



MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ESCOLA DE MINAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ANTOINE AZIZ RAAD JÚNIOR

DIRETRIZES PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM
DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Orientador: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo

Convênio: USIMINAS/UFOP/FUNDAÇÃO GORCEIX

Ouro Preto, Junho de 1999

DIRETRIZES PARA A FABRICAÇÃO E MONTAGEM DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

ANTOINE AZIZ RAAD JÚNIOR

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo

Ouro Preto

1999

Raad Jr., Antoine Aziz

Diretrizes para Fabricação e Montagem das Estruturas Metálicas/
Antoine Aziz Raad Júnior; Orientador: Ernani Carlos de Araújo –
Ouro Preto, 1999. 218p.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, 1999.

1. Diretrizes para Fabricação e Montagem das Estruturas Metálicas
- I. Título

Ficha catalográfica.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 25/ 06/ 1999,

pela comissão julgadora:

Ernani Carlos de Araújo, D.Sc./ Universidade Federal de Ouro Preto

João Alberto Venegas Requena, D.Sc./ Universidade Estadual de Campinas

Francisco Carlos Rodrigues, D.Sc./ Universidade Federal de Minas Gerais

**Ao meu pai,
meu primeiro e grande professor.**

AGRADECIMENTOS

A todas as entidades e amigos que participaram deste aprendizado, em especial:

- ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica;
- CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
- CODEME ENGENHARIA S/A;
- FACULDADE DE ENGENHARIA DA FUMEC;
- FUNDAÇÃO GORCEIX;
- FUNDAÇÃO ROTÁRIA DO ROTARY INTERNATIONAL;
- MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA / EM / UFOP;
- MÓDULO ESTRUTURAS METÁLICAS S/A;
- TECNOFER INDUSTRIA E COMERCIO S/A;
- UNIVERSITY OF MISSOURI;
- USIMINAS S/A - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais;

- Ademar de Carvalho Barbosa Filho;
- Alberto Woods Soares Neto;
- André Ribeiro Campos;
- Antonio Maria Claret de Gouveia;
- Aluísio José Ramos Mergulhão;
- Cristiane Corradi Góis e família;
- Eduardo Assis Fonseca;
- Eduardo José Arruda;

- Eduardo Mariano Cavalcante de Castro;
- Ernani Carlos de Araújo e família;
- Francisco Carlos Rodrigues;
- Francisco Célio de Araújo
- Frederico José Rezende Vieira;
- Gabriel Márcio Janot Pacheco;
- Gaby Amine Toufic Madi e família;
- Geraldo José Belmonte dos Santos;
- Henor Artur de Souza;
- Hipólito Sérgio Ferreira e família;
- Jarbas Fernandes Soares e família;
- João Alberto Venegas Requena;
- Josemar Teixeira Carneiro e família;
- Lincoln Rubim de Souza;
- Lizandra Soave;
- Luis Tomé de Rezende;
- Luiz Fernando Loureiro Ribeiro;
- Márcilio Souza da Rocha Freitas e família;
- Osmar Francisco da Silva;
- Pedrovaldo Caram Santos;
- Ricardo Araújo Lanna;
- Ricardo Azoubel da Mota Silveira e família;
- Roberval José Pimenta;
- Sidon Etrusco.

SUMÁRIO

I	Lista de figuras	xi
II	Lista de tabelas	xvi
III	Resumo	xvii
IV	Abstract	xviii
1	Introdução	001
1.1	Histórico	001
1.2	Descrição sumarizada dos negócios da construção metálica	005
1.2.1	Abordagem do mercado, âmbito de atuação, potencial e entidades	005
1.2.2	Dimensões e crescimento do negócio	007
1.2.3	Dimensões e crescimento do negócio de produtos	008
1.2.4	Razões do crescimento acelerado dos negócios	009
1.3	A Tecnologia: Estado da arte, tendências e melhorias necessárias	011
1.3.1	Insumos	011
1.3.2	Engenharia	012
1.3.3	Fabricação	013
1.3.4	Montagem	014
1.4	Tipos de construções	015
2	Processo siderúrgico	025
2.1	Considerações	025
2.2	Matérias primas	028
2.3	Coqueria	030
2.4	Aglomerção de minérios	031
2.5	Alto forno	032
2.6	Produção do aço	034
2.7	Lingotamento contínuo	036
2.8	Laminação a quente	038
2.8.1	Laminador de chapas grossas	039
2.8.2	Laminador de tiras a quente	040
2.9	Laminação a frio	041
3	Aços estruturais	043
3.1	Diagrama tensão – deformação	044

3.2	Constantes físicas	048
3.3	Composição química	049
3.4	Classificação	052
3.4.1	Aço carbono	052
3.4.2	Aço baixa liga	053
3.4.3	Aços tratados termicamente	056
3.5	Principais produtos disponíveis no mercado	057
3.5.1	Normalização	057
3.5.2	Componentes estruturais	061
4	Fabricação	073
4.1	Considerações	073
4.2	Projeto da estrutura	076
4.3	Manufatura integrada	081
4.4	Trabalhos de fábrica	085
4.4.1	Suprimento	087
4.4.2	Manuseio	089
4.4.3	Corte	091
4.4.4	Fabricação de perfis	104
4.4.5	Traçagem	111
4.4.6	Usinagem	112
4.4.7	Montagem	116
4.4.8	Parafusagem	117
4.4.9	Soldagem	118
4.4.10	Inspeção	143
4.4.11	Preparação de superfície	147
4.4.12	Pintura	155
5	Transporte	165
5.1	Considerações	165
5.2	Modalidades de transporte	166
5.3	Arrumação para o transporte	168
5.4	Gabaritos	169
6	Montagem	172
6.1	Considerações	172
6.2	Planejamento	175
6.2.1	Fatores condicionantes	175
6.2.2	Custos	180
6.3	Equipamentos, ferramentas e dispositivos	182
6.3.1	Equipamentos para movimentação de materiais	182

6.3.2	Outros equipamentos de uso geral	195
6.3.3	Ferramentas	195
6.3.4	Dispositivos para movimentação de cargas	196
6.3.5	Outros dispositivos de uso geral	197
6.3.6	Controle e manutenção	198
6.4	Processos de montagem	199
6.4.1	Planos de montagem	199
6.4.2	Seqüência básica de operações	201
6.4.3	Ligações aparafusadas	208
6.4.4	Ligações soldadas	211
6.5	Gestão da qualidade	214
6.5.1	Controle da qualidade	214
7	Conclusão	217
V	Referências bibliográficas	xix

I LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Ponte em arco (1777-1779), Coalbrookdale, Inglaterra.	002
Figura 02	CODEME ENGENHARIA S/A.	004
Figura 03	DGA: Gerência de desenvolvimento da aplicação do aço da USIMINAS S/A.	006
Figura 04	Escala Work Center, edifício comercial de andares múltiplos.	015
Figura 05	Residência unifamiliar.	016
Figura 06	Edifício residencial de múltiplos andares.	016
Figura 07	Fábrica de produtos plásticos da Polygram.	017
Figura 08	Shopping Center Barra Garden.	017
Figura 09	Revenda de automóveis da Jorlan S/A.	018
Figura 10	UNIMED, centro médico.	018
Figura 11	Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.	019
Figura 12	Ponte rodoferroviária sobre o rio Paraná.	019
Figura 13	USIFAST, Galpão industrial.	020
Figura 14	Hangar, Aeroporto da Pampulha.	020
Figura 15	Confecção, Phillip Martin.	021
Figura 16	Posto de gasolina PETROBRÁS.	021
Figura 17	SELT, ginásio poliesportivo.	022
Figura 18	Igreja localizada na sede da USIMINAS S/A.	022
Figura 19a	Entrepasto de Imbiruçu, vista externa.	023
Figura 19b	Entrepasto de Imbiruçu, vista interna.	023
Figura 20	Reservatórios.	024
Figura 21	Centro de distribuição.	024

Figura 22	Usina Siderúrgica Intendente Câmara, USIMINAS S/A.	025
Figura 23	Comparação entre usina integrada e de redução direta.	026
Figura 24	Fluxograma básico do processo siderúrgico.	027
Figura 25	Pátio de matérias-primas, USIMINAS S/A.	028
Figura 26	Esquema de uma Coqueria.	030
Figura 27	Esquema de um Alto-Forno.	032
Figura 28	Esquema de uma Aciaria.	034
Figura 29	Esquema de uma máquina de lingotamento contínuo.	036
Figura 30	Reaquecimento de placas.	038
Figura 31	Laminação de chapas grossas.	039
Figura 32	Laminação de tiras a quente.	040
Figura 33a	Laminação a frio.	041
Figura 33b	Laminação a frio.	042
Figura 34	Chapa grossa.	043
Figura 35	Representação gráfica de um corpo de prova deformado.	044
Figura 36	Diagrama tensão-deformação.	045
Figura 37	Diagrama tensão-deformação do aço ASTM-A36.	046
Figura 38	Diagrama corrosão-exposição do aço em atmosfera industrial.	054
Figura 39	Diagrama corrosão-exposição do aço em atmosfera marinha.	054
Figura 40	Exemplos de perfis dobrados.	066
Figura 41a	Perfil soldado: abreviaturas segundo a NBR 5884.	067
Figura 41b	Especificação de um perfil soldado.	068
Figura 42	Exemplos de perfis tubulares.	069
Figura 43	Conectores de cisalhamento.	071

Figura 44	Exemplo de chumbador de expansão.	072
Figura 45	Unidade fabril da CODEME ENGENHARIA S/A, Betim/MG.	073
Figura 46a	Escritório de projeto da CODEME ENGENHARIA S/A.	076
Figura 46b	Escritório de projeto da CODEME ENGENHARIA S/A.	080
Figura 47	SIEPEM, CODEME ENGENHARIA S/A	081
Figura 48	Fluxo básico do processo de fabricação.	086
Figura 49	Serra de fita Peddinghaus.	091
Figura 50	Maçarico manual.	092
Figura 51	Máquina de corte térmico portátil – Tartaruga.	093
Figura 52	Máquina automática de corte térmico, fotocopiadora.	094
Figura 53	Máquina CNC de corte térmico – Flame-planner.	095
Figura 54	Equipamentos de proteção individual.	097
Figura 55	Máquina CNC de corte a plasma, Peddinghaus.	098
Figura 56	Detalhe, corte a laser.	102
Figura 57	Máquina oxicorte, flame-planner.	104
Figura 58	Mesa de montagem e soldagem automática de perfis.	105
Figura 59	Fluxo básico para fabricação de perfis soldados.	106
Figura 60	Gama de perfis formados a frio.	107
Figura 61	Perfiladeiras.	109
Figura 62	Dobradeira.	110
Figura 63	Fluxo básico para fabricação de perfis formados a frio.	111
Figura 64	Trabalhos realizados por equipamentos CNC multifuncionais.	113
Figura 65	Máquina CNC para preparação de chapas	113
Figura 66a	Máquina CNC para preparação de perfis.	114

Figura 66b	Máquina CNC para preparação de perfis.	114
Figura 67	Máquina CNC para preparação de perfis U, C e chapas.	115
Figura 68	Máquina para pré-deformação controlada de perfis.	115
Figura 69	Solda com eletrodo revestido.	119
Figura 70	Posições de soldagem e diâmetro dos eletrodos.	125
Figura 71	Solda a arco submerso.	128
Figura 72	Solda MIG/MAG.	135
Figura 73	Transporte rodoviário de estruturas metálicas.	164
Figura 74	Lista de verificação, escolhendo as modalidades de transporte.	166
Figura 75	Dimensões padrões no transporte rodoviário.	168
Figura 76	Tipos de veículos rodoviários e suas capacidades de carga.	169
Figura 77	Canteiro de obra executado pela CODEME ENGENHARIA S/A.	171
Figura 78	Dumper, trator motorizado.	182
Figura 79	Munck, caminhão dotado de guindaste hidráulico.	183
Figura 80	Exemplos de talhas manuais e elétricas.	184
Figura 81	Derrick estaiado.	187
Figura 82	Guindaste sobre caminhão.	188
Figura 83	Guindaste sobre esteira.	189
Figura 84	Grua em destaque no canteiro de obra.	193
Figura 85	Cabos de aço.	196
Figura 86	Base de coluna.	201
Figura 87	Colunas posicionadas.	202
Figura 88	Vigas posicionadas.	202
Figura 89	Instalação de parafusos.	207

Figura 90 Soldagem de campo.

210

II LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Classificação dos aços carbono.	052
Tabela 02	Propriedades mecânicas do aço USI-FIRE 490.	055
Tabela 03	Aços ABNT para usos estruturais: perfis, chapas e tubos.	058
Tabela 04	Aços ASTM de uso permitido pela norma NBR 8800/86.	059
Tabela 05	Equivalência de aços entre as normas ABNT e ASTM.	060
Tabela 06	Espessuras padronizadas preferenciais das chapas finas e massas correspondentes.	062
Tabela 07	Espessuras padronizadas preferenciais das chapas grossas e massas correspondentes.	063
Tabela 08	Perfis laminados.	065
Tabela 09	Propriedades mecânicas dos parafusos utilizados em estruturas metálicas.	070
Tabela 10	Propriedades mecânicas das barras rosqueadas.	071
Tabela 11	Propriedades mecânicas de conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça.	072
Tabela 12	Dimensões limites para o transporte ferroviário.	170
Tabela 13	Capacidade e comprimento de lança dos guindastes móveis.	191
Tabela 14	Rotação da porca a partir da condição de pré-torque em fração de volta completa.	209

III RESUMO

A presente dissertação trata-se de um estudo científico, tecnológico e econômico sobre fabricação e montagem das estruturas metálicas, elaborada através da análise e interpretação de informações obtidas por levantamento bibliográfico, visitas e estágios nas empresas do setor, evidenciando o conhecimento da literatura existente e a capacidade de sistematização.

Sendo assim, estão aqui abordados o desenvolvimento da construção metálica e seu mercado de negócios, o processo de obtenção do aço estrutural e suas propriedades, as diversas etapas da fabricação, do transporte e da montagem das estruturas metálicas, assim como os serviços associados.

IV ABSTRACT

The present dissertation it's a scientific, technological and economic study on production and assembly of the metallic structures, elaborated through the analysis and interpretation of information obtained by bibliographical rising, visits and apprenticeships in the companies of the section, evidencing the knowledge of the existent literature and the systematization capacity.

Being like this, are approached here the development of the metallic construction and its market of business, the process of obtaining the structural steel and its properties, the several stages of the production, the transport and the assembly of the metallic structures, as well as the associated services.

1. INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO [2, 3, 8, 12, 28, 56]

Segundo a teoria clássica, a primeira produção de ferro no mundo, ocorreu devido a um grande incêndio florestal na atual região da Turquia. Supostamente, a superfície terrestre possuía um conteúdo rico em minério de ferro e o calor do fogo teria produzido uma grande quantidade de ferro bruto que pôde ser batido, levando-se a diversas formas. Entretanto, os historiadores acreditam que primeiramente os homens aprenderam a usar o ferro que caíra na terra, em forma de meteoritos que freqüentemente eram encontrados possuindo ferro combinado com níquel, o que fornecia um metal duro que talvez nossos ancestrais puderam bater e lascar na forma de várias ferramentas e armas.

Apesar de grandes esforços por diversas décadas, arqueólogos continuam sem saber exatamente quando o ferro foi primeiramente usado. Arqueólogos acharam um punhal e uma pulseira de ferro dentro da Grande Pirâmide no Egito que eles acreditavam ter permanecido por lá durante pelo menos 5000 anos. O uso do ferro exerceu uma grande influência no curso da civilização. Desde o início da idade férrea, aproximadamente 1000 a.C., o progresso em tempos de paz e guerra dependeu fortemente do que as pessoas obtiveram com o ferro. Em muitas ocasiões, seu uso afetou decididamente o resultado de confrontos militares. Por exemplo, em 490 a.C. na Batalha de Maratona na Grécia, o exército de Athenas matou 6400 persianos só perdendo 192 dos seus próprios homens. Cada um dos vencedores usava aproximadamente 26 quilos de armadura de ferro nesta batalha. (Esta foi a

batalha onde o corredor Pheidippides correu 40 quilômetros para Atenas e morreu gritando notícias da vitória.), que supostamente salvou por muitos anos a civilização grega.

Passado vários séculos, a metalurgia do ferro começou a obter significantes avanços a partir de 1720, quando Abraham Darby em Coalbrookdale (Inglaterra), começou a obter ferro por fundição, usando coque ao invés de carvão vegetal. O emprego da primeira estrutura de ferro de maior importância, se deu também nesta região, com a construção de uma ponte em arco sobre o rio Severn (figura 1). Com o aperfeiçoamento das técnicas e dos fornos, tornou-se possível em 1784, empregar o coque para converter o gusa em ferro forjável. Com a invenção do convertedor por Henry Bessemer em 1855 e com a introdução dos fornos Siemens-Martin em 1864, iniciou-se a era do aço.

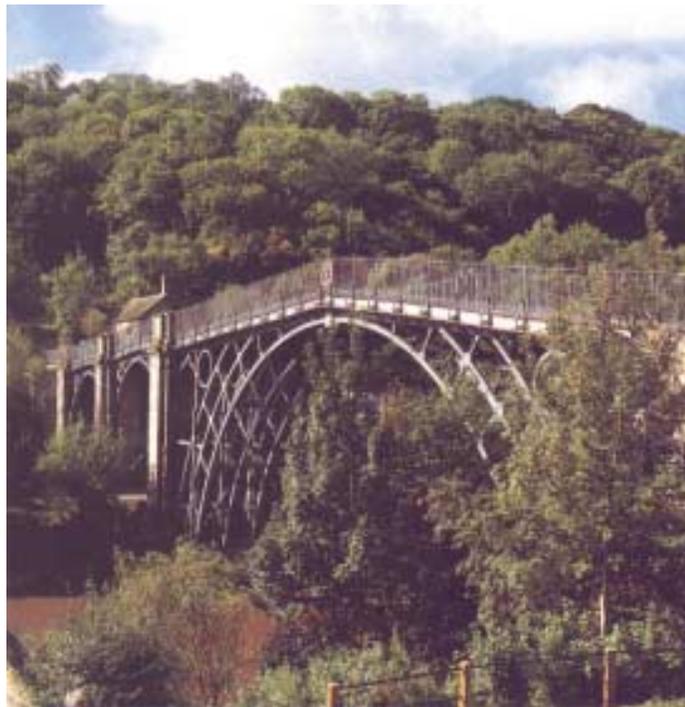


Figura 1 – Ponte em arco (1777-1779), Coalbrookdale, Inglaterra.

Viabilizando soluções e necessidades de época, o uso do aço passou a contribuir de forma histórica e crescente no decorrer dos tempos. Como exemplo proeminente, podemos citar o desenvolvimento da cidade de Chicago (Estados Unidos, 1880-1910), onde uma procura crescente por imóveis aliada aos altos preços dos terrenos, possibilitou somente à construção metálica satisfazer as exigências de mercado, onde se requeria o máximo aproveitamento do terreno e da área construída num acelerado processo de construção que pudesse atender a demanda e oferecer maior flexibilidade de utilização.

No Brasil, a metalurgia do ferro vem acompanhando desde os tempos do seu descobrimento. Entretanto com a exploração do ouro por Portugal, todos os esforços foram direcionados para tal atividade, desativando os fornos existentes da época. Somente após a chegada de D. João VI, foram permitidas a criação de novas fundições, possibilitando em 1812 a primeira corrida de gusa no país pela Fábrica de Ferro em Congonhas do Campo-MG. Após um século, onde se observou o surgimento de pequenos fornos e de obras metálicas como a Ponte de Paraíba do Sul (Rio de Janeiro) e o Teatro Santa Isabel (Recife), iniciou-se um novo surto industrial com a criação da Cia. Electro Metalúrgica Brasileira (1920) e da Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira (1921). Em 1946, entrou em operação a Companhia Siderúrgica Nacional-CSN, fundada com a finalidade de produzir chapas, trilhos e perfis de bitolas americanas. Foi então criada em 1953, pela própria CSN, a Fábrica de Estruturas Metálicas-FEM com objetivo de ajudar a difundir o uso do aço nas construções. Para atender o desenvolvimento econômico e a crescente industrialização, além da expansão das siderúrgicas existentes, foram implantadas para consolidar o mercado: a Mannesmann em 1957, a Cosipa em 1963, a Usiminas

em 1964, a Cia Siderúrgica de Tubarão em 1983 e a Açominas em 1985. Desde então foram realizadas uma enorme quantidade de construções metálicas, contribuindo para o surgimento de promissores fabricantes (figura 2) e profissionais do ramo.



Figura 2 – CODEME ENGENHARIA S/A.

1.2 DESCRIÇÃO SUMARIZADA DOS NEGÓCIOS DA CONSTRUÇÃO METÁLICA ^[26, 61]

1.2.1 ABORDAGEM DO MERCADO, ÂMBITO DE ATUAÇÃO, POTENCIAL E ENTIDADES

O mercado da construção metálica é abordado por presença continuada em clientes atuais e potenciais e por esforços junto a canais estabelecidos. São possíveis alianças estratégicas com fornecedores e clientes.

O âmbito geográfico de atuação é nacional, uma vez que a atuação internacional é dificultada por barreiras normativas. São possíveis “joint ventures” para transferências de tecnologia.

Os negócios admitem concorrentes regionais, em função do atendimento de construções de pequeno porte, de produtos comoditizados e da inconformidade fiscal como fator de competição.

Existe amplo potencial para o crescimento dos negócios, onde podemos citar algumas razões:

- O setor é substituidor (aço versus outros materiais);
- A atividade siderúrgica está em expansão no país, com privatizações e ingresso de novos grupos;
- Novas tecnologias estão chegando ao setor da construção;
- O apelo ambiental é favorável à atividade;
- As mudanças nas posturas dos clientes são também favoráveis.

O setor está organizado em entidades representativas, regionais e nacional (ABCEM, ACBCOM, GSCM, AMICEM, ASCOM e ANCOM). Os associados são empresas de portes grande e médio.

As grandes siderúrgicas nacionais têm atuado como grandes parceiras para o desenvolvimento dos negócios (figura 3). Estão em andamento programas de capacitação e de pesquisa através de convênios com universidades.



**Às vésperas
do século XXI,
já é hora de
você dominar
o aço.**

A Usiminas, através da Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço-DGA, coloca experiência e tecnologia a serviço das mais modernas soluções em engenharia e arquitetura.

O DGA oferece a assessoria de engenheiros na sua própria empresa; estudos de pré-dimensionamento de cálculo para obras em estruturas metálicas, sem custos para o cliente;

palestras, cursos e seminários sobre estruturas metálicas; assistência técnica em projetos e especificações de materiais.

Para maiores informações, ligue (031)499-8896 - fax (031)499-8323.

USIMINAS
www.usiminas.com.br

Figura 3 – DGA: Gerência de desenvolvimento da aplicação do aço da USIMINAS S/A.

1.2.2 DIMENSÕES E CRESCIMENTO DO NEGÓCIO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

O negócio da construção metálica por admitir concorrentes regionais médios e pequenos, é concorrido atualmente por 720 empresas. Destas, apenas 20 (2,8% do total) tem atuação nacional, mas respondem por 40% da produção em volume.

A produção de 1998, em volume de aço estrutural trabalhado foi em torno de 400 mil toneladas, expressando um valor de US\$ 600.000.000,00 (considerando-se o preço médio de US\$ 1,50 por kg de aço trabalhado). A quase totalidade das construções atuais no Brasil são galpões (90% das 400 mil toneladas/ano).

A taxa de crescimento do mercado é alta. No período de 1994 á 1998, foi de 16,5% ao ano, acumulando neste 114,6%. Em cinco anos, o tamanho do negócio dobrou. Espera-se um crescimento ainda mais acelerado no próximo quadriênio, da ordem de 20% ao ano. Se este ritmo confirmar-se, a expansão será de 107,7% em quatro anos. O negócio novamente dobrará. Em menos de dez anos terá quadruplicado.

Para o horizonte de 2002, o volume poderá superar 820 mil toneladas/ano, e mesmo que o preço médio por kg de aço trabalhado caia para US\$ 1,35, o negócio se aproximará de US\$ 1.200.000.000,00 anuais.

1.2.3 DIMENSÕES E CRESCIMENTO DO NEGÓCIO DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO METÁLICA

Neste negócio, as barreiras de entrada são maiores que no de construções propriamente ditas. O número de concorrentes é substantivamente menor, entretanto as escalas de produção, tecnologias de processo, capital necessário e acesso a usinas siderúrgicas são os principais obstáculos.

Nestas condições, os grandes estruturistas, que possuem fábricas de produtos complementares (como por exemplo, telhas de aço), são fornecedores dos concorrentes regionais menores.

Considerando apenas quatro produtos (telhas, steel deck, perfis de chapa dobrada e perfis soldados), o volume de 1998, foi de aproximadamente 453 mil toneladas ano, o que correspondeu a US\$ 300.000.000,00 anuais. Os preços por kg são aproximadamente US\$ 1,50 (telha pintada), US\$ 0,75 (perfil soldado) e US\$ 0,45 (perfis de chapa dobrada). Telhas sem pintura e “steel deck” são cotados a US\$ 0,60.

A tendência de crescimento é vigorosa, principalmente para o “steel deck” (produto inovador em fase de ampla penetração, com expansão média de 70% ao ano). O crescimento dos demais produtos é praticamente paralelo ao da construção metálica.

Para o horizonte de 2002, a expectativa é de 935 mil toneladas/ano, correspondendo a US\$ 600.000.000,00 anual.

1.2.4 RAZÕES DO CRESCIMENTO ACELERADO DOS NEGÓCIOS

Os fatores que influenciam positivamente tanto o crescimento do negócio da construção metálica quanto do negócio de produtos voltados para ela são os mesmos. Evoluem em linhas paralelas, podendo ocorrer destaques para mais, no caso de produtos inovadores de ampla utilização.

Entre razões do crescimento acelerado destacam-se:

- Apoio intensivo das siderúrgicas para a construção metálica;
- Industrialização da construção civil, em razão de:
 - Mais aço nas construções industriais;
 - Custos diretos e indiretos de mão de obra;
 - Investimentos em pesquisa e desenvolvimento;
 - Exigência de maior velocidade na entrega dos produtos finais;
 - Racionalidade e redução de desperdícios.
- Competitividade das construções metálicas, tanto em materiais quanto em processos;
- Privatizações nos setores de infra-estrutura, com participação de grupos ligados ao setor siderúrgico;
- Entrada de empresas estrangeiras, ajudando a ampliar o mercado;
- Globalização, conduzindo à equalização: padrões e processos universalizam-se;
- Setor de construção metálica é substituidor líquido;
- Expansão e modernização da economia brasileira.

Parâmetros internacionais relevantes: No Reino Unido, 96% dos galpões e 60% dos edifícios de andares múltiplos são em aço. Nos Estados Unidos os dados são respectivamente, 80 e 52%. Na Itália e Alemanha, os dados são 50% (galpões) e 15% (edificações). Nesses dois últimos os fatores desfavoráveis são:

- Poder dos setores concorrentes;
- Legislação dificultadora;
- Disponibilidade de mão de obra.

1.3 A TECNOLOGIA: ESTADO DA ARTE, TENDÊNCIAS E MELHORIAS NECESSÁRIAS

1.3.1 INSUMOS

- Estado da arte e tendências:
 - Utilização de aços de alta resistência;
 - Utilização de TCB (Tension Control Bolt), com melhoria da qualidade e maior agilidade na inspeção das construções;
 - Utilização de tintas à base de água, favorecendo controle ambiental e reduzindo a periculosidade na estocagem e aplicação.
 - Emprego de perfis de chapa dobrada de alta eficiência (formas mais adequadas e materiais de alta resistência).

- Melhorias necessárias:
 - Produção de perfis laminados adequados por parte das siderúrgicas nacionais, diminuindo importações;
 - Produção nacional de parafusos do tipo TCB, reduzindo também as importações;
 - Desenvolvimento nacional de fabricantes de perfis de chapa dobrada de alta eficiência.

1.3.2 ENGENHARIA

- Estado da arte e tendências:
 - Desenvolvimento de sistemas estruturais mais eficientes: estruturas mistas (combinação concreto/aço); joist (vigas treliçadas pré-fabricadas); slim floor (laje cogumelo com estrutura de aço) e steel deck;
 - Sistemas avançados de cálculo: método dos estados limites; fire engineering e análises globais inelásticas;
 - Uso intensivo de softwares integrando engenharia, projeto, fabricação e montagem (CAE/CAD/CAM);
 - Pre-engineering building (galpões com soluções padronizadas).

- Melhorias necessárias:
 - Formação do pessoal de nível superior de modo a acompanhar as novas tendências e mesmo o estado da arte;
 - Maior ênfase em "arquitetura em aço".
 - Atualização das normas técnicas;
 - Elaboração de softwares integrados adaptados às condições do país (principalmente tipologia e normas técnicas).

1.3.3 FABRICAÇÃO

- Estado da arte e tendências:
 - Automação da produção com equipamentos CNC;
 - Corte a plasma;
 - Sistema integrado de fabricação de perfis com solda a arco submerso “twin-arc” (forma mais avançada de produzir perfis soldados);
 - Linha automatizada para produção de joist;
 - Sistema automatizado de jateamento e pintura.

- Melhorias necessárias:
 - Modernização da maioria das fábricas nacionais;
 - Disponibilidade de equipamentos no país: a grande parte exige importação.

1.3.4 MONTAGEM

- Estado da arte e tendências:
 - Equipamentos de içamento de alta velocidade e precisão;
 - Plataformas de trabalho telescópicas (andaimés avançados);
 - Parafusadeiras elétricas e pneumáticas (adequadas aos elementos de fixação modernos);
 - Tendência (Japão e EUA): robotização de montagem;
 - Métodos e equipamentos mais seguros (ergonomia e segurança no trabalho)

- Melhorias necessárias:
 - Capacitação profissional específica;
 - Disponibilidade de equipamentos no país: a maioria exige importação;
 - Adequação dos métodos e equipamentos em pró da segurança.

1.4 TIPOS DE CONSTRUÇÕES [26, 46, 67, 69]

O campo de utilização das estruturas metálicas abrange os diversos setores da construção, atingindo uma alta tecnologia neste campo. Com o objetivo de ilustrar algumas das inúmeras aplicações e possibilidades construtivas do aço, são dados os exemplos a seguir:



Figura 4 – Escala WorkCenter. Edifício comercial de andares múltiplos.
Belo Horizonte/MG. Área: 5.868 m²
Estrutura Metálica: 210 ton. Steel Deck: 73 ton.



Figura 5 – Residência unifamiliar. Belo Horizonte/MG



Figura 6 – Edifício residencial de múltiplos andares.
Belo Horizonte/MG. Área: 1670 m²
Estrutura metálica: 72 ton.



Figura 7 – Fábrica da Poligran Produtos Plásticos.
Duque de Caxias/RJ. Área: 7640 m²
Estrutura Metálica: 117 ton.



Figura 8 – Shopping Center Barra Garden.
Rio de Janeiro/RJ. Área total: 28.020 m²
Estrutura Metálica: 1000 ton.



Figura 9 – Concessionária de automóveis da Jorlan S/A.
Belo Horizonte/MG. Área: 22.620 m²
Estrutura metálica: 674 ton. Steel Deck: 184 ton.



Figura 10 – Centro médico da UNIMED.
Araxá/MG. Área: 600 m²
Estrutura metálica: 21 ton.



Figura 11 – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
Ouro Preto/MG.



Figura 12 – Ponte rodoferroviária sobre o rio Paraná.



Figura 13 – USIFAST logística industrial. Galpão industrial.
Betim/MG. Área: 65.350 m²
Estrutura metálica: 1.380 ton.



Figura 14 – Hangar, Aeroporto da Pampulha.
Belo Horizonte/MG.



Figura 15 – Confeção, Phillip Martin.
Duque de Caxias/RJ. Área: 10100 m²
Estrutura metálica: 121 ton.



Figura 16 – Posto de gasolina PETROBRÁS.
Belo Horizonte/MG



Figura 17 – SELT, ginásio poliesportivo.
Contagem/MG.



Figura 18 – Igreja localizada na sede da USIMINAS S/A.
Belo Horizonte/MG.



Figura 19a – Entrepósito de Imbiruçu, vista externa.
Betim/MG. Área: 6100 m²
Estrutura Metálica: 520 ton.



Figura 19b – Entrepósito de Imbiruçu, vista interna.



Figura 20 – Reservatórios.



Figura 21 – Galpão para armazenamento de produtos.
Além Paraíba/MG. Área: 11.760 m²

2. PROCESSO SIDERÚRGICO



Fig. 22 – Usina Siderúrgica Intendente Câmara, USIMINAS S/A.

2.1 CONSIDERAÇÕES [8, 27, 31, 69]

O processo siderúrgico consiste primordialmente em produzir o ferro gusa e o aço. Este processo envolve desde a chegada de matérias primas até o produto final que será utilizado nos diversos setores do mercado.

O aço é uma liga (associação) de ferro e quantidades pequenas, definidas, de carbono (teor inferior a 1,7%) e numerosos elementos, quer sob forma de impureza, quer como materiais ligados.

A obtenção do aço requer um grande número de diferentes matérias primas, que vão alfabeticamente do Alumínio ao Zircônio. Uma usina de aço necessita de

minério de ferro, calcário, carvão, manganês, óleo combustível, sucata de ferro, magnesita, dolomita e ferrossilício dentre outros.

Em síntese, a fabricação do aço consiste em remover o excesso de carbono e de outras impurezas do ferro-gusa (ferro obtido em altos fornos com cerca de 3 a 5% de carbono e quantidades menores de manganês, fósforo, enxofre e outros elementos) e adicionar materiais desejados em quantidades controladas que lhe darão propriedades específicas, sobretudo de resistência e de ductilidade, muito importantes para sua aplicação na construção metálica.

Podemos ter dois tipos de usina siderúrgica: usina integrada produzindo o aço a partir do minério de ferro ou usina de redução direta obtendo o aço a partir de sucata.[8, 27, 31, 69]

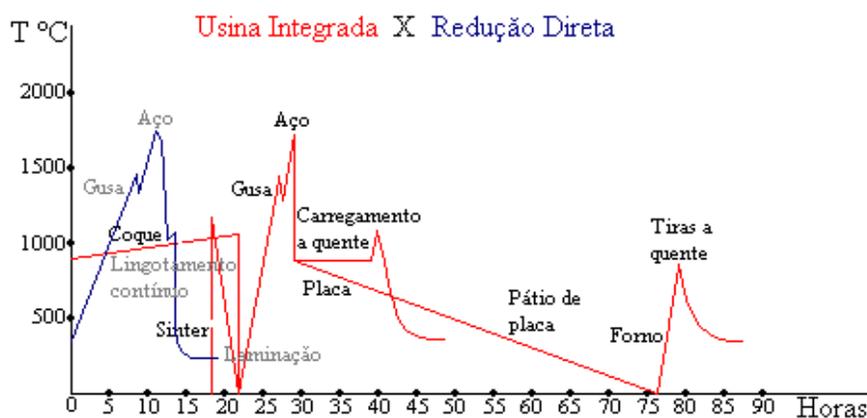
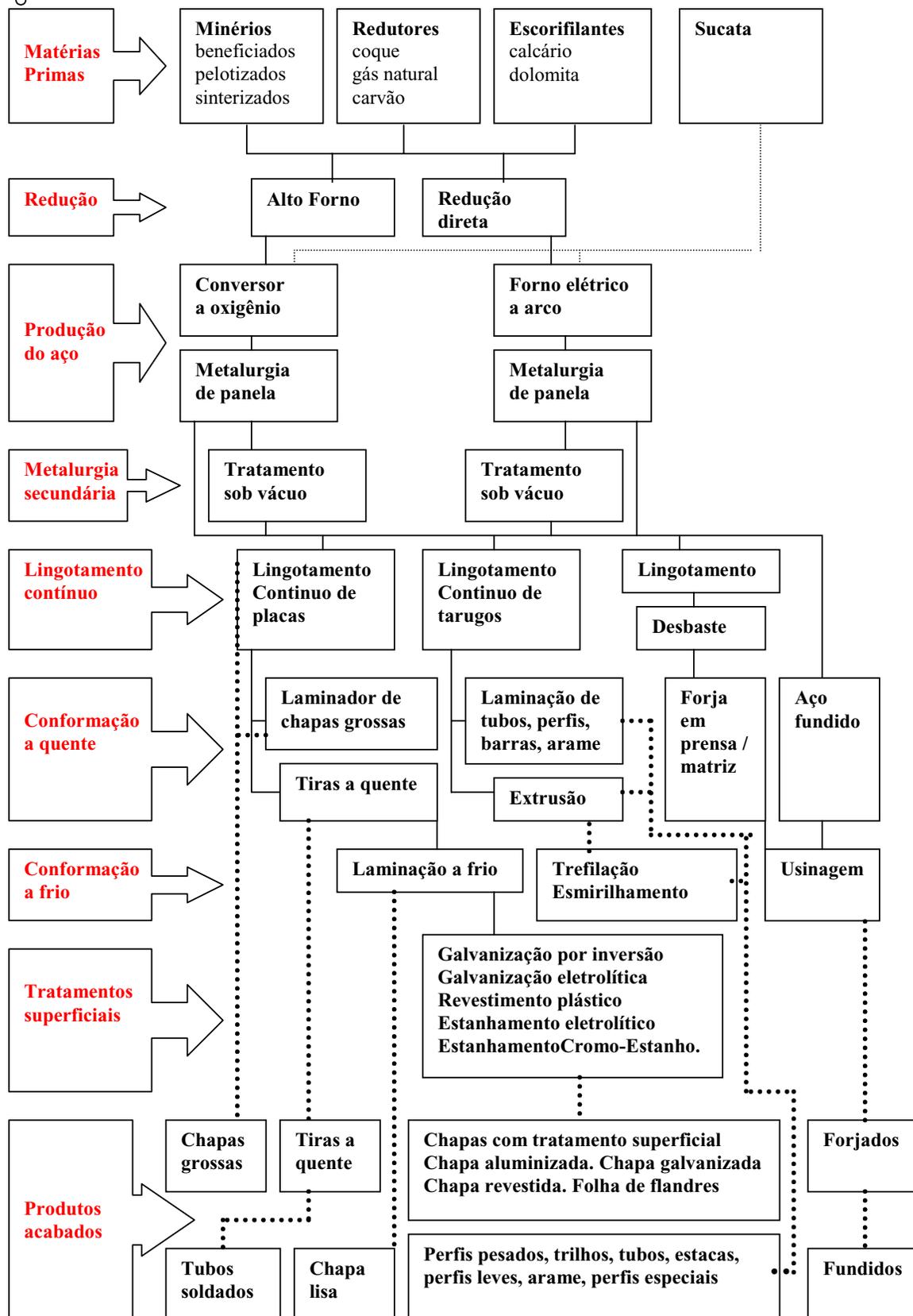


Fig. 23 – Comparação entre usina integrada e de redução direta.

Fig. 24 - Fluxograma básico do processo siderúrgico.



2.2 MATÉRIAS-PRIMAS [8, 27, 31, 69]



Fig. 25 – Pátio de matérias-primas, USIMINAS S/A.

Para fabricar o aço, necessita-se basicamente de minério de ferro, calcário e carvão mineral. Para evitar elementos químicos indesejáveis e impurezas durante o processo siderúrgico, torna-se necessário o preparo prévio das matérias primas. Desta maneira é possível aumentar a produtividade e reduzir gastos tais como o fornecimento de energia.

Minérios são caracterizados pela mistura de minerais, podendo ter alto ou baixo teor de ferro e apresentar impurezas como o enxofre, alumina, sílica e às vezes titânio. Os principais minérios a partir dos quais se obtém o ferro contêm magnetita, hematita, limonita, siderita e taconita.

O calcário é uma rocha sedimentária, constituída em sua maior parte de carbonato de cálcio. Este fundente se combina com as impurezas do minério de ferro

aquecido, e torna seus pontos de fusão mais baixos, auxiliando na remoção das mesmas. A dolomita é usada algumas vezes no lugar do calcário como fundente.

O carvão mineral é uma rocha sedimentária preta ou marrom, macia e quebradiça. Se torna uma das rochas mais úteis extraídas do solo devido a sua capacidade de queimar-se, tendo como sua mais importante aplicação, a produção de calor e vapor para a indústria.

O ar e a água são usados em quantidades muito grandes na usina, com propósitos químicos e de resfriamento respectivamente, dentre outros.

