

Bianca Cito

**Subsídios para projeto de arquitetura de residências com utilização
de aço**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo- IPT, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Habitação: planejamento e
Tecnologia.**

**Área de Concentração: Tecnologia em
construção de edifícios**

Orientador : Prof. Dr. Flávio Farah

**São Paulo
Agosto/ 2008**

AGRADECIMENTOS

A todos os Docentes do IPT/SP que tive a honra de conhecer e conviver durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de Mestrado.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao professor Flávio Farah, por toda sua orientação e atenção fornecidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Deus, pela oportunidade de elaborar este trabalho.

***Feliz aquele que transfere o que sabe e que aprende o que ensina.
Cora Coralina.***

RESUMO

A aplicação do aço em residências, como tônica do sistema construtivo, não é uma novidade em alguns países. No Brasil, seu uso ainda é uma realidade que aparece de forma pontual. Isto ocorre devido à falta de tradição no uso deste material na construção civil exceto, é claro, como reforço de concreto e em esquadrias, entre outras aplicações. Entretanto, há um crescente empenho dos produtores de aço voltado para o mercado da construção, para que ocorra o desenvolvimento de tecnologias construtivas onde o aço não seja mais apenas um coadjuvante. Hoje, o aço é um produto disponível no mercado em inúmeras conformações, e há boas possibilidades para seu emprego como base de sistemas construtivos.

Na arquitetura contemporânea internacional e nacional há uma forte tendência de uso do aço como expressão e linguagem arquitetônica. O presente trabalho busca traçar uma visão panorâmica do assunto, oferecendo subsídios para a reflexão sobre as possibilidades e restrições do uso do aço em residências unifamiliares de médio e alto padrão. Para tanto, procurouse desenvolver uma pesquisa voltada à divulgação, conhecimento e uso do aço, sendo enfocados aspectos que abrangem histórico, fabricação, propriedades do material, disponibilidade de produtos e sua forma de aplicação em residências, detalhes construtivos, sistemas construtivos, sistemas de proteção do material e, também, uma breve análise da arquitetura residencial em aço.

Palavras chave: Aço; Residências; Arquitetura; Projeto; Sistemas construtivos.

ABSTRACT

Subsidies for the architectural design of homes using steel

The application of steel as the base of the constructive system at houses is not new in some countries. In Brazil, its use is a random reality. This occurs due to the lack of tradition of the use of steel in civil construction –except as reinforcement of concrete and doors, windows, among other applications. However, there is a growing effort from steel suppliers toward the construction market with the development of construction technologies which steel plays a major role. Today, steel is available in the market for several uses, and there is a good possibility of its use as a base for constructive systems.

In national and international contemporary architecture there is a strong trend for the use of steel as architectural language and expression. This paper will show a panoramic view of the subject, offering data for reflection on the possibilities and restrictions of the steel use in the medium and upper level houses. This paper will include a research developed by the author regarding the marketing, knowledge, and use of steel. The research focuses on aspects such as historical, fabrication, material characteristics, products availability and the application in houses, construction details, constructive systems, material protection systems, as well as a brief analysis on the residential architecture in steel.

Key terms: Steel; Houses; Architecture; Project; Constructive Systems.

Lista de ilustrações

Figura 1	Representação esquemática do fluxo do projeto arquitetônico	3
Figura 2	Reconstituição de uma forja catalã	8
Figura 3	Alto Forno de 1640 com acionamento hidráulico	9
Figura 4	Esquema simplificado de um alto forno	22
Figura 5	Fluxo da produção do aço	24
Figura 6	Esquema estrutural de uma dendrita	25
Figura 7	Estrutura cúbica de corpo centrado e cúbica de face centrada: representação esquemática e tridimensional	25
Figura 8	Fluxograma de desenvolvimento dos materiais metálicos para fabricação do aço	30
Figura 9	Exemplo de um perfil “I”	36
Figura 10	Alguns tipos de perfis soldados	37
Figura 11	Nomenclatura típica dos perfis soldados	38
Figura 12	Quadro com exemplo de nomenclatura típica dos perfis soldados	38
Figura 13	Perfis dobrados a frio	43
Figura 14	Quadro com exemplo de nomenclatura típica dos perfis dobrados	43
Figura 15	Exemplo de um tipo de perfil dobrado componente do sistema construtivo “Light Steel Frame”	44
Figura 16	Exemplo de uma residência “Light Steel Frame” e seu esquema estrutural	45
Figura 17	Exemplo de um tipo de perfil dobrado componente do sistema construtivo dry wall.	45
Figura 18	Tração numa barra de aço	47
Figura 19	Flambagem	47
Figura 20	Flambagem	47
Figura 21	Momento fletor	48
Figura 22	Exemplo de algumas composições de seções com o perfil “U”	51
Figura 23	Confecção da viga alveolar a partir de um perfil “I”	52
Figura 24	Seções de perfis tubulares	53
Figura 25	Exemplos de seções típicas de pilares mistos	58
Figura 26	Viga alveolar hexagonal	60
Figura 27	Viga alveolar redonda	60
Figura 28	Detalhe da estrutura treliçada em aço	63
Figura 29	Tipos usuais de conectores	66

Figura 30	Tipos usuais de vigas mistas	67
Figura 31	Barra redonda	71
Figura 32	Fio trefilado	72
Figura 33	Cordoalha	72
Figura 34	Cabo de aço	72
Figura 35	Exemplos telhas em aço	74
Figura 36	Exemplos telhas em aço zipada	74
Figura 37	Exemplo de painéis de aço	77
Figura 38	Detalhe da junção entre painéis	77
Figura 39	Direcionamento das cargas no sistema Light steel Frame	79
Figura 40	Exemplo de ligação rígida	94
Figura 41	Exemplo de ligação rígida soldada	94
Figura 42	Exemplo de ligação flexível	95
Figura 43	Esquema de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido	97
Figura 44	Quadro com vantagens, limitações e aplicações de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.	97
Figura 45	Esquema de soldagem a arco elétrico por arco submerso	99
Figura 46	Quadro com vantagens, limitações e aplicações de soldagem a arco elétrico por arco submerso.	99
Figura 47	Descrição geral dos parafusos	100
Figura 48	Arruelas com controle de carga	101
Figura 49	Parafuso com controle de tensão	101
Figura 50	Exemplos de soluções para evitar a corrosão de pilares junto à fundação	105
Figura 51	Detalhe laje moldada no local	108
Figura 52	Elevação de laje moldada no local	109
Figura 53	Detalhe de laje <i>steel deck</i>	112
Figura 54	Elevação de laje <i>steel deck</i>	112
Figura 55	Detalhe solução adotada no uso de assoalho de madeira	116
Figura 56	Classificação das ligações de pilar / alvenaria	120
Figura 57	Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com tela soldada	121
Figura 58	Ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração	123
Figura 59	Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração	123
Figura 60	Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração	124

Figura 61	Detalhe de ligação desvinculada de pilar e alvenaria	125
Figura 62	Parede cortina	126
Figura 63	Exemplo de detalhe de ligação vinculada rígida entre alvenaria e viga metálica	127
Figura 64	Exemplo de detalhe de ligação vinculada semi-rígida entre alvenaria e viga metálica	128
Figura 65	Exemplo de detalhe de ligação desvinculada deformável entre alvenaria e viga metálica	128
Figura 66	Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria, onde sobra um espaço vazio a ser preenchido com revestimento	129
Figura 67	Detalhe genérico de preenchimento de perfil metálico	130
Figura 68	Detalhe genérico envolvimento de perfil metálico	131
Figura 69	Detalhe genérico envolvimento de perfil metálico	132
Figura 70	Detalhes genéricos para revestimento em argamassa sobre perfil metálico, em seqüência de execução	132
Figura 71	Detalhes genéricos para revestimento em argamassa sobre perfil metálico, em seqüência de execução	133
Figura 72	Palácio de cristal, Londres	134
Figura 73	Catálogo da empresa Francis Morton & Co., Inglaterra, séc. XIX	135
Figura 74	Detalhes de composição e fixação de painéis GFRC	141
Figura 75	Exemplo de estruturação de um painel em aço com isolamento térmico	146
Figura 76	Detalhes do sistema construtivo <i>QUICK HOUSE</i>	147
Figura 77	Casa K	149
Figura 78	Esquema de uma nuvem carregada e a indução de cargas positivas no solo	165
Figura 79	Diferença de potencial entre a nuvem e a Terra	166
Figura 80	Descarga atmosférica penetrando o solo	167
Figura 81	SPDA tipo hastes ou do tipo Franklin	168
Figura 82	SPDA tipo gaiola Faraday	168
Figura 83	Tendência de retorno do aço ao seu estado primitivo de origem	171
Figura 84	Exemplo de projetos com frestas que favorecem o aparecimento da corrosão	176
Figura 85	Sugestões de detalhamentos para minimização de corrosão	178
Figura 86	Comparação esquemática entre pintura, frente à corrosão, em um aço comum e em um aço patinável	181
Figura 87	Quadro com os aços patináveis produzidos no Brasil	183

Figura 88	Esquema Aço carbono x aço inox	184
Figura 89	Quadro orientativo para a seleção do tipo de aço inox mais adequado para cada ambiente	185
Figura 90	Papel do zinco como proteção do aço, formando um par galvânico	188
Figura 91	Quadro resumo de tintas	197
Figura 92	Quadro resumo de tintas	198
Figura 93	Temperatura / tempo de um incêndio	201
Figura 94	Conceito de massividade	201
Figura 95	Placas de gesso acartonado, contendo fibra de vidro	204
Figura 96	Enclausuramento do elemento metálico em concreto	204
Figura 97	Figura esquemática da interseção profissional entre arquitetos e engenheiros	206
Fotografia 1	Condomínio residencial	1
Fotografia 2	Favela	1
Fotografia 3	Ponte de ferro em Coalbrookdale, Inglaterra	10
Fotografia 4	Palacete do Engenho, Recife, PE	12
Fotografia 5	Chalé de ferro da UFPA, Universidade Federal do Pará	13
Fotografia 6	Exemplo de perfil soldado com forma diferenciada, utilizado no prédio da Universidade de Caxias do Sul	36
Fotografia 7	Perfil soldado	37
Fotografia 8	Perfil eletrosoldado	39
Fotografia 9	Selo de controle do Perfil laminado da Gerdau	41
Fotografia 10	Perfis laminados da Gerdau a serem utilizados em obra em Penedo	41
Fotografia 11	Obra residencial em Penedo realizada com perfis laminados da Gerdau	41
Fotografia 12	Exemplo de uma residência feita com sistema construtivo <i>Light Steel Frame</i>	44
Fotografia 13	Ossatura de uma residência feita com sistema construtivo <i>Light Steel Frame</i>	44
Fotografia 14	Exemplo de montagem de uma parede do sistema construtivo dry wall.	46
Fotografia 15	Cantoneiras em “L”	49
Fotografia 16	Composição de pilares e vigas treliçadas com cantoneiras em “L” e perfis “U”	49
Fotografia 17	Exemplo de utilização de perfil “U” e “L” em treliça de sustentação de telhado	50

Fotografia 18	Exemplo de utilização de perfil “U” enrijecido para sustentação de telhas	51
Fotografia 19	Exemplo de utilização de perfil “I” em uma residência com mistura de materiais diferenciados	52
Fotografia 20	Exemplo de utilização de perfil “I”	52
Fotografia 21	Residência com vigas em perfil “I” e pilares em perfil tubular redondo	54
Fotografia 22	Residência com vigas em perfil “I” e pilares em perfil tubular redondo	54
Fotografia 23	Residência com pilar em perfil tubular redondo em pilares, estrutura do telhado e guarda corpo	55
Fotografia 24	Perfil tubular redondo em estrutura do telhado e perfil tubular retangular em esquadrias	55
Fotografia 25	Perfil tubular redondo em estrutura do telhado e perfil tubular retangular em esquadrias	56
Fotografia 26	Residência com estrutura tubular redonda formando arcos que suportam uma cobertura de membrana tensionada	56
Fotografia 27	Residência com estrutura tubular redonda formando arcos que suportam uma cobertura de membrana tensionada	57
Fotografia 28	Residência com pilares contraventados	58
Fotografia 29	Exemplo de viga de alma cheia de perfil “I”	59
Fotografia 30	Residência com escada com viga alveolar	60
Fotografia 31	Residência com escada com viga alveolar	60
Fotografia 32	Exemplo de viga alveolar	61
Fotografia 33	Residência “Lota de Macedo Soares”	62
Fotografia 34	Residência com cobertura com estrutura treliçada em aço	63
Fotografia 35	Vista da estrutura treliçada em aço	63
Fotografia 36	Residência caracterizada por uma treliça na fachada	63
Fotografia 37	Residência caracterizada por um pórtico formado a partir de uma treliça	64
Fotografia 38	Exemplo de viga em quadro	65
Fotografia 39	Instalação de <i>stud bolts</i>	66
Fotografia 40	Chapa xadrez	68
Fotografia 41	Piso da escada em chapa xadrez em uma residência	68
Fotografia 42	Piso da escada em chapa xadrez em uma residência	68
Fotografia 43	Vários padrões de chapas perfuradas	69
Fotografia 44	Chapas perfuradas ornamental	69
Fotografia 45	Residência com chapa perfurada compondo esquadria na	69

	fachada	
Fotografia 46	Grade metálica para piso	70
Fotografia 47	Grade metálica para degrau de escada	70
Fotografia 48	Piso em grade metálica no mezanino que é utilizado como biblioteca no interior da “T house”	70
Fotografia 49	“T house”	70
Fotografia 50	Residência “pouso alto” com barras de aço como tirantes da estrutura	71
Fotografia 51	Fachada da residência “pouso alto” com barras de aço como tirantes da estrutura	71
Fotografia 52	Cabos de aço como tirantes em cobertura de uma residência	72
Fotografia 53	Cabos de aço em guarda corpo de uma residência	72
Fotografia 54	Telas metálicas	73
Fotografia 55	Exemplo de residência com utilização de tela no guarda corpo e cerca de divisa	73
Fotografia 56	Exemplo de residência com utilização de telha em aço multidobras	75
Fotografia 57	Exemplo de residência com utilização de telha em aço trapezoidal	75
Fotografia 58	Exemplo de residência com utilização de telha em aço trapezoidal	75
Fotografia 59	Telha em aço gravilhada	76
Fotografia 60	Exemplo de residência com telha em aço gravilhada	76
Fotografia 61	Exemplo de residência com painel de aço corrugado	77
Fotografia 62	Exemplo residência cuja concepção estrutural está omissa na arquitetura	78
Fotografia 63	Exemplo residência cuja concepção estrutural está exposta na arquitetura	78
Fotografia 64	<i>St. Andrews Beach House</i>	81
Fotografia 65	<i>Xeros Residence</i>	81
Fotografia 66	<i>Xeros Residence</i>	81
Fotografia 67	<i>Rusted Steel House</i>	82
Fotografia 68	Interior da <i>Rusted Steel House</i>	82
Fotografia 69	Interior da <i>Rusted Steel House</i>	82
Fotografia 70	<i>Glass house</i>	83
Fotografia 71	<i>Farnsworth house</i>	83
Fotografia 72	<i>Maisonstuttgart</i>	83
Fotografia 73	Casa com forma de vaso sanitário	84

Fotografia 74	Casa com forma de vaso sanitário	84
Fotografia 75	<i>Bart Prince House</i>	84
Fotografia 76	<i>Football house</i>	84
Fotografia 77	Residência em São Paulo	85
Fotografia 78	Residência na Serra da Cantareira	85
Fotografia 79	Residência Itanhagá	86
Fotografia 80	Casa de campo	86
Fotografia 81	Casa González	87
Fotografia 82	Casa em Igualada	87
Fotografia 83	<i>Wabbel House</i>	88
Fotografia 84	Residência Jardim Botânico	88
Fotografia 85	Pavilhão Freiberg	89
Fotografia 86	Casa Portobello	89
Fotografia 87	Residência Praia Vermelha	90
Fotografia 88	Residência Penedo	90
Fotografia 89	Residência na Turquia	91
Fotografia 90	Residência na Turquia	91
Fotografia 91	Soldador trabalhando obra residencial realizada com perfis laminados	98
Fotografia 92	Eletrodos utilizados para soldagem da estrutura	98
Fotografia 93	Ligação soldada em obra residencial realizada com perfis laminados	98
Fotografia 94	Contraventamento temporário	98
Fotografia 95	Torquímetro	101
Fotografia 96	Falha em ligação soldada	103
Fotografia 97	Falha em ligação parafusada	103
Fotografia 98	Falha em ligação parafusada	103
Fotografia 99	Exemplo de início de fundação	104
Fotografia 100	Exemplo de fundação já concretada	104
Fotografia 101	Exemplo de pilar em perfil I lançado sobre fundação em concreto armado	104
Fotografia 102	Exemplo de nivelamento de base de pilar	104
Fotografia 103	Exemplo de pilar em contato direto com o piso, à mercê de umidade	105
Fotografia 104	Exemplo de má locação de uma obra	105
Fotografia 105	Obra residencial	106

Fotografia 106	Viga furada para passagem de dutos	107
Fotografia 107	Obra residencial	108
Fotografia 108	Início da colocação de laje pré-moldada comum em obra residencial	110
Fotografia 109	Laje pré-moldada de concreto em obra residencial	110
Fotografia 110	Exemplo de laje treliçada unidirecional	110
Fotografia 111	Exemplo de laje treliçada bidirecional	111
Fotografia 112	Exemplo de painel treliçado	111
Fotografia 113	Utilização de laje <i>steel deck</i> em obra residencial	113
Fotografia 114	Painel de concreto celular autoclavado	113
Fotografia 115	Exemplo de utilização de painel OSB em residência	114
Fotografia 116	<i>Painel Wall</i> da Madeirit	114
Fotografia 117	Painel cimentício	115
Fotografia 118	Exemplo de utilização assoalho de madeira e perfis em aço	115
Fotografia 119	Ligação de pilar e alvenaria com tela soldada	121
Fotografia 120	Ferro-cabelo soldado à estrutura	122
Fotografia 121	Locação da alvenaria	122
Fotografia 122	Ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração	123
Fotografia 123	Alvenaria esperando para ser encunhada	127
Fotografia 124	Alvenaria já encunhada	127
Fotografia 125	Exemplo de ligação desvinculada deformável entre alvenaria e viga metálica	128
Fotografia 126	Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria	130
Fotografia 127	Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria	130
Fotografia 128	Exemplo de detalhe de preenchimento de espaço vazio nos pilares metálicos	131
Fotografia 129	Exemplo de detalhe de preenchimento de espaço vazio nos pilares metálicos	131
Fotografia 130	Chalé de ferro da UFPA (Universidade Federal do Pará), com sistema construtivo Danly, em Belém, PA	135
Fotografia 131	Estação ferroviária de Bananal, SP, com sistema construtivo Danly	135
Fotografia 132	Exemplo de painel de concreto, com acabamento liso	137
Fotografia 133	Exemplo de painel de concreto, com acabamento frisado	137
Fotografia 134	Exemplo de painel de concreto, com acabamento modulado	137
Fotografia 135	Exemplo de painel de concreto, com acabamento personalizado	137

