



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

**FEUP**

# Análise de Bobines de Aço em Serviços Siderúrgicos

---

**CÂNDIDO MOREIRA SOARES**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA (MIEM) PELA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Opção de Produção, Desenvolvimento e Engenharia Automóvel.

Orientador: Prof. Lucas F. M. da Silva

Co-Orientador: Dr. João Pedro Rola

## Resumo

O conhecimento da formação do aço é fundamental para a compreensão da origem dos seus defeitos. O estudo do processo de produção do aço, das várias fases de laminagem e de revestimento foi um ponto de partida para o estudo e análise dos principais defeitos siderúrgicos que podem surgir em bobines de aço. As fases de laminagem são diversas e cada uma delas pode dar origem a defeitos específicos. Neste trabalho é apresentada a análise dos principais defeitos de algumas qualidades de aço que aparecem em serviços siderúrgicos assim como o tratamento e a análise laboratorial que se faz relativamente a alguns defeitos, nomeadamente, na empresa onde este trabalho foi desenvolvido.

## Abstract

The Knowledge of the formation of steel is fundamental in order to understand the origin of its defects. The study of the steel production process, the various steps of the rolling and coating was the starting point for the study and analysis of the main siderurgical defects which may arise in steel rolls. The rolling stage are diverse and each one may give rise to specific defects. In this project, an analysis is presented of the main defects for some qualities of steel which appear in some siderurgical works as well as the treatment and laboratorial analysis which is made relatively to some defaults, namely, in the company where this work was undertaken.

## Agradecimentos

- À minha mulher e aos meus filhos pelo carinho, paciência e apoio inabalável que me deu alento para continuar.
- Ao Professor Monteiro Baptista a oportunidade que me deu de fazer este projecto.
- Ao professor Lucas da Silva agradeço e expresso a minha maior gratidão pela colaboração e orientação prestada em todas as fases do projecto.
- Ao Dr. João Rola o privilégio em ser meu coordenador.
- Aos meus amigos José Drumonde e Joaquim Monteiro pelo apoio e ajuda que simpaticamente prestaram.
- À empresa Oscacer – César Rola, Lda., em particular aos seus sócios gerentes, pelo apoio incondicional que sem o qual não seria possível a realização deste projecto.

## Índice

1	Introdução .....	1
2	Descrição do aço .....	3
2.1	O que é o aço?.....	3
2.2	Processo de produção do aço .....	4
2.3	Laminagem .....	9
2.4	Laminadores .....	9
2.5	Laminagem a quente.....	10
2.6	Processo de decapagem.....	12
2.7	Laminagem a frio.....	13
2.8	Passagem de acabamento ( <i>skin pass</i> ).....	15
2.9	Galvanização.....	17
3	Defeitos siderúrgicos.....	20
3.1	Defeitos de forma.....	21
3.1.1	Dobras de laminagem ( <i>rolled in lap</i> ) .....	21
3.1.2	Telescopicidade ( <i>telescopicity</i> ).....	21
3.1.3	Bobine mal enrolada .....	22
3.1.4	Bobine ovalada .....	22
3.1.5	Bordos danificados .....	23
3.2	Defeitos de superfície .....	23
3.2.1	Carepa ( <i>seale</i> ).....	23
3.2.2	Buracos ( <i>holes</i> ) .....	24
3.2.3	Marca transversal ( <i>chatter marks</i> ).....	24
3.2.4	Marcas de cilindro ( <i>roll imprints</i> ) .....	25
3.2.5	Manchas de emulsão ( <i>emulsion marks</i> ).....	25
3.2.6	Manchas de decapado ( <i>stoppage marks</i> ) .....	26
3.2.7	Manchas de recozido ( <i>annealed stained edges</i> ) .....	26

3.2.8	Bordos queimados ( <i>burned edge</i> ) .....	27
3.2.9	Corrosão/oxidação ( <i>rust</i> ).....	27
3.2.10	Riscos ( <i>scratches</i> ) .....	28
3.2.11	Partículas de zinco nos bordos ( <i>edge particles</i> ) - bobines galvanizadas.....	28
3.2.12	Quebras de superfície ou costeletas ( <i>coil breaks</i> ).....	29
3.2.13	Casca de laranja ( <i>orange peel</i> ) .....	29
3.2.14	Bordos defeituosos ou serrilhados ( <i>defective edge</i> ).....	30
3.2.15	Chapa picada ( <i>burning</i> ) .....	30
3.2.16	Cordão ( <i>ridges</i> ).....	31
3.2.17	Zinco descascado.....	31
3.2.18	Cascas de zinco do tanque de recobrimento. ....	32
4	Controlo de qualidade.....	33
4.1	Sistema de gestão do laboratório .....	33
4.2	Amostras .....	37
4.3	Estudo da composição química .....	38
4.3.1	Aptidão à soldabilidade.....	39
4.3.2	Aptidão para a galvanização.....	40
4.3.3	Efeito dos elementos de liga nos aços .....	40
4.4	Estudo da gramagem de zinco .....	43
4.5	Microestrutura .....	44
4.6	Propriedades mecânicas .....	45
4.6.1	Provetes a utilizar .....	45
4.6.2	Ensaio de tracção.....	48
4.6.3	Dureza .....	48
4.7	Análise de defeitos e controlo de qualidade.....	49
4.7.1	Ondulação .....	49
4.7.2	Efeito de sable ( <i>camba</i> ).....	54
4.7.3	Esquadria.....	55
4.7.4	Corrosão .....	57
4.7.5	Análise do patamar de cedência .....	58
4.7.5.1	Estudo da qualidade decapada DD11 .....	58
4.7.5.2	Estudo da qualidade decapada DD13 .....	61

4.7.5.3	Estudo da qualidade laminada a frio DC06 .....	63
4.8	Reclamação de bobines danificadas .....	66
5	Conclusões.....	69
6	Sugestões para futuros trabalhos .....	71
7	Bibliografia .....	72
8	Apêndices .....	73
	Apêndice 1 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD11 (2º provete).....	73
	Apêndice 2 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD11 (3º provete).....	74
	Apêndice 3 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD13 .....	75
	Apêndice 4 – Certificado de qualidade da bobine DD13 n.º 575602.....	76
	Apêndice 5 – EN 10025-2 (2007).....	77
	Apêndice 6 – EN 10111 (2000).....	78
	Apêndice 7 – EN 10130 (2006).....	79
	Apêndice 8 – EN 10327 (2004).....	80

## Índice de Figuras

Figura 1 – Empresa Oscacer. ....	1
Figura 2 – Diagrama de equilíbrio Fe-C [1].....	4
Figura 3 – Esquema de produção do aço [2].....	5
Figura 4 – Vazamento contínuo [2].....	8
Figura 5 – As várias fases de laminagem [5] [6].....	9
Figura 6 – Esquema ilustrativo do processo de laminagem a quente [2]. ....	10
Figura 7 – Esquema ilustrativo do processo de decapagem em contínuo [2]. ....	12
Figura 8 – Trem de laminagem a frio [2].....	14
Figura 9 – Comportamento típico do patamar de cedência. ....	16
Figura 10 – Esquema ilustrativo do processo de galvanização [8].....	17
Figura 11 – Pormenor do tanque de galvanização [8]. ....	17
Figura 12 – Esquema de Bobine [9].....	20
Figura 13 – Esquema da Bobine [9].....	20
Figura 14 – Corte de uma amostra.....	33
Figura 15 – À esquerda amostra da bobine e à direita etiquetas de identificação. ....	34
Figura 16 – Ficha de controlo de bobines em laboratório. ....	37
Figura 17 – Arquivo de amostras. ....	38
Figura 18 – Espectrómetro de massa.....	39
Figura 19 – Medidor de gramagem (Modelo 6000-FS2 DELFESKO).....	43
Figura 20 – Medição da gramagem de zinco. ....	44
Figura 21 – Provete retangular.....	45
Figura 22 – Máquina para ensaios de tracção (Tensor SHIMADZU – tipo SFL-250kN AG). ....	48
Figura 23 – Durómetro de Bancada (EMCOTEST – tipo M4R 025 G3). ....	49
Figura 24 – Durómetro portátil (AFFRI).....	49
Figura 25 – Ondulação nos bordos (esquerda) e ondulação central (direita). [14].....	50
Figura 26 – Bobine com ondulação.....	50
Figura 27 – Ondulação proveniente da planadora.....	50
Figura 28 – Posição dos rolos da planadora [15]. ....	51

Figura 29 – Posição dos cilindros de aperto [15]. .....	51
Figura 30 – Medição da ondulação numa chapa. ....	52
Figura 31 – Efeito de sable [16]......	54
Figura 32 – Régua calibrada. ....	55
Figura 33 – Medição do efeito de sable. ....	55
Figura 34 – Esquematização do desvio de esquadria. ....	56
Figura 35 – Medição das diagonais de uma chapa. ....	56
Figura 36 – Provetes de chapa DD11. ....	59
Figura 37 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.....	60
Figura 38 – Provetes de chapa DD13. ....	61
Figura 39 – Gráfico de tensão deformação de três provetes de chapa DD13. ....	62
Figura 40 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DC06 sem tratamento. ...	64
Figura 41 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DC06 com aquecimento a 150°C durante 3h. ....	65
Figura 42 – Defeito na parte mais externa das espiras. ....	67
Figura 43 – Defeito no centro das espiras.....	67
Figura 44 – Defeito na parte interna das espiras. ....	67
Figura 45 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.....	73
Figura 46 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.....	74
Figura 47 – Gráfico de tensão deformação de três provetes de chapa DD13. ....	75

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Aços efervescentes, semi-calmados e calmados. Norma EN 10025-2 [4].	8
Tabela 2 – Designação dos aços laminados a quente, segundo a sua utilização.	11
Tabela 3 – Designação dos aços decapados segundo a sua utilização.	13
Tabela 4 – Notação para identificar o aspecto superficial da chapa laminada a frio.	14
Tabela 5 – Qualidade e aplicabilidade da chapa laminada a frio.	15
Tabela 6 – Notação utilizada para identificar o aspecto superficial da chapa galvanizada.	18
Tabela 7 – Designação dos aços galvanizados e respectivo significado.	19
Tabela 8 – Dobras de laminagem.	21
Tabela 9 – Telescopicidade.	21
Tabela 10 – Bobine mal enrolada.	22
Tabela 11 – Bobine ovalada.	22
Tabela 12 – Bordos danificados.	23
Tabela 13 – Carepa.	23
Tabela 14 – Buracos.	24
Tabela 15 – Marca transversal.	24
Tabela 16 – Marcas de cilindro.	25
Tabela 17 – Manchas de emulsão.	25
Tabela 18 – Manchas de decapado.	26
Tabela 19 – Manchas de recozido.	26
Tabela 20 – Bordos queimados.	27
Tabela 21 – Corrosão ou oxidação.	27
Tabela 22 – Riscos.	28
Tabela 23 – Partículas de zinco nos bordos.	28
Tabela 24 – Quebras de superfície ou costeletas.	29
Tabela 25 – Casca de laranja.	29
Tabela 26 – Bordos defeituosos ou serrilhados.	30
Tabela 27 – Chapa picada.	30
Tabela 28 – Cordão.	31

Tabela 29 – Zinco descascado. ....	31
Tabela 30 – Cascas de zinco do tanque de recobrimento.....	32
Tabela 31 – Resultados da análise da gramagem do zinco numa amostra. ....	44
Tabela 32 – Dimensões dos provetes para espessuras < 3mm.....	46
Tabela 33 – Dimensões para provetes proporcionais $\geq 3\text{mm}$ .....	47
Tabela 34 – Dimensões para provetes não proporcionais $\geq 3\text{mm}$ .....	47
Tabela 35 – Tolerâncias para a planidade de bobines laminadas a quente e decapadas. ....	52
Tabela 36 – Tolerâncias para a planidade de bobines laminadas a frio. ....	53
Tabela 37 – Tolerâncias para a planidade de bobines galvanizadas. ....	53
Tabela 38 – Valores obtidos no ensaio de tracção para um provete de chapa DD11. ....	60
Tabela 39 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DD13.....	62
Tabela 40 – Resultado da análise química a uma amostra de chapa DD13 .....	63
Tabela 41 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DC06 sem tratamento. ....	64
Tabela 42 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DC06 com aquecimento a $150^{\circ}\text{C}$ durante 3 h. ....	65
Tabela 43 – Valores obtidos num ensaio de tracção para um provete de chapa DD11. ....	73
Tabela 44 – Valores obtidos num ensaio de tracção para um provete de chapa DD11. ....	74
Tabela 45 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DD13.....	75

## 1 Introdução

As exigências cada vez mais crescentes por parte dos clientes levam a que as empresas apostem cada vez mais na qualidade do seu produto.

A necessária redução dos custos, dentro de uma empresa, obriga à detecção rápida de produtos não-conformes, pois caso uma não-conformidade não seja detectada a tempo, o produto final pode ser enviado para a sucata, o que acarreta prejuízos no material, na mão-de-obra e na empresa em geral.

Um dos objectivos que se pretende alcançar com este projecto é dar a conhecer e avaliar os defeitos siderúrgicos para aços laminados. Com este estudo é possível minimizar as não conformidades existentes, satisfazendo, assim, as exigências dos clientes. Para a respectiva avaliação é feita uma análise em laboratório ou com uma observação directa à chapa.

O projecto foi desenvolvido na empresa Oscacer – César Rola, Lda. (Figura 1). A empresa pertence a um grupo nacional dedicado à transformação e comercialização de produtos siderúrgicos de segmentos planos e longos.



Figura 1 – Empresa Oscacer.

O projecto está dividido em três partes:

- na primeira parte é feita uma breve abordagem ao fabrico do aço, para assim, se compreender melhor os seus defeitos;
- posteriormente são apresentados os principais defeitos de forma e de superfície;
- finalmente é apresentado o laboratório da empresa e alguns defeitos analisados com mais detalhe durante a fase de produção.

## 2 Descrição do aço

### 2.1 O que é o aço?

O ferro é um mineral cinzento azulado muito abundante na natureza. Cerca de 85% do minério de ferro destina-se ao fabrico do aço, partindo de um produto denominado gusa.

O aço é uma liga Ferro - Carbónica, que apresenta boas características de ductilidade, dureza, densidade e resistência ao desgaste, cujo teor em carbono varia aproximadamente entre 0,02% e 2,06%. No aço, ainda, aparecem associados outros elementos como Mn, Si, S, P, Cu...

Existem aços de baixo e de alto teor em carbono. Os aços que vão ser alvo de estudo são aços de baixo teor em carbono com o máximo até, aproximadamente, 0,40% de carbono. São aços cuja constituição é ferrite e perlite (mais ferrite que perlite), ou seja pertencem aos aços hipoeutectóides (variam entre 0,03% e 0,86% de carbono), conforme apresentado no diagrama de equilíbrio de Fe-C (Figura 2).

Estes têm boas características de soldabilidade e de ductilidade. São aços aptos para a pintura, para a galvanização, para a estampagem e com boas características anticorrosivas, como, por exemplo, o corten. Por isso, são de grande utilidade na indústria mecânica, civil, e processos de fabrico em geral, com excelente relação características/custo. Contudo, os aços, por vezes, apresentam imperfeições que podem originar problemas de qualidade, na indústria.

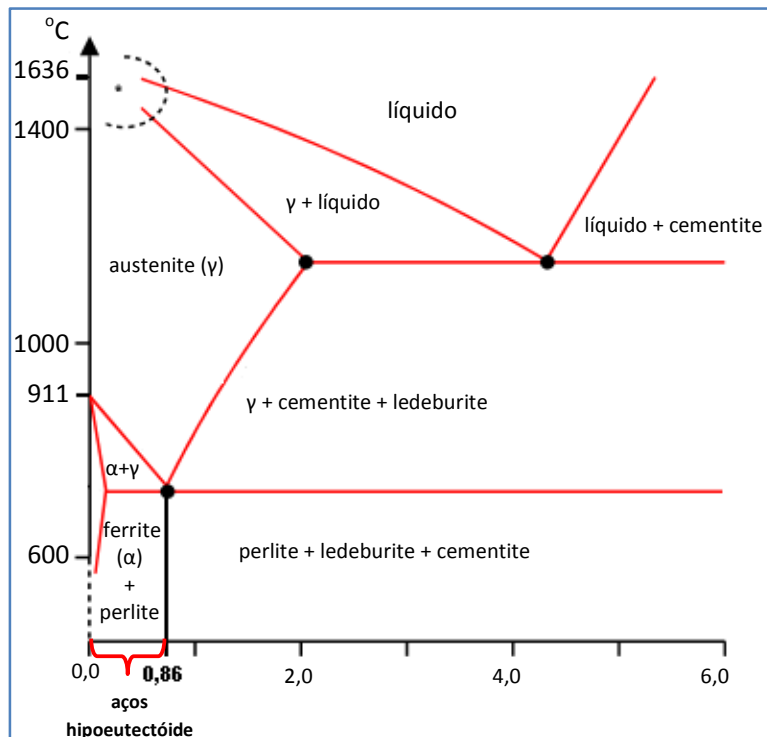


Figura 2 – Diagrama de equilíbrio Fe-C [1].

## 2.2 Processo de produção do aço

O processo de produção do aço, representado na Figura 3, passa por várias fases: preparação do minério e do carvão, redução do minério de ferro, refino, laminagem e revestimento

O minério de ferro é a principal matéria prima do alto forno. É retirada da natureza sob a forma de vários compostos: a hematite, a limonite, a magnetite, a siderite e a perite. A hematite é a mais abundante na natureza, logo a mais usada nas siderurgias. A magnetite é constituída por cerca de 72% de ferro, e como é isenta de enxofre, é considerada o melhor mineral para a produção do aço. A primeira operação numa siderurgia é a coqueificação e a preparação do minério de ferro. A coqueificação é o processo através do qual se obtém o coque, combustível que substitui o carvão de madeira, uma vez que o carvão de madeira é mais caro e tem menor resistência ao esmagamento. Com o coque conseguiu-se aumentar a produção do alto forno.

A preparação do minério de ferro consiste na redução e separação do ferro do minério dando origem aos *pellets*.

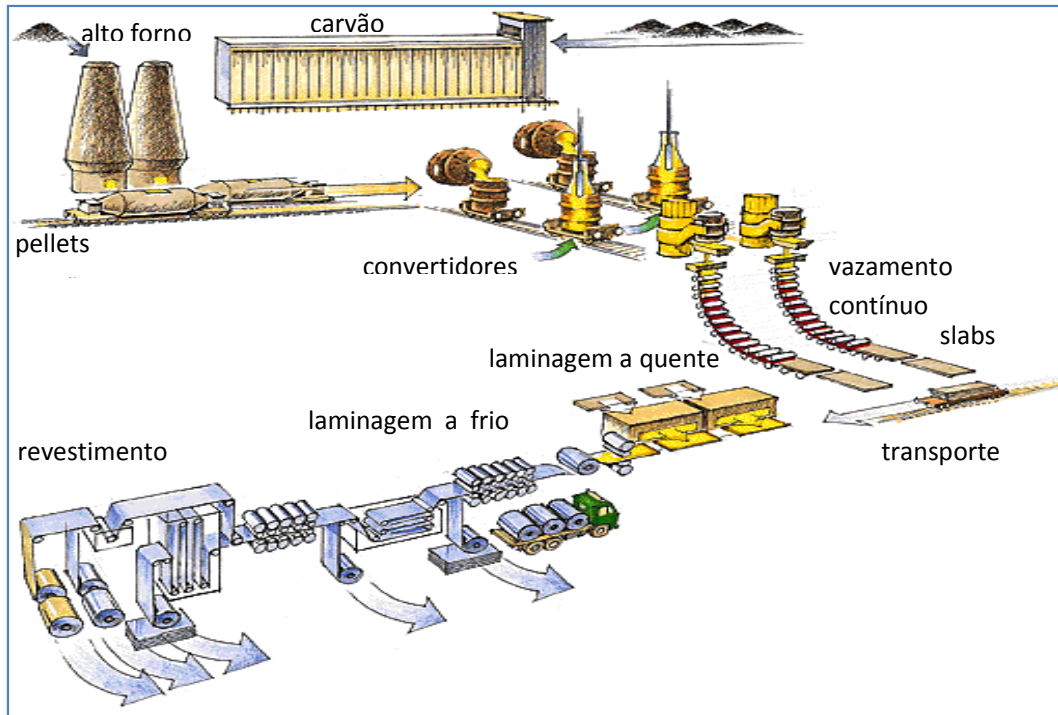


Figura 3 – Esquema de produção do aço [2].

