

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS GALVANIZADOS COM LIGA 55%AL-ZN NA ARCELORMITTAL VEGA¹

Claudeir Carvalho Silveira²

Leandro Trindade³

Fernando Coelho de Oliveira⁴

Sandro Sambaqui⁵

Augusto Cesar Lacerda de Oliveira⁶

Eder Adolfo Serafim⁷

Resumo

Este trabalho descreve as etapas do desenvolvimento, as características técnicas e o processo de qualificação para a produção do produto Galvalume® (aços Galvanizados com a liga 55%Al-Zn) pela ArcelorMittal Vega, decorrentes do início de operação (*start-up*) da sua segunda linha de galvanização (*Continuous Galvanizing Line*), em abril de 2010. O trabalho engloba ainda as principais condições técnicas do fornecimento do novo produto (e.g., dimensões, tipos de passivação e pesos de revestimento), o controle de qualidade e, também, o plano de testes aplicado para a caracterização do novo produto para assegurar a sua conformidade com os padrões internacionais de qualidade para a fabricação do Galvalume.

Palavras-chave: Galvalume; Caracterização; Start-up.

DEVELOPMENT OF MATERIALS GALVANIZED WITH 55%AL-ZN AT ARCELORMITTAL VEGA

Abstract

This paper describes the steps in the development deployment, specifications and qualification process for the production of the product Galvalume® (Galvanized steel alloy with 55% Al-Zn) produced by ArcelorMittal Vega, due to the start of operation (start -up) of his second galvanizing line (Continuous galvanizing line), in April 2010. The work also comprises the main technical conditions of delivery of the new product (eg, manufacturable dimensions, passivation and coating weight), quality control and also, the test plan applied to the characterization of the new product to ensure its compliance with strict international standards for the manufacture of Galvalume.

Key words: Galvalume; CGL; Characterization; Start-up.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Especialista em Engenharia de Produtos, Gerência de Metalurgia, ArcelorMittal Vega.

³ Especialista em Controle Integrado, Gerência de Metalurgia, ArcelorMittal Vega.

⁴ Gerente de Área, Gerência de Área de Operação de Galvanização 2, ArcelorMittal Vega.

⁵ Gerente de Área, Gerência de Área de Operação de Galvanização 1, ArcelorMittal Vega.

⁶ Engenheiro Metalúrgico, MSc. Especialista em Assistência Técnica, ArcelorMittal Vega.

⁷ Especialista em Laboratórios, Gerência de Metalurgia, ArcelorMittal Vega.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ArcelorMittal Vega

A ArcelorMittal Vega é uma unidade de Laminação a Frio e Galvanização a Quente situada na região sul do Brasil e tem como principal objetivo produzir aços de elevada qualidade para aplicações nos setores Automotivo/Auto Peças, Linha Branca e Construção Civil. Para o atendimento aos clientes dos diversos segmentos, de forma geral, os produtos Galvanizados e Laminados a frio são ofertados em famílias, a saber: Aços destinados às operações de Estampagem e Estampagem Profunda, Aços Endurecíveis por cozimento (*i.e.*, aqueles que apresentam aumento de resistência mecânica com a cura da pintura ou efeito *Bake Hardening*), Aços de alta resistência mecânica e boa conformabilidade (*i.e.*, aços livre de intersticiais de alta resistência), Aços de alta resistência baixa liga ou Microligados e Aços Bifásicos (*Dual-Phase*).

A ArcelorMittal Vega iniciou as suas operações em junho de 2003 e conta com linhas de alta produtividade e qualidade, como Decapagem e Laminação acopladas, Recozimento em Caixa com atmosfera 100% H₂, Laminador de Encruamento, Galvanização por Imersão a Quente capaz de produzir painéis expostos para qualquer montadora com o revestimento de Zinco Puro ou Zn-Fe (*Galvannealed*) e Linha de Inspeção. A Figura 1 mostra a planta da ArcelorMittal Vega, em São Francisco do Sul-SC.



Figura 1 – Vista da planta da ArcelorMittal Vega em São Francisco do Sul-Sc. Ao lado direito inferior da figura, pode-se observar a Linha de Galvanização N° 2.

Dando prosseguimento ao seu plano de expansão na América do Sul, o Grupo ArcelorMittal finalizou, em abril de 2010, a construção de sua 2ª linha de Galvanização no Brasil.