Fotografia 136	Exemplo de fabricação de painel de concreto com armadura e instalações incorporadas	138
Fotografia 137	Exemplo de fixação de painel de concreto com os <i>inserts</i> metálicos incorporados	138
Fotografia 138	Exemplo de residência com estrutura metálica e fechamento externo em painel de concreto	139
Fotografia 139	Exemplo de residência com estrutura metálica e fechamento externo em painel de concreto	139
Fotografia 140	Exemplos de painel GFRC	140
Fotografia 141	Exemplo de execução de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio	142
Fotografia 142	Exemplo de execução de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio	142
Fotografia 143	Exemplo de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio	143
Fotografia 144	Exemplo de aplicação de placa cimentícia	144
Fotografia 145	Exemplo de aplicação de placa cimentícia	144
Fotografia 146	Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícia	144
Fotografia 147	Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias	145
Fotografia 148	Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias	145
Fotografia 149	Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias	145
Fotografia 150	Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias	145
Fotografia 151	Exemplo de residência executada com painel metálico	147
Fotografia 152	<i>Mead/Penhall Residence</i>	148
Fotografia 153	<i>Mead/Penhall Residence</i>	148
Fotografia 154	Casa Fatia	148
Fotografia 155	Casa em Petrópolis	149
Fotografia 156	<i>Farnsworth house</i>	150
Fotografia 157	Casa de aço e vidro	150
Fotografia 158	Casa de aço e vidro	150
Fotografia 159	“Loft Cantareira”	151
Fotografia 160	Residência com vedação em painéis de vidro	152
Fotografia 161	Residência com vedação em painéis curvos de vidro	152
Fotografia 162	Exemplo de edificação com o sistema <i>spider glass</i>	153

Fotografia 163	Modelo de aranha do sistema <i>spider glass</i>	153
Fotografia 164	Exemplo de utilização de painel OSB em residência	154
Fotografia 165	Exemplo residência com estrutura em aço e fechamento em painel de madeira em lambri.	154
Fotografia 166	Detalhe do uso do aço com a madeira	155
Fotografia 167	Residência com painel em madeira	155
Fotografia 168	Residência com painel em madeira e membrana tensionada	155
Fotografia 169	Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas	156
Fotografia 170	Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas	156
Fotografia 171	Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas	157
Fotografia 172	Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas	157
Fotografia 173	Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas	158
Fotografia 174	Exemplo de utilização de aço leve galvanizado na estrutura da cobertura de uma residência	158
Fotografia 175	Exemplo de utilização de aço leve galvanizado na estrutura da cobertura de uma residência	158
Fotografia 176	Exemplo de residência com cobertura em aço	160
Fotografia 177	Exemplo de residência com cobertura em aço em telhas zipadas	160
Fotografia 178	Exemplo de residência com cobertura em aço em telhas zipadas	161
Fotografia 179	Execução de telhado em residência com estrutura metálica e cobertura com telhas tipo <i>shingle</i>	161
Fotografia 180	Execução de telhado em residência com estrutura metálica e cobertura com telhas tipo <i>shingle</i>	161
Fotografia 181	Execução de telhado em residência com estrutura metálica e cobertura com telhas tipo <i>shingle</i>	161
Fotografia 182	Exemplo de residência com cobertura em membrana tensionada	163
Fotografia 183	Residência Itanhagá	164
Fotografia 184	Residência Itanhagá	164
Fotografia 185	Exemplo de corrosão uniforme	173
Fotografia 186	Exemplo de corrosão por placas	173
Fotografia 187	Exemplo de corrosão galvânica	175

Fotografia 188	Exemplo de corrosão puntiforme	175
Fotografia 189	“T house”	182
Fotografia 190	Exemplo de residência em chapas de aço patinável aparentes	182
Fotografia 191	Casa em Ubatuba	183
Fotografia 192	Exemplos de acabamentos de aço inox: espelhado, escovado e decorativo	185
Fotografia 193	Exemplo de uso aço inox em escada	186
Fotografia 194	Exemplo de uso aço inox em escada	186
Fotografia 195	Exemplo de uso aço inox em platibanda	186
Fotografia 196	Exemplo de uso aço inox em lareira	186
Fotografia 197	Residência sendo construída com o sistema construtivo <i>steel frame</i>	190
Fotografia 198	Exemplos de residências com telhas produzidas a partir do galvalume	191
Fotografia 199	Exemplos de residências com telhas produzidas a partir do galvalume	191
Fotografia 200	Carepa de laminação numa chapa de aço	192
Fotografia 201	Bobina de aço pré pintado	199
Fotografia 202	Telhas fabricadas a partir de bobinas de aço pré pintado	199
Fotografia 203	Fibra projetada	203
Fotografia 204	Argamassa projetada	204
Fotografia 205	Tintas Intumescentes	204
Fotografia 206	Caminhão saindo de uma fábrica de estrutura metálica para ir para o local da obra	207
Fotografia 207	Exemplo residência com uma arquitetura contemporânea convencional	211
Fotografia 208	Exemplo residência com uma arquitetura contemporânea moderna	211

Lista de tabelas

Tabela 1	Resumo de vinculação de alvenaria com estrutura metálica	119
Tabela 2	Dimensão das telas soldadas para ligação	122
Tabela 3	Análise comparativa entre os dispositivos de ligação lateral entre alvenaria e pilar	124
Tabela 4	Análise comparativa entre os dispositivos de ligação frente ao cisalhamento da junta horizontal	124
Tabela 5	Análise comparativa entre os dispositivos de ligação através do ensaio de arrancamento por tração direta	125
Tabela 6	Série galvânica para metais e ligas imersas em água do mar	174
Tabela 7	Categorias de corrosividade atmosférica	177
Tabela 8	Série de potencial de eletrodo dos metais	187
Tabela 9	Tempo requerido de resistência ao fogo	202
Tabela 10	Isenções segundo a NBR 14432	203

Lista de gráficos

Gráfico 1	Consumo Aparente de Aço na Construção Predial	16
Gráfico 2	Consumo Aparente de Aço	16
Gráfico 3	Consumo Per Capta de Aço	17
Gráfico 4	Participação da Construção em aço	17
Gráfico 5	Participação no mercado	18
Gráfico 6	Evolução da participação no mercado	18
Gráfico 7	Evolução das vendas de aço para estrutura	19
Gráfico 8	Diagrama Tensão Deformação de peça estrutural de aço	32
Gráfico 9	Comparação de resistência entre o aço ASTM A36 e ASTM A 572	34
Gráfico 10	Ligações flexíveis e rígidas nos apoios	95
Gráfico 11	Curva de comportamento do aço carbono comum e do aço patinável	181
Gráfico 12	Curva de comportamento do aço carbono comum e do aço patinável	181
Gráfico 13	Curva de comportamento do aço carbono comum e do aço patinável	181
Gráfico 14	Curva de comportamento do aço carbono comum e do aço patinável	181
Gráfico 15	Correlação Peso/Espessura/ Vida útil da camada de um aço galvanizado	189

Sumário

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE GRÁFICOS
RESUMO
ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	2
2.1 Objetivo geral	2
2.2 Objetivos específicos	2
3 JUSTIFICATIVAS	3
4 METODOLOGIA	4
5 UM BREVE PANORAMA HISTÓRICO	6
5.1 Histórico no âmbito internacional	7
5.2 Histórico no âmbito nacional	12
5.3 O consumo atual do aço na construção	15
6 O MATERIAL AÇO: PROCESSO DE FABRICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS	20
6.1 O processo siderúrgico	20
6.1.1 Obtenção das matérias primas	20
6.1.2 Preparo dos materiais	21
6.1.2.1 Coqueria	21
6.1.2.2 Sinterização	21
6.1.3 Redução	22
6.1.3.1 Alto forno	22
6.1.4 Refino	23
6.1.4.1 Aciaria	23
6.1.5 Laminação	23
6.1.6 Reciclagem	24
6.2 A estrutura do aço como material	24
6.3 Propriedades do aço para o uso em edificações	25
6.4 Tratamentos térmicos dos aços	27

6.4.1	Recozimento	27
6.4.2	Normalização	28
6.4.3	Têmpera	28
6.4.4	Revenido	28
6.5	Tipos de aços para a construção	29
6.5.1	Aço Carbono comum	30
6.5.2	Aço-liga	31
7	PRODUTOS EM AÇO E SUAS UTILIZAÇÕES NA COMPOSIÇÃO DE EDIFICAÇÕES	35
7.1	Tipos de Perfis	35
7.1.1	Perfis Soldados	35
7.1.2	Perfis eletro-soldados	38
7.1.3	Perfis laminados	40
7.1.4	Perfis dobrados a frio	42
7.2	A Forma dos perfis	46
7.2.1	Esforços básicos atuantes numa edificação	46
7.2.2	Formas de perfis e suas aplicações	49
7.3	A utilização dos perfis nos componentes estruturais	57
7.3.1	Pilares	57
7.3.2	Vigas	59
7.3.2.1.	Vigas de Alma Cheia	59
7.3.2.2.	Vigas Alveolares	59
7.3.2.3.	Vigas Trelçadas	61
7.3.2.4.	Vigas Armadas	64
7.3.2.5	Viga em Quadro (ou Viga Vierendeel)	64
7.3.2.6	Vigas Mistas	65
7.4	Outros produtos em aço para utilização em edificações	68
7.4.1	Chapas de aço	68
7.4.2	Grades para pisos	70
7.4.3	Barras	71
7.4.4	Fios, cordoalhas e cabos	71
7.4.5	Telas	73
7.4.6	Telhas	74
7.4.7	Painéis	76
8	A ARQUITETURA DE UMA RESIDÊNCIA COM AÇO	78

8.1 Arquitetura escultura	80
8.1.1 Panorama internacional	81
8.1.2 Panorama nacional	85
8.2 Arquitetura contemporânea moderna	87
8.2.1 Panorama internacional	87
8.2.2 Panorama nacional	88
8.3 Arquitetura contemporânea convencional	90
8.3.1 Panorama nacional	90
8.3.2 Panorama internacional	91
9 A COMPOSIÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA EM AÇO	92
9.1 Ligações entre componentes estruturais de aço	92
9.1.1 Ligações soldadas	96
9.1.2 Ligações parafusadas	100
9.1.3 Falhas em ligações soldadas e parafusadas	102
9.2 Ligação entre estrutura metálica e a fundação	103
9.3 Sistemas de vedação horizontal (pisos e tetos) e estrutura metálica	106
9.3.1 Lajes Moldadas no local	108
9.3.2 Pré- lajes de concreto armado	109
9.3.3 Lajes Steel Deck	111
9.3.4 Lajes de painel de concreto celular autoclavado	113
9.3.5 Lajes secas	114
9.4 Sistemas de vedação vertical (paredes) externa e interna	116
9.4.1 Vedações de alvenaria	118
9.4.2 Vedações com painéis	133
9.4.2 Alguns tipos de painéis de vedação	136
9.4.2.1 Painéis de concreto	136
9.4.2.2 Painéis GFRC (Glass Fibre Reinforced Concrete)	140
9.4.2.3 Painéis com placas cimentícias	143
9.4.2.4 Painéis Metálicos	146
9.4.2.5 Painéis de vidro	149
9.4.2.6 Painéis de madeira	153
9.5 Coberturas	156
9.5.1 Coberturas com estrutura em aço e telhas cerâmicas	156
9.5.2 Coberturas com estrutura em aço leve e telhas variadas	158
9.5.3 Coberturas com estrutura em aço e telhas em aço	159

9.5.4 Coberturas com telhas tipo <i>shingle</i>	161
9.5.5 Coberturas com estrutura em aço e membrana tensionada	162
9.6 Proteção contra descargas atmosféricas	165
10 PROTEÇÃO DO AÇO FRENTE À CORROSÃO E FOGO	170
10.1 A corrosão e seus processos	171
10.1.1 O que é corrosão	171
10.1.2 O processo de corrosão	172
10.1.2.1 Corrosão uniforme	172
10.1.2.2 Corrosão localizada	173
10.1.2.3 Corrosão por pites	175
10.1.2.4 Corrosão por frestas	175
10.1.3 A proteção do aço frente à corrosão	176
10.1.3.1 Cuidados em projeto	176
10.1.3.2 Cuidados na execução da obra e manutenção da obra	179
10.1.4 Sistemas de proteção do aço frente à corrosão	179
10.1.4.1 O desenvolvimento de aços resistentes à corrosão	179
10.1.4.1.1 Aços patináveis (ou aclimáveis)	180
10.1.4.1.2 Aço inox	184
10.1.4.2 Aço zincado	187
10.1.4.3 Pintura	191
10.1.4.3.1 Preparo da superfície	191
10.1.4.3.2 Sistema de pintura	194
10.1.4.3.3 Aço pré pintado	198
10.2 Situação de incêndio	200
11 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	206
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	213
ANEXOS	227
GLOSSÁRIO	231

1 Introdução

Ao longo de sua existência, o homem sempre buscou abrigo. Desde a época do homem das cavernas, das cabanas primitivas, até os dias de hoje, as variações tipológicas destes abrigos são influenciadas pela situação geográfica, pelo clima, pelos materiais disponíveis e suas tecnologias de utilização, pelo modo de vida dos seus habitantes (hábitos individuais e sociais) e pela forma e poder de aquisição.

O conceito embutido numa residência, ou seja, numa “casa”, vai muito além dos aspectos físicos e tecnológicos de sua existência. A casa é o invólucro que abriga o homem e o protege, transmitindo uma sensação de segurança.

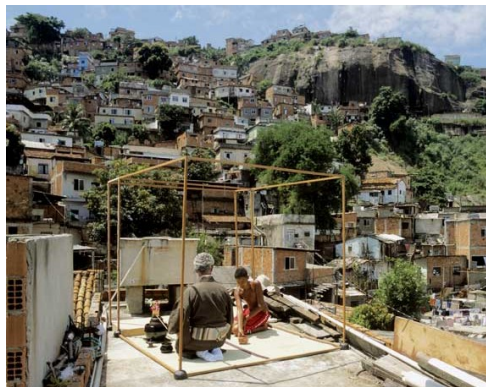
Desde o século XVIII, com o desenvolvimento científico e a revolução industrial, quando se iniciou o uso de estruturas metálicas na construção civil, o aço vem possibilitando inúmeras soluções para engenharia e arquitetura. No Brasil, a utilização do aço em projetos residenciais ainda é muito incipiente. Aparece apenas em casos isolados. Como, por exemplo, em experiências estéticas de arquitetos, em residências em terrenos muito inclinados, em iniciativas que demandam curto prazo ou em alguns *kits* de casas populares.

De fato, o que estamos acostumados a ver por aqui, em construção de residências, sejam elas para ricos ou pobres, é o uso do concreto, da alvenaria de tijolos cerâmicos e telhados com telhas cerâmicas ou de fibrocimento.



Fotografia 1- Condomínio residencial em Nova Iguaçu, RJ. Esta tipologia de residências exemplifica a predominância do uso do concreto e alvenaria, para classes mais abastadas.

Fonte: Bianca Cito. 2005.



Fotografia 2- Favela no Rio de Janeiro, RJ. Esta tipologia de residências exemplifica a predominância do uso do concreto e alvenaria, para classes mais pobres.

Fonte: <http://paulrogers9w.com.bloguploaded>. Acesso em janeiro/2007.

Vale ressaltar, e enfaticamente, que estas casas, que na realidade representam a maioria dominante na paisagem, são executadas com o aporte tecnológico mais conhecido e mais disponibilizado durante anos e, portanto, supostamente mais barato. No Brasil, o aço é um material relativamente recente em edificações. Hoje, temos à disposição uma grande variedade de aços para a construção. Entretanto, nos falta agora desfrutar do aporte tecnológico deste material em nosso país.

Não que o aço venha para substituir outros materiais já consagrados. Ele surge apenas como mais uma possibilidade. Caso queiramos utilizá-lo, devemos primeiramente refletir sobre suas possibilidades e restrições para, até mesmo, optar por sua utilização ou não. É intenção do presente trabalho subsidiar tal reflexão.

2 Objetivos gerais e específicos

2.1 Objetivo geral

Em termos gerais, o objetivo básico desta pesquisa é fornecer uma aproximação ao conhecimento tecnológico para utilização do aço na arquitetura, enfatizando a atividade criativa projetual em construção de residências unifamiliares isoladas e únicas, com no máximo três pavimentos, de padrão médio e alto. Este objetivo é buscado através de uma análise e sistematização de parâmetros que auxiliem a concepção do projeto arquitetônico.

A construção em aço é um assunto muito amplo. O objetivo geral desta dissertação é traçar uma visão panorâmica do assunto, com o foco em residências. É mostrar, para quem quiser projetar ou executar uma residência que utilize o aço como material construtivo, algumas possibilidades e formas de utilização deste material. Inevitavelmente, alguns temas e sistemas construtivos em aço serão tratados superficialmente, pois, a extensão de alguns dos assuntos daria margem a diversas outras dissertações específicas.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho abrangem:

- a análise contextual da aplicação do aço no ambiente construído mundial e brasileiro;
- auxiliar na capacitação de profissionais de nível superior;
- fornecer conhecimentos de tecnologia, equipamentos e normalização técnica relativos ao uso do aço, materiais associados e processos complementares, na construção civil;
- auxiliar a compreensão do processo de produção do aço, propiciando o conhecimento das características de sua produção e sua aplicação na construção;
- o conhecimento combinado de características técnicas do aço, sistemas construtivos, frente ao desempenho e patologias;
- explorar, pesquisar, analisar, registrar e divulgar a aplicação do aço.

Desta forma, criar-se-ão condições de melhor desenvolver senso crítico, disponibilizando-se informações aos arquitetos, a quem cabe, em última análise, pelo conhecimento da tecnologia de aplicação, estimular, motivar, rever conceitos e

propor novas soluções para a utilização do aço como material alternativo na construção de residências.

Estes seriam então os critérios que serviriam de base de conhecimento para melhor desenvolvimento do projeto, planejamento e aplicação do aço, em residências, como técnica construtiva e também criação de experimentos com potencial prático e didático, abrindo caminhos para a consolidação definitiva desse sistema construtivo no país.

3 Justificativas

Com a evolução do pensamento capitalista e do processo de industrialização, vários fatores tornaram-se importantes para o sucesso de qualquer empreendimento, como a redução do tempo de construção, a racionalização no uso de materiais e da mão-de-obra e o aumento da produtividade. A tecnologia construtiva do aço, desde então, esteve predominantemente associada à industrialização da construção, visando modernidade, vanguarda, racionalização, pré-fabricação e mobilidade. Na arquitetura contemporânea internacional e nacional há também uma forte tendência de uso do aço como expressão e linguagem arquitetônica. Essas características transformaram a utilização do aço numa boa solução para atender ao mercado da construção civil.

Como representa, de forma esquemática, a figura 1, o projeto arquitetônico é a primeira expressão gráfica que sintetiza uma idéia a ser concretizada.

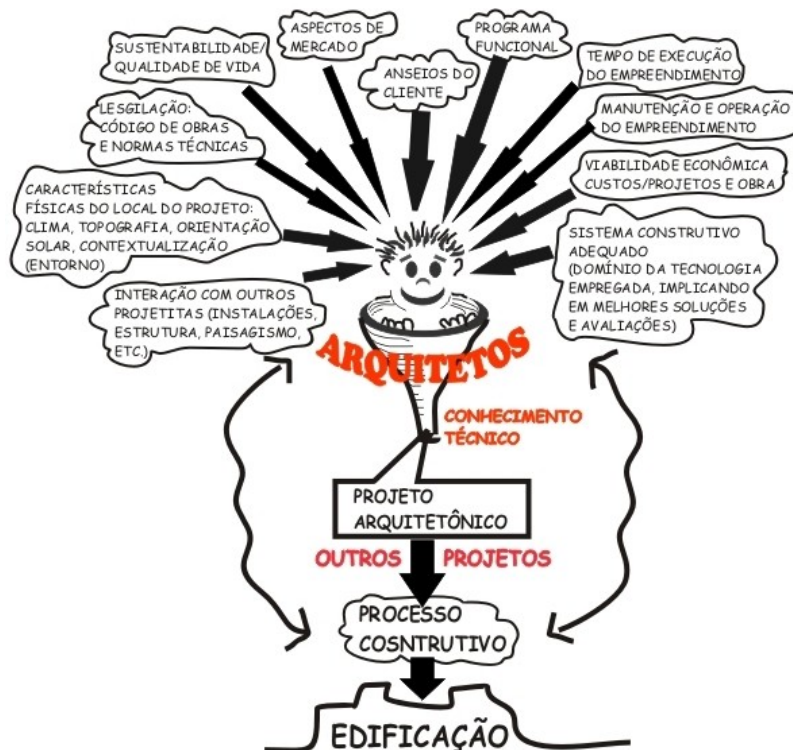


Figura 1- Representação esquemática do fluxo do projeto arquitetônico. Fonte: Bianca Cito. 2006.

