

2. Processos de Revestimento e Tratamentos de Superfície	
<b>GalvInfoNote</b>	<b>Controle do Peso [Massa] do Revestimento para Chapa Galvanizada por Imersão a Quente em Processo Contínuo</b>
<b>2.5</b>	Rev 1.1jan 2011

## Introdução

Chapas galvanizadas por processo de imersão a quente são fabricadas para se igualar a normas de espessura de revestimento com exatidão. É a espessura do revestimento que determina a vida do revestimento em qualquer aplicação, mesmo que a prática normal seja especificar e fabricar tendo como parâmetro o peso do revestimento (sistema polegada-libra) ou massa do revestimento [sistema SI] por unidade de área. A razão para isso está explicada na GalvInfoNote 1.1. Já que a densidade do zinco é bem conhecida, é fácil calcular a espessura de um revestimento galvanizado uma vez que o peso [massa] do revestimento seja determinado. Esta GalvInfoNote explica como o peso [massa] do revestimento é controlado.

## Desempenho contra Corrosão

É reconhecido que, na maioria dos ambientes, a taxa de corrosão de revestimentos galvanizados é mais ou menos linear. A espessura de um revestimento, quando dobrada, aumenta aproximadamente em duas vezes a vida do produto antes do início da corrosão do aço. Por exemplo, um revestimento com espessura de 1 mil (0,001 pol.) [25,4  $\eta$ m] oferece um tempo de vida de 30 anos em um ambiente rural, e um revestimento com espessura de 2 mil (0,002 pol.) [50,8  $\eta$ m] leva cerca de 70 anos antes do aparecimento de ferrugem na chapa de aço. Esta relação – a vida do produto como função linear da espessura do revestimento – é relevante para quase todas as aplicações de chapas galvanizadas. É importante, portanto, que:

1. O cliente se certifique e solicite o peso de revestimento necessário para a aplicação que ele pretende utilizar, e
2. O fabricante da chapa galvanizada produza a correta espessura de revestimento de maneira uniforme por toda a largura da chapa e em ambas as superfícies.

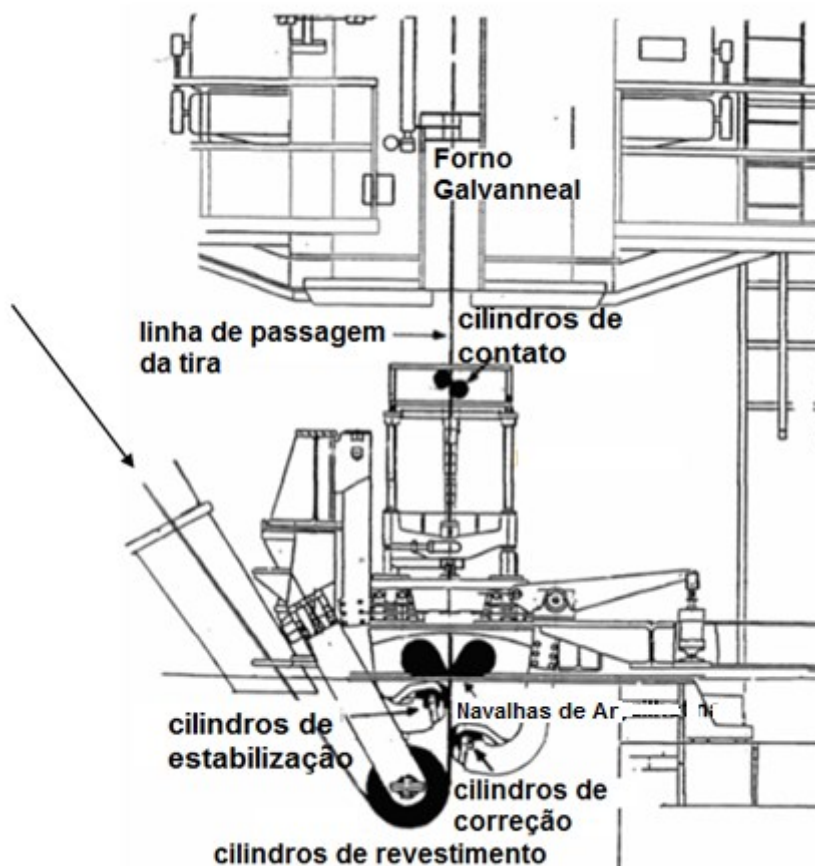
Para o cliente, é importante ter as seguintes perguntas respondidas:

1. Qual é a taxa de corrosão no ambiente em que o produto será utilizado?
2. Qual o tempo de vida útil desejado para o produto?

