

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE AÇOS LAMINADOS A FRIO PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA - A SITUAÇÃO DA USIMINAS<sup>(1)</sup>

João Francisco Batista Pereira<sup>(2)</sup>  
Evandro de Azevedo Alvarenga<sup>(3)</sup>  
Marcos de Castro Pinto<sup>(4)</sup>

RESUMO

O trabalho apresenta os produtos desenvolvidos nos últimos anos pela USIMINAS, na área dos laminados planos a frio, para atender a indústria automobilística.

Aspectos como estampabilidade, resistência mecânica, resistência à corrosão são revistos em função da aplicação de cada produto. São ainda mostradas tendências no desenvolvimento de novos produtos.

---

(1) - Trabalho a ser apresentado no 1º Seminário sobre Chapas Metálicas para a Indústria Automobilística. São Paulo, Set. 1992.

(2) - Membro da ABM. Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, M.Sc. da Unidade de Pesquisas de Produtos do Centro de Pesquisas da USIMINAS, Ipatinga, MG.

(3) - Membro da ABM. Eng<sup>o</sup> Químico, M.Sc. da Unidade de Pesquisa de Materiais do Centro de Pesquisas da USIMINAS, Ipatinga, MG.

(4) - Membro da ABM. Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, M.Sc., COE/ASQC, Analista da Unidade de Coordenação e Padronização do Departamento de Metalurgia e Inspeção da USIMINAS, Ipatinga, MG.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a siderurgia mundial tem se empenhado em desenvolver novos tipos de aço para a indústria automobilística<sup>(1,2)</sup>. Esse empenho tem em vista os projetos cada vez mais arrojados dos automóveis, a redução do peso, o aumento da segurança, a durabilidade (resistência à corrosão), além da concorrência de materiais alternativos como plástico e alumínio.

Tradicional fornecedora de aços para a indústria automobilística, a USIMINAS tem concentrado esforços para o enobrecimento de seus produtos laminados a frio. Visa-se por um lado, proporcionar à indústria nacional condições de ofertar ao consumidor brasileiro, veículos de padrão compatível com as tendências registradas a nível mundial e, por outro lado, objetiva-se aumentar a competitividade do automóvel nacional no concorrido mercado externo, auxiliando a indústria automobilística no seu esforço para exportação.

É objetivo desse trabalho apresentar os produtos desenvolvidos nos últimos anos pela USIMINAS na área dos laminados planos a frio, para atender a indústria automobilística.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Aços para Conformação Severa

A demanda por materiais com grande capacidade de conformação tem aumentado em razão das mudanças no projeto dos automóveis. Para fazer face a essas exigências os aços de carbono extra baixo com adição de titânio, conhecidos como "interstitial free (IF)", começaram a ser estudados na USIMINAS.

As figuras 1 e 2 apresentam a influência do teor de titânio e do tratamento térmico no limite de escoamento, tamanho de grão ASTM e valor  $\bar{R}$  de Lankford para os aços da tabela 1, processados em escala piloto.

Respeitado o número reduzido de composições analisadas observa-se que o limite de escoamento passa por um máximo para  $Ti/(C + N)$  em torno de 15, independente do tratamento térmico utilizado. Observa-se ainda que a temperatura de bobinamento é

Importante quando o recozimento se dá a 720°C sendo negligenciável se o recozimento é a 780°C.

TABELA I - Composição química dos aços analisados (% peso)

C	Mn	S	Al(s)	P	Si	O	N	Ti
0,0043	0,22	0,0038	0,052	0,002	0,012	0,0031	0,0045	0,27
0,0080	0,26	0,0037	0,028	0,003	0,015	0,0027	0,0040	0,18
0,0041	0,23	0,0038	0,031	0,002	0,011	0,0029	0,0036	0,091

O aspecto semelhante das curvas sugere que a variação do limite de escoamento se deve ao controle do tamanho de grão pelos precipitados de titânio, possivelmente carbonetos.

Em relação a estampabilidade, observa-se que o valor  $\bar{R}$  aumenta com o teor de titânio até uma relação  $Ti/(C + N)$  em torno de 15, independente do tratamento empregado. A partir desse valor, para bobinamento à 450°C, o valor  $\bar{R}$  apresenta um ligeiro crescimento e cai se a temperatura é 700°C. Esse comportamento sugere que os precipitados formados a 700°C, durante o bobinamento, têm menor capacidade de interferir com a recristalização e conseqüentemente com a estampabilidade. Ainda sobre a temperatura de bobinamento é bastante nítido que o aumento da mesma leva a uma queda na estampabilidade. Essa dependência entre estampabilidade e temperatura de bobinamento parece sugerir para os aços IF, processados no recozimento em caixa convencional, um mecanismo semelhante àquele observado para os aços acalmados com alumínio onde a precipitação de AlN nos instantes iniciais do processo de recozimento é a responsável pelas boas características de estampagem desses aços. Esse fato é ainda corroborado pela observação de patamar de escoamento nos aços IF, na condição laminado a quente, quando a temperatura de bobinamento é 450°C.

O uso de temperaturas mais altas no recozimento dos aços IF é outro fator de melhoria da estampabilidade e da ductilidade em razão do aumento da temperatura de recristalização devido ao titânio.

A partir dos resultados em escala piloto foram projetadas experiências industriais que confirmaram os resultados de laboratório. Nas tabelas II e III são apresentados respectivamente a composição química e as propriedades mecânicas de uma das experiências realizadas.

Este material foi testado em uma montadora nacional na confecção de painéis laterais externos e painéis dos pedais de caminhões, com ótimos resultados<sup>(3)</sup>.

TABELA II - Composição química do aço IF produzida industrialmente (% peso)

C	Mn	S	Al(s)	P	Si	N	Ti
0,0060	0,17	0,0077	0,020	0,017	0,017	0,0052	0,086

TABELA III - Propriedades mecânicas do aço produzido industrialmente

L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	AL(%) BM=50mm	$\bar{n}$	R0	R45	R90	R	$\Delta R$	TG (ASTM)
188	323	45	0,24	1,38	1,86	1,92	1,78	-0,24	10,1

A tendência mundial<sup>(4)</sup> na produção dos aços de carbono extra baixo tem sido no sentido de abaixar ainda mais o carbono, de 0,0080 - 0,01% (considerado os de primeira geração) para 0,0030 - 0,0040% (segunda geração). Isso só foi possível em razão das melhorias introduzidas na desgaseificação a vácuo, com conseqüente diminuição da adição de ligas.