Arquitetos recebem diversas informações que, através do projeto simulam a realidade a ser construída. Para tal “simulação” é fundamental o conhecimento técnico, que dá domínio e liberdade para a criação, e possibilita qualidade final do projeto e obra. A concepção de projeto de arquitetura pressupõe a integração de teoria, tecnologia e prática. O arquiteto deve habilitar-se nos processos de produção e de montagem do sistema construtivo que for utilizar, além de dominar conhecimentos para que possa verificar a adequação das soluções adotadas. Destaca-se que, comparativamente com as construções convencionalmente utilizadas no Brasil, o modo de projetar em estrutura metálica é diferente, tanto na fase de concepção geral do projeto quanto na de detalhamento e compatibilização com os demais elementos que compõem o projeto completo da edificação. As diferentes facetas do uso do aço nas construções justificam a elaboração do presente trabalho, uma vez que poucas obras tratam a questão de forma integrada e com o foco em residências.

A evolução da construção metálica depende, dentre vários fatores, da divulgação dos sistemas construtivos em aço, que só se tornará realidade com a difusão do conhecimento tecnológico.

O desafio que se apresenta para o Brasil no campo da arquitetura em aço é promover o seu desenvolvimento rumo a uma arquitetura de ponta, em sintonia com as tendências dominantes nos dias atuais. O arquiteto é o profissional responsável pela criação e detalhamento dos projetos arquitetônicos. E, conseqüentemente, pela especificação dos materiais utilizados nas edificações. Faz-se fundamental para um incremento qualitativo e quantitativo na construção metálica no Brasil.

Hoje, como profissional atuante basicamente no Vale do Paraíba, nas cidades de Itatiaia, Resende, Barra Mansa e Volta Redonda, o que me intriga e me instiga a fazer esta pesquisa é que, além de ser simpatizante da tecnologia do aço, considero muito modesta a representatividade arquitetônica de construções metálicas na região. Volta Redonda abriga a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e, no entorno, existem indústrias complementares fabricantes de perfis e cortadoras de chapas. Há também a probabilidade de instalação de novas indústrias do setor na região. Inserida neste contexto, acredito ter um campo fértil para investigação e aplicação do aço como tecnologia construtiva em residências, para assim divulgar e estimular sua utilização.

4 Metodologia

A questão central deste trabalho é criar um documento de valor técnico que auxilie, didática e enfaticamente, arquitetos a projetar residências usando o aço como tecnologia construtiva, sempre levando em consideração valores teóricos e práticos, sem que estes se distanciem.

Os métodos utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho foram de caráter qualitativo e quantitativo, destacando-se os seguintes:

- revisão bibliográfica do tema, propiciando a formação da base conceitual do trabalho e permitindo a visualização do que já foi produzido sobre o assunto até hoje;

-pesquisa a respeito da fabricação, tipos, características e aplicação do aço na arquitetura.

-levantamento, através de bibliografia e entrevistas informais, da realidade atual dos profissionais de arquitetura em relação à tecnologia do aço, relatando principais de dúvidas, intenções e análise de casos.

-levantamento das possibilidades técnicas do sistema construtivo com estrutura em aço: tipo de estruturas, sistemas de vedação, lajes, desempenho e patologias;

-estudos de casos de projetos arquitetônicos nacionais e internacionais que usam o aço, destacando sua concepção e expressão arquitetônica.

-pesquisa de sistema de pré-dimensionamento de estruturas em aço para aplicação em projetos de arquitetura;

-pesquisa sobre normalização existente para construções metálicas;

-pesquisa histórica enfocando a utilização do aço através dos tempos e sua evolução.

5 Um breve panorama histórico

A arquitetura é a expressão concreta dos abrigos dos seres humanos. Estes abrigos têm várias funções: residências, indústrias, comércio, templos, etc. Os profissionais da arquitetura, além da formação técnica, por tratarem com seres humanos, têm também que ter uma formação humanística que envolve o contexto social, filosófico, histórico, ambiental, etc. Assim sendo, é importante termos um breve panorama histórico do assunto tratado: o aço. Somente assim conseguiremos ver com mais clareza, contextualizar o assunto e entender porque estudá-lo e de que forma enxergar a arquitetura em aço. Com maior conhecimento tem-se maior capacidade de discernir e proceder as escolhas, até mesmo em definir se o caminho é ou não a utilização do aço num determinado projeto.

Na arquitetura escutamos muito falar sobre “Arquitetura de ferro”. Torna-se cabível a dúvida: e a “arquitetura de aço?” Mas afinal, o que é ferro e o que é aço? Esta é uma dúvida simplória, mas que vale a pena esclarecer.

Ferro é um metal cinza prateado, maleável e dúctil¹. É um elemento relativamente abundante. Dificilmente se apresenta na forma pura. O elemento químico ferro, utilizado como matéria prima para a construção civil e outras atividades, é extraído do minério de ferro, presente na crosta terrestre. Para a transformação do minério de ferro no chamado “ferro” e no “aço” que utilizamos, é necessário que este passe por um processo siderúrgico. É extraído dos minérios por meio de elevadas temperaturas obtidas dentro de fornos especiais em presença de carvão vegetal ou coque metalúrgico (obtido da transformação do carvão mineral), que são produtos ricos em carbono, dando origem então a uma liga metálica composta de ferro e carbono.

Em 1786, Vandermond e Bertholet estabeleceram que a diferença entre ferro e aço é a quantidade de carbono. O resultado da primeira fusão do minério com o carvão origina o chamado ferro gusa, que contém alto teor de carbono, sendo de 3,5 a 4 %. O ferro gusa é a matéria prima para produção de ferro fundido (que possui teor de carbono entre 2,5 e 3%) e aço (que possui teor de carbono de no máximo 2%). O aço é originado de um processo de descarbonificação do ferro, que só foi viável com a evolução tecnológica da produção.

O teor de carbono influencia, em importante medida, as propriedades do material. O ferro fundido se configura como um material com baixíssima deformabilidade plástica² sensível. É duro e quebradiço. O baixo teor de carbono no aço torna o material mais deformável permitindo o fácil processamento. O aço é mais plástico e mais resistente a tensões de tração e compressão.

A técnica de produção do aço em larga escala só tornou-se viável no século XVIII, e o aço pôde ser produzido em grandes quantidades. Assim, foi possível fabricar além de máquinas, produtos para a construção civil.

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida ainda no início da Revolução Industrial. O aperfeiçoamento de fornos permitiu não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão,

¹ A ductilidade é a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper.

² A plasticidade é a propriedade do material não voltar à sua forma inicial após a remoção da carga externa, obtendo-se deformações permanentes.

etc. Por causa dessas propriedades e do melhoramento no custo de obtenção, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial. Atualmente há mais de 2.500 tipos de aço produzidos no mundo todo.

O consumo de aço é um indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente ao grau de industrialização do país, ao desenvolvimento tecnológico e, também, ao grau de urbanização.

Os históricos da produção e utilização do ferro e do aço serão aqui tratados de forma abreviada, pois não constituem o foco deste trabalho. Existem trabalhos onde esta abordagem histórica é bem mais elaborada ¹. O objetivo, aqui, é a contextualização.

5.1 Histórico no âmbito internacional

Transições entre períodos históricos são sempre graduais e ocorrem em lugares e momentos diferentes (devido à evolução diferenciada de cada grupo). Assim foi a transição da Idade da Pedra para a Idade dos Metais.

Foi no Período Neolítico (10 a 20 mil anos antes de nossa era) que povos da Idade da Pedra Polida passaram a apresentar um embrião da metalurgia. Primeiro descobriram o cobre, depois o bronze (cobre + estanho) e, muito depois, o ferro. Provavelmente o início da metalurgia tenha sido acidental. O uso dos metais era inicialmente tão raro que não veio a suplantá-lo, de imediato, o uso da pedra e da madeira, não introduzindo uma modificação brusca.

A fusão do ferro é notada na Ásia menor, em torno de 1500 a.C., difundindo-se lentamente e, alcançando a Europa em torno de 900 a.C. O método de obtenção do ferro, inicialmente, e posteriormente o aço, vem evoluindo ao longo da história. É decorrência de descobertas de processos de fabricação e dos avanços dos conhecimentos físicos e químicos dos materiais.

No período medieval houve o desenvolvimento da determinada Forja Catalã² que veio a dominar todo o processo de obtenção de ferro e aço durante a Idade Média. Todavia, do século VI ao século XIII só conseguem um fraco rendimento na produção do ferro e aço, pois a técnica continuava ainda sendo primitiva, resultando na produção do ferro com muitas impurezas. Raramente obtinha-se o aço. O ferro era obtido como uma massa pastosa que podia ser conformada pelo uso do martelo e não como um líquido injetado num molde. Até então, o ferro e o aço continuavam sendo mais usados para instrumentos da agricultura e armas.

1 Como por exemplo, no livro "Arquitetura do Ferro no Brasil", SILVA, G. G. e também em "Arte e técnica na formação do arquiteto", GRAEFF, E. A.

2 "A forja Catalã foi o processo intermediário entre os fornos de lupa e os alto-fornos que são utilizados até hoje. A forja catalã consistia numa lareira feita com pedras usando-se, para o sopro, foles manuais e, mais tarde, uma trompa d'água." Fonte: "Evolução dos processos siderúrgicos - Forja catalã" disponível em <http://www.infomet.com.br>.2007.

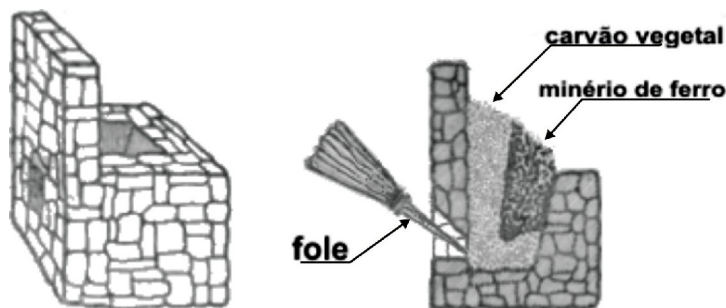


Figura 2 – Reconstituição de uma forja catalã.

Fonte: "Evolução dos processos siderúrgicos - Forja catalã" disponível em <http://www.infomet.com.br>. Acesso em agosto/ 2007.

No mundo Medieval a produção básica era agrícola, com o aproveitamento da terra baseado no sistema feudal. O objetivo de cada feudo era ser auto-suficiente. Porém, no fim da Idade Média, com o excedente de produção nos feudos, os homens passam a recorrer às trocas, favorecendo o incremento do comércio. Prepara-se então a Europa para testemunhar as primeiras intervenções do capitalismo e do esforço para a produção industrial. Novos pensamentos passam a dominar o panorama europeu, iniciando-se um novo período, qual seja, o Renascimento.

No Renascimento, o mundo passou por uma série de mudanças de caráter científico, tecnológico e de métodos de produção de bens. O comércio estimulou o surgimento das primeiras indústrias de caráter artesanal, baseadas no trabalho manual. A eficiência individual do artífice determinava o volume da produção. Para se protegerem da concorrência, os artesãos se associavam e surgiram as corporações de ofício. Só eram admitidos os que provavam a sua capacidade profissional. As corporações passaram a estabelecer normas e padrões. Começa então o embrião da produção organizada, no sentido atual, com o sentido da divisão de trabalho, com cada um produzindo aquilo para o que tem mais aptidão. Surge a divisão de trabalho.

Quanto ao ferro e o aço, somente no século XV, com a invenção do "alto forno"¹, alterou-se a escala e natureza da produção de ferro e aço. Antes desta invenção, o trabalho de sua produção era penoso, por isto mesmo, pouco utilizado.

A redução do minério de ferro em um alto forno permite que sejam atingidas temperaturas mais elevadas possibilitando uma maior absorção de carbono do carvão vegetal transformando-se em gusa² (ferro-gusa ou ferro fundido) que sai do forno no estado líquido incandescente. O alto-forno a carvão mineral apareceu por volta de 1630. Neste período ocorreu a transição do processo direto para o processo indireto de obtenção de aço. A partir de então, o objetivo é primeiro reduzir o minério em gusa, através do alto forno e, depois, refiná-lo para transformá-lo em aço.

¹ Alto forno é uma construção que é utilizada no processo siderúrgico para produção de ferro e aço. é onde se faz a redução do minério de ferro.

² Produto do alto-forno que será posteriormente refinado na aciaria.

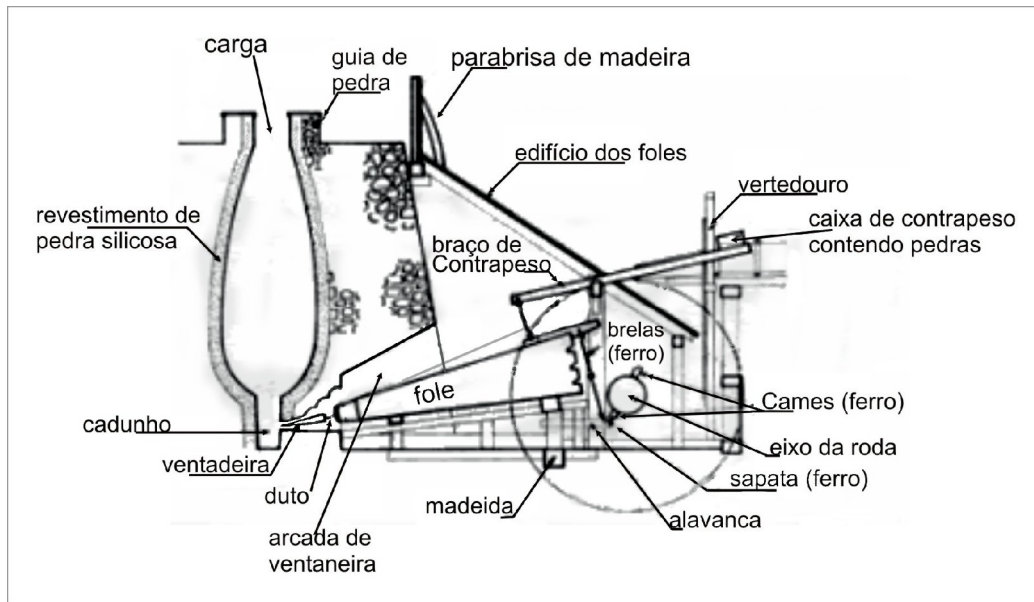


Figura 3 – Alto Forno de 1640 com acionamento hidráulico.

Fonte: "Evolução dos processos siderúrgicos – Alto Forno" disponível em <http://www.infomet.com.br>. Acesso em agosto/2007.

O rápido desenvolvimento dos métodos de refinação e de trabalho do ferro abriu caminho a novas utilizações do metal e à construção de máquinas industriais e, por conseqüência, à produção em quantidade de objetos metálicos de uso geral. Com a revolução científica vem o desenvolvimento de máquinas, com o intuito de aumentar a produção e poupar o esforço humano provocando a denominada Revolução Industrial.

No século XVIII, o panorama europeu já incluía o acúmulo de capital nas mãos da burguesia (obtido através do comércio de escravos, da exploração das colônias e do acúmulo de metais preciosos). As mudanças de conceitos religiosos e relações sociais (principalmente o protestantismo de Martim Lutero) favoreciam e preparavam o capitalismo.

A Inglaterra, pioneira na Revolução Industrial, mostrou-se um campo fértil para o desenvolvimento do capitalismo, puxando consigo o desenvolvimento da siderurgia. Uma série de fatores contribuiu, como a mão-de-obra disponível, o desenvolvimento de tecnologias de produção, o aumento do mercado consumidor externo e interno, a formação de uma cultura de capital e, o surgimento da cultura do "maquinismo" para diminuir esforços do homem.

Considerada a idéia de industrialização, no processo de produção, merece destaque a utilização do carvão mineral¹ para redução do minério de ferro. A Inglaterra foi favorecida por privilégios geológicos, pois possuía territórios economicamente próximos de jazidas de minério de ferro e de carvão mineral. Apesar de não ser o único país a produzir ferro, foi o primeiro a produzi-lo em escala considerável.

A expansão da Revolução Industrial modificou totalmente a metalurgia e o mundo. O uso de máquinas a vapor para injeção de ar no alto-forno, a invenção de

¹ O carvão mineral combustível mineral utilizado no processo siderúrgico.

laminadores, tornos mecânicos e o aumento de produção transformaram o ferro e o aço em produtos indispensáveis e logo também incorporados às construções.

Em 1779, construiu-se a primeira ponte de ferro, em Coalbrookdale, Inglaterra; em 1787, o primeiro barco de chapas de aço e muitas outras inovações. Novos programas de arquitetura foram criados para atender a nova forma de vida das pessoas, como por exemplo, construção de fábricas, galerias comerciais e estações ferroviárias. Nenhum dos novos usos do aço, no entanto, contribuiu de maneira mais decisiva para o desenvolvimento da indústria siderúrgica que as ferrovias, ensejando a perspectiva de produção de ferro e aço em uma escala nunca vista anteriormente.



Fotografia 3 – Ponte de ferro, em Coalbrookdale, Inglaterra.

Esta ponte é um ícone da arquitetura de ferro e aço.

Foi construída por Abraham Darby III, um industrial que visava vencer os inconvenientes da travessia dos 60 m sobre o rio Severn. Foi executada totalmente em ferro fundido., sendo considerada um avanço tecnológico, embora utilizando, ainda, os princípios construtivos de pontes de madeira e pedra. Esta, resiste até os dias de hoje.

Fonte: Disponível em <http://www.tschoepe.de>.

Acesso em janeiro/2009.

Em princípio, na construção civil, o ferro e o aço foram utilizados para solucionar problemas de grandes vãos, como os de pontes. Constituíram também, uma solução mais duradoura perante os incêndios, em coberturas de igrejas e galpões fabris.

As fundições podem também reproduzir, de forma repetitiva, peças com detalhes ornamentais, antes exclusivos e artesanais. Colunas com capitéis, gradis, vigas e todo tipo de peça metálica é ornamentado à exaustão, de acordo com o gosto neoclássico ou eclético.

O movimento eclético na arquitetura rompe com as barreiras culturais que impunham o estilo clássico, definido a partir do renascentismo, com fortes influências greco-romanas e permite o uso mais intenso do aço para além de adornos, grades e pequenas peças de ligação. Além disso, a Europa e o Novo Mundo estavam encantados com os avanços da ciência e da tecnologia e o uso de novos materiais como o aço. O que eles traziam de novo para a construção eram os conceitos de:

- padronização;
- modulação;
- reprodução em larga escala de elementos repetitivos;
- procedimentos racionais de montagem em obra e;
- novos sistemas construtivos industrializados.

No século XIX estas idéias foram disseminadas e estabeleceram os fundamentos da construção industrializada. Tais características são exatamente as mesmas das construções de aço, atualmente. Houve um grande avanço tecnológico, mas no que se refere aos fundamentos, estes são válidos até hoje.

A versatilidade do aço quanto às suas características, na arquitetura, favoreceu a reprodutibilidade e montagem de construções, permitindo suprir tanto a necessidade de casas para os colonizadores na África, como a construção em larga escala de mercados municipais, estações ferroviárias e igrejas. Estas edificações podiam ser adquiridas através de catálogos de fabricantes e adaptados conforme a necessidade de cada local. As vendas de construções através catálogos partiam principalmente da Inglaterra, França e Bélgica.