2.3 COQUERIA [8, 27, 31, 69]

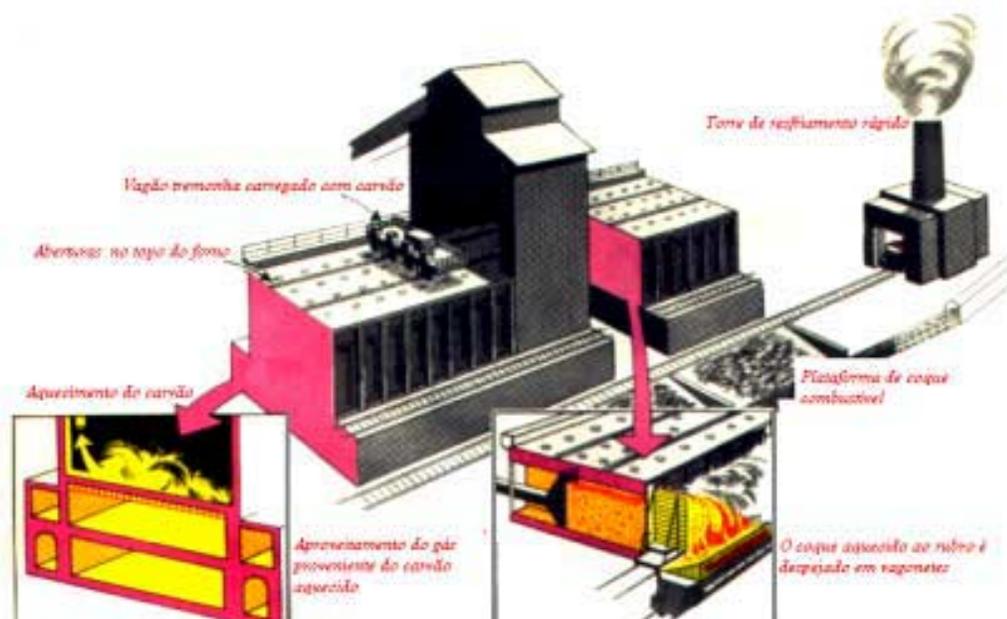


Fig. 26 – Esquema de uma Coqueria .

A coqueificação é o processo de aquecimento do carvão (pulverizado-triturado a pó) em fornalha na ausência de ar, obtendo-se como resultado o coque (resíduo sólido, acinzentado, poroso, com 87 a 89% de carbono, que produz calor intenso e sem fumaça quando queima), juntamente com um certo número de produtos voláteis que são recolhidos, tais como o alcatrão e o gás de coqueria, ambos muito valiosos (Figura 26).

O coque metalúrgico ao ser queimado ao ar que sopra dentro do alto-forno, transforma o óxido de ferro do minério em ferro puro através do gás produzido e funde o ferro e também todas as impurezas.

2.4 AGLOMERAÇÃO DE MINÉRIOS ^[8, 27, 31, 69]

A preparação do minério consiste em atender as condições necessárias e adequadas para a boa operação do alto-forno, onde soprar o maior volume possível de ar através da carga, possibilita maior queima de coque e maior redução de minério. Para tal, exige-se da carga certas características como uniformidade, faixa granulométrica estreita, isenção de finos e suficiente resistência mecânica, proporcionando maior permeabilidade à mesma e melhor contato entre os sólidos e o gás redutor, aumentando assim a velocidade com que o ar a atravessa para executar a combustão.

Através da aglomeração de minérios, obtêm-se o produto final desejado ao processo, utilizando-se de métodos como a **sinterização** (produção do sinter, obtido pela queima de partículas de minério juntamente com um combustível em uma grelha e com adições de calcário para obter uma escória básica no alto-forno) e a **pelotização** (aglomeração de minério muito fino e formação de pelotas mediante rolamento e adição de água, seguido de aquecimento das pelotas para sua consolidação).

2.5 ALTO-FORNO [8, 27, 31, 69]

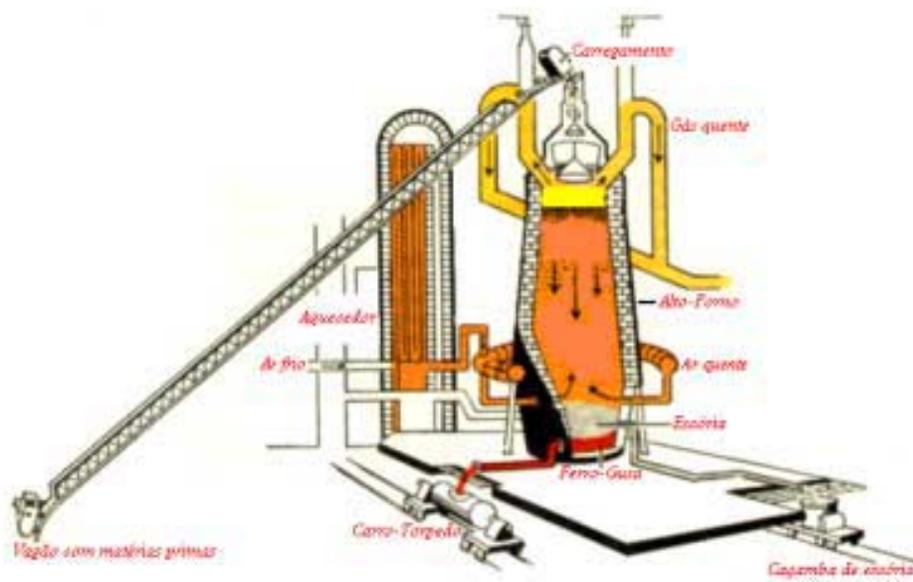


Figura 27 – Esquema de um Alto-Forno.

O alto forno consiste de um grande forno de aço revestido com material refratário resistente ao calor, podendo chegar a 100m de altura e 15m de diâmetro, com a função de separar o ferro e outros metais do minério (Figura 27). O nome provém da alta temperatura produzida pelo jato de ar forçado a entrar na parte inferior do forno para queimar o coque e produzir o calor que fundirá o minério.

As cargas são cuidadosamente pesadas e adicionadas continuamente na parte superior do alto-forno, mantendo-o sempre cheio.

Passando por aquecedores gigantes, o ar aquecido a 1300°C é injetado sob pressão no alto-forno através de furos denominados algaravizes ou ventaneiras. O calor (temperatura entre 1470 e 1640°C, aproximadamente) funde os materiais diminuindo o volume, surgindo assim, espaço para que se realimente o alto-forno. O

ferro gusa, sedimenta-se na parte inferior do alto-forno, chamada lareira ou cadinho e a escória flutua na superfície do mesmo.

A escória drenada é destinada principalmente para a fabricação de cimento, tijolos, materiais isolantes e como base de pavimentação. Parte do gás produzido é canalizado para os aquecedores e os excedentes são queimados como combustíveis em outras etapas da fabricação do aço.

O ferro-gusa fundido é drenado do forno e transportado para outras partes da usina (através de vagões revestidos com material refratário, denominados Carros-torpedo), para ser transformado em aço.

2.6 PRODUÇÃO DO AÇO [8, 9, 27, 31, 69]

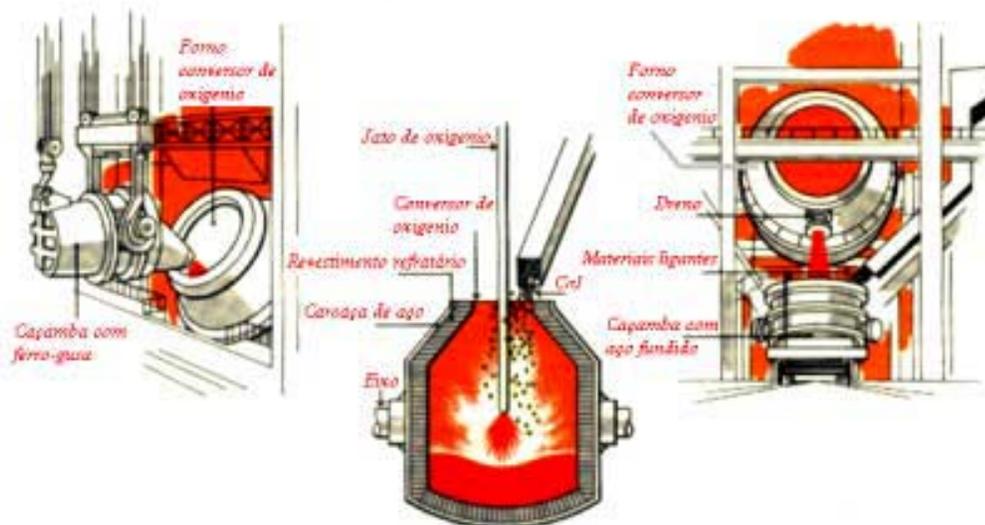


Figura 28 – Esquema de uma Aciaria.

O ferro-gusa é um material quebradiço, portanto não laminável, contendo elementos com teores indesejáveis. Torna-se necessário o refino, realizado na Aciaria (Figura 28), onde o gusa é transformado em aço.

O principal método de fabricação do aço é através do emprego do oxigênio num conversor básico, produzindo aços mais puros quimicamente. A operação é realizada num conversor revestido com material refratário e consiste em injetar pelo topo do mesmo, através de uma lança e sob alta pressão, oxigênio puro que entra em contato direto com o gusa e materiais a ele adicionados. O oxigênio reage com a mistura colocada, gerando altas temperaturas, fundindo os elementos e reduzindo o teor de carbono, fósforo, silício e de outras impurezas.

No final do processo de refino, é separado o aço da escória, que são despejados em panelas. É ajustada então a composição final, sendo adicionados elementos químicos de liga de acordo com o aço que se deseja obter.

O aço é despejado em moldes formando os lingotes ou passa através de uma máquina no qual um veio contínuo de aço fundido é solidificado e cortado.

2.7 LINGOTAMENTO CONTÍNUO [8, 9, 27, 31, 69]

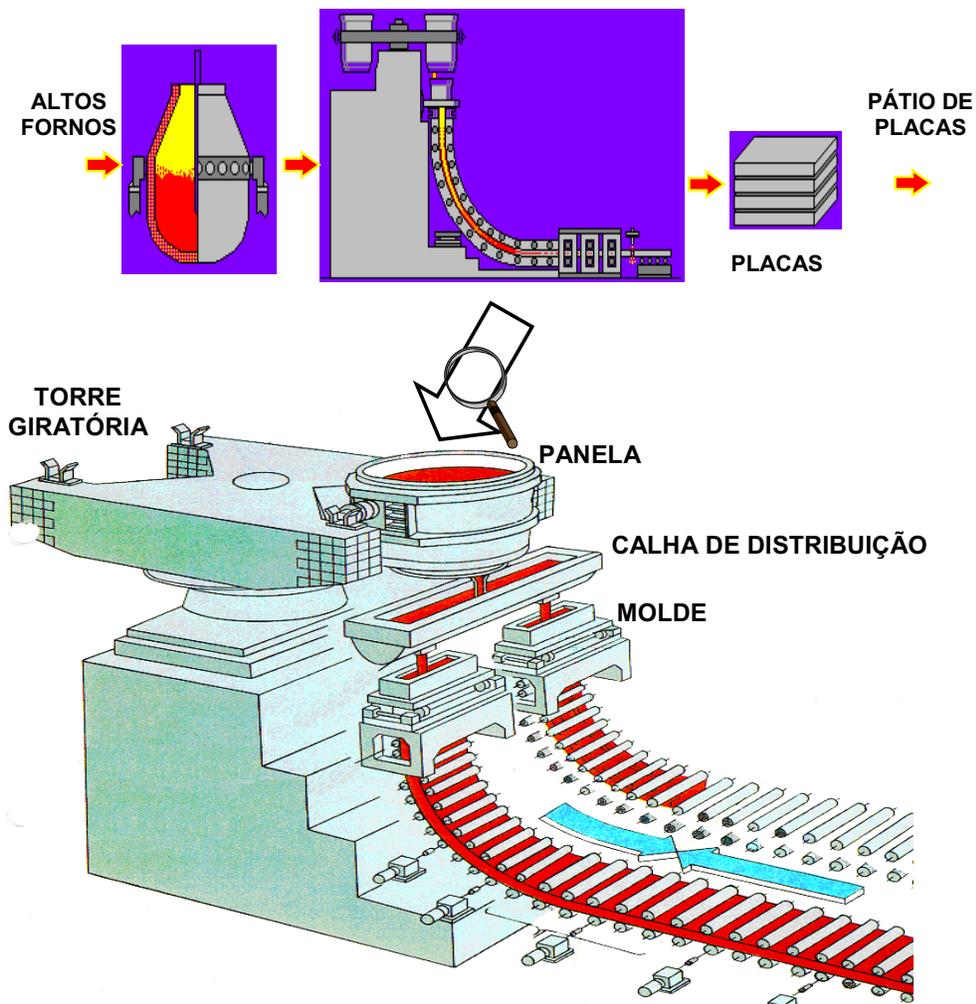


Figura 29 – Esquema de uma máquina de lingotamento contínuo.

No lingotamento contínuo (Figura 29), o aço é transferido diretamente do conversor ou da panela para a calha de distribuição e desta para o molde. No início da operação, uma barra falsa é introduzida na lingoteira, funcionando como assento e limitador da quantidade de metal líquido no molde, no qual se inicia a solidificação

do aço. Dando continuidade ao processo, o metal sai do molde sob a forma de uma placa, de casca sólida e um núcleo fluido, passando então por uma zona de resfriamento para a solidificação total, sendo depois cortado a maçarico ou por tesouras (mecânicas ou hidráulicas), nos comprimentos desejados.

2.8 LAMINAÇÃO A QUENTE ^[8, 9, 27, 31, 69]

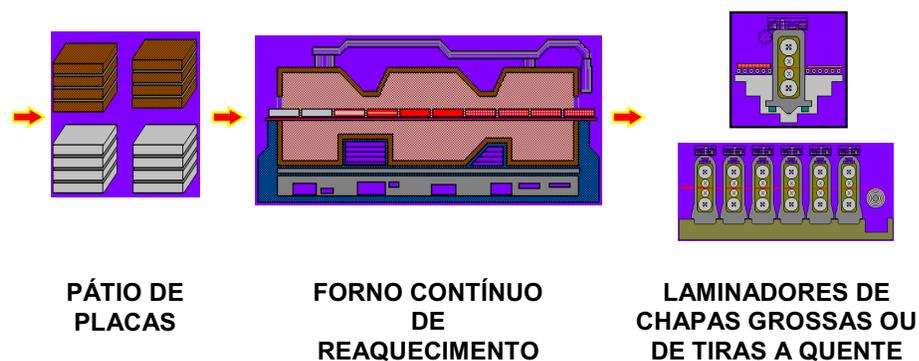


Figura 30 – Reaquecimento de placas.

Os laminadores esmagam após reaquecimento (aproximadamente 1300 °C - temperatura em que as placas se encontram suficientemente plásticas para permitir uma redução mecânica à seção desejada), o produto recebido do lingotamento (figura 30), através de pressão entre cilindros, reduzindo sua seção transversal, obtendo uma forma mais longa e delgada do mesmo. As chapas (placas que sofreram redução de espessura por laminação) são fornecidas em dimensões e condições adequadas para utilização.

2.8.1 LAMINADOR DE CHAPAS GROSSAS [8, 9, 27, 31, 69]

De acordo com a ABNT, a chapa grossa é definida como um produto de aço laminado, plano, de espessura maior que 6 mm e larguras superiores a 300 mm.

A maior parte da produção destas chapas, se limita a dimensões de até 24 metros de comprimento e 2500 mm de largura, sendo na maioria das vezes submetidas a algum tipo de tratamento térmico para obtenção das propriedades mecânicas desejadas. No nosso caso, são utilizadas as chapas definidas como de qualidade estrutural geral, usadas em edifícios, pontes, etc (Especificação NBR 6648; ASTM A36, ASTM A283).

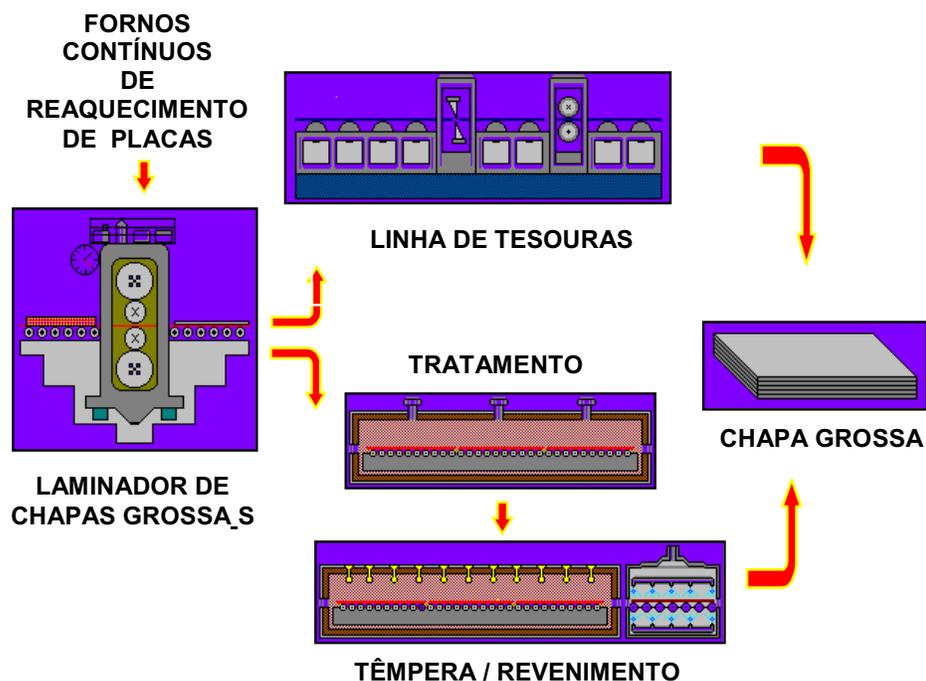


Figura 31 – Laminação de chapas grossas.

2.8.2 LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE [8, 9, 27, 31, 69]

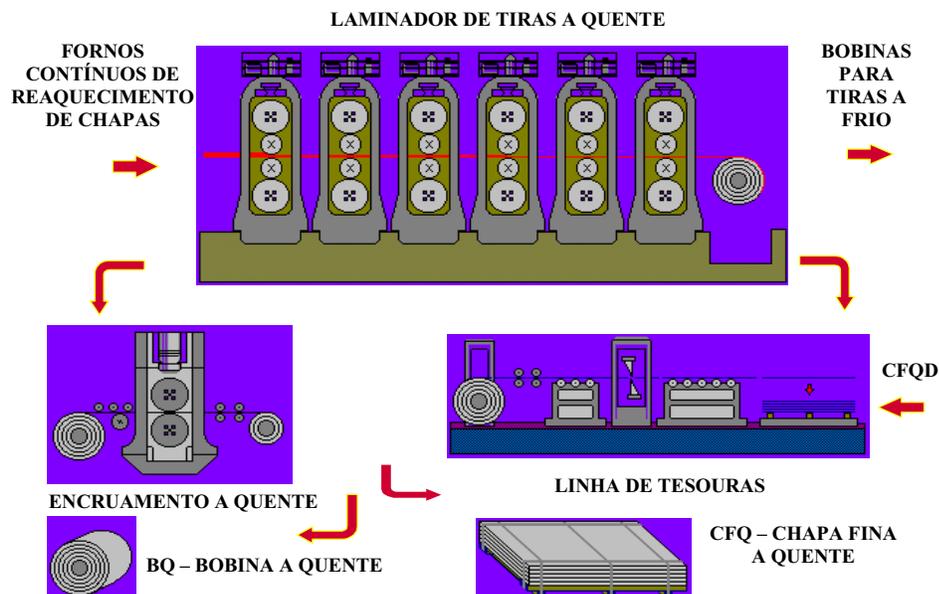


Figura 32 – Laminação de tiras a quente.

A ABNT classifica como chapa fina laminada a quente, o produto de aço laminado plano de largura maior que 300 mm e de espessura entre 0,3 e 6 mm. As chapas definidas como de qualidade estrutural possuem propriedades mecânicas bem definidas, sendo seus valores de resistência a tração, limite de escoamento e alongamento definidos na norma NBR-6650, devendo ser capazes de suportar dobramento a 180° de acordo com as condições prescritas nesta mesma norma.

As chapas são geralmente transformadas em bobinas (chapas enroladas em torno de um eixo). Devido às diferentes velocidades de resfriamento após a laminação, surgem tensões de tração na zona que estava aquecida e tensões de compressão nas regiões vizinhas. No caso de chapas, as bordas resfriam com uma velocidade maior do que a parte central, ocasionando tensões residuais longitudinais de compressão na parte central e de tensão nas bordas.

2.9 LAMINAÇÃO A FRIO [8, 9, 27, 31, 69]

Produtos que necessitam de um fino acabamento são laminados a temperatura ambiente, sendo o aço primeiramente limpo por decapagem ou mergulho em ácido.

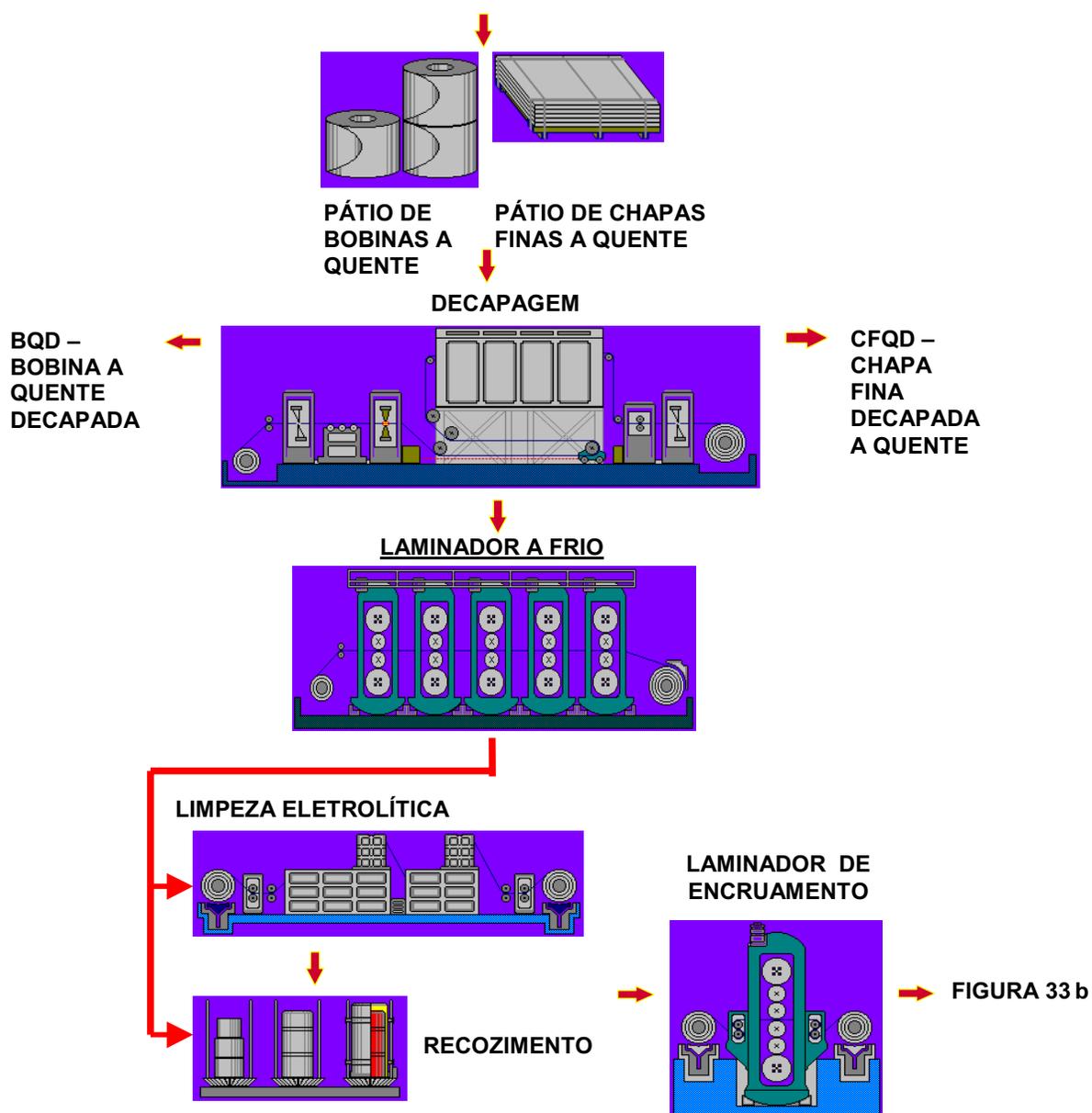


Figura 33a – Laminação a frio.

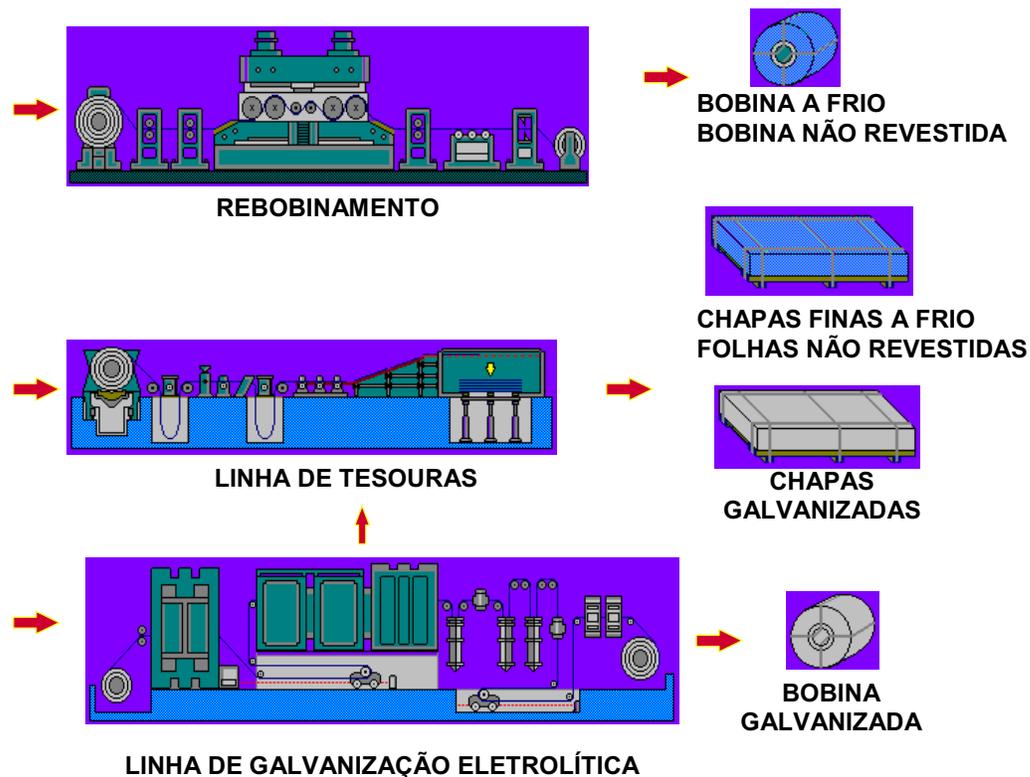


Figura 33b – Laminação a frio.

A laminação a frio de chapas ou bobinas compreende à princípio a deformação do aço a temperaturas abaixo do ponto crítico, ponto este que varia em função do tipo de aço: $627\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o ciclo de resfriamento e $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o ciclo de aquecimento. A redução a frio é obtida através da deformação da estrutura cristalina e resulta numa elevação da resistência à tração, da dureza superficial, do limite de elástico e em redução da ductilidade. Em seguida, o material é submetido a um recozimento (para restituir-lhe a ductilidade) e depois, a um passe de acabamento ou de encruamento, para uniformizar a superfície ou obter uma dureza determinada e homogênea, em toda a área.

3. AÇOS ESTRUTURAIS



Figura 34 – Chapa grossa.

O comportamento da estrutura metálica está intimamente ligado às propriedades mecânicas do aço estrutural, de tal forma a evitar a presença de deformações inadmissíveis que, por ventura, possam provocar rupturas nos elementos de um sistema estrutural.

3.1 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO ^[49, 59, 68]

Através de representação gráfica (figura 36), acompanha-se a função que relaciona diversos pares de valores tensão (σ) e deformação específica (ϵ), obtidos através de um ensaio de ruptura, onde um corpo de prova prismático de seção (S) e comprimento (L) é submetido a uma força axial de tração crescente (F), sofrendo acréscimos no seu comprimento inicial de referência (ΔL).

Tensão: F/S

Deformação: ΔL

Deformação específica: $\epsilon = \Delta L/L$

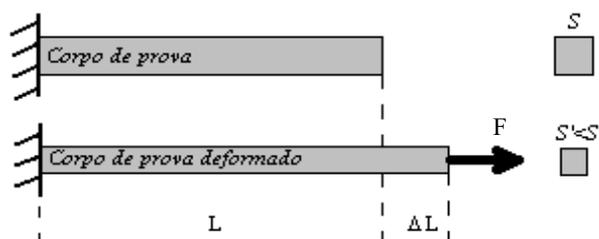


Figura 35 – Representação gráfica de um corpo de prova deformado.

O aço se classifica como um material dúctil, pois apresenta grandes deformações antes da ruptura (figura 36).

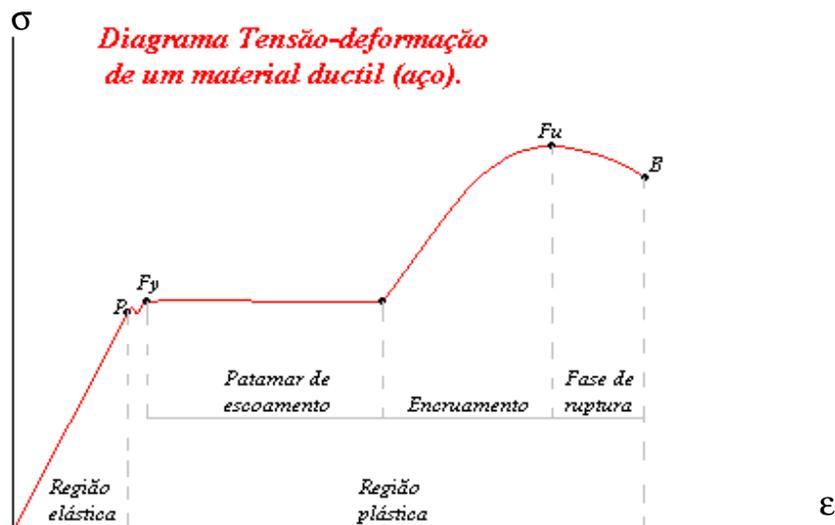


Figura 36 – Diagrama tensão-deformação.

Na região elástica, observa-se ser linear a função tensão-deformação, ou seja, o esforço aplicado é proporcional à deformação no aço, sendo válida a Lei de Hooke, $\sigma = \varepsilon \cdot E$, onde E = Módulo de elasticidade longitudinal (constante de proporcionalidade) = σ / ε . O limite de proporcionalidade (P) representa o máximo valor da tensão, abaixo da qual o aço obedece a Lei de Hooke. Muito próximo ou praticamente igual, o limite de elasticidade corresponde a tensão máxima aplicada ao aço sem que apareçam deformações residuais, ou permanentes, após a retirada total do esforço externo aplicado.

Na região plástica, compreendida entre os limites de proporcionalidade e de ruptura, atingindo-se o limite de escoamento (f_y), o aço passa a escoar-se (patamar de escoamento), ou seja, aumentam-se as deformações sem que se varie praticamente o valor da tensão. Após o escoamento, observa-se um rearranjo interno da estrutura do aço (endurecimento por deformação, conhecido por encruamento), onde se nota

uma variação não-linear da tensão com a deformação até que se atinja o limite de resistência a tração (f_u), caracterizada pela maior tensão atingida no ensaio. O limite de ruptura (B), corresponde a ruptura do corpo de prova ensaiado.

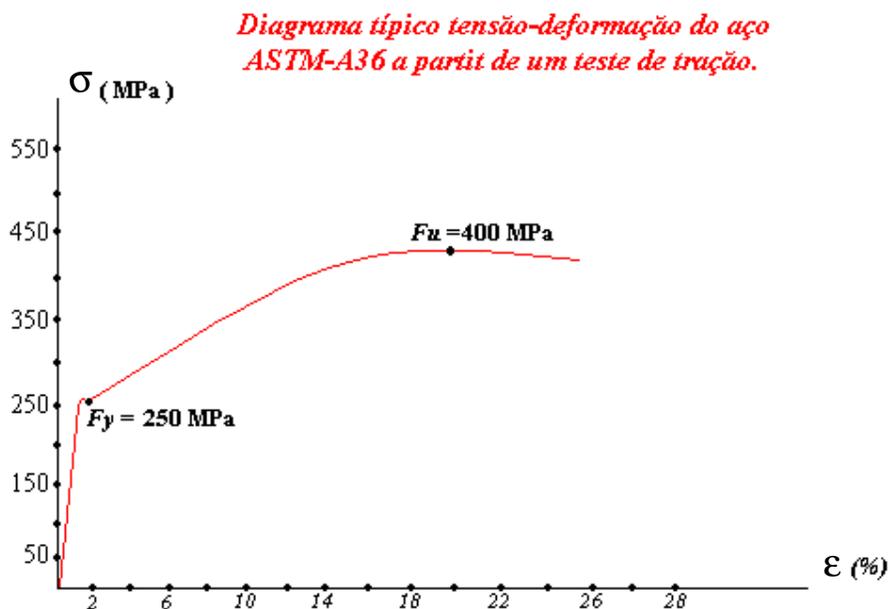


Figura 37 – Diagrama tensão-deformação do aço ASTM-A36

Notas:

O comportamento da curva no diagrama tensão-deformação de um aço obtido por laminação a frio é diferente, pois durante o processo de laminação o mesmo sofre um endurecimento por deformação, resultando numa redução do patamar de escoamento, isto é, da ductilidade

Elasticidade do aço é a sua capacidade de voltar a forma original após sucessivos carregamentos e descarregamentos.

A fadiga do aço ocorre mediante repetidas solicitações de tensões, através de sucessivos ciclos de carga e descarga.

A aplicação de uma tensão maior ou igual ao limite de escoamento, altera a estrutura interna do aço, provocando uma deformação permanente denominada de deformação plástica.

Ductilidade é a capacidade do aço de se deixar deformar acima do limite de elasticidade (fase plástica) sem se romper, sendo de grande importância nas estruturas metálicas, devido ao fato de permitir a redistribuição de tensões locais elevadas.

Tenacidade do aço é a sua capacidade de absorver a energia total, na região elástica (módulo de resiliência) e plástica, por unidade de volume até a sua ruptura, geralmente provocada por cargas de impacto.

3.2 CONSTANTES FÍSICAS [11, 16]

Em temperatura ambiente, observa-se as seguintes propriedades para qualquer aço estrutural:

- Peso específico: $\rho = 78500 \text{ N/m}^3$;
- Módulo de elasticidade: $E = 205.000 \text{ MPa}$;
- Coeficiente de poisson (relação entre a deformação transversal e a longitudinal):
 $\nu = 0,3$ (regime elástico)
 $\nu = 0,5$ (regime plástico);
- Módulo transversal de elasticidade: $G = E / [2 \cdot (1+\nu)] = 78.850 \text{ Mpa}$;
- Coeficiente de dilatação térmica (variação unitária de comprimento entre dois pontos situados num corpo submetido á variação de um grau em sua temperatura): $\alpha = 11,7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA [8, 9, 64]

A seguir será descrito os principais e mais importantes efeitos dos elementos adicionados aos aços para melhorar suas propriedades, assim como dos elementos que estão sempre presentes nos aços, ressaltando que, o efeito de dois ou mais elementos, usados simultaneamente, podem diferir dos efeitos correspondentes a cada elemento isolado.

Alumínio (Al): Utilizado como desoxidante, desgaeficante, refinador de grão e para acalmar os aços. O aço acalmado com alumínio não envelhece e é mais dúctil e tenaz que os aços não acalmados. Além disso, o alumínio evita a porosidade em peças fundidas. Entretanto o excesso de alumínio pode provocar trincas de laminação na produção de chapas finas.

Boro (B): Incorporado em pequenos teores (geralmente de 0,0005 a 0,003%), melhora as características de conformabilidade e usinabilidade do aço. É usado também para aumentar a temperabilidade em aços contendo só níquel-cromo-molibdênio.

Carbono (C): É o elemento que mais influi nas propriedades dos aços, contribuindo para o aumento de resistência e dureza. O acréscimo do teor de carbono em 0,01% provoca um aumento do limite de escoamento em 35 N/cm^2 , aproximadamente. Porém, prejudica outras propriedades, provocando redução de ductilidade, de tenacidade e de soldabilidade, além de elevação da temperatura de transição e aumento de susceptibilidade ao envelhecimento. O teor de carbono nos aços é limitado em 0,3%, no máximo, podendo ser reduzido de acordo com as características do aço desejado.

Chumbo (Pb): Aumenta a facilidade de usinagem. Os teores normalmente usados variam de 0,15% a 0,35%.

Cobalto (Co): Usado geralmente em aços de alta resistência. Diminui a temperabilidade do aço.

Cobre (Cu): Confere ao aço resistência à corrosão atmosférica e aumenta o limite de resistência à fadiga. Geralmente adicionado em teores de até 0,35%.

Cromo (Cr): Aumenta a temperabilidade, a resistência mecânica e a resistência à corrosão atmosférica.

Enxofre (S): Fornece um ligeiro aumento da resistência à corrosão em ambientes ácidos, entretanto diminui a soldabilidade e prejudica a qualidade do aço. O teor deve estar sempre baixo, no máximo até 0,03%.

Fósforo (P): Fornece um pequeno aumento do limite de resistência e da resistência à fadiga. Reduz a ductilidade, a tenacidade, a soldabilidade e aumenta a temperatura de transição. O teor máximo usado é de 0,12% para não tornar o aço quebradiço.

Hidrogênio (H): É o elemento mais prejudicial à tenacidade. Utiliza-se da combinação de outros elementos para combater a fragilização por hidrogênio.

Manganês (Mn): Combina com o enxofre, impedindo a fragilização do aço. Aumenta a tenacidade, o limite de resistência à corrosão, além de retardar o envelhecimento. Reduz de forma discreta a soldabilidade e a ductilidade.

Molibdênio (Mo): Intensifica as propriedades melhoradas por outros elementos. Aumenta a ductilidade e a tenacidade, dá maior temperabilidade e fornece maior usinabilidade com maior dureza.

Nióbio (Nb): Em teores de até 0,03%, auxilia na obtenção de aços de alta resistência e boa soldabilidade

Níquel (Ni): Aumenta a resistência à tração e se assemelha ao manganês no que diz respeito às propriedades mecânicas.

Nitrogênio (N): Geralmente nocivo aos aços por causar fragilidade aos mesmos. Aumenta a temperatura de transição e pode causar envelhecimento.

Oxigênio (O): Reduz a ductilidade e a tenacidade e pode causar envelhecimento.

Silício (Si): Contribui para o aumento da resistência mecânica, da resistência à corrosão, da tenacidade. Reduz a soldabilidade.

Tântalo (Ta): Possui poder desoxidante.

Titânio (Ti): Aumenta a resistência à abrasão, a resistência a deformação lenta e o limite de resistência. Evita o envelhecimento e tem poder desoxidante.

Tungstênio (W): Geralmente utilizado em aços especiais. Aumenta a resistência à abrasão, a resistência à deformação lenta e o limite de resistência à tração.

Vanádio (V): Intensifica as propriedades conseguidas por outros elementos, além de impedir o crescimento do grão e melhorar as propriedades de fadiga.

Zircônio (Zr): Adicionado em teores de 0,05 a 0,2% contribui para desoxidação, redução do envelhecimento e da fragilização.

3.4 CLASSIFICAÇÃO [3, 8, 9, 69]

A seguir, os aços estruturais são divididos em categorias de acordo com a sua composição química, propriedades mecânicas e métodos de obtenção.

3.4.1 AÇO-CARBONO

É aquele sem adição proposital de outros elementos, contendo o carbono e elementos com teores residuais máximos admissíveis, dentre eles, 1,55% de manganês, 0,6% de silício, 0,04% de fósforo e 0,05% de enxofre. É utilizado em temperaturas normais e quando não se faz necessário severas exigências de resistência mecânica e resistência à corrosão.

Os aços-carbono se classificam em cinco tipos de acordo com o seu teor de carbono e dureza (tabela 1), podendo também ser divididos em três classes somente pelo seu teor de carbono.

Tabela 1 – Classificação dos aços carbono.

Tipos	Teor de carbono	Classe	Características
Extra-doce	<0,15%	Baixo carbono	Boa ductilidade, tenacidade e soldabilidade
Doce	$0,15 \leq C \leq 0,30\%$		
Meio-duro	$0,30 \leq C \leq 0,50\%$	Médio carbono	Baixa tenacidade, ductilidade e soldabilidade
Duro	$0,50 \leq C \leq 1,40\%$	Alto carbono	Alta resistência ao desgaste. Má soldabilidade e tenacidade
Extra-duro	$1,40\% \leq C \leq 2,00\%$		

3.4.2 AÇO DE BAIXA LIGA

É aquele com suficientes elementos químicos adicionados para modificar as propriedades de um aço carbono simples. Tais elementos, conferem boa resistência mecânica e dureza combinados com ductilidade, tenacidade e soldabilidade. É utilizado onde se requer um grau de resistência maior, sendo empregado em diversos tipos de estrutura.