A Linha de Galvanização 2 foi projetada e construída para permitir a produção anual total de 350.000 t de aço Galvanizado e Galvalume. Para permitir a produção de dois revestimentos simultaneamente, o projeto da linha englobou a característica “*Dual Purpose*”, que permite a produção de chapas revestidas com zinco puro (GI-

Galvanized) e com a liga de 55%Al-Zn (GL-Galvalume). A linha conta também com máquina de solda para propiciar processo de produção contínuo, seção de limpeza com rolos escova, forno de recozimento - horizontal, dois potes (zinco puro e 55%Al-Zn), pote de mistura (pré-fusão da liga 55%Al-Zn), medidor de revestimento, laminador de encruamento, desempenadeira sob tensão, sistema de rolos aplicadores de cromo e resina acrílica, cabine de inspeção final de aspecto vertical e horizontal e oleadeira eletrostática. A Figura 2 mostra esquematicamente a Linha de Galvanização Contínua 2 da ArcelorMittal Vega.

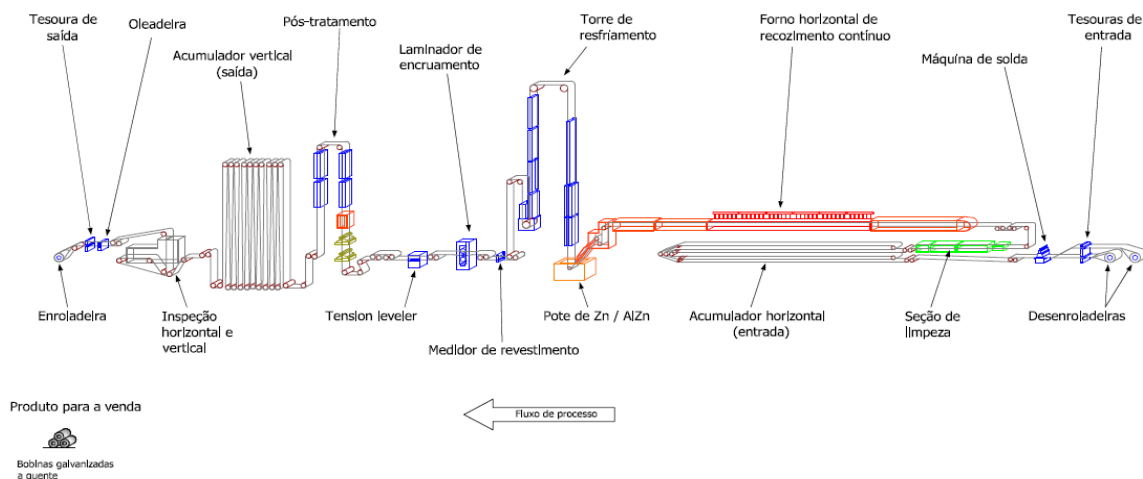


Figura 2 – Desenho esquemático da Linha de Galvanização 2 da ArcelorMittal Vega (2008). Observar o sentido do fluxo de processo, da direita para esquerda.⁽¹⁾

Na Tabela 1 são mostradas as principais características técnicas da Linha de Galvanização 2 da ArcelorMittal Vega, onde destaca-se a capacidade de galvanização de materiais de baixa espessura (0,25-0,43 mm).

Tabela 1 – Detalhamento das características técnicas principais da Linha de Galvanização 2 da ArcelorMittal Vega⁽¹⁾

Característica Técnica	Especificação de Projeto da Linha
Capacidade Anual de Produção	350.000 t
Faixa de Espessura	0,25 até 2,00 mm
Faixa de Largura	700 até 1600 mm
Peso Máximo Bobina (Entrada)	34 t
Peso Máximo Bobina (Saída)	30 t
Diâmetro Externo - Saída	800 a 1850 mm
Diâmetro Interno – Saída	508 ou 610 mm
Revestimento – Galvanizado	Mínimo 30 g/m ² /face Máximo 200 g/m ² /face
Revestimento - Galvalume	Mínimo 30 g/m ² /face Máximo 100 g/m ² /face

1.2 Revestimento Galvalume® (55%Al-Zn)

Galvalume® é um revestimento composto pela liga de 55%Al-Zn e produzido por meio do processo contínuo de galvanização por imersão a quente, similar ao utilizado para a produção do produto galvanizado convencional. O Galvalume® foi desenvolvido originalmente pela Bethlehem Steel Corporation, na década de 1960. Com uma composição química em massa visada de 55% de alumínio, 43,5% de zinco e 1,5% de silício, o revestimento combina a durabilidade do alumínio com a proteção galvânica do zinco. Esta combinação permite a produção de um

revestimento capaz de exibir excelente resistência à corrosão nas diversas atmosferas conhecidas (industrial, marinho e rural).⁽²⁻⁵⁾

A microestrutura típica do Galvalume (Figura 3) é composta de aproximadamente 80% (fração volumétrica) de regiões dendríticas (ricas em alumínio) e cerca de 20% de material interdendrítico (região rica em zinco). A morfologia da microestrutura pode variar de acordo com a taxa de resfriamento durante a solidificação do revestimento.⁽³⁻⁵⁾

