



**37<sup>th</sup> SENAFOR**

*21<sup>th</sup> International Forging Conference*  
*20<sup>th</sup> National Sheet Metal Forming Conference / 7<sup>th</sup> International Sheet Metal Forming Conference / 4<sup>th</sup> BrDDRG Congress*  
*7<sup>th</sup> International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies – Brazil/RS*  
*International Conference on Surface Engineering in Material Forming*  
**Centro de Eventos do Hotel Continental Porto Alegre/RS**  
**October 4-6, 2017**

## **Análise do uso das ligas de alumínio de alta resistência em substituição dos aços de alta resistência**

Renan Ramalho, [renan.ramalho@ufrgs.br](mailto:renan.ramalho@ufrgs.br)<sup>(1)</sup>  
Camila Lisboa, [camila.lisboa@ufrgs.br](mailto:camila.lisboa@ufrgs.br)<sup>(2)</sup>  
Evandro Fabrisio, [evandrofabrisio@ufrgs.br](mailto:evandrofabrisio@ufrgs.br)<sup>(3)</sup>  
Lirio Schaeffer, [schaefer@ufrgs.br](mailto:schaefer@ufrgs.br)<sup>(4)</sup>

### **Resumo**

O alumínio de alta resistência possui grande flexibilidade aliada à alta capacidade de absorção de impacto, características fundamentais na indústria automotiva. Ele vem sendo estudado para o empregado em peças estruturais em veículos leves os componentes que estão sujeitos a este emprego são: suporte do volante, barra de proteção da porta e proteção de pedestre. O emprego do alumínio de alta resistência dispensa os altos custos de ferramentas e equipamentos necessários para a estampagem do aço. A indústria automotiva está em constante inovação tecnológica para atender as novas exigências do mercado, como a redução do peso do veículo e aumento de segurança dos passageiros. O emprego de ligas alumínio de alta resistência já vem sendo utilizado em alguns veículos possibilitando redução de peso, como no Ford F-150 fabricado em 2015, vendido nos EUA, onde 95% da carroceria é utilizado ligas de alumínio de alta resistência, possibilitando uma redução de peso de aproximadamente 15% comparado com o mesmo modelo sem o emprego das ligas.

**Palavras chave:** Estrutural, ligas de alumínio, redução de peso e custos.

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> Engenheira Mecânica, mestre em engenharia, doutoranda 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.

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

## **Analysis of the use of high strength aluminum alloys to replace high strength steels**

### **Abstract**

The high strength aluminum has great flexibility coupled with high impact absorption capacity, key features in the automotive industry. It has been studied for the employee in structural parts in light vehicles. The components that are subject to this job are: steering wheel support, door protection bar and pedestrian protection. The use of high strength aluminum eliminates the high costs of tools and equipment required for the stamping of steel. The automotive industry is in constant technological innovation to meet the new requirements of the market, such as reducing vehicle weight and increasing passenger safety. The use of high-strength aluminum alloy has already been used in some vehicles for weight reduction, as in the Ford F-150 manufactured in 2015, sold in the USA, where 95% of the body is used high strength aluminum alloys, allowing a weight reduction of approximately 15% compared to the same model without the use of alloys.

**Keywords:** Structural, aluminum alloys, weight reduction and costs

### **Introdução**

O objetivo da utilização das ligas de alumínio é criar peças mais leves e finas mantendo os critérios de segurança. Essa mudança de material nos possibilita a criação de veículos com maior eficiência energética e melhorando a absorção de impactos. O setor industrial do alumínio de uma forma geral promove um impacto de 186 bilhões de dólares na economia dos EUA, correspondendo a 1% do PIB. A demanda de alumínio na América do Norte, entre 2009 e 2014 cresceu aproximadamente 36%. A previsão é que, até 2025, as ligas de alumínio estejam mais presentes no setor automobilístico [1] [2].