Com uma ligeira variação na composição química e com adição de elementos, tais como cobre, cromo, níquel, alumínio, fósforo e silício, obtém-se aços de baixa liga e alta resistência mecânica, soldáveis e com características de elevada resistência à corrosão atmosférica. Denominados aços patináveis ou aclimados, estes aços desenvolvem em determinadas condições de exposição ao meio ambiente (ciclos alternados de umidade e vento) uma camada de óxido compacta e aderente ao substrato metálico (pátina), que age bloqueando o processo corrosivo, protegendo o metal. São empregados onde se requer uma redução de peso aliado a uma resistência maior à corrosão atmosférica.

As figuras 38 e 39 ilustram o trabalho desenvolvido pela USIMINAS no intuito de comparar o seu aço patinável USI-SAC com o aço-carbono estrutural, em relação a resistência à corrosão atmosférica.

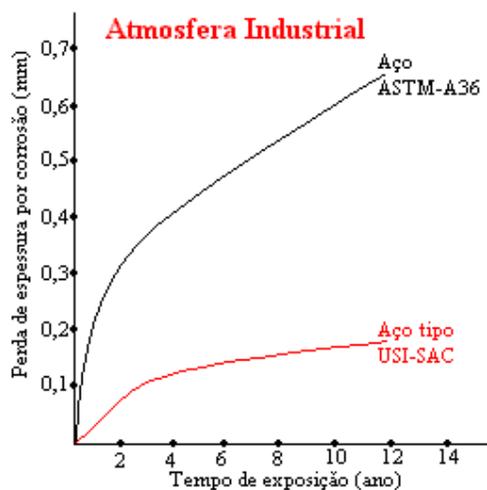


Figura 38 – Diagrama corrosão-exposição do aço em atmosfera industrial.

Tais ensaios constataram o excelente desempenho do aço patinável não revestido em atmosferas rurais e industriais, porém, demonstraram a necessidade de se revestir os mesmos em atmosfera marinha.

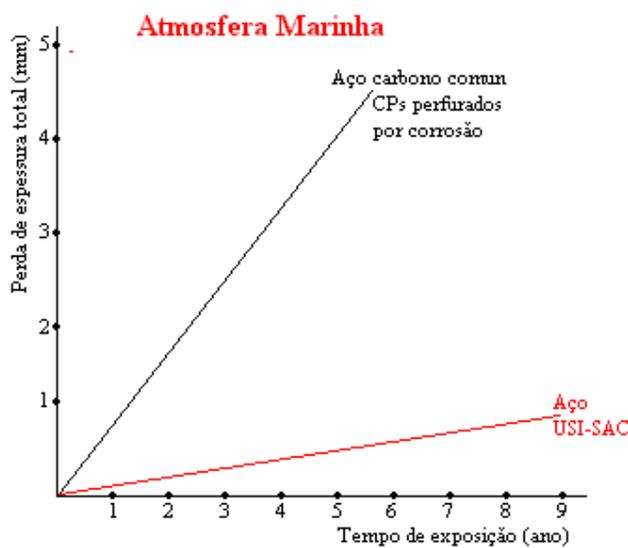


Figura 39 – Diagrama corrosão-exposição do aço em atmosfera marinha.

Com base em pequenas modificações nos aços resistentes à corrosão atmosférica e adições de elementos tais como titânio, vanádio, nióbio e molibdênio, obtém-se aços resistentes ao fogo e com características do aço de origem, ou seja, alta resistência mecânica, resistentes à corrosão e soldáveis. São empregados onde se deseja possuir maior segurança estrutural no caso de incêndio, aumentando o tempo de início de deformação da estrutura. Como ilustração, pode-se observar a tabela 2 com propriedades mecânicas do USI-FIRE 490 desenvolvido pela USIMINAS.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço USI-FIRE 490.

Propriedades mecânicas típicas do USI-FIRE 490						
Espessura (mm)	Tração de ambiente				Tração 600 °C	Impacto Charpy (0°C) (J)
	Fy(MPa)	Fu(MPa)	AL200mm(%)	Fy/Fu	Fy(MPa)	
9,50	401	600	22	0,66	310	180
22,40	364	585	21	0,62	288	177
31,50	342	551	22	0,62	252	166

3.4.3 AÇOS TRATADOS TÉRMICAMENTE

São empregados onde se necessita ter uma combinação adequada de resistência e tenacidade. Esta combinação é obtida por meio de tratamento térmico de têmpera e revenimento, tanto em aços-carbono como em aços de baixa liga. A soldagem dos aços tratados termicamente se torna mais difícil, tornando seu emprego pouco usual em estruturas correntes.

Os parafusos de alta resistência utilizados em ligações são fabricados com aço-carbono tratado termicamente. Na fabricação de barras de aço para protensão e também parafusos de alta tensão, utiliza-se de aços de baixa liga sujeitos a tratamento térmico.

3.5 PRINCIPAIS PRODUTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO [1, 3, 11, 17, 22, 27]

3.5.1 NORMALIZAÇÃO

Os materiais a serem empregados na construção metálica como conectores de cisalhamento, parafusos, eletrodos para soldagem e em especial os aços estruturais, a partir dos quais são laminados perfis, chapas planas (utilizadas na obtenção de perfis dobrados e soldados) e perfis tubulares, são normalizados e seu uso é estabelecido por normas.

Os aços estruturais estabelecidos pela ABNT, através da norma NBR 8800/86 (Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios), para utilização em estruturas de aço, estão listados na tabela 3 com suas respectivas propriedades mecânicas. A norma também permite o uso dos aços estabelecidos pela ASTM, os quais encontram-se apresentados na tabela 4. A equivalência aproximada dos aços entre as normas está relacionada na tabela 5.

Siderúrgicas brasileiras, tais como a Usiminas, CSN e Cosipa, produzem e comercializam aços estruturais, que possuem normas específicas e recebem designações comerciais próprias. Estes aços apresentam requisitos de composição e de propriedades mecânicas bem definidos, sendo adequados para diversos tipos de utilização estrutural.

Tabela 3 - Aços ABNT para usos estruturais: perfis, chapas e tubos.

Norma	Classe/ Grau	Fy (Mpa)	Fu(Mpa)
NBR 7007 - Aços para perfis laminados para uso estrutural.	MR - 250	250	400
	AR - 290	290	415
	AR - 345	345	450
	AR - COR - 354 - A ou B	345	485
NBR 6648 - Chapas grossas de aço carbono para uso estrutural.	CG - 24	235	380
	CG -26	255	410
NBR 6649 / NBR 6650 - Chapas finas de aço carbono para uso estrutural a frio e a quente, respectivamente.	CF 24	240	370
	CF 26	260	400 / 410
NBR 5000 - Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica	G - 30	300	415
	G - 35	345	450
NBR 5004 - Chapas grossas de aço de baixa e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estruturais.	F - 32/Q - 32	310	410
	F - 35/Q - 35	340	450
NBR 5008 - Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais	1, 2 e 2A		
	espessura: t ≤ 19	345	480
	19 < t ≤ 40	315	460
	40 < t ≤ 100	290	435
NBR 5920 / NBR 5921 - Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais a frio/ a quente	Laminadas a frio/ bobina a quente	310	450
	Laminadas a quente	340	480
NBR 8261 - Perfil tubular de aço - carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular (1), quadrada (2) ou retangular (2), para usos estruturais	B	290 (1)	400 (1)
		317 (2)	400 (2)
	C	317 (1)	427 (1)
		345 (2)	427 (2)

Tabela 4 - Aços ASTM de uso permitido pela norma NBR 8800/86.

Classificação	Denominação	Produto	Grupo / Grau		Fy (MPa)	Fu (Mpa)	Característica	
Aços carbono	A 36 Structural steel	Perfis	Todos os grupos		250	400 a 550	Pontes, edifícios, torres e uso estrutural geral	
		Chapas	t ≤ 200mm					
		Barras	t ≤ 100mm					
	A 570 Steel sheet and strip, hot- rolled, structural quality	Chapas	Todos os grupos	Grau 40	280	380	Perfis formados a frio usados em estruturas leves de edifícios	
			Grau 45	310	410			
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A 441 High strenght low alloy structural manganese vanadium steel	Perfis	Grupos 1 e 2		345	485	Usado onde se requer um grau de resistência maior, resistência à corrosão atmosférica duas vezes maior que a do aço carbono	
			Grupo 3		315	460		
		Chapas e barras	t ≤ 19		345	485		
			19 < t ≤ 38		315	460		
			38 < t ≤ 100		290	435		
			100 < t ≤ 200		275	415		
	A 572 High strenght low alloy columbium - vanadium steels of structural quality	Perfis	Todos os grupos	Grau 42	290	415	Usado onde se requer um grau de resistência maior	
				Grau 50	345	450		
		Chapas e barras	Grau 42 t ≤ 150		290	415		
			Grau 50 t ≤ 50		345	450		
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A 242 High strenght low alloy structural steel	Perfis	Grupos 1 e 2		345	480	Resistência à corrosão atmosférica cerca de 4 vezes maior que a do aço carbono	
			Grupo 3		315	460		
		Chapas e barras	t ≤ 19		345	480		
			19 < t ≤ 38		315	460		
			38 < t ≤ 100		290	435		
	A 588 High strenght low alloy structural steel with 345 Mpa mini-yield point to 4 in. thick	Perfis	Todos os grupos		345	485	Empregado onde se requer uma redução de peso aliada a uma resistência maior à corrosão atmosférica (4 x maior que a do aco carbono	
			Chapas e barras	t ≤ 100		345		485
				100 < t ≤ 127		315		460
		Chapas e barras	127 < t ≤ 200		290	435		

Tabela 5 - Equivalência de aços entre as normas ABNT e ASTM.

Produto	Norma ABNT NBR	Classe	Grau	Fy (MPa)	Fu (Mpa)	Classe ASTM Equivalente
Perfis	7007	MR-250	-	250	400	A-36
	7007	AR-290	-	290	415	A-572 GR-42
	7007	AR-345	-	345	450	A-572 GR-50
	7007	AR-COR-345	A	345	485	A-242 GR-1
	7007	AR-COR-345	B	345	485	A-242 GR-2 e A-588
Chapas	6648	CG-26	-	255	410	A-36
	6649/6650	CF-26	-	260	410	A-36
	5000	G-30	-	300	415	A-572 GR-42
	5000	G-35	-	345	450	A-572 GR-50
	5004	F-35/Q-35	-	340	450	A-572 GR-50
	5008	1, 2 e 2A	t≤19mm	345	480	A-588
	5920/5921	CF	-	340	480	A-588
Tubos	8261	Circular	B	290	400	A-500 GR-8
	8261	Quadrado ou retangular	B	317	400	A-500 GR-8
	8261	Circular	C	317	427	A-500 GR-8
	8261	Quadrado ou retangular	C	345	427	-

3.5.2 COMPONENTES ESTRUTURAIS

3.5.2.1 CHAPAS

São utilizadas, principalmente, na obtenção de produtos não planos, através de operações de corte, soldagem e dobramento, podendo ser classificadas em chapas finas e grossas.

A) Chapas finas: Laminadas a frio ou a quente, são fornecidas pelas siderúrgicas com espessuras-padrão variando de 0.3 a 5.0 mm. Dentre as espessuras padronizadas de chapas finas, algumas espessuras são preferenciais, isto é, são padrões em pelo menos uma usina siderúrgica. Estes valores de espessuras preferenciais estão indicados na Tabela 6.

As chapas finas a frio são fornecidas nos comprimentos-padrão de 2.000 mm, 2.500 mm e 3.000 mm, podendo também serem fornecidas sob a forma de bobinas. Apresentam larguras-padrão de 1.000 mm, 1.100 mm, 1.200 mm, e 1.500 mm. São empregadas na fabricação de complementos construtivos, tais como, calhas, rufos, esquadrias, dobradiças, portas e batentes.

As chapas finas a quente são fornecidas nos comprimentos-padrão de 2.000 mm, 3.000 mm, e 6.000 mm. Apresentam larguras-padrão de 1.000 mm, 1.100 mm, 1.200 mm, 1.500 mm e 1.800 mm. As dimensões preferenciais fornecidas pelas siderúrgicas são: largura de 1.200 mm e comprimento de 3.000 mm. São utilizadas na fabricação de perfis dobrados para estruturas leves e de terças e vigas de tapamento.

Ao se especificar a compra de uma chapa nas dimensões-padrão ou preferenciais das siderúrgicas, obtêm-se uma maior rapidez na entrega do produto e um menor preço por quilo de aço.

Tabela 6 – Espessuras padronizadas preferenciais das chapas finas e massas correspondentes.

Espessura (mm)	Massa (daN/m ²)	Espessura (mm)	Massa (daN/m ²)
0.30	2.36	1.90	14.92
0.38	2.98	2.00	15.7
0.45	3.53	2.25	17.66
0.60	4.71	2.65	20.80
0.65	5.10	3.00	23.55
0.75	5.89	3.35	26.30
0.85	6.67	3.75	29.44
0.90	7.06	4.25	33.36
1.06	8.32	4.50	35.32
1.20	9.42	4.75	37.29
1.50	11.78	5.00	39.25
1.70	13.34		

As chapas zincadas são fornecidas com espessuras-padrão de 0.25 a 1.95 mm, largura-padrão de 1.000 mm e comprimentos-padrão de 2.000 mm e 3.000 mm, e também em bobinas. São empregadas na fabricação de elementos complementares,

tais como, telhas para coberturas e tapamentos laterais, calhas, rufos, caixilhos, dutos de ar-condicionado e divisórias.

B) Chapas grossas: São fornecidas com espessuras variando de 4.75 a 150 mm, larguras-padrão de 1.000 a 3.800 mm e nos comprimentos-padrão de 6.000 e 12.000 mm, sendo empregadas em estruturas metálicas principalmente para a obtenção de perfis soldados utilizados como vigas, colunas e estacas. O valores de espessuras preferenciais estão indicados na Tabela 7, sendo que as outras dimensões preferenciais são: largura de 2.2m e comprimento de 12.0m. São utilizadas na fabricação de estruturas, principalmente para a formação de perfis soldados utilizados como vigas, colunas e estacas.

Tabela 7 – Espessuras padronizadas preferenciais das chapas grossas e massas correspondentes.

Espessura (mm)	Massa (daN/m ²)	Espessura (mm)	Massa (daN/m ²)
6.30	49.46	25.00	169.25
8.00	62.80	31.50	247.28
9.50	74.58	37.50	294.38
12.50	98.13	50.00	392.50
16.00	125.60	63.00	510.25
19.00	149.15	75.00	588.75
22.40	175.84	100.00	785.00

3.5.2.2 PERFIS

Destinados ao uso na construção de estruturas, obedecem a normas e requisitos de propriedades mecânicas bem definidas e, em alguns casos, a requisitos de soldabilidade, superfície para revestimento, resistência à corrosão atmosférica e resistência ao fogo.

Os perfis de maior utilização no mercado possuem seções transversais semelhantes às formas das letras I, H, L, T, U e Z, recebendo denominações análogas a essas letras, com exceção das seções transversais em forma de L, sendo denominados de cantoneiras. Seções transversais com geometria circular, quadrada ou retangular estão presentes nos perfis tubulares.

A) Perfis laminados: São obtidos diretamente por laminação a quente, podendo ser de abas inclinadas (padrão americano – faces internas das abas não paralelas as faces externas) ou de abas paralelas (padrão europeu). No exterior os perfis laminados são largamente utilizados na execução de obras e as indústrias siderúrgicas os mantêm como um forte fator para a obtenção de lucros. Entretanto, a oferta de perfis laminados fabricados no Brasil é bastante restrita, obrigando em determinadas situações a importação do produto. A Tabela 8 ilustra alguns perfis laminados nos comprimentos de 6000 e 12000 mm.

Tabela 8 – Perfis laminados.

Cantoneira	Perfil U	Perfil I	Perfil I IPE	Perfil I WF	Perfil I IPN
Laminada	Laminado	Laminado	Laminado Abas paralelas	Laminado Abas paralelas	Laminado Abas paralelas
L 1"x1/8"	U 3"x6.11	I 3"x8.45	80x6.0	100x9.3	80x5.94
L 1 1/2"x1/8"	U 4"x7.95	I 4"x11.40	100x8.1	100x17.2	100x8.34
L 1 1/2"x3/16"	U 6"x12.2	I 5"x14.80	120x10.4	125x13.2	120x11.1
L 1 3/4"x1/8"	U 8"x17.1	I 6"x18.50	140x12.9	125x23.8	140x14.3
L 1 3/4"x3/16"	U 10"x22.7	I 8"x27.30	160x15.8	150x14.0	160x17.9
L 1 3/4"x1/4"	U 12"x30.7	I 10"x37.70	180x18.8	150x31.5	180x21.9
L 2"x3/16"	U 15"x50.4	I 12"x60.60	200x22.4	175x18.1	200x26.2
L 2"x1/4"		I 15"x63.30	220x26.2	200x18.2	220x31.1
L 2 1/2"x3/16"		I 18"x81.40	240x30.7	200x21.3	240x36.2
L 2 1/2"x1/4"		I 20"x 121.20	270x36.1	200x30.6	260x41.9
L 2 1/2"x3/8"			300x42.2	200x49.9	300x54.2
L 3"x3/16"			330x49.1	200x56.2	340x68.0
L 3"x1/4"			360x57.1	200x65.7	360x76.1
L 3"x5/16"			400x66.3	250x25.7	400x92.4
L 3"x3/8"			450x77.6	250x29.6	450x115.0
L 4"x1/4"			500x90.7	250x44.1	500x141.0
L 4"x5/16"			550x106.0	250x64.4	550x167.0
L 4"x3/8"				250x66.5	
L 4"x1/2"				250x72.4	
L 5"x3/8"				250x82.2	

B) Perfis Dobrados: São obtidos através de conformação a frio de chapas ou tiras provenientes de fardos ou bobinas, seja por dobragem em dobradeiras hidráulicas ou por perfilagem em perfiladeiras. Possuem grande liberdade dimensional, sendo empregados em estruturas leves e dimensionadas segundo normas específicas, como a do AISI – Specification for the design of cold-formed steel structural members. A figura 40 apresenta alguns perfis dobrados, dentre os muitos existentes.

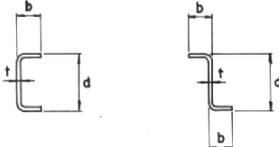
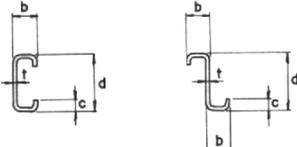
Tipo	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)
	$a = 50 \text{ a } 100$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$a \times t$ L de $50 \times 2,25$
	$d = 50 \text{ a } 200$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$d \times b \times t$ U de $100 \times 50 \times 3,0$
	$d = 50 \text{ a } 300$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$d \times b \times c \times t$ Z de $100 \times 50 \times 20 \times 2,0$

Figura 40 – Exemplos de perfis dobrados.

C) Perfis Soldados: São obtidos através do corte, composição e soldagem de produtos laminados planos (chapas), sendo amplamente utilizados nas construções em face da grande variedade de dimensões possíveis. Os perfis soldados normalizados apresentam seção transversal em forma de H ou I, sendo as abreviaturas das características geométricas do perfil indicadas na figura 41.

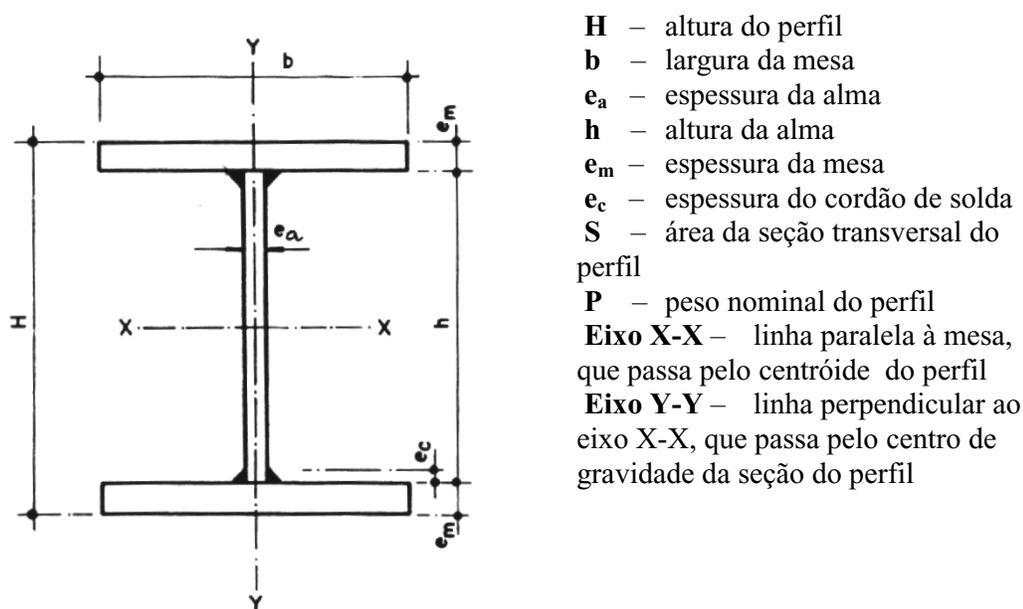


Figura 41a – Perfil soldado: abreviaturas segundo a NBR 5884.

Em função da relação h/b dos perfis, os mesmos são divididos em:

- Série CS para colunas, em que $h/b = 1$;
- Série CVS para colunas e vigas, em que $1 < h/b \leq 1.5$;
- Série VS para vigas, em que $2 < h/b \leq 4$.

De acordo com sua utilização, montagem e condições de aplicação, os perfis estão divididos em três categorias de padrão de qualidade:

- Rigoroso – I: perfis para usos especiais com elevadas exigências, tais como os utilizados em estruturas para usinas nucleares e para plataformas “off shore”;
- Normal – II: perfis usados em construções convencionais, tais como os utilizados em pontes e edificações em geral (industrial, comercial e residencial);

- Comercial - III: perfis para usos gerais, tais como os utilizados em postes e estacas.

Os perfis soldados são geralmente especificados conforme indicado na Figura 41b.

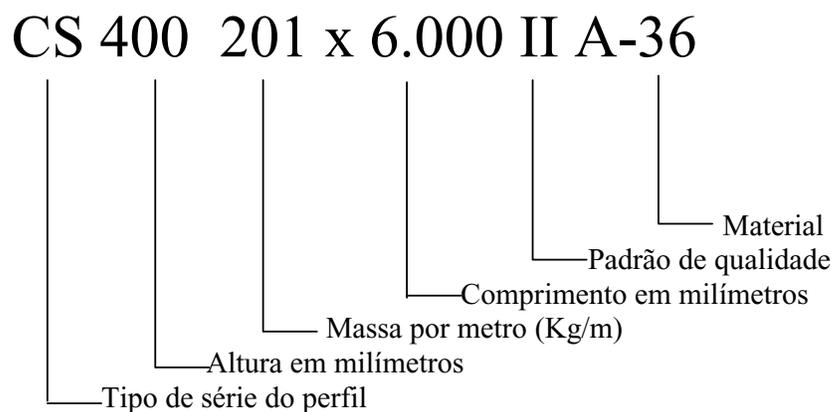


Figura 41b– Especificação de um perfil soldado.

D) Perfis Tubulares: Uma grande variedade de tubos é encontrada no mercado, sendo fornecidos no comprimento padrão de 6.000 mm. Tubos com costura são obtidos pela prensagem ou pela calandragem das chapas, com soldagem por arco submerso, e pela conformação contínua, com soldagem por eletrofusão. Tubos sem costura são obtidos através do processo de extrusão. Utilizados como elementos estruturais podem ser aplicados na formação de treliças planas ou espaciais ou como pilares, apresentando maior resistência à flambagem por torção em qualquer direção. A figura 42 ilustra alguns tipos, dimensões e simbologias usadas para os tubos com costura e sem costura.

Tubos	Sem costura		Com costura	
	Tipos	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)	Dimensões (mm)
	a x b de 50 x 30 a 120 x 80 t = 2,0 a 5,3	a x b x t 50 x 30 x 2,0	a x b de 25 x 19 a 200 x 80 t = 1,00 a 7,11	a x b x t 25 x 19 x 3,00
	a x a de 40 x 40 a 216 x 216 t = 2,0 a 5,3	a x a x t 40 x 40 x 3,0	a x a de 16 x 16 a 140 x 140 t = 1,00 a 7,11	a x a x t 140 x 140 x 7,11
	D = de 25 a 150 t = 1,5 a 9,0	D x t 25 x 2,0	d = 9 a 254 t = 1,00 a 7,11	D x t 150 x 5,00

Figura 42 – Exemplos de perfis tubulares.

3.5.2.3 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

A) Parafusos: Podem ser de uso comum, fabricados com aço de baixo teor de carbono, conforme a norma ASTM A 307 ou de alta resistência, fabricados conforme as normas ASTM A 325 e ASTM A 490. A Tabela 9 apresenta as propriedades mecânicas destes parafusos.

Tabela 9 – Propriedades mecânicas dos parafusos utilizados em estruturas metálicas.

Especificação	Limite de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Diâmetro máximo (mm)	Tipo de material
ASTM A 307	-	415	100	Carbono
ISSO 898 Classe 4.6	235	390	36	Carbono
ASTM A 325 ⁽¹⁾	635	825	12.7 < d < 25.4	Carbono, Temperado
	560	725	25.4 < d < 38.1	
ASTM A 490	895	1035	12.7 < d < 38.1	Temperado

⁽¹⁾ Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR-COR-345

Graus A e B ou à dos aços ASTM A 588.

B) Barras Redondas Rosqueadas: São usadas como chumbadores ou tirantes e apresentam propriedades mecânicas de acordo com as normas ASTM A36 e ASTM A588, sendo indicadas na Tabela 10. As roscas obedecem às normas de parafusos conforme indicado no item anterior.

Tabela 10 – Propriedades mecânicas das barras rosqueadas.

Especificação	Limite de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Diâmetro máximo (mm)	Tipo de material
ASTM A 36	250	400	100	Carbono
ASTM A 588	345	485	100	ARBL RC ⁽²⁾

⁽²⁾Alta resistência e baixa liga, resistência à corrosão

C) Conectores de Cisalhamento: Diversos tipos de conectores de cisalhamento são empregados nas estruturas mistas (Figura 43), sendo que a norma NBR 8800 apresenta os requisitos a serem atendidos pelos conectores do tipo pino com cabeça e perfil U laminado.

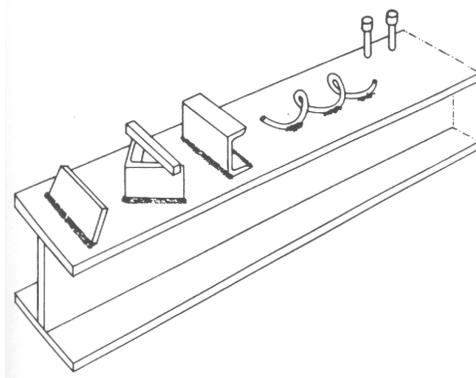


Figura 43 – Conectores de cisalhamento.

Os conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça são encontrados nos diâmetros de 12.7, 15.9, 19.0 e 22.2 mm, sendo soldados à estrutura por meio de equipamentos de solda automática. A Tabela 11 indica as propriedades mecânicas deste conector.

Tabela 11 – Propriedades mecânicas de conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça.

Propriedades mecânicas	Tipo B
Resistência a tração	415 MPa
Limite de escoamento	345 MPa
Alongamento	20% mín.
Redução de área	50% mín.

D) Chumbadores de Expansão: São empregados entre ligações de estruturas metálicas e de concreto, tendo sua capacidade de arrancamento limitada a resistência à tração do concreto (Figura 44).

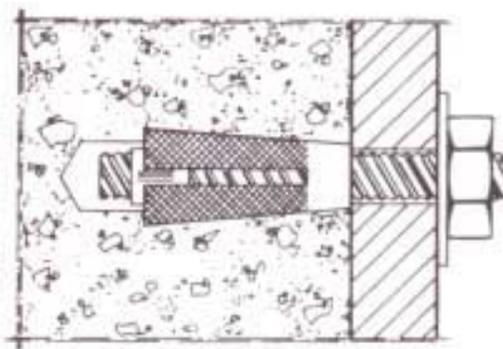


Figura 44 – Exemplo de chumbador de expansão.

4. FABRICAÇÃO



Figura 45 – Unidade fabril da CODEME ENGENHARIA S/A, Betim/MG.

4.1 CONSIDERAÇÕES [26, 35, 46, 67, 69]

Para que o fabricante de estruturas metálicas esteja à frente desta onda tecnológica que está tornando os produtos mais inteligentes e mudando tudo o que se refere àquilo que os clientes compram, como compram e onde colocam sua lealdade é preciso que o mesmo vá além do clássico trabalho sobre como vender mais produtos a menos clientes, obtendo vantagens competitivas invencíveis no âmbito da lealdade do cliente e da margem por unidade.

Uma vez que a tecnologia do microchip está possibilitando saber quais são as preferências dos clientes e construir relacionamentos indestrutíveis com os mesmos, cabe ao departamento comercial do fabricante identificar as necessidades do mesmo

e criar oportunidades de negócio, aproveitando inclusive da sinergia existente entre as siderúrgicas e os prestadores de serviço da construção metálica.

Mediante tais informações, o departamento comercial deverá processá-las de tal forma a se fazer a análise crítica e a seletividade das oportunidades, procurando nesta fase do processo interagir ao máximo com os outros departamentos (principalmente com o de planejamento e controle da produção que procurará viabilizar o prazo pré-estabelecido pelo cliente) e em paralelo procurar na medida do possível trabalhar o cliente no intuito de antecipar a concepção do projeto (tirar partido das vantagens da construção metálica).

Após análise e seletividade da oportunidade, a mesma deverá ser encaminhada à engenharia de orçamentação que por sua vez, apresentará soluções integradas para a obra e uma estimativa de peso do projeto. No caso de se tratar de uma proposta com grandes possibilidades de contratação, deverá também ser elaborado um pré-dimensionamento, gerando com isto uma lista de material avançada (LMA). Neste último, se o cliente possuir uma data definida, deverá ser elaborada ainda na proposta uma corrente crítica macro para a obra e feito um prévio carregamento de fábrica intitulado como grande chance, devendo a lista de material avançada ser encaminhada ao suprimento para a reserva do material.

Elaborado o orçamento (serviços pertinentes e associados à engenharia, fabricação e montagem), caberá então ao departamento comercial fazer a valorização final da proposta e encaminhá-la pessoalmente ao cliente. Caso após a análise da proposta pelo cliente a mesma não for aceita, o departamento comercial deverá imediatamente identificar os pontos problemáticos e atuar nas áreas envolvidas (feedback), e se possível corrigi-los a tempo para reencaminhar a proposta.

Sendo a proposta então aceita pelo cliente, caberá ao departamento comercial ativar o projeto, emitindo uma ordem de execução do mesmo com um orçamento autorizado. Nesta fase deverá ser realizada uma reunião para conhecimento do projeto, devendo ser analisadas as reais necessidades de aquisição e elaborada a corrente crítica geral do projeto (suprimento, projeto, detalhamento, fabricação, transporte, montagem, outros), que a partir deste instante passará a ser fielmente acompanhada e controlada pelo administrador do projeto, para que tudo se realize dentro das condições estabelecidas.

A engenharia dará início ao cálculo e detalhamento do projeto, gerando desenhos de conjunto e uma LMD definitiva conforme a corrente crítica, que passarão pelo arquivo técnico para um gerenciamento e codificação dos documentos, sendo então geradas cópias dos mesmos e distribuídos para as áreas afins. O planejamento e controle da produção (PCP) de posse destes documentos irá estipular dentro da corrente crítica quando, como, em qual máquina ou obra, com qual duração deverá então ser realizada as tarefas da produção.

A produção de posse deste planejamento e programação e abastecida pelo suprimento, executará suas atividades gerenciando a logística do processo, fabricando, despachando e montando conforme corrente crítica.

4.2 PROJETO DA ESTRUTURA [7, 11, 26, 33, 46, 59, 67, 69]



Figura 46a – Escritório de projeto da CODEME EGENHARIA S/A.

De acordo com a NBR 8800/86 o projeto de uma estrutura metálica compreende o conjunto de cálculos, desenhos, especificações de fabricação e de montagem da estrutura.

A estrutura metálica é realizada por processos industriais, que se caracterizam pela racionalização e mecanização, sendo que o bom desempenho da fabricação e montagem com conseqüentes ganhos de produtividade, prazos, custos e desperdício de material, depende de um projeto e de um detalhamento criteriosamente trabalhados, assim como da compatibilização de projetos e sistemas complementares, de tal sorte a obter o maior número de vantagens com a escolha do aço como elemento construtivo.

Para a realização de um projeto em estrutura metálica, como em qualquer construção, determina-se primeiramente o seu objetivo, que deve estar definido nos documentos que compõem o projeto arquitetônico ou o projeto básico, este mais usado em projetos de instalações industriais.

Orientando-se no projeto arquitetônico ou projeto básico, é determinado o esquema estático da estrutura metálica mais conveniente para o caso, onde são indicadas as dimensões, cargas atuantes e todos os dados necessários para o cálculo e dimensionamento da estrutura.

O cálculo e o dimensionamento da estrutura são feitos por métodos analíticos precisos, utilizando-se em grande parte os programas de computador, que determinam todos os esforços que atuam nos elementos da estrutura, suas reações de apoio para o cálculo e projeto das fundações e o dimensionamento otimizado (perfil mais econômico) das colunas e vigas de acordo com as normas adotadas, que pode ser a NBR 8800/86 assim como as estrangeiras, no caso, as normas americanas de tensões admissíveis (AISC-ASD) ou dos estados limite (AISC-LFRD), a DIN 18800 ou a Eurocode. O cálculo e o dimensionamento ficam registrados em uma memória de cálculo que contém todos os dados para a continuação do desenvolvimento do projeto. Embora os desenhos de projeto da estrutura metálica comecem a ser feitos tão logo se tenha o projeto arquitetônico ou projeto básico, só ficará concluído após a determinação de todo o dimensionamento. Nestes desenhos estão indicadas todas as dimensões principais da estrutura, bem como definidos todos os perfis com as respectivas especificações, parafusos com o tipo de ligação empregada, soldas e demais elementos que compõem a estrutura, as normas que foram usadas e todas as

informações necessárias para a fabricação e montagem , tais como, contra-flecha de vigas e treliças.

No caso de edifícios industriais, nos desenhos de projetos são indicadas as posições das cargas e fixação dos equipamentos que serão suportados pela estrutura, os valores destas cargas e, eventualmente dados para a consideração de efeitos dinâmicos.

Também consta do projeto, o desenho do quadro de cargas e chumbadores, onde são fornecidas todas as solicitações nas mais variadas hipóteses, bem como a fixação da estrutura nas respectivas fundações, dados estes fundamentais para o projeto das fundações da estrutura. Muitas vezes este desenho é fornecido adiantado para agilizar o projeto e execução das fundações, em forma de croquis, tão logo os dados necessários sejam obtidos.

Além de servirem para a elaboração dos desenhos de fabricação e montagem, os desenhos de projeto fornecem elementos para que todos os envolvidos na construção possam desenvolver suas respectivas tarefas.

Junto com os desenhos de projeto, é fornecida uma lista preliminar do material, para que seja providenciada a compra da matéria prima para a fabricação da estrutura.

Como etapa seguinte, são elaborados desenhos de fabricação da estrutura. Estes desenhos podem ser feitos por quem executou os desenhos de projeto ou pelo fabricante da estrutura metálica, tendo como base fundamental a memória de cálculo e os desenhos de projeto. Nos desenhos de fabricação são definidas todas as peças que compõe a estrutura com todos os detalhes para encaixe e ligação, os quais determinam todas as operações de fabricação necessárias. Como isto está ligado à

capacidade de cada fábrica, as ligações são definidas conforme o mais conveniente para a fabricação e montagem, salientando que, quer sejam as ligações parafusadas, soldadas ou mistas, estas devem resistir ao esforço máximo de cálculo indicados nos desenhos de projeto ou na memória de cálculo.

Desde que seja combinado e especificado o meio mais conveniente para as ligações, estas podem ser determinadas pelo próprio calculista da estrutura, podendo ser fornecidas mediante croquis ou desenho de projeto com detalhe das ligações. Ligações padronizadas devem ser usadas tanto quanto possível, sendo indicadas mediante convenção.

Quando cada peça da estrutura é detalhada, esta recebe uma denominação, que deverá ficar marcada na peça durante a sua fabricação e servirá para futura localização durante a montagem da estrutura. A marca de cada peça fica indicada nos desenhos de montagem de forma semelhante aos desenhos de projeto, sendo que em vez de indicarem o material, indicam a posição das peças na estrutura por suas marcas. Os desenhos de montagem são feitos por quem faz os desenhos de detalhamento.

Durante o detalhamento, são especificados e anotados em listas de parafusos, os parafusos necessários à ligação das peças que compõe a estrutura, indicando-se a quantidade, o tipo e o diâmetro dos parafusos, a pega, o comprimento, as arruelas e porcas necessárias e quais as peças que se interligam. Para a aquisição dos parafusos, é feita uma lista resumo de parafusos, onde todos os parafusos são classificados por tipo, diâmetro e comprimento.

A fabricação da estrutura pode ser iniciada tão logo fique pronto o primeiro desenho de detalhamento. Se ainda não foram detalhadas, os chumbadores e

demais peças de fixação da estrutura são as que devem ser feitas em primeiro lugar, afim de possibilitar a conclusão das fundações. Normalmente, segue-se a fabricação das colunas, vigas dos pórticos e dos contraventamentos, obedecendo ao cronograma de montagem da estrutura. Em seguida são fabricadas as vigas secundárias e de piso e posteriormente as tesouras, travessas e terças.

Em construções de maior porte, pode-se dividir a fabricação e montagem em etapas, atendendo aos interesses do cliente ou da própria fábrica.



Figura 46b – Escritório de projeto da CODEME EGENHARIA S/A.

4.3 MANUFATURA INTEGRADA [11, 13, 26, 33, 46, 59, 67, 68, 69, 70, 71]



Figura 47 – SIEPEM, CODEME ENGENHARIA S/A

Empresas especializadas na criação de softwares, treinamento e serviços de consultoria nas áreas de projeto e produção, assim como os próprios fabricantes de estruturas metálicas vem implementando uma metodologia de integração e automação através das soluções oferecidas dentro da sistemática CAE/CAD/CAM.

Os softwares de CAE (Computer aided engineering) desenvolvidos para auxiliar projetistas das áreas de engenharia civil e industrial oferecem possibilidades de: criar o desenho da estrutura em 3D através de um modelador, personalizar os arquivos e optar por ligações soldadas e ou parafusadas, analisar os principais tipos de ligações soldadas e parafusadas assim como estruturas reticulares planas (treliças), inserir carregamentos na estrutura, fazer análises estáticas e ou dinâmicas de acordo

com as normas, considerar a ação do vento através de uma rotina automática, apresentar resultados de resistência e instabilidade dos componentes através de representação gráfica colorida que facilita identificar as mesmas, apresentar diagramas de tensões, apresentar uma estimativa de peso (lista de material avançada) e o pré-dimensionamento da estrutura, transferência automática de dados em 3D para 2D e depois para programas de CAD que irão detalhar o projeto, dentre outras.

Os softwares de CAD (Computer aided design) desenvolvidos para gerar projetos (desenhos), oferecem possibilidades de: escolha simplificada de escala facilitando a inserção de parâmetros, inserção de todos os símbolos necessários no desenho, geração automática de um catálogo do usuário com todas as particularidades construtivas necessárias, carregamento automático de desenhos pré-concebidos, importação dos cálculos feitos nos softwares de CAE ou no próprio CAD, apresentação do detalhamento da estrutura e a lista de materiais definitiva. Programas complementares são aplicados em conjunto aos de CAD, gerando automaticamente arquivos de CAM para as máquinas CNC e gerenciando os desenhos, podendo armazenar, organizar, localizar e imprimir os mesmos rapidamente.

Os softwares de CAM (Computer aided manufacture) promovem a interface entre os softwares de CAD e as máquinas CNC (Computer Numeric Control) presentes no chão de fábrica. Dentre os softwares desta linha podemos citar:

- Os gerenciadores de estoque com possibilidades de controlar o material do depósito por completo (barras, chapas, formas irregulares, sobras, etc...), gerando códigos simplificados e interface com softwares de otimização de material;

- Os programas especificamente projetados para trabalhos em perfis, proporcionando um mínimo de desperdício e um máximo aproveitamento na equalização dos tamanhos com possibilidades de inserir automaticamente tarefas de arquivos CAM e interface com programas de gerenciamento da produção e do estoque;
- Os programas desenvolvidos para otimização de trabalhos em laminados planos (chapas), com possibilidades de se obter prévias e porcentagens de desperdício e importar automaticamente tarefas de arquivos CAM;
- Os programas elaborados para simplificar o gerenciamento da produção, oferecendo possibilidades de configurar a logística dos materiais, transferir automaticamente os desenhos e cálculos do CAD, criar listas de prioridades, otimizar os ciclos de produção baseados no carregamento das máquinas, interagir as necessidades de campo com a produção e estimar custos;
- Os programas elaborados para simplificar o gerenciamento das máquinas de produção, oferecendo possibilidades de configurar a movimentação das peças, otimizar o plano de carga das máquinas, transferir automaticamente desenhos e cálculos do CAD e trabalhar em conjunto com programas de gerenciamento da produção e planejamento;
- Os programas elaborados para simplificar o planejamento da produção, oferecendo possibilidades de organizar o calendário e interrupções da produção, transferir automaticamente desenhos e cálculos do CAD, gerenciar a produção, analisar possibilidades de cumprimento do prazo e trabalhar em conjunto com programas de gerenciamento da produção e das máquinas para um gerenciamento completo;

- Programas desenvolvidos para gerenciar as máquinas CNC com possibilidades de importar automaticamente os arquivos CAM, selecionar as peças a serem enviadas para as máquinas e controlar a produção.