O alto forno é carregado com camadas sucessivas e alternadas de coque, minério e fundente, cuja função é reagir com as cinzas do carvão e as impurezas do minério. O produto resultante desta reação denomina-se escória. O fundente mais usado nas siderurgias é o calcário. As temperaturas no alto forno são decrescentes de baixo para cima, com uma variação de 1600°C até 200°C. Na zona inferior do alto forno (cadinho) deposita-se o produto fundido, a gusa. Na parte superior do produto fundido encontra-se a escória que é aproveitada para a fabricação de cimento, como isolante térmico, etc.. A gusa é vazada num vagão de transporte denominado carro torpedo. O carro torpedo transporta o aço líquido (gusa) até à acesaria. Na acesaria, a gusa é colocada nos misturadores cilíndricos e basculantes,

nos quais se misturam gusas provenientes de várias sangrias do alto forno, com a finalidade de se obter as mesmas características para grandes quantidades de aço. É nos misturadores que se elimina grande parte do enxofre presente na gusa (dessulfuração da gusa). Isto consegue-se com a adição do manganês que vai reagir com o enxofre, eliminando-o. De seguida a gusa passa para os convertidores, onde se realiza a afinagem, operação que consiste em limitar a percentagem de carbono e eliminar grande parte das impurezas que acompanham a gusa (silício, manganês, fósforo, etc.). Com excepção do enxofre, que é eliminado na fase anterior, todos se eliminam por oxidação, por isso, nesta operação injecta-se oxigénio na gusa presente nos convertidores.

Também é nos convertidores que se adicionam os vários elementos químicos que se pretende que façam parte da constituição do aço. A gusa, quando sai dos convertidores, passa pelo processo de lingotamento, que poderá ser convencional ou contínuo.

No processo de lingotamento convencional, o aço é vazado em lingoteiras nas quais se formam os lingotes.

Neste processo aparecem vários defeitos siderúrgicos, como:

- rechupes (ou vazios) são cavidades ocas que aparecem na parte central do lingote, devidas à contracção do metal quando arrefecido. Uma vez que o arrefecimento dá-se da periferia para o centro e como o volume do material sólido é inferior ao do líquido, origina um vazio. Uma possibilidade de eliminar este defeito é diminuir a velocidade do arrefecimento.
- chochos (ou bolhas) são pequenas cavidades produzidas pelos gases desprendidos pelo metal fundido durante o arrefecimento e que não atingem a superfície, ficando presos no aço. Para eliminar este defeito adiciona-se

elementos de liga como por exemplo o alumínio. Este processo denomina-se desoxidação do aço.

- fendas são provocadas por tensões internas que aparecem devido à diferença de temperatura na fase de arrefecimento. Este defeito pode ser minimizado reduzindo a temperatura de vazamento.
- segregações são provocadas pelas diferentes temperaturas de solidificação dos constituintes do aço, o que ocasiona pouca homogeneidade química e estrutural. Este

defeito pode ser minimizado com um recozido de normalização para se obter uma estrutura homogénea.

No processo de lingotamento contínuo, representado na Figura 4, o aço é vazado numa lingoteira aberta em ambas as extremidades, com arrefecimento rápido que distribui o aço líquido uniformemente nos veios de lingotamento, para formar produtos semi-acabados.

Estes produtos são transformados por deformação plástica em *billets*, *blooms* e *brams* podendo ser, posteriormente, transformados noutros produtos.

Os *billets* são produtos de secção quadrada, a partir dos quais se produzem fios e barras comerciais.

Os *blooms* são produtos de secção quadrada, a partir dos quais se produzem perfis e carris.

Os *brams* são produtos de secção rectangular, a partir dos quais se produzem placas, chapas e bandas.

Este processo de lingotamento elimina uma grande parte dos defeitos do processo anterior e as segregações são reduzidas.

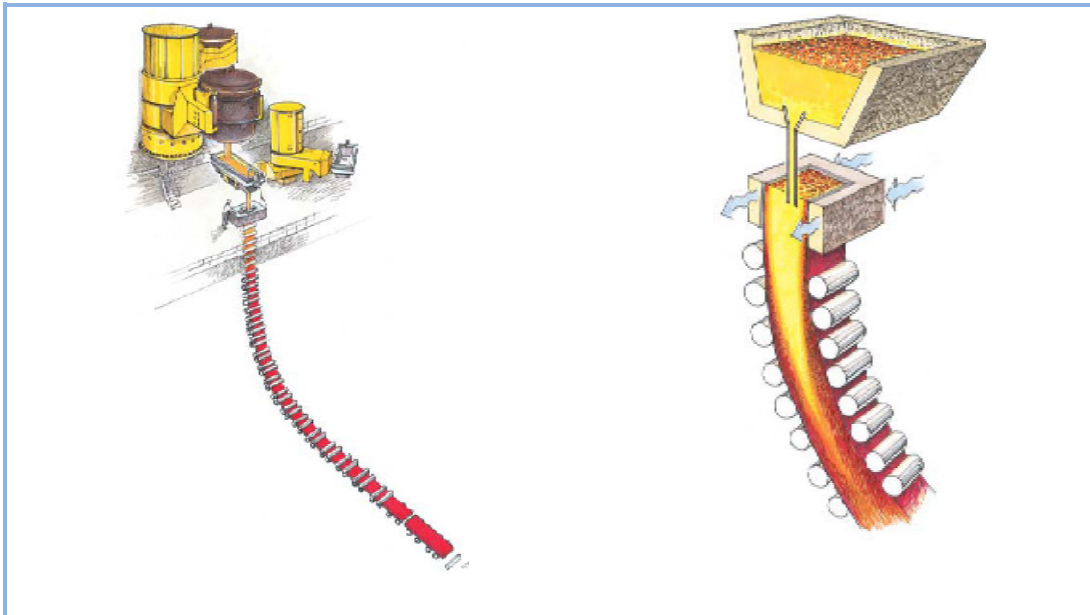


Figura 4 – Vazamento contínuo [2].

Dependendo do estado de desoxidação, o aço pode ser dividido em aços efervescentes, aços semi-calmados e aços calmados. A Tabela 1 explica a diferença dos diferentes tipos.

Tabela 1 – Aços efervescentes, semi-calmados e calmados. Norma EN 10025-2 [4].

Aços efervescentes	São aços em que a desoxidação foi incompleta, havendo despreendimento de gases durante a sua solidificação, o que origina a formação de chochos e segregações (P e S) no núcleo. É o aço que apresenta piores características mecânicas e é muito sensível ao envelhecimento.
Aços semi-calmados	São aços em que a desoxidação é parcial.
Aços calmados	São aços em que se procede a completa desoxidação, não despreendendo gases durante a sua solidificação. Normalmente utiliza-se o alumínio para calmar os aços. São os aços de melhor qualidade.

## 2.3 Laminagem

A laminagem é um processo no qual se deforma plasticamente um corpo metálico, modificando a sua geometria. Essa deformação é provocada pela pressão dos cilindros laminadores sobre o material, diminuindo assim a sua secção e aumentando o seu comprimento. A laminagem é feita em máquinas denominadas laminadores, constituídas por jogos de cilindros. Os laminadores podem ser reversíveis ou não reversíveis, em função da possibilidade de inverter-se ou não a rotação dos rolos e, portanto, laminar nos dois sentidos.

## 2.4 Laminadores

Existem diferentes tipos de laminadores. São apresentados na Figura 5 alguns exemplos:

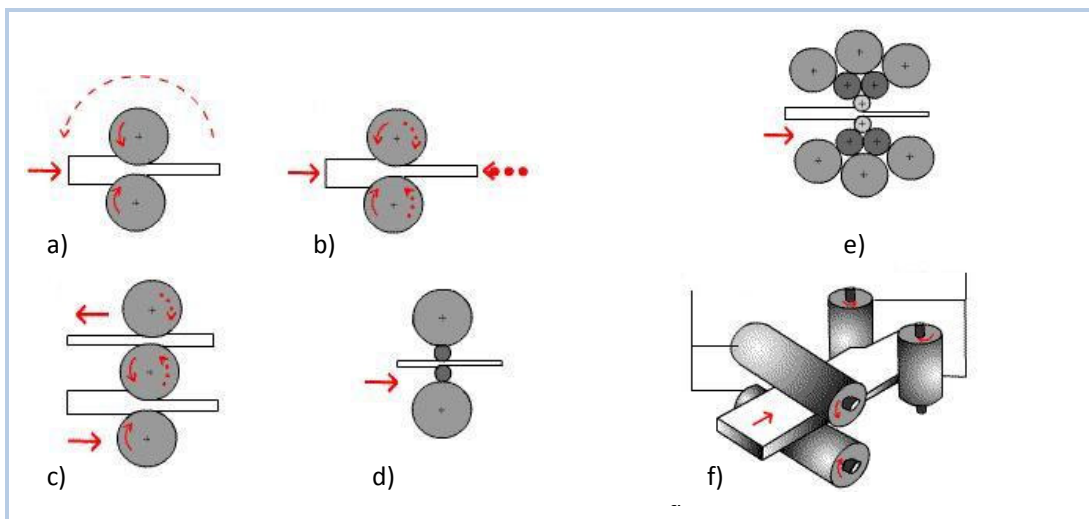


Figura 5 – As várias fases de laminagem [5] [6].

a) Laminador Duo; b) Laminador Duo reversível; c) Laminador Triuo; d) Laminador Quadruo; e) Laminador Sendzimir; f) Laminador Universal

## 2.5 Laminagem a quente

A laminagem a quente é a etapa inicial da conformação da chapa. Para se laminar a quente, as placas de aço (*brames*), ingressam ao forno de reaquecimento a cerca de 1250°C (temperatura de processamento) para facilitar o trabalho de deformação e homogeneizar a estrutura do material. De seguida, passam por um laminador (desbastador). Como o material é dúctil pode ser deformado a taxas de redução de espessura elevadas. O produto obtido chama-se *cobble plate*. De seguida, o material é sujeito a um recozido de normalização com um estágio a cerca de 1300°C. Depois, vai para a linha de redução final onde é laminado e reduzido até uma espessura de 1,5 mm. Na saída dos laminadores, arrefece-se a chapa através de jactos de água e de seguida a chapa é bobinada. Durante a laminagem, a estrutura grosseira é destruída e substituída por uma de grão mais fino. A Figura 6 ilustra um processo de laminagem a quente.

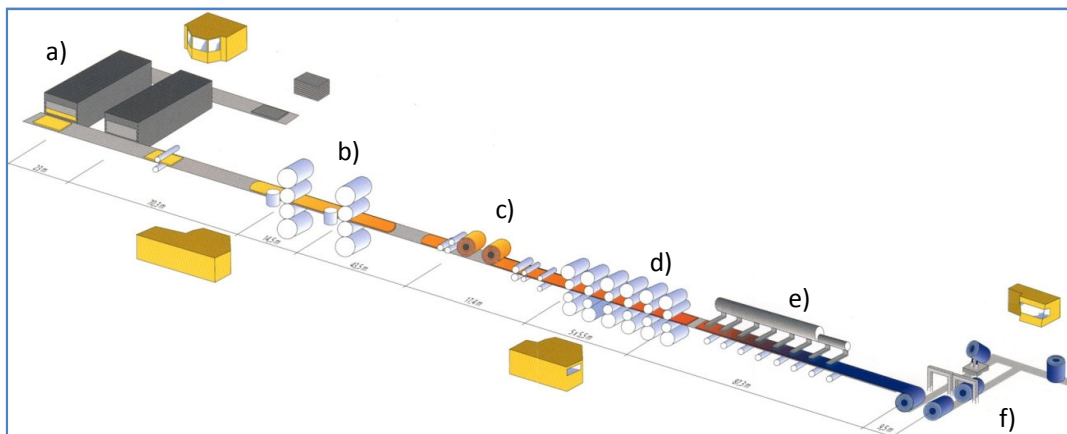


Figura 6 – Esquema ilustrativo do processo de laminagem a quente [2].

- a) Fornos de reaquecimento; b) Pré-redução; c) 1º enrolamento; d) Linha de redução final; e) Linha de arrefecimento; f) Enroladores

O objectivo da laminagem a quente é reduzir a secção inicial da peça.

A chapa laminada a quente é por vezes submetida a um processo de *skin pass*, com o objectivo de melhorar a planidade e eliminar zonas de fluência descontínua.

As bobinas laminadas a quente são vulgarmente chamadas de chapa preta ou negra devido à sua cor e aparência. É o efeito da oxidação sofrida durante a laminagem.

Os efeitos de laminagem a quente podem ser resumidos nos pontos seguintes:

- Elimina a microestrutura grosseira, sendo substituída por uma com grão mais fino.
- Inclusões não metálicas são alongadas na direcção da laminagem, causando propriedades direccionais nos produtos laminados (anisotropia), o que dá uma maior resistência no sentido da laminagem.
- Eliminação de uma grande parte de casca de óxidos (calamina)

As dimensões que se fabricam variam entre 1,5 – 15 mm para a espessura e 760 – 2500 mm para a largura.

A Tabela 2 apresenta as designações mais comuns e o respectivo significado dos aços laminados a quente.

Tabela 2 – Designação dos aços laminados a quente, segundo a sua utilização. Norma EN 10025-2.

Designação	Significado
S	Aço estrutural.
P	Aços para recipientes à pressão.
D	Aços laminados a quente, para produtos planos para deformação a frio.
J	Energia mínima consumida no ensaio de resiliência. (min KCV=27J)
2	Temperatura do provete ao realizar o ensaio de resiliência (-20°C).
G3	Estado do material, neste caso com laminagem a temperatura controlada.
N	Material com tratamento normalizado. Podem ser conformados e/ou normalizados a quente após fornecimento.
K	min KCV=40J
R	Temperatura de KCV 20°C.
O	Temperatura de KCV 0°C.
G2	Aço efervescente.
E	Aço de construção mecânica.
Numero (235, 275, 355, ...)	Valor mínimo de tensão de cedência do limite de elasticidade.
FN	Aço efervescente.
FF	Aço totalmente calorado, contendo elementos fixadores de azoto.
+AR	Bruto de laminagem. Sem condições particulares de laminagem e/ou tratamento térmico.

Por exemplo, a designação S355 J2G3 +N (ou +AR) corresponde a aço estrutural com tensão de cedência mínima garantida de 355 MPa, energia mínima consumida no ensaio de resiliência de 27 J, a temperatura do provete do ensaio de resiliência de -20°C, a condição de entrega do laminado é normalizado (ou laminado bruto).

## 2.6 Processo de decapagem

As bobines são decapadas para eliminar o óxido e a calamina formados durante o processo de laminagem a quente e o óxido produzido durante o armazenamento. A decapagem é feita através de uma solução de ácido clorídrico ou sulfúrico. Após o banho ácido, a chapa passa por fases de lavagem e secagem, para remoção do ácido residual. De seguida, a chapa pode ser submetida a um corte de bordos e a um oleamento o qual protegerá a superfície contra a corrosão. A Figura 7 ilustra o processo de decapagem em contínuo.

Em algumas chapas é feita uma passagem de acabamento denominado *skin-pass*. Parte da produção das bobines decapadas vão para a linha de laminagem a frio.

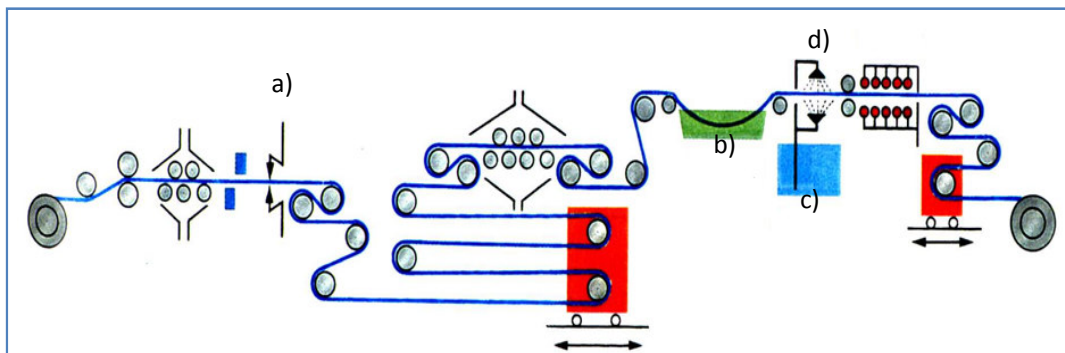


Figura 7 – Esquema ilustrativo do processo de decapagem em contínuo [2].

a) Soldadura; b) Decapagem; c) Lavagem; d) Secagem

A Tabela 3 apresenta as designações mais comuns e o respectivo significado dos aços laminados decapados.

Tabela 3 – Designação dos aços decapados segundo a sua utilização. Norma EN 10111.

Designação	Significado
D	Produto plano para deformação a frio.
D	Produto laminado a quente.
11	Embutição normal.
12	Embutição profunda.
13	Embutição profunda resistente ao envelhecimento.
14	Embutição extra profunda resistente ao envelhecimento.

Por exemplo, a designação DD14 corresponde a produto plano laminado a quente para deformação a frio de embutidura extra profunda.

## 2.7 Laminagem a frio

Os cilindros de laminagem a frio, geralmente laminadores quádruplos, produzem chapas laminadas a frio com uma alta qualidade superficial, bom formato e rigor dimensional, comparadas com as produzidas por laminagem a quente. A redução total obtida por laminagem a frio pode atingir os 50 à 90 % da espessura da chapa. Geralmente, a menor percentagem de redução é feita na última passagem para assim haver um melhor controlo dimensional e de acabamento superficial. Na Figura 8, está representado um trem de laminagem a frio.

Normalmente, após a laminagem a frio faz-se uma passagem de acabamento (*skin-pass*).

Os efeitos da laminagem a frio podem ser resumidos nos pontos seguintes:

- melhor acabamento superficial;
- superfícies regulares;
- maior resistência mecânica;
- tratamentos térmicos intermédios.