Outra tendência verificada<sup>(4,5)</sup> é o uso de nióbio e nióbio mais titânio na produção dos aços IF. Os problemas relativos à anisotropia de propriedades mecânicas, à defeitos superficiais e à variação na aderência da camada de zinco, observados principalmente na galvanização a quente dos aços IF com titânio, determinaram essa nova tendência. Esses problemas não estão presentes nos aços IF contendo nióbio. Contudo a temperatura de recristalização nestes últimos é ainda superior à daqueles contendo titânio<sup>(5)</sup>.

Na USIMINAS existem hoje estudos onde está-se avaliando o uso do nióbio na produção de aços IF. Também está em estudo a produção de aços IF de alta resistência.

## 2.2. Aços de Alta Resistência

O interesse mundial pela utilização de aços de alta resistência se deu, principalmente a partir da década de setenta, em decorrência da crise de petróleo<sup>(1)</sup>. O alto custo desse produto forçou a indústria automobilística a produzir veículos mais leves

que conseqüentemente têm menor consumo de combustível. Uma das soluções encontradas foi a utilização de chapas de maior resistência mecânica com menor espessura não comprometendo a rigidez da estrutura do veículo.

Posteriormente, aliada à redução de peso, a preocupação com a segurança determinou novo impulso ao desenvolvimento e uso de uma variada gama de aços de alta resistência.

Os aços de alta resistência mecânica destinados a indústria automobilística são aqueles da série USI-STAR. Eles estão mostrados na tabela IV junto com outros dois em fase final de desenvolvimento. A tabela ainda mostra o mecanismo de endurecimento empregado.

TABELA IV - Aços de alta resistência mecânica para a indústria automobilística

PRODUTO	RESISTÊNCIA MECÂNICA (MPa)	MECANISMOS DE ENDURECIMENTO
USI-STAR-350 (*)	≥ 350	Solução sólida + envelhecimento por deformação
USI-STAR-400	≥ 400	Solução sólida
USI-STAR-450	≥ 450	Solução sólida + endurecimento por precipitação
USI-STAR-470	420 ~ 540	Solução sólida + endurecimento por precipitação
600 DP (**)	700	Solução sólida + transformação de fase
1000 RP (**)	800 ~ 1000	Solução sólida + endurecimento por precipitação + recozimento parcial (encruamento)

(\*) produto em desenvolvimento industrial

(\*\*) produto em desenvolvimento, resultados obtidos em escala piloto.

### 2.2.1. Aços com Envelhecimento Controlado (Bake Hardenables)

O uso de aços com características de "bake hardenability" tem se tornado constante nos automóveis, uma vez que o aumento maior da resistência mecânica se dá após conformação e o tratamento térmico para cura da pintura, geralmente a 180°C por 20 minutos.

Aços com esta característica têm sido comumente empregados em painéis externos, de pouca deformação como capô, portas, tetos, onde o aumento de resistência por deformação é pouco importante.

A figura 3 apresenta a influência da composição química do aço (P + Si) no aumento do limite de escoamento ( $\Delta y$ ) após pré-deformação de 2% em tração e tratamento em forno a 180°C por 20 minutos. A figura 3 mostra que para teores de (P + Si) maiores que 0,1%, valores de  $\Delta y$  superiores a 30 MPa são obtidos.

A produção desse tipo de aço em fornos de recozimento de baixa velocidade de resfriamento requer um controle da composição química em faixas restritas<sup>(8)</sup>.

A figura 4 mostra a influência do carbono e do manganês no  $\Delta y$ . É observado que a redução do carbono e do manganês é também benéfica em acentuar esse parâmetro.

A adição de fósforo e/ou silício e a redução do manganês e carbono, aliados a um processamento adequado, possibilitaram a obtenção industrial de um aço cujas características estão mostradas nas tabelas V e VI e que foi denominado USI-STAR-350<sup>(7)</sup>.

TABELA V - Composição química típica do aço USI-STAR-350 (% peso)

C	Mn	S	Al	N	P+Si
0,020	0,19	0,008	0,030	0,0034	0,117

TABELA VI - Propriedades mecânicas típicas do aço USI-STAR-350

PROPRIEDADES MECÂ - CAS INICIAIS			PROPRIEDADES MECÂ - NICAS APÓS PRÉ-DE - FORMAÇÃO DE 2% E TRATAMENTO 180°C x 20 min.			OUTRAS PROPRIEDADES			
L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	Al(X) BM=50mm	L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	Al(X) BM=50mm	$\Delta y$ (MPa)	$\bar{R}$	$\bar{n}$	$\Delta R$
238	374	39	322	383	36	41	1,8	0,20	0,25

Esse aço, além do aumento de resistência após a conformação e pintura possui ainda boas características de estampagem conforme demonstrado pelo valores  $\bar{R}$  e  $\bar{n}$  obtidos. Esse produto está sendo testado em quase todas as montadoras do país.

A figura 5 permite comparar as características dos aços acaimado com alumínio convencional, USI-STAR-350 e USI-STAR-400 quando sujeitos a uma pré-deformação 2% em tração sendo após

tratados a 180°C por 20 minutos. As considerações sobre fixação de forma, redução de espessura e resistência a amolgadura (dent resistance) são dados de literatura<sup>(8)</sup>. É observado que o uso do aço USI-STAR-350 em substituição ao aço acalmado convencional oferece a possibilidade da redução de espessura, da melhoria na resistência a amolgadura além de eliminar o problema de fixação de forma quando se usa chapas com limite de escoamento superior a 250 MPa.

Em termos de tendências na fabricação de aços com características de "bake hardenability", os trabalhos de pesquisa têm se concentrado no desenvolvimento desse tipo de aço de forma a atender a níveis variados de resistência mecânica. Na figura 5 estão mostrados em linhas pontilhadas os objetivos propostos pela USIMINAS.