As respostas, então, ditarão qual peso [massa] de revestimento é necessário. Consulte a GalvInfoNote 1.6 para informações adicionais de referência sobre como selecionar o peso [massa] de revestimento adequado.

## Controlar o Peso [Massa] do Revestimento Durante o Revestimento

Linhas de revestimento modernas são muito capazes de controlar a espessura do revestimento para atender às necessidades do usuário final. Conforme visto na GalvInfoNote 2.1, estas linhas operam em altas velocidades – a 600 fpm [180 mpm] ou até mais rápidas. A essas velocidades, um equipamento muito especializado é necessário para garantir a correta espessura do revestimento que será aplicado à chapa. A Figura 1 mostra um desenho geral do equipamento de banho e uma linha de passagem da tira em uma linha moderna de revestimento por imersão a quente.



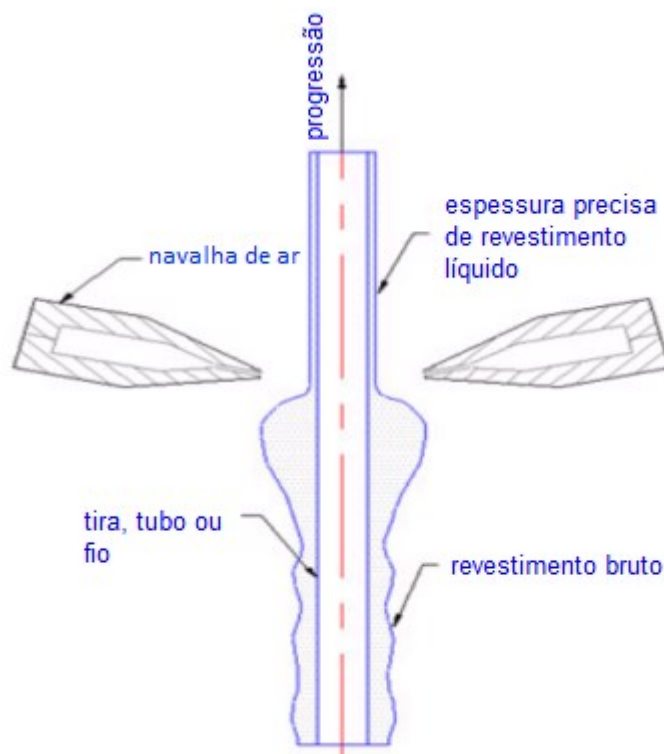
**Figura 1 Organização Geral de um Equipamento de Banho de Revestimento em uma Operação de Revestimento Contínuo por imersão a quente**

Nesta organização, a chapa sai do banho em altas velocidades e, à medida que ela sai, ela arrasta mais zinco do que é necessário para o revestimento. Quanto mais alta a velocidade da linha, mais zinco é carregado para fora do banho. A espessura do zinco na chapa é então controlada pela utilização de “navalhas de ar” que secam o excesso de zinco enquanto permitem que a quantidade desejada passe através delas.

Navalhas de ar comuns usam correntes de gás de baixa-pressão/alto volume (ar, na maior parte dos casos, mas às vezes também nitrogênio) que colidem contra as superfícies da chapa. Os ventiladores geram ar pressurizado. O ar flui do ventilador pela tubulação até uma posição paralela e adjacente à tira. Depois, o ar escapa através de uma abertura, ou orifício, precisamente projetada e confeccionada, colocada cerca de  $\frac{1}{2}$  polegada de distância da tira. O jato de ar resultante atua como uma faca, cortando o excesso de zinco fundido e forçando-o de volta na direção da superfície do banho do revestimento. A pressão/volume são os principais parâmetros de controle, embora a distância entre a navalha e o banho da tira, o ângulo das válvulas e o espaço do orifício da válvula também sejam controlados.