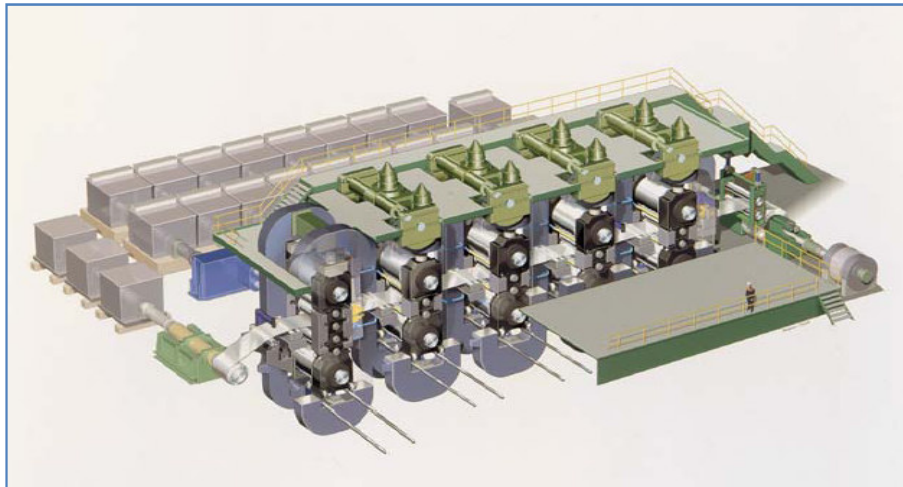


Figura 8 – Trem de laminagem a frio [2].

No laminado a frio aparecem duas qualidades de aspecto superficial:

- Qualidade A – Em ambas as faces é admissível aparecer pequenas marcas de laminagem, pequenos poros ou riscos muito leves.
- Qualidade B – Uma das faces está isenta de defeitos, o que assegura um acabamento uniforme para uma pintura de qualidade.

A Tabela 4 apresenta a notação utilizada para identificar o aspecto superficial da chapa laminada a frio assim como a respectiva rugosidade.

Tabela 4 – Notação para identificar o aspecto superficial da chapa laminada a frio. Norma EN 10130:2006.

Aspecto Superficial		
Notação	Significado	Rugosidade
b	Brilhante	$Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$
g	Semi-brilhante	$Ra \leq 0,9 \mu\text{m}$
m	Normal	$0,6 \mu\text{m} < Ra \leq 0,9 \mu\text{m}$
r	Rugoso	$Ra > 1,6 \mu\text{m}$

Na chapa laminada a frio existem diversas qualidades para diferentes ramos da indústria como por exemplo: indústria automóvel, electrodomésticos, mobiliário, etc. Para isso é necessário aplicar diferentes qualidades de chapa.

A Tabela 5 apresenta as diferentes qualidades e aplicações da chapa laminada a frio.

Tabela 5 – Qualidade e aplicabilidade da chapa laminada a frio. Norma EN 10130:2006.

Qualidade	Tipo
DC01	Comercial
DC03	Embutição moderada
DC04	Embutição média
DC05	Embutição profunda
DC06	Embutição extra profunda

## 2.8 Passagem de acabamento (*skin pass*)

O *Skin-pass*, como o próprio nome indica, é uma passagem superficial de acabamento, por laminagem, no qual há uma pequena deformação da chapa de aproximadamente 0,5 a 1,5% da sua espessura, com o objectivo de melhorar a planidade, homogeneizar a espessura e eliminar o patamar de cedência, o qual pode originar a ocorrência de bandas de Lüders.

As bandas de Lüders podem ser analisadas num provete de ensaio de tracção. São bandas que fazem um ângulo de 45° com o eixo de tracção, conforme ilustrado na Figura 9, e que vão progredindo ao longo do provete. Esta ocorrência é devida às atmosferas de Cottrell, que são pequenas quantidades de átomos intersticiais (carbono e azoto) que migram para a base das deslocações, imobilizando-as. Com o *Skin-pass*, consegue-se eliminar o patamar diminuindo o valor da resistência à deformação plástica relativamente ao material recozido.

Porém, à temperatura ambiente, as atmosferas conseguem migrar novamente para os limites do grão (deslocações), provocando o reaparecimento do patamar de cedência assim como o aumento da resistência à deformação plástica. Dependendo da qualidade da chapa, este processo pode durar dias, meses ou até nunca chegar a acontecer, como no caso das chapas contendo elementos de liga que formam carbonetos. Esses, combinam-se com o carbono evitando a formação das atmosferas de Cottrell.

O reaparecimento do patamar de cedência é designado por envelhecimento por deformação. Segundo Cottrell [3], no aço macio, o envelhecimento após deformação demora normalmente alguns dias à temperatura ambiente e cerca de 30min a 100°C. Também é possível evitar este fenómeno adicionando alumínio ou vanádio, os quais fixam o azoto sob a forma de precipitados de nitreto. Estes elementos promovem a precipitação dos átomos intersticiais numa forma estável, impedindo, assim, a sua migração.

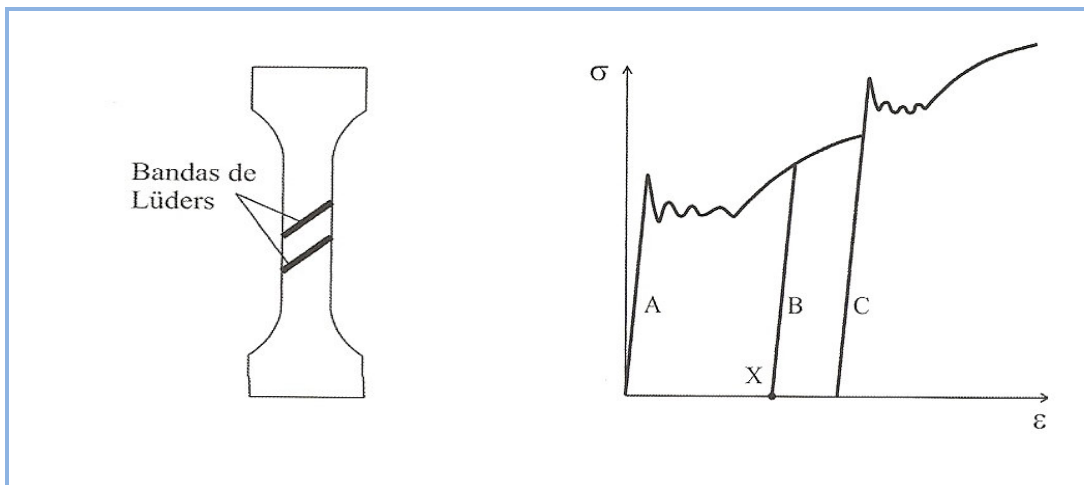


Figura 9 – Comportamento típico do patamar de cedência.

Região A, material originalmente deformado após o limite de cedência. Região B, material imediatamente tracionado após atingir o ponto X. Região C, reaparecimento e aumento do limite de cedência após envelhecimento a 150°C. [7].

Os aços calçados conseguem permanecer mais tempo estáveis do que os aços efervescentes. Nestes últimos, o azoto está livre. Nos primeiros, está combinado na forma de nitreto de alumínio.

## 2.9 Galvanização

Depois da laminagem a frio, a chapa passa para a linha de galvanização ou linha de zincagem (Figura 10).

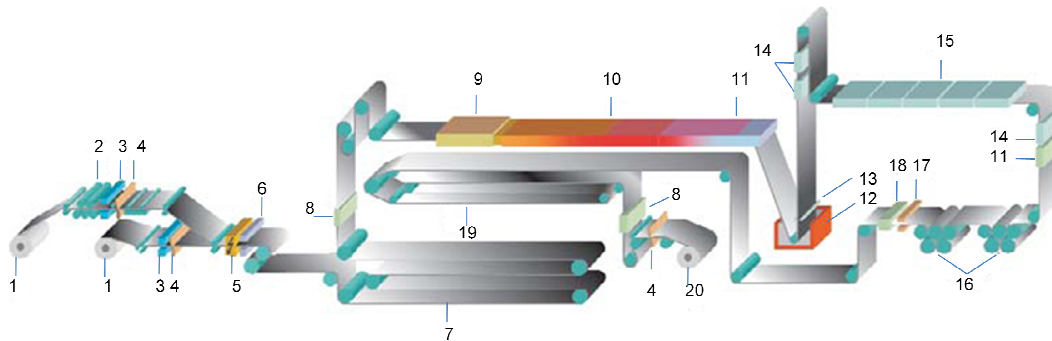


Figura 10 – Esquema ilustrativo do processo de galvanização [8].

1) Desbobinadora; 2) Planadora; 3) Medidor espessura; 4) Tesoura; 5) Máquina soldar; 6) Punção; 7) Acumulador entrada; 8) Centragem banda; 9) Pré-aquecimento; 10) Forno recozimento; 11) Arrefecimento rápido; 12) Cuba zinco; 13) Sopradores; 14) Arrefecedores verticais; 15) Arrefecedores horizontais; 16) Caixa combinada; 17) Medidor zinco; 18) Passivação; 19) Acumulador saída; 20) Bobinadora

A chapa passa por uma fase de limpeza, onde são removidos os resíduos oleosos da sua superfície. De seguida, passa por um tratamento térmico de recozido e por uma imersão num banho de zinco (Figura 11). Após a zincagem, a chapa passa por um tratamento químico chamado de passivação, que é efectuado por uma solução de ácido crómico hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) de forma a criar uma película protectora do mesmo ácido que irá proteger a superfície da humidade e reduzir a formação de oxidação branca. Recentemente, o crómio hexavalente foi substituído pelo crómio trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ) devido a agentes mutagénicos.

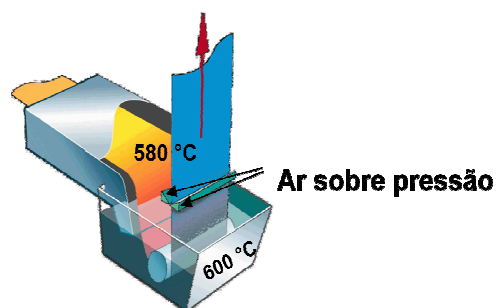


Figura 11 – Pormenor do tanque de galvanização [8].

A regulação da pressão de ar que sai das almofadas, assinaladas na Figura 11, permite regular a espessura da camada de zinco depositado sobre a superfície da chapa. Existem várias qualidades de gramagem e tolerâncias admissíveis de gramagem para uma chapa galvanizada (Apêndice 8, norma EN 10327:2004).

O zinco presente no tanque de galvanização pode ser mais ou menos espesso, dependendo da quantidade de antimónio na mistura. Um zinco mais espesso origina chapa com flor minimizada (qualidade MA, norma EN 10327:2004), devido a uma secagem mais rápida. Um zinco menos espesso origina uma flor maior (qualidade NA, norma EN 10327:2004).

Dentro da chapa galvanizada, além do revestimento, existem diversos aspectos de recobrimento que são definidos pelo aspecto superficial (ver Tabela 6) e pelo aspecto da dureza (ver Tabela 7).

**Tabela 6 – Notação utilizada para identificar o aspecto superficial da chapa galvanizada. Norma EN 10327:2004.**

<b>Notação</b>	<b>Significado</b>
<b>Aspecto do recobrimento</b>	
N	Estrela ou flor normal (média ou grande)
M	Estrela ou flor mínima
MB e MC	Sem Estrela ou flor
A	Acabamento ordinário
B	Acabamento melhorado
C	Acabamento superior
<b>Tratamento superficial</b>	
C	Passivação química
O	Oleado
CO	Passivação química e oleado
P	Fosfatado
U	Sem tratamento

Tabela 7 – Designação dos aços galvanizados e respectivo significado. Norma EN 10327:2004.

Designação	Significado
D	Produto plano para deformação a frio.
X	Sem determinação específica de laminagem.
51	Grau de deformação ou embutição normal.
52	Grau de deformação ou embutição moderada.
53	Grau de deformação ou embutição profunda.
54	Grau de deformação ou embutição extra profunda.
D	Material revestido por emersão a quente.
Z	Revestimento de zinco.
140, 200, 275,...	Gramagem de zinco.

### 3 Defeitos siderúrgicos

A qualidade de um produto é uma variável que depende, fundamentalmente, da qualidade de fabrico e processamento por forma a atender o nível de exigência do consumidor. Dentro de um sistema produtivo, as necessidades e expectativas de especificações técnicas devem ser atendidas pelo fabricante. Este deve detectar o mais rapidamente possível uma não-conformidade do produto.

Caso uma não-conformidade seja verificada, o produto final ou ainda em processamento pode ser descartado como sucata, devolvido ao fornecedor ou reaproveitado sob aceitação do cliente.

Para uma caracterização objectiva dos defeitos é necessário um conhecimento acerca da nomenclatura de uma bobine, conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13.

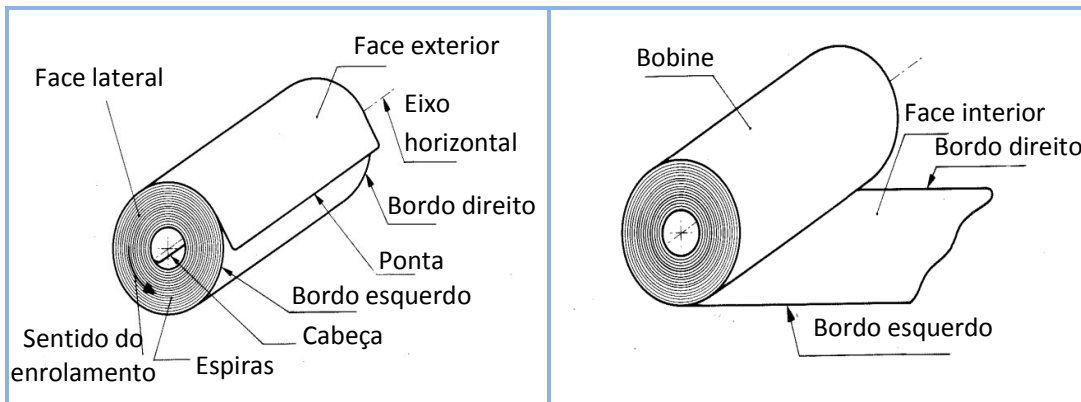


Figura 12 – Esquema de Bobine [9].

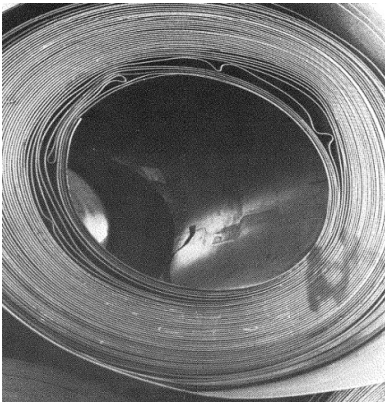
Figura 13 – Esquema da Bobine [9].

Os principais defeitos de forma e de superfície são a seguir descritos sumariamente sob a forma de tabelas. Para cada defeito é feita uma descrição do defeito, das suas possíveis causas e, ainda, como pode ser detectado e corrigido. Também é apresentada uma figura ilustrativa para uma melhor compreensão do defeito. Todos os defeitos aqui descritos são tidos em conta na análise de qualidade feita aos produtos.

### 3.1 Defeitos de forma

#### 3.1.1 Dobras de laminagem (*rolled in lap*)


Tabela 8 – Dobras de laminagem.

<b>Descrição:</b>	<b>Pregas transversais no sentido da laminagem.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Pode produzir-se por falhas provocadas durante a laminagem, ou mesmo durante a bobinagem.	
<b>Deteccção:</b>	À simples vista, mediante observação cuidadosa das faces laterais da bobine.	
<b>Acções a tomar:</b>	Fazer o cálculo do peso da parte da bobine afectada e reclamar ao fornecedor. Preencher boletim de não conformidade (B.N.C).	

Bobine com dobras de laminagem [9].

#### 3.1.2 Telescopicidade (*telescopicity*)

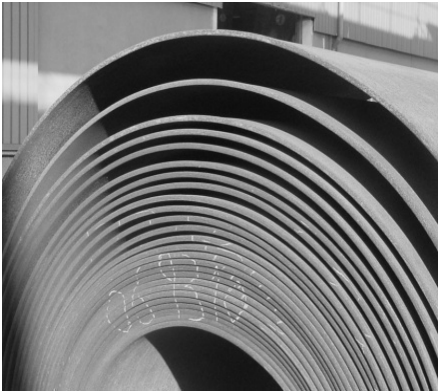
Tabela 9 – Telescopicidade.

<b>Descrição:</b>	<b>Desnível de espiras relativamente a outras, no sentido do eixo horizontal da bobine.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Mau enrolamento da bobine, ou durante a extracção da bobine do mandril; mau manuseamento da bobine afectando as espiras interiores.	
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.	
<b>Acções a tomar:</b>	Fazer o cálculo do peso e reclamar a quantidade afectada, uma vez que esta parte pode sair bastante fora de esquadria.	

Bobine com telescopicidade [9].

### 3.1.3 Bobine mal enrolada


Tabela 10 – Bobine mal enrolada

<b>Descrição:</b>	<b>Falta de contacto entre as espiras, depois de bobinado.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Baixa tensão no estirador, na altura da bobinagem. As cintas de segurança (radiais e axiais), podem ter rebentado.	
<b>Detecção:</b>	Exame visual.	
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. Reclamar a bobine. Cintar a bobine transversal e axialmente, pois os arcos podem rebentar e ser perigoso.	

Bobine mal enrolada.

### 3.1.4 Bobine ovalada


Tabela 11 – Bobine ovalada.

<b>Descrição:</b>	<b>Bobine com diâmetro interior oval, ou seja, não circular.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Bobines de espessuras finas, inferiores a 0,5 mm, mal tensionadas. Colocação de bobines mais pesadas em cima.	
<b>Detecção:</b>	Exame visual.	
<b>Acções a tomar:</b>	Verificar se o problema é interno ou se vem da siderurgia. Abrir um B.N.C. Reclamar a bobine.	

Bobine ovalada.

### 3.1.5 Bordos danificados

Tabela 12 – Bordos danificados.


<b>Descrição:</b>	<b>Bordos danificados.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Passagem forçada da bobine durante a laminagem contra elementos estáticos, por exemplo guias. Manipulação incorrecta da bobine durante o armazenamento.	
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.	
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a parte afectada da bobine.	

Bordos danificados.

## 3.2 Defeitos de superfície

### 3.2.1 Carepa (*scale*)

Tabela 13 – Carepa.

<b>Descrição:</b>	<b>Finas capas superficiais com restos de óxido de ferro, produzido durante o processo de laminagem.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Má eliminação da calamina durante o processo de laminagem. Tempos excessivos nos fornos de reaquecimento.	
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.	
<b>Acções a tomar:</b>	Verificar se a carepa afectou a superfície da chapa (chapa picada). Se afectou, abrir um B.N.C. se a bobine não for colocada em stock.	

Carepa.

### 3.2.2 Buracos (*holes*)

Tabela 14 – Buracos.

<b>Descrição:</b>	São perfurações (falhas de material) passante de uma face à outra.
<b>Possíveis causas:</b>	Falta de homogeneidade do material como consequência de rechupes, marcas dos cilindros de laminagem, carepa, grandes inclusões, bolhas, etc.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C e reclamar a quantidade afectada.