A integração de todas estas atividades em ambiente de rede, tem permitido aos fabricantes de estruturas metálicas, compartilhar de todas as informações técnicas e de gestão entre os escritórios e as unidades de fabricação promovendo a sinergia interna e ou a com clientes e fornecedores via internet.

4.4 TRABALHOS DE FÁBRICA [26, 46, 67, 69]

De um modo geral, uma fábrica de estruturas metálicas corresponde a uma instalação fixa, relativamente simples e de grande flexibilidade, podendo realizar simultaneamente uma série de operações específicas. O porte da fábrica irá depender da capacidade desejada, podendo ser constituída por uma única seção, no caso de pequenas instalações, onde serão realizadas todas as operações ou constituída por múltiplas seções, no caso de médias e grandes instalações, onde as diversas etapas do processo estarão associadas a um determinado setor.

Após captadas as necessidades do cliente e definido o projeto, inicia-se o processo de fabricação que passará antecipadamente pelo planejamento e controle da produção. Esta etapa inicia em paralelo com o estudo de viabilidade e vai se desenvolvendo até o início efetivo do compromisso (contrato), sendo a mais importante por retratar toda a estratégia e fluxo de ações, priorizando-as. Com foco na logística do processo esta etapa observa dentre outros os seguintes pontos: seqüência de montagem, limitações de canteiro, interface com obras civis, segmentação operacional do empreendimento e fluxo de caixa do cliente. Com base nesta logística, o PCP otimiza o uso dos recursos de fábrica (físico x financeiro) e administra as cargas de fábrica, executando a gestão simultânea de vários projetos.

São então definidos o fluxo de fabricação envolvendo estudos de métodos e processos. bem como gabaritos, programas para máquinas CNC e documentação pertinente ao processos, sendo observados além dos aspectos técnicos, de normalização e da qualidade a racionalização do processo fabril, dos componentes e da matéria prima assim como a otimização do uso e do aproveitamento da mesma.

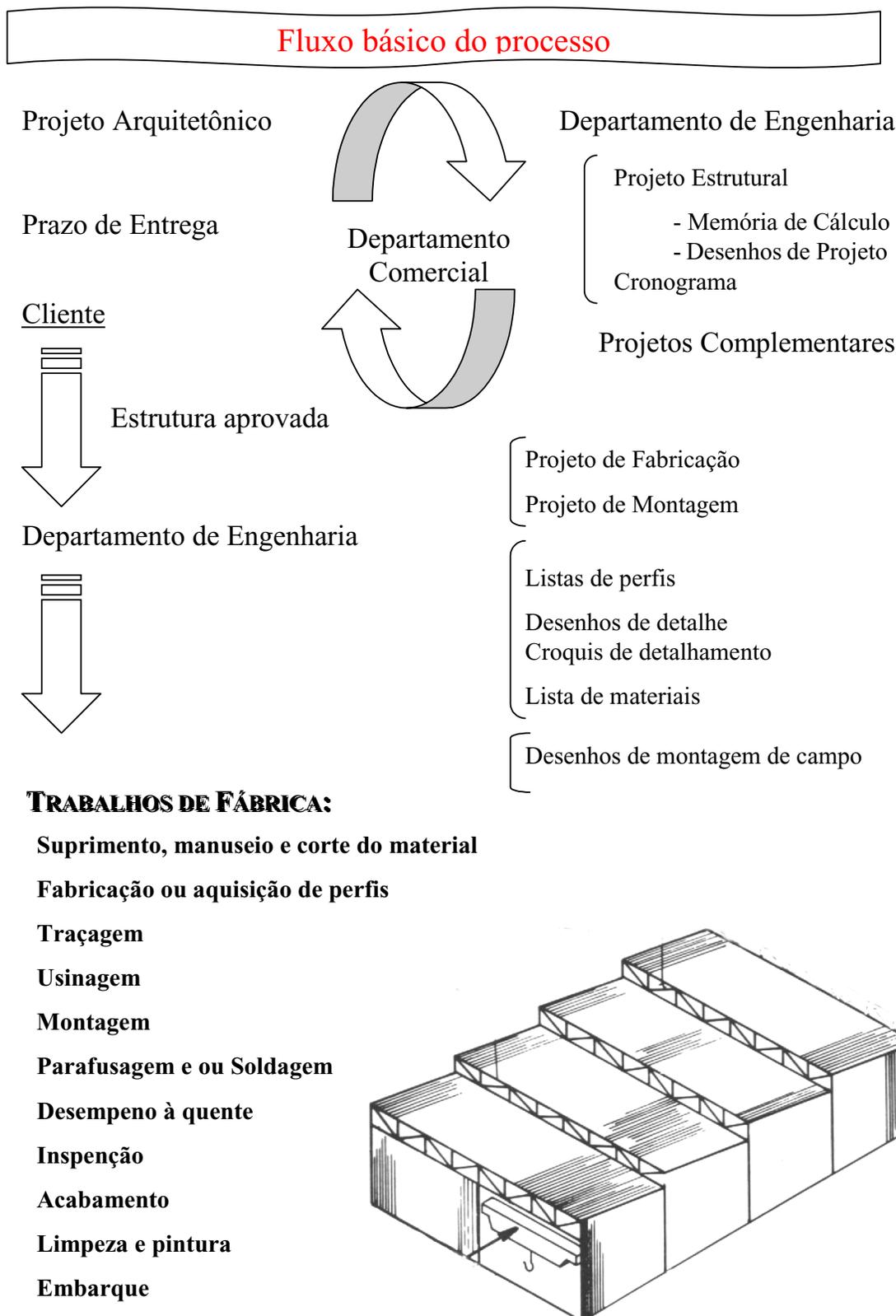


Figura 48 – Fluxo básico do processo de fabricação.

4.4.1 Suprimento ^[26, 34, 35, 46, 67, 69]

As fábricas de estruturas metálicas, recebem o aço na forma de chapas ou bobinas, da usina siderúrgica ou distribuidor. Dependendo do porte ou característica da fábrica, esta recebe, perfis laminados, dobrados e tubulares de fabricantes específicos para este fim. São adquiridos junto a fornecedores, materiais diversos para consumo e aplicações diretas como parafusos, porcas e arruelas; eletrodos revestidos, arame para solda e fluxos; granalhas; tintas e solventes; etc.

Se utiliza em maior escala do transporte rodoviário para a entrega dos materiais, que são adquiridos apenas em quantidades necessárias para suprir as linhas de fabricação a curto prazo. As fábricas exigem certificado de garantia de qualidade de todo material e reservam um espaço adequado para recebimento e vistoria, fazendo ensaios do material sempre que julgar necessário.

É destinada uma área onde cada material segue rigorosamente as normas e instruções dos fabricantes que definem o melhor procedimento para armazenagem.

Ao setor de suprimento cabe exercer as seguintes atividades básicas:

- Seleção de fornecedores, negociação de termos de compra mais vantajosos e emissão das ordens de compra necessárias;
- Agilização dos embarques dos materiais sempre que necessário, para garantir as entregas a tempo de atender aos programas, assim como negociar quaisquer alterações nos programas de compras ditados pelas circunstâncias;
- Integração entre fornecedores e outros setores da empresa, inclusive os de engenharia, controle de qualidade, fabricação e controle de produção e

finanças, em relação a todos os fatos que possam envolver problemas na compra de materiais;

- Busca de novos produtos, materiais e fornecedores que possam contribuir para com os objetivos da empresa. Ação globalizada com informação das mudanças havidas nas condições de mercados e em outros fatores que possam interagir com as operações da empresa.

4.4.2 Manuseio ^[26, 35, 46, 48, 67, 69]

Para que a matéria-prima possa ser transformada em produto acabado, três elementos básicos de produção (homem, máquina e material) devem se movimentar, sendo que na construção metálica, o material é o elemento que predomina na movimentação.

O desafio dos fabricantes de fazer produtos de maior qualidade a um custo menor e de maneira mais oportuna, está intimamente ligado a movimentação de materiais que representa uma parcela significativa do custo total da estrutura assim como, exige um método e processo adequado aos parâmetros construtivos.

Cabe ao fabricante de estruturas metálicas, além de se preocupar com equipamentos e máquinas que executam a operação, procurando aprimorá-las e dotá-las de dispositivos e requisitos que aumentam seu desempenho, sempre analisar a movimentação do material, o seu manuseio nos pontos de trabalho e, depois de trabalhado, novamente o seu manuseio para a operação seguinte ou para o estoque de espera intermediária. Desta análise se espera que a movimentação dos materiais forneça a quantidade certa do material certo, na condição certa, no lugar certo, na posição certa, pelo método certo, seguramente, na seqüência certa, pelo custo certo.

No presente, os meios de movimentação de matérias-primas, assim como o deslocamento e posicionamento dos elementos em fabricação nos diversos setores de produção, são auxiliados por equipamentos adequados ao tipo de carga, que podem ser apoiados a estrutura da fábrica ou nos pisos.

São usados equipamentos fixos como: talhas e braços giratórios para pequenas cargas localizadas e equipamentos móveis como: pontes em consolo,

guinchos em monovias, semi-pórticos e pontes rolantes que por serem adequadas a múltiplas situações e deixarem livre o piso da fábrica são mais utilizadas.

Como equipamentos complementares não ligados à estrutura da fábrica e normalmente utilizados no transporte transversal de cargas, são usados: veículos sobre trilhos, empilhadeiras e guinchos sobre rodas, caminhões e mesas transportadoras.

A evolução do processo nos permite numa concepção moderna trabalhar com materiais em movimento automático entre processos automáticos de fabricação, partindo num futuro próximo para uma implementação e operação dos sistemas de movimentação inteligente, numa filosofia onde a melhor movimentação de materiais é a de mínimo movimento e estocagem.

4.4.3 Corte ^[26, 46, 67, 69]

Os processos usuais de corte do aço para a construção metálica são, basicamente, mecânicos ou térmicos. A escolha do processo de corte depende da etapa de fabricação, complexidade do trabalho e do tipo de material a ser utilizado.

4.4.3.1 Corte mecânico ^[26, 46, 67, 69]

Podem ser utilizados serras, guilhotinas e tesouras, para espessuras não muito superiores a 25 mm. As serras (figura 49) são utilizadas em cortes de perfis, apresentando bom acabamento nas extremidades. As guilhotinas se aplicam ao corte de chapas em vários ângulos e as tesouras são usadas no corte de chapas empregadas na fabricação de perfis formados a frio.



Figura 49 – Serra de fita Peddinghaus.

4.4.3.2 Corte térmico [18, 26, 38, 43, 46, 51, 67, 69]

Os processos de corte a chama, plasma ou laser são os mais utilizados na fabricação de estruturas metálicas.

A) Corte a Chama: Conhecido como Oxicorte, é um processo no qual o metal é aquecido à uma temperatura de pré-aquecimento (conhecida como temperatura de ignição) inferior ao ponto de fusão através de uma chama oxigênio - gás combustível. Em seguida, o metal é oxidado rapidamente pelo oxigênio de corte e o óxido formado é fundido e removido continuamente pela ação do jato de oxigênio. A operação prossegue auto sustentada pelo desprendimento de calor provocado pela reação química entre o oxigênio puro e o ferro. O calor liberado mantém a condição necessária para a combustão, permitindo a abertura de um sulco no metal, denominado sangria ou corte.

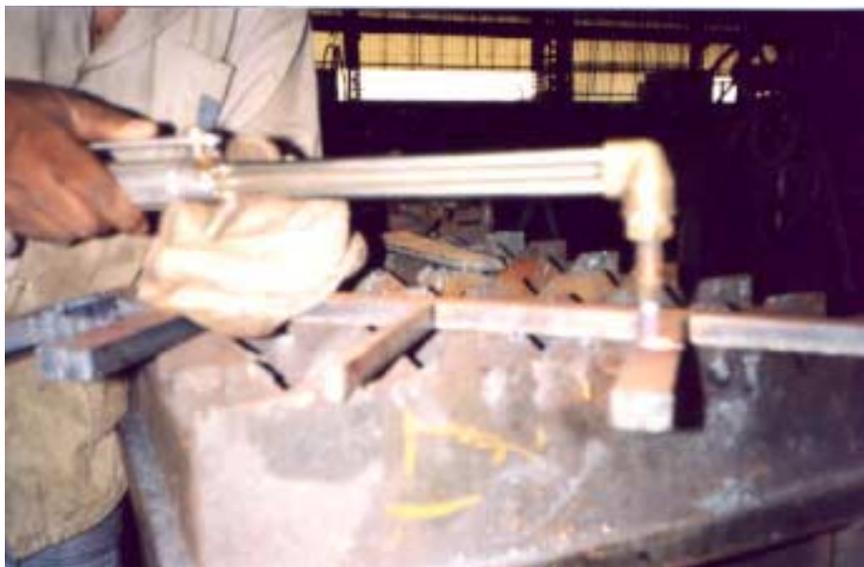


Figura 50 – Maçarico manual.

O maçarico manual (figura 50) é o equipamento utilizado no corte de peças unitárias e de menor importância, sendo muito difícil alcançar boa qualidade de corte por este processo devido à dificuldade em se assegurar manualmente um movimento uniforme do maçarico ao longo da linha de corte e ainda manter uma distância constante entre o bico do maçarico e a superfície do metal. Ele é composto pelo corpo com as válvulas de regulação da vazão dos gases e a alavanca que abre a injeção do oxigênio de corte. De acordo com a espessura de corte, escolhemos o bico apropriado e as pressões corretas dos gases conforme tabelas indicadas pelo fabricante. Para corte de espessuras menores é muito utilizada uma cabeça cortadora, que pode ser adaptada ao corpo do maçarico de solda. Para garantir a direção necessária do bico ao longo da peça, facilitar o deslizamento do maçarico e manter constante a distância entre o bico e a chapa utilizam-se de guias.

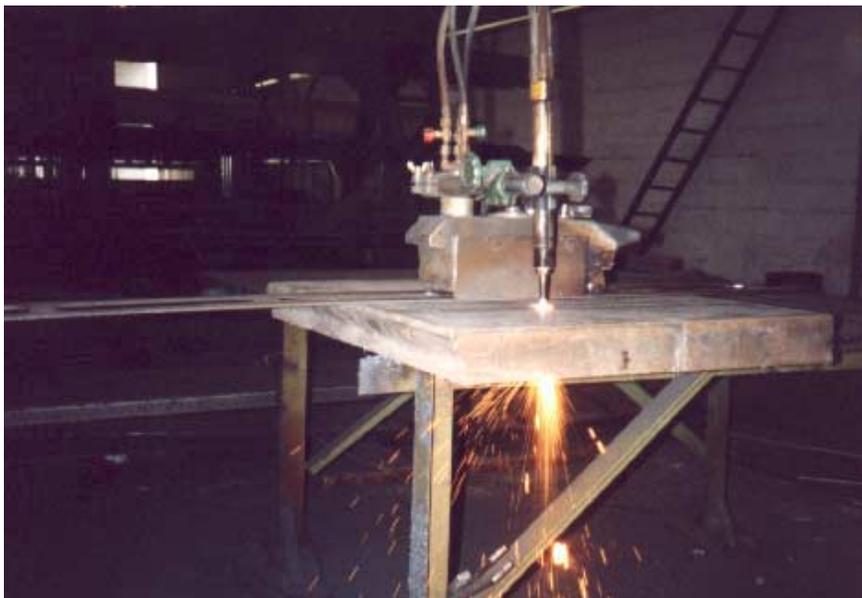


Figura 51 – Máquina de corte térmico portátil – Tartaruga.

O equipamento mais leve e simples que permite a automação do processo é uma máquina de corte portátil conhecida como tartaruga (figura 51), composto de carro motriz com variador de velocidade, permitindo executar cortes retos ou circulares ,com ou sem chanfro.



Figura 52 – Máquina automática de corte térmico, fotocopiadora.

Para aumentar a produtividade e a qualidade do corte foram desenvolvidas máquinas automáticas (figura 52), que permitem executar com precisão as mais diversas configurações de corte através de leitura dos desenhos por um copiador ótico.

A era da informática otimizou ainda mais o processo, permitindo com o uso de comandos numéricos computadorizados uma elevada precisão de operação (figura 53). O computador controla os três eixos, permitindo a execução de cortes com

formas diversas e complexas, armazenando os desenhos na memória. Um software especial permite a maximização do aproveitamento das chapas, gerenciando inclusive os retalhos.



Figura 53 – Máquina CNC de corte térmico – Flame-planner.

No processo oxicorte é utilizada a mistura de um gás combustível e outro comburente. O gás combustível dá origem à chama e o comburente promove a reação de combustão. O oxigênio é o gás comburente utilizado, sendo os gases combustíveis o acetileno, propileno, GLP ou metano. Para se obter uma maior eficiência de corte facilitando a sua automatização é utilizado um gás combustível com elevada temperatura de chama, alto poder calorífico, calor concentrado e elevada velocidade de queima. Devido a estas características o acetileno é o de maior

intensidade da chama permitindo um menor tempo de pré-aquecimento e uma velocidade maior de corte.

Para acender o maçarico de corte devemos primeiro abrir a válvula do gás combustível, a seguir a válvula de oxigênio e por último o oxigênio de corte. Nos equipamentos automáticos uma chama piloto acende o maçarico com as pressões previamente reguladas. As técnicas de operação dos maçaricos de corte são simples e seguras. Quando o corte é iniciado pela borda da chapa devemos obedecer à seguinte seqüência: direcionar a chama para a borda da chapa, mantendo-a afastada de 3 a 4 mm; aquecer o local até obter uma coloração vermelho claro; afastar levemente o maçarico da borda da chapa; abrir lentamente a válvula de oxigênio de corte; avançar o maçarico com um movimento firme e uniforme. A técnica de operação para se efetuar uma perfuração na chapa é a seguinte: pré aquecer o local à uma distância de 6 a 8 mm; afastar a chama entre 12 e 15 mm e abrir a válvula do oxigênio de corte; aproximar novamente o maçarico a distância de 6 mm. Para efetuar cortes em chanfro devemos aumentar a distância do bico à peça diminuindo a velocidade de avanço. Para apagar o maçarico devemos primeiro aumentar a pressão do oxigênio, a seguir fechar a válvula do gás combustível e finalmente a do oxigênio.

Um corte perfeito é caracterizado por uma superfície lisa e regular, sendo as linhas de desvio quase verticais. A escória aderida na parte inferior do corte é facilmente removida. Algumas irregularidades nos ajustes podem provocar defeitos tais como, borda superior e inferior goivada, perda do corte, bordas convergentes, borda superior com gotas fundidas e borda inferior arredondada. Estes podem ser evitados ou eliminados caso sejam tomados os procedimentos adequados. Os defeitos mais comuns são provocados por: chama de pré-aquecimento inadequada; velocidade

de corte irregular; superfície da chapa com carepa ou ferrugem; distância do bico a chapa fora de especificação e bico de corte sujo ou danificado.

Deve-se considerar todas as recomendações básicas das normas de segurança no manuseio dos cilindros, principalmente do gás combustível. Os reguladores de pressão, mangueiras e conexões devem estar em excelentes condições de uso, evitando o contato de óleo ou graxa com o oxigênio. Para reduzir o risco no retrocesso da chama são utilizadas válvulas de retenção do fluxo de gás e válvulas corta-chama. Devido as altas temperaturas e radiações é necessário o uso de equipamentos de segurança individual tais como, botas com solado isolante, perneiras, avental, mangote, luvas de raspa e óculos de proteção com lentes n.º. 6.

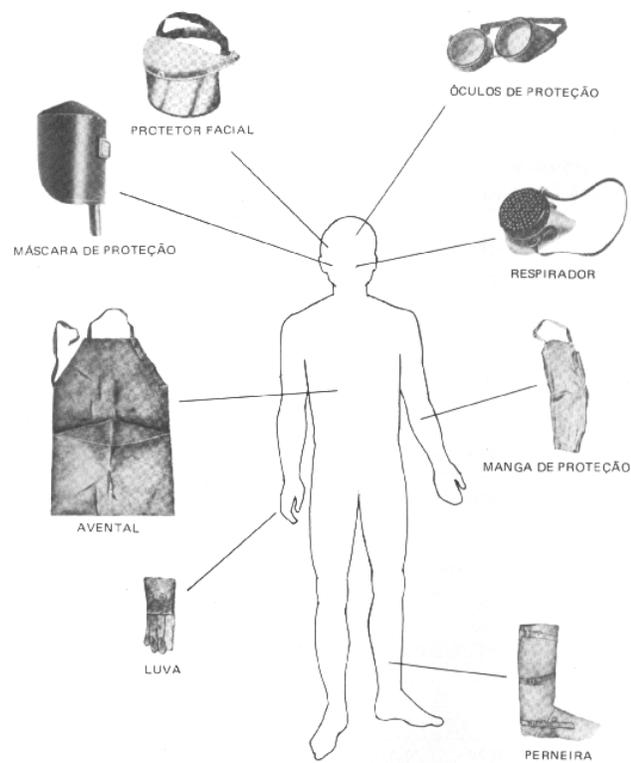


Figura 54 – Equipamentos de proteção individual.

B) Corte a Plasma: Os três estados da matéria normalmente conhecidos são sólido, líquido e gasoso. Aumentando-se o nível de energia obtém-se o quarto estado conhecido como plasma. O processo de corte a plasma utiliza um arco transferido confinado para cortar metais. Este arco é estabelecido por uma corrente direta, na qual o eletrodo é conectado ao polo negativo e a peça de trabalho no positivo. Uma descarga de alta voltagem eleva consideravelmente o nível de energia, transformando o gás aquecido em gás plasma atingindo temperaturas superiores a 15000 °C. O calor do arco confinado é concentrado em uma área específica da peça atingindo seu ponto de fusão. As partículas fundidas são continuamente removidas pelo jato de plasma para produzir o corte.



Figura 55 – Máquina CNC de corte a plasma, Peddinghaus.

O processo de corte a plasma pode ser manual ou mecanizado, dependendo do material, espessura e nível de produção. O conjunto para corte manual é composto de fonte, tocha e gás, sendo o ar comprimido o mais utilizado atualmente. Existem

dois modelos básicos de fontes para corte, convencionais e inversoras. As convencionais utilizam o princípio do transformador retificador e as inversoras modificam as correntes com circuitos eletrônicos permitindo reduzir as dimensões e o peso destes equipamentos. Dependendo da espessura e do material a ser cortado escolhemos a fonte com a amperagem e ciclo de trabalho necessário para o corte. As tochas manuais normalmente utilizadas são refrigeradas por ar, sendo que nas capacidades maiores devem ser refrigeradas por água. Os componentes principais da tocha são bocal, bico metálico e eletrodo. Para o corte com ar comprimido não é possível o uso de eletrodos de tungstênio devido a sua rápida erosão provocada pelo oxigênio do ar. Foram desenvolvidos eletrodos especiais, como os de zircônio, que possuem uma maior resistência ao desgaste, aumentando sua vida útil. Para o corte com ar comprimido é importante que o ar esteja limpo e seco. Normalmente os compressores introduzem água e óleo na rede podendo afetar seriamente a vida do eletrodo e a qualidade do corte, sendo este problema solucionado mediante o uso de filtros na rede de ar. Para o aumento da produtividade, melhoria da qualidade do corte ou para chapas com espessuras maiores que 76,2 mm é necessário o uso de equipamentos mecanizados.

Atualmente estes equipamentos são controlados numericamente por computador e possuem sensores de altura (distância constante do bico à chapa) permitindo velocidades de cortes elevadas com excelente acabamento. Os sistemas de amperagem elevadas produzem ruídos, fumaças e radiações ultravioletas. Para reduzir estes efeitos prejudiciais à saúde do operador pode ser utilizado em algumas situações o corte subaquático na qual a peça e a tocha são totalmente imersas sobre 50 ou 75 mm de água durante o corte.

O ar comprimido é o gás mais utilizado para equipamentos de baixa corrente sendo normalmente empregado para cortes de até 50,8 mm. O gás nitrogênio é geralmente utilizado nos equipamentos de correntes elevadas para cortes de até 76,2 mm, produzindo uma excelente qualidade de corte na maioria dos metais. Misturas de argônio e hidrogênio são normalmente utilizadas para o corte de aço inoxidável e alumínio, produzindo uma área de corte limpa e de excelente qualidade, sendo indispensáveis para cortes acima de 76,2mm. O oxigênio é utilizado para melhorar a qualidade de cortes no aço carbono até 25,4 mm e nos equipamentos plasma de alta definição.

Dependendo do nível de amperagem, tipo de tocha e fonte o corte manual poderá ser executado por contato direto ou a distância. No primeiro o bico metálico da tocha efetua o corte em contato direto com a peça de trabalho. A operação se inicia com a tocha perpendicular a peça; o arco piloto é acionado iniciando-se o corte. Deve-se manter uma velocidade constante na direção pré determinada. No corte a distância a tocha também deve ser posicionada perpendicular à peça. Após o acionamento do arco piloto o corte é iniciado mantendo-se a tocha a uma distância de 3 a 9 mm da peça. A velocidade de corte é determinada pela amperagem utilizada, diâmetro do orifício, tipo e espessura do material e distância da tocha à peça. A tocha pode ser facilmente adaptada para a execução de chanfros ou remoção de cordões de solda com excelente acabamento. É possível chanfrar todos os metais com qualidade superior aos métodos convencionais e com menor produção de fumaça. Desde que obedecidos os padrões de regulação indicados pelo fabricante e as técnicas de operação o processo de corte a plasma não apresenta defeitos significativos.

Os operadores devem estar atentos para os seguintes riscos do processo: radiação ultra violeta, fumaça, altas temperaturas, metal fundido, ruídos e voltagens elevadas. O arco a plasma produz radiação ultra violeta que pode prejudicar os olhos e a pele. O operador deve usar máscara com lente adequada e as áreas próximas ao local de corte devem ser isoladas da luminosidade do arco. O corte a plasma produz metal quente, faíscas e resíduos dos quais o operador deve se proteger com o uso de roupas de segurança.

C) Corte a Laser: O laser (light amplification by stimulated emission of radiation) trata-se de um raio que pode ser concebido em diversos meios físico-químicos, porém no que tange às aplicações industriais, o dióxido de carbono (CO_2) é o que demonstrou ser o mais interessante. Do ponto de vista físico sua produção se baseia no fato de que, numa molécula de gás sob o efeito de energia adequadamente introduzida, um elétron pode se projetado de uma órbita normal para outra superior, quando então esta molécula fica excitada durante uma fração de milisegundos. Quando a molécula perde sua excitação o retorno do elétron da órbita superior para a normal é acompanhado pela emissão de uma partícula de luz, que se denomina “foton”. Os ftons resultantes de tais desexcitações colidem com moléculas excitadas, o que faz com que, por sua vez, estas últimas se desexcitem, não mais naturalmente, porém, e sim por indução. Os ftons assim induzidos estarão em fase com os ftons indutores e, em circunstâncias particulares como em presença de nitrogênio (N_2) e de hélio, que favorecem o fenômeno e sua estabilidade, é produzida uma reação em série.



Figura 56 – Detalhe, corte a laser.

Um tubo constitui o meio conveniente de uma reação em série eficaz, que provoca uma emissão de fons monocromática, de mesma polarização, ou seja, dotadas de uma particularidade excepcional: a luz é totalmente coerente, homogênea. A intensidade do raio aumenta com o comprimento do tubo, sendo que alguns fabricantes adotam como medida alternativa, espelhos de extremidade que causam uma ressonância axial (ressonadores). Se um dos espelhos for parcialmente transparente uma fração correspondente de raio laser poderá deixar o ressonador, e, se o eixo desta fração estiver na horizontal, coloca-se um espelho orientado a 45° no caminho ótico. O raio é então focalizado por uma lente e toda a sua energia é concentrada em um filete luminoso de 0,2 mm de diâmetro. A intensidade obtida permite fundir os materiais sobre os quais o raio é localizado, enquanto que os produtos da fusão ou volatilização são afastados por meio de um jato de oxigênio.

Os lasers de CO_2 são virtualmente universais para corte bidimensional, mas os enfoques de projeto variam quanto à manobra da peça em relação ao cabeçote de

corte laser, para cortar os contornos desejados. Os principais tipos de projeto para manobra de peça e cabeçote de corte são:

Mesa móvel – o cabeçote laser fica fixo enquanto a mesa move o material abaixo dele. Nesta configuração se usa apenas um espelho, tornando o projeto e a construção mais simples e econômicos. Entretanto a mesa móvel impõe os problemas de acelerar, desacelerar e manobrar uma grande massa em duas dimensões, o que se complica com os pesos das peças, que são variáveis. Isto torna esta configuração lenta e com menor precisão e agilidade no corte de formas complexas e mais suscetível a tensões e desgastes do acionamento.

Óptica móvel – nesta configuração, o cabeçote laser faz todo o movimento, enquanto a mesa fica estacionária. O cabeçote é montado em um suporte que se move ao longo dos eixos X, Y e Z sobre a peça. Pelo fato de movimentar uma massa menor e constante, pode-se citar as seguintes vantagens: posicionamento mais rápido e maior velocidade do corte; menor tensão e desgaste dos sistemas de acionamento.

Sistema híbrido – esta configuração movimenta o cabeçote laser segundo um eixo e a mesa segundo outro.

Os laser representam um bom potencial para ganhos em qualidade e produtividade. Os sistemas controlados por computador permitem que as peças sejam cortadas com precisão em uma só operação, poupando numerosas etapas em diversas máquinas que trabalham através de técnicas tradicionais. Esta capacidade de trabalhar em uma só etapa torna o laser uma poderosa ferramenta da produtividade para os fabricantes de estruturas metálicas que procuram boas reduções de custo e maior produção com flexibilidade.

4.4.4 FABRICAÇÃO DE PERFIS [26, 46, 67, 69]

4.4.4.1 PERFIS SOLDADOS

A fabricação destes perfis consiste da união de aços laminados planos (chapas) por soldagem. O emprego de chapas provenientes de bobinas não é recomendado, uma vez que o aquecimento provocado pelo processo de soldagem estimula a chapa a retornar à sua forma deformada na condição de bobina.

O processo para obtenção dos mesmos irá depender da condição de automação de cada fabricante. Geralmente, o processo inicia-se pelo corte de chapas inteiras que poderão já ter sofrido emenda ou não em função do comprimento almejado das tiras provenientes. Para isto a chapa inteira é posicionada sobre uma máquina CNC que irá efetuar o corte da mesma através dos processos oxiacetilênico, plasma ou laser, sendo mais usuais os bicos de corte alimentados por chama oxiacetilênica.



Figura 57 - Máquina oxicorte, flame-planner.

Em seguida é dado um acabamento e realizado uma pré-deformação das tiras, no intuito de compensar a deformação resultante da próxima etapa, ou seja, a execução dos cordões de solda. Na seqüência é feito na mesa montagem o agrupamento das tiras que irão compor as mesas e a alma do perfil e iniciado o processo de soldagem utilizando-se máquinas automáticas do tipo arco submerso (figura 58).



Figura 58 - Mesa de montagem e soldagem automática de perfis.

Após a soldagem , o perfil passa pelo setor de desempenho à quente para corrigir possíveis distorções e de acordo com sua finalidade será encaminhado para a fabricação de estruturas metálicas ou ao acabamento final para a venda direta. As tolerâncias dimensionais para os perfis soldados são indicadas no anexo A da NBR 6657/81.

Linhas gerais para a fabricação de perfis soldados

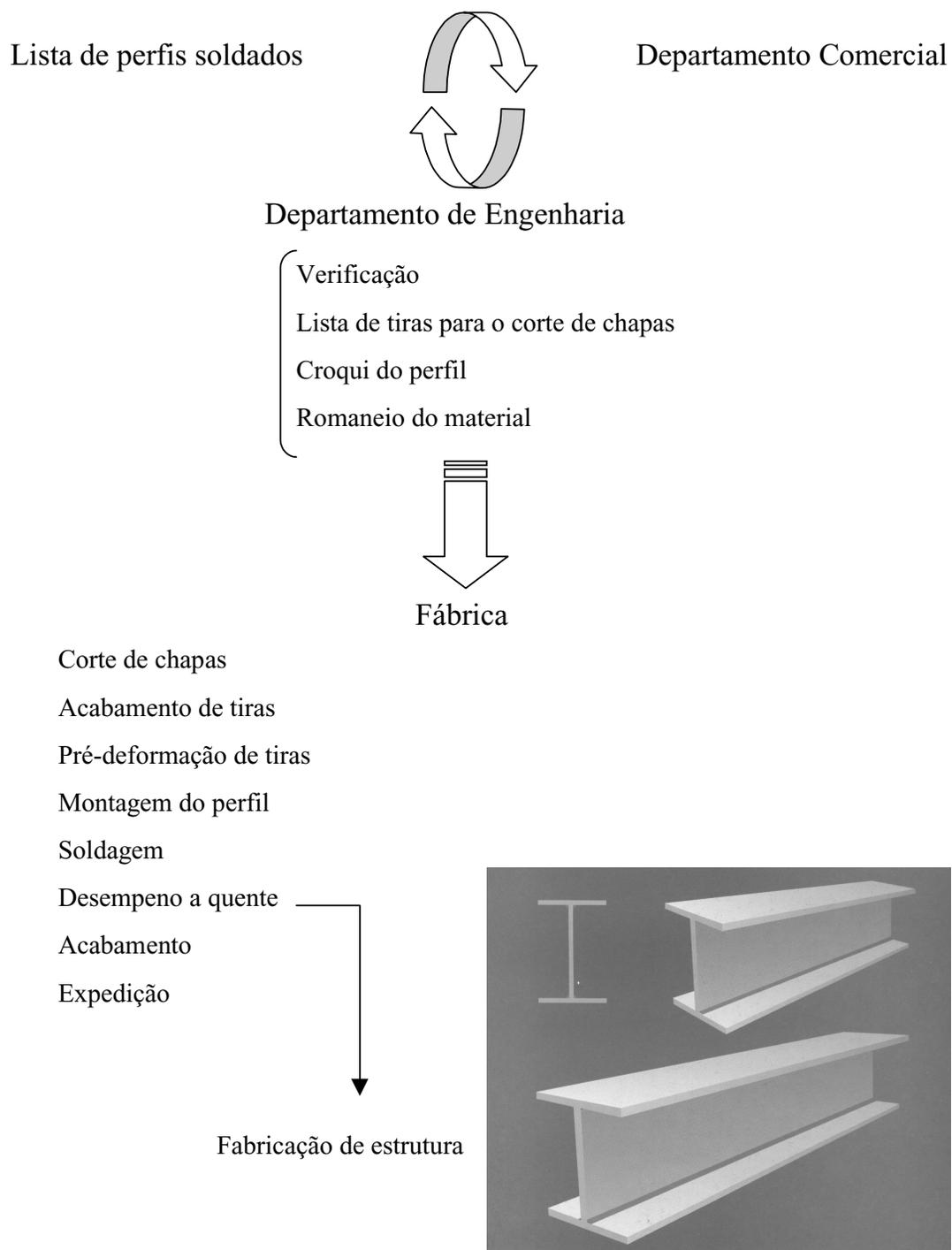


Figura 59 – Fluxo básico para fabricação de perfis soldados.

4.4.4.2 PERFIS FORMADOS A FRIO



Figura 60 – Gama de perfis formados a frio.

Na fabricação destes perfis obtidos por conformação a frio, a matéria prima utilizada são bobinas laminadas a quente (espessura de chapa variando de 2.00 à 6.30 mm), bobinas laminadas a frio (espessura de chapa variando de 1.06 à 1.50 mm) e em algumas situações, chapas planas (espessuras de chapa de 6.30 à 8.00 mm).

Os perfis podem ser obtidos em perfiladeiras (figura 61) ou em dobradeiras (figura 62), respeitando os limites impostos pelo equipamento. No caso da perfiladeira, esta produz perfis no comprimento desejado estando limitada a perfis leves, normalmente com espessura máxima da chapa de 4.75 mm e com seção máxima do perfil de 300 x 85 x 25 para o U enrijecido, e a dobradeira trabalha

geralmente com comprimentos de 3000 a 6000 mm, com capacidade de dobrar chapas até 9.50 mm.

Na perfilação, as bobinas alimentam o processo passando por uma tesoura rotativa, composta de um eixo desbobinador (geralmente com capacidade para desbobinar bobinas com até 15 toneladas e 1200 mm de largura), porta faca (onde são executados os cortes mecânicos na chapa, conforme pré arranjado) e um eixo rebobinador (onde as diversas tiras são rebobinadas e denominadas de semi-elaborado). Dando seqüência ao processo o semi-elaborado é encaminhado a um conjunto composto por um eixo desbobinador, perfiladeira e serra policorte, onde obtem-se o perfil perfilado já nas dimensões pré estabelecidas.

O processo de obtenção dos perfis dobrados pode-se iniciar com o beneficiamento da bobina que passa por um desbobinador transformando-a num conjunto de chapas planas ou pela própria chapa. A seguir a chapa é aparada e cortada em tiras por uma guilhotina, seguindo-se um plano de corte e um pré estudo da largura mínima das tiras em função da espessura da chapa a fim de se evitar deformações nas mesmas (por exemplo, chapas com espessura de 4.75 mm geralmente são cortadas com largura mínima das tiras de 70 mm). Dando seqüência ao processo, as tiras são enviadas às prensas dobradeiras onde são executadas as dobras e finalizado o perfil.

Perfiladeiras (Modelos IFP, IFPR e IFPM)

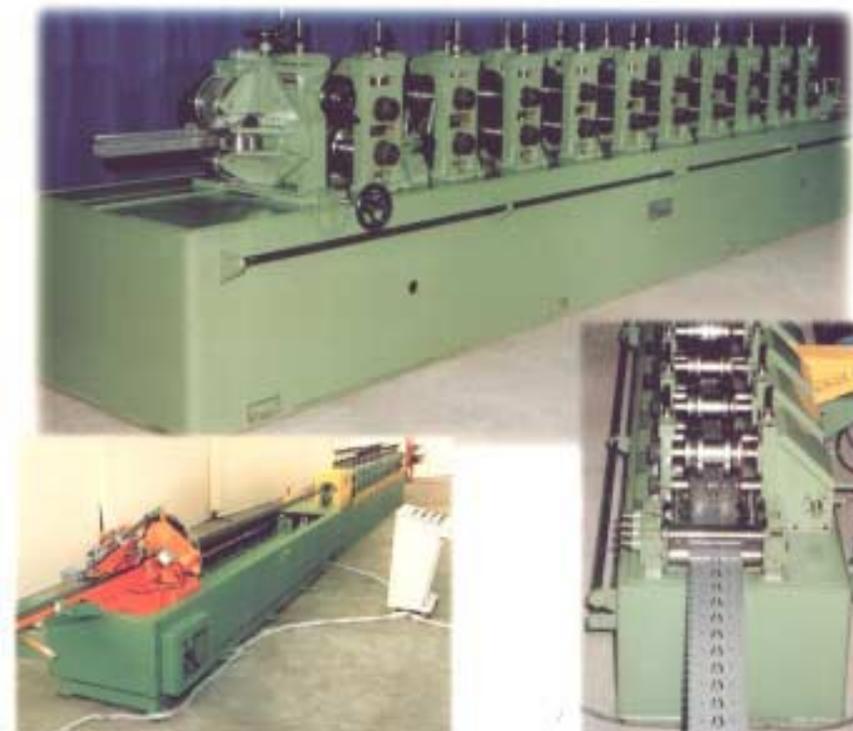


Figura 61 – Perfiladeiras.