A partir da Revolução Industrial tivemos inovações crescentes nos sistemas produtivos, no consumo, em tecnologia, em relacionamentos humanos, com a necessidade de surgimento de novos programas de arquitetura. O que o ferro tinha de mais novo era a sua escala de produção, que era industrial, e que se contrapunha a todo um processo quase artesanal de construção. O século XIX foi um período marcado pela combinação de novos materiais industriais: ferro e vidro, propiciando economia de tempo e dinheiro por serem apenas montados nos canteiros como um jogo de montar. São materiais modernos e iniciam uma nova página na estética e produção do espaço arquitetônico: a arquitetura de ferro e vidro. Toma forma a racionalização dos processos construtivos, caminhando-se então para a industrialização da construção. Não só o avanço tecnológico e industrial, mas também aspectos sócio-econômicos, científicos, culturais e ideológicos transformaram o setor.

Alavanca-se o método de produção industrial com base na racionalização de processos produtivos. Racionalizar a produção significa estudar os métodos de produção a fim de reduzir o tempo de trabalho e os tempos de máquina, para conseguir a melhor produtividade e a melhor rentabilidade. Estes são objetivos que reinam até hoje em qualquer sociedade capitalista. A industrialização se presta a atender estes anseios. A idéia de industrialização visa produção em série, economia, racionalidade, pré-fabricação, reprodução. Essas operações exigem um elevado grau de normalização e padronização. A padronização se afigura hoje como um dos instrumentos básicos da industrialização.

A partir daí, até os dias de hoje, o que se busca é o caminho da industrialização das construções que objetiva substituir métodos artesanais por métodos construtivos racionalizados, pela introdução da mecanização e da pré-fabricação, visando melhorar o binômio qualidade x preço. A padronização das peças é um conceito muito importante, pois como todo sistema industrializado, a repetitividade barateia o processo. A composição de uma obra com elementos pré-fabricados em indústrias especializadas favorece a melhor qualidade dos componentes e transforma o canteiro em um local de montagem. Para se conseguir uma construção industrializada é necessária uma estrutura sócio-econômica e metodologia apropriada de projeto e execução. Há que se ter um procedimento industrializado, baseado na mecanização e na organização programada para realização de obras com elementos produzidos em série ou com elementos construtivos funcionais integrados. Um procedimento industrializado sempre compreende operação no canteiro de obra e em indústria.

Com a globalização dos mercados e da produção, passou a ocorrer, instantaneamente, a busca universal dos consumidores pelos mesmos bens e serviços. No caso da indústria da construção, esta passa a ter que dominar as tecnologias que a coloque continuamente na competição global e também a se enquadrar em normas internacionais de standardização de procedimentos, em busca de qualidade e produtividade.

O aço, como material construtivo vem se apresentando, no cenário mundial de países desenvolvidos e em desenvolvimento, como uma tecnologia construtiva que atende aos anseios do mercado da construção. Suas possibilidades construtivas são amplas, permitindo estruturar qualquer tipo de arquitetura. É um material que propicia sistemas construtivos que são montados com velocidade. Este tempo ganho significa dinheiro.

5.2 Histórico no âmbito nacional

No Brasil, a atividade siderúrgica começou a aparecer de forma incipiente após a vinda da Família Real. Em 1818, as iniciativas de produção de ferro no Brasil esbarraram na qualidade do produto. Em geral rica em fósforo, a matéria prima então utilizada provocava a redução da ductibilidade¹ do material tornando-o quebradiço. Havia também a dificuldade de transporte do produto até centros consumidores, além da concorrência britânica. A relação entre a Inglaterra e a Coroa Portuguesa, onde o Brasil, devido ao bloqueio continental (Inglaterra não podia comercializar com os países da Europa), era um mercado em potencial para os ingleses. O Brasil passou então a importar a maior parte do ferro que consumia, sob forma de produtos acabados como grades, máquinas e, a partir de 1850, edifícios inteiros. Firms inglesas participavam também da implantação das ferrovias. Com isto o desenvolvimento da siderurgia nacional foi lento.

Desta época têm-se vários exemplares de edificações que, muitas vezes, eram adquiridas como um pacote completo, pré-fabricado, ou construídos com alvenaria, mas dotados de elementos decorativos de ferro ou aço, colocados nas fachadas para dar um ar mais “moderno” à edificação.



Fotografia 4 – Palacete do Engenho, Recife, PE. Exemplo de residência importada da Bélgica via Nova York (1895), com estrutura de ferro fundido.

Fonte: Arquitetura e Aço, p. 24, julho 2006.

¹ A ductilidade é a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper.



Fotografia 5 - Chalé de ferro da UFPA (Universidade Federal do Pará), com sistema construtivo Danly (sistema de vedação com chapas de aço estampadas e galvanizadas), em Belém, PA. Exemplo de residência importada nos fins da década de 1880, provavelmente da Bélgica.

Fonte: Silva, G.G. , Arquitetura do ferro no Brasil, p.209, 1986.

Durante a Primeira Guerra Mundial a demanda por ferro e aço aumenta e tem início uma produção mais significativa, sendo fundada a Siderúrgica Belgo Mineira, primeira usina a produzir aço no Brasil. Mas, basicamente, a política era de importação, alimentando o imaginário e o gosto da burguesia cafeeira, num país predominantemente agrário. Em 1929, com a queda da bolsa de Nova Iorque, ocorrem mudanças e o país começa a se transformar.

A partir de 1930, com o governo de Vargas, inicia-se um processo de investimentos na industrialização e também na produção siderúrgica, de modo a sustentar o desenvolvimento fabril.

Na década de 1940 inaugura-se a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e a Companhia Vale do Rio Doce. A produção destas usinas, a princípio, visa abastecer o “novo mercado”: as indústrias demandatárias de aço, como por exemplo, a automobilística e a de eletrodomésticos.

A partir da década de 1960 a siderurgia se desenvolve e amplia seu mercado com a implantação de novas usinas como a Cosipa e a Usiminas. Experiências com o uso do aço como estrutura metálica ou como base de sistema construtivo ainda eram incipientes.

A siderurgia, visando o mercado de construção, atinge um patamar de excelência a partir da década de 1980. Atualmente, o aço produzido no país, voltado para a construção, possui os mais importantes certificados de qualidade exigidos mundialmente. Isto porque a construção civil tornou-se um ótimo mercado para a siderurgia. No anseio de atender este mercado começaram a ser produzidos os primeiros aços para a construção civil: os aços de alta resistência mecânica e os patináveis.

Na arquitetura, a partir da década de 1920 já ocorria um importante desenvolvimento de uma tecnologia nacional para o concreto armado. Esta possibilitou aos arquitetos e aos engenheiros encantar o mundo com formas e volumes. A arquitetura e a engenharia brasileira tiveram o seu ápice e seu grande destaque no cenário internacional, apresentando novas soluções estéticas e construtivas, nas obras de

arquitetos modernistas como Lúcio Costa e, principalmente, Oscar Niemeyer. O grande diferencial destas arquiteturas estava justamente na forma criativa e inesperada da utilização da tecnologia do concreto com relação aos sistemas construtivos convencionais. Conferiram aos edifícios uma nova linguagem arquitetônica, explorando limites na engenharia e evidenciando as qualidades plásticas potenciais do concreto, chegando a se falar numa “Escola Brasileira”.

O aço passou a ser explorado na arquitetura brasileira a partir da década de 1950. Vários arquitetos passaram a experimentar a incipiente disponibilidade do material para a construção civil. Segundo ZANETTINI, S.¹, um dos arquitetos pioneiros no uso do aço, em seus primeiros projetos de treliças metálicas chegou a utilizar trilhos de bonde que haviam sido retirados da cidade de São Paulo. A arquitetura em aço, a partir deste período, segue evoluindo atrelada ao movimento da arquitetura moderna brasileira. Arquitetos como, por exemplo, Sérgio Bernardes, Affonso Eduardo Reidy, Carlos Bratke, João Walter Toscano, bem como Oscar Niemeyer e Lucio costa, e, muitos outros, experimentaram ou ainda experimentam projetos com o uso do aço.

Hoje, nos encontramos num momento propício para explorar o aço como material construtivo e, talvez, gerar uma nova fase para arquitetura brasileira. Fatores como a disponibilidade e a qualidade do material no mercado; tendências de projetos racionalizados e pré-fabricados; arquiteturas arrojadas e com leveza; questões ecológicas como reciclagem e diminuição do uso de água nas construções (filosofia da construção enxuta); arquiteturas tipo escultura, com desenvolvimento em *softwares* em 3D (três dimensões); dentre outros, têm atraído arquitetos e engenheiros para o incremento da utilização do aço na construção.

Aqui no Brasil, sabe-se que por questões econômicas, sociais e culturais, o uso da tecnologia em aço na construção civil, em geral, ainda pressupõe um custo maior do que um sistema construtivo convencional de concreto e alvenaria. Ainda hoje, privilegia-se o uso da estrutura de concreto armado, por ser mais conhecida, tanto pela mão-de-obra de execução como de profissionais de nível superior, como os projetistas e planejadores dos empreendimentos. O concreto era o principal material que se tinha em mãos para trabalhar. Portanto prevalece, ainda, como inibidor do uso do aço o desconhecimento técnico, tecnológico e também cultural, implicando obviamente em questões financeiras, decorrentes da pouca demanda do mercado.

Países como Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha possuem um grande *know how* em construções metálicas. Há longa data eles já tinham o material disponível para trabalhar e desenvolver tecnologia, principalmente com o custo acessível. Era o que eles tinham nas mãos.

No Brasil, quanto ao conhecimento da tecnologia, poucos arquitetos e engenheiros sabem responder com convicção a respeito do assunto. Por quê? Ao longo de várias gerações a formação destes profissionais sempre foi mais voltada para utilização do concreto. Nas universidades, sempre houve muito mais disciplinas voltadas para o estudo do concreto do que do aço, formando então, praticamente, leigos no assunto. Como agravante, as disciplinas envolvendo tecnologia, projeto e teoria, normalmente são apresentadas de forma segmentada. O uso do aço na construção civil brasileira depende, primeiramente, de um ensino universitário que possa revelar aos alunos, em sua formação, não só as qualidades do material e sua capacidade tecnológica, mas também, e principalmente, discutir o seu potencial estético e inovador e de

1 ZANETTINI, S. A arquitetura de Zanettini. Disponível em: <<http://www.cbca.com.br>> Acesso em janeiro/2009.

racionalização da construção. Não que se deva fazer uma apologia do uso do aço, mas oferecer as bases para que se opte ou não pelo uso do material, enfocando, inclusive, aspectos regionais que se integrem mais com a sociedade e a cultura local. A evolução da construção metálica depende da divulgação do sistema construtivo em aço, que só se tornará realidade com a difusão do conhecimento técnico e tecnológico envolvido.

Durante a década de 1990 vários fatores levaram à busca de modernização do setor da construção civil no Brasil . A abertura do mercado internacional, o fim da inflação, o código de defesa do consumidor, entre outros fatores,impulsionaram o setor a se remodelar. Com a estabilidade econômica, os preços de venda dos imóveis baixaram e as empresas se viram obrigadas a reduzir os custos de produção e a buscar maior produtividade e qualidade, como fatores de competitividade no mercado e obtenção de lucro. Racionalização e industrialização da construção passaram a ser caminhos a serem perseguidos. Sistemas de gestão da qualidade e sistemas inovadores de tecnologia construtiva passaram a ser estudados e implementados. Houve uma mudança conceitual. Neste contexto, principalmente visando racionalização, industrialização da construção e qualidade, o aço, como tecnologia construtiva, muito tem a oferecer e a colaborar com o desenvolvimento do país.

5.3 O consumo atual do aço na construção

O consumo brasileiro anual de aço estrutural *per capita* está em torno de 3 quilogramas, considerando o Brasil com 169 milhões de habitantes, segundo dados mais recentes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), enquanto nas nações mais desenvolvidas consomem-se cerca de 30 quilos por habitante.

O uso do aço estrutural na construção civil no Brasil, embora mais recente e de pequeno volume, quando comparado ao que ocorre nos Estados Unidos, Japão e países da Europa, vem crescendo de forma consistente. Há uma abundante oferta de aço e as grandes empresas do setor estão investindo na divulgação das diferentes aplicações e forma de utilização do aço estrutural, além de desenvolverem tecnologias e serviços que facilitam as atividades dos usuários. Projetos de grande porte têm ajudado a difundir a qualidade, a rapidez de construção, a funcionalidade e a beleza das estruturas metálicas.

No Brasil, embora não existam ainda estatísticas consistentes e sistemáticas sobre o uso do aço estrutural na construção civil, os estudos já efetuados são bastante positivos, demonstrando um acentuado crescimento da utilização de estruturas metálicas. Quanto ao uso de aço especificamente em residências, não foram encontrados dados estatísticos. Também, não poderia ser diferente, pois não temos uma tradição no uso do aço em residências. Na construção em geral, os sistemas construtivos que utilizam o aço como estrutura representam menos de 10% do total.

Gráfico 1 – Consumo Aparente de Aço na Construção Predial.
Fonte: Usiminas / IBS, apud Castro, A. A., 2002

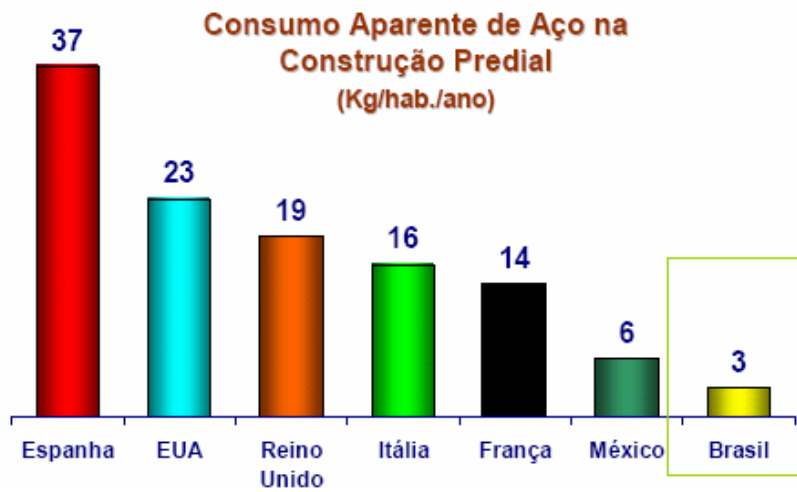


Gráfico 2 – Consumo Aparente de Aço.
Fonte: Usiminas / IISI / FMI / Unites Nations Statiscs apud Castro, A. A., 2002.

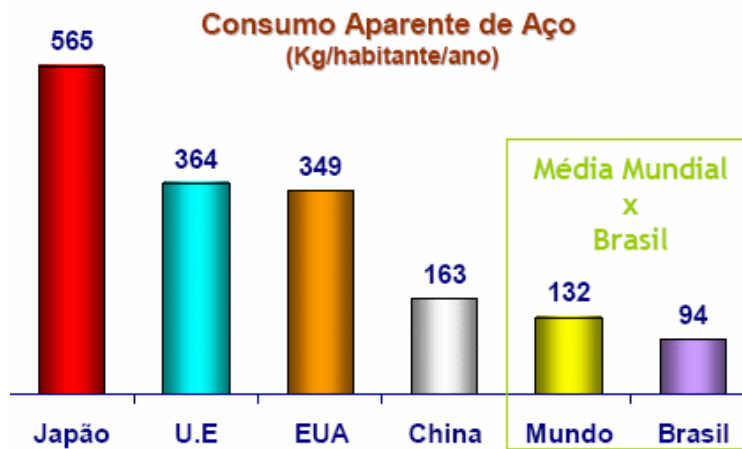


Gráfico 3 – Consumo Per Capta de Aço.
 Fonte: Usiminas / IISI. apud Castro, A. A., 2002.

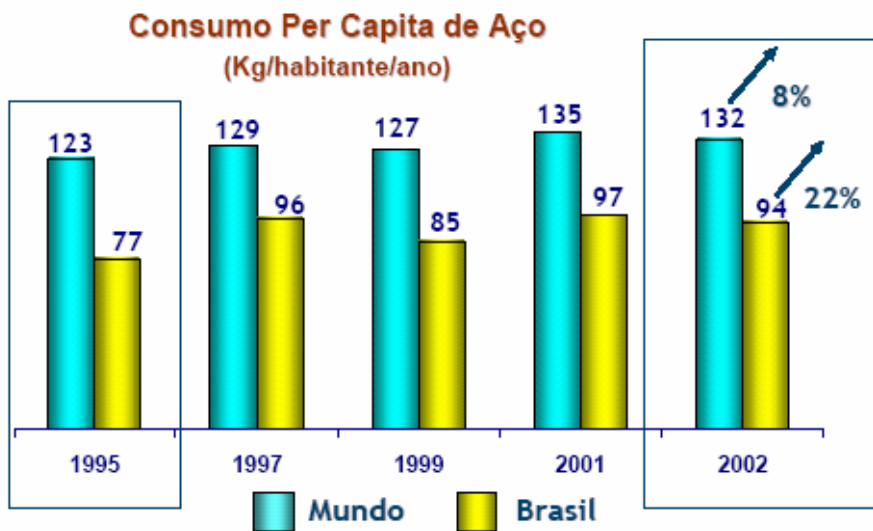
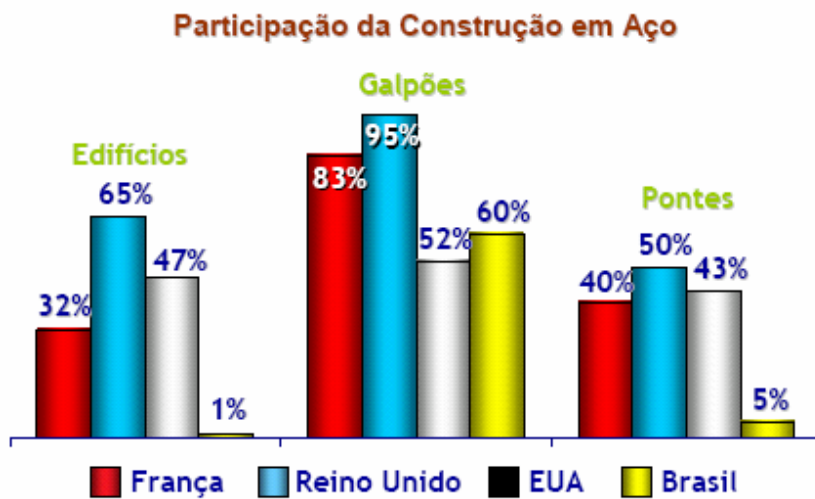


Gráfico 4 – Participação da Construção em aço.
 Fonte: Usiminas / Corus / Usiminas (1999) apud Castro, A. A., 2002.



Estudos comparativos, disponíveis no site do Centro Brasileiro da Construção em Aço, demonstram a evolução do aço no mercado da construção.

Gráfico 5 – Participação no mercado.

Fonte: <http://www.cbca-ibs.org.br>. Acesso em janeiro/ 2007.