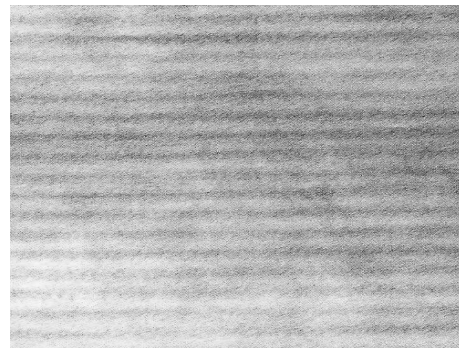


Buracos [10][11].

### 3.2.3 Marca transversal (*chatter marks*)

Tabela 15 – Marca transversal.


<b>Descrição:</b>	Marcas transversais, paralelas entre si. Aparecem devido a uma diferença de espessura na chapa.
<b>Possíveis causas:</b>	Vibrações nos cilindros de laminagem a frio. Cilindros de apoio em mau estado. Rectificação incorrecta dos cilindros.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual, medindo a espessura em vários pontos.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C.. Reclamar a bobine.



Marcas transversais [11].

### 3.2.4 Marcas de cilindro (*roll imprints*)

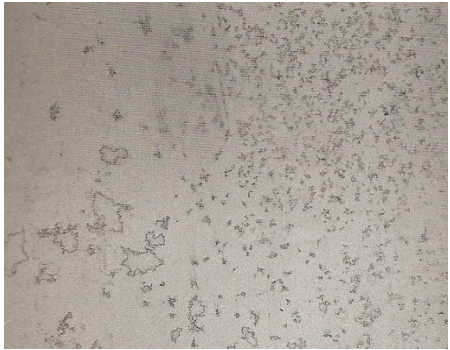
Tabela 16 – Marcas de cilindro.

<b>Descrição:</b>	<b>Marcas de baixo relevo, de forma irregular, na superfície da chapa.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Irregularidades nos cilindros de trabalho, tanto na laminagem a quente como na laminagem a frio.	
<b>Detecção:</b>	Exame visual.	
<b>Ações a tomar:</b>	Abrir um B.N.C.. Reclamar a bobine.	

Marcas de cilindro.

### 3.2.5 Manchas de emulsão (*emulsion marks*)

Tabela 17 – Manchas de emulsão.

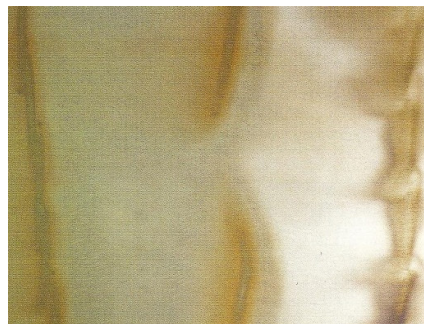
<b>Descrição:</b>	<b>Manchas escuras de tamanho e formas variáveis, distribuídas irregularmente no sentido da laminagem.</b>	
<b>Possíveis causas:</b>	Produzem-se durante a laminagem a frio. As manchas são causadas pelo óleo que ficou aderido ao aço na altura da decapagem e que não foi eliminado, ou pelos trens de laminagem contaminados de óleo.	
<b>Detecção:</b>	Exame visual.	
<b>Ações a tomar:</b>	Abrir B.N.C. e reclamar a bobine.	

Manchas de emulsão.

### 3.2.6 Manchas de decapado (*stoppage marks*)

Tabela 18 – Manchas de decapado.

<b><u>Descrição:</u></b>	<b>Manchas de grande superfície de forma irregular. As cores das manchas variam entre o branco e o castanho.</b>
<b><u>Possíveis causas:</u></b>	Tempo excessivo no tanque de decapagem, provocando um ataque químico do ácido decapante.
<b><u>Deteção:</u></b>	Exame visual.
<b><u>Acções a tomar:</u></b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Manchas de decapado [11].

### 3.2.7 Manchas de recozido (*annealed stained edges*)

Tabela 19 – Manchas de recozido.

<b><u>Descrição:</u></b>	<b>Diferentes tonalidades de cor que variam entre o cinzento e o negro, na superfície da chapa, geralmente junto aos bordos. Nalguns casos pode aparecer ao longo da superfície.</b>
<b><u>Possíveis causas:</u></b>	Têm origem durante a operação de recozido, por oxidação. Excesso de oxigénio na atmosfera protectora (fugas). Relação CO/CO <sub>2</sub> inadequada que provoca a precipitação do carbono. Restos de depósitos de óleo que ao queimaram-se deixam resíduos.
<b><u>Deteção:</u></b>	Exame visual.
<b><u>Acções a tomar:</u></b>	Abrir um B.N.C e reclamar a bobine.

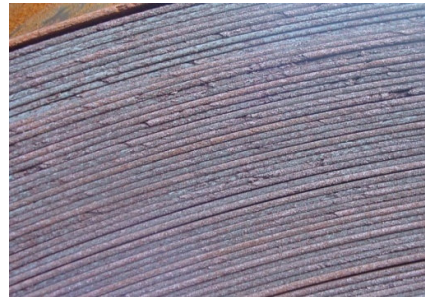


Manchas de recozimento [11].

### 3.2.8 Bordos queimados (*burned edge*)

Tabela 20 – Bordos queimados.

<b>Descrição:</b>	Pequenas falhas que aparecem queimadas nos bordos da bobine, em forma de dentes de serra.
<b>Possíveis causas:</b>	Tempo excessivo no forno ou temperatura inadequada do mesmo.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.

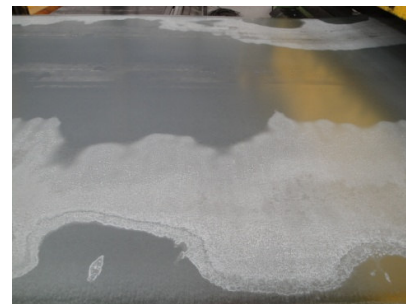


Bordos queimados.

### 3.2.9 Corrosão/oxidação (*rust*)

Tabela 21 – Corrosão ou oxidação.

<b>Descrição:</b>	Capa de oxidação do ferro na superfície da chapa. Apresenta-se em diferentes tonalidades. Sendo branca no galvanizado e electrogalvanizado, escura no laminado a frio, quente e decapado.
<b>Possíveis causas:</b>	Excesso de tempo em armazenamento ou armazenamento incorrecto. Condições ambientais de temperatura e humidade que facilitam a condensação sobre o material. Superfícies de apoio molhadas. Óleo protector inadequado. Má decapagem.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Corrosão branca.



Corrosão escura.

### 3.2.10 Riscos (*scratches*)

Tabela 22 – Riscos.

<b>Descrição:</b>	Traços de tamanho e profundidade variáveis, que marcam a superfície da chapa. Podem ser longitudinais ou transversais. Os riscos geralmente são brilhantes.
<b>Possíveis causas:</b>	Rolos ou contra-rolos da planadora defeituosos. Chapa encravada nos cilindros. Em qualquer etapa do processo do fabrico com elementos duros e estáticos (em mau funcionamento). Mau manuseamento da bobine.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual ou por tacto.
<b>Accões a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. se o risco for profundo e reclamar a parte danificada se o defeito for do fornecedor.

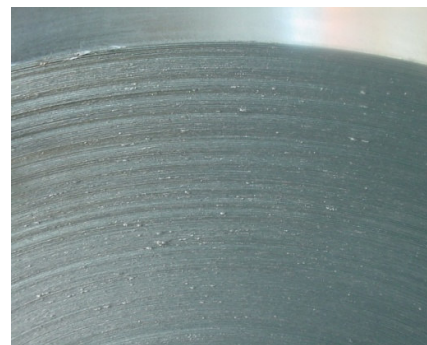


Riscos.

### 3.2.11 Partículas de zinco nos bordos (*edge particles*) - bobines galvanizadas

Tabela 23 – Partículas de zinco nos bordos.

<b>Descrição:</b>	Partículas de zinco nos bordos da bobine em forma de pequenos grãos. Geralmente aparece em chapas com espessura superior a 2 mm.
<b>Possíveis causas:</b>	Baixas pressões nas almofadas de sopro. Rugosidade nos bordos da bobine.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual.
<b>Accões a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Partículas de zinco.

### 3.2.12 Quebras de superfície ou costeletas (*coil breaks*)

Tabela 24 – Quebras de superfície ou costeletas.

<b>Descrição:</b>	Deformações lineares com relevo perpendiculares ao sentido de laminagem, que geralmente se formam com o enrolar ou desenrolar da bobine.
<b>Possíveis causas:</b>	Mau estado do mandrilo enrolador. Envelhecimento do material por armazenamento prolongado.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual e tacto.
<b>Accções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Quebras de superfície [10][11].

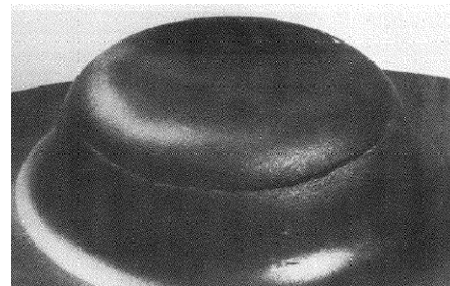


Bobine apresentando quebras de superfície.

### 3.2.13 Casca de laranja (*orange peel*)

Tabela 25 – Casca de laranja.

<b>Descrição:</b>	O aspecto é similar a uma casca de laranja. Verifica-se após deformação da chapa.
<b>Possíveis causas:</b>	Existência de grão grosseiro na chapa. Isto pode ter origem na incorrecta temperatura no processo de laminagem a quente ou no excesso de tempo no recozido.
<b>Deteccção:</b>	Exame visual após a deformação
<b>Accções a tomar:</b>	Reclamar ao fornecedor.

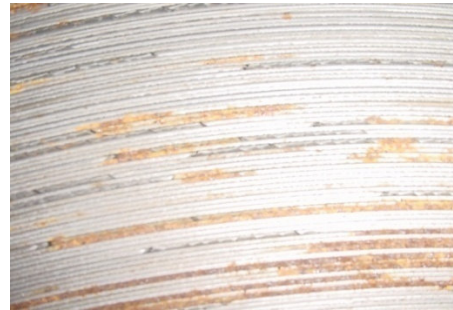


Casca de laranja [9].

### 3.2.14 Bordos defeituosos ou serrilhados (*defective edge*)

Tabela 26 – Bordos defeituosos ou serrilhados.

<b>Descrição:</b>	Pequenas falhas que se apresentam nos bordos das bobines tipo dentes de serra.
<b>Possíveis causas:</b>	Durante o processo de laminação os bordos da chapa passaram por elementos com desgaste, como por exemplo guias danificadas.
<b>Deteção:</b>	Exame visual.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Bordos serrilhados.

### 3.2.15 Chapa picada (*burning*)

Tabela 27 – Chapa picada.

<b>Descrição:</b>	Pequenas falhas de material de formas arredondadas que se apresentam ao longo da chapa.
<b>Possíveis causas:</b>	Corrosão excessiva que ao longo do tempo foi picando a chapa. Durante a laminação, pequenas inclusões não metálicas foram incluídas na superfície da chapa que com o tempo saíram.
<b>Deteção:</b>	Exame visual.
<b>Acções a tomar:</b>	Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Chapa picada.

### 3.2.16 Cordão (*ridges*)

Tabela 28 – Cordão.

**Descrição:** É uma pequena onda (uma franja estreita) que se verifica no sentido de laminagem, que aumenta à medida que o diâmetro da bobine aumenta. Geralmente propaga-se por toda a bobine.

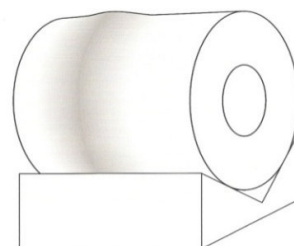


Cordão [11].

**Possíveis causas:** Provém da laminagem a quente, provavelmente devido a um defeito no cilindro de laminagem. É um defeito que não se anula na laminagem a frio.

**Detecção:** Exame visual.

**Ações a tomar:** Abrir um B.N.C.. Reclamar a bobine.



Cordão numa bobine [11].

### 3.2.17 Zinco descascado

Tabela 29 – Zinco descascado.

**Descrição:** Zinco descascado em algumas zonas da bobine, originando falta de revestimento

**Possíveis causas:** Má limpeza na chapa na altura da decapagem;  
Resíduos de óleo que não foram totalmente limpos;  
Falta de limpeza e/ou temperatura inadequada no tanque de zincagem.



Zinco descascado.

**Detecção:** Exame visual.

**Ações a tomar:** Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.

### 3.2.18 Cascas de zinco do tanque de recobrimento.

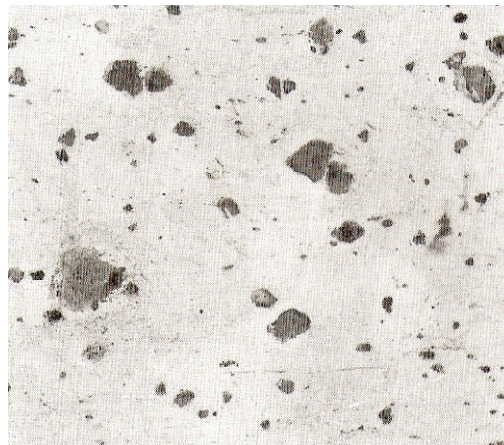
Tabela 30 – Cascas de zinco do tanque de recobrimento.

**Descrição:** Zonas de maior espessura na capa de zinco que se podem desprender em posterior defor-mação

**Possíveis causas:** Os resíduos (cascas) que se encontram na superfície do banho podem aderir-se à chapa quando esta se encontra parada ou quando se desloca com baixa velocidade.

**Detecção:** Exame visual.

**Acções a tomar:** Abrir um B.N.C. e reclamar a bobine.



Chapa picada [10].

## 4 Controlo de qualidade

Os defeitos siderúrgicos já foram tratados na secção 3. No entanto, alguns defeitos só podem ser detectados durante o processo de fabrico. São esses que são tratados nesta secção.

Segundo Milan [12], dentro do sector metalomecânico, as principais especificações de ordem técnica a serem controlados são a composição química, a microestrutura, as propriedades mecânicas e o grau de defeitos.

### 4.1 Sistema de gestão do laboratório

Quando as bobines chegam à empresa deve ser feita uma análise visual a cada uma delas e, aleatoriamente, deve-se seleccionar uma bobine de cada qualidade e retirar uma amostra. A amostra deve ser retirada da parte da cabeça da bobine utilizando uma rebarbadora ou um tico-tico, como mostra a Figura 14.



Figura 14 – Corte de uma amostra.

As amostras devem ser analisadas em laboratório e os resultados das análises devem ser comparados com os especificados no certificado de qualidade do fornecedor. As análises compreendem os níveis de tracção, a dureza, o revestimento, a composição química, etc.

O laboratório deve ficar com um registo de todas estas análises, assim como uma amostra para futura contra análise. Por opção, o registo, na empresa, é mantido durante dois anos.

Os provetes devem estar isentos de óxido. Para limpar uma amostra deve-se utilizar uma lixa de zircónio, uma vez que se trata de um elemento neutro para os aços, não interferindo na análise da composição química, uma vez que é ignorado pelo espectrómetro de massa. Uma lixa normal contém silício e outros elementos que influenciam o resultado da análise da amostra.

Todas as amostras são identificadas como aprovadas, rejeitadas ou a aguardar ensaio de inspecção, com etiquetas iguais às apresentadas na Figura 15.



Figura 15 – À esquerda amostra da bobine e à direita etiquetas de identificação.

Os fornecedores da empresa devem estar categorizados, ou seja, deve haver um conhecimento, que deverá estar registado, das não conformidades das bobines fornecidas. Isto permite fazer um maior controlo dos fornecedores com mais casos de não conformidades.

Relativamente aos clientes, também deverá existir uma lista por níveis de exigência e aplicabilidade do material como por exemplo, indústria automóvel, mobiliário, etc. Desta forma é possível fazer um controlo mais pormenorizado do material a ser entregue aos clientes. Para os mais exigentes, deverá ser retirada uma amostra, na linha de corte, e analisá-la em laboratório.

O laboratório deverá estar sempre disponível para cooperar com os clientes, no esclarecimento de dúvidas e no que diz respeito à qualidade do material fornecido.

O laboratório fica com uma cópia de todas as análises para evitar possíveis alterações.

A calibração dos materiais deve ser entregue a uma entidade competente, ou seja, uma entidade que trabalhe em conformidade com a norma EN 17025.

O laboratório deve melhorar continuamente o seu método de trabalho e recolha de análises. Para isso é importante que promova auditorias internas que corrijam vícios ou normas mal implementadas.

Existem vários factores que podem influenciar maus resultados:

- vícios do analista (métodos de ensaio e validação impróprios);
- falta de calibrações;
- mau estado do equipamento;
- não rastreabilidade do produto.

O laboratório deve garantir a competência e responsabilidade do pessoal que trabalha com os aparelhos, assim como garantir a sua formação contínua.

O laboratório tem capacidade e autoridade para validar as análises realizadas, assim como validar os produtos que não têm certificado de qualidade, comparando os resultados obtidos com os presentes na norma EN. Para este procedimento, a empresa retira quatro amostras de cada bobine, e faz uma média às análises feitas em três delas. Uma amostra permanece intacta, nos registos, para uma possível contra análise.

## 4.2 Amostras

As amostras a serem retiradas da bobine devem ter as dimensões de aproximadamente 80mmx80mm. Segundo a norma EN 10142 as amostras não devem ser inferiores a 5000 mm<sup>2</sup>, para testes de dureza, de análise química e revestimento de massa e de dimensões aproximadas de uma folha A4, donde serão retirados os provetes (apresentados no ponto 4.4.1), para testes de tracção. As amostras devem ser bem identificadas. Os resultados dos testes devem ser apresentados de forma clara e objectiva, como apresentado na Figura 16.


Ficha de Controlo de Bobines																												
  <b>GRUPO OSCACER</b> Largo do Gavião - Apartado 4 3880-851 Covilhã CPVE Tel: (+351) 256750280 Fax: (+351) 256750289 Email: osc@oscacer.pt Web: www.oscacer.pt				Fornecedor: <input type="text"/> Processo: <input type="text"/> Qualidade: <input type="text"/> Segundo E.N.: <input type="text"/>												Número do Documento <input type="text"/> Norma de ensaio: EN 10002-1												
				Identificação do Produto			Identificação Amostra			Propriedades Mecânicas à Temperatura Ambiente							Análise Química											
				N.º Bobine	Peso	Dimensão	N.º Provette	Orientação Provete		Tensão cedência sup. ReH min. (N/mm <sup>2</sup> )	Lim. conv. proporcionalidade σ0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Tensão rotura tracção Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Alongamento		HRB HRC	C máx %	P máx %	S máx %	Mn máx %	Si máx %	Cu máx %	Cr máx %	Mo máx %	V máx %	Ni máx %	CEV máx %	Revestimento	
								Long.	Trans.				A80 %	5,65/So %														µm
Relatório Ensaio <input type="text"/>												Departamento de Qualidade Responsável: <input type="text"/> Data: <input type="text"/> Aprovação: Conforme <input type="checkbox"/> Não Conforme <input type="checkbox"/>																

Figura 16 – Ficha de controlo de bobines em laboratório.

A ficha apresentada na Figura 16 permite ao laboratório registar as propriedades mecânicas, a constituição química e o revestimento das amostras analisadas no laboratório. Existe na ficha uma coluna para se definir o sentido do provete, ou seja, se o provete foi retirado no sentido da laminagem ou perpendicular a esta. Isto é importante definir, porque no caso do provete ter sido retirado no sentido da laminagem terá valores de ensaios de tracção mais altos. Na ficha é incluído um

espaço para o relatório final dos ensaios e outro para assinalar a conformidade ou não conformidade da bobine referente à amostra analisada.