### 2.2.2. Aços Refosforados e Endurecidos por Precipitação

Os aços Mn-Si endurecidos por solução sólida e precipitação foram os primeiros produtos colocados no mercado quando a crise do petróleo teve início. Seguiram-se a eles os refosforados<sup>(1)</sup>.

A USIMINAS comercializa três produtos da classe 400 ~ 500 MPa com essa concepção para aumento de resistência.

As tabelas VII e VIII apresentam a composição química e propriedades mecânicas dos três produtos.

A resistência mecânica do aço USI-STAR-400 é conseguida pela adição de fósforo (endurecimento por solução sólida). A adição desse elemento é vantajosa uma vez que, o mesmo, é um potente endurecedor, pouco ou nada interfere com a estampabilidade<sup>(8)</sup>, figura 6, além de melhorar a resistência à corrosão do produto quando comparado ao aço carbono comum, tabela IX.

TABELA VII - Composição química típica dos aços USI-STAR-400, 450 e 470

AÇO USI-STAR	ELEMENTO (% peso)							
	C	Mn	Si	P	Nb	S	Al	N
400	0,05	0,60	<0,02	0,090	-	0,015	0,045	0,0045
450	0,06	1,0	0,40	0,02	0,025	0,015	0,050	0,0053
470								

TABELA VIII - Propriedades mecânicas típicas dos aços USI-STAR-400, 450 e 470

AÇO USI-STAR	PROPRIEDADES MECÂNICAS				
	L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	AL(%) BM=50mm	R	n
400	300	410	32	1,7	0,21
450	360	460	30	1,2	0,19
470	380	480	28	1,1	0,18

Nos aços USI-STAR-450 e 470 além do endurecimento por solução sólida é também adicionado nióbio, que confere aos produtos um aumento adicional de resistência mecânica devido à

TABELA IX - Resultados do ensaio não-acelerado de corrosão atmosférica dos aços carbono comum e USI-STAR-400 revestidos por pintura

ATMOSFERA	MEDIDA (mm)	TEMPO (ANOS)	PRODUTO	
			AÇO CARBO- NO COMUM	USI-STAR 400
Industrial	Avanço	02	5,3	(*) < 1,0
	Penetração	02	0,25	(*) 0,04
Marinha	Avanço	02	27,0	(*) 4,1
	Penetração	02	> 0,80 (fu- rou com menos de 1 ano)	0,13

(\*) refere-se a um tempo de 4 anos

precipitação de carbonetos e ao refino de grão. Contudo, um inevitável decréscimo na capacidade de conformação é observado em relação ao aço acalmado convencional, figura 7.

Quanto à aplicação o aço USI-STAR-400, apesar da resistência elevada, apresenta ainda alto valor  $\bar{R}$  e  $\bar{n}$ , o que permite que este produto seja utilizado em partes que requeiram considerável capacidade de conformação. É preciso contudo considerar que ajustes no ferramental são necessários quando este material substitui o aço carbono comum em razão de problemas com fixação de forma, figura 5, inerentes aos aços de alta resistência.

Já os aços USI-STAR- 450 e 470, pelas suas características, são indicados para aquelas aplicações menos exigentes que requeram estampabilidade média.

O estudo<sup>(9)</sup> de soldabilidade dos aços USI-STAR-400, 450 e 470, usando o critério de soldabilidade por área de campos ("weldability Lobe") mostrou que estes produtos podem apresentar comportamento similar ao de aços baixo carbono, não ligados, reconhecidamente de excelente soldabilidade. É necessário para tal, o uso de baixos valores de retenção, força entre eletrodos maior que a recomendada para aços doces<sup>(10)</sup> assim como diâmetro de eletrodo superior ao indicado pela AWS<sup>(10)</sup>.

### 2.2.3. Aços "Dual Phase"

Aços "dual phase" (DP) são aqueles caracterizados pela ausência do patamar de escoamento nas chapas na condição "como recozido", pela baixa razão elástica (LE/LR- 0,5), pelo alto valor do índice de encruamento (valor  $\bar{n}$ ) nos estágios iniciais da deformação e por apresentar ainda "bake hardenability"<sup>(11)</sup>.

A denominação DP surgiu da coexistência incomum das fases ferrita e martensita.

Tradicionalmente uma estrutura ferrita-martensita é obtida pelo aquecimento do aço até uma temperatura intercrítica (Ac1 até Ac3), onde uma estrutura ferrita-austenita é formada. A partir dela, sob resfriamento acelerado, a austenita é transformada em martensita.

A fim de obter-se a estrutura DP em recozimento em caixa convencional é necessário que a composição química seja balanceada pela introdução de elementos que atuem aumentando a temperabilidade da austenita a partir do campo intercrítico  $\alpha + \gamma$ .

Foram estudados em escala piloto a influência de elementos como manganês, cromo, molibdênio, silício e vanádio em um aço base com carbono 0,05%.

A composição química de um dos aços onde uma estrutura DP foi obtida está mostrada na tabela X.

TABELA X - Composição química do aço DP (% peso)

C	Mn	Si	Mo	Al	S	P	N
0,046	2,4	0,10	0,40	0,030	0,016	0,014	0,0065

O estudo das composições químicas e a escolha de parâmetros do ciclo de recozimento para a obtenção da estrutura DP foram feitos a partir do levantamento das curvas CGT para estes aços.

Um exemplo dessas curvas, traçada para o aço da tabela X, é mostrada na figura 8.

A tabela XI apresenta os resultados de propriedades mecânicas e metalográficas para o aço DP recozido a 760°C.

TABELA XI - Propriedades mecânicas e metalográficas do aço DP

L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	LE/LR	A1(%) BM=25mm	$\bar{R}$	$\bar{n}$	$\Delta R$	R(*) (%)	MA(*) (%)	$\alpha$ (*) (%)
311	624	0,50	28	0,89	0,19	0,005	5,0	20,0	75,0

(\*) R = austenita residual

MA = martensita

$\alpha$  = ferrita

Em relação ao uso, os aços DP são mais recomendados para aplicações não tão exigentes quanto a estampabilidade (valor  $\bar{R}$  baixo) mas que possam aproveitar ao máximo a combinação de resistência e ductilidade bem superior nesses aços em relação a outros cujo aumento de resistência é devido a outros mecanismos<sup>(11)</sup>.