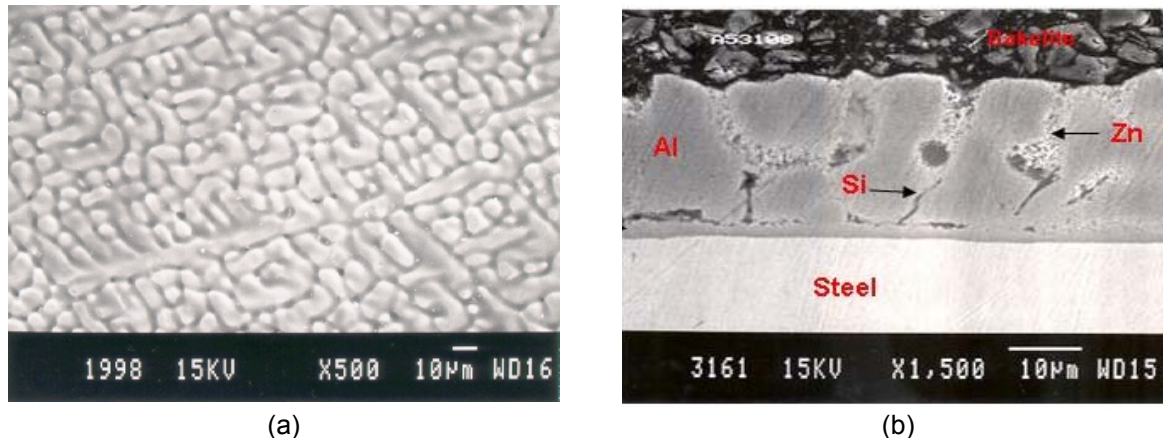


Figura 3 – Microestruturas típicas do revestimento Galvalume. Em (a), observa-se o aspecto superficial do revestimento e, em (b), a sua seção transversal. Microestruturas obtidas por microscopia eletrônica de varredura e com aumentos de 500 e 1500x, respectivamente.⁽²⁾

As principais funções dos elementos químicos no revestimento Galvalume podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Funções dos elementos químicos no revestimento Galvalume⁽³⁻⁵⁾

Elemento	% Massa	Principal função no revestimento Galvalume
Alumínio	55%	O Alumínio proporciona a resistência à corrosão através da formação de uma barreira no revestimento. Possibilita a formação da fase dendrítica rica em alumínio responsável pela maior durabilidade do revestimento, reduzindo a velocidade em que a fase rica em zinco será consumida em caso de processos corrosivos.
Zinco	43,5%	Possibilita a criação da fase interdendrítica rica em zinco que promove a proteção galvânica ou sacrificial.
Silício	1,5%	É adicionado ao banho para evitar a reação exotérmica entre o banho de Al-Zn e a chapa de aço. Possibilita a controle do crescimento da fase intermetálica quaternária entre o substrato e a revestimento.

Na década de 1970, a Bethlehem Steel começou o licenciamento da nova tecnologia para a produção do revestimento 55%Al-Zn, primeiro na Austrália e após para todo o mundo, através da BIEC – Bethlehem *International Engineering Cooperation*. No Brasil, o revestimento 55%Al-Zn foi denominado Galvalume®. A ArcelorMittal Vega é licenciada pela BIEC e conta com todo seu suporte técnico para a produção do Galvalume desde a implantação da Linha de Galvanização 2.

1.2.1 Condições de processamento

Como se trata de um processo contínuo, no início da linha de galvanização é realizada a solda da cauda da bobina que esta em processo com a ponta da bobina a ser galvanizada. Em seguida, a tira passa pelos processos de limpeza e

recozimento contínuo. Após o final do forno de recozimento, a tira é submergida no pote que contém a liga 55%Al-Zn fundida, a uma temperatura de aproximadamente de 600 °C. Os lingotes que alimentam o banho de liga Galvalume são pré-fundidos num segundo pote de mistura, chamado *Pre-melt*. Este segundo pote tem como objetivo homogeneizar a composição química do pote principal. Após o pote, a tira passa por um conjunto de navalhas de ar para adequar o peso de revestimento metálico, em conformidade com o pedido do cliente.