Após as amostras terem sido analisadas são arquivadas num saco com a respectiva etiqueta de identificação (Figura 15, secção 4.1.), com a ficha de controlo de bobines, com o certificado de qualidade do fornecedor e ainda com uma amostra extra para futura contra-análise, no caso de ser necessário, conforme apresentado na Figura 17.



Figura 17 – Arquivo de amostras.

### 4.3 Estudo da composição química

O estudo da composição química tem como objectivo determinar qualitativa e/ou quantitativamente os elementos químicos que compõem o material. A determinação da composição química permite verificar se o material está dentro das especificações estabelecidas por normas europeias (EN), pela siderurgia e/ou se está em conformidade com o certificado de qualidade do fornecedor. Desse modo, pode-se determinar as possíveis irregularidades na composição química do material, ou mesmo

se um determinado material tem aptidão para determinadas aplicações, nomeadamente para a soldabilidade ou galvanização a quente.

O estudo da composição química, no laboratório da empresa, é feito através de um espectrómetro de massa, representado na Figura 18. A amostra a ser analisada é ionizada por uma fâisca eléctrica em que os iões produzidos são acelerados, através de um campo magnético, no qual se podem determinar todos os elementos químicos assim como as respectivas percentagens.



Figura 18 – Espectrómetro de massa.

#### 4.3.1 Aptidão à soldabilidade

O aumento de carbono pode prejudicar a soldabilidade de um aço, provocando fissuras, uma vez que origina microestruturas martensíticas, que são frágeis e têm tendência a fissurarem. Por esse motivo, é preferível uma estrutura ferrítica para garantir uma boa soldabilidade. A verificação do carbono equivalente (CEV) pode ser dado pela Equação 1 [17].

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Os símbolos químicos C, Mn, Cr, Mo, V, Ni e Cu representam o teor ponderal dos respectivos elementos.

Quanto menor for a percentagem do CEV, melhores são as características do aço em termos de soldadura. Para uma percentagem do CEV menor do que 0,14%, a soldabilidade de um aço é muito boa. Se a percentagem do CEV estiver compreendida entre 0,14 e 0,45, o aço requer uma soldadura cuidadosa. Se a percentagem do CEV for superior a 0,45, o aço é impróprio para a soldadura.

#### 4.3.2 Aptidão para a galvanização

Normalmente, a aptidão à galvanização é controlada pela percentagem de Si (silício) ou pela relação Si + 2,5P (fósforo), segundo a norma EN 10025-2 (2007) (Apêndice 5).

Para conseguirmos uma boa aptidão à galvanização, o Si deve ser menor ou igual a 0,03% ou a relação Si + 2,5P menor ou igual a 0,09%. Para valores superiores consideram-se aços muito difíceis de galvanizar, uma vez que esses constituintes (considerados impurezas) dificultam a aderência do zinco à chapa.

#### 4.3.3 Efeito dos elementos de liga nos aços

O ferro puro praticamente, não tem aplicação na indústria. Por isso, quase todo o ferro obtido é utilizado em ligas com carbono e outros elementos com características especiais bem definidas.

Os principais elementos de liga dos aços e sua influência são resumidos a seguir [1][13]:

- Carbono (C). O seu ponto de fusão é de 3727 °C. É provavelmente o elemento mais importante. A sua característica fundamental é proporcionar ao aço elevada dureza, limite elástico e resistência ao desgaste. No entanto, diminui a soldabilidade, a maquinabilidade e a forjabilidade.
- Silício (Si). O seu ponto de fusão é de 1410 °C. É usado essencialmente como desoxidante, pelo que é usado na afinação do grão. Aumenta o limite elástico, a resistência a tracção, a resistência ao desgaste e a resistência a corrosão.
- Manganés (Mn). O seu ponto de fusão é de 1245 °C. Tem também uma acção desoxidante. Aumenta o limite elástico, a resistência à tracção e a penetração de têmpera.
- Crómio (Cr). O seu ponto de fusão é de 1875 °C. Uma parte do teor em crómio é dissolvida na matriz, a outra parte combina-se com o carbono, formando carbonetos. O crómio aumenta, a resistência à tracção, a resistência a corrosão, a dureza, a tenacidade, a resistência ao desgaste e favorece a penetração de têmpera.
- Níquel (Ni). O seu ponto de fusão é de 1453 °C. É um elemento que se encontra dissolvido na ferrite. O níquel aumenta a resistência à corrosão, aumenta a tenacidade e a resistência à tracção. Aumenta de forma significativa o limite elástico e a resistência à fadiga.
- Molibdénio (Mo). O seu ponto de fusão é de 2610 °C. Devido aos carbonetos que forma, contribui para o afinamento do grão. Aumenta a resistência à tracção, o limite elástico e a resistência à corrosão.

- Vanádio (V). O seu ponto de fusão é de 1900 °C. Tem tendência a formar carbonetos que favorecem o aparecimento de uma estrutura de grão fino. Aumenta o limite elástico, a resistência à tracção e a resistência ao desgaste.
- Fósforo (P). O seu ponto de fusão é de 44 °C. É considerado uma impureza. Torna os aços frágeis e quebradiços. Tem tendência a diminuir a plasticidade da ferrite e a engrossar o grão dos aços.
- Enxofre (S). O seu ponto de fusão é de 119 °C. Assim como fósforo é uma das impurezas mais prejudiciais ao aço. Torna os aços frágeis e quebradiços. O enxofre aumenta a tendência a fissuração durante a soldadura.
- Alumínio (Al). O seu ponto de fusão é de 660 °C. Contribui para o afinamento do grão. É o desoxidante usado com maior frequência. Fixa o azoto e evita a sensibilidade ao envelhecimento.
- Cobre (Cu). O seu ponto de fusão é de 1083 °C. É um elemento prejudicial aos aços pois penetra nas juntas de grão, tornando-o mais frágil aquando da deformação a quente. Protege o aço contra a corrosão, aumenta o limite elástico e reduz a ductilidade.

Resumindo, os principais elementos para o aumento na resistência à tracção são C, Mn, Cr, Ni. Para aumentar a resistência a corrosão os elementos Cr, Ni, Mo, Cu, Si, são muito eficazes.

As percentagens de P e S devem ser reduzidas. Quanto menor a sua percentagem mais limpo é o aço.

#### 4.4 Estudo da gramagem de zinco

A análise de gramagem de zinco é feita através de um aparelho de análise ao revestimento (Figura 19), no qual se pode determinar quantos microns ( $\mu\text{m}$ ) tem de revestimento em cada face da chapa.



Figura 19 – Medidor de gramagem (Modelo 6000-FS2 DELFESKO).

A fórmula seguinte serve para converter as unidades de medida da gramagem de zinco de uma chapa ( $\mu\text{m}$  em  $\text{g}/\text{m}^2$  vice-versa), segundo a norma EN 10327:2004 (Apêndice 8).

$$\text{espessura de zinco } (\mu\text{m por face}) = \frac{\text{massa de zinco } \text{g}/\text{m}^2 (\text{ambas as faces})}{2 \times 7,1 \text{ g}/\text{cm}^3 (\text{densidade do zinco})} \quad (2)$$

Por exemplo para uma micragem de uma chapa com  $275 \text{ g}/\text{m}^2$ , após aplicação da Equação 2, o resultado obtido é  $19,36 \mu\text{m}/\text{face}$ .

A massa de zinco sabendo que a micragem é de  $30 \mu\text{m}/\text{face}$  dá  $426 \text{ g}/\text{m}^2$ , aplicando a Equação 2.

Dependendo da qualidade da chapa, o mínimo de gramagem admissível na chapa é dada pela tabela da norma EN 10327:2004(E) (Apêndice 8).

Foi feita uma análise à gramagem de zinco de uma amostra de chapa galvanizada Z275, como apresentado na Figura 20. Os dados obtidos estão presentes na Tabela 31.

Tabela 31 – Resultados da análise da gramagem do zinco numa amostra.

Face	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio	Média
A	21	18	20	19,7
B	18	19	19	18,7

Após estes ensaios, aplicou-se a equação 2 e o resultado obtido foi 279,7 para a face A e 265,5 para a face B, o que corresponde aos valores normais da chapa em análise (Z275), segundo a norma EN 10327:2004(E).



Figura 20 – Medição da gramagem de zinco.

#### 4.5 Microestrutura

A análise microestrutural ainda não é possível, uma vez que a empresa ainda não possui um microscópio óptico.

No futuro, é uma opção importante para o laboratório uma vez que se pode detectar defeitos intrínsecos como inclusões e o tipo e tamanho de grão.

## 4.6 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas são avaliadas através de um ensaio de tracção (alongamento, tensão de cedência, tensão de ruptura) e de um ensaio de dureza.

O ensaio de tracção requer a fabricação de um provete normalizado.

### 4.6.1 Provetes a utilizar

Os provetes utilizados são de secção rectangular como os apresentados esquematicamente na Figura 21, pois as bobines têm sempre este formato. Os provetes deverão ser preparados de modo a não afectar as características do metal. As zonas que possam ter sido endurecidas por corte a guilhotina ou corte por plasma, etc., devem de ser maquinadas.

Segundo a norma EN 10002-1 (2006), os provetes dividem-se em três tipos: provetes para espessuras menores do que 3 mm, provetes proporcionais para espessuras maiores ou iguais a 3 mm e provetes não proporcionais para espessuras maiores ou iguais a 3 mm.

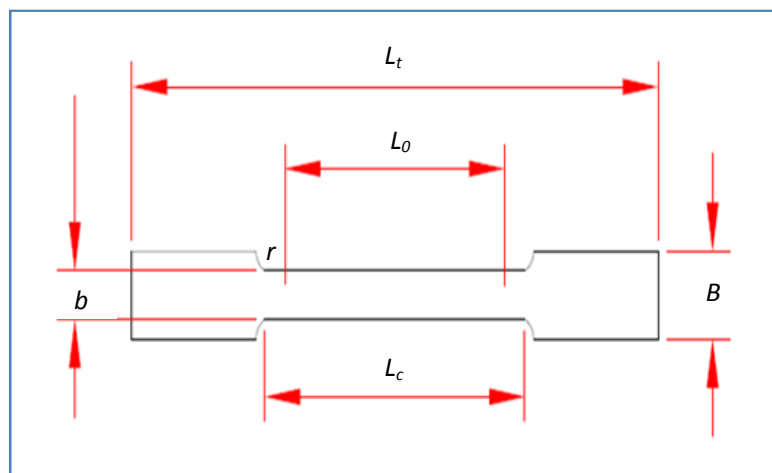


Figura 21 – Provette rectangular.

$L_t$  – comprimento total do provete;

$L_0$  – comprimento inicial entre referências;

$L_c$  – comprimento da zona útil do provete, que não deverá ser inferior a  $L_0 + b/2$ ;

$r$  – raio de concordância, que faz a transição entre a zona calibrada e as cabeças de amarração;

$b$  – largura da zona útil do provete;

$B$  – largura das cabeças de amarração.

- **Espessuras < 3mm**

Segundo o Anexo B da norma EN 10002-1 (2006), a zona útil do provete deve estar ligada à cabeça de amarração com um raio de pelo menos 20 mm. A largura da cabeça deve estar compreendida entre 20 e 40 mm.

Para provetes de largura igual ou inferior a 20 mm, a largura do provete pode ser igual em todo o seu comprimento.

O comprimento da zona útil do provete ( $L_c$ ) não deve ser inferior a  $L_0 + b/2$ ,  $L_0$  representa o comprimento inicial entre referências e o  $b$  representa a largura do provete.

Existem dois tipos de provetes, com dimensões especificadas na Tabela 32, segundo a norma EN 10002-1 (2006).

Tabela 32 – Dimensões dos provetes para espessuras < 3mm. Norma EN 10002-1.

Tipo de provete	Largura $b$ (mm)	Comprimento inicial entre referências $L_0$ (mm)	Comprimento da zona útil $L_c$ (mm)	Comprimento livre entre garras para provetes de faces paralelas (mm)
1	$12,5 \pm 1$	50	75	87,5
2	$20 \pm 1$	80	120	140

- **Espessuras  $\geq 3\text{mm}$**

O comprimento inicial entre referências  $L_0$  deve ser  $L_0=5,65x\sqrt{S_0}$

$S_0$  (secção do provete)

O comprimento total  $L_t > L_c + 2d$  ou  $4d$

Estes provetes devem, de preferência, possuir as dimensões indicadas na Tabela 33, se se tratarem de provetes proporcionais e as dimensões indicadas na Tabela 34 no caso dos provetes serem não proporcionais, segundo a norma EN 10002-1.

**Tabela 33 – Dimensões para provetes proporcionais  $\geq 3\text{mm}$ . Norma EN 10002-1.**

$d$ (mm)	Área da secção inicial da zona útil $S_0$ (mm <sup>2</sup> )	Comprimento inicial entre referências $L_0=5,65x\sqrt{S_0}$ (mm)	Comprimento mínimo da zona útil $L_c$ (mm)	Comprimento total $L_t$ (mm)
$20 \pm 0,150$	314	$100 \pm 1,0$	110	Depende do modo de fixação do provete nas garras da máquina. Em princípio: $L_t > L_c + 2d$ ou $4d$
$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	55	
$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	28	

**Tabela 34 – Dimensões para provetes não proporcionais  $\geq 3\text{mm}$ . Norma EN 10002-1.**

Largura nominal $b$ (mm)	Comprimento inicial entre referências $L_0$ (mm)	Comprimento mínimo da zona útil ( $L_c$ ) (mm)	Comprimento total aproximado ( $L_t$ ) (mm)
40	20	225	450
25	200	225	450
20	80	90	300

#### 4.6.2 Ensaio de tracção

Os ensaios de tracção permitem calcular o módulo de Young, a tensão de cedência, a tensão de ruptura, a ductilidade (deformação e após rotura coeficiente de estrição).

A máquina de ensaios de tracção da empresa é uma máquina electromecânica com uma capacidade de 250 kN, apresentada na Figura 22.



Figura 22 – Máquina para ensaios de tracção (Tensor SHIMADZU – tipo SFL-250kN AG).

#### 4.6.3 Dureza

O ensaio de dureza permite determinar a resistência que o material tem a ser penetrado. A dureza está relacionada com a resistência do material ao desgaste. O estudo da dureza é um estudo rápido e importante, pois de uma maneira rápida consegue-se determinar se uma chapa está ou não fora da especificação do grau de dureza especificado, evitando assim danificar uma máquina, ou até mesmo a matriz do cliente. Através do ensaio de dureza também é possível fazer uma estimativa bem aproximada da tensão de rotura do material (através de tabelas de conversão) [1]. Na empresa existem dois durómetros. Um de bancada que faz o estudo em HRC e HRB (Figura 23) e um portátil que analisa a dureza em HRC (Figura 24).



Figura 23 – Durómetro de Bancada (EMCOTEST – tipo M4R 025 G3).



Figura 24 – Durómetro portátil (AFFRI).

## 4.7 Análise de defeitos e controlo de qualidade

Um defeito pode ser definido como qualquer irregularidade presente no material e que pode ou não originar uma não conformidade. Diferentes valores de dureza, de tensão de ruptura, de composição química ou mesmo dimensões erradas fora do especificado podem causar problemas no produto final, podendo originar assim a abertura de um boletim de não conformidade (B.N.C.).

### 4.7.1 Ondulação

A ondulação pode aparecer num ou em ambos os bordos da bobine, ou até mesmo no centro da chapa (Figura 25).

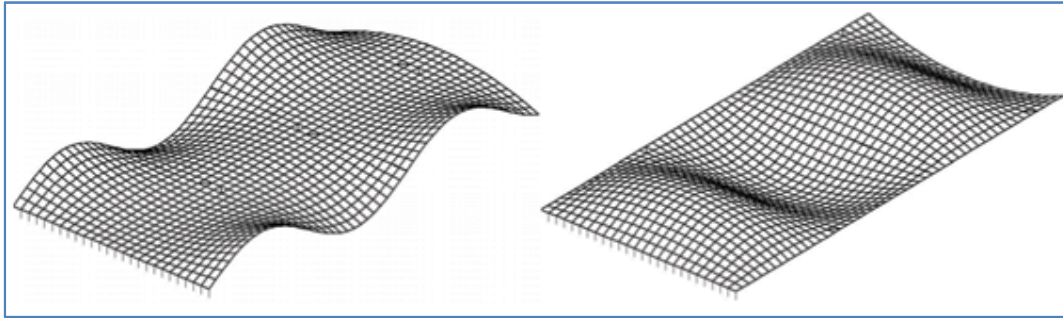


Figura 25 – Ondulação nos bordos (esquerda) e ondulação central (direita). [14]

A ondulação, geralmente, só é detectada na linha de corte. Este defeito pode ser proveniente da siderurgia ou da linha de corte. Se for um defeito siderúrgico, geralmente, é detectado na parte do desenrolador, como está representado na Figura 26. Se na saída do desenrolador a chapa se apresentar plana, o defeito tem origem na planadora da máquina de corte, como é visível na Figura 27. Neste caso, as acções a tomar estão representadas nas Figuras 28 e 29. A Figura 28 mostra como se deve trabalhar os rolos de uma planadora. São os rolos de entrada que devem ser sujeitos a aperto, pois são rolos de trabalho. Os rolos de saída devem trabalhar próximo da espessura da chapa, pois se tiverem aperto a chapa sobe.

A Figura 29 mostra como se deve trabalhar com os cilindros de aperto. Dependendo da posição da ondulação, deve-se apertar mais ou menos os cilindros.

Em muitos casos, estas acções também podem ser aplicadas quando o defeito tem origem na siderurgia, com resultados positivos.



Figura 26 – Bobine com ondulação.



Figura 27 – Ondulação proveniente da planadora.

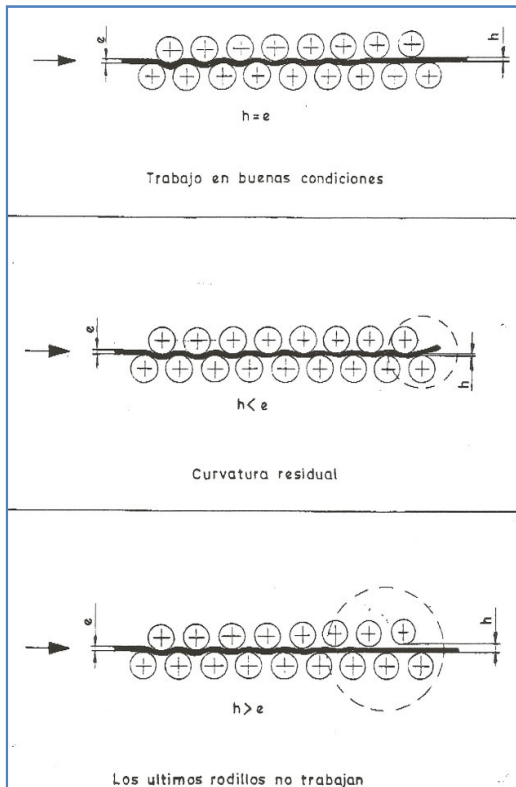


Figura 28 – Posição dos rolos da planadora [15].