A Ford F-150 vendida nos EUA, o primeiro veículo de grande volume a fazer uso intensivo do alumínio, é apontada como o grande marco do uso do alumínio na indústria automobilística, onde 95% da carroceria é utilizada ligas de alumínio de alta resistência, possibilitando uma redução de peso de aproximadamente 15% comparado com o mesmo modelo sem o emprego das ligas [3].

O desenvolvimento de novas ligas para atender as novas demandas do setor automotivo, fez que diversas empresas invistam no desenvolvimento tecnológico de materiais, promovendo novas ligas com propriedades mecânicas superiores as ligas atualmente conhecidas. Recentemente foi desenvolvido uma liga da série 3XXX, que oferece resistência ao escoamento de 310 MPa, resistência à tração de 365 MPa e uma segunda liga da série 6XXX com resistência ao escoamento superior a 500 MPa. Com estas propriedades mecânicas estas ligas se tornam uma excelente opção para utilização em peças onde se necessita de grande absorção de energia de impacto, aliando alta resistência e capacidade de deformação [4].

### **Ligas de alumínio**

O Quadro abaixo mostra a classificação das ligas de alumínio.

Quadro 01- Principais elementos das ligas de Alumínio

Série	Elementos	Outros elementos de liga
1xxx	Alumínio puro	-
2xxx	Cu	Mg , Li
3xxx	Mn	Mg
4xxx	Si	-
5xxx	Mg	-
6xxx	Mg , Si	-
7xxx	Zn	Cu, Mg, Cr, Zr
8xxx	Sn, Li, Fe, Cu, Mg	-

Fonte: adaptado [5]

As ligas de alumínio, vem ganhando significativo espaço no mercado, com diversas aplicações, sendo utilizadas em estruturas e em componentes no geral. As características que fazem estas ligas de alumínio se destacarem são: leveza, boa conformabilidade, elevada resistência mecânica e resistência a corrosão. Tornando as estruturas de alumínio vantajosas em relação às estruturas convencionais de aço em diversas situações [6].

A cidade de Curitiba tem utilizado alguns ônibus elétricos para testes da marca chinesa BYD. O diferencial é o uso intensivo de alumínio através de um novo sistema implementado pela empresa para a fabricação dos veículos, o que possibilitou uma redução de aproximadamente uma tonelada do peso do veículo. A implementação destes novos ônibus visa diminuir a contribuição do setor de transporte nas emissões de gases poluentes [7].

O alumínio possui uma densidade de aproximadamente de 1/3 da densidade do aço, aliado a uma alta resistência mecânica o torna uma solução onde se necessita redução de peso, resistência mecânica e resistência a corrosão [8].

O conjunto capô, portas, para-choques, para-lamas e painéis internos consistem em uma média de 30% do peso total do automóvel. Cerca de, 40% dos componentes da carroceria de um veículo são altamente relevantes para a rigidez do automóvel, mas estes componentes têm baixa influencia na resistência em impactos. Nestes componentes não pode ser realizado a redução de espessura das paredes, sob o risco de comprometer a rigidez do automóvel, entretanto, a substituição destes aços por ligas de alumínio garantiria a rigidez necessária e a redução de peso [9].

A estrutura bodyinwhite vem sendo empregada em diversas fabricas de automóveis, as utilizações de ligas de alumínio pela Jaguar Land Rover, correspondem a aproximadamente 80% do total de matéria prima utilizada para a fabricação de peças e componentes dos automóveis, o restante é composto por aços de ultra alta resistência e outros materiais [10].