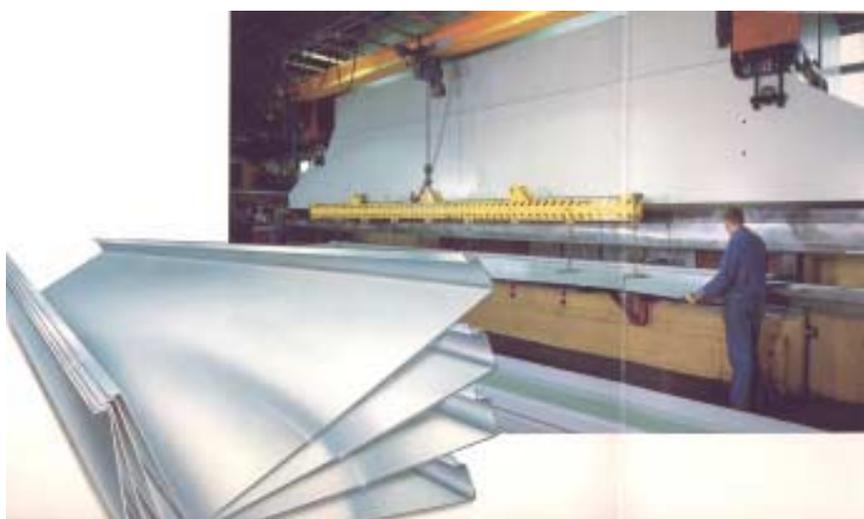


Figura 62 – Dobradeira.

Linhas gerais para a fabricação de perfis formados a frio

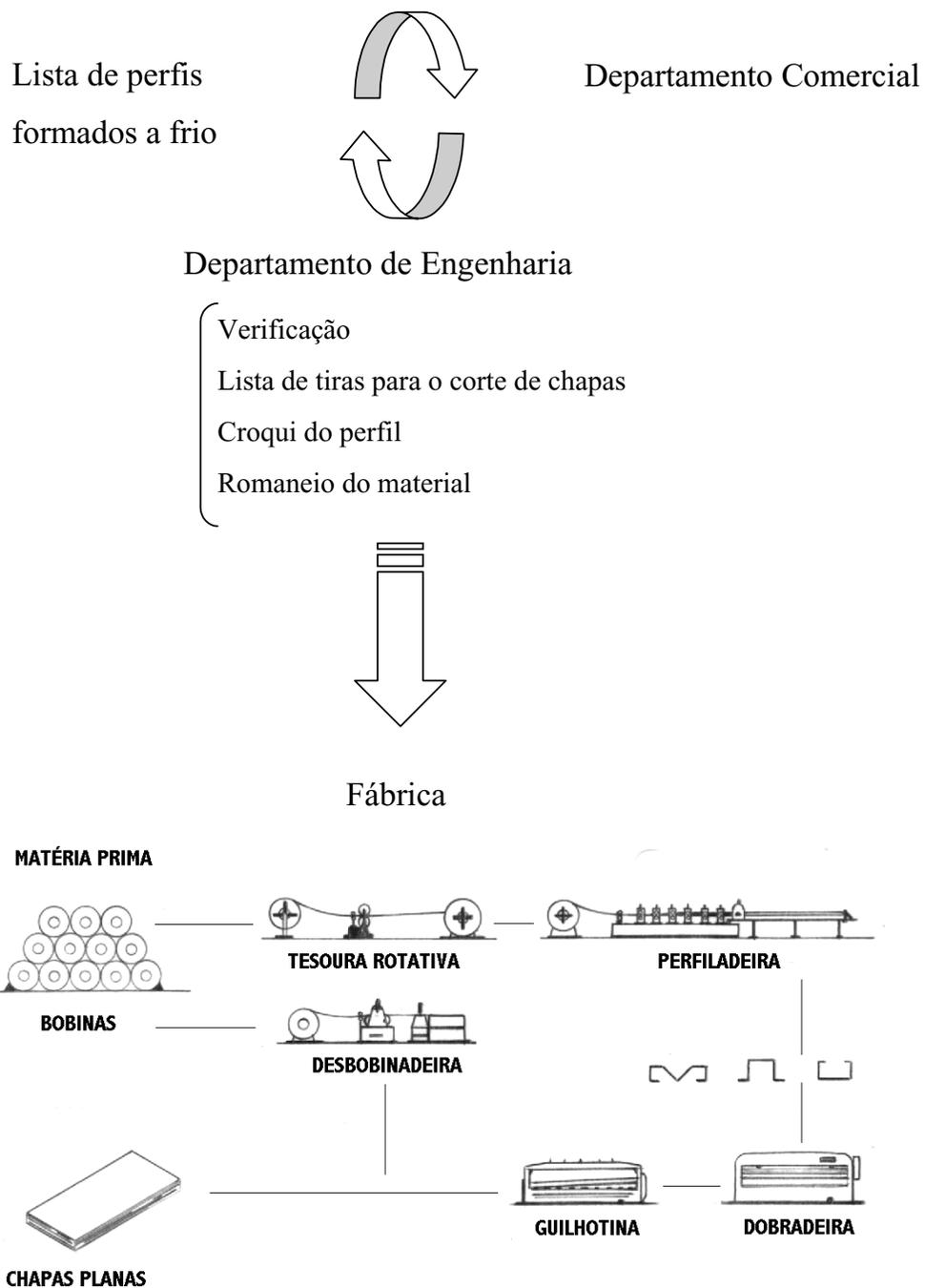


Figura 63 - Fluxo básico para fabricação de perfis formados a frio.

4.4.5 TRAÇAGEM [26, 46, 67, 69]

Apesar da integração e automação industrial ser uma realidade nas fábricas de estruturas metálicas, uma pequena quantidade do material destinado para corte, dobra, conformação, furação, dentre outras atividades, continua passando antecipadamente pelo setor de traçagem, onde são transferidas as informações necessárias para fabricação das peças diretamente sobre a superfície do metal de acordo com o desenho e normas técnicas.

A traçagem nas peças é realizada por meio de riscadores e ou puncionadores, sendo necessários instrumentos de apoio tais como, trena, esquadro, martelo, compasso e transferidor. Por ser um trabalho manual, riscos de acidentes como corpos estranhos, batida contra, queda de material, corte e esmagamento exigem do traçador o uso constante de capacete, botina, protetor auricular, luva e óculos.

4.4.6 USINAGEM [26, 46, 67, 69]

Neste setor é feita a preparação de todos os componentes que irão se agregar à uma determinada estrutura durante a sua fabricação e até mesmo na montagem. A preparação destes componentes inclui atividades que requerem cortes, recortes, furações, dobramentos, desempenos e ajustes das peças de acordo com as necessidades.

Na usinagem, ainda pode-se ver guilhotinas, dobradeiras, prensas, chanfradeiras, rosqueadeiras, viradeiras de chumbadores, furadeiras, puncionadeiras e serras policortes, atendendo a certas particularidades de projetos, entretanto a implantação de um processo integrado e automatizado tem permitido aos fabricantes a redução de trabalhos manuais através do uso de equipamentos multifuncionais de comando numérico em substituição destes.

Dentre estes equipamentos que elevam a qualidade e a produtividade na fabricação, nota-se a presença de máquinas CNC para preparação de laminados planos (chapas), que permitem a execução simultânea de furos, chanfros, cortes e recortes, entregando a peça na geometria desejada; máquinas CNC para preparação de perfis, que furam, puncionam, chanfram, cortam e recortam; linhas automáticas de serras de fita e marcadores automáticos.

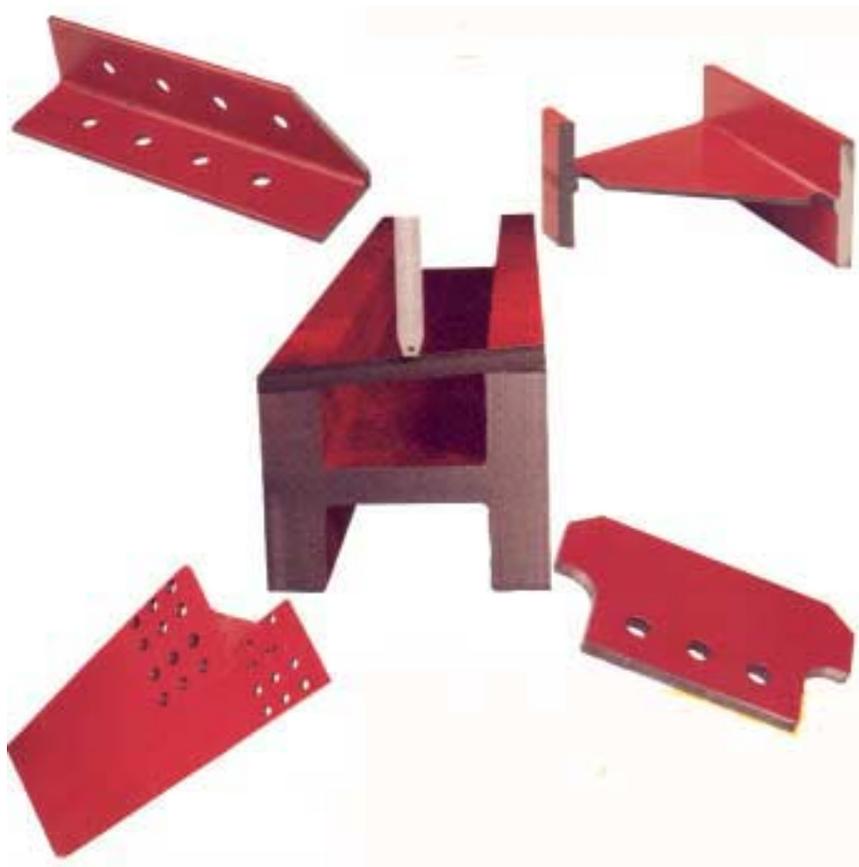


Figura 64 - Trabalhos realizados por equipamentos CNC multifuncionais.



Figura 65 - Máquina CNC para preparação de chapas.

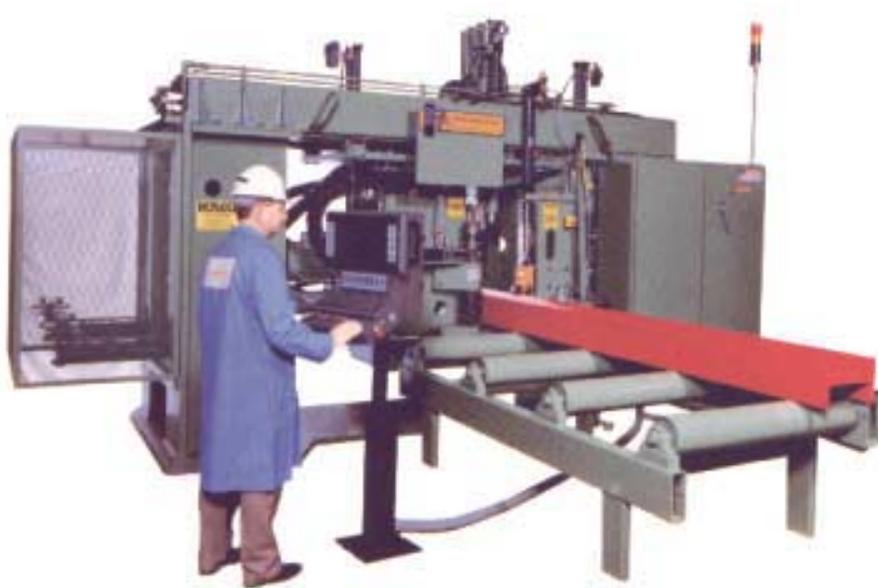


Figura 66a - Máquina CNC para preparação de perfis.



Figura 66b - Máquina CNC para preparação de perfis.

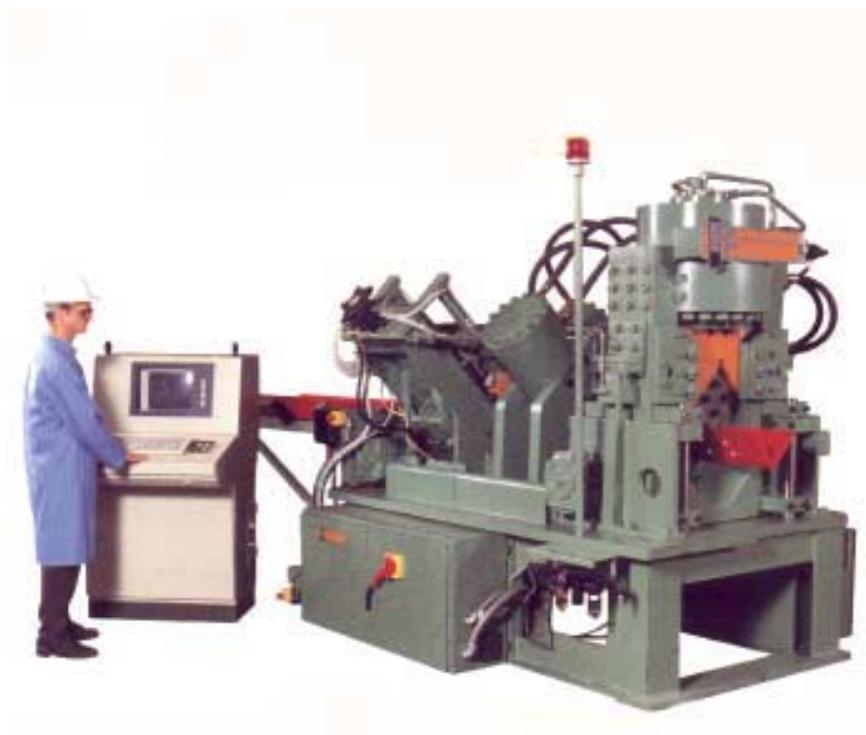


Figura 67 - Máquina CNC para preparação de perfis U, C e chapas.

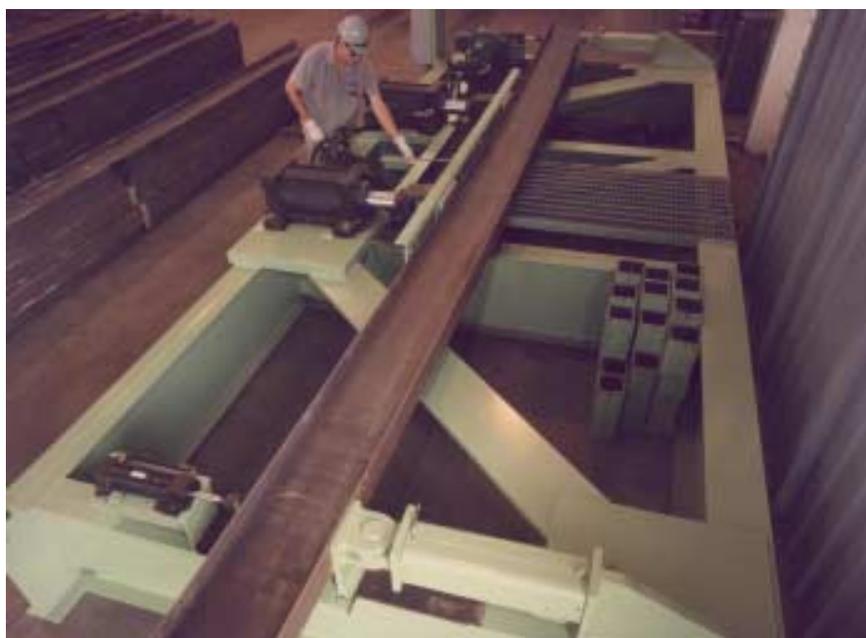


Figura 68 – Máquina para pré-deformação controlada de perfis.

4.4.7 MONTAGEM [26, 46, 67, 69]

Neste setor, todas as partes que compõe a peça são agrupadas através de uma pré-montagem em conformidade com desenhos e normas técnicas específicas, por meio de pequenas quantidades de solda, grampos ou parafusos, dando a forma final às peças da estrutura. São verificados os esquadros e as dimensões gerais da peça, assim como corrigidos os defeitos e executados ajustes dos elementos de ligação, sendo então a peça encaminhada para a montagem definitiva, que dependendo da automação e concepção do layout da fábrica poderá ser por parafusagem, soldagem ou ambas.

O material (perfil, chaparias, laminados planos e não planos) é posicionado na banca de pré-montagem, onde o montador efetua as tarefas observando todos os aspectos de qualidade e principalmente a segurança, onde riscos de acidente como queimaduras, esmagamento, choque elétrico, corpo estranho, corte, explosão, queda humana e do material estão presentes, sendo obrigatório o uso de equipamentos de proteção individual.

4.4.8 PARAFUSAGEM ^[26, 46, 67, 69]

De acordo com o tipo de ligação parafusada especificada no projeto, podemos empregar dois tipos de parafuso para a montagem: o parafuso comun ASTM A307 que poderá ser apertado através de ferramentas manuais ou pneumáticas aplicadas à cabeça ou à porca do mesmo até que se garanta união entre as partes da estrutura, e o parafuso de alta resistência ASTM A325 ou A490, que requer cuidados especiais com relação ao acabamento de superfície das partes ligadas e às arruelas, assim como um torque mínimo especificado de montagem, por ser empregado em ligações de maior responsabilidade onde em geral, as cargas são relativamente altas ou sujeitas a flutuações dinâmicas. A NBR 8800 item 7.7 esclarece com detalhes os critérios para o projeto, montagem e inspeção de ligações com parafusos de alta resistência.

4.4.9 **SOLDAGEM** [26, 43, 46, 51, 67, 69]

O primeiro e mais importante passo é selecionar o melhor processo de soldagem para o trabalho a executar. Esta é uma decisão muito desafiante, especialmente se o trabalho for adequado para soldagem semi-automática onde há tantas escolhas possíveis. E ainda , neste campo esta é a maior oportunidade de melhoria. Desde que a soldagem manual seja inerentemente lenta, cara e sujeita ao elemento humano, está se tornando uma questão de sobrevivência econômica converter sempre que possível para o processo semi-automático.

Toda a indústria está envolvida nesta transição, mas o avanço é relativamente lento. Isto se deve em parte à relutância natural em aceitar métodos novos. Também é verdade que cada um dos novos processos tem suas próprias peculiaridades, vantagens e limitações, e todos introduzem alguns problemas afetando treinamento do soldador, preparação da junta e procedimentos de soldagem .

Onde as condições permitirem, o uso de soldagem completamente automática proporcionará economia e controle da qualidade da solda ainda maiores.

4.4.9.2 PROCESSO COM ELETRODOS REVESTIDOS

As primeiras aplicações do arco elétrico para a fusão de metais foram patenteadas na Inglaterra por Nicolas Bernardos em 1885, estabelecendo o arco elétrico entre um eletrodo de carvão e o metal base sendo o metal de adição introduzido em separado. Em 1890 o russo Slavianoff simplificou o processo eliminando o eletrodo de carvão e conectando em um dos pólos da fonte de energia um eletrodo nu. Em 1905 o sueco Oscar Kjellberg patenteia o processo de soldagem manual a arco elétrico com eletrodos revestidos, desenvolvimentos posteriores tornaram este processo de soldagem o mais utilizado em todo mundo.

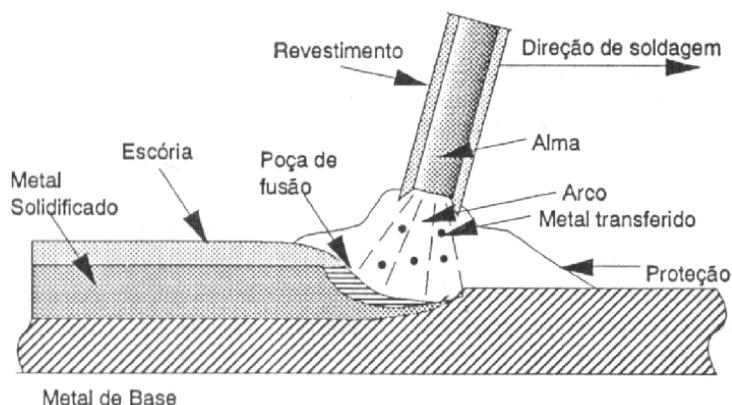


Figura 69 - Solda com eletrodo revestido.

A soldagem elétrica com eletrodos revestidos é um processo que efetua a união entre metais através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e as partes a soldar. O eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica chamada alma, coberta por uma camada constituída de diferentes materiais formando o revestimento do eletrodo. As funções principais do

revestimento são ionizar e estabilizar o arco elétrico, proteger a poça de fusão da contaminação atmosférica através da geração de gases, purificar a poça de fusão, formar uma escória para proteção do metal fundido e em alguns casos ajustar a composição química do cordão pela adição de elementos de liga.

Para a soldagem manual com eletrodos revestidos são utilizados principalmente dois tipos de fonte de energia, transformador e retificador. O transformador fornece uma corrente elétrica denominada alternada, neste caso existe uma mudança periódica da polaridade. Quando os valores da corrente ficam próximos de zero, ocorre uma instabilidade do arco elétrico tornando inadequada esta corrente para a soldagem com certos tipos de eletrodos revestidos. Os retificadores de solda fornecem uma corrente denominada contínua, na qual o fluxo de elétrons percorre um só sentido do pólo negativo ao pólo positivo, sendo o pólo mais quente sempre o positivo. Quando o cabo do porta eletrodo é ligado ao pólo no terminal negativo tem-se uma polaridade direta ou negativa. Para se aproveitar o maior calor gerado no pólo positivo, liga-se o cabo porta eletrodo no mesmo obtendo uma ligação conhecida como polaridade inversa ou positiva. A tensão em vazio ou seja, a tensão existente entre os terminais de saída da máquina quando não há soldagem é aproximadamente de 60 a 80 volts. Após a abertura do arco a tensão cai para o valor de trabalho de 20 a 40 volts e a corrente de soldagem se estabiliza na intensidade regulada. Para a escolha do equipamento ideal deve-se levar em consideração a aplicação, o tipo e revestimento do eletrodo e o fator de trabalho a ser adotado.

Um dos principais acessórios utilizados no processo é o porta eletrodo, cuja função é transferir ao eletrodo revestido a corrente gerada na fonte e conduzida pelo cabo de soldagem. Os portas eletrodos devem ser isolados, existindo vários modelos

que são escolhidos em função da amperagem a ser utilizada. Os sistema de fixação possui ranhuras que permitem o emprego de eletrodos de diferentes diâmetros em várias angulações. O cabo de soldagem tem a função de conduzir a corrente elétrica do equipamento ao porta eletrodo. O cabo de retorno tem por sua vez a função de conduzir a corrente do metal base de volta ao equipamento, fechando assim o circuito elétrico. Para a escolha do diâmetro do cabo de soldagem a ser utilizado deve-se considerar a intensidade da corrente e o comprimento total do mesmo. A utilização de cabos inadequados poderá causar superaquecimento e perdas de energia, prejudicando a qualidade da soldagem. Caso seja necessário prolongar o comprimento do cabo de soldagem é aconselhável o uso de conectores desenvolvidos para esta finalidade. Para prender o cabo de retorno à peça a ser soldada é utilizada uma garra fabricada em alumínio ou bronze de acordo com a amperagem. A picadeira é usada para remoção da escória proveniente da soldagem, sendo em alguns casos utilizado um martetele pneumático. Após a remoção da escória é necessária a limpeza final do cordão com uma escova de aço.

O eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica denominada alma, com diâmetros entre 1.6 e 6.0 mm e o comprimento entre 300 e 700 mm, recoberta por uma camada de fluxo conhecida como revestimento. O processo de fabricação dos mesmos inicia-se com o recebimento das matérias primas, minerais, ferro-ligas e escorificantes para o revestimento e do arame para fabricação da alma metálica que devem ser rigorosamente testados afim de garantir a qualidade final do eletrodo. Os materiais do revestimento são misturados com o aglomerante até formar uma massa de consistência adequada alimentando a prensa de extrusão. Paralelamente o arame já trefilado até o diâmetro desejado é desempenado, cortado em varetas de tamanho

apropriado e enviado a prensa extrusora. Segue-se a prensagem sendo a alma metálica totalmente revestida, dando origem ao eletrodo. Os eletrodos já prensados seguem por uma esteira transportadora, sendo terminados e identificados com sua marca e respectiva classificação. Posteriormente são levados para os fornos de secagem do revestimento. As temperaturas e tempos de permanência dependem do tipo do revestimento. Por último os eletrodos são submetidos a testes de laboratório para garantir a qualidade final do produto.

Para facilitar a classificação dos eletrodos revestidos são utilizadas no Brasil as especificações propostas pela AWS (American Welding Society). Este sistema utiliza uma letra e vários números, fornecendo diversas informações dos tipos de eletrodos. A classificação se inicia pela letra “E”, indicando que o consumível é um eletrodo (AWS E XXXX). O conjunto seguinte formado por dois ou três dígitos (AWS E XXXXX), indica o limite mínimo de resistência a tração do metal depositado. O dígito seguinte (AWS E XXXXX) é um algarismo que indica a posição de soldagem em que um eletrodo pode ser utilizado, sendo o número 1 para a soldagem em todas as posições, o número 2 para a soldagem na posição plana e horizontal e o número 4 para a soldagem na posição plana, horizontal e vertical. O último dígito juntamente com o anterior (AWS E XXXXX), indica o tipo de revestimento e as características operacionais do eletrodo. O tipo de revestimento define as características do eletrodo bem como a qualidade do metal depositado. Os eletrodos com revestimento rutílico são constituídos de rutilo, ferro ligas e escorificantes a base de sílica. O mais comum pertence a classificação AWS E 6013. São caracterizados pelo fácil manuseio em qualquer posição e devido a sua baixa penetração são utilizados na soldagem de chapas finas. Apresentam facilidade de

abertura e manutenção do arco, seja em corrente alternada ou contínua, produzindo escória de fácil remoção, baixa quantidade de respingos e cordão com bom acabamento final. Os eletrodos com revestimento celulósico são constituídos de celulose, óxido de titânio, sílica e ferro ligas. Os mais utilizados pertence a classificação AWS E 6010. Estes eletrodos tem como característica principal uma grande penetração, sendo os mais aconselháveis para os passes de soldagem de raiz. São utilizados normalmente em corrente contínua na polaridade positiva em todas as posições, produzindo uma escória fina e de fácil remoção sendo o tipo mais indicado para soldagem de tubulações. Os eletrodos com revestimento básico, são constituídos de sais de cálcio, tais como carbonatos, fluoretos e de ferros-ligas. O tipo mais utilizado pertence a classificação AWS E 7018. Apresentam excelentes propriedades mecânicas, principalmente um elevado alongamento e resistência a tração. Permite a soldagem em todas as posições, preferivelmente em corrente contínua na polaridade positiva e apresentam baixo índice de respingos. O principal campo de aplicação dos eletrodos básicos é na soldagem de alta responsabilidade, tais como cascos de navios, caldeiras e vasos de pressão.

Os eletrodos revestidos podem ser facilmente danificados se não forem tomados cuidados especiais quanto ao seu armazenamento e manuseio. Deverão ser armazenados em embalagens fechadas mantidas na posição vertical e apoiados em estrados de madeira, em uma temperatura ambiente mínima de 18°C e umidade relativa máxima de 50%. Alguns tipos de eletrodos revestidos tais como rutilicos e celulósicos não necessitam de cuidados especiais, no entanto é aconselhável o seu armazenamento em temperaturas controladas. Cuidados especiais devem ser tomados com os eletrodos básicos de baixo teor de hidrogênio, como os do tipo AWS E 7018

que apresentam uma grande tendência para absorver umidade do meio ambiente. É aconselhável a manutenção destes eletrodos em estufas desenvolvidas para esta finalidade. Estas deverão manter uma temperatura média de 50 a 70°C para eletrodos do tipo rutilico e celulósico e de 100 a 150°C para os de revestimento básico. Caso os eletrodos absorvam uma quantidade excessiva de umidade, devem ser ressecados conforme as indicações do fabricante. Para manter a temperatura ideal de armazenagem próximo ao local de trabalho são utilizadas estufas portáteis conhecidas como cochichos, podendo ser ligadas diretamente nos terminais de saída do equipamento de solda.

O valor da corrente de soldagem deve ser escolhido para se obter uma fusão e penetração adequadas, sem dificultar o controle da poça de fusão. A regulagem da intensidade de corrente para cada eletrodo depende do seu tipo do diâmetro e da posição de soldagem. Para conhecer a faixa de amperagem para cada tipo de eletrodo revestido é necessário consultar as tabelas do fabricante. Para se executar corretamente uma soldagem visando a obtenção de uma junta isenta de defeitos é fundamental realizar uma boa preparação das partes a unir. Os principais tipos de juntas utilizadas são de topo e de angulo. O manuseio correto do eletrodo é importante em todas as etapas de deposição de um cordão de solda, ou seja, na abertura do arco, durante a deposição e na sua extinção. A abertura do arco é efetuada mediante um leve toque do eletrodo na peça a ser soldada. Posteriormente deve-se manter o comprimento do arco o mais curto possível, mergulhado o eletrodo em direção a poça de fusão na mesma velocidade do seu consumo de modo a manter constante o comprimento do arco. Durante a deposição do cordão poderão ser feitos movimentos laterais do eletrodo em relação ao eixo da solda que permitem depositar

um cordão mais largo, fazer flutuar a escória e garantir a fusão das paredes do chanfro. Existem diversas posições de soldagem (figura 70), sendo a posição plana a mais utilizada. Outras posições utilizadas são horizontal, vertical ascendente, vertical descendente e sobre-cabeça.

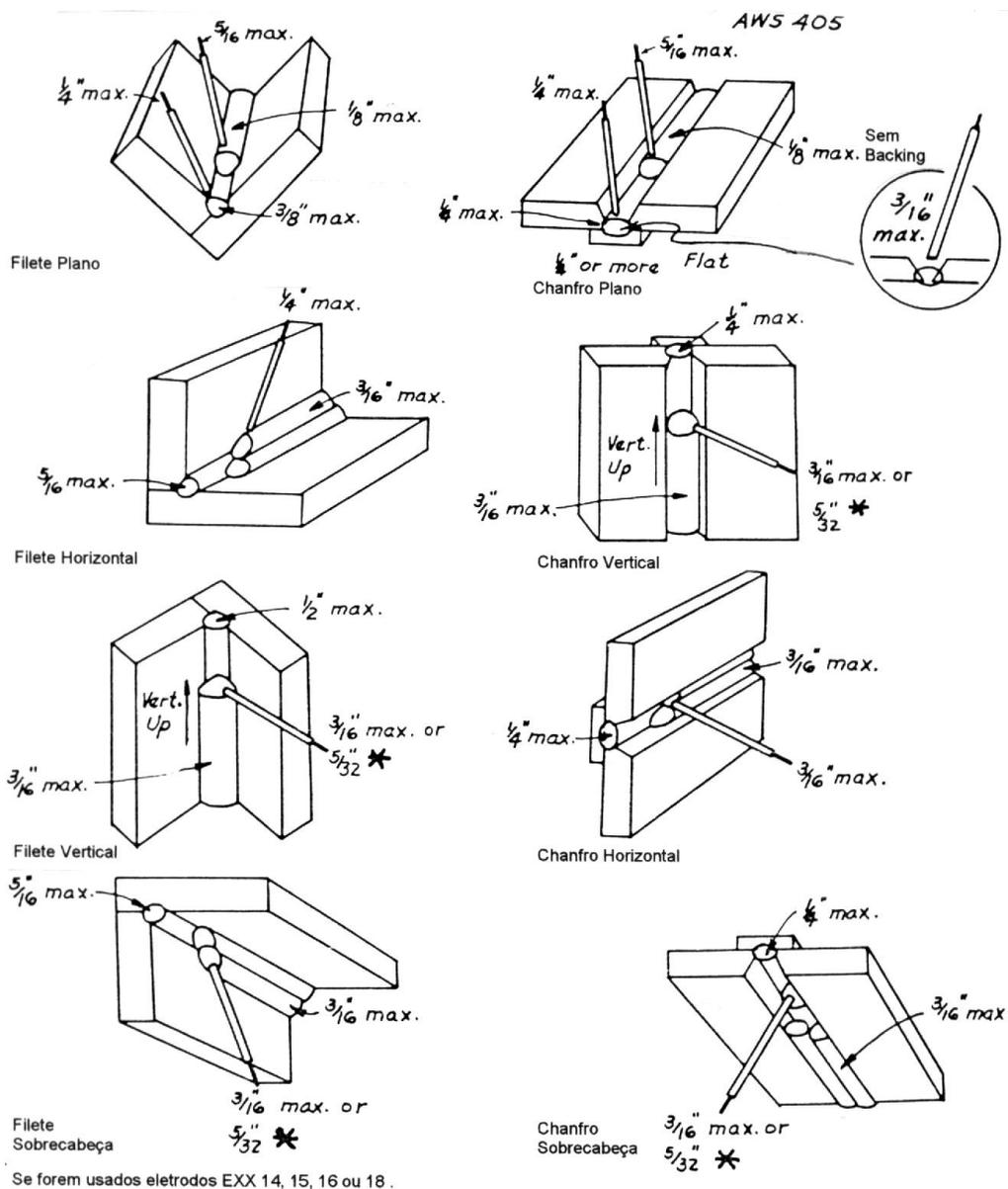


Figura 70 – Posições de soldagem e diâmetro dos eletrodos.

É importante conhecer os principais defeitos no cordão de solda: arco instável, é provocado quando o eletrodo está excêntrico, umidade no revestimento ou mal contato elétrico nos terminais; inclusões de escória, acontecem quando se utiliza uma corrente muito baixa, chanfro irregular ou limpeza inadequada da escória entre passes; falta de penetração, poderá ser ocasionada por uma corrente muito baixa, preparação incorreta ou diâmetro inadequado do eletrodo; excesso de respingos, ocorre quando se utiliza uma corrente muito alta, arco longo, metal base sujo ou eletrodo úmido; mordeduras, são ocasionadas por uma corrente inadequada, chanfro muito estreito ou velocidade excessiva de soldagem: trincas, podem surgir devido a preparação errada das juntas, metal base de má soldabilidade, resfriamento muito rápido, tensões residuais no conjunto soldado ou cratera final da solda com mal acabamento, neste caso específico é recomendável retornar com o eletrodo para dentro da cratera, antes de extinguir o arco; porosidade, surgem quando se emprega uma velocidade de soldagem muito alta, polaridade ou corrente incorreta, metal base com impurezas ou eletrodos úmidos; sopro magnético, é um desvio do arco em corrente contínua provocado por forças magnéticas que desestabilizam o arco elétrico, prejudicando a penetração e uniformidade do cordão de solda, é possível neutraliza-lo modificando a posição da garra do cabo de retorno ou utilizando um transformador.

Para evitar os riscos de acidentes provocados pela soldagem com eletrodos revestidos é obrigatório o uso de equipamentos de proteção individual. Devido ao aparecimento de respingos e radiações durante as operações de soldagem, o soldador deverá estar protegido com: botas com solado isolante, perneiras, avental, mangotes, luvas de raspa e máscara tipo escudo ou capacete. Para a proteção dos olhos das

radiações do arco elétrico é necessário o uso de uma lente apropriada de acordo com a amperagem utilizada. Recentemente foi desenvolvida uma máscara automática, que através de uma célula fotoelétrica, aciona o filtro de luz em milésimos de segundo. Sem necessidade de levantar a máscara o soldador com as duas mãos livres pode posicionar as peças e o eletrodo aumentando a precisão e a qualidade da solda. No momento do início do arco elétrico a máscara é acionada automaticamente, protegendo totalmente a visão do soldador. Um dos acidentes mais comuns na soldagem com eletrodos revestidos são lesões nos olhos, provocadas pela remoção da escória do cordão de solda. É necessário o uso de óculos de proteção durante as fases de limpeza. Os fumos e gases gerados durante a soldagem podem ser prejudiciais a saúde. É aconselhável a utilização de sistemas de ventilação ou exaustão para proteção do soldador. Devemos considerar o risco de choque elétrico, lembrando que os equipamentos de soldagem possuem uma tensão de sessenta a oitenta volts nos terminais de saída, sendo necessário o uso de luvas secas para a troca do eletrodo.

4.4.9.2 PROCESSO A ARCO SUBMERSO

Foi desenvolvido nos Estados Unidos em 1935, para atender as necessidades de maior produtividade e qualidade na indústria de construção naval. Durante a Segunda guerra mundial iniciou-se a expansão do uso do processo, tendo mantido suas características básicas operacionais, porém com modificações destinadas a atender os requisitos de novos tipos de materiais e aplicações. O processo a arco submerso possui esta denominação devido ao fato do arco elétrico e do metal fundido permanecerem sempre cobertos por uma camada protetora de material granular conhecida como fluxo.

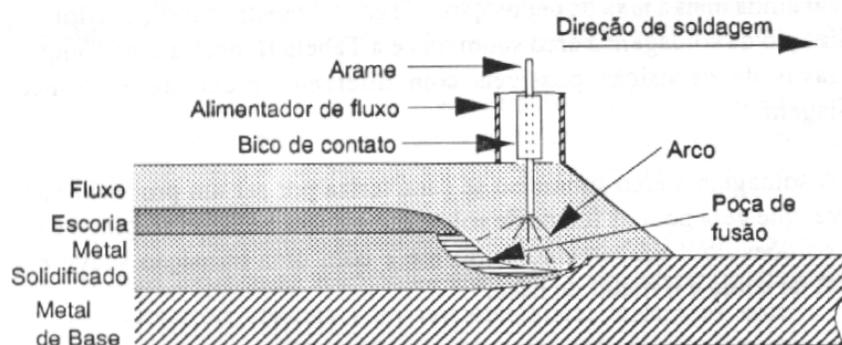


Figura 71 - Solda a arco submerso.

Durante a utilização do processo um arame sólido tubular ou fita é enviado à poça de fusão por um conjunto moto redutor, cuja a velocidade é ajustada por um controle elétrico ou eletrônico, sendo energizado por uma corrente elétrica da fonte de soldagem. O arame eletrodo, o metal base e o fluxo são fundidos por um arco elétrico formando uma única poça de fusão, o metal solidificado forma o cordão e a parte fundida do fluxo forma a escória, resultando em uma camada protetora que

evita a contaminação do cordão e reduz a velocidade de resfriamento. O conjunto básico usado na soldagem a arco submerso é composto por uma fonte de energia, sistema de controle, unidade de alimentação de arame, tocha e reservatório de fluxo.

A fonte de energia geralmente possui uma capacidade superior à 400 ampéres, devendo fornecer tensão e corrente suficientes para a fusão do arame eletrodo. Ela pode ser do tipo transformador, ou retificador. O transformador fornece somente corrente alternada, sendo normalmente utilizado nas aplicações com dois ou mais arames na mesma poça de fusão. O retificador fornece corrente contínua, obtida através da retificação da corrente por meio de diodos. O sistema de controle geralmente possui medidores de corrente e tensão, chave liga – desliga, comando para posicionar o arame e regular a velocidade de deslocamento. Sua função principal é ajustar a velocidade de alimentação do arame eletrodo sendo pré – ajustada conforme a aplicação. A unidade de alimentação do arame eletrodo possui um moto redutor que aciona um conjunto de roldanas de tracionamento que são adaptadas de acordo com o tipo e dimensões do material utilizado. O contato elétrico é feito através do bico de contato montado na extremidade da tocha. O fluxo é enviado por gravidade de um reservatório até a poça de fusão através de mangueiras e bocais apropriados, podendo ser concêntricos ou posicionados à frente da tocha.. O fluxo não fundido durante a operação de soldagem, pode ser aspirado por um sistema de recuperação que o devolve ao reservatório, permitindo a sua reciclagem. Dependendo do tipo de aplicação podem ser utilizadas unidades de movimentação tipo trator, manipulador, posicionadores, mesas e viradores. Para determinar o tipo de equipamento ideal, deve-se avaliar as características e necessidades da aplicação, principalmente o volume de produção, espessura da chapa e posição de soldagem.

A soldagem a arco submerso se caracteriza por ser um processo com arco estável e suave, gerando poucos fumos, ótima penetração e isento de respingos, resultando em cordões uniformes com excelente acabamento. A utilização de uma combinação adequada entre o metal de adição, fluxo e técnica operatória permite a soldagem de união, enchimento e revestimento de peças metálicas. Para aumentar a produtividade podem ser usados dois ou mais arames alimentados simultaneamente, montados um atrás do outro, conhecido como sistema “Tandem Arc” ou arames múltiplos. Para se obter um cordão mais largo, geralmente nas operações de revestimento são utilizados dois arames alimentados por uma só unidade motriz e posicionados lado a lado, este sistema é conhecido como arames paralelos ou “Twin Arc”. Outra variação utilizada no processo é a soldagem com eletrodo em forma de fita, geralmente com espessura de 0.5mm e largura de 15 a 90mm resultando em cordões largos e com baixa diluição, adequados para operações de revestimento. Para a obtenção de um processo de soldagem adequado em termos de qualidade e produtividade é importante conhecer as principais variáveis do processo e suas influências. Polaridade: geralmente é utilizada corrente contínua conectando o arame no polo positivo, obtendo neste caso maior penetração, melhor visual do cordão e maior velocidade de soldagem. Corrente de soldagem: afeta diretamente a taxa de fusão do arame e a penetração do cordão, sendo que, o aumento da corrente resulta em maior penetração e a diminuição da mesma proporciona menor penetração. A variação da velocidade do arame provocará uma alteração proporcional na intensidade da corrente. Tensão: influencia diretamente o comprimento do arco, a largura e altura do cordão com efeito secundário na penetração e na taxa de fusão do arame eletrodo. Outras variáveis devem ser pré-determinadas antes do início da

soldagem, como velocidade de soldagem, escolha da combinação entre o arame e o fluxo, diâmetro do arame, tipo de junta e distância do bico de contato à peça.. Para a execução da soldagem pelo processo a arco submerso o operador deve adotar os seguintes procedimentos: Preparação da limpeza da junta, alinhamento do arame com relação ao centro da junta, supervisão da abertura e interrupção do arco e da operação de soldagem, incluindo a verificação e eventuais correções dos parâmetros e limpeza da camada de escória.