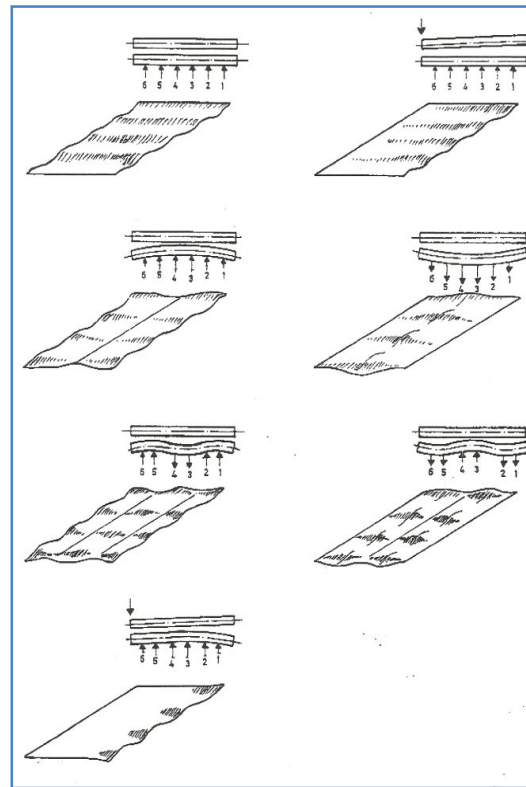


Figura 29 – Posição dos cilindros de aperto [15].

As causas possíveis da ondulação são:

- pressões diferentes sobre os extremos dos cilindros de laminagem ou nos cilindros da planadora;
- cilindros de laminagem ou cilindros da planadora não homogêneos na espessura (curvatura, desgaste,...);
- incorrecta distribuição de tensões e pressões;
- má movimentação ou má armazenagem podem ter um efeito prejudicial na planidade do produto.

A ondulação de uma chapa mede-se pela distância máxima (em mm) entre a superfície inferior da chapa e o plano horizontal sobre a qual se apoia.

Se não for possível efectuar desta forma a medição então mede-se até à face superior da chapa e desconta-se a sua espessura, conforme representado na Figura 30.



Figura 30 – Medição da ondulação numa chapa.

As tolerâncias variam segundo a qualidade da chapa.

Para as bobines laminadas a quente e decapadas, as tolerâncias da planidade são dadas segundo a norma EN 10051 (1997), conforme representado na Tabela 35.

Tabela 35 – Tolerâncias para a planidade de bobines laminadas a quente e decapadas. Norma EN 10051 (1997).

Espessura Nominal (mm)	Largura Nominal (mm)	Tolerância da planidade (mm)	Tolerância especial da planidade (mm)
≤ 2,00	≤ 1200	18	9
	>1200 ≤ 1500	20	10
	>1500	25	13
>2,00 ≤ 25	≤ 1200	15	8
	>1200 ≤ 1500	18	9
	>1500	23	12

Para as bobines laminadas a frio as tolerâncias da planidade são dadas segundo a norma EN 10131 (2006), conforme representado na Tabela 36.

**Tabela 36 – Tolerâncias para a planidade de bobines laminadas a frio. Norma EN 10131 (2006).**

Classe	Largura Nominal (l) (mm)	Espessura nominal (e)(mm)		
		$e < 0,7$	$0,7 \leq e < 1,2$	$e \geq 1,2$
Normal	$l < 600$	7	6	5
	$600 \leq l < 1200$	10	8	7
	$1200 \leq l < 1500$	12	10	8
	$l \geq 1500$	17	15	13
Especial	$l < 600$	4	3	2
	$600 \leq l < 1200$	5	4	3
	$1200 \leq l < 1500$	6	5	4
	$l \geq 1500$	8	7	6

Para as bobines galvanizadas as tolerâncias da planidade são dadas segundo a norma EN 10143 (2006), conforme representado na Tabela 37.

**Tabela 37 – Tolerâncias para a planidade de bobines galvanizadas. Norma EN 10143 (2006).**

Classe	Largura Nominal (l) (mm)	Espessura nominal (e)(mm)			
		$e < 0,7$	$0,7 \leq e < 1,6$	$0,6 \leq e < 3$	$3 \leq e \leq 6,5$
Normal	$l < 1200$	10	8		15
	$1200 \leq l < 1500$	12	10		18
	$l \geq 1500$	17	15		23
Especial	$l < 1200$	5	4	3	8
	$1200 \leq l < 1500$	6	5	4	9
	$l \geq 1500$	8	7	6	12

#### 4.7.2 Efeito de sable (camba)

O efeito de sable ou camba é a distância máxima (em mm), medida em relação ao bordo côncavo, entre o lado maior e o segmento rectilíneo, conforme ilustra a Figura 31.

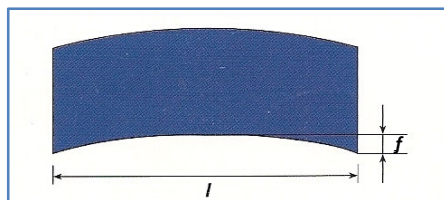


Figura 31 – Efeito de sable [16].

$l$  – comprimento da chapa.

$f$  – curvatura da chapa.

Para chapas galvanizadas e para chapas laminadas a frio a curvatura máxima admissível é por cada 2000 mm de 5 mm de curvatura, ou seja, a camba não deve exceder 0,25% do comprimento da chapa. (EN 10131(2006) e EN 10143(2006)).

Para chapas laminadas a quente e chapas decapadas, a camba não deve exceder 0,5% para um comprimento inferior a 5000 mm. Para comprimentos superiores a 5000 mm, a camba não deve exceder 20 mm para bordos brutos e não deve exceder 15 mm para bordos aparados (EN 10051(1997)).

Para detectar correctamente este desvio, é sugerido que se utilize uma régua calibrada, a qual se encosta à chapa a analisar, como está representado na Figura 32. Mede-se o desvio, de acordo com o método ilustrado na Figura 33.



Figura 32 – Régua calibrada.



Figura 33 – Medição do efeito de sable.

As causas possíveis do efeito de sable são:

- pressões diferentes sobre os extremos dos cilindros de laminagem ou nos cilindros da planadora;
- cilindros de laminagem ou cilindros da planadora não homogéneos na espessura (curvatura, desgaste, ...);
- incorrecta distribuição de tensões e pressões;
- diferença de temperatura de um bordo em relação ao outro;
- mau alinhamento do mandrilo desenrolador.

#### 4.7.3 Esquadria

A chapa fora de esquadria é um dos grandes problemas que a indústria que trabalha o aço se depara. Este problema é mais visível quando é necessário juntar duas chapas ou calandrar a chapa, pois se a diferença de diagonais for grande as extremidades das chapas não coincidem. Logo, o controlo da esquadria deve ser rigoroso numa linha de corte. Segundo as normas EN 10131(2006) e EN 10051(1997), a esquadria poderá ter

no máximo um desvio de 1% da largura real da chapa, ou seja, a medida de  $A$  da Figura 34 não deve ultrapassar 1% da largura de  $B$ .

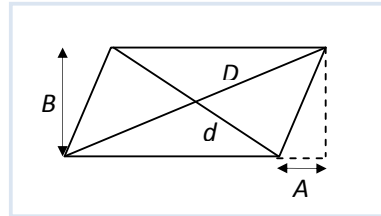


Figura 34 – Esquemática do desvio de esquadria.

$D$  – diagonal maior;  $d$  – diagonal menor;  
 $A$  – fora de esquadria;  $B$  – largura da chapa.

A Figura 35 apresenta o método utilizado na empresa para determinar o valor do desvio da esquadria. A diferença das diagonais representa o desvio da esquadria da chapa.

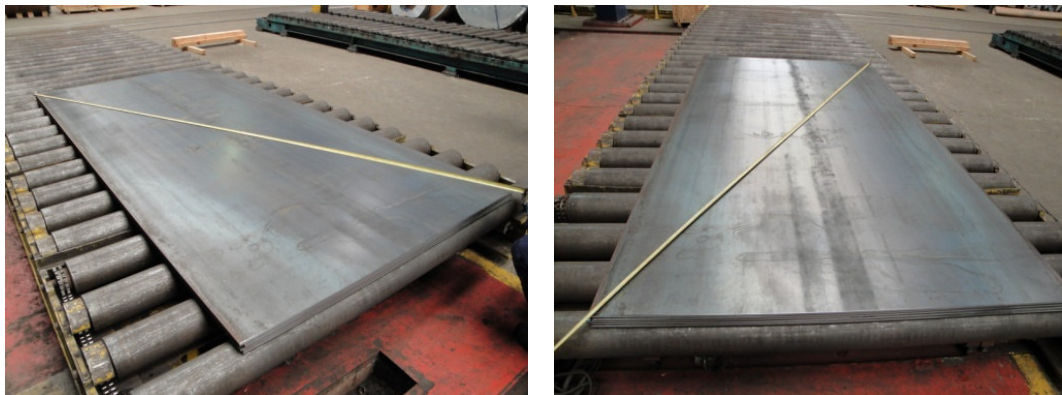


Figura 35 – Medição das diagonais de uma chapa.

As causas possíveis da chapa fora de esquadria são:

- pressões diferentes sobre os extremos dos cilindros da planadora;
- variação da espessura ao longo da largura da chapa;
- bobine com bordos incertos;
- variação na medida da largura da chapa.

#### 4.7.4 Corrosão

A corrosão é um dos graves problemas que aparece nas bobines de aço. Pode ser de dois tipos: oxidação branca, que aparece nas bobines galvanizadas e electrogalvanizadas, e a oxidação escura que aparece nas bobines polidas (LAF), decapadas, laminadas a quente, etc.. (secção 3 – 3.2.10).

Ao trabalhar uma bobine, a oxidação pode aparecer de início e permanecer até ao fim do rolo, como pode desaparecer ao fim de meia dúzia de voltas. Um bom truque para detectar se a oxidação se prolonga pela bobine é analisar os bordos da bobine, uma vez que a humidade (água), entra pelas espiras da bobine e oxida as zonas mais próximas dos bordos.

As causas possíveis da corrosão são:

- a bobine apanhou água no porto de descarga, ou durante o transporte;
- zona de armazenagem com muita humidade;
- forte condensação na zona de armazenamento em dias de chuva;
- bobines mal condicionadas (provocando a entrada de humidade).

As acções a tomar são:

- tirar fotografias da bobine e reclamar ao fornecedor, abrindo um B.N.C., se a origem da oxidação é no fornecedor. Se for um problema interno, embalar a bobine, abrir B.N.C e aguardar por uma decisão da gerência.
- Nas bobines galvanizadas, polidas, electrogalvanizadas, decapadas, etc..., quando na linha de corte não se corta a bobine na sua totalidade (resto em rolo), deve-se ter o cuidado de proteger bem a bobine, principalmente os bordos, pois é a partir destes que a humidade penetra dentro da bobine.

#### 4.7.5 Análise do patamar de cedência

Para as qualidades de chapa decapada DD13 e DD14 e para as qualidades de chapa laminadas a frio DC03, DC04 e DC05 é importante que o laboratório faça um controlo do patamar de cedência uma vez que este tipo de material tem um tempo reduzido de validade das propriedades mecânicas, segundo as normas EN 10111 e EN 10130, de seis meses. Este controlo é feito para clientes mais exigentes que utilizem embutidura profunda, nomeadamente clientes da indústria automóvel. Estes querem aços que não apresentem cedência para não aparecerem rugas nos seus embutidos.

Esta análise laboratorial deve ser feita antes da bobine ser trabalhada, evitando assim possíveis não-conformidades pois, com o tempo, nas qualidades das chapas referidas, o patamar de cedência reaparece e pode originar, no material após embutidura, o aparecimento de rugas, tornando o produto acabado inestético.

A chapa DC06, também é utilizada para embutidura extra-profunda, mas não é necessário o seu controlo em laboratório uma vez que não tem limite de tempo para as mesmas propriedades, contudo, foi analisada neste trabalho para se confirmar as suas características.

O primeiro estudo a ser feito foi na qualidade de aço decapado DD11. Apesar desta qualidade não ser utilizada para embutiduras profundas, pois trata-se de um aço de baixa qualidade (aço efervescente) relativamente aos referidos anteriormente e com um tempo reduzido de validade das propriedades mecânicas (1 mês segundo a norma EN 10111), foi utilizado para dar uma melhor perspectiva do estudo do patamar de cedência e servir como ponto de referência.

##### 4.7.5.1 Estudo da qualidade decapada DD11

O aço decapado e oleado de qualidade DD11, é um aço laminado efervescente, portanto, um aço em que a desoxidação foi incompleta. É o aço que apresenta piores características mecânicas e é muito sensível ao envelhecimento.

Os provetes utilizados para este ensaio estão representados na Figura 36 e as suas dimensões respeitam as indicadas na norma EN 10002-1.



Figura 36 – Provetes de chapa DD11.

Os três provetes foram submetidos às seguintes etapas:

Em primeiro lugar, submeteu-se cada provete a um ensaio de tracção até passar o patamar de cedência e descarregou-se o provete. De seguida, submeteu-se cada provete a um 2º ensaio e verificou-se que o patamar de cedência tinha desaparecido. Isto deveu-se ao facto de no 1º ensaio ter havido um alongamento do material que provocou uma deformação plástica homogénea que permitiu verificar as atmosferas de Cottrell. Finalmente, fez-se um 3º ensaio após aquecimento a 150°C durante 3 horas. Neste último ensaio verificou-se que reapareceu o patamar de cedência tendo aumentado a tensão de cedência. Isto aconteceu porque o estágio a 150 °C acelerou o envelhecimento do material. Os átomos intersticiais voltaram a migrar para as deslocações, bloqueando-as e provocando assim o reaparecimento do patamar de cedência.

Os resultados obtidos estão discriminados na Tabela 38 e representados no gráfico da Figura 37 para o primeiro provete.

Nos Apêndice 1 e 2, podem-se observar, as curvas de tracção para os restantes dois provetes.

Tabela 38 – Valores obtidos no ensaio de tracção para um provete de chapa DD11.

Ensaio	Referência provete	Tensão de cedência superior $\sigma_{eH}$	Tensão limite convencional de proporcionalidade $\sigma_{0,2}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1º ensaio	0911525/1/0	336,5	
2º ensaio após passar patamar de cedência	0911525/1/1		344,5
3º ensaio após aquecimento	0911525/1/A	438,9	

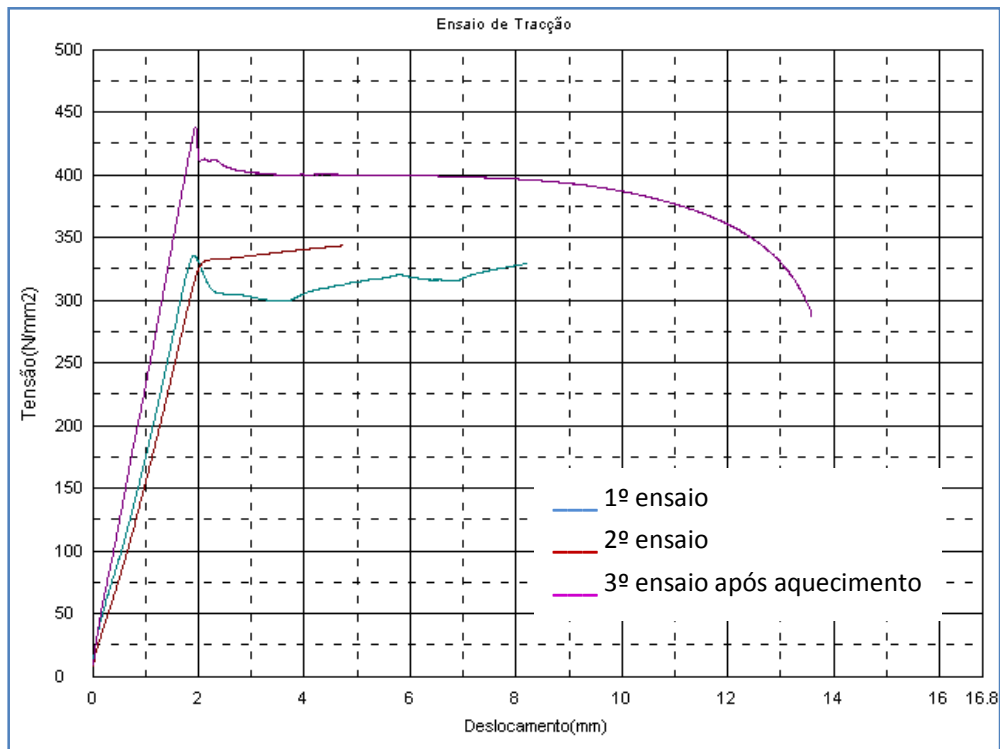


Figura 37 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.

#### 4.7.5.2 Estudo da qualidade decapada DD13

O aço decapado e oleado de qualidade DD13, é um aço calorado, portanto, um aço com completa desoxidação.

Para a realização do estudo deste aço foram elaborados seis provetes, três para realizar o ensaio em condições normais (conforme estado actual da bobine) (Figura 38) e três para realizar um ensaio após aquecimento a 150°C durante 3 horas.



Figura 38 – Provetes de chapa DD13.

Uma vez que a bobine estudada é de Março de 2009 (tem três meses), era de esperar que não se formasse o patamar de cedência, porque, segundo a norma EN 10111 (Apêndice 6) deveria manter as propriedades mecânicas durante seis meses. Ao realizar os ensaios de tracção, verificou-se que as três amostras apresentaram patamar de cedência, como representado graficamente na Figura 39. Além disso, os valores apresentados na Tabela 39 para a tensão de ruptura, tensão de cedência e alongamento após rotura foram superiores aos do certificado de qualidade da siderurgia (Apêndice 4).

Tabela 39 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DD13.

Referência provete	Tensão de cedência superior	Extensão após rotura	Tensão de rotura
	$\sigma_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_r$ (%)	$\sigma_r$ (N/mm <sup>2</sup> )
097885/1	278,5	48,0	329,5
097885/2	271,5	48,0	334,1
097885/3	270,3	42,0	334,8
Média	273,4	46,0	332,8
Desvio padrão	4,45	3,46	2,87

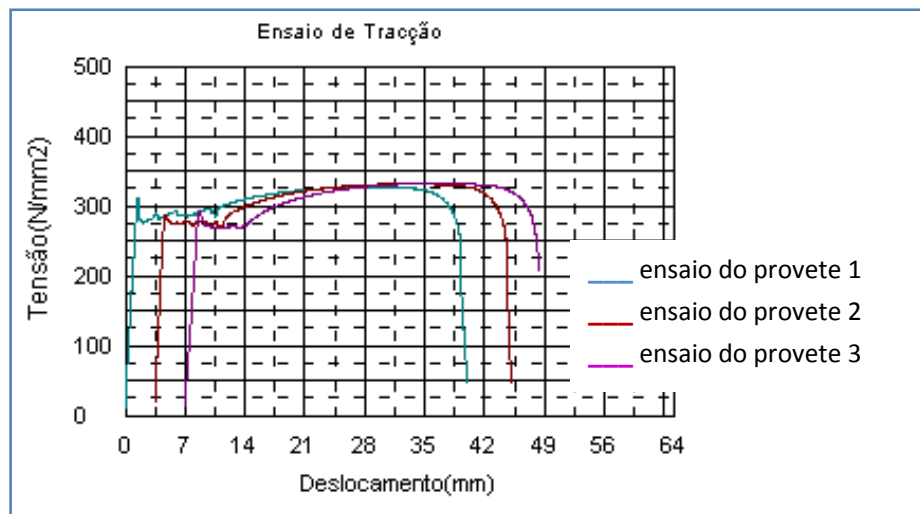


Figura 39 – Gráfico de tensão deformação de três provetes de chapa DD13.