A figura 9 ilustra casos típicos de aplicação dos aços DP.

#### 2.2.4. Aços de Ultra-Alta Resistência

A preocupação com a segurança tem determinado o desenvolvimento de aços de resistência elevada para serem usados como peças de reforço em painéis externos de automóveis, principalmente portas.

A USIMINAS, em consonância com essa tendência desenvolveu em escala piloto aços que podem atingir resistências superiores a 1000 MPa, a partir de mecanismos convencionais de endurecimento<sup>(12)</sup>.

A tabela XII apresenta a composição química dos aços. Elas foram escolhidas de forma que a resistência final incorporasse, além da resistência devida ao encruamento, aquela proporcionada por solução sólida (carbono, manganês e silício) e por precipitação de segunda fase (nióbio e titânio). Ainda no caso do nióbio e titânio, visou-se a interferência desses elementos na cinética de recristalização.

TABELA XII - Composição química dos aços de ultra-alta resistência (% peso)

AÇO	C	Mn+Si	Al	N	Ti+Nb
A	0,06	1,28	0,042	0,0036	0,038
B	0,11	1,45	0,043	0,0039	0,059
C	0,11	2,35	0,053	0,0049	0,109

A figura 10 apresenta a evolução do limite de escoamento com o parâmetro M que relaciona tempo e temperatura no recozimento ( $M = T (\log t + 20) \times 10^{-3}$ ). Observa-se que para  $M < 20$  são obtidas resistências mecânicas superiores a 700 MPa podendo-se atingir valores maiores que 1000 MPa em função da escolha adequada da composição química mantendo-se em todos os casos alongamento total superior a 12%.

Em razão da elevada resistência mecânica, as aplicações para esse tipo de aço, devem exigir do mesmo pequena capacidade de conformação, como por exemplo, dobramento simples.

### 2.3. Aços Resistentes a Corrosão (19-17)

Na metade da década de 1960 deu-se início, na USIMINAS, ao programa de desenvolvimento de aços resistentes à corrosão para atender a indústria automobilística. No início foram desenvolvidos os aços da série USI-R-COR, resistentes à corrosão atmosférica, com boas características de estampabilidade e destinados a fabricação das carrocerias dos veículos automotores. Em seguida, veio o aço USI-R-CORD para a fabricação de tanques de combustível, principalmente o óleo diesel.

#### 2.3.1. Aços Resistentes à Corrosão Atmosférica

Um dos grandes desafios da indústria automobilística é vencer a corrosão dos materiais metálicos utilizados na fabricação de seus veículos. Muito se tem feito para resolver este problema, como a utilização de processos de pintura mais eficientes, de tintas mais adequadas e de materiais metálicos especiais.

Na área de chapas finas laminadas a frio, a USIMINAS vem contribuindo no sentido de melhorar o desempenho do SISTEMA AÇO-PINTURA, desenvolvendo aços mais resistentes à corrosão atmosférica quando fosfatizados e pintados.

O desenvolvimento de aços mais resistentes à corrosão atmosférica foi realizado em duas etapas. Na primeira, desenvolveu-se o aço USI-R-COR-I, com adição de cobre em teores bem abaixo daqueles tradicionalmente conhecidos como eficazes para o aumento da resistência à corrosão atmosférica. Na segunda etapa, um ajuste na composição química resultou no desenvolvimento do aço USI-R-COR-II, cujo desempenho foi bem superior ao do aço USI-R-COR-I, principalmente em atmosfera marinha. As composições químicas destes aços são mostradas na tabela XIII.

A tabela XIV mostra os resultados obtidos nos ensaios não acelerados de corrosão atmosférica realizados com corpos-de-prova revestidos (fosfatizados e pintados) preparados a partir do aço carbono comum (NBR-5915-EEP), do aço USI-R-COR-I e do aço USI-R-COR-II, após 24 meses de exposição.

TABELA XIII - Análise química dos aços USI-R-COR-I e USI-R-COR-II

AÇO	ELEMENTOS (% peso)					
	C	Mn	S	P	Cu	OUTROS ELEMENTOS
CARBONO COMUM (NBR-5915-EEP)	0,08 (máx.)	0,45 (máx.)	0,030 (máx.)	0,030 (máx.)	-	-
USI-R-COR-I-EEP	0,08 (máx.)	0,45 (máx.)	0,030 (máx.)	0,030 (máx.)	0,19 ~ 0,13	-
USI-R-COR-II-EEP	0,08 (máx.)	0,45 (máx.)	0,030 (máx.)	0,030 (máx.)	0,10 ~ 0,04	Cr+Sb+ Ni<0,60

TABELA XIV - Resultado da avaliação dos corpos-de-prova de aço carbono comum, USI-R-COR-I e USI-R-COR-II, após 24 meses de exposição

AÇO	TIPO DE ATMOSFERA			
	INDUSTRIAL		MARINHA	
	AVANÇO (mm)	PENETRAÇÃO MÁXIMA (mm)	AVANÇO (mm)	PENETRAÇÃO MÁXIMA (mm)
CARBONO COMUM (NBR-5915-EEP)	5,3	0,25	27,0	> 0,82 (furou)
USI-R-COR-I	2,5	0,11	25,0	> 0,81 (furou)
USI-R-COR-II	1,0	0,07	5,0	0,36

De acordo com a tabela XIV, observa-se que os aços da série USI-R-COR apresentaram um desempenho muito superior ao do aço carbono comum. Dentro dos aços da série USI-R-COR, o aço USI-R-COR-II mostrou-se mais resistente a corrosão atmosférica do que o aço USI-R-COR-I, notadamente em atmosfera do tipo marinha.

Finalmente, pode-se concluir que o desenvolvimento dos aços da série USI-R-COR constituiu um significativo avanço tecnológico em relação às chapas de aço carbono comum.

