de formação do eutetóide facilitando a formação da austenita. É comum nos aços DP o aparecimento de fases complexas, essas fases aparecem por conta da sua transformação e combinações mais complexas, “Fig. 4”.



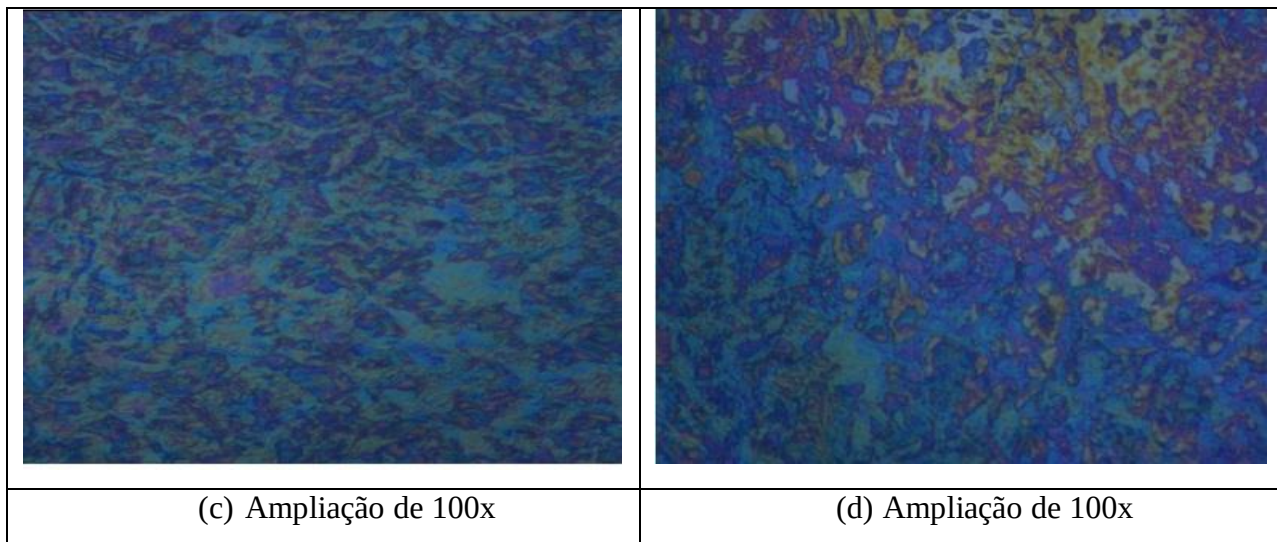


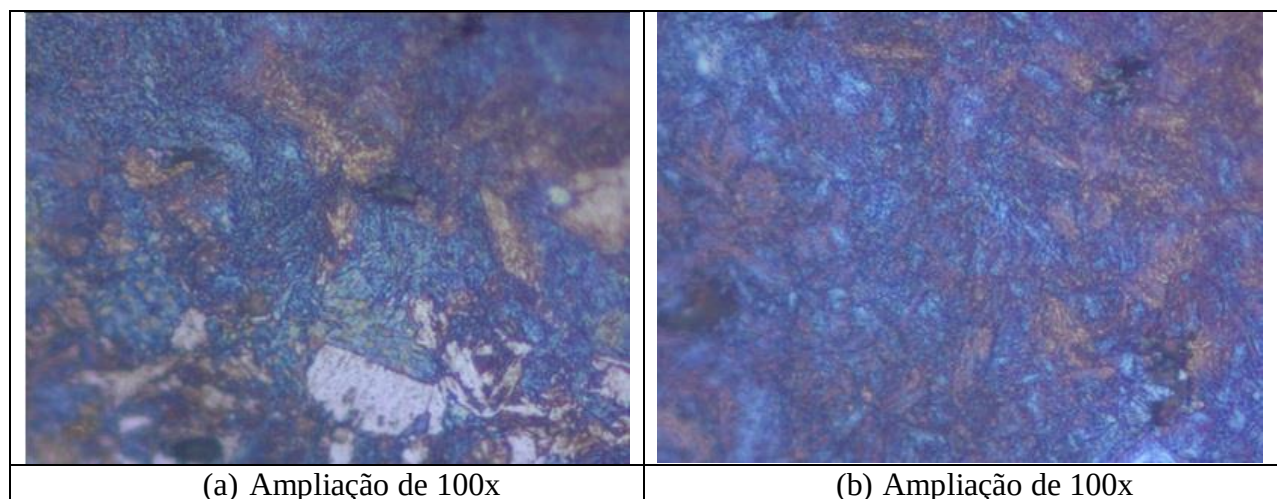
Figura 4. Imagens da amostra normalizada, nital 2%.