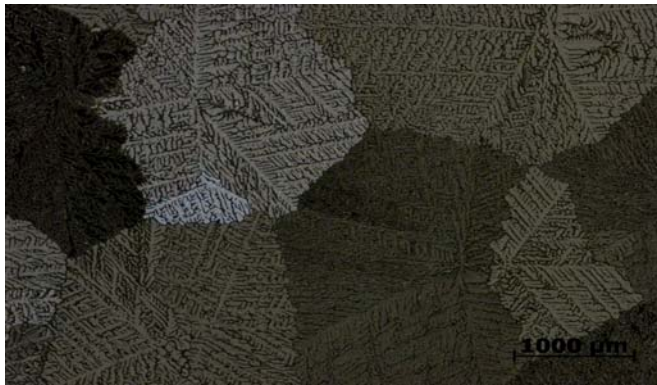
1.2.1.1 Microestrutura do revestimento, Taxas de Resfriamento e resistência a corrosão

Após as navalhas de ar, a tira passa para por um conjunto de sopradores com o objetivo de promover a solidificação do revestimento. No caso do Galvalume, este necessita de taxas de resfriamento adequadas para o seu controle microestrutural ⁽⁵⁾. Estudos realizados nos laboratórios da Bethlehem Steel evidenciaram que são requeridas taxas de resfriamento mínimas de 11° C/s para eliminar a possibilidade da tendência de corrosão do revestimento. O revestimento é composto por duas camadas distintas, sendo a primeira uma fina camada intermetálica quaternária (composta por Al, Zn Fe e Si) e a segunda, que é o revestimento, composta pelas fases dendríticas ricas em alumínio e interdendríticas ricas em zinco. As duas fases principais do revestimento (dendrítica e interdendrítica) tem importante função na proteção contra a corrosão. A Fase dendrítica rica em alumínio promove a alta durabilidade do revestimento a partir da proteção por barreira, reduzindo assim a velocidade do consumo do revestimento durante o uso. Já a fase interdendrítica rica em zinco promove a proteção galvânica, como nos aços galvanizados. ⁽³⁻⁵⁾

As concentrações de zinco e alumínio presentes no revestimento Galvalume, conjuntamente com a morfologia microestrutural, promove a resistência à corrosão do substrato pelos dois mecanismos de proteção contra corrosão de zinco e alumínio, ou seja, proteções Galvânica e por barreira, respectivamente. A combinação desses dois mecanismos de proteção contra a corrosão confere ao Galvalume® resistência à corrosão de 2 a 4 vezes maior do que o revestimento de zinco convencional. ⁽³⁻⁵⁾

1.2.1 Formação da morfologia superficial

Os cristais característicos do Galvalume (Spangles) (Figura 4) se formam durante a solidificação do revestimento e o seu tamanho é determinado pelo processo clássico de nucleação e crescimento. O tamanho do *Spangle* pode ser influenciado por vários fatores, tais como: condição superficial (limpeza superficial, presença de óxidos e outros), rugosidade da chapa e taxa de resfriamento. O Galvalume, em geral, é fornecido com tamanho de Spangle entre 1 mm e 3 mm.



(a)



(b)

Figura 4 – Aspecto superficial típico do revestimento Galvalume. Em (a), observa-se a superfície do revestimento via microscópio ótico (aumento conforme figura). Em (b),⁽²⁾ observa-se esquema de dendrita teórica com os seus braços primários e secundários.

Cada seção do *Spangle* tem forma triangular que se estende desde o seu ponto central até o contorno do *Spangle* vizinho. Os braços das dendritas secundárias se ramificam a partir de cada um dos seis braços maiores, em intervalos regulares. O intervalo regular é chamado de Espaçamento do Braço Dendrítico (*Dendrite Arm Spacings - DAS*).⁽³⁾

A Tabela 3 mostra a influência dos principais fatores de processamento sobre o tamanho do *Spangle* do revestimento Galvalume.

Tabela 3 – Influência das principais variáveis do processo sobre o tamanho do *Spangle*⁽⁶⁾

Direção da variável	Variável do Processo	Efeito sobre o Tamanho do Spangle
↑	Taxa de resfriamento	↓
↑	Espessura da tira	↑
↑	Contaminações da superfície da tira	↓
↑	Rugosidade da tira	↓
↑	Finos de ferro na superfície da tira	↓
↑	% Silício no banho	↑
↑	Temperatura de recozimento	↑

1.3 Desenvolvimento de Produtos na ArcelorMittal

Para atendimento ao projeto da linha foi elaborado o Plano Preliminar de Qualidade da Linha de Galvanização 2. O principal objetivo das atividades foi definir o plano de desenvolvimento e processamento dos aços a serem processados na nova linha. Foram englobados no plano os revestimentos Galvalume (GL) e o Galvanized (GI).

1.3.1 Oferta inicial de produtos

Como as principais aplicações do Galvalume estão voltadas para o mercado de construção civil, inicialmente foi objetivada a produção das qualidades comerciais e de alta resistência (Família AZR, conforme NBR 15578 e norma ASTM A792A792M). A Tabela 4 exemplifica as primeiras qualidades desenvolvidas.