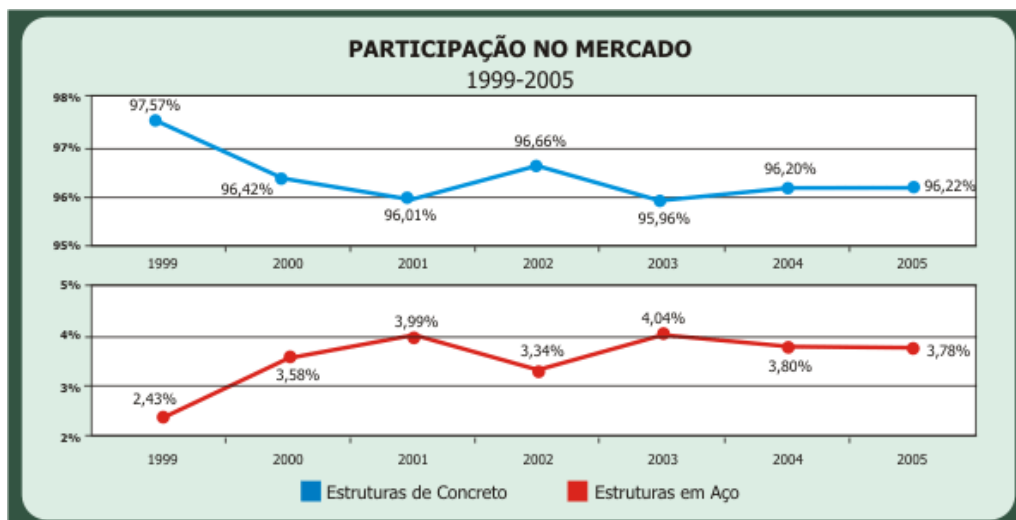


Gráfico 6 – Evolução da participação no mercado.

Fonte: <http://www.cbca-ibs.org.br>. Acesso em janeiro/ 2007.

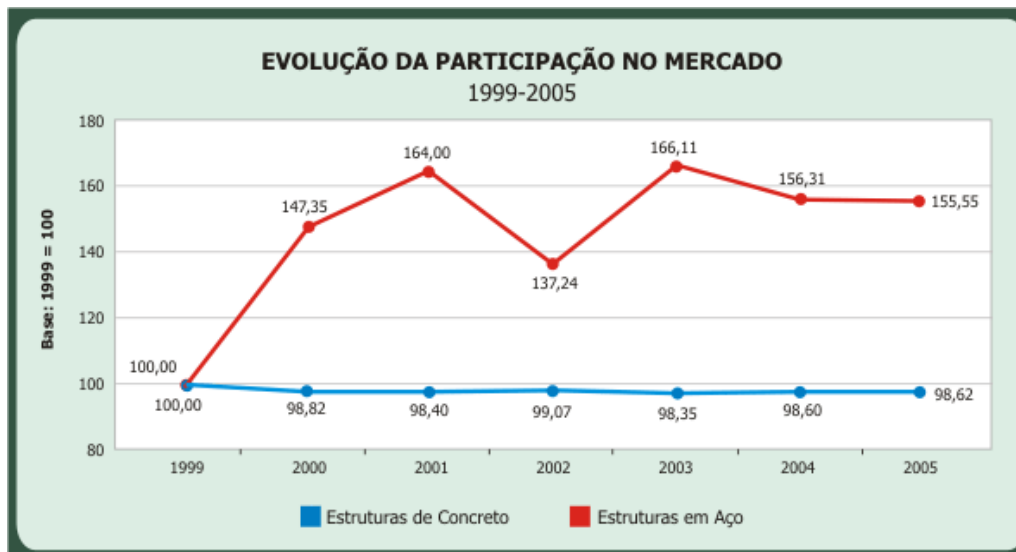
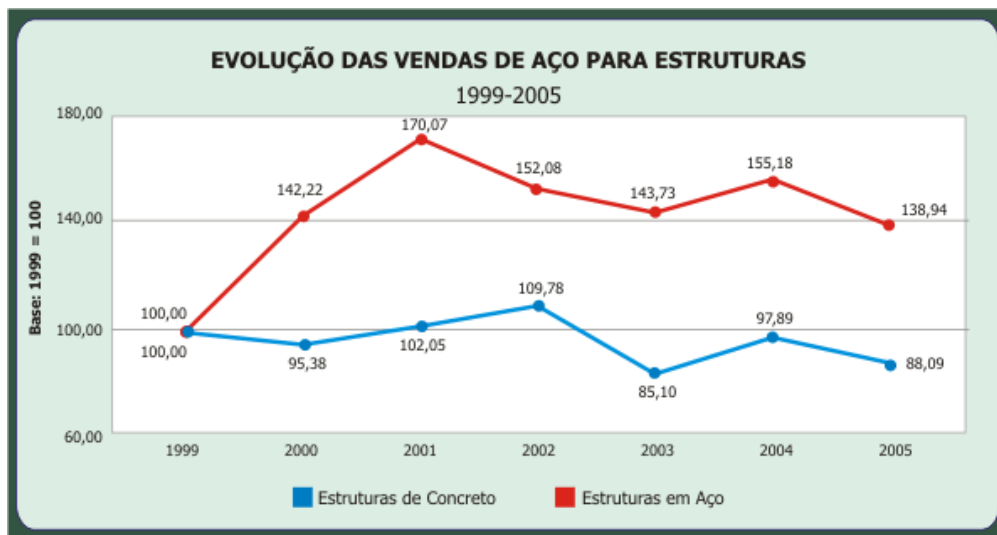


Gráfico 7 – Evolução das vendas de aço para estrutura.
Fonte: <http://www.cbca-ibs.org.br>. Acesso em janeiro/ 2007.



6 O material aço: processo de fabricação e características

Quando se opta pela utilização de um material, existem informações que se pressupõe ter sob domínio, como por exemplo, qual a sua origem, o que significa sua utilização na construção, quais suas possibilidades tecnológicas, o que sua natureza oferece e de que forma explorá-la. A fabricação do aço é um processo industrializado, dentro de um contexto geral, é importante conhecê-lo.

O aço é uma liga de ferro e carbono, geralmente contendo manganês, silício e fósforo, entre outros elementos, que conferem ao aço certas propriedades. A quantidade de carbono é o que confere ao aço seus diferentes níveis de resistência e dureza. Este teor pode variar de 0,003% em aços ultra-baixo carbono até 2,0% em aços alto carbono. Com relação a este parâmetro, podem ser classificados como: extra baixo carbono, baixo carbono, médio carbono e alto carbono.

A obtenção do aço é feita através de um processo siderúrgico. A siderurgia é a metalurgia específica do ferro e do aço. De forma global e sucinta, será apresentado o processo siderúrgico, desde a chegada da matéria prima ao produto final.

6.1 O processo siderúrgico

6.1.1 Obtenção das matérias primas

Basicamente, para fabricação do aço são necessárias duas matérias primas: o minério de ferro e o carvão mineral ou vegetal (fonte de carbono).

O minério de ferro é constituído principalmente de ferro e oxigênio, associados de forma compacta, como uma pedra, na forma de óxido de ferro (como a ferrugem) e sílica (como areia). Para a fabricação do aço, necessita-se apenas do ferro, portanto, tem-se que remover o oxigênio e a sílica contidos no minério.

O ferro é encontrado em toda crosta terrestre. Para as usinas, no Brasil, o minério é proveniente dos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul. Este chega às usinas siderúrgicas através de ferrovias, onde é descarregado em pátios de matérias primas.

O carvão mineral é constituído de carbono, cinzas e de elementos voláteis como benzina e piche. É um mineral de cor preta ou marrom prontamente combustível. Este exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro do equipamento chamado alto forno. No Brasil, as principais reservas de carvão mineral estão situadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Antes de serem levados ao alto forno, o minério de ferro e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério é

transformado em pelotas e o carvão é destilado, para obtenção do coque, dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos. O que interessa, na fabricação do aço, é o carbono contido no carvão mineral.

Outra fonte de carbono utilizada para a fabricação do aço é o carvão vegetal, resultante da queima incompleta da madeira. O carvão vegetal, por seu alto teor de carbono e baixo teor de outros elementos, não necessita de nenhum tratamento adicional de redução para sua utilização no fabrico do ferro gusa (estágio preliminar à fabricação do aço).

A utilização de carvão mineral ou vegetal depende da adequação da tecnologia ao tipo de usina. Numa usina de grande porte, o carvão mineral é competitivo. Em usinas menores, o carvão vegetal atende como tecnologia e, muitas possuem uma política de reflorestamento e desenvolvimento sustentável para a manutenção deste sistema.

A fabricação do aço pode ser dividida em quatro etapas: preparação dos materiais, redução, refino e laminação.

6.1.2 Preparo dos materiais

6.1.2.1 Coqueria

Na coqueria é feita a transformação do carvão mineral em coque metalúrgico, que é uma das matérias primas para o alto forno.

O processo de coqueificação implica na destilação a seco do carvão mineral em ausência de ar, em fornos específicos, a uma temperatura de aproximadamente 1100°C. Como resultado obtém-se o coque, que é um produto sólido, e material volátil. O coque serve para alimentar o alto forno. Do material volátil, através de processos de condensação, destilação, resfriamento e outros, são originados produtos carboquímicos (como por exemplo, o piche) que são comercializados pelas siderúrgicas.

No alto forno, uma das funções do coque é fornecer o calor necessário às necessidades térmicas do processo. O coque metalúrgico é a matéria prima mais importante na composição do custo da produção do alto forno.

6.1.2.2 Sinterização

A sinterização fabrica o sinter, que é um agregado que é adicionado à carga do alto forno. O sinter é produzido a partir do minério de ferro e alguns fundentes. É um produto resultante da queima da mistura de finos de minério de ferro, moinha de coque, finos de calcário, areia sílica e finos do próprio sinter. É uma tecnologia que foi criada com o objetivo de aproveitar os minérios finos (quantidade crescente no mundo) e os resíduos industriais.

Este agregado permite um maior rendimento do alto forno e também uma melhor qualidade do ferro gusa (produto resultante da redução do minério de ferro).

6.1.3 Redução

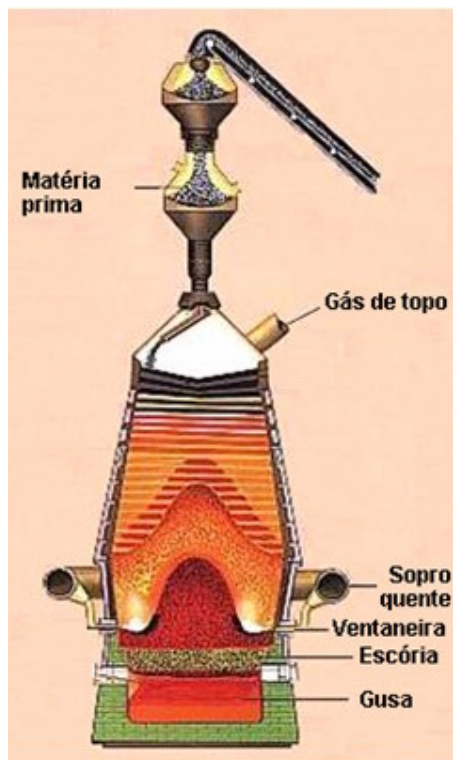
6.1.3.1 Alto forno

No alto forno é onde ocorre a redução do minério de ferro em ferro gusa. O coque metalúrgico é usado como agente redutor e ainda é considerado o melhor combustível para isto.

O alto forno é carregado pela parte superior com minério de ferro, sinter, coque, calcário e outros materiais convenientemente dosados.

Ao entrar em contato com o ar quente (1000° C) soprado através de ventaneiras (parte inferior do forno), o coque entra em combustão, gerando calor, reduzindo o minério de ferro, gerando o ferro gusa e escória. No interior do forno a temperatura chega a 1500° C. Nesta fase ocorre a remoção do oxigênio contido nos óxidos do minério de ferro (ferrugem) com auxílio do carbono do carvão. O produto resultante é o ferro com impurezas como carbono, fósforo, enxofre e silício: o ferro gusa.

O ferro gusa é a principal matéria prima para a fabricação do aço. A escória gerada é descartada e vendida para fabricação de cimento. O ferro gusa é enviado, através de carros torpedo, para aciaria, onde se dá a fabricação do aço.



Tipos de usinas de aço, segundo o seu processo produtivo:

Integradas - que operam as três fases básicas: redução, refino e laminação;

Semi-integradas - que operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridas de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação.

Não-integradas - que operam apenas uma fase do processo: redução ou laminação.

Figura 4 – Esquema simplificado de um alto forno.

Fonte: Departamento de ciência dos materiais e metalurgia- Pontifícia Universidade Católica- Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.dcm.puc-rio.com.br>. Acesso em julho/2008.

6.1.4 Refino

6.1.4.1 Aciaria

Para a transformação do ferro gusa em aço, é necessário limpá-lo ainda mais, e também, dependendo do tipo de aço que se queira obter, promover adições.

Na aciaria o ferro gusa é reduzido, diminuindo o teor de carbono (até o máximo de 2%) e outras impurezas. Esta operação é feita em um conversor, através do sopro de oxigênio, que gera grande quantidade de calor (1700°C), resultando em aço em estado líquido.

O aço é então vazado em panelas e colocado nas lingoteiras (moldes) para formação de lingotes que são direcionados à área de laminação. Os lingotes são produtos semi-acabados e possuem a forma de tarugos, perfis ou placas.

6.1.5 Laminação

Na laminação os lingotes são transformados através de equipamento denominado laminador. As placas podem ser transformadas em chapas grossas ou finas ou em perfis.

As chapas grossas (6 a 150 mm) ou bobinas (2 a 13 mm) são obtidas através de laminadores por processo a quente (1200° C). A placa de aço re-aquecida passa sucessivas vezes entre dois cilindros, reduzindo sua espessura e aumentando seu comprimento. As bobinas ou chapas de aço laminadas a quente são largamente empregadas na construção civil para fabricação de estruturas metálicas e tubos.

As chapas finas (0,45 a 3 mm) são obtidas a partir das bobinas produzidas a quente, por meio de laminador de tiras a frio, processo a frio. Sua principal utilização é na fabricação de painéis, carros e eletrodomésticos.

Os perfis laminados, cujo processo de produção é igual, até o estágio do lingotamento, são obtidos através da geração inicial de tarugos, em vez de placas, que após serem reaquecidos, entram na linha de laminação de perfis para serem conformados a quente, nas diversas bitolas padronizadas.

Fluxo Simplificado de Produção

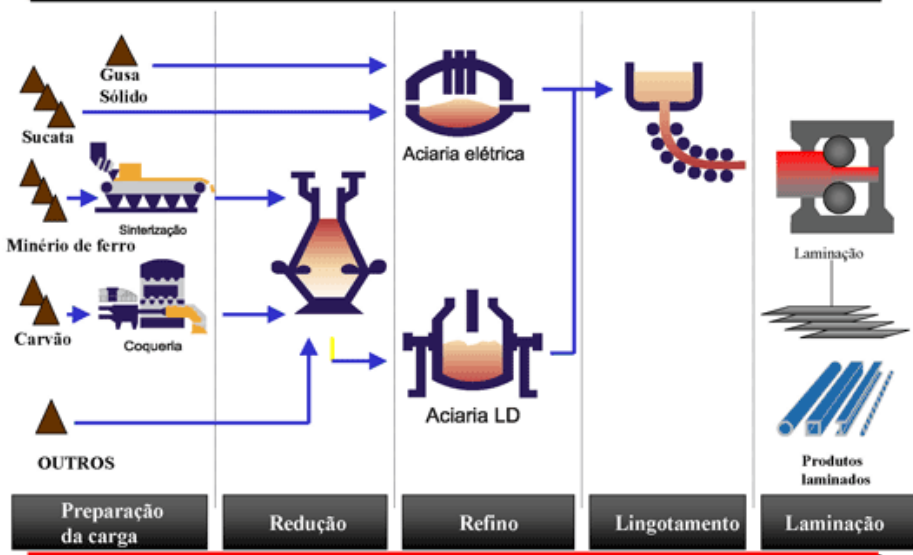


Figura 5– Fluxo da Produção do aço.

Fonte: <http://www.ibs.com.br>. Acesso em setembro/ 2006.

6.1.6 Reciclagem

O aço é um material totalmente reciclável. Em seu processo de fabricação, como parte da matéria prima, pode ser utilizada a sucata de aço. A quantidade sucata utilizada pode variar de 20% a 100%, dependendo do processo utilizado, que pode ser repetido continuamente.

6.2 A estrutura do aço como material

Conforme FERRAZ, H.¹, o aço, como os demais metais, se solidifica pela formação de cristais, que vão crescendo em diferentes direções, formando os denominados eixos de cristalização. A partir de um eixo principal, crescem eixos secundários, que por sua vez se desdobram em novos eixos e assim por diante, até que toda a massa do metal se torne sólida. O conjunto formado pelos eixos principal e secundários de um cristal é denominado dendrita. Quando duas dendritas se encontram, origina-se uma superfície de contato e, ao término do processo de cristalização, formam cada uma os grãos que compõem o metal. Todos os metais, após sua solidificação completa, são constituídos por inúmeros grãos, justapostos e unidos.

¹ FERRAZ, H. Revista Eletrônica de Ciências - Número 22 - Outubro / Novembro / Dezembro de 2003. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br>> Acesso em agosto/2006.



Figura 6– Esquema estrutural de uma dendrita .

Fonte: Ferraz, H., disponível em: [http://www.revista eletrônica de ciências](http://www.revista_eletronica_de_ciencias.com.br). Acesso em janeiro/ 2007.

Para lembrar:

O comportamento do material depende da microestrutura. Nos sólidos, os átomos se organizam de forma

molecular
cristalina
vítreas

A formação de cristais no ferro ocorre segundo dois tipos de reticulados: o α e o β . Ambos fazem parte de um sistema cristalino cúbico, ou seja, a unidade básica do cristal tem a forma de um cubo. No primeiro tipo de reticulado (α) denominado cúbico de corpo centrado (CCC), ao isolar-se a unidade básica do cristal, verifica-se que os átomos de ferro localizam-se nos oito vértices e no centro do cubo, enquanto que no segundo (β) agora denominado cúbico de face centrada, os átomos ficam posicionados nos oito vértices e no centro de cada face do cubo.

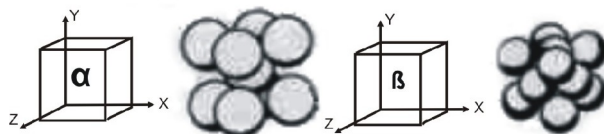


Figura 7– Estrutura cúbica de corpo centrado e cúbica de face centrada: representação esquemática e tridimensional.

Fonte: Ferraz, H., disponível em: [http://www.revista eletrônica de ciências](http://www.revista_eletronica_de_ciencias.com.br). Acesso em janeiro/ 2007.

Além do ferro, o aço apresenta em sua constituição carbono e elementos de liga. Estes elementos vão formar, junto com o ferro, uma solução e, de acordo com a temperatura e a quantidade de carbono presente, haverá a formação de um determinado tipo de reticulado.

O aço é constituído de um agregado cristalino, cujos cristais (grãos) se encontram justapostos. As propriedades dos aços dependem muito de sua estrutura cristalina, ou seja, de sua composição química, do tamanho dos grãos e de sua uniformidade. Os tratamentos térmicos, bem como os trabalhos mecânicos, modificam em maior ou menor intensidade alguns destes aspectos (arranjo, dimensões, formato dos grãos) e, conseqüentemente, podem levar a alterações nas propriedades de um determinado tipo de aço, conferindo-lhe características específicas: mole ou duro, quebradiço ou tenaz, etc.

6.3 Propriedades do aço para o uso em edificações

Segundo PANNONI, no artigo “Aços estruturais”, as propriedades dos aços, bem como as de quaisquer material para a construção, são de fundamental importância. Pois são nestas propriedades que são expressos parâmetros para projeto e execução. Cada propriedade a ser considerada está associada à habilidade do material resistir às forças mecânicas e/ ou, de transmiti-las.

Em edificações o aço pode ser utilizado de diversas formas, como por exemplo, na estrutura, nas vedações, nas coberturas ou simplesmente em detalhes construtivos ou em outros componentes como portas, janelas, escadas, etc.

Sua principal utilização é como estrutura. As propriedades de um aço estrutural a serem consideradas são:

- **a elasticidade**, que é a propriedade do metal de retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante. Deste modo, a deformação segue a Lei de Hooke, sendo proporcional ao esforço aplicado: $P = \mu \cdot E$

onde: P = tensão aplicada; e μ = deformação (E = módulo de elasticidade do material – módulo de Young).