O arco submerso se caracteriza pela sua excelente taxa de deposição, superior aos demais processos de soldagem, por possuir ótima penetração, excelente estabilidade do arco, soldas de baixo teor de hidrogênio, altas velocidades de soldagem e um perfeito visual. Pode-se observar nestas aplicações que a escória é de fácil remoção, sendo auto-destacável na maioria dos casos. É importante lembrar que o processo permite soldagens nas posições plana, plana horizontal e com o uso de dispositivos especiais na posição horizontal.

Os fluxos possuem diversas funções na soldagem a arco submerso, entre elas, estabilizar o arco elétrico, fornecer elementos de liga para o metal de solda, proteger o arco e o metal fundido da contaminação atmosférica, desoxidar o metal de solda, influenciar no aspecto e formato do cordão de solda e escorificar as impurezas. De acordo com o processo de fabricação os fluxos podem ser divididos em dois grupos: fundidos e não fundidos. Os primeiros são produzidos pela fusão da mistura de seus componentes em fornos elétricos ou queimadores. A massa após o resfriamento é moída, peneirada a uma granulometria determinada e em seguida o fluxo é embalado em sacos ou tambores. Os fluxos não fundidos podem ser subdivididos em: fluxo misturado, sinterizado ou aglomerado, sendo este último o mais utilizado. Na

fabricação do fluxo aglomerado, os componentes em forma de pó são misturados e com a adição de um silicato como elemento ligante, são granulados e posteriormente secados em forno. Sendo os fluxos higroscópios, o que significa que podem absorver umidade, os mesmos devem receber certos cuidados até a sua utilização. É necessário que a estocagem seja feita em embalagens fechadas em ambientes secos, com umidade relativa máxima de 50% ou a utilização de estufas para esta finalidade. Caso o fluxo absorva uma umidade excessiva, deverá ser ressecado em fornos apropriados com temperaturas controladas indicadas pelo fabricante. Conforme sua capacidade de alterar a composição química do metal de solda os fluxos podem ser classificados como neutros, ativos ou ligados. Os fluxos neutros não alteram significativamente a composição química do metal de solda, sendo indicados para a soldagem em passes múltiplos. Os fluxos ligados transferem elementos de liga para a poça de fusão, tendo uma participação importante na composição química do metal de solda. De acordo com os elementos de liga adicionados, estes fluxos são usualmente utilizados na soldagem de aços baixa liga e aços inoxidáveis ou para revestimentos duros resistentes ao desgaste.

Os eletrodos utilizados no processo arco submerso, são fornecidos em carretéis ou bobinas com diferentes tamanhos, na forma de arames sólidos, tubulares ou fitas. Para proteger o arame eletrodo de aço carbono contra a oxidação e facilitar o contato elétrico geralmente é aplicado uma fina película de cobre durante a sua fabricação. A escolha do arame eletrodo adequado é feita de acordo com a aplicação, ou seja, a espessura do metal de base, requisitos mecânicos, químicos ou metalúrgicos. Para facilitar a escolha correta da combinação entre o eletrodo e o fluxo, são utilizadas no Brasil as especificações da AWS e ASME através de um

sistema de letras e números. As classificações AWS e ASME são idênticas e apenas informam as propriedades mecânicas do metal depositado pela combinação entre o eletrodo e o fluxo e a composição química do metal depositado. Nestas classificações (AWS FXXX-EXXX), a letra F designa o fluxo e a letra E indica as características do arame eletrodo. Neste exemplo (F7A2-EM12K) o conjunto de letras e números do fluxo nos informa as propriedades mecânicas, as condições de ensaio e os valores de impacto a uma certa temperatura. O conjunto seguinte classifica o tipo de arame eletrodo de acordo com a sua composição química.

É importante conhecer os principais defeitos que poderão ocorrer na soldagem pelo processo a arco submerso: Mordeduras – são ocasionadas por excesso de voltagem, preparação incorreta das juntas, corrente inadequada, posição errada do arame eletrodo ou velocidade de avanço muito baixa; Porosidades – surgem quando se emprega uma velocidade de soldagem inadequada, fluxo úmido ou insuficiente, metal base contaminado ou arame eletrodo oxidado; Inclusões de escória – acontecem quando se utiliza junta inadequada, amperagem ou voltagem excessiva, posição incorreta do arame na junta ou fluxo úmido; Trincas – podem surgir devido a preparação errada das juntas, tensões residuais no conjunto soldado, penetração excessiva, combinação entre o fluxo e o arame incorreta ou falha no controle térmico; Falta de fusão – pode ser ocasionada por uma intensidade de corrente muito baixa, velocidade de avanço excessiva, junta irregular, diâmetro incorreto do arame ou mau posicionamento do mesmo.

No processo a arco submerso o arco não é visível, não havendo a necessidade do uso da máscara de proteção contra as radiações, sendo obrigatório o uso de óculos de proteção. É importante lembrar que o arame eletrodo e a peça à soldar encontram-

se energizados durante a operação, sendo aconselhável o uso de botas com solado isolante. Para evitar queimaduras de pele pelo contato com as partes quentes é aconselhável a utilização de luvas e aventais de raspa.

4.4.9.3 PROCESSO MIG/MAG (METAL INERT GAS / METAL ACTIVE GAS)

O desenvolvimento industrial da década de 50 mostrou a necessidade de aumentar a produtividade nos setores de soldagem, diminuindo os custos de produção. O processo MIG/MAG foi desenvolvido para oferecer uma alta velocidade de deposição em diversas aplicações industriais. Neste processo o calor necessário para a soldagem é obtido através de um arco elétrico estabelecido entre um arame eletrodo e um metal base. O arame, o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos da contaminação atmosférica por uma proteção gasosa. O conjunto básico utilizado na soldagem MIG/MAG é composto por: gás de proteção e regulador, fonte de energia, unidade de alimentação de arame, tocha e arame eletrodo.

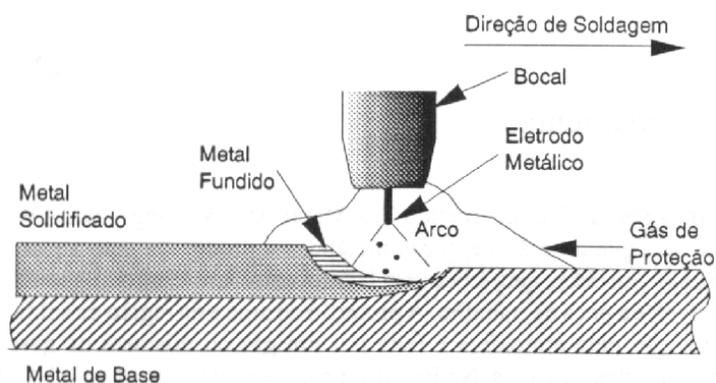


Figura 72 - Solda MIG/MAG.

A fonte de energia utilizada neste processo deverá fornecer uma corrente denominada contínua, obtida através da retificação da corrente por meio de semicondutores conhecidos como diodos de silício, neste caso tem-se uma passagem unidirecional do fluxo de elétrons do polo negativo em direção ao positivo, provocando

maior calor no polo positivo. Para se obter uma fusão homogênea deve-se aproveitar o maior calor gerado no polo positivo conectando o arame de solda no mesmo. Caso contrário o arco torna-se instável, provocando baixa penetração e uma fusão irregular.

As fontes de energia que fornecem corrente contínua são conhecidas como retificadores de solda, que de acordo com suas características classificam-se em fontes de voltagem constante ou amperagem constante. No processo MIG/MAG são utilizadas fontes de voltagem constante que proporcionam uma auto regulação, compensando as possíveis variações da tocha efetuada pelo operador. Neste tipo de equipamento a voltagem pré regulada não sofre variações durante a soldagem, mantendo uma perfeita estabilidade do arco elétrico.

O equilíbrio entre os parâmetros, principalmente voltagem e velocidade do arame eletrodo definem o ponto de trabalho ideal. Para se enviar o arame à região do arco é utilizado um cabeçote alimentador que poderá ser incorporado a máquina ou montado sobre a fonte de energia. Um dispositivo de comando no alimentador permite controlar a velocidade do arame. Um moto redutor aciona o conjunto de roldanas de tracionamento, que são adaptadas de acordo com o diâmetro e tipo de material utilizado. Para conduzir o arame eletrodo, o gás de proteção e a corrente de soldagem, utiliza-se uma tocha ou pistola, permitindo ao soldador o controle das operações de soldagem com o auxílio de um interruptor.

De acordo com o tipo de trabalho a ser executado e a intensidade de corrente escolhe-se um modelo de tocha a ser utilizado. O arame eletrodo é transportado por intermédio de uma guia especial de aço, evitando-se possíveis variações de velocidade. Sendo o processo MIG/MAG um sistema de alimentação contínua, a

tocha deve possuir um contato elétrico deslizante, conhecido como bico de contato, para transmitir a corrente elétrica ao arame eletrodo.

Para garantir uma proteção homogênea da solda, o fluxo do gás de proteção é direcionado por um difusor e um bocal, sendo este último escolhido de acordo com a aplicação. Para reduzir a pressão do gás a um determinado valor, mantendo-a constante, utiliza-se reguladores desenvolvidos para esta finalidade, sendo um modelo para gás CO₂ puro e outro para argônio ou mistura de gases. Normalmente são compostos de um manômetro que indica a pressão de gás no cilindro e outro de baixa pressão que informa a vazão de trabalho. Pode-se conferir se a pressão indicada no regulador é constante até a saída da tocha com o auxílio de um fluxômetro de bocal.

A montagem correta do conjunto de soldagem MIG/MAG começa com a verificação da tensão da fonte e da voltagem da rede local. Posteriormente são conectados os cabos do alimentador de arame e montada a tocha. A seguir escolhe-se o conjunto de roldanas de acordo com o diâmetro e tipo do arame eletrodo. Após a regulagem da pressão das roldanas o arame é conduzido até o bocal da tocha. Após a escolha do gás conforme a aplicação, instala-se o regulador correspondente no cilindro e conecta-se o mesmo com o auxílio de uma mangueira na entrada do equipamento. Existem vários modelos de equipamentos disponíveis no mercado, sendo os mesmos escolhidos de acordo com o fator de trabalho e as amperagens mínimas e máximas conforme as diversas aplicações.

O sistema MIG significa Metal Inert Gas e utiliza um gás inerte como o argônio puro ou mistura do mesmo com outros gases inertes. O sistema MAG significa Metal Active Gas e utiliza o dióxido de carbono como gás de proteção ou

mistura com outros gases ativos. As características do processo MIG/MAG são definidas através dos tipos de transferência metálica. Estas são determinadas por diversos fatores: amperagem, voltagem, diâmetro do arame, comprimento do arco e gás de proteção.

A transferência por curto circuito é indicada geralmente para união de chapas finas e soldagem fora da posição plana, devido ao baixo aporte de calor. Neste caso a transferência do metal ocorre quando o arame entra em contato com a poça de fusão, provocando um aumento imediato da corrente e conseqüente destacamento da gota. Para suavizar a fase de transferência por curto circuito, diminuindo a incidência de respingos, a fonte de energia possui um componente denominado indutância, cuja a regulagem é efetuada pelo soldador, dependendo do diâmetro e velocidade do arame, espessura do material e gás de proteção.

A transferência com spray ocorre com níveis de amperagens elevadas, sendo utilizadas normalmente na posição plana e horizontal para espessuras superiores a 5mm, deste modo a transferência do metal através do arco é feita na forma de gotas muito pequenas.

Na transferência globular o diâmetro das gotas aumenta, sendo igual ou até maior que o diâmetro do arame. Esta instabilidade ocorre na zona de transição, quando os níveis da amperagem e voltagem, encontram-se entre o ponto de curto circuito e spray. No sistema arco pulsado, a fonte fornece dois níveis de amperagem, o primeiro sem a intensidade suficiente para produzir transferências mas capaz de manter o arco aceso e o segundo de nível elevado que ocasiona a fusão do arame eletrodo, conduzindo as gotas através do arco.

O pico pulsado ocorre a intervalos de tempo regulares, transferindo normalmente uma gota a cada impulso. Antes de iniciar as operações de soldagem seleciona-se o tipo e diâmetro do arame, voltagem, velocidade de alimentação do arame, o tipo de gás e sua vazão. Estas variáveis controlam o tipo de transferência, a estabilidade do arco, a geometria do cordão, o acabamento da solda e a taxa de deposição. Como neste processo o sistema é semi-automático com a maioria das variáveis pré determinadas, dependem da habilidade do soldador a velocidade de soldagem, distância do bico de contato até a peça e o ângulo da tocha em relação a junta, influenciando na qualidade e no acabamento do cordão de solda. A preparação adequada de uma junta para soldagem é fundamental para a obtenção de soldas perfeitas. Os tipos mais usados são: de topo, em ângulo e sobreposta.

As principais vantagens do processo MIG/MAG são: elevado rendimento devido a uma operação contínua, com pequenos intervalos de interrupção e uma alta velocidade de fusão do arame, resultando em uma taxa de deposição superior ao processo convencional com eletrodos revestidos. A conseqüente redução de mão de obra e o aproveitamento quase total do arame eletrodo, caracterizam o processo como de baixo custo final. A utilização de arames sólidos elimina a formação de escória evitando inclusões na soldagem multi passes. Com a utilização de misturas apropriadas de gases é possível reduzir a quantidade e o tamanho dos respingos obtendo soldas de boa aparência. O processo é de grande versatilidade, permitindo na maioria das aplicações a soldagem em todas as posições, cobrindo uma ampla faixa de espessura. Todas as vantagens citadas anteriormente podem ser ampliadas automatizando a soldagem. Atualmente a utilização de sistemas robotizados garante ainda mais a uniformidade da soldagem.

Os gases de proteção são empregados basicamente com as seguintes finalidades: proteger o arco elétrico, a transferência do metal e a poça de fusão da contaminação atmosférica; influenciar tipo de transferência, incidência de respingos, quantidades de fumos, queima de elementos de liga, velocidade de soldagem, propriedades mecânicas, custos de produção e na geometria do cordão. No processo MIG/MAG os gases mais utilizados são CO_2 , argônio e misturas de argônio + CO_2 , argônio + oxigênio, argônio + CO_2 + oxigênio. Embora os gases inertes sejam preferidos em outras aplicações de soldagem, no caso específico do aço carbono o uso de argônio puro não apresenta características operacionais satisfatórias. Adições de CO_2 ou oxigênio, estabilizam o arco e favorecem a transferência do metal. Conforme o tipo de transferência metálica e a espessura do metal a ser soldado escolhe-se a mistura de gases apropriada para cada aplicação. A vazão de gás recomendada irá depender da amperagem e do tipo de material a ser soldado.

Existem diversos tipos de arames para soldagem, sendo sua composição química e diâmetro escolhidos de acordo com as diferentes aplicações. Os aços com baixos teores de carbono são facilmente soldáveis pelo processo MIG/MAG utilizando-se arames de composição similar com elementos desoxidantes como o silício e manganês. Para proteger os arames de aço carbono contra a oxidação e facilitar o contato elétrico, uma fina película de cobre é aplicada durante a sua fabricação. Os arames devem ser armazenados em locais fechados, livres de umidade, devendo permanecer em suas embalagens originais até a sua utilização. O saco plástico vedado e papel anti umectante, evitam a oxidação prematura do produto. É importante lembrar que o material de adição e o metal base estejam livres de impurezas, como óleos, graxas, tintas e umidade. Atualmente é cada vez maior o

uso de arames tubulares com fluxo interno com melhores características metalúrgicas. Os mesmos podem ser utilizados com ou sem gás de proteção, permitindo soldagem de união ou revestimentos protetores ampliando o campo de aplicações do processo.

Para garantir a qualidade da soldagem é importante conhecer os principais defeitos, suas causas e possíveis soluções. A falta de fusão pode ocorrer devido ao ângulo incorreto da tocha, baixa adição de calor, geometria inadequada da junta ou alta velocidade de soldagem. A falta de penetração pode ocorrer devido a seleção incorreta dos parâmetros de soldagem, abertura muito pequena entre as peças ou geometria inadequada da junta. Excesso de penetração, ocorre em função de uma adição de calor excessiva ou uma abertura muito grande entre as partes a unir. Porosidades são causadas basicamente por dois motivos, impurezas no metal base ou falta ou excesso de proteção gasosa. Esta poderá ser ocasionada por: regulagem inadequada da vazão do gás de proteção, correntes de ar na região da solda ou bocal obstruído pelo acúmulo de respingos. Para evitar este defeito que poderá ocasionar turbulências, diminuindo a proteção gasosa é aconselhável o uso de um líquido protetor em forma de spray, conhecido como anti-respingos. Mordeduras ocorrem devido ao excesso de energia do arco ou manuseio inadequado da tocha. O soldador deve regular os parâmetros de soldagem em função do tipo da junta, posição de soldagem, tipo e espessura do metal base. Trincas podem aparecer devido ao acúmulo de tensões no cordão de solda. É importante lembrar que o uso do bico de contato gasto ou mal contato do cabo terra ocasionam um arco irregular podendo provocar vários defeitos na soldagem.

Para evitar os riscos de acidentes provocados pela soldagem no processo MIG/MAG é obrigatório o uso de equipamentos de proteção individual. Devido ao aparecimento de respingos e radiações durante as operações de soldagem, o soldador deverá estar protegido com: botas com solados isolante, perneiras, avental, mangotes, luvas de raspa, máscara e lente. Em aplicações com amperagens elevadas é necessário o uso de blusão de raspa, para proteger o corpo do operador contra as radiações ultra violeta e infra vermelha. Para proteger os olhos das radiações do arco é obrigatório o uso de uma lente apropriada para cada tipo de serviço. É aconselhável para a proteção de qualquer pessoa que esteja próxima a área de soldagem a utilização de biombos ou cabines isolando o local de trabalho. Em ambientes fechados é necessário a utilização de sistemas de ventilação, captação e exaustão dos fumos provenientes da soldagem ou de tochas especialmente construídas para esta finalidade.

4.4.10 INSPEÇÃO [5, 26, 46, 67, 69]

Uma das componentes para avaliação das estruturas metálicas, consiste em submetê-la a ensaios.

Realizam-se ensaios metrológicos, quando se pretende verificar as dimensões e as tolerâncias permitidas dentro dos parâmetros pré-estabelecidos pelas normas, assim como o peso de um determinado perfil; os ensaios físico-químicos são realizados para determinar características ou propriedades do material. Podem realizar-se ainda ensaios funcionais para avaliar o comportamento do componente estrutural em condições próximas das condições de serviço. O ensaio de carregamento de uma viga metálica, por exemplo, constitui um ensaio funcional. Os ensaios que exigem a destruição das peças são os ensaios destrutivos, designando-se por não destrutivos os ensaios em que após a inspeção as peças permanecem intactas.

A medição da espessura da camada de tinta de uma estrutura metálica pode ser feita por ensaio destrutivo, através da observação de um corpo de prova ao microscópio, ou por um método não destrutivo mediante a utilização de ultra-sons. Apesar da inspeção dimensional se efetuar sem que ocorra a destruição das peças devendo ser considerada um método de ensaio não destrutivo, convencionou-se que a nomenclatura "Não Destrutivo" se aplica apenas aos ensaios metrológicos em que a avaliação de uma dimensão se efetua por métodos físicos indiretos, como a avaliação do volume de um componente estrutural por ultra-som. Os ensaios destrutivos fornecem resultados que se limitam à inspeção de uma zona específica de uma peça, assim como não refletem exatamente a qualidade de todas as peças de um lote. Já os ensaios não destrutivos, permitem uma inspeção geral que fornece resultados de

praticamente todo o volume da peça, contribuindo para a melhoria das peças assim como para a prevenção de falhas em serviço.

A eficácia da execução de um método de ensaio não destrutivo, depende da capacidade do equipamento e da habilidade do operador. A capacitação de operadores obedece a padrões mais rigorosos do que se tratando de ensaios destrutivos., incluindo o aprendizado de princípios físicos em que se assentam os métodos e propriedades dos materiais envolvidos. A interpretação final dos resultados obtidos neste ensaio nem sempre cabe ao operador, sendo a aceitação ou rejeição do elemento estrutural muitas vezes de responsabilidade do projetista. Os ensaios não destrutivos podem se classificar em função da aplicação (detecção de defeitos, caracterização de materiais, metrologia), dos princípios físicos associados (ondas eletromagnéticas, ondas acústicas, emissão de radiação, absorção, capilaridade,etc.) ou em função da capacidade de detecção (ensaios volumétricos que permitem avaliar todo o volume da peça – raios x, ultra-sons e correntes induzidas; ensaios subsuperficiais que permitem avaliar parte da peça – partículas magnéticas; ensaios superficiais que permitem avaliar apenas a superfície da peça – líquidos penetrantes).

A) Inspeção visual: Por mais complexos que sejam os ensaios a realizar em uma determinada peça, o exame inicia-se sempre por uma operação de inspeção visual, havendo situações em que a peça é de imediato rejeitada não chegando portanto à realizar os ensaios subsequentes. A inspeção visual do processo de soldagem, por exemplo, é bastante útil na verificação da conformidade dimensional, aspectos de soldagem (limpeza e rugosidade) e da existência de falhas de enchimento ou fendas.

B) Inspeção por líquidos penetrantes: É empregada para detecção de descontinuidades abertas à superfície da estrutura metálica. O processo se baseia na utilização de um líquido penetrante que aplicado sobre a superfície previamente limpa da mesma, preencherá por capilaridade as descontinuidades presentes. O excesso do líquido penetrante sobre a superfície da peça é removido após um determinado tempo, sendo aplicado um produto revelador que aumentará a visibilidade das indicações.

C) Inspeção por partículas magnéticas: É utilizada para detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais das estruturas metálicas. O processo se baseia na magnetização da peça previamente limpa, aplicação de partículas magnéticas, inspeção e desmagnetização. Qualquer descontinuidade que atravesse as linhas de força da peça magnetizada, originará o aparecimento de polos norte e sul na mesma, que atrairão as partículas magnéticas aplicadas, originando fortes indicações no caso de campos de fuga intensos ou descontinuidades grandes e fracas indicações no caso de campos de fuga pouco intensos ou descontinuidades finas.

D) Inspeção por ultra-som: É empregada no campo das estruturas metálicas com a finalidade de se detectar descontinuidades presentes no interior das peças, medição de espessuras, análise de ligações soldadas, determinação de características físicas e outras. O processo baseia-se na transmissão de ondas sonoras de elevada frequência na peça a ensaiar, as quais se refletem ao incidirem numa superfície de separação de dois meios com características acústicas diferentes, como por exemplo, a superfície de uma descontinuidade. As reflexões, quando recebidas, permitem detectar e localizar na peça os reflectores, através do conhecimento do ângulo de emissão, tempo de percurso e velocidade de propagação do som.

D) Inspeção por métodos radiológicos: Utilizando-se de radiações penetrantes, o processo é um dos de maior campo de aplicação e de uso mais generalizado, fornecendo informações claras, objetivas e confiáveis, através da radiografia que poderá ser arquivada e posteriormente consultada, possibilitando o acompanhamento de um defeito conhecido, através do estudo da sua evolução e do seu comportamento em serviço, quer como contraprova para a análise de falhas ou eventuais colapsos. Apesar de ser um processo de indiscutível performance na caracterização de defeitos volumétricos, apresenta reduzida sensibilidade de detecção de defeitos planos, como são as fissuras localizadas em planos geométricos não coincidentes com a direção do feixe de radiação ou muito apertadas e de pequeno desenvolvimento em relação à espessura, caso em que os ultra-sons são indiscutivelmente superiores.

4.4.11 PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE [24, 26, 30, 46, 63, 67, 69]

Um pré-requisito fundamental para a eficácia esperada de um revestimento aplicado é a correta preparação da superfície, removendo-se durante o processo a carepa de laminação (camada azulada de óxido formada na superfície de chapas durante a sua fase de produção, devido a reação do aço em altas temperaturas com o oxigênio do ar, que por possuir coeficiente de dilatação diferente ao do aço, com o tempo, acaba trincando e permitindo a penetração de umidade e do oxigênio, condição esta favorável à corrosão), respingos de solda, ferrugem, sujeiras, óleos, graxas e outros contaminantes.

Na escolha do tipo de tinta e do método e processo para o preparo da superfície, além do aspecto técnico, deve-se considerar o aspecto econômico. Cabe salientar que geralmente o custo de uma tinta é de aproximadamente 30% do custo global do tratamento de superfície (preparação e pintura) dado a uma estrutura metálica, ficando a parte de preparação de superfície responsável por outros 60 % deste trabalho. Desta análise conclui-se que a vantagem do emprego das tintas de alto desempenho se torna evidente, e que dentre os vários métodos e processos de preparação de superfície, onde os custos podem variar dentro de uma escala de valor compreendida de 1 a 12 se compararmos uma limpeza manual com lixas a uma limpeza com jato abrasivo. O mais indicado seria aquele que interagisse de forma a equilibrar o custo do preparo com a conseqüente durabilidade advinda de uma maior vida útil do revestimento.

A) Grau de corrosão ou Intemperismo

Denomina-se grau de corrosão ou intemperismo o estado em que a superfície metálica se encontra antes de qualquer tratamento. Segundo a norma sueca SIS 05 5900-1967, desenvolvida pelo Instituto Sueco de Normalização, são citados quatro graus de intemperismo:

Grau A – Corresponde a superfície do aço recentemente fabricado, ou seja, uma superfície completamente coberta por uma carepa de laminação intacta e com pouca ou nenhuma corrosão.

Grau B – Superfície de aço com início de corrosão, em que a carepa de laminação tenha começado a trincar e se desprender.

Grau C – Superfície de aço na qual a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou que possa ser removida quando houver, por raspagem.

Grau D – Superfície de aço em que a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e na qual haja intensa corrosão localizada como a formação de pites (cavidades visíveis a olho nu, apresentando sempre a profundidade maior do que o diâmetro) e alvéolos (cavidades também visíveis a olho nu, com profundidade menor do que o diâmetro, se caracterizando por apresentar fundo arredondado).

B) Tipos de preparação de superfície

Segundo a norma SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh, PA, USA), os métodos e processos de limpeza podem ser classificados quanto ao tipo e grau de intensidade com que são aplicados.

SP 1 – Desengraxamento por Solventes:

Este procedimento destina-se à remoção de graxa, óleos, gordura, terra, poeira e outros contaminantes presentes na superfície do aço, sendo executado antes de qualquer outro tipo de limpeza de superfície ou até mesmo da pintura, utilizando para tal compostos para limpeza, detergentes, solventes ou outros produtos de mesma ação.

A limpeza com solventes obedece o seguinte fluxo de trabalho:

- Remoção dos contaminantes tais como terra, areia, respingos de cimento ou reboco, com escovas duras de fios de arame ou de fibras vegetais;
- Remoção de graxas, óleos ou gordura, através dos seguintes processos
 - a) Utilizando-se de escovas, pincéis ou panos embebidos em solventes tais como aguarrás, naftas, xilol e toluol, para se esfregar a peça em duas demãos, ou seja, primeiro se retirando o excesso e depois eliminando a sujeira;
 - b) Jateamento de solventes limpos (aguarrás, naftas, xilol e toluol) sobre a superfície;
 - c) Submergir as peças em tanques contendo solvente (aguarrás, naftas, xilol e toluol), tendo a precaução de renovar o solvente quando este já estiver contaminado e conseqüentemente sem eficácia;
 - d) Colocar as peças sobre tanques aquecidos, onde as mesmas serão limpas pela ação do vapor do solvente não inflamável (cloro de metileno, tricloroetileno, percloroetileno), que condensa na superfície da peça (que está com uma temperatura mais baixa), arrastando para o fundo do tanque as graxas, gorduras e óleos.

SP 2 - Limpeza Manual – (St 2):

É o método pelo qual se remove somente os contaminantes parcialmente soltos, como a carepa de laminação, ferrugem e restos de pintura, mediante o emprego de ferramentas manuais, tais como escovas com cerdas de bronze ou aço, lixas, palha de aço, raspadores, espátulas, picadores, martelos ou outras ferramentas de impacto ou a combinação das mesmas, sendo seguidas as seguintes operações:

- 1) Desengraxamento por solventes;
- 2) Remoção de cascas de ferrugem e ou de ferrugens estratificadas, com picadores ou martelos;
- 3) Remoção de ferrugens e carepas soltas, utilizando-se de lixas, palhas de aço ou escovas;
- 4) Remoção do pó de ferrugem e poeira, com escovas, aspirador de pó ou ar comprimido.

Observações:

- Este tipo de limpeza não serve para o aço recente que apresenta carepa de laminação intacta e que requer um alto grau de limpeza, assim como para ambientes agressivos;
- Deve-se ter um cuidado especial na região dos cordões de solda, removendo através de talhadeira (exceto para aços com grau de intemperismo D, onde não se deve aplicar tal ferramenta) os respingos e a escória da mesma, onde qualquer falha poderá acarretar o início do processo de corrosão.

- Nos casos de repintura, deve-se raspar toda a pintura antiga não aderente, sendo que a tinta antiga que não for removida, deverá ter uma aderência perfeita para não trazer imperfeições à repintura
- O cuidado durante a limpeza, para se evitar a formação de buracos decorrentes do uso de ferramentas de impacto, deve ser tomado, pois caso ocorram afetarão a durabilidade da pintura. O escovamento excessivo com palha de aço também deve ser evitado, pois prejudica a aderência da tinta devido ao polimento gerado.

SP 3 - Limpeza Mecânica – (St 3):

Consiste na remoção da carepa de laminação parcialmente solta, resto de pintura não aderida, placas de sujeira e ferrugem parcialmente solta através da utilização de ferramentas mecânicas, tais como escovas rotativas, rebolos abrasivos, raspadores, pistolas de agulhas, martelotes, lixadeiras orbitais ou rotativas e esmerilhadeiras ou a combinação das mesmas, sendo seguidas as seguintes operações:

- 1) Desengraxamento por solvente;
- 2) Remoção de cascas de ferrugem e ou ferrugem estratificada, com picadores ou martelos;
- 3) Remoção de ferrugem soltas e de carepas, com ferramentas de impacto, escovas rotativas, esmerilhadeiras ou lixadeiras;
- 4) Remoção de pó de ferrugem e de poeira, com escovas, aspirador de pó ou ar comprimido.

Este tipo de limpeza é aplicado onde o jateamento é impraticável ou antieconômico (áreas de difícil acesso ou pequenas), e quando o processo de pintura for compatível com os contaminantes remanescentes na superfície do aço, sendo também bastante empregado na limpeza de cordões de solda.

SP 4 – Limpeza a Chama:

Nesta limpeza é aplicado uma rápida chama de maçarico sobre a superfície do aço, no intuito de soltar a carepa de laminação por diferença de dilatação, bem como eliminar contaminantes orgânicos. Este processo não remove totalmente a carepa e é utilizado para aço não pintado, sendo a limpeza final feita com escova metálica.

A limpeza a chama é um pouco mais efetiva do que a limpeza mecânica, entretanto há formação de gases tóxicos e acarreta riscos de incêndio e de explosões, bem como possíveis empenamentos de chapas finas.

Graus de preparação das superfícies de aço por jateamento:

O jateamento é o mais eficiente método para a remoção de carepas de laminação, ferrugem e restos de pintura da superfície do aço, além de produzir um perfil de ancoragem (média das medidas de distância entre os planos dos picos e os fundos dos vales de uma superfície que sofreu limpeza por jateamento abrasivo, também conhecido por rugosidade) adequado para a boa aderência das tintas (aproximadamente 1/3 da espessura da camada de tinta prevista), que devem ser aplicadas antes que a superfície se torne amarelada (ferrugem instantânea – “flash rust”), ou seja, dentro de um intervalo máximo de 2 a 4 horas após o jato.

SP 7 – Jato Abrasivo Ligeiro (“brush-off”) – Sa 1:

Este método que não se aplica às superfícies de grau A, remove rapidamente carepa de laminação solta, ferrugem e outros contaminantes como vestígios de graxa, óleo e restos de pintura, através do emprego de abrasivos metálicos (granalha de aço) ou siliciosos (areia), impelidos por meio de rotores ou ar comprimido, através de bico apropriado. Após a limpeza, a superfície deverá apresentar um suave brilho metálico.

SP 6 – Jato Abrasivo Comercial – Sa 2:

Este método remove praticamente toda carepa de laminação, ferrugem e outros contaminantes como vestígios de graxa, óleo e restos de pintura, através do emprego de abrasivos metálicos (granalha de aço) ou siliciosos (areia), impelidos por meio de rotores ou ar comprimido, através de bico apropriado. Caso a superfície apresente cavidades (pites ou avéolos) são tolerados pequenos resíduos no fundo das mesmas, entretanto no mínimo 2/3 da superfície deverá estar isenta de qualquer vestígio visível tais como a carepa de laminação, ferrugem e os contaminantes citados acima. Após a preparação da superfície, esta deverá apresentar uma coloração acinzentada.

SP 10 – Jato Abrasivo ao Metal Quase Branco – Sa 2 ½:

O processo é mantido por tempo suficiente para assegurar a remoção da carepa de laminação, ferrugem e outros contaminantes como vestígios de graxa, óleo e restos de pintura, através do emprego de abrasivos metálicos (granalha de aço) ou siliciosos (areia), impelidos por meio de rotores ou ar comprimido, através de bico apropriado. Os resíduos são removidos por ar comprimido, aspiração ou por escovas.

Ao final da preparação da superfície, esta deverá estar limpa numa percentagem mínima de 95 % da sua área, enquanto os 5 % restantes poderão apresentar apenas ligeiras sombras, leves veios ou descoloração. A superfície deverá apresentar uma coloração cinza clara.

SP 5 – Jato Abrasivo ao Metal Branco – Sa 3:

Consiste em uma jateamento perfeito, com remoção total da carepa de laminação, ferrugem e outros contaminantes como vestígios de graxa, óleo e restos de pintura, através do emprego de abrasivos metálicos (granalha de aço) ou siliciosos (areia), impelidos por meio de rotores ou ar comprimido, através de bico apropriado. Em seguida, o pó é removido por ar comprimido ou aspiração. Após a preparação da superfície, esta deverá apresentar uma coloração metálica (cinza prateado) totalmente uniforme.

4.4.12 PINTURA [24, 26, 30, 46, 63, 67, 69]

A tinta é basicamente um revestimento (especificado, formulado, fabricado em escala piloto, testado, otimizado e depois produzido) que só cumprirá sua finalidade após aplicada sobre os mais variados substratos, dentre eles a estrutura metálica. Diante disto, deve-se evitar erros na aplicação, diluição e no preparo da superfície para que a tinta escolhida atenda às expectativas desejadas. Dentre as suas finalidades mais importantes destacam-se a decorativa e a proteção contra a corrosão.

A) Composição básica de uma tinta

A característica da tinta é conhecida pela composição dos seus componentes que são basicamente: Pigmento, veículo (resina e solvente) e aditivos.

Pigmentos: São minúsculas partículas sólidas (inorgânicas, orgânicas e metálicas), insolúveis no meio (verniz) que fornecem cor, conferem cobertura, proporcionam adesão, aumentam a resistência mecânica, resistência ao exterior e a durabilidade da tinta, controlam o brilho e podem ser anti-incrustantes e anti-corrosivos.

Resina: É o componente mais importante de uma tinta, aglomerando as partículas de pigmento e mantendo-as unidas entre si e o substrato, sendo o formador do filme propriamente dito, conferindo a mesma as qualidades mais significativas, tais como impermeabilidade, continuidade e flexibilidade. Sendo assim, pode definir

a qualificação da tinta segundo o veículo que a compõe, onde tem-se a tinta epóxi, tinta poliuretano, tinta borracha clorada, tinta vinílica, tinta sintética dentre outras.

Solventes: São líquidos voláteis que solubilizam a resina, minorando a viscosidade da tinta. Dentre as suas principais finalidades numa tinta pode-se citar o ajuste da viscosidade conferindo uma fluidez necessária adequada tanto para o fornecimento quanto para a aplicação, o auxílio à formação do filme, a melhoria do nivelamento e da penetração, o controle da secagem e a limpeza dos instrumentos de aplicação. Problemas de contaminação ambiental tem levado os fabricantes a viabilizar as chamadas tintas sem solventes, tornando-se cada vez mais comuns as resinas solúveis em água.

Aditivos: São elementos adicionados em pequenas quantidades que conferem à tinta propriedades especiais, de acordo com suas finalidades: Secantes, plastificantes, anti-mofo, nivelantes, dispersantes, anti-sedimentantes, etc.

B) Classificação da tinta segundo a sua finalidade no esquema de pintura

Primer - É normalmente aplicado na primeira demão sobre uma estrutura metálica, sendo geralmente um produto fosco, contendo pigmentos anti-corrosivos que conferem a proteção necessária ao substrato. Existem tipos especiais de “primer”, como o "Shop “primer”" que é aplicado sobre uma peça ou estrutura conferindo proteção durante o seu armazenamento e o "Wash primer" também conhecido por fundo fosfatizante que é destinado a promover ancoragem sobre uma estrutura metálica muito lisa.

Intermediária - Também conhecida por tinta de enchimento, normalmente trata-se de uma tinta neutra de alta espessura, isenta de pigmentos anti-corrosivos e coloridos, aplicada entre o "primer" e a tinta de acabamento, sendo mais baratas e com a finalidade de acrescer a proteção do sistema de pintura, aumentando a espessura do mesmo.

Acabamento - É a tinta que dará a aparência final a estrutura metálica, com textura e cor definida, propiciando uma resistência ao meio ambiente. Além da cor pode-se optar por um acabamento fosco, acetinado, brilhante, corrugado, martelado, dentre outros que irão depender do tipo de sistema de pintura empregado.

C) Tintas normalmente aplicadas na construção metálica

Pode-se ter dois tipos básicos de tinta: A tinta fornecida em uma só embalagem que não reage dentro desta enquanto fechada e que não precisa ser misturada com um catalisador, conhecida por monocomponente (esmalte sintético, "primer" sintético, borracha clorada, betuminosa) e a tinta fornecida em duas embalagens, conhecida por bicomponente (tinta epóxi, poliuretânica, "wash-primer", etil-silicato), onde dois componentes são separados em embalagens "A" (denominado base ou pigmentado) e "B" (conhecido por endurecedor, agente de cura, conversor, agente reticulador ou catalisador) por serem reativos e poderem ser misturados somente no ato da aplicação. A tinta bicomponente estabelece um tempo pré-definido mínimo (tempo de espera ou indução), assim como um máximo (vida útil da mistura ou "pot-life") para o uso após a mistura.

Tintas a base de resina alquídica - Conhecidas comercialmente como sintéticas (esmaltes sintéticos, zarcão/alquídico, óxido de ferro/alquídico), são constituídas geralmente por uma resina alquídica modificada com óleos o que resulta em uma boa flexibilidade, dureza e aderência, sendo o seu uso largamente difundido na pintura de estruturas metálicas expostas a ambientes de baixa e média agressividade, sendo de fácil aplicação e não exigindo cuidados especiais. Com exceção das tintas alquídicas de alumínio, todas as outras são monocomponentes. As tintas alquídicas secam por evaporação do solvente (aguarrás e xilol) e pela combinação do oxigênio do ar com a resina.

Tintas a base de resina de borracha clorada - Obtidas a partir da reação entre a borracha natural e o cloro (cloração), a borracha clorada é um dos mais práticos materiais formadores de filme e combinada com outras resinas, plastificantes, pigmentos e estabilizantes proporciona adesão, brilho, flexibilidade, rigidez, estabilidade e resistência a ácidos, álcalis, sais, agentes oxidantes, óleos minerais, umidade e ao crescimento de fungos, sendo solúvel a água e em quase todos os solventes orgânicos. São aplicadas nas estruturas metálicas sujeitas a ambientes moderadamente agressivos, mas por serem termoplásticas sofrem limitações de temperatura (acima de 70°C). Fornecida em embalagem única (exceto se combinada com alumínio), possui ilimitado tempo de vida útil durante a aplicação sendo sua aderência entre demãos perfeita em qualquer época, devido ao fato do solvente da nova demão agir superficialmente sobre a antiga, fundido as camadas. Para melhores resultados exige-se uma preparação de superfície adequada (jato abrasivo ao grau metal semi-branco padrão Sa 2 1/2) e nos métodos de aplicação é recomendado para revestimentos de alta espessura o uso de pistola sem ar (airless), para áreas

inacessíveis a pistola e ou pequenas o uso de trincha com um maior número de demãos para se atingir a espessura desejada e no caso de aplicação convencional o uso de pistola convencional ou trincha. Características específicas de tintas à base de borracha clorada ("Primer"- borracha clorada AE, borracha clorada/zarcão, borracha clorada /vermelho óxido; Tinta de acabamento de borracha clorada, borracha clorada antiderrapante) devem ser melhor exploradas junto ao fabricante.