As imagens da “Fig.” 5 a seguir mostra as micrografias das regiões do corpo de prova tratado termicamente por têmpera. Em função das observações das imagens a seguir pode se destacar a imagem (a), mostra fases complexas, que destaca a presença de austenita retida de cor branca com precipitados dentro do seu grão, a cor mais amarelada representa a perlita fina, a cor mais azulada as martensita revenida, essa mais por conta do processo de têmpera. Juntos das martensitas aparece grãos de austenita retida e pequenos grãos de ferrita ediomórfica acompanhado com perlita pelos seus contornos.

A quantidade de ferrita e outros microconstituintes vem da própria essência deste aço pois se tratava de um aço duplo fase. A imagem (b) da “Fig.1” apresenta uma maior concentração de perlita fina ou estrutura bainítica.

A terceira imagem (c) revela alguns precipitados de sulfeto de manganês como já havia comentado e a presença de ferrita acicular. Em uma outra região observada representada pela imagem (d) revela uma estrutura mais homogeneia, ou seja, com menor quantidade de fases. Pode ser visualizado nesta imagem a presença de martensita revenida típica de tratamentos térmicos com resfriamento rápido para aços estruturais, pode ser observado também a ferrita acicular por toda a imagem. Todas as imagens foram reveladas com nital 2%.

Com relação os esquemas de Gorni, as amostras tratadas termicamente por têmpera não pode ser comparadas, elas se torna estruturas morfologicamente não regulares, por conta do números de fases e geometria diferentes, pois destacam-se figuras geométricas idiomórficas, aciculares ou alotriomórficas típicas de estruturas ferríticas e austeníticas (Gorni, 1995).



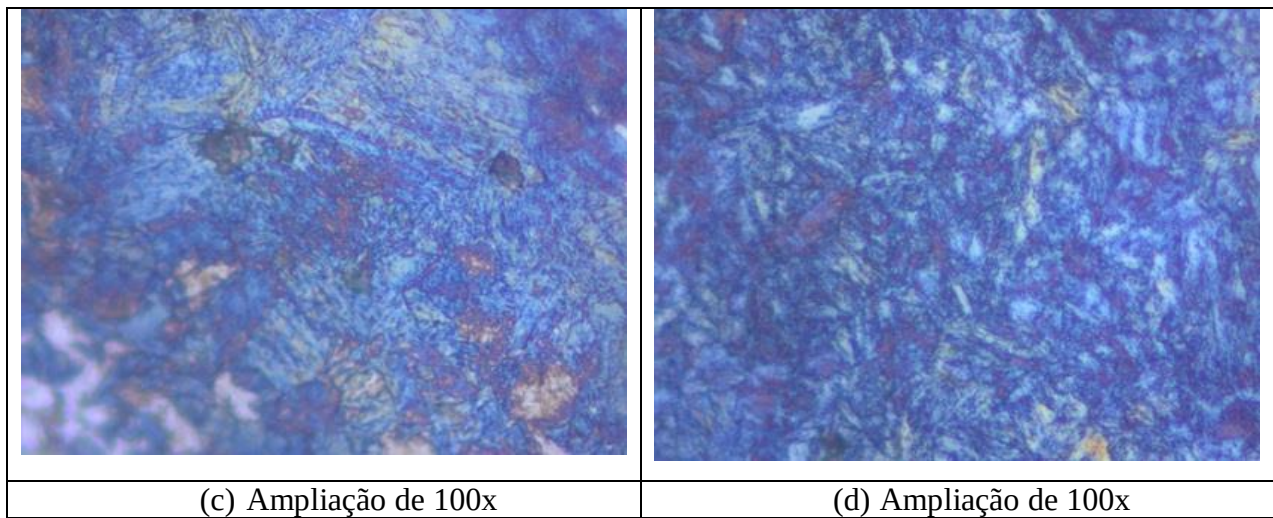


Figura 5. Imagens da amostra temperada, nital 2%.