Ao maior valor de tensão para o qual vale a Lei de Hooke, denomina-se limite de proporcionalidade. Ao ultrapassar este limite, surge a fase plástica, onde ocorrem deformações crescentes mesmo sem a variação da tensão: é o denominado patamar de escoamento. Alguns materiais – como o ferro fundido ou o aço liga tratado termicamente – não deformam plasticamente antes da ruptura, sendo considerados materiais frágeis. Estes materiais não apresentam o patamar de escoamento.

- **a plasticidade**, é a propriedade inversa à da elasticidade, ou seja, do material não voltar à sua forma inicial após a remoção da carga externa, obtendo-se deformações permanentes. A deformação plástica altera a estrutura de um metal, aumentando sua dureza. Este fenômeno é denominado endurecimento pela deformação à frio ou encruamento.
- **a ductilidade** é a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper, daí sua grande importância, já que estas deformações constituem um aviso prévio à ruptura final do material, o que é de extrema importância para prevenir acidentes em uma construção, por exemplo.
- **a fragilidade**, oposto à ductilidade, é a característica dos materiais que rompem bruscamente, sem aviso prévio (um dos principais fatores responsáveis por diversos tipos de acidentes ocorridos em pontes e navios).
- **a resiliência** é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou seja, a capacidade de restituir a energia mecânica absorvida.
- **a tenacidade** é a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até a ruptura. Assim, um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil irá requerer maior energia para ser rompido, portanto é mais tenaz.
- **a fluência** é mais uma outra propriedade apresentada pelo aço e metais em geral. Ela acontece em função de ajustes plásticos que podem ocorrer em pontos de tensão, ao longo dos contornos dos grão do material. Estes pontos de tensão aparecem logo após o metal ser solicitado por uma carga constante, e sofrer a deformação elástica. Após esta fluência ocorre a deformação contínua, levando a uma redução da área do perfil transversal da peça (denominada estrição). Tem relação com a temperatura a qual o material está submetido: quanto mais alta, maior ela será, porque facilita o

início e fim da deformação plástica. Nos aços, é significativa para temperaturas superiores a 350° C, ou seja, em caso de incêndios.

- **a fadiga**, sendo a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos. A ruptura por fadiga é sempre uma ruptura frágil, mesmo para materiais dúcteis.
- **a durabilidade** do aço está relacionada à necessidade de proteção. O aço é obtido de minérios através de redução de óxidos (estado de mais baixa energia – maior estabilidade). Existe a tendência de retorno ao estado original (óxido), tendo então, a necessidade de proteção contra oxidação (corrosão).
- **a dureza**, que é a resistência ao risco ou abrasão: a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. Sua análise é de fundamental importância nas operações de estampagem de chapas de aços¹.

Estas propriedades podem ser modificadas durante o processo de fabricação. Os aços podem passar por tratamentos térmicos ou podem ser feitas adições de elementos de liga que controle estes parâmetros destas propriedades.

6.4 Tratamentos térmicos dos aços

Tratamentos térmicos são o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento. Seus principais objetivos são:

- aumentar ou diminuir a dureza;
- aumentar a resistência mecânica;
- melhorar resistência ao desgaste, à corrosão, ao calor;
- modificar propriedades elétricas e magnéticas;
- remover tensões internas, provenientes por exemplo de resfriamento desigual;
- melhorar a ductilidade, a trabalhabilidade e as propriedades de corte;

Dentre os tratamentos térmicos mais utilizados, encontra-se o recozimento, a normalização, a têmpera e o revenido.

6.4.1 Recozimento

No recozimento a velocidade de esfriamento é sempre lenta e o aquecimento pode ser feito a temperaturas superiores à crítica (recozimento total ou pleno) ou inferiores (recozimento para alívio de tensões internas). É utilizado quando se deseja:

- remover tensões devido a tratamentos mecânicos à frio ou à quente, tais como o forjamento e a laminação;

¹ Pannoni, F. D, "Aços estruturais". Disponível em <http://www.cbca-ibs.org.br>, acesso em abril/2006.

- diminuir a dureza para melhorar a usinabilidade do aço;
- alterar propriedades mecânicas;
- ajustar o tamanho dos grãos.

6.4.2 Normalização

A normalização é um tratamento semelhante ao anterior quanto aos objetivos. A diferença consiste no fato de que o resfriamento posterior é menos lento. Visa refinar a granulação grosseira de peças de aço fundido, e pode ser também aplicada em peças previamente laminadas ou forjadas, ou seja, na maioria dos produtos siderúrgicos. É também usada como tratamento preliminar à tempera e ao revenido, visando produzir uma estrutura mais uniforme e reduzir empenamentos.

6.4.3 Têmpera

A têmpera consiste no resfriamento rápido da peça de uma temperatura superior à crítica, com a finalidade de se obter uma estrutura com alta dureza (denominada estrutura martensítica). Embora a obtenção deste tipo de estrutura leve a um aumento do limite de resistência à tração do aço, bem como de sua dureza, há também uma redução da maleabilidade e o aparecimento de tensões internas. Procuram-se atenuar estes inconvenientes através do revenido.

6.4.4 Revenido

O revenido geralmente sucede à têmpera, pois além de aliviar ou remover tensões internas, corrige a excessiva dureza e fragilidade do material e aumenta a maleabilidade e a resistência ao choque. Aumenta, portanto, a ductilidade e a elasticidade do aço.

A temperatura de revenido e o tempo de manutenção desta temperatura influem nas propriedades finais obtidas no aço: quanto mais tempo e/ou maior temperatura, mais dúctil se torna o aço. A temperatura de revenido normalmente situa-se entre 150°C e 600°C, e o tempo de duração entre 1h e 3h. Todavia, quanto maior a temperatura empregada, mais o revenido tende a reduzir a dureza originalmente obtida na têmpera.

Os elementos de liga contidos no aço também influem no revenido, mudando o comportamento do aço no processo.

6.5 Tipos de aços para a construção

Para a concepção do projeto arquitetônico com aço estrutural e a adoção de uma boa solução temos que conhecer os tipos, as formas, as propriedades e tudo o que o aço tem a oferecer, ajudando a distinguir e apontar a melhor solução.

Existe uma diversidade muito grande de tipos de aços. Esta variedade decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas ou, ainda, na conformação adequada (chapas, perfis, tubos, barras, etc.).

Com foco na construção civil e na tipologia de residência unifamiliar, serão apresentados apenas os aços de interesse neste âmbito.

O interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Aços estruturais são vergalhões para reforço de concreto, barras, chapas e perfis para aplicações estruturais. São aqueles que são adequados para o uso em elementos que suportam cargas. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são:

- *elevada tensão de escoamento para prevenir a deformação plástica generalizada;*
- *elevada tenacidade para prevenir fratura rápida (frágil) e catastrófica;*
- *boa soldabilidade para o mínimo de alterações das características do material na junta soldada;*
- *homogeneidade microestrutural;*
- *susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento;*
- *boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos;*
- *custo reduzido¹.*

Os aços estruturais podem ser aço carbono comum e aço liga.

¹ Pannoni, F. D, "Aços estruturais". Disponível em <http://www.cbca-ibs.org.br>, acesso em abril/2006.

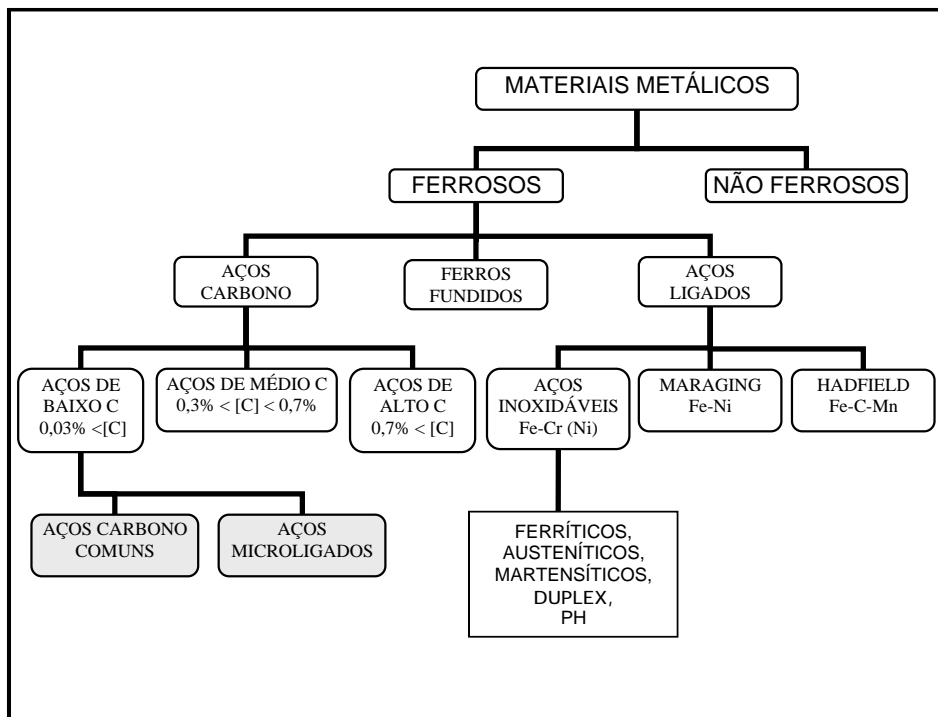


Figura 8– Fluxograma de desenvolvimento dos materiais metálicos para fabricação do aço .

Fonte: Pannoni, F. D, "Aços estruturais". Disponível em <http://www.cbca-ibs.org.br>, acesso em abril/2006.

6.5.1 Aço Carbono comum

Aço carbono é aquele não contém elementos de liga. Possui em sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos químicos carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo. Outros elementos químicos existem apenas em quantidades residuais (cromo 0,20%, níquel 0,25% etc e no qual os teores de silício e manganês não ultrapassem limites máximos de 0,60% e 1,65% respectivamente), resultantes dos processos de fabricação.

Os aços, em geral, são classificados em Grau, Tipo e Classe. O Grau normalmente identifica a faixa de composição química do aço. O Tipo identifica o processo de desoxidação utilizado, enquanto que a Classe é utilizada para descrever outros atributos, como nível de resistência e acabamento superficial. A designação do Grau, Tipo e Classe utiliza uma letra, número, símbolo ou nome. Existem vários sistemas de designação para os Aços, como o SAE (Society of Automotive Engineers), AISI (American Iron and Steel Institute), ASTM (American Society of Testing and Materials) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A normalização unificada vem sendo utilizada com frequência cada vez maior, e é designada pela sigla UNS (Unified Numbering System)¹. Na prática, o sistema de classificação mais adotado para os aços de uso estrutural é o ASTM. Neste sistema,

¹ Fonte: Aços- carbono, disponível em <http://www.infomet.com.br>, acesso em maio/2008.

os aços para uso estrutural são identificados pela letra A, seguida por dois, três ou quatro dígitos. Quando possuem a especificação de quatro dígitos são usados para aplicações de engenharia mecânica, máquinas e veículos. No anexo 1 encontra-se a tabela dos aços com as especificações gerais para os aços estruturais do grupo A, conforme o sistema ASTM. No anexo 2 encontra-se uma tabela que mostra equivalências entre especificações para alguns aços em outros sistemas.

Os aços-carbono são ligas de Ferro-Carbono contendo geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais. A quantidade de carbono presente no aço define sua classificação. Segundo Pannoni são classificados em:

- aços de baixo teor de carbono, cuja presença do elemento carbono chega no máximo a 0,3%. São aços que possuem grande ductilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral). Estes aços não são temperáveis;
- aços de médio carbono, possuem de 0,3 a 0,7% de carbono. São aços utilizados em engrenagens, bielas, etc. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência;
- aços de alto teor de carbono, com mais de 0,7% de carbono. São aços de elevada dureza e resistência após a tempera, e são comumente utilizados em molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas, etc.

Os aços carbono comuns são os mais amplamente utilizados dentre todos os aços estruturais. Eles dependem do teor de carbono para desenvolver sua resistência. Sua resistência aumenta com o teor de carbono e sua ductilidade diminui com o teor de Carbono. Dentre os aços carbono comuns, o ASTM¹ A36 é um aço típico deste grupo.

6.5.2 Aço-liga

É o aço carbono, que contém outros elementos de liga, ou apresentam os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais.

Não existe ainda uma classificação dos aços que possa ser considerada precisa e completa, principalmente com relação aos aços-liga. A cada dia surgem, com a inclusão de novos elementos, novos aços. Ainda assim, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a SAE (Society Automotive Engineers) e a ASTM (American Society for Testing and Materials), entre outras, possuem sistemas que têm atendido as atuais necessidades de classificação.

Os aços-liga, por sua vez, podem ser subdivididos em dois grupos:

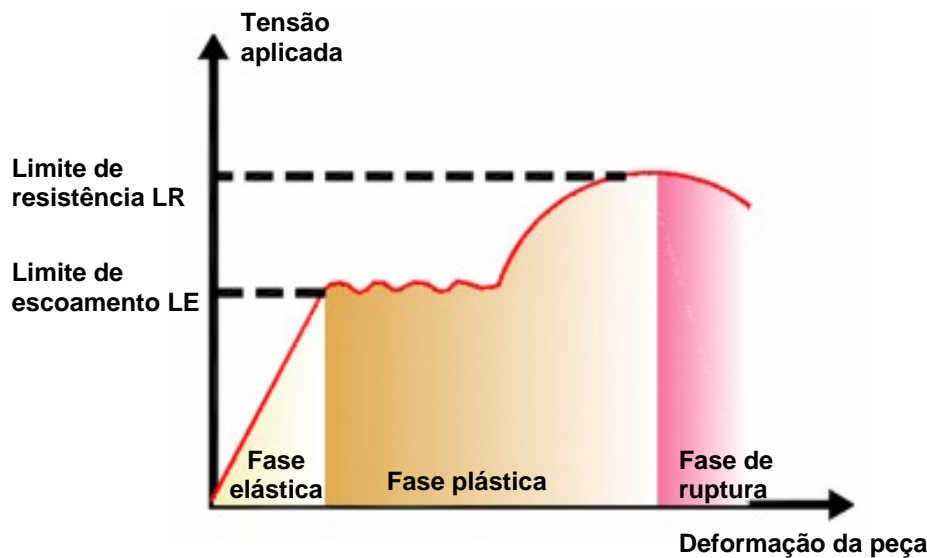
- aços de baixo teor de ligas, contendo menos de 8% de elementos de liga;
- aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8%.

¹ ASTM- American Society for Testing and Materials.

Conforme a tensão de escoamento¹ mínima especificada, os aços estruturais podem ser agrupados sob três classificações gerais:

- aços carbono: aproximadamente 170 a 275 MPa;
- aços de alta resistência e baixa liga (ARBL): 290 a 345 MPa;
- aços liga tratados termicamente: 630 a 700 MPa;

Gráfico 8– Diagrama Tensão – Deformação de peça estrutural de aço. Fonte: Castro, A. A., 2002.



Os principais fatores que afetam as propriedades mecânicas do aço são a composição química, o histórico termomecânico do material, a geometria, a temperatura, o estado de tensões e a velocidade de deformação da estrutura.

Segundo PANNONI², os aços-liga estruturais, de alta resistência mecânica, são de grande utilidade toda vez que se deseja:

- aumentar a resistência mecânica, permitindo um acréscimo da carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves;
- melhorar a resistência à corrosão atmosférica. Este é um fator importante a considerar, porque a utilização de seções mais finas pode significar vida mais curta da estrutura, a não ser que a redução da seção seja acompanhada por um aumento correspondente da resistência à corrosão do material;
- melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;
- elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

¹ Tensão de escoamento: corresponde à tensão máxima relacionada ao fenômeno de escoamento, quando o material deforma-se plasticamente, sem praticamente, aumento de tensão. Fonte: Costa, E. M., "Propriedade mecânica dos metais".

² PANNONI, F. D., "Aços estruturais". Disponível em < <http://cbca-ibs.org.br> >, acesso em abril/2006.

Os aços microligados são especificados pela sua resistência mecânica, e não pela sua composição química. São desenvolvidos a partir dos aços de baixo carbono (como o ASTM A-36), com pequenas adições de manganês (até 2%) e outros elementos em níveis muito pequenos. Estes aços apresentam maior resistência mecânica que os aços de baixo carbono idênticos, mantendo a ductilidade e a soldabilidade, e são destinados às estruturas onde a soldagem é um requisito importante (carbono baixo), assim como a resistência. Estes são os tipos de aços estruturais mais comumente utilizados em residências e edificações em geral.

Os aços estruturais padronizados mais utilizados são listados abaixo:

Por composição e tratamento:

- *aços carbono : A36/A36M, A53/A53M, A500, A501, A529/A529M;*
- *aços de alta resistência e baixa liga: A 441, A572/A572M, A618;*
- *aços de alta resistência e baixa liga resistentes à corrosão: A242/A242M, A588/A588M;*
- *aços liga temperados e revenidos: A514/A514M, A517.*

Por utilização:

- *formas estruturais laminadas a quente: A36/A36M, A529/A529M, A572/A572M, A588/A588M, A709/A709M, A913/A913M, A922/A922M;*
- *tubos : A500, A501, A618, A847;*
- *tubos seção circular : A53/A53M;*
- *placas e chapas grossas: A36/A36M, A242/A242M, A283/A283M, A514/A514M, A529/A529M, A572/A572M, A588/A588M, A709/A709M, A852/A852M, A1011/A1011M;*
- *barras e vergalhões: A36/A36M, A529/A529M, A572/A572M, A615/A615M, A616, A617, A706/A706M, A709/A709M;*
- *chapas: A606, A1011/A1011M 1.*

Dentre estes, os que mais atendem ao mercado da construção civil são o ASTM A-36 (um aço-carbono comum), o ASTM A-572 Grau 50 (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica) e o ASTM A-588 Grau K (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica com elevada resistência à corrosão atmosférica)².

Os aços do tipo ASTM A-36 possuem baixo teor de carbono (0,29%). Seu limite de escoamento fica entre 220 e 250 MPa, e o limite de resistência entre 400 e 550 MPa, dependendo da largura e espessura da peça. São aços para aplicação em componentes onde as propriedades requeridas exigem facilidade para dobramento (conformabilidade) e boa soldabilidade. São os mais usados e de mais baixo custo. São aços de dureza relativamente baixa. Oxidam-se facilmente e suas propriedades deterioram-se a baixas e altas temperaturas.

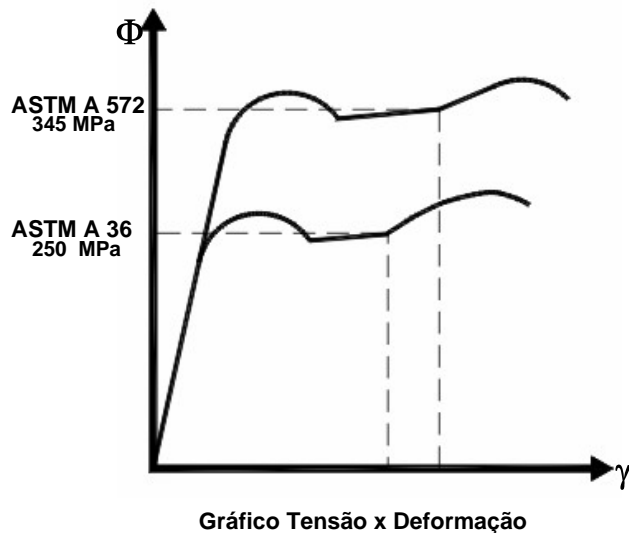
O aço tipo ASTM A-572 Grau 50 é um tipo de aço de alta resistência e baixa liga (ARBL). Sendo produzido a partir de um aço carbono comum de baixo teor de carbono (que possui boa conformabilidade e soldabilidade), sofre adições de

¹ Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica disponível em <http://www.cimm.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

² PANNONI, F. D. "Aços estruturais". Disponível em < <http://cbca-ibs.org.br>>, acesso em abril/2006.

elementos químicos como Nióbio e Vanádio e/ ou Titânio. O Nióbio aumenta o limite de escoamento para 345 MPa e o limite de resistência para 450 MPa. O Vanádio melhora a resistência sem reduzir a soldabilidade.