### 2.3.2. Aços Resistentes a Corrosão para Aplicação em Tanques de Combustível

A corrosão causada pelo óleo diesel, nos tanques de combustíveis de ônibus e caminhões, vem provocando a troca prematura destes tanques, em alguns casos com menos de um ano, devido a perfuração dos mesmos (corrosão localizada do tipo pite).

A corrosão localizada do tipo pite é causada por ions cloreto e compostos de enxofre presentes no óleo diesel. Quedas de temperatura, que ocorrem geralmente à noite, provocam a condensação de água, presente na atmosfera, no interior do tanque. Essa água promove uma extração desses ions e compostos arrastando-os para o fundo do tanque, provocando, assim, a corrosão.

Para solucionar este tipo de problema, a USIMINAS desenvolveu um novo tipo de aço, denominado USI-R-CORD. Esse aço atua de modo a substituir a corrosão localizada por outra mais generalizada, através do aumento do diâmetro dos pites e a diminuição da profundidade dos mesmos. A tabela XV mostra a composição química e propriedades mecânicas do aço USI-R-CORD.

Tanques de combustível de diversos modelos foram fabricados com o aço USI-R-CORD e submetidos a testes de corrosão em campo. A tabela XVI apresenta os resultados destes testes.

TABELA XV - Composição química e propriedades mecânicas do aço USI-R-CORD

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% peso)						PROPRIEDADES MECÂNICAS				
C	Mn	P	S	Cu	Ni	L.E. (MPa)	L.R. (MPa)	Al(X) BM=50mm	DOB.	DUR. (HRB)
0,12 (máx)	0,50 (máx)	0,040 (máx)	0,040 (máx)	0,65 ~ 1,0	0,3 ~ 0,5	210 (min)	330 (min)	25 (min)	OE	70 (max)

TABELA XVI - Resultado dos ensaios de campo com tanques de combustível fabricados com o aço USI-R-CORD

AÇO	LOCAL DE TESTE	DURAÇÃO DO ENSAIO (meses)	TAMANHO DO PITE (mm <sup>2</sup> )	PROFUNDIDADE DO PITE (mm)		OBSERVAÇÃO
				MÁXIMA	MÉDIA	
CARBONO COMUM	CLIENTE	6	0,20	furou		Espessura chapa 1,7mm
		10	0,95	furou		
	USIMINAS	18	3,46	0,77	0,40	(*)
USI-R-CORD	USIMINAS	6	0,38	0,29	0,12	Sem problemas para o sistema de alimentação de combustível
		12	0,50	0,27	0,15	
		24	4,91	0,65	0,25	
	CLIENTE	12	0,48	0,12	0,06	
		12	0,20	0,24	0,11	

(\*) - problemas de borra e entupimento no sistema de combustível

Verifica-se através da tabela XVI, que a profundidade do pite no caso do aço USI-R-CORD é menor do que aquela para o caso do aço carbono comum. Observa-se, ainda, que o tamanho do pite para os tanques fabricados com o aço USI-R-CORD é maior do que aquele observado para os tanques fabricados com o aço carbono comum, conforme pretendeu-se no desenvolvimento deste aço.

Os resultados acima mostram, portanto, que o aço USI-R-CORD apresenta bom desempenho com relação a resistência à corrosão em meios contendo óleo diesel e pode substituir, com vantagens, o aço carbono comum.

### 2.3.3. Perspectivas de Desenvolvimento de Novos Aços Resistentes à Corrosão

Dentro de seu programa de desenvolvimento de novos produtos, a USIMINAS vem estudando novos tipos de aços da série USI-R-COR (USI-R-COR-III e IV), um novo tipo de aço para sistemas de escapamento de veículos automotores, denominado USI-SCAP; bem como pretende colocar em operação no segundo semestre de 1993 sua linha de galvanização eletrolítica.

### 3. CONSIDERAÇÃO FINAL

A USIMINAS, no esforço de enobrecimento de seus produtos para atender a indústria automobilística, desenvolveu nos últimos anos, aços que atendem aos mais severos requisitos de conformação mecânica; aços de alta resistência que permitem o aumento de segurança e oferecem a possibilidade da redução de espessura, além de uma gama de aços resistentes a corrosão que favorecem em muito, a durabilidade dos veículos.

O esforço, aplicado de forma contínua, tem permitido a USIMINAS manter-se sempre atualizada e assim oferecer a seus clientes produtos que incorporam as mais recentes tecnologias de fabricação.

### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus sinceros agradecimentos ao colega Haroldo Barcelos pela contribuição e sugestões dadas ao trabalho.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. TAKECHI, H. - Recent Developments for Hot and Cold Rolled Sheet Steels for Automobiles - Proc. of Automotive Steel Seminar, Moscou, April 1988.
2. DAVIES, R.G. - High Strength Steels in Automotile - Proc. of Automotive Steel Seminar, Moscow, April 1988.
3. PINTO, M.G.; KLEIN, L.N.T.; CASTRO, L.C. e ALVES, A.C. - Desenvolvimento de Aços "Interstitial Free (IF)" pela USIMINAS - Anais do Seminário da COLAM, ABM, Novembro, 1991.
4. TAKECHI, H. - Development and Production of Interstitial Free Steel. - Proc. of the Symposium on Metallurgy and Application of Modern IF. Steel Grades, VDEh, Dusseldorf, May, 1990.
5. STUART, H. - The Properties and Processing of Microalloyed HSLA Steels - JOM, 43(1) p. 35 - 40, Janeiro, 1991.
6. PEREIRA, J.F.B.; BARCELOS, H.; KLEIN, L.N.T. e PAULA e SILVA, E.M. - Aços de Média Resistência com Envelhecimento Controlado Destinados a Estampagem Profunda - Parte I. Pesquisa e Desenvolvimento Piloto - Anais do 42º Congresso da ABM, Outubro, 1987.
7. BARCELOS, H.; PEREIRA, J.F.B.; CALDEIRA, O.M. e GOUVEIA, M.J. - Aços de Média Resistência com Envelhecimento Controlado Destinados a Estampagem Profunda - Parte II Desenvolvimento Industrial e Aplicação - Anais do 42º Congresso da ABM, Outubro, 1987.
8. OKAMOTO, T.M.; SUGISAWA, S. and NAKAI, S. - High Strength Cold Rolled Sheet Steels for Automobiles - HSLA Steels, ASM: p. 969-79, 1985.
9. MARRA, K.M. - Estudo Comparativo da Soldabilidade a Ponto de um Aço Laminado a Frio de Alta Resistência em Relação a Outro ao Carbono - Dissertação de Mestrado, UFGM, Março, 1992.
10. AMERICAN WELDING SOCIETY, INC. - Recommended Practices for Resistance Welding: AWS C.1.1 - 86, Miami, 1988.
11. MATSUDO, K. - Metallurgical Aspects of the Development of Continuous Annealing Technology - Proc. of the International Conference of Iron and Steel Technology and New Materials - p. 199 - 286, Pohang, 1986.
12. PEREIRA, J.F.B. e JUSTE, P.S. - Mecanismos de Endurecimento Aplicados aos Aços de Resistência Elevada - Anais do 48º Congresso da ABM, Setembro, 1991.
13. MEYER, L.; STRASBURGER, C. and SCHNEIDER, C. - Microalloying Elements Nb, V, Ti, Zr and B - Their Effects in Modern Automotive Steels - Proc. of Automotive Steel Seminar, Moscow, April, 1988.