Tabela 4 – Qualidade desenvolvidas para o Galvalume na ArcelorMittal Vega^(7,8)

Qualidade	LE (MPa)		LR (MPa)		Al (%)
	Min	Max	Min	Max	
ASTM A792A792M - CS Type A	205	410	205	410	20
ABNT NBR 15578-2008 – AZR	-	-	-	-	-
ABNT NBR 15578-2008 – AZR 345	345	-	430	-	12

A designação de revestimento definido para produção do revestimento Galvalume foi o ASTM A792A792M - AZM150 ou AZ150 na norma brasileira (ABNT NBR 15578-2008).^(7,8)

1.3.2 – Viabilidade Dimensional

No planejamento da abertura dimensional da Linha de Galvanização 2 foram consideradas, além da especificação da linha de galvanização, a disponibilidade de matéria-prima (BQ-Bobina a Quente/*Full Hard*) e restrições de laminação a frio. A partir do momento da aprovação da produção foi desenvolvido um gráfico de viabilidade dimensional que contempla tanto a viabilidade técnica quanto as outras restrições de produção (Figura 5).

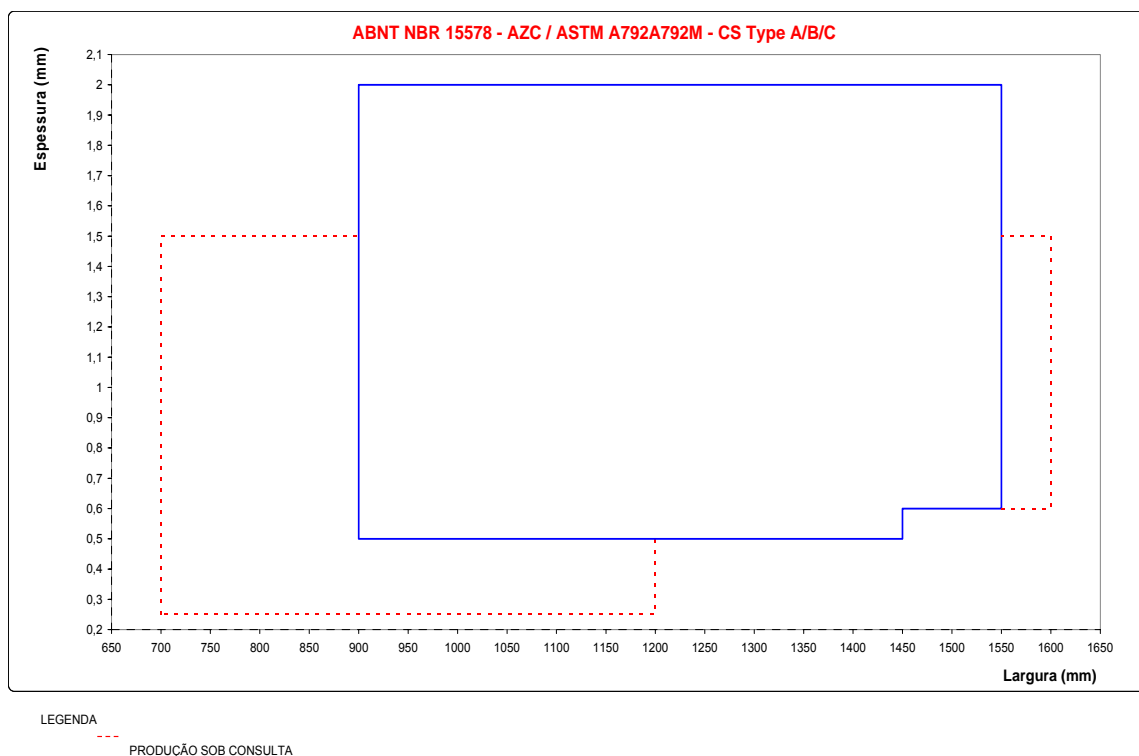


Figura 5 – Abertura dimensional CGL02 – Exemplo para os Aços Qualidade comercial.

1.3.3 Controle de qualidade

1.3.3.1 Dimensão, forma e aspecto

Para atendimento à nova linha, a partir de 2009 iniciaram-se os treinamentos voltados aos novos inspetores de qualidade. O primeiro módulo de treinamento consistiu em aprendizado prático juntamente com os inspetores de qualidade da Linha de Galvanização 1, com a finalidade de aproximar os novos inspetores às

rotinas de controle de qualidade exercidas na saída da linha de galvanização. Esse estágio inicial serviu para fixação das frequências de inspeção aplicadas aos diferentes materiais e situações onde são necessárias tomadas de decisão frente a algum tipo de problema de qualidade no material produzido. No segundo módulo, deu-se início à parte teórica, contemplando assuntos como siderurgia básica e defectologia. Num terceiro momento (2011), os inspetores foram submetidos a testes de repetibilidade (Figura 6) utilizando amostras padrão de defeitos onde se verifica a identificação do defeito, intensidade, possíveis causas e contramedidas.