A justificação para este comportamento pode ser justificado pelos seguintes factores:

- troca de etiquetas da bobine na siderurgia;
- a bobine ter mais tempo do que o mencionado no certificado, o que provocou o envelhecimento desta.

Dados estes resultados, já não houve necessidade de provocar um envelhecimento por aquecimento nos restantes três provetes e realizar novo ensaio.

Para tirar uma conclusão mais precisa acerca deste material, fez-se uma análise química e os valores estão apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 – Resultado da análise química a uma amostra de chapa DD13

C	Mn	P	S	Si	Al
0,0450	0,187	0,013	0,0062	0,01	0,041

Apesar dos valores obtidos na análise não serem exactamente os apresentados no certificado de qualidade da siderurgia, os obtidos na análise continuam a estar dentro dos esperados para um tipo de aço DD13, segundo a norma EN 10111.

Logo, muito provavelmente, trata-se de um aço com mais de seis meses, ao contrário do especificado no certificado de qualidade da siderurgia.

Também foi feito um estudo deste aço numa bobine com mais de seis meses (bobine de 2008), os resultados foram os esperados (formou-se o patamar de cedência) e os resultados estão apresentados no Apêndice 3.

#### 4.7.5.3 Estudo da qualidade laminada a frio DC06

Segundo a norma EN 10130 (Apêndice 7), esta qualidade de aço não tem patamar de cedência porque tem elementos com forte afinidade química para o azoto e carbono o que impede a formação de atmosferas de Cottrell. Trata-se de um aço calorado e assim como todos os laminados a frio sofrem um recozido de normalização.

Para a realização do estudo desta chapa foram elaborados seis provetes, três para realizar o ensaio em condições normais (conforme estado actual da bobine) e três para realizar um ensaio após aquecimento a 150oC. A geometria dos provetes é idêntica aquela usada para os provetes DD11 e DD13.

Como previsto, tanto nos ensaios dos provetes não aquecidos (Tabela 41 e Figura 40) como nos aquecidos (Tabela 42 e Figura 41), não se formou o patamar de cedência. Também não se registou variações significativas nos valores das propriedades mecânicas.

Tabela 41 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DC06 sem tratamento.

Referência provete	Tensão limite convencional de proporcionalidade	Extensão após rotura $\epsilon_r$	Tensão de rotura $\sigma_r$
	$\sigma_{0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
092230/1	167,7	42,0	322,1
092230/2	175,7	44,0	328,0
092230/3	168,0	44,0	329,3
Média	170,5	43,3	326,5
Desvio padrão	4,54	1,15	3,83

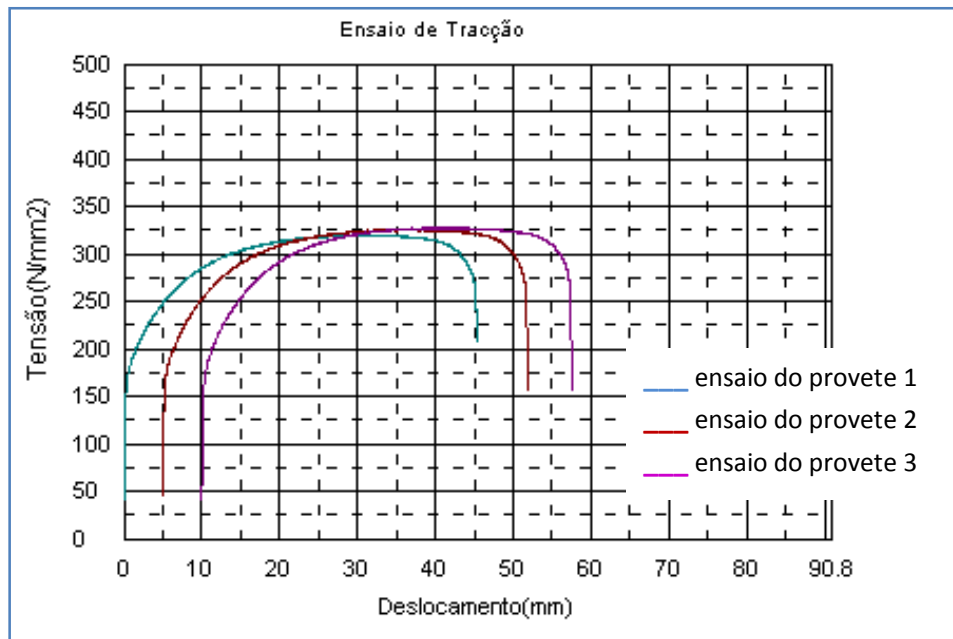


Figura 40 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DC06 sem tratamento.

Tabela 42 – Valores obtidos no ensaio de tracção para três provetes de chapa DC06 com aquecimento a 150°C durante 3 h.

Referência provete	Tensão limite convencional de proporcionalidade $\sigma_{0,2}$	Extensão após rotura $\epsilon_r$	Tensão de rotura $\sigma_r$
	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)	(N/mm <sup>2</sup> )
092230/A1	173,3	52,0	333,1
092230/A2	171,9	46,0	333,4
092230/A3	167,0	54,0	331,1
Média	170,8	50,6	332,5
Desvio padrão	3,28	4,16	1,25

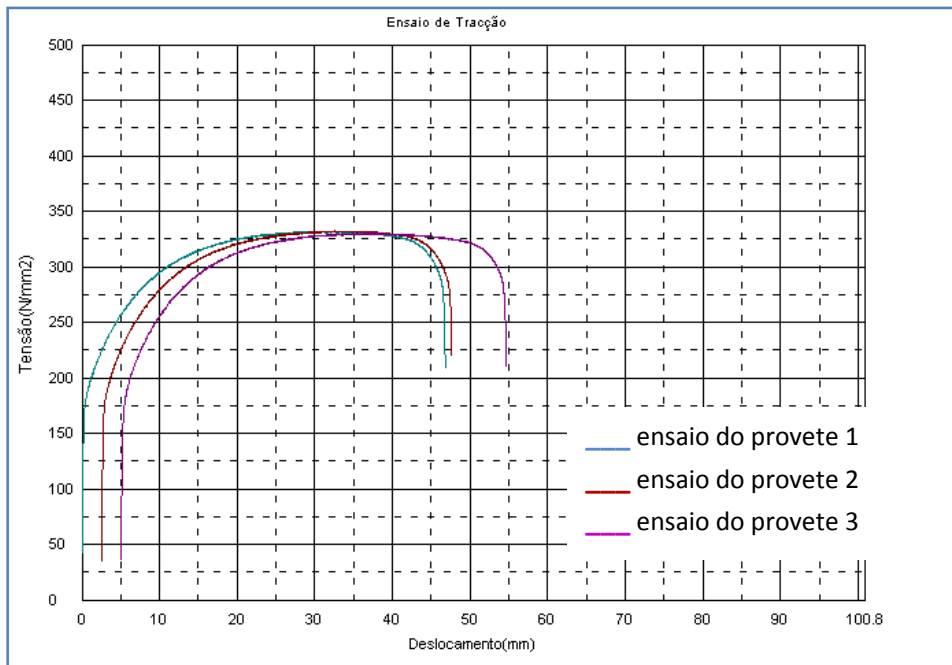


Figura 41 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DC06 com aquecimento a 150°C durante 3h.

## 4.8 Reclamação de bobines danificadas

Em muitos casos os defeitos implicam uma reclamação. Esta reclamação poderá ser da totalidade da bobine ou de parte da bobine. Quando a reclamação é só de parte da bobine, a fórmula que permite calcular a quantidade a reclamar é dada pela equação 5, que foi deduzida através da diferença dos pesos teóricos ( $P1-P2$ ) representados esquematicamente nas Figuras 42, 43 e 44.

$$P1 = V1 * Me * 1000 \text{ (kg)} \quad (3)$$

$$P2 = V2 * Me * 1000 \text{ (kg)} \quad (4)$$

$$P = \pi * L * 7.85 * (r1^2 - r2^2) * 1000 \text{ (kg)} \quad (5)$$

$P$  – peso a reclamar (Figuras 42 e 43) ou peso da parte não danificada (Figura 44) (kg)

$L$  – largura da bobine (m)

$Me$  – densidade do ferro=7,85 (g/cm<sup>3</sup>)

$r1$  – raio maior (m)

$r2$  – raio menor (m)

$V1, V2$  – volume (m<sup>3</sup>)

$P1, P2$  – Peso teórico (kg)

Se o defeito aparece na parte mais externa das espiras ou no centro, como está representado esquematicamente nas Figuras 42 e 43 então aplica-se a Equação 5. Se o defeito aparece na parte mais interna das espiras, como está representado na Figura 44, o resultado da Equação 5 corresponde ao peso da chapa sem defeito, logo, é necessário subtrair o peso total da bobine a este resultado para se obter o peso da bobine afectada.

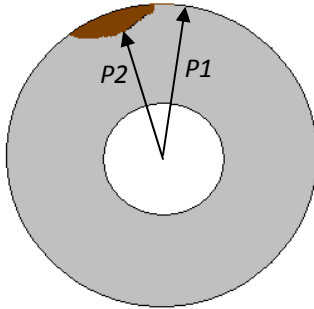


Figura 42 – Defeito na parte mais externa das espiras.

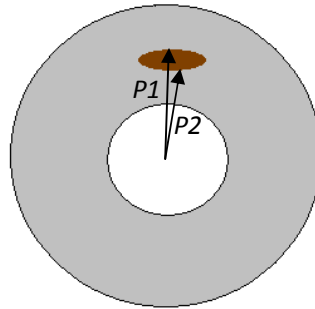


Figura 43 – Defeito no centro das espiras.

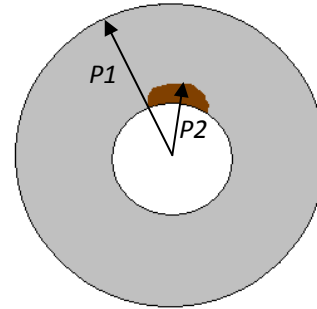


Figura 44 – Defeito na parte interna das espiras.

De seguida estão apresentados dois exemplos para uma melhor compreensão da aplicação da equação.

O primeiro exemplo refere-se a um defeito idêntico ao ilustrado na Figura 42.

Dados da bobine:

- Peso: 15,400 kg;
- Dimensões: 0,4x960 mm
- Diâmetro total: 1730 mm
- Diâmetro interno: 600 mm
- Parte afectada: 30 mm

Aplicando a fórmula,

$$P=3,1416 \times 0,96 \times 7,85 \times (0,865^2 - 0,835^2) \times 1000$$

$$P=1207 \text{kg}$$

O peso da área afectada a reclamar ao fornecedor é de 1207 kg.

O segundo exemplo refere-se a um defeito idêntico ao ilustrado na Figura 44.

Dados da bobine:

Peso: 17,935 kg;

Dimensões: 1,2x1500 mm

Diâmetro total: 1520 mm

Diâmetro interno: 600 mm

Parte afectada: 40 mm

Aplicando a fórmula,

$$P=3,1416 \times 1,5 \times 7,85 \times (0,76^2 - 0,34^2) \times 1000$$

$$P=17090 \text{ kg}$$

Conforme já referido, quando o defeito está situado junto ao diâmetro interno da bobine, como o ilustrado na Figura 44, o resultado da equação é o peso da parte não afectada da bobine. Para obtermos o peso da parte afectada, temos de subtrair este ao peso total da bobine, logo  $P=17935-17090=845\text{kg}$  (peso a reclamar ao fornecedor).

## 5 Conclusões

Tomando como ponto de partida o principal objectivo deste trabalho que foi conhecer e avaliar os defeitos siderúrgicos em bobines de aço, realizou-se um estudo bibliográfico acerca do tema e fez-se testes laboratoriais. Do estudo realizado e dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A compreensão do processo do fabrico do aço pode contribuir para o surgimento de estratégias adequadas na análise e detecção dos seus defeitos.
- Conhecer as causas de alguns defeitos é fundamental para evitar possível surgimento dos mesmos.
- Conhecer as diferentes qualidades do aço e sua aplicabilidade é essencial para a escolha correcta do material a usar no processo de fabrico.
- Analisar o material antes da fabricação é um factor decisivo na minimização de possíveis não-conformidades por parte dos clientes, evitando-se assim, prejuízos avultados para a empresa.
- O armazenamento das bobines deve ser feito de forma cuidada para evitar a ovalização da bobine e os restos de bobines devem ser muito bem embaladas evitando-se assim, um aceleração da corrosão.
- O estudo de amostras em laboratório é um factor importante pois através das análises aí analisadas pode-se detectar se o material adquirido corresponde ao descrito no certificado de qualidade do fornecedor. Também é possível detectar se o material é recente ou envelhecido, ou seja, se não apresenta ou apresenta, respectivamente, patamar de cedência.

- Para aços utilizados na embutidura, profunda ou extra profunda, um stock de mais de seis meses deve ser evitável para não ocorrerem anomalias no processo fabrico.
- A implementação correcta do laboratório de controlo de qualidade numa empresa é um ponto de partida para a expansão e credibilidade no mercado.
- No futuro, a aquisição de um microscópio óptico e um sensor de ultra-sons é importante para o estudo aprofundado de outros defeitos como, por exemplo, tamanho e tipo de grão, chochos, rechupes, etc.

## 6 Sugestões para futuros trabalhos

Como propostas para trabalhos futuros dentro da empresa destaca-se:

- Ampliar o estudo deste trabalho para as demais famílias de aços utilizadas, pela empresa, como por exemplo: dual-phase, anti-desgaste (Hardox 400, 450,...), xadrez, gotas, corten, etc.
- Implementação e organização de uma oficina de peças de maior desgaste das máquinas de linhas de corte possibilitando, assim, uma manutenção preventiva.
- Estudar e projectar uma nova rede de ar comprimido pois a existente apresenta várias fugas, emendas e curvas fechadas (90°).

## 7 Bibliografia

- [1] Soares, P., “Aços, características, tratamentos”, 4ª edição, Livraria Livroluz, 1987
- [2] SSAB Tunntplat (siderurgia)
- [3] Cottrell, A.H., “Introdução à Metalurgia”, Fundação Calouste Gulbenkian, 1993
- [4] Castañón, B. S., “Prontuário”, Comercial de Laminados, 2003
- [5] Dieter, G. E., “Mechanical Metallurgy”, McGrawHill, 1988
- [6] Catálogo “Laminação – Fabricação – Processos de conformação”, CIMM
- [7] Silva, L. F. M., “Problemas e trabalhos práticos de metalurgia”, FEUP edições, 2008
- [8] Lusosider (siderurgia)
- [9] ILAFA; AECC; UNESID, “Album de defectos de productos siderurgicos”, 1983
- [10] Gmbh, V. S.; Düsseldorf, “Surface Defects on Hot-Dip Metal Coated Steel Sheet”, VDEh, 1998
- [11] Gmbh, V. S.; Düsseldorf, “Surface Defects on Cold Rolled, Uncoated Sheet”, VDEh, 1996
- [12] Milan; Maluf; Spinelli; Filho, B., “Metais, Uma visão objectiva”, NEMAF-USP
- [13] Pires, J. S.; Pires, M. C., “Mecânica dos Materiais”, 2ª edição, Edições ASA,
- [14] Silva, C. N., “Effect of skin pass roll bending in flatness of steel strips”, 2008
- [15] Proin Maquinaria y Proyectos
- [16] Arcelor CSI Planos, Manual
- [17] Rautarukki Steel Welding, 1995

## 8 Apêndices

### Apêndice 1 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD11 (2º provete)

**lote** :0911525

Formato: Provete com 3mm de espessura

Tabela 43 – Valores obtidos num ensaio de tração para um provete de chapa DD11.

Ensaio	Referência provete	Tensão de cedência superior $\sigma_{eH}$	Tensão limite convencional de proporcionalidade $\sigma_{0,2}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1º ensaio	0911525/2/0	337,6	
2º ensaio após passar patamar de cedência	0911525/2/1		349,8
3º ensaio após aquecimento	0911525/2/A	421,7	

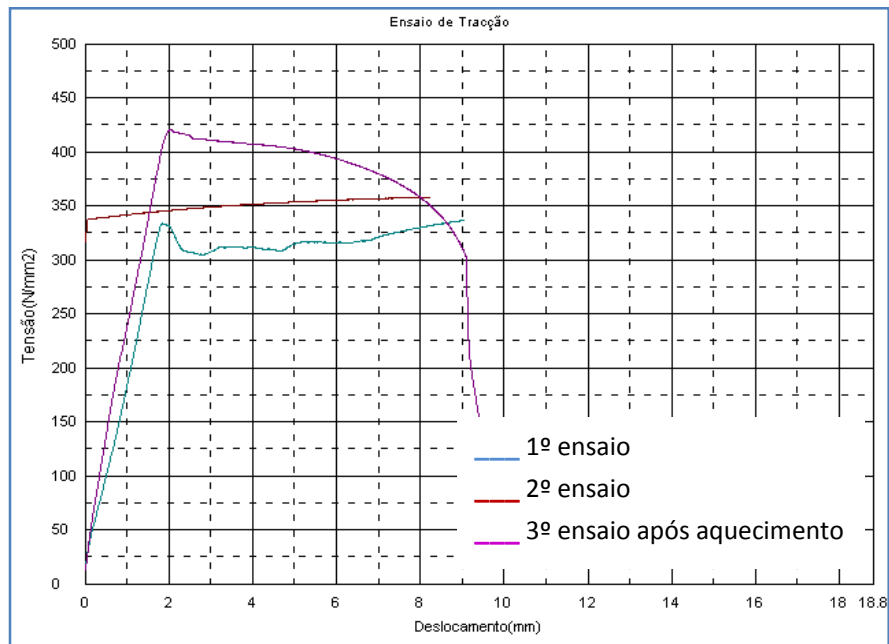


Figura 45 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.

## Apêndice 2 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD11 (3º provete)

**lote** :09011525

Formato: Provete com 3mm de espessura.

Tabela 44 – Valores obtidos num ensaio de tracção para um provete de chapa DD11.