Sistemas de controle automáticos de peso [massa] de revestimentos que utilizam tecnologias de inteligência artificial foram instalados em muitas linhas para produzir espessuras de revestimento consistentes e com baixo desvio padrão. O grau de controle necessário depende da espessura que está sendo aplicada. Quanto mais fino o revestimento, maior o controle necessário. Conforme mostrado na Figura 1, o fabricante pode utilizar um conjunto de pequenos cilindros localizados imediatamente abaixo da superfície do banho de zinco para manter a chapa uniformemente distante de cada orifício de válvula. Esta organização de cilindros, ou outra similar, é muito importante para obter a espessura de revestimento uniforme desejada em ambos os lados da chapa. A

Figura 2 é um esquema em corte transversal de uma operação de válvulas de guilhotina. Além da chapa ou tira plana, esta tecnologia é também utilizada ao revestir fios ou tubos.



Fonte: [www.coatingcontrol.com](http://www.coatingcontrol.com)

Figura 2: Esquema de Operação de Navalha de Ar

## Faixa de Pesos [Massa] de Revestimento em Chapa Galvanizada

Há limitações para espessura mínima/máxima de revestimento que pode ser aplicada em chapas galvanizadas por processo contínuo..

### Espessura Mínima do Revestimento

A espessura mínima é limitada primariamente pela quantidade de ar (pressão e volume) que é prática para utilizar durante a fabricação. À medida que a pressão e o volume do ar são aumentados, ou a distância entre tira e as válvulas é diminuída, a espessura do revestimento diminuirá. O índice de diminuição da espessura do revestimento à medida que os parâmetros das válvulas são ajustados se torna limitante quando a espessura do revestimento fica abaixo de 0,00025 polegadas [6.4  $\mu$ m]. Não é um número absoluto, já que o design da navalha de ar e a velocidade de processamento determinam a espessura de revestimento mais baixa alcançável. Se a pressão e volume do ar são aumentados ainda mais, ou se as navalhas são movidas para muito perto da tira, o zinco mostra uma tendência a solidificar no local da navalha. Se isso ocorrer, obviamente não há ação de secagem.

A velocidade da chapa quando sai do banho de revestimento tem uma grande influência no volume do zinco que precisa ser seco. Quanto maior a velocidade da chapa, maior a pressão e volume do ar necessários para obter uma espessura específica de revestimento; portanto, o revestimento mais fino alcançável é influenciado pela velocidade da linha. Já que as velocidades de processamento são normalmente ditadas pelo design do forno de recozimento, é normal que uma chapa de medida fina seja processada em altas velocidades e que chapa de medida espessa sejam processada em velocidades mais baixas. É razoável esperar que os revestimentos mais finos somente sejam

possíveis em tiras com bitolas maiores. Isso é verdade, exceto por um fator de desvio. Conforme explicado na GalvInfoNote 2.4, a chapa e o metal de revestimento reagem para formar uma camada de liga durante o tempo em que a chapa é imersa no banho de revestimento. Esta camada de liga é sólida e não pode ser eliminada pelas navalhas de ar. Quanto maior o tempo de imersão no banho, maior será a espessura da camada de liga. Portanto, a chapa pesada, sendo processada em baixas velocidades, é imersa no banho de revestimento por um tempo maior do que com a chapa leve, e ela normalmente tem uma camada de liga mais espessa. Já que a camada de liga é uma parte da espessura de revestimento total final, e não é necessariamente verdadeiro que a chapa de bitola maior possa ser revestida com revestimentos mais finos.

## Espessura Máxima do Revestimento

A espessura máxima do revestimento é limitada por um número de fatores, mas claramente um deles é a quantidade de zinco que pode ser arrastada do banho. Já que ela é administrada pela tensão de superfície do zinco líquido, a quantidade de zinco arrastada em baixas velocidades é menor do que quando em altas velocidades, então é difícil conseguir um revestimento espesso em uma chapa de grande bitola. *Lembre-se que chapas de grande bitola são normalmente processadas em baixas velocidades de linha devido às limitações do forno de recozimento.* Espera-se que as chapas de grande bitola sejam utilizadas em aplicações onde não há risco de corrosão por muitos anos (tubulação de aço corrugado, por exemplo); então, o produto necessita de um revestimento espesso. Para conseguir isso, produtores de chapas galvanizadas aplicam práticas especiais para as chapas de grande bitola alcançar revestimentos espessos. Uma dessas práticas é aumentar a aspereza da superfície do substrato do aço. A superfície áspera resulta em mais zinco arrastado em qualquer velocidade e proporciona mais “poder de aderência” para impedir que o zinco líquido escorra de volta para a chapa antes da solidificação.