Gráfico 9 – Comparação de resistência entre o aço ASTM A36 e ASTM A 572.
Fonte: <http://www.metafer.com.br>. Acesso em maio/ 2007.



O ASTM A-588 Grau K também é um aço do grupo de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL). Sofre a adição de certos constituintes microligantes, como Cobre, Cromo, Fósforo e Silício, que além da resistência mecânica característica dos aços-carbono, soma excelente resistência à corrosão atmosférica. Este tipo de aço é conhecido como aço patinável¹. Seu limite de escoamento fica em no mínimo 345 MPa, e o limite de resistência, no mínimo, 485 MPa, dependendo da largura e espessura da peça.

Sendo assim, os aços-liga ASTM A-572 Grau 50 e ASTM A-588 Grau K são mais resistentes e tenazes do que aços carbono comuns. São dúcteis, têm boa conformabilidade e soldabilidade. Em edificações, isto significa que podemos ter vãos maiores, com peças de seções menores e menos peso de estrutura, sendo assegurados os requisitos de resistência estrutural. O aço ASTM A-588 Grau K, além disto, soma a característica de melhor desempenho à corrosão.

¹ Na seção 10.1.4.1.1 encontram-se explicações mais detalhadas a respeito deste tipo de aço.

7 Produtos em aço e suas utilizações na composição de edificações

Existem vários tipos de produtos em aço que podem fazer parte da composição de uma edificação e de diversos sistemas construtivos. Estes produtos se apresentam em diversas formas e composições químicas.

A idéia desta seção é apresentar uma introdução ao universo dos produtos em aço para construção disponíveis no mercado, e exemplificar algumas formas de sua utilização em residências.

7.1 Tipos de Perfis

Entre os vários componentes de uma estrutura metálica, tais como perfis estruturais, chapas de ligação, parafusos, chumbadores, telhas e vedações, os perfis estruturais são, evidentemente, os mais importantes para o projeto, fabricação e montagem. São eles que vão “estruturar” a arquitetura.

Os perfis de aço são produtos industriais cuja seção transversal reta é composta de figuras geométricas. Podem ser obtidos diretamente por laminação, ou a partir de operação de formação a frio, ou de soldagem de chapas, denominados, respectivamente, perfis laminados, formados a frio e soldados. Para sua produção são utilizados diversos tipos de aço, conforme a sua utilização, tais como: aço carbono, aços de alta-resistência mecânica e aços de maior resistência à corrosão.

Serão apresentados alguns dos tipos de perfis utilizados para compor uma edificação. Existe uma grande variedade de perfis e diversos fabricantes. O que será mostrado é apenas um panorama geral do que é mais utilizado em edificações.

No site [www. metálica.com.br](http://www.metálica.com.br) encontra-se disponível uma vasta gama de fabricantes e tabelas de perfis.

7.1.1 Perfis Soldados

Os perfis soldados são obtidos através do corte de chapas de aço planas e da união das partes por soldagem a arco elétrico¹. Este processo permite a fabricação de uma grande variedade de formas e dimensões de perfis, adaptando-se melhor às especificidades do cálculo. As formas mais comuns das seções destes perfis são as que se assemelham com as letras “I”, “H”, “U”, “L” e “Z”.

Um perfil em aço tipo “I” é composto por duas partes horizontais, chamadas de mesa inferior e mesa superior e, uma parte vertical, chamada de alma. Eles podem ser simétricos ou assimétricos (como por exemplo, com mesa superior de espessura e largura diferentes da inferior), dependendo da solução do cálculo estrutural.

¹ Fonte de energia de processo de soldagem por fusão.

Também, podem ser feitos a partir de chapas dobradas e soldadas entre si, originando diversas outras possibilidades de seções.

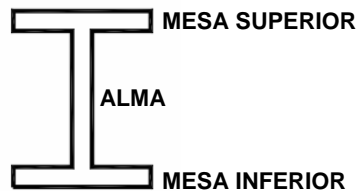
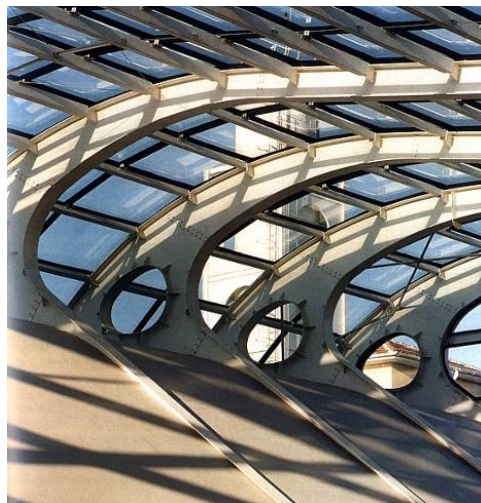


Figura 9- Exemplo de um perfil "I".

Existe uma grande variedade de chapas que podem originar perfis soldados estruturais. As mais utilizadas são de espessuras maior ou igual a 4,57 mm, portanto, são chapas grossas.

Os perfis soldados são largamente empregados na construção de estruturas de aço, em face da grande versatilidade de combinações possíveis de espessuras, alturas e larguras, levando à redução do peso da estrutura, comparativamente aos perfis laminados disponíveis no mercado brasileiro. O custo para a fabricação dos perfis soldados é maior do que para a laminação dos perfis laminados, pois agrega certa fabricação "artesanal", no entanto, esses últimos não estão disponíveis em quantidade e dimensões necessárias às obras civis. Os perfis soldados são fabricados sob encomenda.

O tempo de fabricação depende do estoque de chapas do fabricante de perfis. A usina siderúrgica leva de 30 a 60 dias para entregar as chapas. Só então a fábrica pode cortar e soldar os perfis. Normalmente são utilizados em obras de médio e grande porte. Entretanto, quando o projeto exigir soluções diferenciadas de seções, o perfil soldado também pode ser usado em obras de menor porte, caso se queira obter alguma solução estética diferenciada na arquitetura.

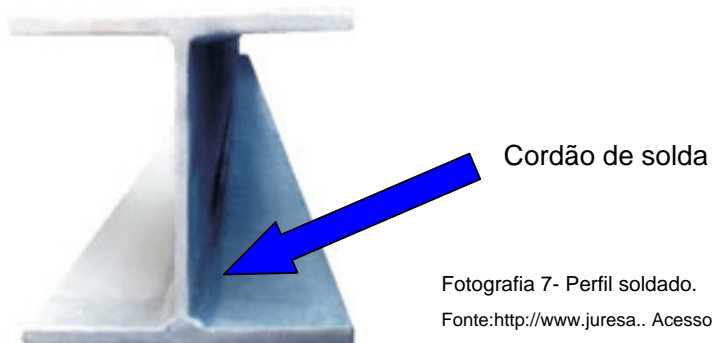


Fotografia 6- Exemplo de perfil soldado com forma diferenciada, utilizado no prédio da Universidade de Caxias do Sul. Projeto: Samuel Kruchin.

Fonte: Revista Projeto Design nº 257, P. 53, 2001.

O material de solda, seja a soldagem executada por *eletrodo revestido*¹, *arco submerso*² ou qualquer outro tipo, deve ser especificado, compatibilizando-o com o tipo de aço a ser soldado, isto é, deve ter características similares de resistência mecânica, resistência à corrosão, etc.

Os perfis soldados apresentam tensões residuais devidas ao processo de solda. Segundo PALATINIK, S.³ *o fato de possuírem tensões residuais*⁴ *devido à solda, não chega a ser um empecilho, pois, a sua escolha estrutural se dará em função do seu módulo de resistência. Por outro lado, a solda tornar-se-á um ponto frágil para estabelecimento de corrosão, devendo-se redobrar o cuidado na elaboração do sistema de pintura.*



Os mais típicos são em forma de “I”, “H” e “U”, utilizando-se também o “T”, “L” e “Caixa”.

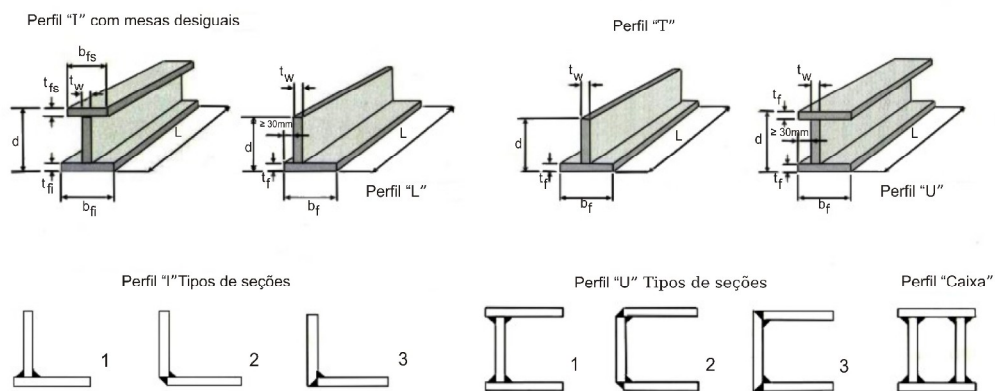


Figura 10- Alguns tipos de perfis soldados.

Fonte: catálogo da usiminas mecânica perfil soldado, 2006.

1 Eletrodo revestido consiste basicamente de uma “alma” metálica (vareta metálica sólida), recoberta por um revestimento composto por uma mistura de compostos minerais e orgânicos aglomerados com um elemento aglutinador.

2 Processos de soldagem por fusão a arco elétrico.

3 No fórum do módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

4 Tensão residual num perfil de aço é um tipo de tensão que existe no próprio material, sem aplicação de carga externa. É gerada no processo de fabricação do perfil, devido à soldagem, forma de resfriamento do material, etc. A tensão residual influencia nas características de resistência mecânica e do funcionamento dos elementos de uma estrutura.

São fabricados perfis com diferentes relações entre altura de largura. Cada um recebe uma denominação em função desta relação.

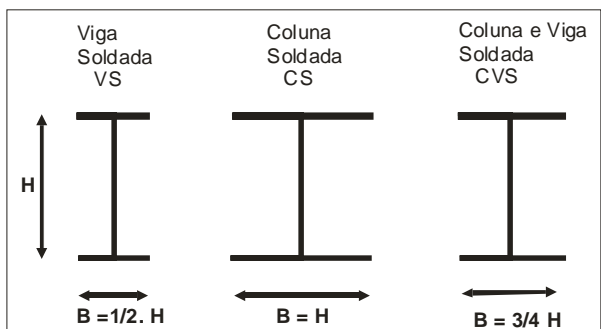


Figura 11- Nomenclatura típica dos perfis soldados.

Fonte: módulo 3 do curso Introdução ao Uso do Aço na Cosntrução, 2007.

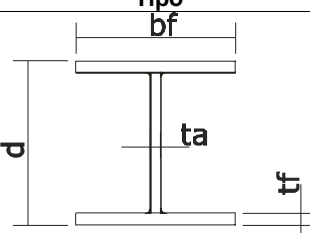
Tipo	Altura (mm)	Designação (exemplo)
	CS de 250 a 650 CVS de 250 a 650 VS de 250 a 1.500 PS não-padrão	VS 900 x 124 VS com $d = 900$ mm e 124 Kg/m (PS 400 x 200)*

Figura 12- Quadro com exemplo de nomenclatura típica dos perfis soldados.

Fonte: Apostila Aço na Construção.

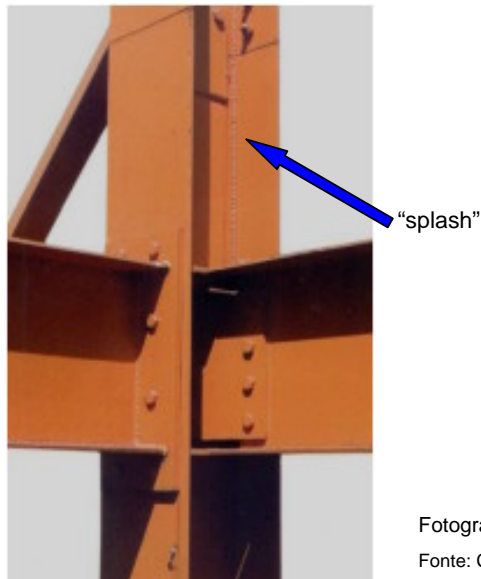
7.1.2 Perfis eletro-soldados

Os perfis eletro-soldados também são obtidos através do corte de chapas de aço planas e pela união das partes por meio de eletrofusão¹. São formados por um processo de solda contínua que usa uma corrente de alta frequência de 400 KHz. Em razão do *Efeito Proximidade* e do *Efeito Profundidade*, a corrente flui bem próxima da superfície das chapas, a uma profundidade de até 0,8 mm. A resistência

¹ Sistema de soldagem por temperatura e pressão.

à passagem desta corrente aquece uma zona específica que atinge a temperatura plástica, permitindo assim a fusão, através de uma leve pressão de rolos.

Diferentemente dos perfis soldados, não há adição de material para a solda. A união é feita com o uso de corrente elétrica, sendo visível no encontro das chapas uma espécie de rebarba chamada “splash” de solda. Este processo é muito produtivo, pois a união é rápida. Podem ser soldados até 30m/minuto¹. É um processo e um produto padronizado.



Fotografia 8- Perfil eletrosoldado.

Fonte: Catálogo da Usiminas, 2007.

O Perfil eletro-soldado é fabricado com exclusiva tecnologia e com o aço do tipo ASTM A-572 Grau 50² ou com o aço de outro tipo, mediante consulta. Somente a Usiminas fabrica este perfil, por ser a única a ter o equipamento.

São fabricados perfis “I” e “H” de 100 a 500mm de altura de alma e mesas de 80 a 300mm de largura. O comprimento pode chegar até 18 m. Também podem ser produzidos de forma assimétrica, com diferentes larguras e espessuras das abas superior e inferior.

São de 5% a 20% mais leves que os outros perfis, com as mesmas propriedades mecânicas, em função do tipo de aço utilizado (mais resistente). Isto propicia economia na fabricação, transporte e montagem das estruturas, e permite também ganhos no dimensionamento de fundações, através do alívio de cargas.

Segundo PESSOA³, A., *estes perfis são mais aplicáveis em obras que não requerem um acabamento mais refinado, pois eles apresentam rebarbas provenientes do processo de eletrofusão das chapas durante a soldagem. A Usiminas fez algumas*

1 Módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

2 Tipo de aço microligado, de alta resistência e baixa liga (ARBL).

3 Em debate no Fórum do módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

melhorias, mas clientes mais exigentes ainda são relutantes em aceitar estes perfis, sobretudo porque: não se pode retirar 100% da rebarba, pois se corre o risco de ameaçar a integridade da solda do perfil; e, também, é muito difícil, quase impossível, executar um tratamento de superfície que garanta plenamente a proteção anticorrosiva nos pontos de soldagem, sendo, justamente nestas soldas que, em geral, as estruturas "choram", contaminando com a ferrugem outros pontos da estrutura. Entretanto, estes perfis podem ser muito bem utilizados em estruturas que não requerem pintura e ficarão ocultas dentro da alvenaria ou proteções contra incêndio. Segundo PALATNIK, S.¹, a solução no aspecto da corrosão talvez devesse vir da própria Usiminas, com a entrega do perfil já com uma camada de primer.

7.1.3 Perfis laminados

Perfis laminados são aqueles fabricados a quente nas usinas siderúrgicas e seriam os mais adequados para utilização em edificações de estruturas metálicas, pois dispensariam a fabricação "artesanal" dos perfis soldados ou dos perfis formados a frio.

Os perfis laminados são obtidos a partir de blocos de aço reaquecidos ao rubro e laminados a quente. Os blocos de aço podem ser provenientes de lingotamento convencional ou contínuo. O bloco é colocado em fornos de reaquecimento e, em seguida, introduzido no laminador, ganhando sua forma final através de uma sucessão de passes em cilindros conformadores. São conformados em "I", "H", "U" e "L".

Diferentemente dos perfis soldados, os perfis laminados não apresentam tensões residuais. Isto é um fator de garantia de maior na qualidade, assim como, a maior homogeneidade de material pelo fato de serem conformados a quente em laminadores (porém, ficam limitados em suas dimensões por estes próprios laminadores). *A Gerdau Açominas é a maior fábrica brasileira de perfis laminados. Atualmente, ela apresenta mais de 60 tipos de perfis laminados em seu catálogo e os fabrica de abas paralelas, em bitolas de 150 mm a 610 mm para perfis "I" e de 150 mm a 360 mm para perfis "H"*².

Segundo a empresa Gerdau este tipo de perfil oferece preços competitivos com pronta entrega em aço ASTM A 572 Grau 50, no comprimento padrão de 12 metros para todas as bitolas, ou de 6 metros para as bitolas até 310 mm.

Na construção civil estes tipos de perfil se aplicam em diversos programas arquitetônicos, como por exemplo: edifícios de andares múltiplos (comerciais e residenciais), edifícios garagem, hotéis e hospitais, universidades e escolas, shoppings, mezaninos, estádios e ginásios, metrô (infra-estrutura e estações), pontes, viadutos e passarelas, fundações e contenções.

¹ Em debate no Fórum do módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

² Módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.



Fotografia 9 - Selo de controle do Perfil laminado da Gerdau.

Foto: Bianca Cito. 2006.



Fotografia 10 - Perfis laminados da Gerdau a serem utilizados em obra em Penedo.

Foto: Bianca Cito. 2006.



Fotografia 11 - Obra residencial em Penedo realizada com perfis laminados da Gerdau.

Projeto: Cristina L. M. Rocha.

Foto: Bianca Cito. 2006.

Se compararmos os perfis soldados aos laminados, o perfil laminado não é mais resistente por si só. Depende do tipo de aço e da bitola do perfil. Perfis de mesma bitola e mesmo aço, laminados ou soldados, devem ter praticamente a mesma resistência. Em termos de utilização, ambos cumprem o mesmo papel estrutural. Segundo PALATNIK,S.¹, *o perfil soldado é mais versátil na sua composição, podendo-se soldar chapas de espessuras diferentes e mesmo mesas de tamanhos diferentes. Entretanto os perfis laminados têm tamanhos padronizados e é oferecido em uma grande variedade de bitolas, podendo atender a uma grande variedade de situações. Mas as bitolas disponíveis são limitadas pelo próprio processo de fabricação. O mesmo vale para o perfil eletro-soldado. No caso de perfis para grandes vãos que utilizam grande altura de alma, não há perfis laminados disponíveis. Somente perfis soldados podem atender a esta demanda.*

¹ Em debate no Fórum do módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

Empresas que não têm equipamento de solda tipo arco submerso¹, para a fabricação de perfis soldados, podem se beneficiar muito dos perfis laminados ou dos perfis eletro-soldados padronizados, fazendo somente as operações de corte, furação e reforço, simplificando muito o processo de fabricação de estruturas. Todos os perfis podem ser calandrados e curvados para a confecção de curvas.

É importante salientar que todos os tipos de perfis podem ser utilizados, inclusive juntos na mesma estrutura. É tudo uma questão de cálculo estrutural. Quanto ao preço, o dos perfis laminados é menor (preço, por quilo, mais barato, pelo seu próprio método de fabricação ser mais simples). Muitas vezes, mesmo não se utilizando o perfil mais econômico em termos de cálculo, em função da padronização dos perfis laminados, o valor do conjunto da estrutura pode continuar menor que o similar o perfil soldado. Também, por uma questão de sistematização, não é interessante ter uma variedade muito grande de tipos de perfis, pois o controle da obra terá que aumentar.