Tintas a base de resinas vinílicas - As resinas normalmente utilizadas são copolímeros de acetato de vinila (resina relativamente mole e facilmente solúvel) e de cloreto de vinila (resina dura, tenaz e difícil de dissolver). Se polimerizar-se somente o acetato de vinila, obtém-se o PVA - policetato de vinila, se polimerizar-se somente o cloreto de vinila, obtém-se o PVC - policloreto de vinila. Uma mistura dessas resinas produz pinturas insatisfatórias, entretanto se polimerizar-se ambos, obtém-se o copolímetro de acetato e cloreto de vinila, que possui características mais desejáveis, como um revestimento de boa resistência à água e a agentes químicos ácidos para as estruturas metálicas. As tintas vinílicas geralmente por apresentarem baixo teor de sólidos e pouca adesão sobre superfícies limpas pelo método manual, necessitam atenção especial para se obter películas de espessura adequada (preferencialmente por pulverização) assim como exigem um bom preparo de superfície onde o mínimo aceitável é um jato abrasivo ao "grau comercial" padrão Sa 2. Apesar de possuir excelente resistência à intempérie, têm tendência ao amarelecimento e à calcinação, em virtude do desprendimento de partículas do seu pigmento, na superfície, por desagregação da resina e do pigmento pelos raios ultravioleta.

Tintas a base de resinas epoxídicas - Existem três diferentes tipos de tintas epóxi a saber, modificadas com catalisador, catalisadas não modificadas e ésteres de epóxi, sendo as tintas epóxi catalisadas compostas por uma resina epóxi e um catalisador conveniente (agente de cura, endurecedor ou ativador) e as tintas éster de epoxi baseadas nos produtos de reação de uma resina epóxi e um ácido graxo. Estas resinas epóxi estão aptas a reagir, à temperatura ambiente, com várias aminas, gerando produtos altamente polimerizados, produzindo uma pintura dura, forte e aderente à estrutura metálica, conferindo uma excelente resistência à produtos químicos e solventes. Se a tinta for curada com poliamida, se obterá um filme com melhor aderência e maior resistência à água, se for curada com poliamina, se obterá um filme com maior resistência química, principalmente a álcalis e a ácidos e no caso de ser curada com isocianato, o filme terá uma melhor aderência para alumínio e galvanizados. Entretanto deve-se lembrar que as tintas epóxi expostas aos raios solares, perdem o brilho superficial, tornando-se opacas, devido à calcinação. Servindo tanto como tinta de fundo quanto como acabamento as tintas do tipo Mastic são largamente utilizadas (tintas de alta impermeabilidade e de alta espessura), apresentando bom acabamento quando aplicadas sobre aços tratados manualmente ou mecanicamente, padrões St2 e St3, conferindo ainda uma ótima aderência.

Tintas à base de etil-silicato – Dentre as mais importantes estão as de alumínio (também conhecidas por tintas de alumínio-silicato) usadas para acabamentos resistentes a temperaturas de até 600°C e as de zinco (etil-silicato de zinco) usadas como fundo em esquemas de alto desempenho, entretanto ambas não resistentes a álcalis ou a ácidos. Estas tintas bi-componentes após aplicadas e na

presença de umidade, formam um filme contínuo e condutivo, proporcionando uma proteção similar a uma galvanização.

Tintas à base de resinas de poliuretano – Trata-se de tintas bi-componentes de alto desempenho, geralmente usadas como acabamento sobre fundos epóxi na forma de vernizes e esmaltes por apresentarem excelente resistência química e à intempérie, grande dureza, flexibilidade e ótimo brilho. Secam por evaporação do solvente e pela combinação das resinas presentes nas embalagens A (poliester ou acrílico) e B (catalisador – isocianato aromático ou alifático). Vale lembrar entretanto, que no caso da pintura de estruturas metálicas sujeitas diretamente ao intemperismo é recomendada a aplicação somente do poliuretano alifático mediante ao fato do poliuretano aromático ser sensível aos raios ultravioleta, sofrendo rápido amarelecimento e perda do brilho.

* As tintas em pó normalmente aplicadas na construção metálica são compostas por resinas a base de epoxi, poliester ou uma combinação das duas. São aplicadas através de um sistema automatizado de pintura por deposição eletrostática, onde cada partícula da tinta em pó recebe uma carga negativa ao passar pelo revólver de pintura, sendo atraídas pela peça a ser pintada, devido ao fato da mesma estar conectada ao polo positivo do gerador.

D) Proteções contra a corrosão com tintas

Proteção por barreira mecânica – Trata-se de um processo meramente físico no qual a tinta serve de anteparo para a estrutura metálica separando-a do meio ambiente corrosivo, independente de possuir pigmentos inibidores da corrosão ou

não. Todas as tintas apresentam este efeito, entretanto algumas forçam de uma maneira mais efetiva por serem mais impermeáveis e alcançarem espessuras bastantes altas, como por exemplo as tintas denominadas HB (“high-build”), que possuem rendimentos superiores a 8 demãos das tintas convencionais.

Proteção anódica – Neste caso é feito a proteção das regiões anódicas através de pigmentos anticorrosivos que juntamente com a proteção por barreira proporcionam um efeito satisfatório, podendo este mecanismo de inibição corrosiva por proteção anódica ser classificado segundo duas formas de atuação, ação oxidante e passivação. Por ação oxidante é geralmente utilizado o pigmento de zarcão por ser um agente oxidante energético e de caráter básico (ajudando a neutralizar a acidez em ambientes industriais), capaz de formar sabões de chumbo na reação com veículos ácidos, como as resinas alquídicas e os óleos, além de possuir a capacidade de transformar óxidos de ferro solúveis em óxidos insolúveis, minimizando a corrosão do aço. Por passivação, o aço após recoberto por uma camada de óxido inerte, passa a apresentar um comportamento mais nobre do que o convencional, apresentando uma inércia química muito maior do que a prevista por seus potenciais de oxidação.

Proteção catódica – Este processo se baseia no fenômeno de corrosão ocorrido entre dois metais em contato num meio eletrolítico, se constituindo numa proteção de sacrifício onde o metal mais eletronegativo se corroerá e o metal mais nobre ficará intacto. Sendo assim a estrutura metálica a ser protegida é coberta por uma tinta rica em zinco (galvanização a frio), onde o zinco por comportamento anódico se corroerá e o aço catodo permanecerá íntegro. Vale lembrar que neste processo o zinco corroído apresenta coloração branca e que o aparecimento de

ferrugem ou seja coloração avermelhada é sinal de que a proteção catódica deixou de ser efetiva. Dentre os veículos mais usados nas tintas compostas por altos teores de zinco pode-se citar os silicatos de etila, silicatos inorgânicos e as resinas epoxídicas.

Pigmentos anticorrosivos – Como citado anteriormente, atribui-se aos pigmentos a ação anticorrosiva das tintas. Dentre os mais importantes pigmentos é apresentado de forma sucinta suas atuações:

- Óxido de ferro vermelho – É usado principalmente em “primers” e fundos. Sua ação corrosiva não é expressiva, atuando mais como barreira mecânica.

- Zarcão: É um óxido de chumbo misto, largamente utilizado como “primer”, que por motivos óbvios não deve ser utilizado em pinturas de reservatórios de água potável ou de canalizações. Este pigmento produz bons “primers” a base de óleo de linhaça, devido à formação de sabões de chumbo. Sua aplicação é adequada em superfícies de difícil acesso, onde houver dificuldade de se fazer uma limpeza esmerada. O zarcão com outros veículos, produz passivação eletroquímica, provocando a oxidação do Ferro II a Ferro III, tratando-se de uma proteção anódica.

- Cromato de zinco – é um pigmento usado tanto em “wash primers” (fundo fosfatizante) quanto em outros primers convencionais. A sua ação anticorrosiva advém da formação de uma camada de óxido passivante, que ocorre não somente no meio ácido, devido o ataque à película.

- Alumínio metálico – Mesmo apresentando alto poder anticorrosivo, este é um pigmento usado como acabamento. Apresenta cor e brilho característicos dos metais, refletindo muito bem os raios solares. A tinta age como barreira mecânica, uma vez que o pigmento alumínio é constituído de lamínulas que se orientam paralelamente

ao substrato além de se recobrir superficialmente de uma camada de óxido de alumínio.

- Zinco metálico – Trata-se do pigmento utilizado nas tintas protetoras catódicas, ou tintas ricas em zinco, conferindo um efetivo recobrimento, cuja forma de proteção é denominada “galvanização a frio”. Este tipo de tinta destina-se a grandes extensões, sendo que devido a proteção catódica, protege mesmo com pequenos defeitos na pintura (quebras ou arranhões). Entretanto exige uma superfície bem limpa, pois é necessário um contato perfeito entre a tinta e a estrutura metálica.

E) Compatibilidade entre as tintas

Análises prévias devem ser feitas antes da mistura entre solventes e tintas, tintas e tintas e também entre acabamentos e camadas intermediárias ou “primers”.

No caso da compatibilidade entre o solvente/diluente e a resina da tinta, o ideal é seguir expressamente as indicações do fabricante da tinta, evitando-se problemas como a coagulação da mistura, formação de pelotas ou até mesmo a não mistura.

Já na aplicação de uma tinta sobre a camada de outra, devemos nos atentar ao solvente da nova demão evitando-se que este ataque a tinta anterior, dissolvendo-a ou intumescendo a resina desta, o que provocaria o levantamento da película de tinta, enrugamento ou destacamento das demãos e também com o uso de resinas de secagens diferentes que poderão ocasionar rachaduras se a tinta do fundo ainda não estiver totalmente curada (amolecida) e a camada de tinta de cima impedir a penetração do oxigênio do ar.

5. TRANSPORTE

5.1 CONSIDERAÇÕES ^[26, 46, 67, 69]



Figura 73 – Transporte rodoviário de estruturas metálicas.

O transporte é um fator essencial no desenvolvimento econômico da construção metálica. Traz a matéria-prima/material para a produção, movimenta-a em fabricação e entrega os produtos acabados do setor para os clientes.

5.2 MODALIDADES DE TRANSPORTE [3, 16, 26, 34, 46, 67, 69]

A estrutura metálica utiliza as principais modalidades de transporte, ou seja, ferroviário, rodoviário, marítimo, fluvial e aéreo, com predominância para os dois primeiros devido a características de custo, velocidade e confiabilidade.

O serviço de transporte, seja este próprio ou de terceiros, possui certos elementos físicos básicos que são meios, terminais e veículos. Os meios são os caminhos pelos quais o transporte é realizado, incluindo a natureza, a região e as facilidades físicas necessárias do caminho seguido. Os terminais são os locais onde é feito o carregamento, descarga e conexões. Veículos de diversos tipos são usados em todas as modalidades, servindo como unidade de transporte para deslocar a estrutura metálica pelos caminhos.

Cada um destes elementos resulta num custo que pode ser custo de capital (fixo) ou de operação (variável). Os custos fixos são os que não variam com a quantidade de estrutura metálica transportada. O custo de aquisição de um caminhão próprio pela empresa, por exemplo, é um custo fixo, não importando o quanto seja usado. Os custos variáveis entretanto, irão depender do uso do caminhão, por exemplo, os custos de operação, como combustível, manutenção e salário do motorista.

A velocidade do tipo de transporte, envolve o cronograma disponível para efetuar o processo de entrega e a distância na qual as estruturas metálicas serão movimentadas.

A confiabilidade consiste no ato de entregar a estrutura metálica no tempo declarado e acordado numa condição satisfatória.

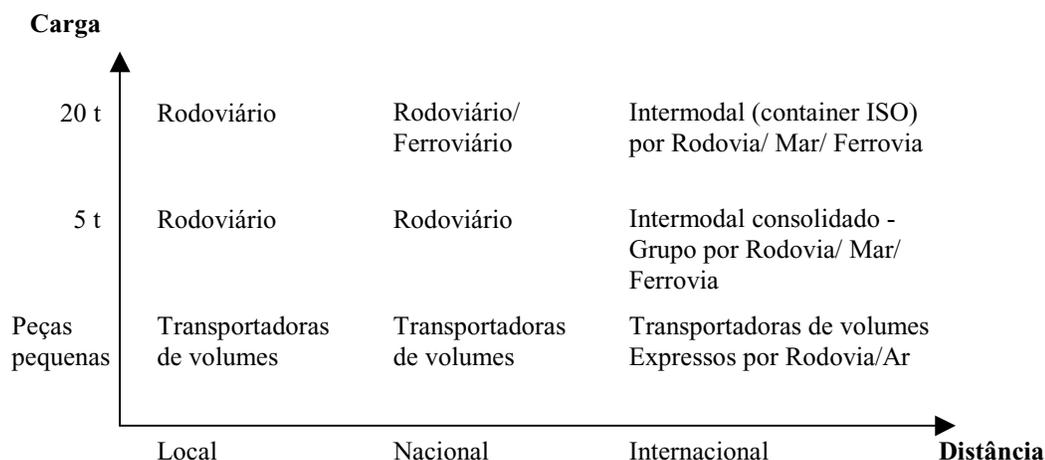


Figura 74 – Lista de verificação, escolhendo as modalidades de transporte.

O transporte ferroviário, assim como o transporte marítimo e fluvial, apesar de permitir grande capacidade de carga e oferecer fretes aparentemente mais vantajosos, apresenta caminhos limitados, uma menor frequência de partida resultando em viagens mais demoradas e um difícil planejamento e controle.

O transporte rodoviário oferece um serviço porta a porta enquanto houver condições de estrada, um menor manuseio de carga, avaria ínfima, seguro por conta do transportador, uma maior constância, regularidade e rapidez no transporte, sendo utilizado com maior frequência.

O transporte aéreo oferece rapidez, regularidade e avaria ínfima, entretanto possui capacidade de carga limitada e frete elevado, sendo utilizado apenas em condições especiais.

5.3 ARRUMAÇÃO PARA O TRANSPORTE [3, 16, 26, 34, 46, 67, 69]

Como regra geral, é sempre mais viável se transportar as peças o mais pré-montado possível, procurando-se evitar trabalhos e perda de tempo no local de montagem.

As estruturas metálicas devem ser posicionadas sobre o veículo que as transportará, de forma a não sofrerem avarias durante o percurso. Sendo assim, calços de madeira são empregados como espaçadores entre as peças e como suporte para uma distribuição uniforme do peso sobre a superfície do veículo. As mesmas devem ser devidamente amarradas e travadas, utilizando-se para tal, proteções nas quinas a fim de se evitar o rompimento dos cabos de amarração e possíveis danos às estruturas.

5.4 GABARITOS ^[3, 16, 26, 34, 46, 67, 69]

A seguir são apresentados os gabaritos para as principais modalidades de transporte em função de suas limitações.

A) Gabaritos rodoviários: Para este transporte são consideradas normais as seguintes dimensões:

- Largura máxima (l) 2,60 m
- Altura máxima (h) 4,40 m (a partir do solo)
- Comprimento da carga 12,00 m + 10%
- Comprimento total: 13,20 m (veículo simples),
 18,15 m (veículo articulado),
 19,80 m (veículo com reboque).

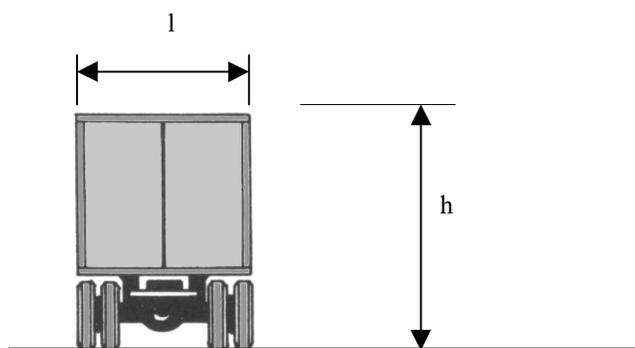


Figura 75 – Dimensões padrões no transporte rodoviário.

Quanto ao peso da carga transportada, as limitações irão depender do tipo do veículo rodoviário conforme a figura x abaixo:

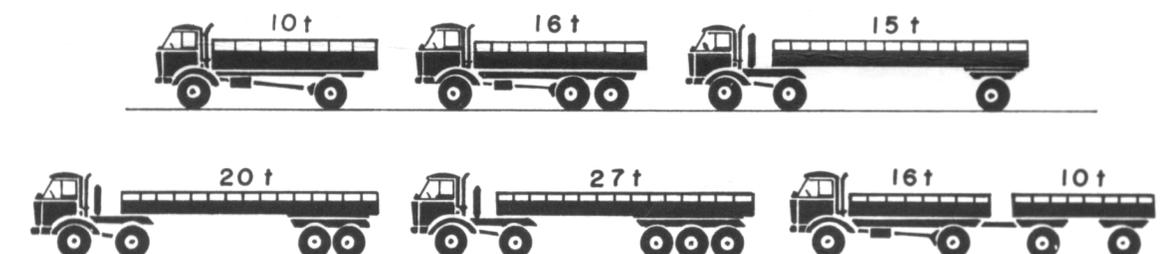


Figura 76 – Tipos de veículos rodoviários e suas capacidades de carga.

Sempre quando as cargas e ou dimensões excederem as limitações acima indicadas, os transportes serão considerados especiais e irão depender de instruções e prévia autorização do DNER.

B) Gabaritos ferroviários: Para o planejamento deste transporte, apesar de serem apresentadas as limitações conforme a tabela a seguir, deve-se sempre fazer uma consulta prévia ao responsável pelo trecho, uma vez que pontes, túneis e raios de curva podem circunstancialmente alterar as condições pré-estabelecidas.

Tabela 12 – Dimensões limites para o transporte ferroviário.

Bitola	Largura	Altura da carga	Comprimento da carga	Peso máximo
Larga – 1,60 m	2,5 a 2,8 m	2,85 m	16 a 19 m	75 t
Estreita – 1,00 m	2,30 m	2,45 m	16 a 19 m	60 t

C) Gabaritos marítimos e fluviais: No caso destes transportes, deve-se sempre consultar e obter o máximo de informações sobre o porto de origem e o de destino, abordando a capacidade de carga e descarga dos mesmos, a capacidade e volume de carga dos navios e suas frequências de partida na rota desejada.

D) Gabaritos aéreos: Esta modalidade é raramente usada no transporte de estruturas metálicas devido as suas limitações conforme citado anteriormente. Entretanto, em situações esporádicas, deve-se previamente consultar empresas aéreas prestadoras deste tipo de serviço que irão repassar as informações necessárias e particulares de cada caso.

6. MONTAGEM



Figura 77– Canteiro de obra executado pela CODEME ENGENHARIA S/A.

6.1 CONSIDERAÇÕES [26, 46, 67, 69]

Conforme já citado, a construção metálica engloba uma série de atividades antes da entrega final da obra para seu devido fim. Dentre estas, a montagem da estrutura metálica, que emprega um alto índice de racionalização e mecanização, sendo executada por mão de obra qualificada e com larga utilização de equipamentos e ferramentas (guindastes, gruas, robôs, parafusadeiras, máquinas de soldas, esticadores, cabos, etc.), sobre um rigoroso controle de qualidade, afim de garantir uma montagem rápida, segura e precisa, independente da complexidade e da dimensão da obra

A empresa montadora, que geralmente é do próprio fabricante, a partir do planejamento global, avalia as necessidades para a obra e começa de acordo com o programado a prover o canteiro com mão de obra própria e ou subcontratada, instalações, equipamentos e ferramentas, de tal modo a atender ao prazo e a qualidade prevista no contrato.

Devido às condições particulares de cada obra, como acessibilidade e topografia local, disponibilidade de canteiro, tipo de estrutura, entre outras, a montagem estará sujeita a desafios específicos e próprios de cada empreendimento. Sendo assim, é elaborado um plano de montagem que contempla desenhos e diagramas de montagem, desenhos e constituintes dos subconjuntos da estrutura (treliças), programação de embarque, lista de expedição (define composição de cada subconjunto e modo a ser enviado para obra), cronograma e prazo final, no intuito de orientar todo o processo relacionado aos aspectos específicos de montagem, tipo de estrutura e concepções de fabricação. De extrema importância, é a integração entre as áreas de projeto, fabricação e montagem, onde deverão ser discutidas as soluções de projetos e as características das peças fabricadas, de tal sorte a se evitar na montagem a não disponibilidade de equipamentos, custo excessivo, incompatibilidade da seqüência construtiva, alteração no esquema estático e falta de segurança do trabalho.

Como as condições de trabalho na fábrica são geralmente mais favoráveis, é recomendado na maioria das vezes que a estrutura seja enviada pré-montada ao canteiro de obras, observando para isto, o tipo da estrutura e as dimensões dos componentes a serem transportados e as próprias características da obra, como acesso e equipamento para montagem (alcance e capacidade). Como consequência a empresa montadora executa uma obra mais rápida e de melhor qualidade.

Um fator que resulta em uma maior competitividade e que demonstra um maior controle do processo, é a não estocagem de subconjuntos no canteiro, ou seja, a fábrica atende rigorosamente ao planejamento da obra (just in time), oferecendo uma programação de entrega compatível com as peças da vez. Parafusos e conectores por serem comprados em grandes quantidades, necessitam de um cuidado especial, devendo ser acondicionados em caixas de madeira, evitando com isto interrupções do serviço por perda e falta dos mesmos no final da montagem.

Outro aspecto importante de se comentar, é que as ligações parafusadas oferecem melhor segurança, facilidade e qualidade de montagem em detrimento das ligações soldadas. Entretanto o tipo de ligação a ser escolhida em projeto irá depender quase que na sua totalidade da concepção do layout fabril, onde também se observa uma tendência dos fabricantes em optar por ligações parafusadas em função de uma maior padronização e automação do chão de fábrica com o uso de máquinas de comando numérico.

Vale lembrar que o sucesso do empreendimento está intimamente ligado às atividades de montagem, sendo tão importantes quanto as de projeto e de fabricação, assim como as outras atividades que completam a cadeia.

6.2 PLANEJAMENTO [3, 16, 23, 26, 40, 46, 67, 69]

6.2.1 FATORES CONDICIONANTES

Diversos fatores podem influenciar no planejamento definitivo para a montagem das estruturas metálicas, sendo condicionante para a realização deste um prévio levantamento das condições locais da obra, análise das técnicas de montagem, elaboração de um plano inicial de montagem, dimensionamento das equipes, averiguação e análise das ferramentas, equipamentos e dispositivos, limitações de transporte e estocagem, e planejamento do canteiro.

O levantamento das condições locais da obra irá permitir o conhecimento de particularidades como a disponibilidade de água, luz, esgoto e serviços de telefonia, topografia e área disponível para instalação do canteiro, acessibilidade de veículos rodoviários, facilidade de serviços de hospedagem, transporte, alimentação e atendimento hospitalar, interferências nas áreas vizinhas, dentre outras.

A técnica de montagem a ser empregada, poderá utilizar-se de uma ou mais frentes de trabalho e empregar simultaneamente vários equipamentos de movimentação de carga, em função das características de cada obra. Deverá ser considerada a maneira de se movimentar e de se estabilizar temporariamente as estruturas metálicas, sendo fator condicionante para tal tarefa a dimensão das mesmas. No caso de obras em locais onde não se possa interromper os serviços, como é o caso de reformas, reforços ou ampliações de edifícios industriais e comerciais, as soluções serão mais complexas, exigindo uma técnica mais apurada e especificações mais rigorosas.

O plano inicial de montagem, levando em consideração o cronograma, prazo final de montagem, prioridades do cliente e a experiência adquirida em montagens anteriores, fornecerá dados importantíssimos para a coerência entre fabricação e montagem e para a realização da obra. Será elaborado nesta fase o dimensionamento e a análise das equipes de trabalho e dos equipamentos de movimentação de carga, ferramentas e dispositivos, em função dos índices de produtividade apropriados em outras montagens.

O dimensionamento preciso da equipe de trabalho evitará problemas de mobilização de pessoal, principalmente em locais com escassez de mão de obra qualificada onde será necessário um maior tempo para o recrutamento, seleção e treinamento. Deverão estar previstos as equipes de montagem e de apoio, cuja composição irá depender de fatores como tipo, local e porte da montagem. Em obras de maior porte, geralmente estarão envolvidos o engenheiro de montagem, estagiários, técnicos de segurança, supervisores, encarregados, almoxarifes, programadores, controladores, apontadores, montadores e operadores de equipamentos.

Após conhecidas as condições de trabalho e a produtividade necessária, é realizada a análise e especificação dos equipamentos, ferramentas e dispositivos. Nesta fase é verificada a disponibilidade e um estudo de custo x benefício para a compra ou locação dos mesmos. Dentre estes pode-se citar:

- Veículos: carreta, caminhão;
- Equipamentos para movimentação de carga: grua, guindaste, guincho, talha, carretilha ou sarrilho, empilhadeira, elevador, “derrick”, polia, mastro, carro de mão, girica;

- Equipamentos de uso geral: máquina de solda, maçarico, estufa para eletrodo, reservatório de oxigênio e acetileno, reservatório de combustível, compressor, marteleto pneumático, teodolito, macaco, megafone, rádios;
- Equipamentos de segurança: capacete, bota, óculos, cinto de segurança, avental, máscara de solda, extintor;
- Ferramentas: aparafusadeira, chave de boca, torquímetro, furadeira, broca, esmirilhadeira, serra, serrote, alicate de solda, pé-de-cabra, escova de aço, lima, tesoura, talhadeira, martelo, lanterna, nível, prumo, chave de fenda, chave “philips”;
- Dispositivos em geral: cabo de aço, estaio, gancho, ancoragem, argola, anel, braçadeira, laço, manilha, sapatilha protetora, grampo, soquete, esticador, dispositivo para içamento de vigas ou colunas(balancim ou outro), porta eletrodos, porta parafusos, porta ferramentas, andaime, plataforma de trabalho, escoramento e cimbramento, corda, escada, lubrificante, tubos em geral, mangueira, lona, cabos elétricos, gabarito para marcação de peças, tinta, etc.

As limitações de transporte devem ser tratadas em dois estágios: até a obra e dentro do canteiro. No transporte dos componentes e subconjuntos da estrutura metálica entre a fábrica e a obra, algumas considerações já foram feitas no capítulo anterior, como a preferência pelo transporte em subconjuntos pré-montados e as limitações das principais modalidades de transporte. Existe também o transporte da equipe de trabalho, que devido à inexistência de meio público de transporte em alguns casos, pode exigir transporte próprio por parte da empresa montadora. Deve ser sempre observado se o que irá ser transportado está de acordo com o veículo disponível e sua capacidade de carga. Já o planejamento do transporte interno no

canteiro, exige uma análise mais rigorosa, devido a fatores como a mobilidade e facilidade de montagem e desmontagem dos equipamentos, alcance e capacidade dos mesmos e principalmente quando houver necessidade de uma estocagem intermediária. É claro que gruas estacionárias não são tão deslocáveis quanto os guindastes sobre rodas, entretanto os casos que necessitam de um maior transporte na posição vertical de componentes como colunas, por exemplo, exigem na maioria das vezes o uso destas, demonstrando a variabilidade de soluções encontradas numa obra.

A estrutura metálica e os consumíveis (arames, eletrodos, parafusos, porcas, stud bolts, tintas, etc...) a serem entregues na obra deverão atender aos parâmetros de qualidade requeridos e seguir as prioridades pré-estabelecidas pelo planejamento do setor de montagem em comum acordo com a fábrica e o cliente. As limitações de estocagem, que estão intimamente ligadas às de transporte, também irão exigir uma programação e controle, tanto da solicitação e do recebimento dos componentes, assim como da estocagem propriamente dita, afim de se obter uma melhor organização e distribuição no canteiro.

Após desenvolvido o plano inicial de montagem e estabelecido as técnicas de montagem, as equipes de trabalho, os equipamentos e o esquema de transporte e estocagem, deverá ser elaborado um planejamento físico e administrativo do canteiro. Já analisadas as condições locais da obra, será então instalada uma infraestrutura de acordo com as necessidades contemplando edificações (escritórios de engenharia, administração, programação e controle, almoxarifado, enfermaria, refeitório, alojamento, sanitários, oficinas), utilidades (energia , água, esgoto, telefonia, ar comprimido), portarias, cercas, estacionamento e pátio de estocagem.

Um organograma da equipe de montagem irá definir bem as funções e lideranças no canteiro contribuindo para os propósitos da organização.

6.2.2 CUSTOS

Baseando-se nos fatores condicionantes já mencionados, é possível se prever com maior confiabilidade o custo geral da montagem.

Devido à rapidez com que é montada uma estrutura metálica, geralmente se opta por instalações móveis de canteiro no intuito de se diluir o custo, entretanto, em alguns casos são utilizadas instalações fixas que são orçadas após a visita ao local da obra e elaboração do planejamento físico do canteiro, podendo este custo ser rateado entre outras empresas envolvidas no empreendimento.

Os custos com mão de obra direta e de apoio são calculados de acordo com os salários praticados no local, logo após conhecido o prazo de montagem e realizado o dimensionamento das equipes. Devem ser previstos adicionais tais como, deslocamento de pessoal já contratado, diárias, horas extras e prêmios.

No caso de equipamentos, ferramentas e dispositivos devem ser considerados primeiramente os custos dos equipamentos de movimentação de cargas tais como, guas e ou guindastes, por serem mais caros e necessitarem de maior manutenção e reparos. O planejamento de montagem deverá considerar o menor intervalo de tempo para utilização destes equipamentos pesados, no intuito de minimizar os custos que poderão ser com a locação e ou com o capital imobilizado. Também devem ser computados os custos com transporte e o prazo de montagem dos equipamentos, períodos e diárias mínimas para locação e equipamentos de pequeno porte.

Nas despesas com transporte devem ser considerados os custos dos veículos, dos motoristas e ajudantes e de manutenção e reposição. Estes custos devem

envolver o transporte da estrutura metálica e seus complementos assim como os das equipes de mão de obra e dos equipamentos.

Devem também ser considerados os consumíveis não citados anteriormente e que não tenham seus custos considerados em algum item específico.

Conforme já citado, o custo geral é previamente obtido através da somatória dos custos dos fatores condicionantes, tais como, canteiro, equipe, equipamentos, transporte e material de consumo, sendo no preço final da montagem computado despesas indiretas do escritório central, percentual de cobertura de riscos, impostos e por fim o percentual esperado de bonificação. Geralmente o preço final é dividido pelo peso total da estrutura a ser montada, chegando-se a um preço unitário de montagem por quilo de estrutura, oferecendo maior flexibilidade de negociação no caso de pequenas alterações contratuais ou de projeto. Em se tratando de projetos definitivos e bem detalhados é possível se apresentar um contrato de preço global, entretanto com uma taxa de risco maior para cobertura de eventuais.

6.3 EQUIPAMENTOS, FERRAMENTAS E DISPOSITIVOS [3, 16, 23, 26, 40, 46, 67, 69]

Para execução da montagem das estruturas metálicas, são indispensáveis os equipamentos para a movimentação de materiais, principalmente os de deslocamento vertical, além de ferramentas e dispositivos cabíveis a cada tarefa.

6.3.1 EQUIPAMENTOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

A montagem da estrutura metálica é um processo racionalizado que visa o aproveitamento dos materiais, recursos humanos e da própria organização no intuito de sempre oferecer ao cliente soluções de melhor qualidade dentro do prazo estipulado, tornando-se obrigatória uma pré-análise do emprego dos equipamentos em função da movimentação dos materiais. Nesta análise devem ser estudadas a redução dos deslocamentos parciais e globais que sofrem os materiais, elaborando-se um projeto racional para o canteiro e uma programação sincronizada entre fabricação, transporte e montagem, assim como procurar aprimorar os procedimentos para definição, dimensionamento e operação do meio de transporte utilizado.

Através do peso da estrutura metálica a ser montada por unidade de tempo multiplicado por um coeficiente de aproveitamento, é possível se dimensionar os meios de transporte, por exemplo em toneladas montadas por dia, entretanto, a produtividade de um certo equipamento não irá depender somente dele, mas de outros fatores também, como o deslocamento entre os locais de descarga, armazenamento, pré-montagem e montagem final.

O tipo de deslocamento necessário irá influenciar decisivamente na escolha do equipamento de transporte, que poderá oferecer movimento em qualquer direção ou em apenas uma.

6.3.1.1 EQUIPAMENTOS COM MOVIMENTO HORIZONTAL

O carro de mão (apoio sobre uma roda) e a girica (apoio sobre duas rodas) apesar de tradicionais, aumentam significativamente a eficiência do transporte manual além de serem simples de operar e de baixo custo, sendo empregados para a movimentação de cargas de menor volume, como caixas de parafusos, stud bolts, eletrodos, etc. Um equipamento mais moderno e com a mesma aplicação, é um trator motorizado conhecido por “dumper”, que possui uma caçamba na dianteira, sendo controlado por um operador que também se desloca por ele.



Figura 78 – Dumper, trator motorizado.

Os caminhões são bastante utilizados e no caso de estarem dotados de guindaste hidráulico conhecido por “munck”, estarão capacitados para alguns serviços de movimentação em mais de uma direção. As carretas por permitirem a liberação do cavalo-mecânico oferecem uma maior flexibilidade.



Figura 79 - Munck, caminhão dotado de guindaste hidráulico.

6.3.1.2 EQUIPAMENTOS COM MOVIMENTO VERTICAL

Pode-se notar que os equipamentos de movimentação horizontal são bastante limitados quanto aos serviços exclusivos de montagem, sendo os de movimentação vertical de maior relevância, principalmente no caso de construções industriais altas ou de edifícios de andares múltiplos conforme citado abaixo.

A polia ou roldana é um dos equipamentos mais comuns, sendo constituído por um disco móvel em torno do seu próprio eixo, de material resistente e com um rebaixo ou “gola” que permite a passagem de um cabo flexível ou de uma corda. No caso do seu eixo ser fixo, haverá condição apenas de se mudar a direção da força

aplicada, mas se for apoiado sobre o cabo ou a corda, caracterizando uma polia móvel, passará a ter simultaneamente liberdade de rotação em torno do seu eixo e de translação vertical em conjunto com a carga sustentada, elevando inclusive sua capacidade de carga devido ao efeito multiplicador de força aplicada. Um trabalho mais prático poderá ser realizado utilizando-se uma roldana móvel dupla.

A talha é constituída de dois cadernais (combinação num mesmo eixo de um conjunto de duas ou mais polias semelhantes) iguais e simetricamente montados, sendo um fixo e outro móvel ao qual se prende a carga, pelos quais passa um único cabo ou corda, sendo o efeito multiplicador da força caracterizado pelo número de polias.

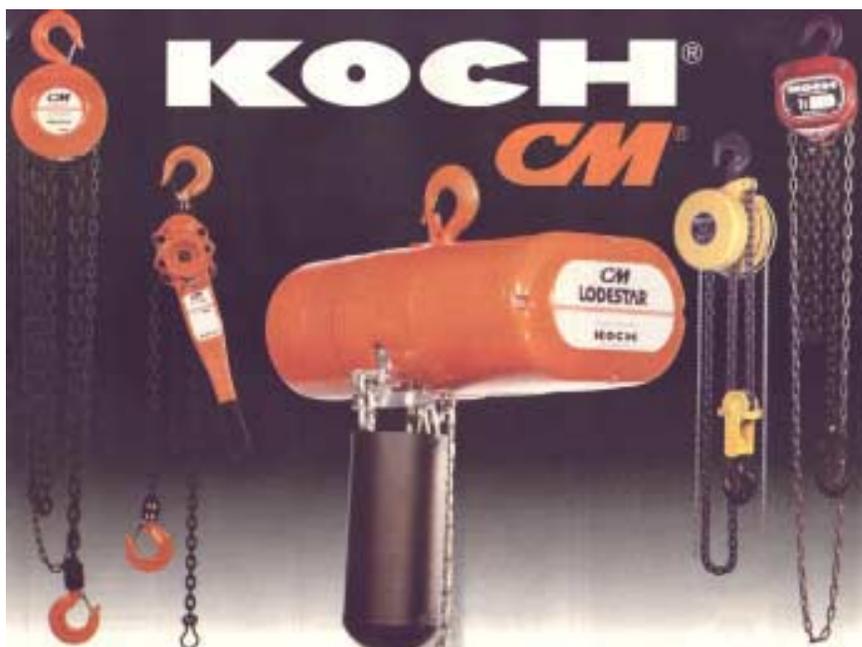


Figura 80 – Exemplos de talhas manuais e elétricas.

O sarrilho é constituído de um braço de maior raio engastado num tambor que gira em torno de um eixo fixo. O cabo ou a corda é fixado ao tambor, se enrolando

sobre o mesmo à medida que o braço é girado, içando a carga verticalmente. O efeito multiplicador de força é caracterizado pela relação entre o raio do braço e o do tambor.

O guincho manual se constitui por combinações mais eficientes do princípio do sarrilho, adaptando-se engrenagens e dispositivo de freio ou catraca ao equipamento.

O guincho de coluna através do mesmo princípio e com a utilização de um motor, possui uma polia na extremidade de uma viga em balanço engastada em si, permitindo através de um cabo ou corda o içamento vertical da carga, que se mantém um pouco afastada da fachada da construção.

O elevador de obra é largamente utilizado no transporte de pessoas ou de cargas na construção de edifícios de andares múltiplos, sendo constituído de uma torre formada por componentes metálicos pré-fabricados, de uma cabine fechada para a movimentação de pessoas ou aberta para cargas e de um guincho motorizado localizado na parte inferior, podendo ser automático, de fricção ou de embreagem, sendo este último mais utilizado.

O mastro é um equipamento bastante comum em serviços de montagem, constituído por uma estrutura treliçada de seção geralmente quadrada, formada por módulos de 6 e 8 metros de comprimento, que se apoia sobre uma sapata rotulada, sendo mantido na vertical ou pouco inclinado através de um conjunto de no mínimo quatro estaios ou cabos. Tais estaios são prendidos num disco que se localiza na parte superior do mastro e ao serem protendidos e regulados, permitem com que a extremidade superior do mastro atinja qualquer localização dentro de um círculo com centro na sapata de apoio. Na sua extremidade é fixado uma talha que permite o

içamento vertical das cargas, permitindo de maneira limitada que o mastro nesta concepção possua até uma certa capacidade de movimentação espacial. A união de dois mastros através de uma travessa horizontal poderá permitir o içamento de cargas de maior volume e peso.

6.3.1.3 EQUIPAMENTOS COM MOVIMENTAÇÃO EM QUALQUER DIREÇÃO

Apesar da maior complexidade para operação e do custo mais elevado, os equipamentos com movimentação em qualquer direção, são mais dinâmicos e oferecem melhor desempenho nos trabalhos de montagem. Através de parâmetros como a produtividade necessária e de particularidades de cada obra (acessibilidade, área de operação disponível, distâncias a serem vencidas, dimensão e peso das peças, etc...) é feita uma análise e escolha dos equipamentos adequados.

O “derrick” estaiado é um equipamento composto por duas estruturas treliçadas semelhantes à do mastro, sendo utilizado com mais frequência na construção de edifícios de andares múltiplos, onde o mesmo é apoiado na própria estrutura destes, sendo deslocado para cima a medida que a montagem avança. Uma das estruturas treliçadas que é rotulada na sua base, fica posicionada na posição vertical sendo mantida nesta por um conjunto de estaios, enquanto que a segunda é ligada a esta por suas duas extremidades, sendo na parte inferior por intermédio de uma articulação e na parte superior através de uma talha. A movimentação manual ou por sistema motriz desta talha, irá permitir que a segunda estrutura funcione como uma lança ou braço de guindaste por intermédio da articulação possível junto à base da primeira. O equipamento se completa com a instalação de uma outra talha dotada

de gancho, que permitirá o içamento vertical da carga através de acionamento manual ou pelo mesmo sistema motriz utilizado também para girar todo o conjunto em torno do mastro (eixo da estrutura treliçada vertical), conferindo ao equipamento capacidade para movimentação em qualquer direção. De acordo com o esquema empregado, poderá se construir “derricks” com altura variando entre 50 a 100 metros, devendo se ter cuidados especiais na execução de seu projeto e na sua operação, já que o braço (segunda estrutura treliçada) ao rodar, poderá ocasionalmente atingir os estaios, comprometendo toda a estabilidade do equipamento. É recomendável que o braço tenha menor comprimento do que o mastro (usualmente 3 metros), devendo o giro se dar com o braço o mais vertical possível. Pode-se ter também o “derrick” contraventado que ao invés de utilizar estaios, é constituído por peças que contraventam o mastro, mantendo-o na posição vertical, eliminando as interferências. O “derrick” contraventado apesar de possuir concepção mais pesada, pode possuir braços mais longos e conseqüentemente maior alcance, entretanto o seu raio de ação fica limitado a 270° devido ao posicionamento dos contraventamentos que devem fazer entre si ângulo de 90° em planta.



Figura 81 – Derrick estaiado.