14. MIRANDA, F.J.F.; SOUSA, J.G.; PINTO, J.A.Q. - Mecanismos da Ação do Cobre na Melhoria da Resistência à Corrosão de Chapas de Aço Revestidas. Anais do 39º Congresso Anual da ABM, Belo Horizonte, 1984.
15. MIRANDA, F.J.F.; SOUSA, J.G. - Desenvolvimento em Escala Piloto de Chapas a Frio com Elevada Resistência à Corrosão Atmosférica. 16º Congresso Brasileiro de Corrosão - ABRACO, pag. 55 - 66, Rio de Janeiro, 1991.
16. SOUSA, J.G.; MIRANDA, F.J.F.; PINTO, J.A.Q. - Desenvolvimento de Aços Baixa Liga Resistentes à Corrosão Atmosférica para Aplicação na Indústria Automobilística. Anais do 45º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 1990.
17. MIRANDA, F.J.F.; SOUSA, J.G.; PINTO, J.A.Q. - Capacitação da USIMINAS para o Desenvolvimento de Aços Resistentes à Corrosão. I Colóquio Nacional de Corrosão Atmosférica, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Abril de 1992.

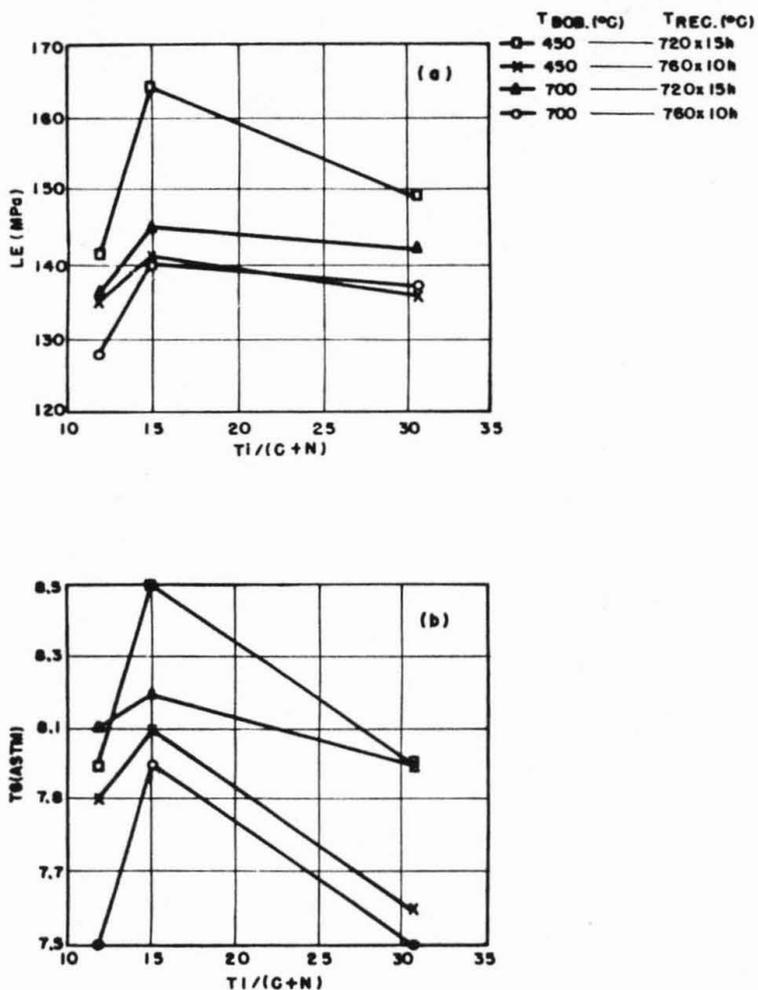


Figura 1 - Influência da relação  $Ti/(C+N)$  no (a) Limite de Escoamento (b) Tamanho de Grão ASTM, em função do tratamento térmico empregado

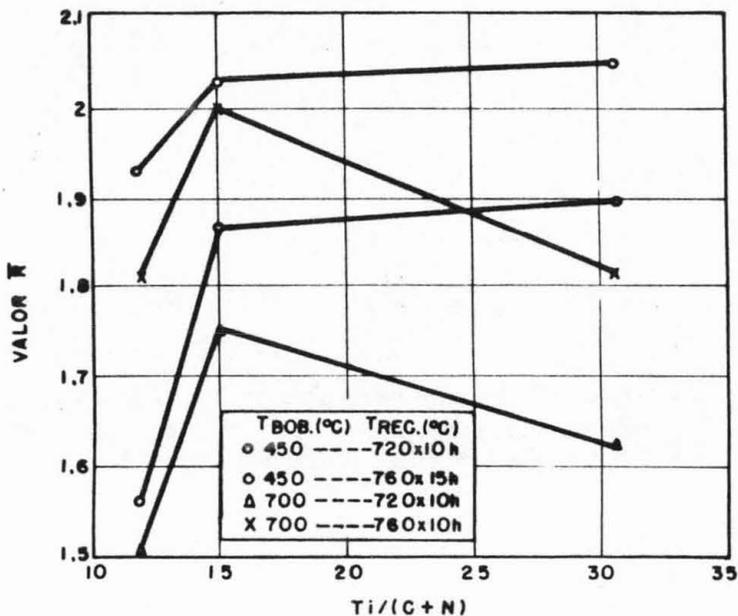


Figura 2- Influência da relação  $Ti/(C+N)$  no valor  $\bar{R}$  de Lankford em função do tratamento térmico empregado.