Figura 6 – Mostruário de defeitos.

1.3.3.2 Análises laboratoriais

Para dar suporte à nova linha de produção e ao novo revestimento (Galvalume®) foi necessário o desenvolvimento técnicas laboratoriais para caracterização do produto e atendimento ao processo, com isso foram desenvolvidas técnicas para: Análise da composição química do pote e composição química do revestimento utilizando equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica/Plasma e Emissão Ótica, análise do tamanho do spangle usando técnicas de ataque químico e microscópio ótico, análise do tamanho do espaçamento interdendrítico-DAS e análise da espessura da camada intermetálica utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura e software de análise de imagem. Foram aprimoradas também técnicas de auxílio ao processo de análise de defeitos.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Propriedades Mecânicas

Na produção inicial foram visadas as garantias de propriedades mecânicas da norma ASTM A792A792M - CS Type A, conforme apresentado na Tabela 4. A Figura 7 mostra os valores obtidos para as propriedades mecânicas: Limite de escoamento (LE), Limite de Resistência (LR) e Alongamento (AL). A Figura 8 apresenta a microestrutura típica do substrato para a qualidade comercial.

Baseado na análise das Figuras 7 e 8, observa-se que as propriedades mecânicas estão de acordo com as microestruturas obtidas, ou seja, microestrutura ferrítica com grão equiaxiais e cementita globular e com distribuição randômica.

Observa-se ainda grande homogeneidade microestrutural, decorrente de recristalização primária total e, ainda, algum crescimento de grão adicional. Estes fatores asseguram a qualidade do produto Galvalume da ArcelorMittal Vega em qualquer aplicação da Construção Civil (por exemplo, telhas, tapamentos laterais e perfis não estruturais).

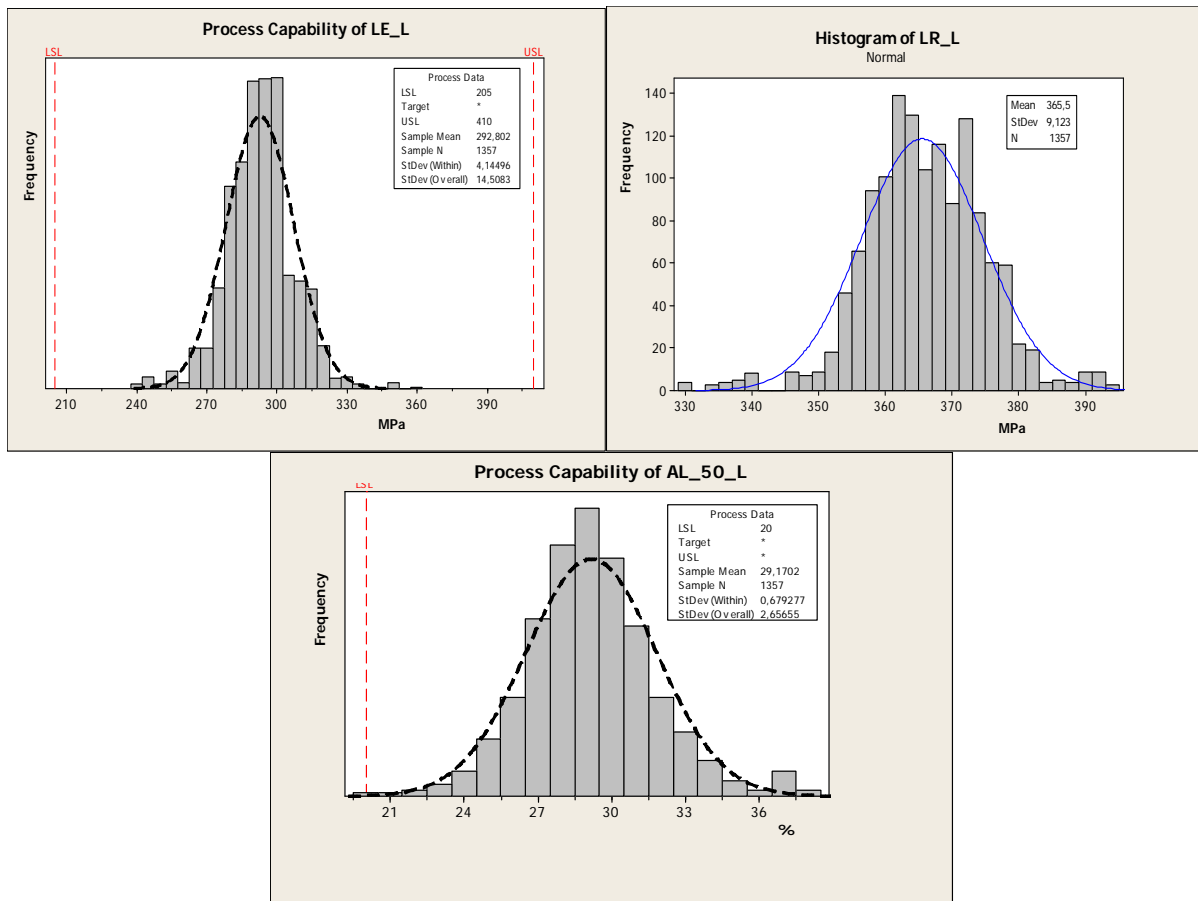


Figura 7 – Propriedades Mecânicas do Galvalume.