A complexidade das fases formadas vem possivelmente de um aço que já é pré-tratado termicamente, ou seja, pelos elementos do próprio material que neste caso, seria o principal o manganês como elemento muito influente. O controle dos elementos enxofre e fosforo e o particular e cuidado com o resfriamento deve ser operante para continuar a fazer duplas fases e continuar com esse sistema dupla fase ou duplex.

A seguir por meio das imagens feita em MEV do laboratório do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial de São José do Campos SP da “fig.” 6, 7 e 8 a seguir pode ser visualizado os resultados do ensaio de tração, a amostra 1 seria a representação do material normalizado, a amostra 2 como recebido e a amostra 3 temperado como já visto no gráfico.

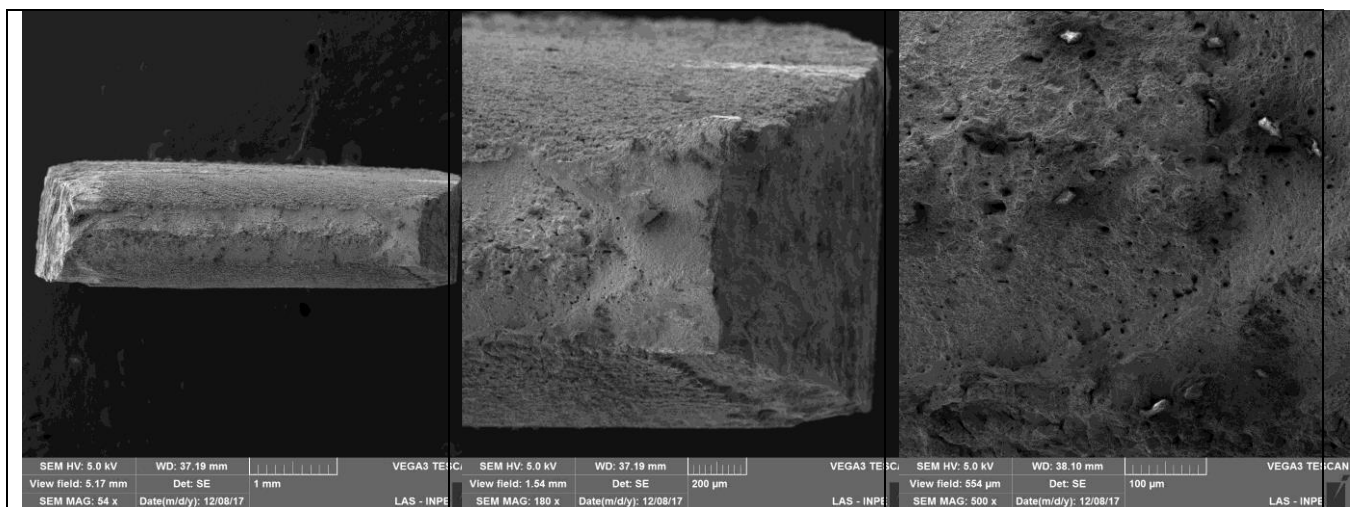


Figura 6. Imagens da amostra normalizada.

Pode ser visualizado as imagens anteriores uma formação da “taça cone” e pequenas presença de “dimples” em frações espelhadas, com essas informações pode se concluir características de boa resistência a deformação e boa resistência a tração. As imagens da “Fig 7”. A seguir pode ser discutida a relação com os ensaios, na amostra como recebida também apresentou uma boa concentração de “dimples”, porém a forma geométrica de “taça cone” não foi tão evidenciada como o do processo de tratamento normalizado. As imagens da “Fig. 8” a seguir são de uma amostra temperada. Essas imagens mostram uma estrutura mais planar e espelhada do que uma formação “taça cone” típicas de materiais maleáveis, somente com ampliações maiores, tais como próximo de 5000 vezes foi possível visualizar algumas ilhas de “dimples”, foi observado maiores regiões espelhadas típicas de materiais mais resistente, isto foi fator consequente da têmpera e da complexidade das fases demonstradas anteriormente.