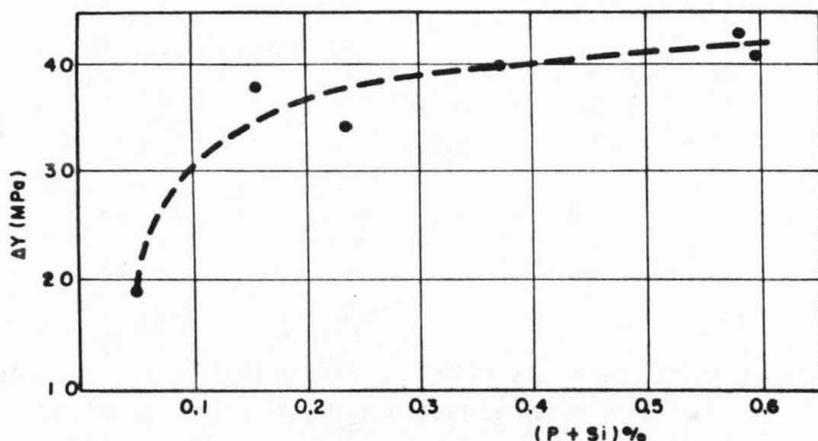


Figura 3 - Influência da composição química (P+Si), % em peso, no aumento do limite de escoamento após pré-deformação de 2% em tração e tratamento a 180°C x 20 minutos.(7)

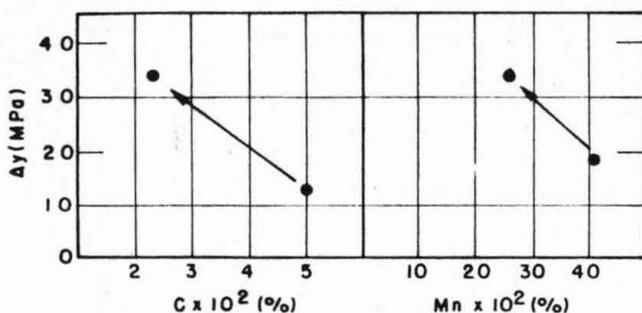


Figura 4 - Influência do carbono e manganês no aumento do limite de escoamento após pré-deformação de 2% em tração e tratamento a 180°C x 20 minutos. (7)

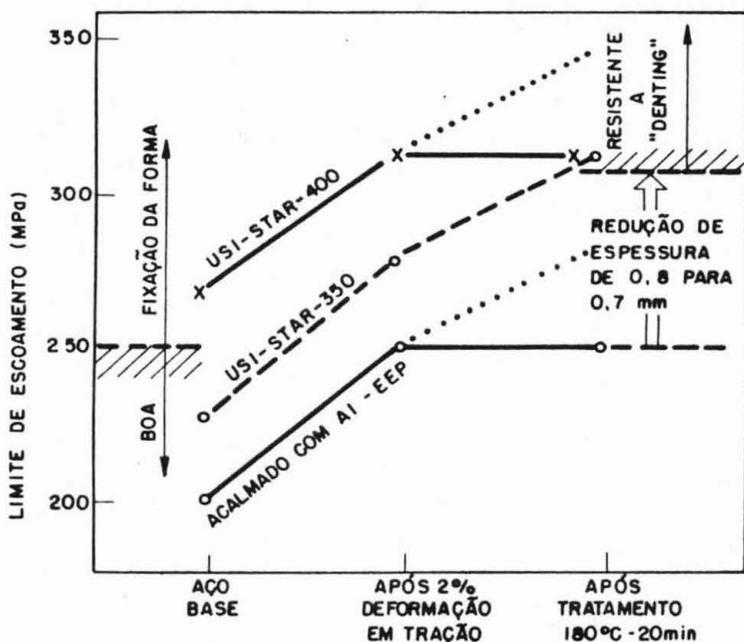


Figura 5 - Variação do limite de escoamento durante os testes de laboratório simulativos do processo de produção industrial de automóveis. As linhas pontilhadas mostram os objetivos buscados para novos produtos na USIMINAS.