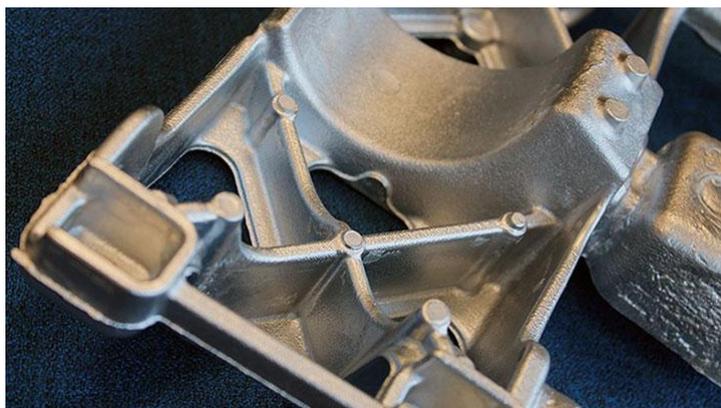


Figura01 - Peça de um modelo da Jaguar Land Rover, em liga de alumínio. Fonte:[9]

A utilização de ligas de alumínio em automóveis pode resultar em uma redução de peso de até 40% para os principais itens automotivos, em contraste com as 11% que podem ser alcançados com a utilização de aços de alta resistência. A substituição dos materiais não pode afetar a segurança e desempenho da estrutura. Em um modelo compacto do ano de 2006 as reduções de peso implementando mudança de matéria prima, pode chegar a aproximadamente 15% a 50% por componente, onde houve troca de material[11].



Figura02 – Carroceria Audi A8 Body in White Fonte: [11]

A chapa das portas do Golf-V produzida com novas ligas da série 7XXX de alta resistência mecânica, com resistência de aproximadamente 600 Mpa. Essa troca de matéria prima resultou em uma redução de peso de 2,4 kg em comparação uma peça em aço, essa substituição proporcionou uma redução de aproximadamente 40%. O alumínio também é usado em outros locais, tais como: componentes de colisão da estrutura frontal, para-choques e nas rodas [9].



Figura 03- Componentes de colisão da estrutura frontal e dos para choques do golf-VFonte: [9]

Podese ver noQuadro 02 aspropriedades mecânicas de algumas ligas de alumínio e no Quadro 03propriedades mecânicas do aço de alta resistência DOCOL.

Quadro 02– Propriedades mecânicas de algumas ligas de alumínio da série 7XXX

Liga	Tempera	Limite de resistência mecânica (Mpa)	Limite de resistência ao escoamento (Mpa)	Alongamento%
7001	T6	675	625	9
7029	T5	430	380	15
7049	T73	540	475	10
7050	T74	510	450	13
7075	T6, T73	505	435	13
7475	T7351	505	435	14
7076	T61	510	470	14
7178	T6, T651	605	540	10

Fonte: Adaptado [12]

Quadro 03 – Propriedades mecânicas do aço DOCOL

Aço de alta resistência	Limite de resistência mecânica (Mpa)	Limite de resistência ao escoamento (Mpa)	Alongamento%
DOCOL CR 330 Y 590T – DP	330 –430	590 - 700	20
DOCOL CR 290 Y 500T – DP	290–370	500 - 600	20
DOCOL HR 700 LA	700 –850	750 - 950	10
DOCOL HR 600 LA	600	650 - 820	13
DOCOL HR 550 LA	550 –670	610 - 750	12
DOCOL 500 LA	500 –620	570 - 710	14
DOCOL 460 LA	460 –580	510 - 660	9
DOCOL 420 LA	420 - 520	470 - 590	15

Fonte: Adaptado [13]