Além de ser limitado pela quantidade de zinco que é arrastada do banho de revestimento, há outra limitação prática. Se o revestimento é muito espesso após passar pelas navalhas de ar em direção ao cilindro superior acima da cuba de revestimento, há a tendência de que o metal de revestimento fundido “arqueie”, simplesmente por conta da gravidade. O revestimento imediatamente adjacente à superfície do aço é “preso” ao local pela tensão de superfície entre o revestimento fundido e a camada de liga sólida na chapa de aço, áspera ou lisa. Além disso, a superfície externa do revestimento fundido tem uma camada “sólida”, mas muito fina, de óxido. Esta camada de óxido tenta segurar o revestimento fundido na posição até que ele tenha sido totalmente solidificado. Entretanto, à medida que a espessura da camada fundida aumenta, há a tendência de que o revestimento “invada” a camada de óxido e, como resultado, um afundamento local pode ocorrer. Isso resulta em uma espessura de revestimento não uniforme na superfície da chapa, que pode não ser atraente, além de afetar o prazo para aparecimento de ferrugem da chapa de aço. *O revestimento precisa ser uniformemente espesso para evitar o aparecimento irregular localizado de ferrugem vermelha.* A espessura máxima prática depende de muitas especificidades da linha de revestimento em particular, mas, realisticamente, revestimentos com espessura maior que 2 mil (0,002 pol.) [50,8 µm] geralmente têm arqueamentos em seus revestimentos.

## As Designações de Revestimento ASTM

Especificações tais como A653/A653M, da ASTM, que inclui chapas galvanizadas por processo contínuo de imersão a quente, leva em consideração as limitações que foram discutidas nas seções anteriores sobre espessura mínima/máxima. A Tabela 1 no final desta GalvInfoNote contém as designações de revestimentos que são reconhecidas na A653/A653M.

Na Tabela 1, as espessuras de revestimento máximo, G360 e G300, somente podem ser aplicadas a chapas mais espessas (para a maioria dos produtores, aproximadamente 0,060” [1.5 mm] ou maiores), e a tendência de que arqueamentos se desenvolvam em revestimentos dessa espessura é alta. Na realidade, as designações de revestimento G115 [Z350], e designações mais pesadas, normalmente têm uma espessura de chapa mínima a ser aplicada. Essa limitação varia de acordo com o produtor, conforme explicado nesta seção.

Por outro lado, o revestimento mais fino, G01, não possui espessura mínima especificada. Esta designação claramente reconhece um limite físico de espessura de revestimento alcançável. Até um revestimento G30 com

aproximadamente 0,0003 pol. [7  $\eta$ m] de espessura está além da designação mais fina alcançável em algumas linhas de revestimentos quando o processamento das chapas ocorre em altas velocidades.

## Capacidade do Produtor

A discussão precedente enfatiza a importância de determinar a espessura de revestimento específica necessária para uma dada aplicação. Isso mostra ainda que há algumas limitações muito definidas para os revestimentos mais espessos e mais finos alcançáveis em um processo contínuo por imersão a quente.

Cada linha de produção contínua por imersão a quente tem capacidades específicas com relação aos revestimentos mais espessos e mais finos que podem ser aplicados uniformemente. Estas limitações dependem de algumas características muito específicas da linha, incluindo:

- A velocidade de processamento para qualquer combinação específica de espessura/largura de chapas,
- O design do equipamento de navalhas de ar e
- A habilidade do produtor de aço em controlar o acabamento da superfície de chapa (aspereza da superfície) do aço. Uma superfície de aço áspera é necessária para revestimentos mais espessos, mas tal superfície não é aceitável em uma chapa fina, que exige uma superfície relativamente lisa.

São por estas e outras razões que os produtores possuem limites muito específicos com respeito à sua capacidade mínima e máxima de peso [massa] de revestimentos para cada uma de suas linhas de revestimentos. Normalmente, estes limites de capacidades foram desenvolvidos com base na experiência e levam em consideração as necessidades de usuários finais com relação à uniformidade da espessura do revestimento e sua aparência. Questões como conformação, soldagem e desempenho contra corrosão dependem da aplicação de uma espessura de revestimento uniforme. Para descobrir quais pesos [massas] de revestimento são produzidas como função da espessura de chapa, é necessário entrar em contato com o produtor de galvanizado pretendido.