O guindaste móvel é um equipamento versátil e bastante utilizado em montagens de edifícios de baixa e média altura, sendo constituído por uma unidade propulsora , uma cabine de comando e de um braço ou lança, podendo seu motor ser elétrico, a gasolina ou diesel. Basicamente os movimentos do guindaste são a translação na horizontal do equipamento, rotação da cabine e lança em torno do eixo vertical, rotação da lança em torno do eixo horizontal e içamento vertical da talha e do gancho presente na ponta da lança. De acordo com o tipo de unidade propulsora e de lança o guindaste irá apresentar certas características e particularidades conforme citado abaixo:

Guindaste sobre caminhão – Apresenta facilidade de locomoção em vias de acesso podendo atingir velocidade em torno de 80 km/h. Possui motores independentes para o guindaste e para a carreta. Sua cabine é excêntrica em relação aos eixos para facilitar o transporte rodoviário e apresenta grande visibilidade. É dotado de quatro apoios laterais para estabilizar o equipamento quando em operação.



Figura 82 – Guindaste sobre caminhão.

Guindaste sobre pneus – É posicionado sobre plataforma com dois eixos e quatro apoios telescópios, formando conjunto estável e compacto, sendo capaz de movimentar grandes cargas com maior facilidade e rapidez. Possui um único motor para o deslocamento horizontal e o acionamento da cabine e da lança.

Guindaste sobre esteira – Concebido para operar em terrenos acidentados ou em condições climáticas desfavoráveis, sendo seu transporte em vias de acesso realizado somente sobre veículos como carretas. Possui um único motor e boa estabilidade devido ao baixo centro de gravidade do conjunto. Em movimento apresenta para uma mesma potência e um mesmo comprimento de lança, maior capacidade portante (de 20 a 40%) do que o guindaste sobre carreta e sobre pneus, sendo entretanto muito inferior (de 50 a 80%) quando parado e apoiado sobre os apoios telescópios.



Figura 83 – Guindaste sobre esteira.

Lança treliçada – É composta por módulos desmontáveis, semelhantes aos dos mastros e “derricks”, com características de leveza, elevado alcance (distância até 100 metros) e capacidade de carga (até 100 toneladas). É acionada através do uso de cabos de aço e pode ser dotada de uma pequena lança adicional conhecida como “jib”.

Lança telescópica – É composta de dois a cinco módulos retráteis, de seção retangular telescópica confeccionada em aço de alta resistência, acionados por pistões hidráulicos, dispensando a desmontagem para o transporte. Apresenta peso elevado, médio alcance (distância de até 70 metros) e média capacidade de carga (de 30 a 70 toneladas), podendo ser dotada de “jib”.

Os valores de capacidade acima citados, referem-se a condições de lança retraída e o mais vertical possível, carga no eixo longitudinal do conjunto e estabilizadores telescópicos apoiados, sendo esta capacidade de carga reduzida proporcionalmente quando o conjunto for exposto a condições adversas. A utilização do “jib” disponibiliza maior alcance vertical e facilidade de montagem em construções um pouco mais elevadas. É importante ressaltar a importância de se avaliar a resistência do solo na qual as sapatas dos estabilizadores irão se apoiar e sobretudo certificar se o posicionamento do guindaste está garantindo a melhor distribuição das cargas nos quatro apoios ou no caso de guindaste sobre esteira se o conjunto cabine-lança está trabalhando paralelo ao eixo do conjunto de esteiras. Como regra geral, a tabela 13 apresenta os seguintes valores base para a capacidade de carga e o alcance dos guindastes.

Tabela 13- Capacidade e comprimento de lança dos guindastes móveis.

Equipamento		Capacidade (toneladas)	Comprimento da lança (metros)	
Propulsão	Lança		Simple	Com “jib”
Carreta	Treliçada	15 a 250	15 a 100	+9 a +30
Pneus	Telescópica	2 a 70	5 a 70	-
Esteira	Treliçada	7 a 300	12 a 90	+5 a +24

Atenção especial deve ser dada aos trabalhos realizados com lanças de maior dimensão, onde a movimentação de carga deve ser efetuada de forma suave afim de se evitar que a carga balance e também deve ser considerada a ação do vento. Uma alternativa para se elevar a capacidade do guindaste é utilizar o princípio do “derrick” estaiado, ou seja, estaiando sua lança. Apesar do guindaste perder parte de sua mobilidade, o mesmo terá um ganho, por exemplo, de 40 t – 107 m para 60 t – 119 m, com mastro de 82 m, caso os estaios sejam utilizados.

A grua é um equipamento constituído de uma lança suportada por uma estrutura vertical denominada torre, por uma base, um contrapeso e por um gancho ligado a uma talha, fixados à extremidade da lança ou a um carro móvel que se movimenta ao longo desta, caso a mesma seja horizontal, além de eventual cabine de comando, sendo utilizada nas montagens de edifícios de andares múltiplos. A concepção estrutural tanto da lança quanto da torre é idealizada com o uso de estrutura metálica treliçada espacial, de seção retangular ou triangular. De acordo com a característica da torre e da lança, pode-se ter uma série de opções, tais como torre giratória com lança horizontal, torre giratória com lança móvel, torre estática com lança horizontal, torre estática com lança móvel e torre estática com lança

articulada. Segundo a condição de apoio da torre, esta poderá ser fixa ou estacionária, móvel sobre trilhos ou veículos ou ascensional. É importante ressaltar que o modo de obtenção de equilíbrio da lança poderá ser obtido com ou sem contralança. Desta maneira, o movimento em várias direções é obtido através da combinação da translação horizontal da grua e da translação horizontal do carro da lança (no caso de ambas serem móveis), rotação sobre o eixo vertical do conjunto torre-lança ou só da lança (no caso da torre ser estática) e do içamento vertical do gancho do carro. Além destes movimentos outros de operação mais complexa podem ser executados, tais como, rotação da lança sobre o eixo horizontal, içamento ou prolongamento da torre por meio de novos módulos de sua estrutura, ascensão da torre, apoiando-a na estrutura montada da vez. Em geral, as torres giratórias são empregadas em gruas de menor dimensão, com altura do gancho variando de 10 a 18 metros, comprimento de lança entre 15 a 25 metros e capacidade de carga na ponta da lança na ordem de 500 a 1000 toneladas. Por não utilizarem contralança, o equilíbrio do conjunto é assegurado por um contrapeso instalado na sua base. As gruas com torre estática dependem da sua fixação na estrutura ou do seu estaiamento para atingir a altura desejada. Já as gruas ascensionais, permitem a sua instalação no interior do edifício, em partes mais rígidas da estrutura, tais como caixa de elevadores, aumentando a capacidade de alcance horizontal da lança., sendo sua ascensão realizada por intermédio de dispositivos próprios dotados de talhas e cabos de aço, acionados pelo próprio motor da grua. Os parâmetros que devem ser analisados numa grua, são basicamente, capacidade, alcance, velocidade de içamento do gancho (em torno 60m/min), velocidade de translação do carro (em torno de 45

m/min), velocidade de giro da torre (em torno de 1 rpm), velocidade de translação do conjunto (da ordem de 30 m/min) e potência do conjunto (entre 20 a 200 kw).



Figura 84 – Grua em destaque no canteiro de obra.

6.3.2 OUTROS EQUIPAMENTOS DE USO GERAL

Os trabalhos de montagem, além dos já mencionados equipamentos de movimentação, utilizam de outros equipamentos universais, como por exemplo, martelotes, compressores, maçaricos, reservatórios de gases e combustíveis, máquinas de solda, estufas para eletrodos, macacos e teodolitos. Utilizam também de equipamentos de proteção individual conforme citado em outros capítulos, tais como, capacetes, óculos, protetor auricular, máscaras, aventais, cintos, botas, dentre outros mais.

6.3.3 FERRAMENTAS

Conforme citado, são inúmeras as ferramentas empregadas na construção metálica, sendo umas de utilização geral na obra e outras de emprego mais restrito aos trabalhos de montagem. Como exemplo de ferramentas de utilização geral, pode-se citar as esmirilhadeiras, escovas de aço, limas, serras, serrotes, furadeiras e brocas, alicates de solda, tesouras, talhadeiras, ponteiros, martelos, pés-de-cabra, alicates, chaves de fenda ou “philips”, chaves de boca, etc. De utilização mais restrita à montagem são as chaves de boca com torquímetro para controle de aperto dos parafusos, chaves de boca elétricas ou pneumáticas e os níveis de prumo e as espigas, utilizadas para o ajuste e a fixação provisória de componentes, antes da colocação dos parafusos definitivos.

6.3.4 DISPOSITIVOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS

De grande utilização para movimentação de cargas são os cabos e as cordoalhas de aço e os seus acessórios complementares, tais como “clips” (grampos), esticadores, sapatilhas protetoras, “slings” (laços), etc. A nomenclatura usualmente empregada para a designação dos cabos é apresentada na figura 85. São utilizadas também para a movimentação e em maior escala para se guiar os componentes içados, cordas de fibras sintéticas, como as de “nylon”, ou de fibras naturais.

Serviços de montagem requerem em suas atividades o uso de diversos tipos de ganchos, anéis, manilhas com pino de segurança e polias.

De fundamental importância são os dispositivos de auxílio para a movimentação dos componentes estruturais, que além de praticidade e segurança, visam oferecer o não surgimento de esforços ou deformações maléficas à vida útil dos mesmos. Como exemplo, pode-se citar os balancins (vigas treliçadas ou maciças especialmente construídas para a movimentação de componentes estruturais de dimensão horizontal preponderante, tais como, treliças e vigas) e ganchos especiais para a fixação em mesas de vigas ou na extremidade dos pilares.

Outro meio técnico bastante utilizado para o içamento de componentes estruturais, é o emprego de cordoalhas ou cabos de aço, laços, ganchos e manilhas com pino de segurança, sendo que os cuidados com proteção e o arranjo destes dispositivos, serão em função da dimensão dos componentes movimentados.

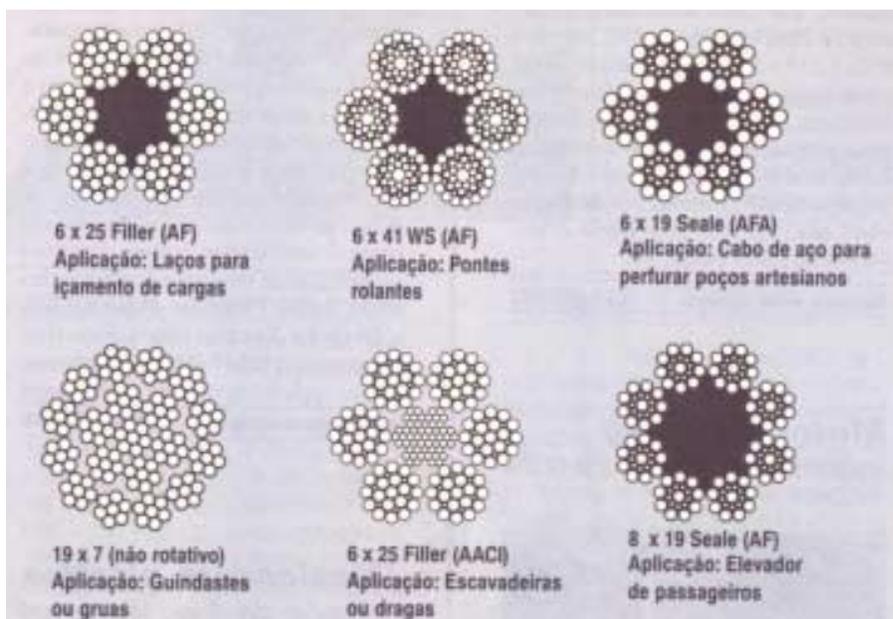


Figura 85 – Cabos de aço.

6.3.5 OUTROS DISPOSITIVOS DE USO GERAL

São inúmeros os dispositivos de uso geral disponíveis para uma construção metálica, dentre eles pode-se citar alguns como por exemplo, andaimes, escoramentos e cimbramentos, plataformas de trabalho, escadas, lonas e telas de proteção e cabos elétricos.

Dispositivos como as plataformas de trabalho são essenciais na montagem de edifícios de andares múltiplos por questões de segurança, conforto e produtividade, sendo que os decks metálicos são uma ótima solução por dispensarem custo adicional, uso de escoramentos e cimbramentos, liberando uma área segura e funcional abaixo e sobre os mesmos e servindo como forma definitiva na qual posteriormente se verterá o concreto.

6.3.6 CONTROLE E MANUTENÇÃO

O controle e a periódica manutenção dos equipamentos, ferramentas e dispositivos são condições básicas para a eficácia e eficiência da montagem.

Sendo assim, cabe à empresa montadora prover sua sede e ou seus canteiros de obra com mão de obra qualificada e instalações tais como almoxarifados que garantam a armazenagem correta e o controle de recebimentos e empréstimos, oficinas de manutenção e de pátios para guarda de automotores.

É recomendado como procedimento de pré-estocagem, a inspeção e quando necessária a manutenção dos itens recebidos, devendo os itens de maior dimensão receber a indicação do seu centro de gravidade o que virá a facilitar e aumentar a segurança quando da sua movimentação.

6.4 PROCESSOS DE MONTAGEM [3, 16, 23, 26, 40, 46, 67, 69]

Neste tópico serão feitas algumas ponderações para a escolha do processo e da seqüência básica de operações de montagem das estruturas metálicas.

6.4.1 PLANO DE MONTAGEM

Conforme já mencionado em 6.2.1 , o plano de montagem constitui um documento básico para o sucesso da obra, devendo iniciar-se pela escolha do processo de montagem e do conseqüente equipamento, levando-se principalmente em consideração as características do edifício a ser montado, as condições locais, a mão de obra e os equipamentos de maior porte disponíveis. Vale lembrar que independente do processo escolhido, em função do menor custo global, deverão ser sempre respeitados os parâmetros de qualidade e segurança, assim como observados os fatores condicionantes, sobretudo o prazo disponível.

Cada processo irá possuir características próprias, quer utilizem guindastes onde haverá uma área reduzida para descarga e estocagem devido a área necessária para sua movimentação ou guias que não irão ocupar nenhuma área adicional. O tempo para a montagem, desmontagem, transporte destes equipamentos também deverá ser analisado, inclusive o custo da operação.

A disponibilidade por parte da montadora de um determinado equipamento, na maioria dos casos é fator determinante para que o mesmo seja o escolhido, em detrimento de outros que tenham que ser alugados ou comprados, a menos que

devido a fatores condicionantes, tais como interferência com a vizinhança, altura da obra, área disponível, peso dos componentes, dentre outros, haja exceções.

A velocidade do processo, irá depender das características do projeto, do número de equipamentos utilizados e do tempo de ciclo de cada um, ou seja, o tempo que se leva para prender o componente no gancho do equipamento, içá-lo, posicioná-lo, depositá-lo, liberá-lo e retornar o gancho.

Além disso, vale a pena ressaltar que a construção metálica irá demonstrar todo o seu diferencial e potencialidade através da racionalização do projeto e da solução pré-engenheirada dos demais subsistemas do edifício, sobretudo daqueles que vierem a interferir com a estrutura metálica, tais como, as lajes, as escadas e os painéis de vedação.

6.4.2 SEQUÊNCIA BÁSICA DE OPERAÇÕES

A seqüência básica de operações numa montagem obedece a seguinte ordem:

- Preparação das bases das colunas;
- Deslocamento e deposição dos componentes;
- Estabilização do conjunto;
- Ajustes;
- Execução das ligações definitivas.

A correta preparação das ligações das colunas, sobretudo de suas bases, é de extrema importância por se tratarem da primeira referência da montagem. As bases das colunas são o elo de ligação entre a infra e a super-estrutura do edifício, seja esta composta por um único nível de colunas como na grande parte dos edifícios industriais ou por vários níveis de colunas, como nos edifícios de andares múltiplos.

Sendo assim, deve-se sempre verificar o correto posicionamento dos centros de colunas e dotar a ligação de meios que facilitem o seu nivelamento e alinhamento. Atenção especial deve ser dada aos chumbadores que deverão ser fixados e ajustados nas armaduras dos blocos de fundação, devendo a concretagem dos blocos acontecer de forma a não interferir nos seus posicionamentos pré- estabelecidos.

Após realizada a concretagem dos blocos da fundação, estando já fixados os chumbadores, passa-se a uma etapa seguinte que irá se consistir no correto nivelamento das colunas.

Em se tratando de colunas de pequeno porte, a base é preparada e nivelada com um concreto especial “grout”, sobre o qual pode-se colocar uma chapa fina de aço. Após o endurecimento é posicionada a coluna já com sua placa de base,

corrigindo se necessário eventuais desnivelamentos com outras chapas finas de aço, sendo então colocadas as porcas dos chumbadores.



Figura 86 – Base de coluna.

No caso de colunas de médio porte, as mesmas podem ser niveladas através de contraporcas colocadas nos chumbadores, antes do “grouteamento”.

Quando forem utilizadas colunas de maior porte, estas devem ter apenas suas placas de base posicionadas, sendo soldadas futuramente a elas no local . Estas placas de base geralmente vão dotadas de parafusos especificamente utilizados para o nivelamento antes do “grouteamento”, e com furos que facilitam o lançamento do “grout”, devido a área ocupada por sua superfície, o que poderia prejudicar a concretagem.



Figura 87 – Colunas posicionadas.

Após a preparação das bases e realizado o posicionamento das colunas, são posicionados os componentes de desenvolvimento horizontal, tais como vigas e treliças.



Figura 88 – Vigas posicionadas.

Cuidados especiais devem ser tomados quando do deslocamento e deposição dos componentes em geral. Um componente na medida do possível, deve ser sempre transportado de acordo com a condição de apoio para o qual foi projetado. Pode-se citar como exemplo, o caso de uma tesoura para um telhado de duas águas, onde a mesma deverá ser içada com o emprego de um balancin que permita com que ela seja segura por dois pontos próximos a sua extremidade, ao invés de ser içada pelo seu ponto central.

Cabe a engenharia verificar a capacidade de todos os componentes quanto aos esforços ou deformações que neles se desenvolvam por ocasião do transporte e da montagem, solicitando a execução de reforços quando necessário, gerando um conseqüente aumento de custos. Existem casos em que são utilizados reforços removíveis e reaproveitáveis, e pode-se citar como exemplo, a utilização de perfis U, que são aparafusados no banzo inferior das treliças de maior dimensão, e posteriormente retirados após o posicionamento destas.

Um outro problema é a perda de estabilidade de componentes, possível de acontecer por exemplo, numa viga de grande porte, sendo neste caso fixada uma estrutura auxiliar sobre a mesa comprimida da mesma e utilizados cabos de aço deformados por meio de esticadores, que passam a atuar como uma tesoura no plano horizontal. Em síntese, deformações irreversíveis, ruínas localizadas e perda de estabilidade devem a todo custo ser evitadas.

No caso de mais de um equipamento ser utilizado para deslocar um componente, como por exemplo, dois guindastes movimentando uma viga, atenção especial deverá ser dispensada a esta operação. O centro de carga deverá na medida do possível coincidir com o centro de gravidade do componente, para que cada

equipamento suporte uma parcela igual da carga, devendo ambos operar de forma sincronizada a fim de se evitar que o componente se desequilibre, balançando e pondo em risco a operação. Sendo assim, transportes horizontais com dois equipamentos devem ser evitados.

O componente após posicionado e liberado do equipamento de transporte, passará a se apoiar em outros componentes pré-posicionados. Entretanto, devido ao fato do conjunto ainda estar em montagem, estes não estarão conectados de modo definitivo, podendo ocorrer problemas de perda de estabilidade. Para se evitar tal problema, o conjunto então, deverá ser estabilizado por meios externos, utilizando-se para isto estaios auxiliares por exemplo, os quais deverão ser substituídos o mais breve possível por meios de estabilização da própria estrutura em montagem.

Pode-se citar como um exemplo simples, a montagem de uma estrutura metálica industrial composta por colunas e uma cobertura treliçada de duas águas. A seqüência então seria: posicionamento de quatro colunas, montagem da primeira treliça sobre duas colunas, estaiamento deste conjunto, montagem da segunda treliça sobre as outras duas colunas, montagem das terças interligando e estabilizando os dois conjuntos, montagem dos contraventamentos, liberação dos estaios, posicionamento de mais duas colunas, montagem da terceira treliça sobre as mesma, montagem das terças formando um novo conjunto e assim sucessivamente, sendo montados os contraventamentos quando indicados.

É importante ressaltar, que qualquer montagem se baseia primeiramente em ligações provisórias, devendo a ligação definitiva e o “grouteamento” das bases ser executado após o correto ajuste da estrutura.

Dentro desta filosofia, após o posicionamento de um certo número de componentes em função do tipo da estrutura, todo o conjunto deverá ser alinhado, nivelado e aprumado. Após o posicionamento pela equipe de montagem da estrutura de dois pavimentos, uma nova equipe inicia sua tarefa, traspassando cabos de aço de comprimento previamente cortados por dois nós do nível superior montado, grampeando em seqüência os laços formados, sendo a outra extremidade dos cabos dotada de gancho e esticador apropriado. Tais ganchos são fixados no pavimento já ajustado (o qual teve suas ligações soldadas ou aparafusadas em definitivo), de maneira tal que os cabos se cruzem como se fossem duas diagonais do conjunto. Desta maneira, por intermédio do aperto de um esticador e do afrouxamento de outro, é possível deslocar o topo das colunas para um lado ou para o outro, de acordo com a necessidade.

Assim, após checagem do correto posicionamento através de instrumentos adequados como por exemplo, um nível à laser, e observadas as tolerâncias previstas em projeto, o conjunto poderá ser soldado ou aparafusado de modo definitivo, sendo os cabos então removidos. Em determinados tipos de estruturas sujeitas a ação do vento ou mais leves, os cabos deverão ser mantidos até que a estrutura se torne mais rígida, com a concretagem das lajes de piso por exemplo.

É possível que nas operações de ajuste se constate que algum componente fabricado esteja com dimensões incorretas, sendo então necessárias ações corretivas, como a execução de novas furações no caso de ligações aparafusadas, ou a soldagem de peças complementares no caso de ligações soldadas.

O processo de montagem se encerrará com a execução das ligações definitivas, implicando no aparafusamento ou soldagem das conexões e no “grouteamento” das bases das colunas.

6.4.3 LIGAÇÕES APARAFUSADAS



Figura 89 - Instalação de parafusos.

Para o correto manuseio e armazenagem dos parafusos, os mesmos deverão ser estocados e protegidos de sujeira e umidade nos canteiros de obra. Apenas os parafusos a serem instalados e torquados num mesmo expediente de trabalho deverão ser retirados do almoxarifado, devendo os que não forem utilizados retornar ao estoque no final deste. O lubrificante de embarque dos parafusos não deverá ser removido, sendo que os parafusos com ferrugem e ou sujeira acumulada devido às condições do local da obra deverão ser limpos e relubrificadas antes da instalação.

Na montagem, todas as superfícies da junta, incluindo as superfícies próximas da cabeça do parafuso e da porca, deverão estar limpas e isentas de ferrugem, sujeiras e materiais estranhos. Rebarbas que possam vir a prejudicar o contato perfeito das chapas na condição de pré-torque deverão ser removidas . Em hipótese alguma deverá ser permitida a pintura das superfícies de contato nas ligações parafusadas por cisalhamento e atrito (Slip Critical).

A instalação final dos parafusos (ASTM A325 ou A490) deverá ser feita através de chaves de boca com torquímetro ou de chaves pneumáticas ou elétricas com controle automático de aperto.

No caso de ligações sem torqueamento, os parafusos deverão ser instalados após o alinhamento dos furos. Vale lembrar que alguns parafusos podem folgar com o aperto de outros, devendo-se sempre verificar se todos os parafusos da ligação, das partes mais rígidas para as bordas, atingiram a condição de pré-torque. A condição de pré-torque é definida como o aperto que existe quando todas as chapas da junta estão em perfeito contato e pode ser alcançada pelo esforço máximo aplicado por um montador usando uma chave normal .

Operações mais complexas serão observadas nas ligações torqueadas ou nas ligações por cisalhamento e atrito. Após colocar todos os parafusos em condição pré-torque e após executar caso necessário as soldas das ligações compostas, deverá ser aplicada com chave estendida a rotação requerida conforme a Tabela 14, das partes mais rígidas para as bordas. A rotação é da porca em relação ao parafuso devendo o mesmo ter que estar impedido de rodar durante a rotação da porca. Após ser aplicada a rotação requerida em cada parafuso, o mesmo deverá ser identificado com o auxílio de um marcador industrial.

6.4.4 LIGAÇÕES SOLDADAS



Figura 90 – Soldagem de campo.

As soldas na obra devem ser evitadas devido à deficiência do controle do processo e ao fato de poderem causar distorções por aquecimento diferencial dos

componentes. Quando extremamente necessária, a solda deverá ser feita por soldador qualificado e ser cuidadosamente inspecionada, de forma a garantir uma qualidade no mínimo igual às das soldas principais executadas na fábrica, sendo recomendado a soldagem por estágios, com intervalo de tempo entre eles, de forma a provocar a dispersão do calor.

Técnicas operacionais adequadas procuram balancear o fluxo de calor, de maneira tal que os efeitos das distorções sejam compensados entre si. Pode-se citar como exemplos, a soldagem simultânea de duas vigas que chegam às mesas opostas de uma coluna evitando que esta se curve para um dos lados ou caso não haja possibilidade da soldagem simultânea, a realização da mesma por estágios, iniciando-se com algo em torno de 60% da solda da primeira viga, soldando-se a seguir a segunda por inteiro e finalizando no restante da solda da primeira. Em edifícios de andares múltiplos com muitas colunas a serem soldadas, é recomendável que se inicie o processo de soldagem das ligações pelas colunas do centro até se atingir as colunas da periferia, devendo ser constantemente checado e refeito o prumo das mesmas, uma vez que a solda provoca deformações que tendem a aproximá-las umas das outras.

A seqüência dos passes de solda de algumas ligações devem ser previstas nos projetos, de forma a amenizar as distorções ou fazer que estas surjam no intuito de compensar os efeitos do peso próprio e sobrecargas, funcionando esta última como se fosse um pré-tensionamento, o que poderá ser favorável em estruturas não sujeitas a inversão de esforços devido aos ventos, como nos edifícios de múltiplos andares.

A produtividade relativamente baixa das soldagens de campo, devem ser melhoradas ao máximo através da correta escolha dos equipamentos de soldagem, os

quais deverão ser posicionados em local apropriado, protegido de fatores ambientais externos como chuva e umidade. Os consumíveis e os parâmetros de cada aparelho devem ser checados. Os eletrodos por exemplo, devem ser protegidos de umidade, sendo mantidos em estufas. Para facilitar o controle e aumentar o comprometimento do soldador com o resultado do seu trabalho, a solda deverá estar sempre associada ao mesmo.

6.5 GESTÃO DA QUALIDADE [3, 16, 23, 26, 40, 46, 67, 69]

A gestão da qualidade está voltada para a satisfação dos clientes internos e externos e para melhoria da eficácia empresarial, traduzida em redução de custos, aumento de produtividade e conquista de mercados.

Sendo assim a garantia da qualidade deverá prover confiança tanto ao cliente quanto à alta administração da empresa de construção metálica, de que o sistema está funcionando adequadamente e atendendo aos objetivos definidos na política de qualidade.

6.5.1 CONTROLE DA QUALIDADE

Estas atividades irão englobar inspeções, testes e ensaios efetuados para monitorar um processo ou para verificar se as características dos produtos atendem às especificações. Mediante tal descrição, nota-se que o correto controle da qualidade é de fundamental importância para a obtenção de uma estrutura metálica montada com um desempenho satisfatório.

Dentre os pontos críticos de montagem sujeitos a inspeção pode-se citar:

- Aferição das medidas dos vãos, dos alinhamentos e dos prumos, sendo sempre observado se os mesmos atendem as tolerâncias estabelecidas;
- Controle de instalação e aperto dos parafusos;
- Controle das soldas.

Na verificação da montagem devem também ser analisados, dentre outras:

- As condições das chapas de ligação e dos parafusos de alta resistência no caso de ligações por atrito (ausência de oxidações, pinturas e rebarbas);
- O estado e a calibração dos equipamentos de aperto (torquímetro e chave elétrica ou pneumática);
- O “grouteamento” das placas de base;
- As distorções provocadas pelo calor diferencial gerado pelas soldas;
- As operações de embarque, transporte, descarga, estocagem e movimentação interna no canteiro de obras, evitando-se a ocorrência de deformações por choque ou danos na superfície do componente.

Recomendações outras, podem e devem ser consultadas na NBR 8800 e no Manual do AISC, sendo abaixo citadas algumas como exemplo:

- Uso de espigas apenas para garantir o posicionamento dos componentes, não devendo as mesmas serem utilizadas para forçar a coincidência de furos, alargá-los ou distorcer o material;
- Garantir o contato perfeito das bases das colunas com as superfícies de apoio;
- Frestas em emendas de pilares (transmitindo esforços de compressão por contato) com tolerância de 1,5 mm. No caso da fresta estar entre 1,5 mm e 6 mm, a mesma poderá ser preenchida com calços de faces paralelas;
- A tolerância aceitável do posicionamento efetivo dos chumbadores em relação ao especificado no projeto é:
 - 3 mm de centro a centro de dois chumbadores quaisquer dentro de um grupo de chumbadores que recebe um componente único da estrutura;
 - 6 mm de centro a centro de grupos adjacentes de chumbadores (ver outras recomendações do item P-7.5.1 da NBR8800);

- Tolerância de prumo de pilares de 1:500 (ver item P-7.11.3.1 da NBR 8800);
- Tolerância de nível de barras ligadas a pilares de + 5 mm a – 8 mm (ver item P-7.11.3.2 da NBR 8800).

7. CONCLUSÃO

Através desta dissertação pode se perceber claramente que a chave do sucesso para qualquer projeto e principalmente de projetos pertinentes às construções metálicas, está na integração das atividades fins, no qual as soluções finais para cada um de seus itens serão encontradas somente após se conseguir na cadeia do processo, a compatibilização da solução de todos os demais, cabendo às equipes trabalharem em sinergia, viabilizando os empreendimentos através do planejamento de trabalhos econômicos, seguros, de fácil fabricação, com grandes facilidades de montagem, que se adequem aos sistemas complementares disponíveis e que ofereçam possibilidades de padronização quando repetitivos, de maneira tal que as obras ao serem executadas, representem créditos para suas profissões e conquistem a satisfação e a fidelidade dos seus clientes.

Deve-se ter em mente que a ciência só se completa quando são seguidas as indicações que ela nos dá, não sendo apenas uma questão de pensamento, mas de pensamento continuamente posto em prática e revificado.

Na sua história, pode-se ver novos aspectos nascerem da atividade prática e novos desenvolvimentos darem origem a novos ramos desta atividade. Os êxitos da engenharia e, mais ainda, as suas dificuldades, irão sempre fornecer à ciência um campo renovado de oportunidades e problemas.

O sistema de fabricação e montagem de estruturas metálicas, por não ser diferente, se fortalecerá ainda mais através de novas pesquisas, que contribuam para a integração das atividades e possibilitem o progresso contínuo dos recursos disponíveis no mercado. Como sugestão para novas pesquisas, acredita-se ser de fundamental importância a parceria com o setor produtivo na busca de soluções,

através do refinamento em separado de cada tópico aqui apresentado dando origem a relevantes dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Neste trabalho, baseando-se em fatos e dados, se procurou com humildade e sinceridade, prestigiar e valorizar a indústria da construção metálica, esperando atender aos anseios da mesma ao se apresentar uma visão geral deste negócio promissor, visando incentivar novos investimentos e a abertura de novas fábricas, contribuir para com a capacitação de novos profissionais fornecendo base de sustentação para a formação de engenheiros, arquitetos, técnicos e mão de obra especializada, promover o intercâmbio dos resultados de pesquisa com o setor produtivo e vice-versa, incentivar outras pesquisas científicas e tecnológicas e a elaboração de futuras normas.

V REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIKO, Alex Kenya. - Edifícios Habitacionais de Estruturas Metálicas no Brasil. São Paulo: EPUSP, 1995.
2. AÇO MINAS GERAIS S/A – Açominas (Grupo Siderbrás). Coletânea Técnica do Uso do Aço. Volumes I, II, III, IV, V.
3. AÇO MINAS GERAIS S/A – Açominas (Grupo Siderbrás). Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas. Volumes I, II, III, 1989.
4. AISC. - Manual of Steel Construction, ASD. USA: American Institute of Steel Construction, 1989.
5. ALMEIDA, Filomena Pinto. - Ensaaios Não Destrutivos. Portugal: Instituto de Soldadura e Qualidade, 1992.
6. ALVAREZ, Ramon Argüelles.- La Estructura Metalica Hoy: Teoria y Practica. Madrid: Libreria Tecnica Bellisco, 1975.
7. ANDRADE, Péricles Barreto de. - Curso Básico de Estruturas de Aço. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada Editora, 1994.
8. ARAÚJO, Luiz Antonio de. - Manual de Siderurgia. Produção. Volume 1. Editora Arte e Ciência, 1998.
9. ARAÚJO, Luiz Antonio de. - Manual de Siderurgia. Transformação. Volume 2. Editora Arte e Ciência, 1998.
10. ASCE. - Specification for the Design of Cold-Formed Stainless Steel Structural Members. USA: American Society of Civil Engineers, 1991.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800. Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios: Rio de Janeiro, 1986.
12. BALLIO, Giulio. - Theory and Design of Steel Structures. London: J. W. Arrowsmith Ltd., 1983.
13. BATHE, Klaus-Jürgen. - Finite Element Procedures in Engineering Analysis. USA: Prentice-Hall, Inc., 1982.
14. BEEDLE, Lynn S. et alli. - Structural Steel Design. USA: The Ronald Press Company, 1964.
15. BELENYA, E.. - Prestressed Load-Bearing Metal Structures. Moscow: Mir Publishers, 1977.
16. BELLEI, Ildony Hélio.. - Edifícios Industriais em Aço, Projeto e Cálculo. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1994.
17. BIBLIOGRAFIA TÉCNICA PARA O DESENVOLVIMENTO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. VOLUMES I, II, III, IV. Belo Horizonte: USIMINAS, 1990.
18. BLODGETT, Omer W.. - Design of Welded Structures. USA: the James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1966.
19. BORIS, Bresler; LIN, T. Y.; SCALZI, John B.. - Diseño de Estructuras de Acero. Mexico: Editorial Limusa, 1980.
20. BOWLES, Joseph E.. - Structural Steel Design. USA: McGraw-Hill, 1980.
21. BRESLER, Boris. - Diseño de Estructuras de Acero. Mexico: Editorial Limusa, 1980.

22. CARDOSO, Francisco F.. - Uso do Aço na Construção. São Paulo: EPUSP, 1988.
23. CARDOSO, Francisco Ferreira. - Montagem de Estruturas de Aço de Edifícios. EPUSP, 1989.
24. CHANDLER, K. A.; BAYLISS, D. A.. - Corrosion Protection of Steel Structures. Great Britain: Galliard Ltd., 1985.
25. CHEN, W. F.; TOMA, S.. - Advanced Analysis of Steel Frames. USA: CRC Press, Inc, 1994.
26. CODEME Engenharia S/A. - Notas de estágio. Betim, 1998.
27. DIAS, Luís Andrade de Mattos Dias. - Estruturas de Aço: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigate Editora, 1997.
28. DIAS, Luís Andrade de Mattos. - Edificações de Aço no Brasil. São Paulo: Zigate Editora, 1993.
29. DUBAS, P.; GHRI, E.. - Behaviour and Design of Steel Plated Structures. Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology Zürich, 1986.
30. ELEMENTOS DE PINTURA INDUSTRIAL. Catálogo Técnico Tintas Renner, 1984.
31. ENCICLOPÉDIA DELTA UNIVERSAL
32. FAKURY, Ricardo Hallal. - Cálculo de Estruturas de Aço. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1984.
33. GAYLORD, Jr., Edwin H.; GAYLORD, Charles N.. - Design of Steel Structures. USA: McGraw-Hill, 1972.
34. GERENCIAMENTO DA LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTOS. São Paulo: IMAN, 1994.

35. GOLDRATT, Eliyahu M.. - Critical Chain. The North River Press Publishinng Corporation, 1997.
36. GOOD, J. P. Le. - Princípios de Projetos de Estruturas de Aço para Estudantes de Arquitetura, Tradução. Ouro Preto: Curso de Especialização em Tecnologia para uso do Aço, C.E.T.U.A, 1990.
37. HART, F.; HENN, W.; SONTAG, H.. - Multi-Storey Buildings in Steel. Great Britain: Willian Clowes & Sons, Limited, 1978.
38. HAVRILLA, David. - Laser Cutting Process Fundamentals. USA: Rofin Sinar, Incorporated, 1996.
Inc., 1991.
39. KNOWLES, Peter. - Design of Structural Steelwork. Great Britain: Thomson Litho Ltd., 1977.
40. LICHTENSTEIN, Norberto B.. - O Uso da Grua na Construção do Edifício. São Paulo: EPUSP, 1987.
41. MAcGINLEY, T. J.. - Steel Structures, Pratical Design Studies. Great Britain: Richard Clay Ltd., 1981.
42. MAIA, Éolo; Vasconcellos, Jô. Arquitetos. Salamandra Consultoria Editorial S/A, 1995.
43. MARQUES, Paulo Villani. - Tecnologia de Soldagem. Belo Horizonte: Editora "O Lutador", 1991.
44. McCOMARC, Jack C. - Structural Steel Design. Harper & Row, Publishers, Inc, 1981.

45. McGUIRE, Willian; WINTER, George. - Prentice-Hall Internatioal Series in Theoretical and Applied Mechanics, Structural Analysis and Design Series. USA: Prentice-Hall, Inc., 1968.
46. MÓDULO Estruturas Metálicas S/A. - Notas de estágio. Contagem, 1998.
47. MORAES, Antonio B. Lima. - Edifícios Industriais de Aço. São Paulo: EPUSP, 1985.
48. MOURA, Reinaldo A.. - Sistemas Técnicos de Movimentação e Armazenagem de Materiais. São Paulo: IMAN, 1994.
49. NASH, William. - Resistência dos Materiais. São Paulo: McGraw Hill, 1982.
50. NUNES, Edson de Castro; NATAL, Yelson Duboc. - Palestra sobre Soldagem na Escola de Engenharia da UFOP. Ipatinga: USIMINAS S.A, 1985.
51. OKUMURA, Toshie. - Engenharia de Soldagem e Aplicações. Rio de Janeiro: livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1982.
52. OWENS, Graham W.; CHEAL, Brian D. - Structural Steelwork Connections. Great Britain: Courier International Ltd., 1989.
53. PAULA, José Humberto Matias de. - Projeto de Perfis de Aço de Chapa Dobrada. Notas de Aula: UnB, 1994.
54. PESHKOVSKI, O. - Producción de Estructuras Metálicas. Moscow: Editorial Mir Moscú, 1982.
55. PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. - Estruturas de Aço, Dimensionamento Prático. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A, 1995.

56. QUEIROZ, Gilson. - Elementos das Estruturas de Aço. Belo Horizonte: Imprensa Universitária, UFMG, 1988.
57. QUEIROZ, Gilson. - Estruturas Metálicas. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 1975.
58. RHODES, J. - Design of Cold Formed Steel Members. Great Britain: University Press, Cambridge, 1991.
59. SALMON, G. Charles; JOHNSON, John E.. - Steel Structures, Design and Behavior. USA: Harper & Row, Publishers, 1980.
60. SANTOS, Arthur Ferreira dos. - Estruturas Metálicas: projetos e detalhes para fabricação. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1997.
61. SANTOS, Pedrosvaldo Caram. - Uma Visão do Mercado de Estruturas Metálicas no Brasil. Ouro Preto: REM, 1997.
62. SMITH, J. C. - Structural steel Design, LFRD Fundamentals. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
63. SOUZA, José Geraldo; PINTO, José Airton de Queiróz. - Proteção de Estruturas de Aço Contra a Corrosão. Ipatinga: USIMINAS S.A, 1985.
64. SOUZA, Sérgio Augusto. - Composição Química dos Aços. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1989.
65. SUÑOL, Carlos. - Carpiteria Metálica y de Plástico para la Construcción.. Spain: Ediciones CEAC, S.A, 1980.
66. TARNOCZY JR, Ernesto. - Edifícios de Aço para fins Habitacionais e Comerciais. São Paulo: EPUSP, 1989.
67. TECNOFER Industria e Comércio S/A. - Notas de estágio. Belo Horizonte, 1998.

68. TIMOSHENKO, S. P.; GOODIER, J. N.. - Theory of Elasticity. USA: McGraw Hill, 1970.
69. USIMINAS S/A., Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais. - Notas de estágio. Ipatinga, 1998.
70. VASCONCELOS FILHO, Alcebíedes de. - Teoria das Estruturas. Belo Horizonte: Imprensa universitária, UFMG, 1986.
71. WYLIE, C. Ray; BARRET, Louis C.. - Advanced Engineering Mathematics. Singapore: McGraw Hill, 1985.
72. YU, Wei-Wen. - Cold-Formed Steel Design. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1991.