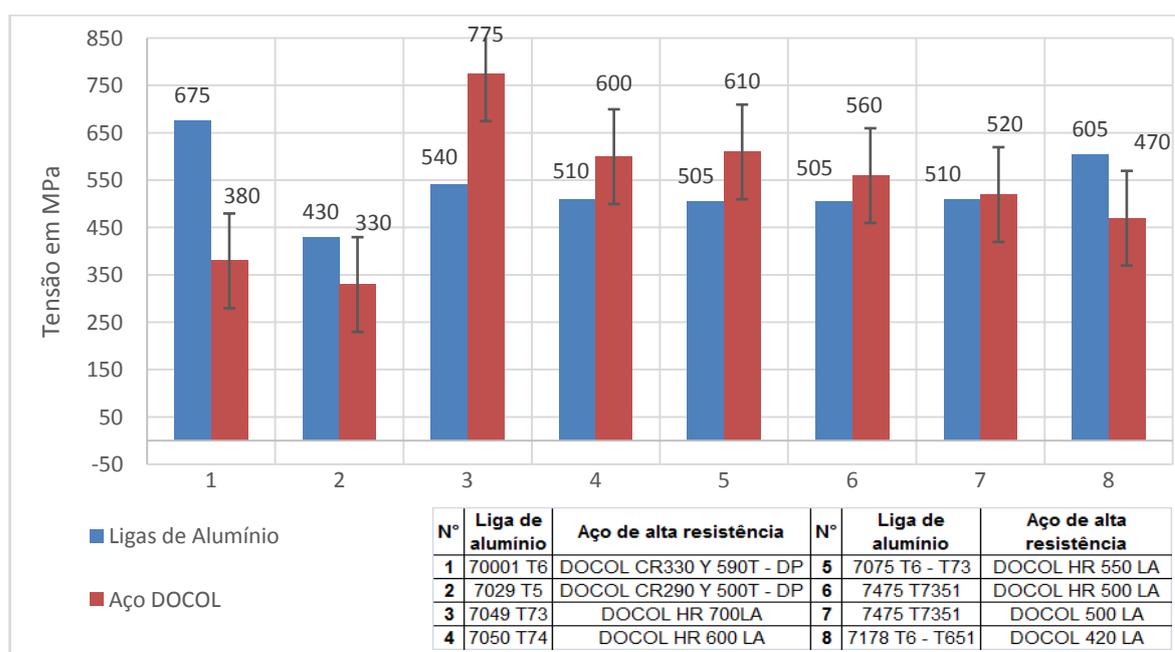
A utilização do alumínio pode agilizar o processo de manufatura devido a sua resistência a corrosão, reação química onde se forma um óxido naturalmente na superfície, o material quando exposto a ambientes muito agressivos pode apresentar corrosão localizadas [14].

O emprego destas ligas não se dá somente na indústria automobilística, mas também na indústria aeronáutica. Onde a série 7XXX é muito utilizada na parte estrutural de aeronaves. O setor de aviação está constantemente à procura de novos materiais para atender suas necessidades, tais como: aumento da relação resistência/peso, maior tenacidade, resistência a fadiga, maior desempenho, menor custo e resistência a corrosão, características fundamentais nos materiais empregados nas aeronaves e para a gestão de manutenção das aeronaves [15] [16].