## Outros tipos de Revestimentos por imersão a quente

Os outros tipos de produtos de chapas revestidas por imersão a quente contínua têm limitações muito parecidas com os revestimentos galvanizados com relação à espessura do revestimento. A variedade de capacidade é um pouco diferente por conta das diferenças na densidade e na viscosidade da liga do revestimento líquido em questão, mas cada tipo de produto – revestimentos de alumínio puro, revestimentos de alumínio com 5 a 11% de silicone, revestimentos com 55% de alumínio e zinco, revestimentos com 95% de zinco e alumínio – tem atributos de revestimentos metálicos que fazem com que a faixa de peso [massa] de revestimentos comercialmente disponíveis possua uma variedade definida muito específica. Se sua aplicação envolve um desses outros produtos, reconheça que é importante ter um revestimento uniformemente espesso e que a faixa de peso [massa] do revestimento comercialmente disponível foi estabelecida levando em conta muitos dos mesmos parâmetros aqui discutidos.

*Peças Galvanizadas por batelada* são feitas de uma maneira diferente de chapas galvanizada em processo contínuo e, como resultado, a faixa de espessura de revestimento comercialmente disponível é muito diferente da faixa de espessura para chapas. O processo por batelada pode aplicar revestimentos muito mais espessos. Para peças galvanizadas por batelada, o tempo de imersão – o tempo que a peça fica submersa no banho de revestimento fundido – é muito maior do que aquele para chapas galvanizadas contínuas. O fabricante se aproveita disso para permitir que a camada de liga cresça relativamente espessa, caso deseje. Já que a camada de liga proporciona uma boa proteção galvânica às peças de aço, ela é um componente vital para a vida do revestimento. Assim, itens como torres de transmissão podem ser galvanizados por batelada para proporcionar revestimentos suficientemente espessos para durar por mais de 50 anos sem manutenção.

**Tabela 1 Designações de Revestimentos para Chapas Galvanizadas por Processo de Imersão a Quente\***

Unidades	Designação do Revestimento	Peso Mínimo de Revestimento** (oz/ft <sup>2</sup> )
	G01	Sem mínimo
	G30	0,30
	G40	0,40
	G60	0,60
	G90	0,90
Polegada-Libra	G115	1,15
	G140	1,40
	G165	1,65
	G185	1,85
	G210	2,10
	G235	2,35
	G300	3,00
	G360	3,60
		Massa (g/m <sup>2</sup> )
	Z001	Sem Mínimo
	Z90	90
	Z120	120
	Z180	180
	Z275	275
SI (Métrico)	Z350	350
	Z450	450
	Z500	500
	Z550	550
	Z600	600
	Z700	700
	Z900	900
	Z1100	1100

\* Fonte: ASTM Annual Book of Standards Volume 01.06

\*\*Peso [massa] de revestimento mínimo, total de ambos os lados, média de ensaio triplo. Consultar a Especificação ASTMA653/A653M para exigências adicionais pertinentes a requisitos de ponto único e lado único.

## Resumo

A vida de uma chapa galvanizada é uma função direta da espessura do revestimento. Para determinar qual peso [massa] do revestimento solicitar, o cliente precisa saber tanto o tempo de vida desejado do produto quanto o índice de corrosão do ambiente ao qual ele será exposto. Linhas de revestimento modernas têm uma excelente capacidade de controlar a espessura de todos os revestimentos de zinco e de liga de zinco por imersão a quente. Para produtos galvanizados por processo contínuo de imersão a quente, os pesos de revestimento disponíveis variam de G01 a G360 [Z001 a Z1100]. A galvanização por processo de imersão a quente por batelada pode aplicar revestimentos ainda mais espessos.

Copyright © 2011

Isenção de Responsabilidade:

Artigos, relatórios de pesquisas e dados técnicos são fornecidos apenas para fins informativos. Embora os editores esforcem-se para fornecer informações precisas e atuais, a Associação Internacional de Zinco não abona os resultados das pesquisas e informações relatadas neste comunicado e se isenta de toda e qualquer responsabilidade por danos resultantes da confiança nos resultados relatados ou outras informações contidas neste comunicado, incluindo, mas não limitando a, danos acidentais ou consequentes.