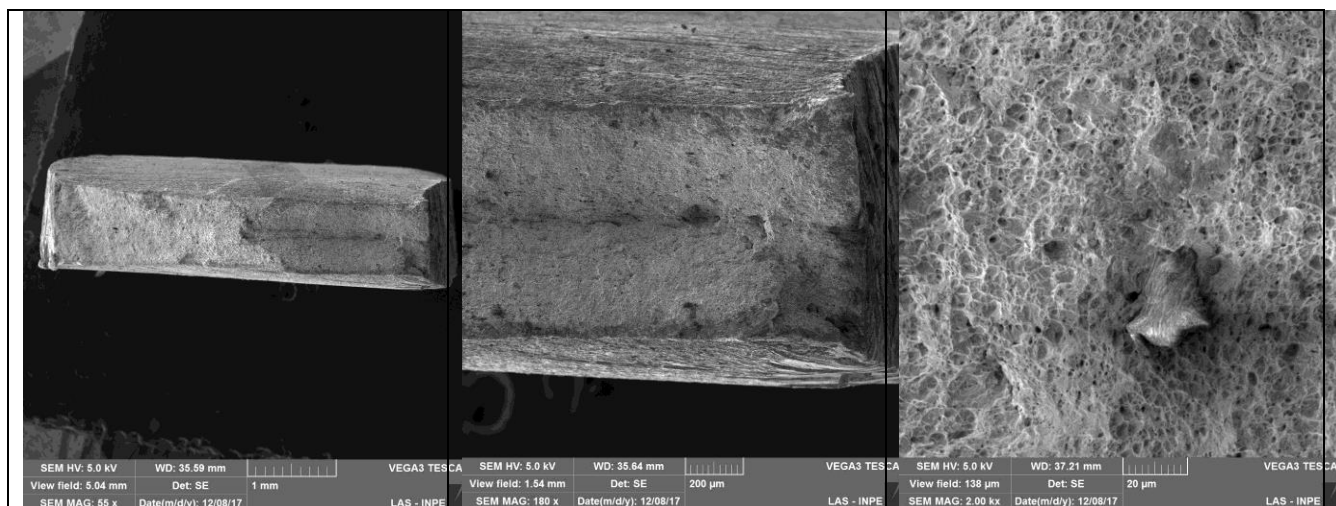


Figura 7. Imagens da amostra como recebida.

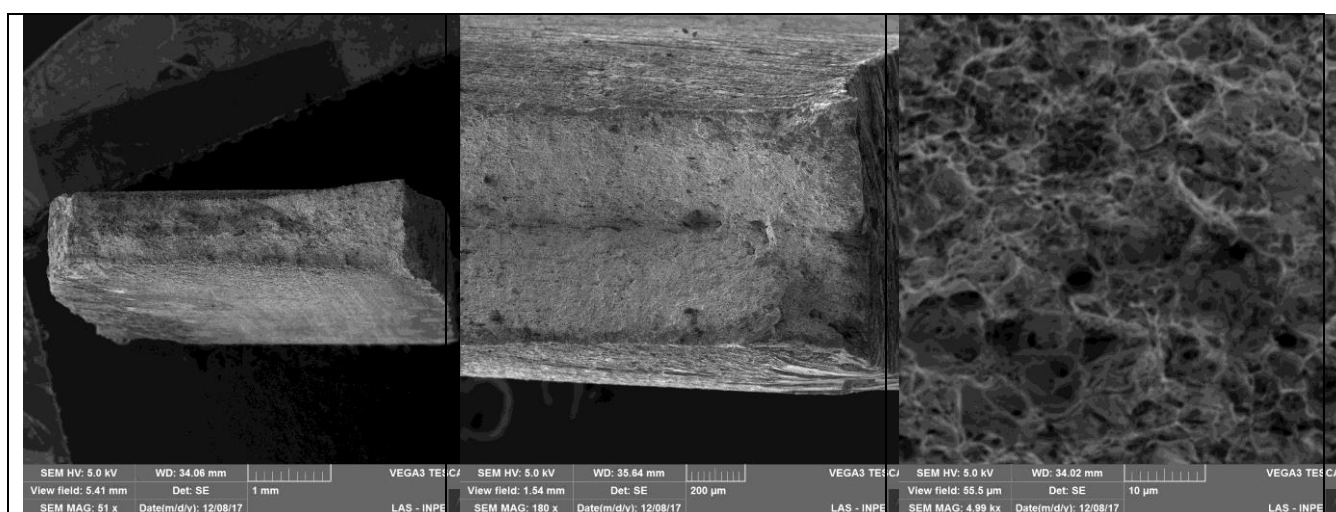


Figura 8. Imagens da amostra temperada.