Ensaio	Referência provete	Tensão de cedência superior $\sigma_{eH}$	Tensão limite convencional de proporcionalidade $\sigma_{0,2}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1º ensaio	0911525/3/0	340,2	
2º ensaio após passar patamar de cedência	0911525/3/1		349,1
3º ensaio após aquecimento	0911525/3/A	413,7	

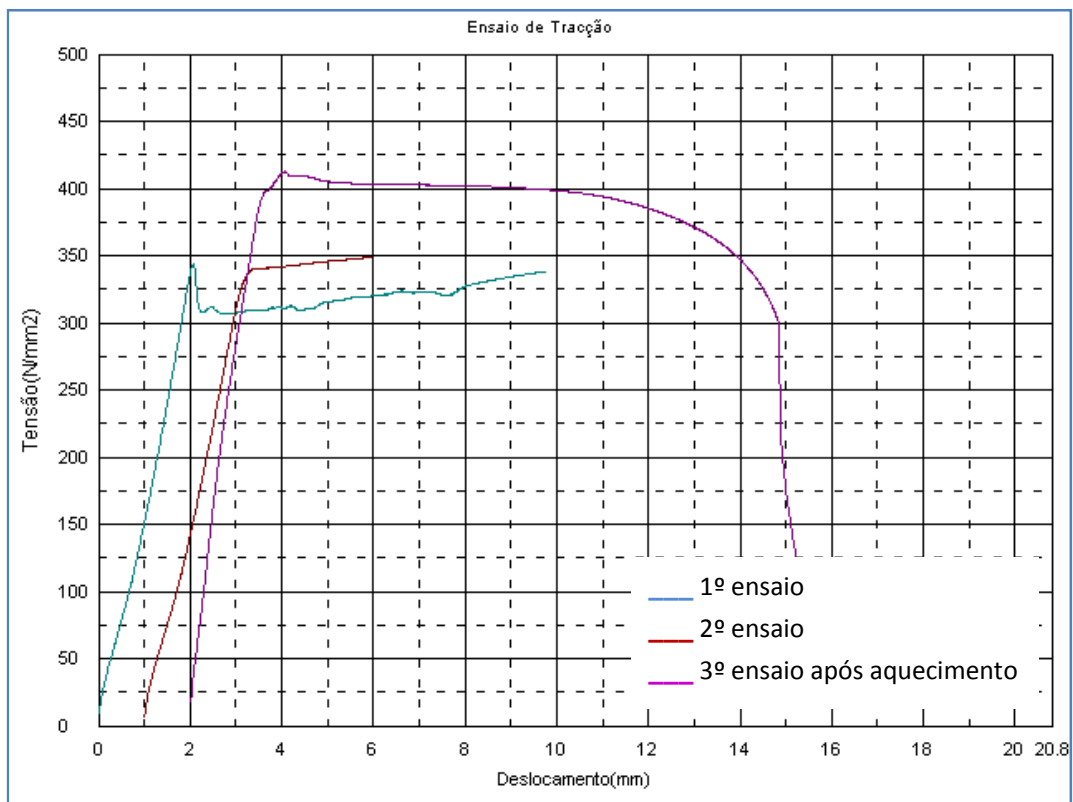


Figura 46 – Gráfico de tensão deformação de um provete de chapa DD11.

### Apêndice 3 – Estudo do patamar de cedência da chapa DD13

**lote** :0812592

Formato: Provete com 4mm de espessura de 2008.

Tabela 45 – Valores obtidos no ensaio de tração para três provetes de chapa DD13.

Referência provete	Tensão de cedência superior	Extensão após rotura	Tensão de rotura
	$\sigma_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_r$ (%)	$\sigma_r$ (N/mm <sup>2</sup> )
0812592/1	330,4	26,0	372,9
0812592/2	316,3	42,0	365,8
0812592/3	315,8	42,0	363,9
Média	320,8	36,6	367,5
Desvio	8,30	9,23	4,74

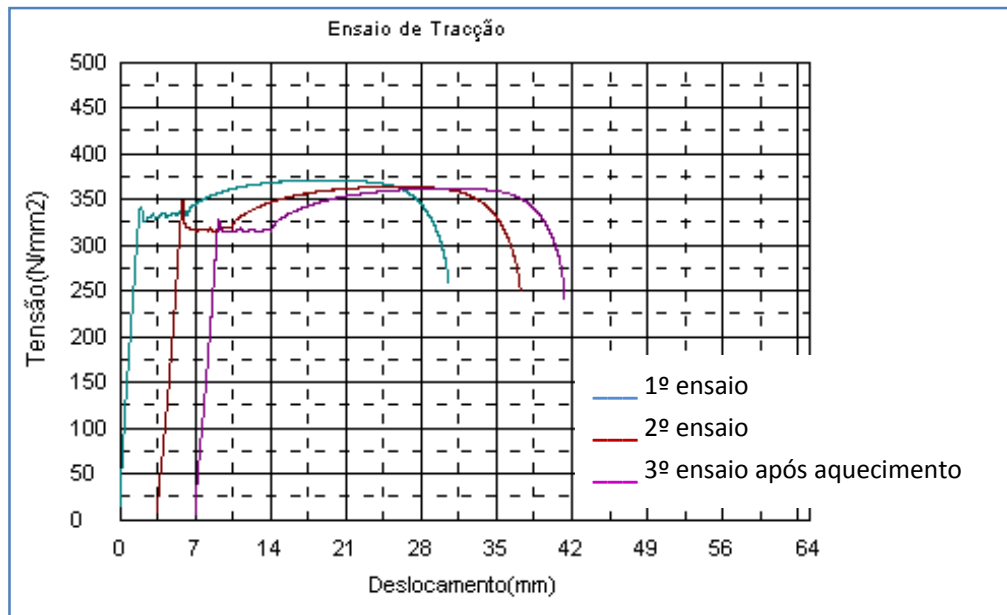


Figura 47 – Gráfico de tensão deformação de três provetes de chapa DD13.

Apêndice 4 - Certificado de qualidade da bobine DD13 n.º 575602

**ORIGINAL**

**CERTIFICADO DE CALIDAD - MILL TEST CERTIFICATE**

Fecha de emisión / Date of issue: 02/03/2019 02:05:24p.tr. N° / Document number: 3190

EN 10204 - 3.1

Operación / Operator: 0010223856	Orden de compra / Purchase order:
Puerto de carga / From: ING BUITRAGO	Puerto de descarga / To: LENOXES
Lista empaque / Remito / Packing list / Invoice: 30279	Medio de transporte / Means of transport: EURO MED
Calidad / Quality: EN-10114DD31	Orden fabricación / Manufacturer order: 0010223856000000

Cliente / Customer: OSCAR ROLA LDA

Dirección / Address:

Cliente item # / Customer item#:

Descripción de la mercadería / Goods description:

**Ensayos Mecánicos / Mechanical test**

Bobina # / Piece #	Corte # / Heat #	Muestra # / Piece #	Peso / Weight / Kg	TENSILE TEST / TRACCION			BEND / PLEG	
				E (MPa)	R (MPa)	A%	BEND P	PLEG B
575602	98215	LR3753910001	11269	243	333	39	B	B
575601	98215	LR3753910001	11309	240	321	39	B	B
575602	98215	LR3753910001	11269	240	321	39	B	B
583113	98215	LR33331183001	11199	252	334	36	B	B

**Composición Química (%) / Chemical Composition (%)**

Bobina # / Heat #	Muestra # / Piece #	C	MN	P	S	SI	AL
833554	AC5863961F11	0.0220	0.2420	0.0080	0.0085	0.0160	0.0440
918015	AC5863219F11	0.0250	0.2070	0.0121	0.0084	0.0210	0.0440

## Apêndice 5 – EN 10025-2 (2007)

Designação		Método de desoxidação b	C em % máx. para a espessura nominal do produto em mm			Si % máx.	Mn % máx.	P % máx.	S % máx.	N % máx.	Cu % máx.	Outros % máx.
Segundo EN10027-1 e CR10260	Segundo EN10027-2		≤16	>16 e ≤40	>40 <sup>c</sup>							
S235JR	1.0038	FN	0,17	0,17	0,20	-	1,40	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S235J0	1.0114	FN	0,17	0,17	0,17	-	1,40	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S235J2	1.0117	FF	0,17	0,17	0,17	-	1,40	0,025	0,025	-	0,55	-
S275JR	1.0044	FN	0,21	0,21	0,22	-	1,50	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S275J0	1.0143	FN	0,18	0,18	0,18 <sup>i</sup>	-	1,50	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S275J2	1.0145	FF	0,18	0,18	0,18 <sup>i</sup>	-	1,50	0,025	0,025	-	0,55	-
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,60	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S355J0	1.0553	FN	0,20 <sup>j</sup>	0,20 <sup>k</sup>	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S355J2	1.0577	FF	0,20 <sup>j</sup>	0,20 <sup>k</sup>	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-	0,55	-
S355K2	1.0596	FF	0,20 <sup>j</sup>	0,20 <sup>k</sup>	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-	0,55	-
S450J0 <sup>l</sup>	1.0590	FF	0,20	0,20 <sup>k</sup>	0,22	0,55	1,70	0,030	0,030	0,025	0,55	<sup>m</sup>

<sup>a</sup> Ver 7.2.  
<sup>b</sup> FN =aços efervescentes não permitidos; FF=aço totalmente calhado (ver 6.2.2).  
<sup>c</sup> Para os perfis com espessura nominal > 100 mm, o teor de C deve ser acordado.  
 Ver opção 26.  
<sup>d</sup> Para os produtos longos, os teores de P e S podem ser acrescidos de 0,005 %.  
<sup>e</sup> Para os produtos longos o teor máximo de S pode, por acordo, ser incrementado de 0,015 % para melhorar a maquinabilidade se o aço for tratado para modificar a morfologia dos sulfuretos e a composição química evidenciar um teor mínimo de Ca de 0,0020 %.  
 Ver opção 27.  
<sup>f</sup> O valor máximo exigido para o azoto não se aplica quando a composição química apresenta um teor mínimo de Al total de 0,020 % ou alternativamente um teor mínimo de 0,015 % de Al solúvel ácido, ou quando outros elementos fixadores de azoto estão presentes em quantidades suficientes. Neste caso, os elementos fixadores de azoto devem ser mencionados no documento de inspeção.  
<sup>g</sup> Um teor de Cu superior a 0,40 % pode causar fragilidade a quente durante a conformação a quente.  
<sup>h</sup> Se outros elementos forem adicionados, estes deverão ser mencionados no documento de inspeção.  
<sup>i</sup> Para as espessuras nominais > 150 mm: o teor de C = 0,20 % máx..  
<sup>j</sup> Para as classes com aptidão à conformação com rolos a frio (ver 7.4.2.2.3): o teor de C = 0,22 % máx..  
<sup>k</sup> Para as espessuras nominais > 30 mm: o teor de C = 0,22 % máx..  
<sup>l</sup> Apenas aplicável a produtos longos.  
<sup>m</sup> O aço pode apresentar um teor máx. de Nb de 0,05 %, um teor máx. de V de 0,13 % e um teor máx. de Ti de 0,05 %.

Apêndice 6 – EN 10111 (2000)

Designação em conformidade com a		Método de desoxidação	Composição química (máx.) da análise de colher <sup>2)</sup> %				Propriedades de tracção <sup>3)</sup>						Raio do ensaio de dobra-gem <sup>4)</sup>	Validade das propriedades mecânicas
							$R_{eL}$ N/mm <sup>2</sup>		$R_m$ máx. N/mm <sup>2</sup>	Alongamento mínimo após fractura %				
EN10027-1 e IC10	EN10027-2		C	Mn	P	S	1,5 ≤ e ≤ 2	2 ≤ e ≤ 8		Lo = 80 mm 1,5 ≤ e ≤ 2	Lo = 5,65√S <sub>0</sub>			
									2 ≤ e ≤ 3		3 ≤ e ≤ 8			
DD 11	1.0332	Ao critério do fabricante	0,12	0,60	0,045	0,045	170 - 360	170 - 340	440	23	24	28	1e	1 mês
DD 12	1.0398	Completamente desoxidado	0,10	0,45	0,035	0,035	170 - 340	170 - 320	420	25	26	30	0	6 meses
DD 13	1.0335	Completamente desoxidado	0,08	0,40	0,030	0,030	170 - 330	170 - 310	400	28	29	33	0	6 meses
DD 14	1.0389	Completamente desoxidado	0,08	0,35	0,025	0,025	170 - 310	170 - 290	380	31	32	36	0	6 meses

1) As características mecânicas estão apenas relacionadas com produtos laminados a quente não descalaminados ou descalaminados quimicamente e oleados, com ou sem "skin pass".  
2) Caso não seja acordado em contrário aquando da encomenda, os elementos de fixação de nitrogénio como titânio e boro podem ser adicionados segundo o critério do fabricante.  
3) Desde que a largura do produto o permita, os provetes para os ensaios de resistência deverão ser tomados perpendicularmente em relação à direcção da laminagem.  
4) Ver EURONORM 6 e EURONORM 12

Apêndice 7 – EN 10130 (2006)

Steel name	Steel number	Classification according to EN 10020	Surface quality	Absence of stretcher strain marks	$R_e$	$R_m$	$A_{80}$	$r_{90}$	$n_{90}$	Ladle analysis chemical composition				
					MPa	MPa	min. %	min.	min.	C max. %	P max. %	S max. %	Mn max. %	Ti max. %
DC01 <sup>e</sup>	1.0330	Non-alloy quality steel <sup>f</sup>	A	-	-280 <sup>g</sup>	270/410	28	-	-	0,12	0,045	0,045	0,60	-
			B	3 months										
DC03	1.0347	Non-alloy quality steel <sup>f</sup>	A	6 months	-240 <sup>g</sup>	270/370	34	1,3	-	0,10	0,035	0,035	0,45	-
			B	6 months										
DC04	1.0338	Non-alloy quality steel <sup>f</sup>	A	6 months	-210 <sup>g</sup>	270/350	38	1,6	0,180	0,08	0,030	0,030	0,40	-
			B	6 months										
DC05	1.0312	Non-alloy quality steel <sup>f</sup>	A	6 months	-180 <sup>g</sup>	270/330	40	1,9	0,200	0,06	0,025	0,025	0,35	-
			B	6 months										
DC06	1.0873	Alloy quality steel	A	No limit	-170 <sup>h</sup>	270/330	41	2,1	0,220	0,02	0,020	0,020	0,25	0,3 <sup>j</sup>
			B	No limit										
DC07	1.0898	Alloy quality steel	A	No limit	-150 <sup>h</sup>	250/310	44	2,5	0,230	0,01	0,020	0,020	0,20	0,2 <sup>j</sup>
			B	No limit										

NOTE 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

<sup>a</sup> The values of yield strength are 0,2 % proof strength for products which do not present a definite yield point, and the lower yield strength  $R_{eL}$  for the others. When the thickness is less than or equal to 0,7 mm and greater than 0,5 mm, the value for yield strength is increased by 20 MPa. For thicknesses less than or equal to 0,5 mm, the value is increased by 40 MPa.

<sup>b</sup> When the thickness is less than or equal to 0,7 mm and greater than 0,5 mm, the minimum value for elongation is reduced by 2 units. For a thickness less than or equal to 0,5 mm, the minimum value is reduced by 4 units.

<sup>c</sup> The values of  $r_{90}$  and  $n_{90}$  only apply to products with a thickness equal to or greater than 0,5 mm.

<sup>d</sup> When the thickness is over 2 mm, the value for  $r_{90}$  is reduced by 0,2.

<sup>e</sup> It is recommended that products in grade DC01 should be formed within 6 weeks from the time of their availability.

<sup>f</sup> Unless otherwise agreed at the time of enquiry and order, grades DC01, DC03, DC04 and DC05 may be supplied as alloy steels (for example with boron or titanium).

<sup>g</sup> For design purposes the lower limit of  $R_e$  for grades DC01, DC03, DC04 and DC05 may be assumed to be 140 MPa.

<sup>h</sup> For design purposes the lower limit of  $R_e$  for grade DC06 may be assumed to be 120 MPa and 100 MPa for grade DC07.

<sup>i</sup> The upper limit of  $R_e$  of 280 MPa for grade DC01 is valid only for 8 days from the time of the availability of the product.

<sup>j</sup> Titanium may be replaced by niobium. Carbon and nitrogen shall be completely bound.

Apêndice 8 – EN 10327 (2004)

Coating designation	Minimum coating mass <sup>a</sup> , total both surfaces		Theoretical guidance values for coating thickness per surface in the single spot test		Density g/cm <sup>3</sup>
	g/m <sup>2</sup>		µm		
	Triple spot test	Single spot test	Typical value <sup>b</sup>	Range <sup>c</sup>	
Zinc coating masses (Z)					
Z100	100	85	7	5 to 12	7,1
Z140	140	120	10	7 to 15	
Z200	200	170	14	10 to 20	
Z225	225	195	16	11 to 22	
Z275	275	235	20	15 to 27	
Z350	350	300	25	19 to 33	
Z450	450	385	32	24 to 42	
Z600	600	510	42	32 to 55	

Designation		Chemical composition % by mass						Yield strength <i>R<sub>e</sub></i> <sup>a</sup> MPa *	Tensile strength <i>R<sub>m</sub></i> MPa *	Elongation <i>A<sub>80</sub></i> <sup>b</sup> % min.	Plastic strain ratio <i>r<sub>90</sub></i> min.	Strain hardening exponent <i>n<sub>90</sub></i> min.	
		max.											
Steel grade	Symbols for the types of hot-dip coating	C	Si	Mn	P	S	Ti						
DX51D	1.0226	+Z,+ZF,+ZA,+AZ,+AS	0,12	0,50	0,60	0,10	0,045	0,30	-	270 to 500	22	-	-
DX52D	1.0350	+Z,+ZF,+ZA,+AZ,+AS							140 to 300 <sup>c</sup>	270 to 420	26	-	-
DX53D	1.0355	+Z,+ZF,+ZA,+AZ,+AS							140 to 260	270 to 380	30	-	-
DX54D	1.0306	+Z,+ZA							120 to 220	260 to 350	36	1,6	0,18
DX54D	1.0306	+ZF							120 to 220	260 to 350	34	1,4	0,18
DX54D	1.0306	+AZ							120 to 220	260 to 350	36	-	-
DX54D	1.0306	+AS							120 to 220	260 to 350	34	1,4 <sup>d,e</sup>	0,18 <sup>e</sup>
DX55D	1.0309	+AS							140 to 240	270 to 370	30	-	-
DX56D	1.0322	+Z,+ZA							120 to 180	260 to 350	39	1,9 <sup>d</sup>	0,21
DX56D	1.0322	+ZF							120 to 180	260 to 350	37	1,7 <sup>d,e</sup>	0,20 <sup>e</sup>
DX56D	1.0322	+AS							120 to 180	260 to 350	39	1,7 <sup>d,e</sup>	0,20 <sup>e</sup>
DX57D	1.0853	+Z,+ZA							120 to 170	260 to 350	41	2,1 <sup>d</sup>	0,22
DX57D	1.0853	+ZF							120 to 170	260 to 350	39	1,9 <sup>d,e</sup>	0,21 <sup>e</sup>
DX57D	1.0853	+AS							120 to 170	260 to 350	41	1,9 <sup>d,e</sup>	0,21 <sup>e</sup>

\* 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>

<sup>a</sup> If the yield point is not pronounced, the values apply to the 0,2 %-proof strength (*R<sub>p0,2</sub>*); if the yield strength is pronounced, the values apply to the lower yield point (*R<sub>e</sub>*).

<sup>b</sup> For product thicknesses 0,50 mm < *t* ≤ 0,70 mm (including coating) the minimum elongation values (*A<sub>80</sub>*) shall be reduced by 2 units. For *t* ≤ 0,50 mm this reduction shall be 4 units.

<sup>c</sup> This value applies to skin passed products only (surface qualities B and C).

<sup>d</sup> For *t* > 1,5 mm, the *r<sub>90</sub>*-value shall be reduced by 0,2.

<sup>e</sup> For *t* ≤ 0,70 mm, the *r<sub>90</sub>*-value shall be reduced by 0,2 and the *n<sub>90</sub>*-value shall be reduced by 0,01.