## Discussões

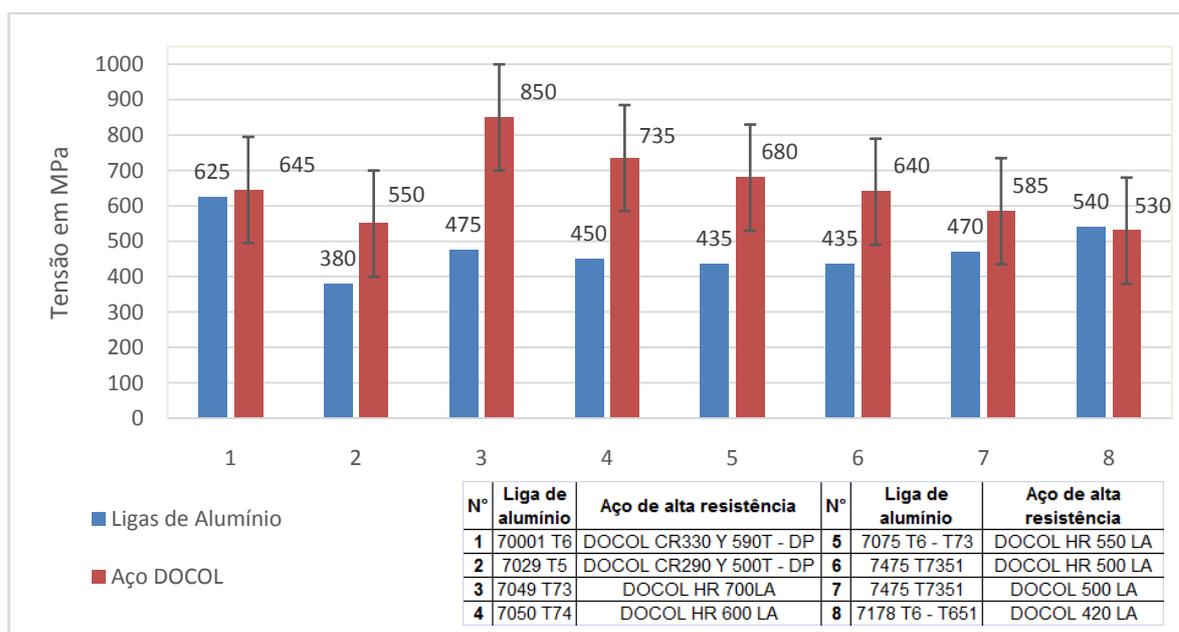
A seguir pode se visualizar a comparação do limite de resistência mecânica na Figura 03 e de resistência ao escoamento no Figura 04 do aço de alta resistência DOCOL, utilizado do setor da indústria automobilística e as ligas de alumínio da série 7XXX.

Figura 03 - Comparação do limite de resistência mecânica



As ligas da série 7XXX tem propriedades mecânicas muito próximas do aço DOCOL de alta resistência, empregado na indústria automobilística, agregando aos componentes onde utilizado, resistência a corrosão e redução de peso. Tornando uma alternativa viável em diversas utilizações de engenharia.

Figura 04 -Limite de resistência ao escoamento



A utilização destas ligas pelas indústrias além de todas as vantagens obtidas no produto final, visa realizar uma produção mais limpa pelas montadoras, onde, os carros sejam ecologicamente corretos, garantindo a conservação do meio ambiente e concorrência dentro do setor. Facilitando a produção e a reciclagem dos veículos ao final do seu ciclo de vida [17].

A utilização de alumínio em automóveis híbridos e elétricos é de vital importância, devido à redução do peso, fator este que altera diretamente a autonomia dos automóveis, o que vinha sendo um problema, até o desenvolvimento das novas ligas de alta resistência de alumínio.

### Conclusão

As novas ligas de alumínio, proporcionam alta resistência, redução de peso e resistência à corrosão, garantindo as exigências de segurança. A redução de peso obtida com o seu emprego nos proporciona um ganho não somente na segurança por garantir frenagens mais eficientes, mas também ambiental, pertinente à maior autonomia dos automóveis. Para o setor de modelos híbridos e elétricos é de fundamental importância o desenvolvimento destas ligas de alumínio, pela redução de peso que pode ser obtida com a substituição de materiais, aumentando a autonomia que até então estava sendo a grande barreira de entrada destes modelos no mercado consumidor.

### Bibliografias

[1] EXPO ALUMÍNIO. Novas tecnologias para aplicação do alumínio em automóveis. Junho / 2016. Disponível em: [www.expoaluminio.com.br/Multimedia/Releases-do-Evento/Novas-tecnologias-para-aplicacao-do-aluminio-em-automoveis-/](http://www.expoaluminio.com.br/Multimedia/Releases-do-Evento/Novas-tecnologias-para-aplicacao-do-aluminio-em-automoveis-/), acesso em 12/06/17 às 8h.

- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Alumínio nos carros: 256 quilos em 2028 na América do Norte. Setembro/2017. Disponível em: [www.aluauto.com.br/aluminio-nos-carros-256-quilos-em-2028-na-america-do-norte/](http://www.aluauto.com.br/aluminio-nos-carros-256-quilos-em-2028-na-america-do-norte/), acesso em 11/06/17 as 11h.
- [3] Revista Alumínio. Super Liga. Disponível em: [www.revistaaluminio.com.br/fornecedores/tecnicas/super-liga/](http://www.revistaaluminio.com.br/fornecedores/tecnicas/super-liga/), acesso em 14/06/17 as 9h.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). BCAST anuncia novas ligas de alta resistência. Junho/2017. Disponível em: [aluauto.com.br/bcast-novas-ligas-de-aluminio-de-alta-resistencia/](http://aluauto.com.br/bcast-novas-ligas-de-aluminio-de-alta-resistencia/), acesso em 13/06/17 as 8h.
- [5] INFOMET. Alumínio e suas ligas. Disponível em: [www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=108](http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=108), acesso em 10/06/17 as 13h.
- [6] BUZINELLI, D. V. (2000). Dimensionamento de elementos estruturais em alumínio. São Carlos, 2000. 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- [7] CURITIBA. Ônibus 100% elétrico começa a ser testado na linha Barreirinha. Novembro/2014. Disponível em: [www.curitiba.pr.gov.br/noticias/onibus-100-eletrico-comeca-a-ser-testado-na-linha-barreirinha/34720](http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/onibus-100-eletrico-comeca-a-ser-testado-na-linha-barreirinha/34720), acesso em 06/06/17 as 15h.
- [8] COPPERMETAL. Informações Técnicas. Disponível em: [www.coppermetal.com.br/pdf/aluminio/info-tec-copp\\_alumi7075.pdf](http://www.coppermetal.com.br/pdf/aluminio/info-tec-copp_alumi7075.pdf), acesso em 03/06/17 as 20h.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Estrutura super leve poderá equipar carros compactos. Agosto/2009. Disponível em: [aluauto.com.br/estrutura-super-leve-podera-equipar-carros-compactos/](http://aluauto.com.br/estrutura-super-leve-podera-equipar-carros-compactos/), acesso em 08/06/17 as 14h.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Land Rover revela preços e versões do Range Rover Velar. Maio/2017. Disponível em: [aluauto.com.br/precos-e-versoes-do-range-rover-velar/](http://aluauto.com.br/precos-e-versoes-do-range-rover-velar/), acesso em 08/06/17 as 15h.
- [11] CIMM. Alumínio reduz peso em relação a aço de alta resistência. Julho/2010. Disponível em: [www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/7076-aluminio-reduz-peso-em-relacao-a-aco-de-alta-resistencia](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7076-aluminio-reduz-peso-em-relacao-a-aco-de-alta-resistencia), acesso em 10/06/17 as 13h.
- [12] INFOMET. Ligas Al-Zn. Disponível em: [www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=55](http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=55), acesso em 13/06/17 as 10h.
- [13] SSAB. Docol — aço de alta resistência para um design leve e melhor segurança contra colisões. Disponível em: [www.ssab.com.br/products/brands/docol](http://www.ssab.com.br/products/brands/docol), acesso em 13/06/17 as 15h.
- [14] MORETO, Jeferson Aparecido et al. ESTUDO DO EFEITO DO TRANSPORTE DE MASSA NAS CURVAS DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA EM LIGAS DE ALUMÍNIO DA SÉRIE 7XXX DE APLICAÇÃO AERONÁUTICA. Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, v. 1, n. 1, 2014.
- [15] MORETO, Jéferson Aparecido. Estudo da corrosão e corrosão-fadiga em ligas de Al e Al-Li de Alta Resistência para Aplicação Aeronáutica. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

[16] ZANGRANDI, Aelcio et al. Efeito da deformação a frio nas propriedades de tração e no comportamento em fadiga de uma liga de alumínio de alta resistencia do tipo 7475. 1988.

[17] MEDINA, Heloisa Vasconcelosde; Reciclagem de automóveis: estratégias e práticas e perspectivas/Heloisa V. de Medina e Dennys Barreto Gomes. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003.