4. CONCLUSÃO

A análise das propriedades mecânicas por meio dos ensaios de tração permitiu confirmar as propriedades do aço DP600 como fornecido. Para um valor de limite de resistência à tração de 635 MPa e alongamento de 24,5% definidos na literatura, foram encontrados 658 MPa de LRT e 23% de alongamento, ou seja, valores com variação de menos que 5% entre o medido e o esperado. As medidas obtidas para a têmpera ficou bem superior aos demais e a sua rigidez se demonstrou de certo modo não tão diferente, pode-se concluir que a têmpera pode ser mais estudada para aplicações em processos de fabricação destes tipos de aços.

Somada aos resultados dos ensaios de tração, a análise metalográfica do aço como fornecido, indicando uma estrutura bifásica clássica com grãos de ferrita circuncidando ilhas de martensita, permitiu concluir de maneira inequívoca tratar-se de um aço bifásico da classe DP600. A análise das estruturas e propriedades mecânicas obtidas pelas outras rotas de tratamento térmico (normalização e têmpera) permitiu comparar os mesmos ao estado como fornecido do aço bifásico.

Por meio das imagens das figuras dos tratamentos térmicos pode-se concluir a complexidade das fases principalmente no processo de têmpera, e lembrando que a origem era uma microestrutura peculiar de duas fases distintas ajudando nesta complexidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem todas as faculdades envolvidas no processo de desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Pereira, M. S.; Caracterização microestrutural e mecânica de um aço multifásico, em consonância com o projeto ULSAB – AVC. 138f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2004.
- ULSAB Over View Report – Phase 2, ULSAB Executive Summary, World Auto Steel, 1998.
- Gorni, A. A. Caracterização Topológica da Microestrutura Bifásica, Revista Escola de Minas, 49:1, pp. 40-44, janeiro-março 1995.
- Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials; E8/E8M – 13a; pag. 1-28.
- Chiaverni, V. Aços e Ferros Fundidos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 7ª Edição, 2008.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF DIFFERENT THERMAL TREATMENTS OF STEEL DP600 USED IN AUTOMOBILE INDUSTRY

Jonas Renato Dias Alves Dinis¹, jonas.dinis@fatec.sp.gov.br
Gabriel Alves Pereira¹, gabriel.pereira30@fatec.sp.gov.br
Emerson Augusto Raymundo^{1,4}, emersonaugustoray@gmail.com
Jorge Luiz Rosa^{1,3}, jlrosa@demar.eel.usp.br
Anderson Elias Furtado², anderson.furtado@faroroseira.edu.br
Nilcelene Generosa Vilela Gonzaga², nilcelene.gonzaga@faroroseira.edu.br
Ellen Helena da Silva^{1,2}, ellen.silva@faroroseira.edu.br

¹FATEC – Pindamonhangaba - SP, Brasil

²FARO – Faculdade de Roseira, Roseira - SP, Brasil

³USP – Escola de Engenharia de Lorena, Lorena - SP, Brasil

⁴UNISAL – Centro Universitário Salesiano, Lorena - SP, Brasil

Abstract: High strength and low alloy steels have become the target of the automotive industries as it can reduce the weight of automobiles and even gained resistance to deformation. The development mechanism of this work was the reception of the material by the company, the chemical and metallographic characterization, preparation of the test bodies for the thermal treatments of normalization and tempering, tensile tests, metallographic analysis of the samples received and treated were done. analyzed by means of electron microscopy in the fracture regions. The results obtained from the tensile test showed that the tempered samples reached double the resistance limit and the modulus of elasticity of the sample as received and well above the normalized, the microstructures varied between dimples to mirror. The microstructure resulting from the material as received presented polygonal ferrite and martensite islands, these islands were distributed in lathes of the contours of ferrite grains. The normalized samples presented a complex formation where martensite / austenite phases called MA were visualized. It is also possible to observe the presence of cementite in the contours of austenite grains and also the presence of perlite regions. In the temperate samples they also presented complex phases with the presence of light colored retained austenite with precipitates inside their grain, the more yellowish color revealed as fine perlite, the color bluer the martensite. Together they are revealed in the temperate specimens of martensitic structures with small ferrite grains and edomorphic perlite, that is, by their contours.

Keywords: Steel DP600, Heat Treatment, ULSAB, Automotive Industry