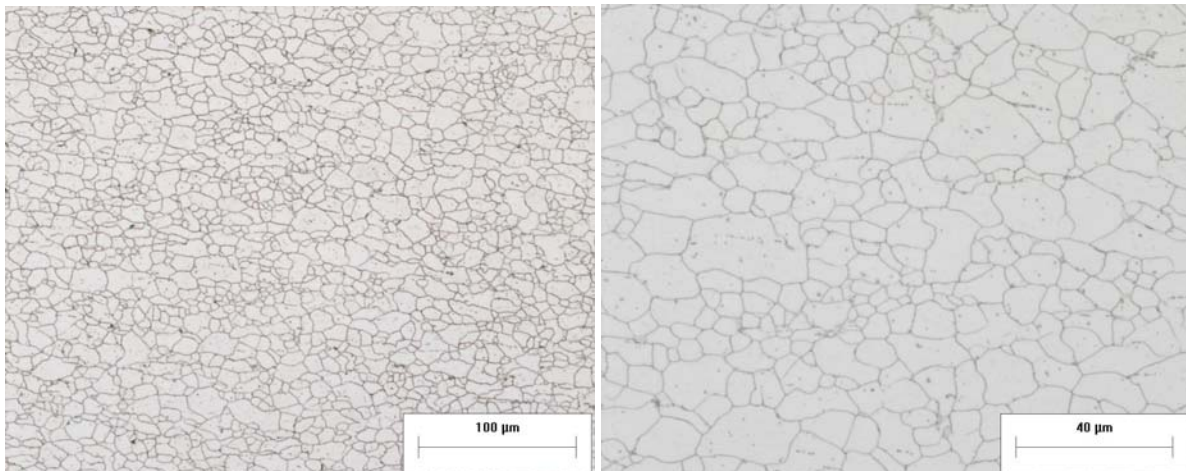


Figura 8 – Microestruturas do substrato da qualidade comercial ASTM A792A792M - CS Type A. Aumentos conforme escala.

2.2 Resultados de Massa de Revestimento

O revestimento desenvolvido inicialmente foi o AZM 150 da norma ASTM A792-A792M. Esta designação de revestimento tem requisito de massa mínima de 150 g/m² (ambas as faces) no ensaio triplo de massa de revestimento. A Figura 9 mostra a distribuição típica dos pesos de revestimento obtidos para a especificação AZM 150. Os resultados indicam que o Galvalume da ArcelorMittal Vega, para o peso de revestimento AZM150, atende plenamente as mais rigorosas aplicações da Construção Civil. Por exemplo, como mostrado anteriormente que o desempenho

frente à resistência à corrosão é dependente do peso de revestimento, este controle é de extrema importância, uma vez que poderá afetar a vida útil de telhas e tapamentos laterais.