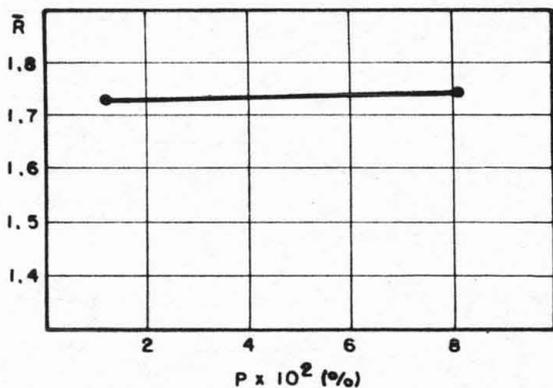


Figura 6 - Influência do fósforo no valor  $\bar{R}$  de Lankford.<sup>(7)</sup>

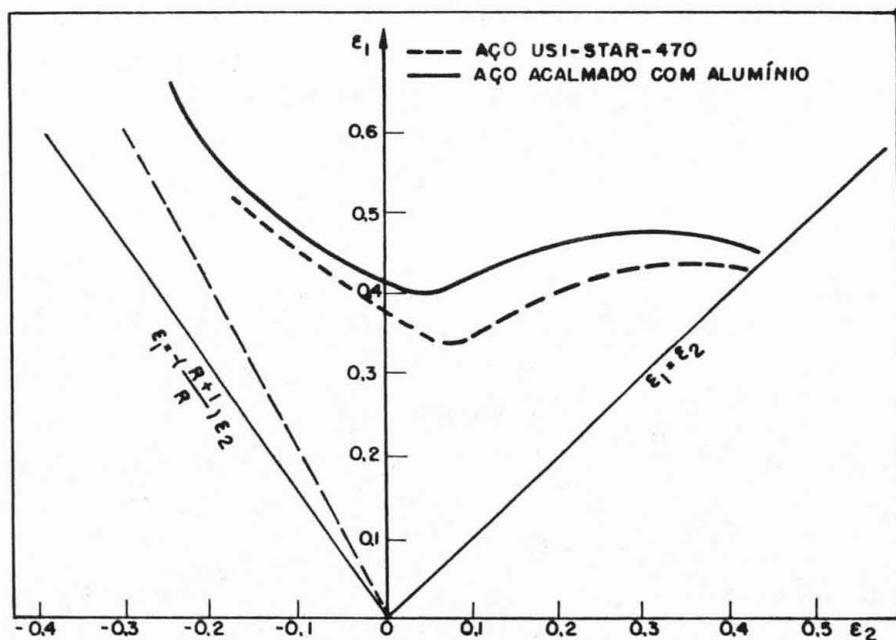


Figura 7 - Curva limite de conformação para os aços USI-STAR-470 e acalmado com alumínio convencional.

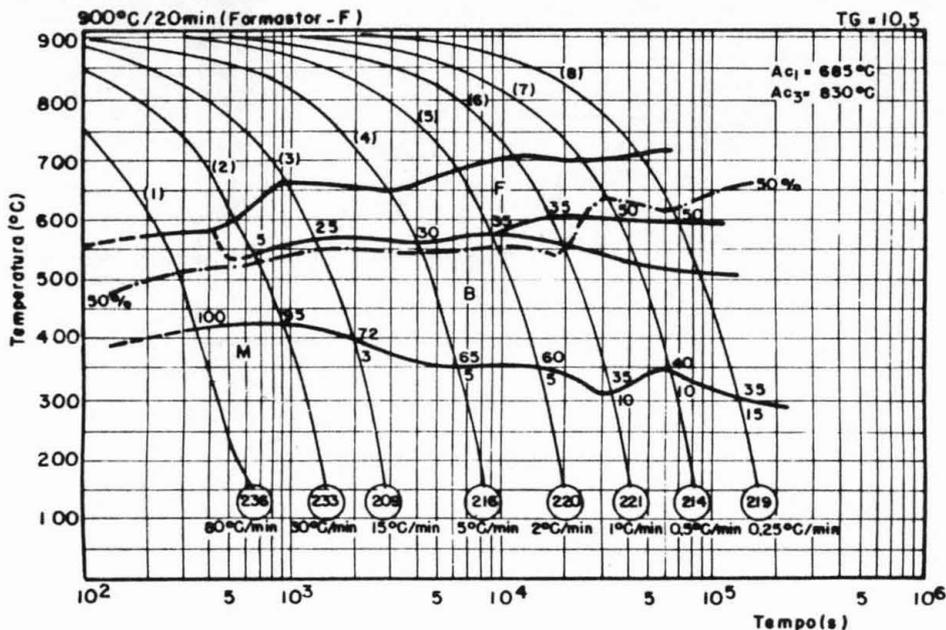


Figura 8 - Curva CCT para o aço "DUAL PHASE."

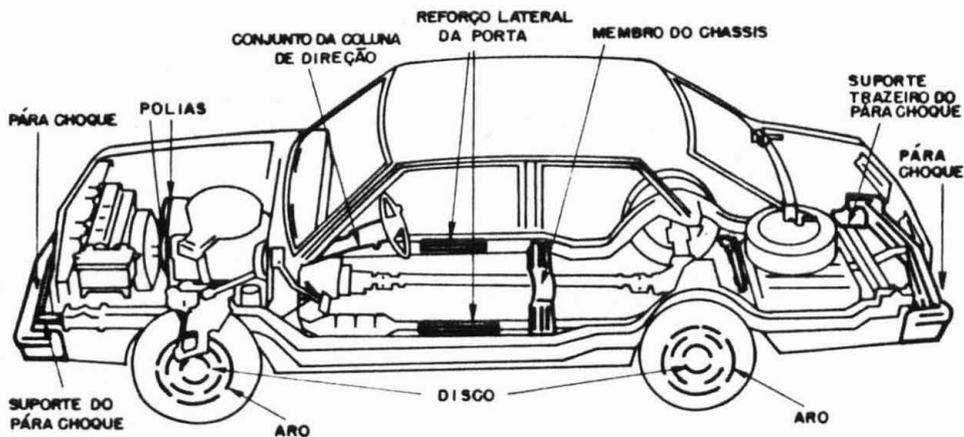


Figura 9 - Exemplos potenciais de aplicação dos aços "DUAL PHASE."

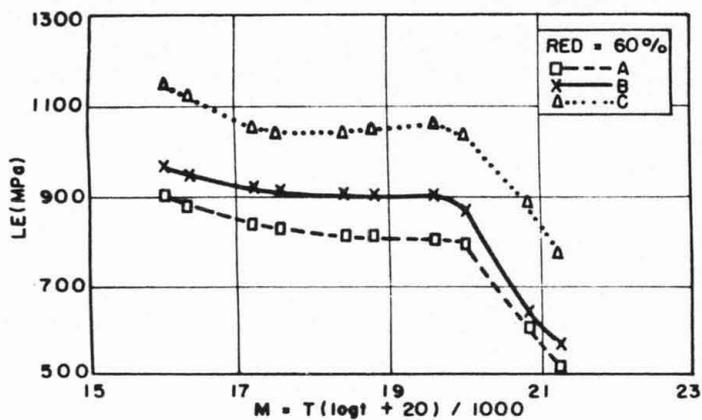


Figura 10-Evolução do limite de escoamento com o parâmetro M.