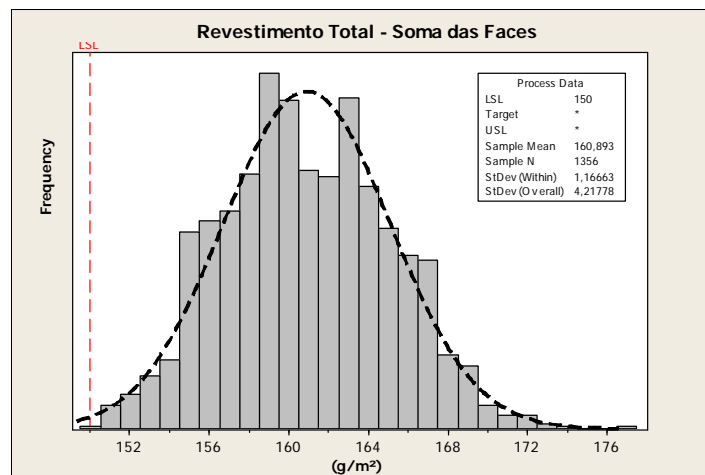
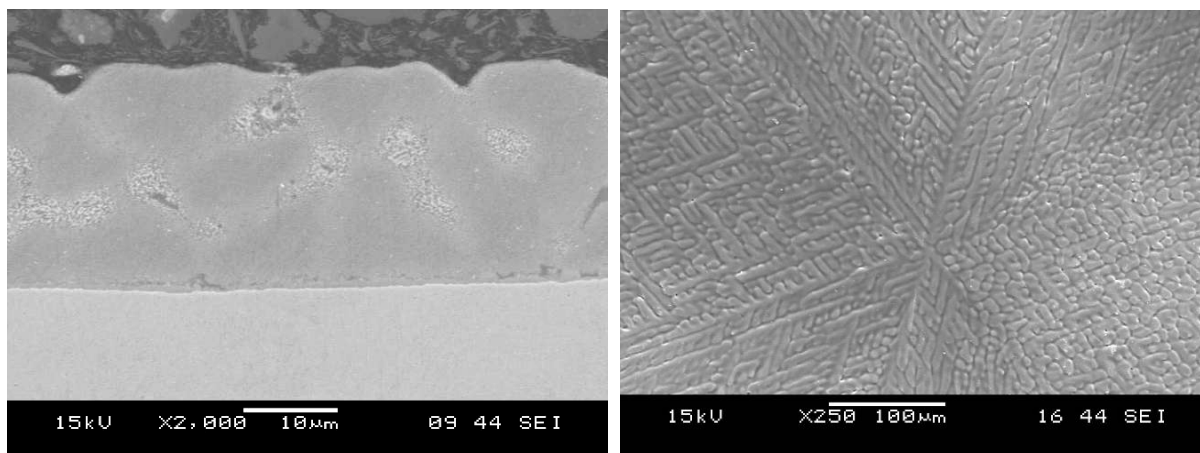


Figura 9 – Distribuição típica do peso de revestimento para o revestimento AZM 150.

2.3 Microestruturas típicas do Galvalume ArcelorMittal Vega

A microestrutura do revestimento Galvalume, conforme citado anteriormente, determina o melhor ou pior desempenho do revestimento frente aos processos corrosivos. Desta forma, todos os parâmetros de processo devem ser controlados de modo a obter uma morfologia de revestimento que não permita que a fase anódica rica em zinco crie canais partindo desde a superfície até o substrato. Ao contrário, deve-se ter uma morfologia intrincada da fase rica em zinco, conforme mostra a Figura 10. A Figura 10 mostra a seção transversal do revestimento Galvalume da ArcelorMittal Vega, onde a fase anódica (regiões claras) se comporta de maneira adequada. Este comportamento, o qual é típico para toda a faixa de espessura produzida para o revestimento Galvalume, assegura excelente desempenho frente aos processos corrosivos nos mais diversos ambientes. Esta microestrutura reflete simplesmente todo o controle de processo aplicado na linha de Galvanização 2. Todos estes fatores, quando reunidos, asseguram a qualidade do produto Galvalume da ArcelorMittal Vega nos mais rigorosos padrões internacionais de qualidade.



(a)

(b)

Figura 10 – Microestruturas do revestimento Galvalume Vega. Em (a), secção transversal do revestimento Galvalume produzido na ArcelorMittal Vega e (b), foto de superfície. Microestruturas obtidas por microscopia eletrônica de varredura e com aumentos de 2000x e 250x, respectivamente.

3 CONCLUSÃO

Baseado no trabalho realizado para desenvolvimento do Galvalume produzido na ArcelorMittal Vega, verifica-se:

- A Linha de Galvanização 02 está apta a produzir o revestimento Galvalume que atende aos padrões internacionais de qualidade de acordo com a licença fornecida pela BIEC International Inc.
- É possível atender aos requisitos de propriedades mecânicas solicitados pelas normas brasileiras e internacionais, além de identificar similaridade com as propriedades mecânicas utilizadas pelo mercado nacional.
- O resultado de peso de revestimento atende aos requisitos das normas solicitadas pelos clientes, sendo com isso indicado para as mais diversas aplicações no segmento da construção civil tais como telhas e tapamentos laterais.
- Além da produção de Galvalume para utilização in natura é possível a sua produção com laminação de encruamento para utilização em processos de pintura.

REFERÊNCIAS

- 1 Especificação Técnica - CGL02 – ArcelorMittal Vega. 2008
- 2 AlZn Coating Benchmark – Arcelor Mittal Vega and Dofasco - 2008 e 2010.
- 3 55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Research and Technology Manual; BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- 4 55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Operating Technology Manual; BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- 5 55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Marketing Manual, BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- 6 OLIVEIRA, C.F; FARIAS, C.R; SILVEIRA, C.C; COLZANI, L; CARDOSO, J.M; RAMPINELI, M., PATIL, R. Spangle size and uniformity control (2010), China – Interzac Conference - Shanghai, China – 2010.
- 7 American Society for Testing and Materials - ASTM A792A792M-02 (2002)
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15578 (2008)