Perfis soldados requerem estoque de chapas, com custos de estoque. Perfis laminados ou eletrosoldados podem ser comprados na quantidade de uso, quase sem desperdício, mesmo que se utilize uma quantidade maior de aço (em peso). Em função da padronização de perfis é que pode obter a simplificação do processo e diminuição dos custos indiretos de mão-de-obra, de eletricidade, financeiros e de estoque, com redução de desperdício.

Deve-se sempre ter em mente os fundamentos da construção industrializada (padronização, modulação, repetição em larga escala), mesmo que aplicada a uma arquitetura diferenciada. Os variados tipos de perfis devem ser utilizados atentando-se para uma dosagem equilibrada a características de cada um, no que diz respeito, à resistência mecânica, à facilidade de aquisição, ao custo, à manutenção e à criatividade envolvida no projeto.

Mediante um comentário de que a construção em aço, aqui no Brasil, não havia se desenvolvido porque não tínhamos perfis laminados disponíveis e, só tínhamos os perfis soldados, que eram muito caros, o professor PALATNIK, S.², deu a seguinte explicação: *a Açominas, hoje Gerdau Açominas, começou a ser construída na década de 70 e, por 30 anos não produziu nenhum perfil. Começou a funcionar por volta do ano 2000. Atualmente é a única fabricante nacional de perfis laminados. A CSN produziu perfis laminados da década de 60 à, mais ou menos, 90, mas abandonou sua fabricação. Por isto é que o mercado ficou dominado pelos perfis soldados. Mas esta está deixando de ser a realidade. A tendência é que o perfil laminado ocupe uma grande fatia do mercado.*

Quanto ao uso de perfis em residências, não existem estatísticas referentes ao tipo mais utilizado de perfil.

7.1.4 Perfis dobrados a frio

Os perfis dobrados a frio são feitos a partir de chapas planas. Quando são feitos a partir de chapas mais finas, entre 1,5 e 5 mm, recebem a denominação de perfis leves. Por serem muito esbeltos, exigem cuidado em sua aplicação, tanto em

1 Processo de soldagem por fusão a arco elétrico. É um processo automatizado de solda comumente utilizado em soldas contínuas nas fábricas de estruturas metálicas. Vide seção 9.1.1.

2 Em debate no Fórum do módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

relação à solicitação de esforços, quanto à possibilidade de fácil deterioração (o que poderia exigir o uso de aços resistentes à corrosão).

Os perfis mais pesados podem ser executados com chapas que chegam a 25 mm. Neste caso são exigidos raios e curvaturas mínimas na dobragem, para evitar fissuração na dobra ou mudança nas características do aço.

Os perfis leves são mais comuns, e são utilizados em obras de pequeno porte ou em elementos estruturais secundários. Estes perfis permitem uma grande variação de forma e dimensões das seções. Também são encontrados prontos e padronizados.

O processo de dobra pode ser feito tanto em dobradeira manual, como em perfiladeira contínua¹. Também podem ter diversas geometrias e é comum que os perfis de chapa fina tenham vincos para enrijecimento, como no caso do U enrijecido.

Exemplos de perfis dobrados a frio:

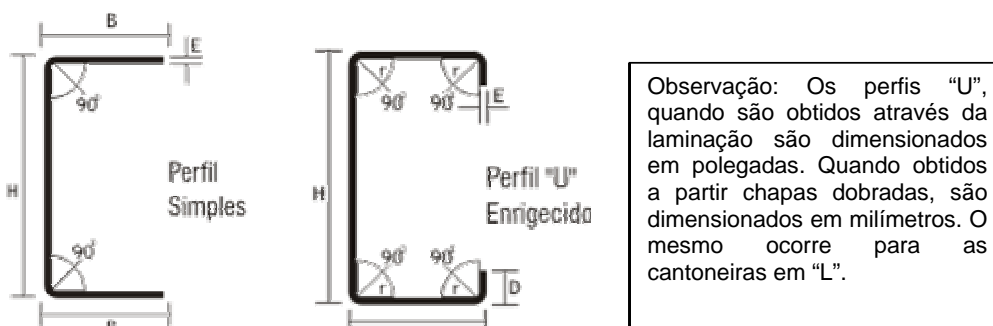


Figura 13- Perfis dobrados a frio. Fonte: <http://www.anandatilha.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

Tipo	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)
	A = 50 a 100 e = 1,5 a 5,0	A x e L de 50 x 2,25
	H = 50 a 200 e = 1,5 a 5,0	H x B x e U de 100 x 50 x 3,0
	H = 50 a 300 e = 1,5 a 5,0	H x B x d x e Z de 100 x 50 x 20 x 2,0

Figura 14- Quadro com exemplo de nomenclatura típica dos perfis dobrados.
Fonte: Apostila Aço na Construção.

¹ Perfiladeira contínua é um tipo de equipamento próprio para a produção de perfis em regime contínuo ou em blanks. Blanks são produtos de aço fornecidos em medidas certas, para cada aplicação, como por exemplo, peças de automóveis.

Existe uma grande variedade destes perfis e podem ser feitos também com chapas de várias espessuras e também com aços galvanizados. Sistemas construtivos como *Dry wall* e *Light Steel Frame* (quadros de perfis leves de aço), utilizam-se fartamente de perfis dobrados.

Para o sistema construtivo *Light Steel Frame*, os perfis são feitos a partir de chapas galvanizadas e de espessuras mais finas, entre 0,95 a 1,25mm. Este sistema é composto por painéis formados por guias e montantes estruturais com largura variável entre 90, 140 e 200mm e espaçamentos dos montantes entre 40 a 60cm dependendo da espessura da chapa. O fechamento externo é executado com placas cimentícias, que são placas de fibrocelulose prensada com cimento, com espessura de 10 a 12 mm ou painel OSB - *Oriented Strand Board*, que é um painel de madeira com uma liga de resina sintética. Neste sistema construtivo as paredes são portantes.

É bastante utilizado em construções residenciais e também em projetos que necessitam resistência estrutural superior. Com este sistema podem ser feito prédios até 5 pavimentos.

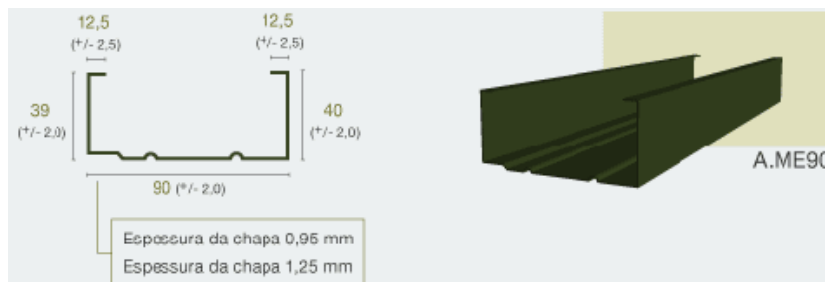


Figura 15- Exemplo de um tipo de perfil dobrado, *Montante estrutural de 90*, componente do sistema construtivo *Light Steel Frame*.

Fonte: <http://www.anandatelha.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.



Fotografia 12 - Exemplo de uma residência feita com sistema construtivo *Light Steel Frame*. Projeto: Luciano Setim Freitas. Local: Curitiba, PR.

Fonte: *Arquitetura e Aço*, p.20, julho 2006.



Fotografia 13 - Ossatura de uma residência feita com sistema construtivo *Light Steel Frame*. Projeto: Luciano Setim Freitas. Local: Curitiba, PR.

Fonte: *Arquitetura e Aço*, p.20, julho 2006.



Figura 16 - Exemplo de uma residência com o emprego do sistema *Light Steel Frame* e seu esquema estrutural. O interessante desta casa é que mostra a versatilidade do sistema, que não preconiza uma forma arquitetônica. A criatividade pode ser explorada. Projeto: Adrian James Architects. Local: Oxford, EUA.

Fonte: www.steel-sci.org/lightsteel. Acesso em novembro/2006.

Para o sistema construtivo *Dry wall*, os perfis também são feitos a partir de chapas galvanizadas e de espessura de 0,5 mm, conforme norma pertinente (NBR 15.217).

O sistema é constituído basicamente de uma estrutura leve em perfis de aço galvanizado formada por guias e montantes, sobre os quais são fixadas placas de gesso acartonado, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície apta a receber o acabamento final (pintura, papel de parede, cerâmica, etc), configurando painéis para paredes, forros ou revestimento.

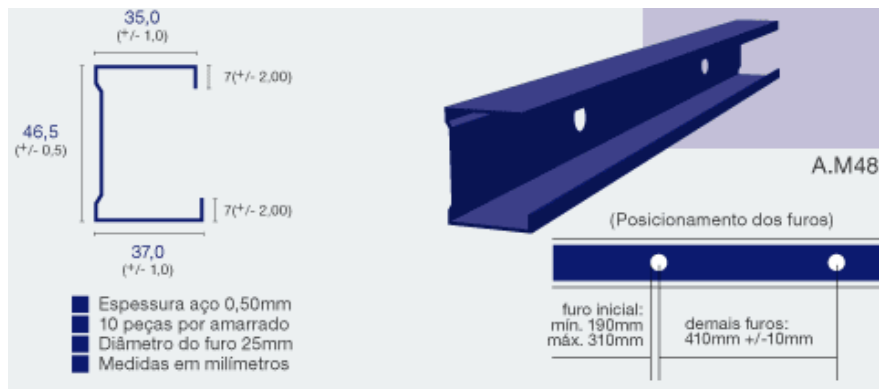


Figura 17- Exemplo de um tipo de perfil dobrado, *Montante 48*, componente do sistema construtivo *dry wall*.

Fonte: <http://www.anandatelha.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.



Fotografia 14- Exemplo de montagem de uma parede do sistema construtivo *Dry wall*.

Fonte: <http://www.portaldrywall.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

Os sistemas construtivos *light steel frame* e *Dry wall* fazem parte do contexto de industrialização da construção. São sistemas que caminham imbuídos de conceitos de racionalização, padronização, modulação, obra limpa, seca e pouco desperdício. Estes conceitos fazem parte das construções que utilizam aço de maneira em geral.

7.2 A Forma dos perfis

O formato do perfil a ser utilizado numa edificação dependerá do tipo de esforço a que ele será solicitado, do custo do material e também do apelo estético desejado, dentre outros fatores.

7.2.1 Esforços básicos atuantes numa edificação

A forma a adotar nas seções dos perfis estruturais está diretamente relacionada aos tipos de esforços a que eles estarão submetidos. O conhecimento da distribuição das forças na estrutura auxilia na discriminação da forma mais adequada de perfil para cada situação de solicitação.

De acordo com REBELLO, Y.C.P.¹, para a escolha de uma determinada forma de seção estrutural de um perfil em aço, devem ser considerados:

- a compatibilidade com o tipo de esforço a que elas estão submetidas;
- o espaço a ser ocupado pela seção;
- o consumo de material;
- a facilidade e custos de obtenção do material;
- o aspecto estético desejado;
- aspectos de manutenção.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo "Tipos de perfis" disponível no módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

Os esforços básicos atuantes numa estrutura são os esforços de tração simples, compressão simples e momento fletor. No entanto, podem funcionar como geradores de outras possibilidades estruturais.

O esforço de tração simples ou axial desenvolve tensões uniformes na seção de uma barra. Qualquer que seja a forma da seção a ruptura acontecerá quando for atingido o limite de resistência do material. Portanto, conclui-se que o que é importante é a quantidade de material e não a forma em que este está distribuído na seção¹.

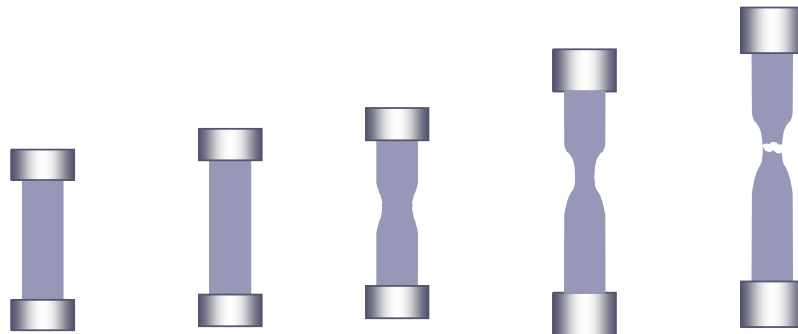


Figura 18- Tração numa barra de aço.

Fonte: FIGUEIREDO, A. 2007.

Por exemplo, os tirantes em uma estrutura trabalham tracionados e para isto os componentes mais adequados são os cabos de aço ou as barras, pois possuem seções plenas.

O esforço de compressão simples ou axial solicita seções de peças com tensões uniformes. Estas tensões crescem em função do aumento do esforço. Porém, antes de ser atingido o limite de resistência do material, é provável que ocorra um deslocamento lateral do eixo da peça, fazendo perder a estabilidade, ou seja, ocorrendo a flambagem¹.

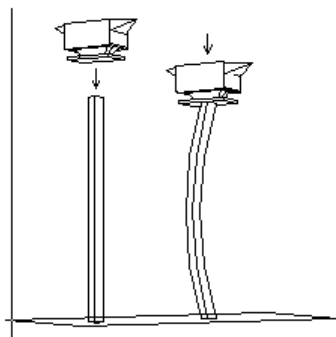


Figura19- Flambagem.

Fonte:<http://inf.unisinos.br/~karla/resistencia/flamba/index.htm>. Acesso em novembro/ 2006.



Figura 20- Flambagem.

Fonte:<http://www.msimo.es.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo "Tipos de perfis" disponível no módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

A flambagem não depende apenas da quantidade de material na seção, mas, também, de como ele é distribuído. Ao flambar, as seções que eram paralelas, giram entre si. Ela ocorre sempre na direção de menor espessura da barra. Ou seja, aumentar a resistência a flambagem é aumentar a resistência das seções ao giro. Quanto mais longe o material estiver do centro de gravidade da seção, mais difícil é de fazê-la girar, portanto, menor a possibilidade da flambagem. A propriedade geométrica que mede a forma que o material se distribui em relação ao centro de giro ou de gravidade da seção denomina-se momento de inércia.

Para peças comprimidas, seções mais resistentes e econômicas são aquelas que possuem o material distribuído longe do centro de gravidade, que no caso dos perfis metálicos, conduz a seções vazadas. Caso a questão seja a opção, também, por uma seção que ocupe menos espaço, a opção seria pela seção circular vazada, pois esta ocupa (em torno de) 10% a menos de espaço (se comparadas a seções quadradas). Esta oferece o material distribuído uniformemente em torno do centro de gravidade, apresenta, portanto, a mesma resistência a flambagem em todas as direções¹.

Os pilares trabalham submetidos à compressão, acompanhados ou não por momentos fletores e torsões. Embora o melhor perfil para um pilar seja o circular, a sua adoção é restrita em função das dificuldades de execução de ligações.

O momento fletor, conforme REBELLO, Y.C.P¹, provoca simultaneamente, na seção, tração e compressão, ou seja, também sofre giro. Apesar do giro provocado pelo momento fletor ser semelhante ao da flambagem, suas causas são diferentes. Na flambagem o agente causador é uma força aplicada ao longo do eixo da barra, a compressão simples. No caso do momento fletor, o esforço é aplicado perpendicularmente a este eixo.

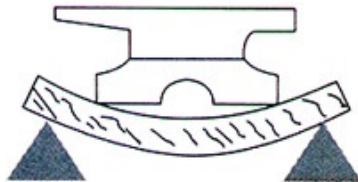


Figura 21- Momento fletor

Fonte: <http://www.msimoos.com.br>.
Acesso em novembro/ 2006.

Como na flambagem, a seção, para ser mais resistente ao giro deve apresentar material longe do centro de gravidade. Porém, ao contrário da flambagem, a distribuição não deve ser em todas as direções e sim, na direção de aplicação do momento. No momento fletor, as forças de tração e compressão não se distribuem uniformemente na seção. As fibras mais afastadas são mais solicitadas do que aquelas mais próximas do centro de gravidade, portanto é melhor uma maior concentração de material mais longe do centro de gravidade¹.

As vigas sofrem predominantemente momento fletor. Os perfis "I" são os mais utilizados nesta função, embora haja outras possibilidades, como as treliças, por exemplo.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo "Tipos de perfis" disponível no módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

7.2.2 Formas de perfis e suas aplicações

Conforme REBELLO, Y. C.P.¹, as **cantoneiras “L”**, isoladas, por apresentarem pouca inércia, adaptam-se mais a esforços de tração simples. São aplicadas em tirantes, barras de travamento tracionadas e etc. Podem também, ser utilizadas como nervuras de enrijecimento de chapas, como elemento secundário na ligação de perfis e, quando duplas, apresentam boa inércia, podendo ser aplicadas em peças comprimidas. Por exemplo, numa treliça, onde prevalecem esforços de tração e compressão simples, podem ser usadas cantoneiras compondo o elemento estrutural.

As cantoneiras simples, quando distribuídas adequadamente, compondo seções com a massa longe do centro de gravidade, podem ser usadas na composição de pilares. Para isto elas devem ser convenientemente travadas para que trabalhem em conjunto¹.



Fotografia 15- Cantoneiras em “L”.

Fonte: catálogo da CSN. 2006.



Fotografia 16- Composição de pilares e vigas treliçadas com cantoneiras em “L” e perfis “U”.

Fonte: <http://www.artstec.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo “Tipos de perfis” disponível no módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

O perfil “U” é especificado através das dimensões da altura da alma, em polegadas (laminado) ou milímetros (chapa dobrada) e de seu peso por metro. As partes horizontais são denominadas mesas e a vertical, alma. A especificação do peso do perfil serve para identificar entre os perfis de mesma altura, aqueles de dimensões de mesa e espessura diferentes¹.

O perfil “U” apresenta um bom afastamento de material do centro de gravidade em uma das direções, o que, a princípio, o credencia a ser utilizado em peças submetidas a momento fletor (caso de vigas). Entretanto, como apresenta uma assimetria em relação ao eixo vertical, pode sofrer torção, limitando-o ao uso de vigas pouco solicitadas, como terças de coberturas ou em escadas comuns. As terças recebem a carga das telhas e as transporta para as treliças.

O perfil “U” não deve ser usado com a alma na horizontal, principalmente com as abas para cima, como uma calha, pois apresenta pouca inércia nesta direção.

Dois perfis “U”, quando associados, ligados por soldas, podem substituir o perfil “I” em vigas, apesar de não apresentar o mesmo resultado econômico. Ocorre uma duplicação da alma, que, para efeito de flexão, não é a melhor distribuição de material. Para a flexão, a concentração de material deve ocorrer nas mesas.

Por isto, quando utilizado em barras de treliças, são aproveitados com vantagens, pois respondem bem aos esforços de tração e compressão.

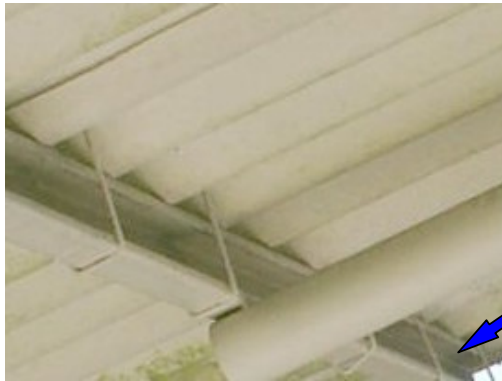
A utilização de pares de perfis “U” pode gerar diversas composições, resultando em seções bastante rígidas em uma das direções¹.



Fotografia 17- Exemplo de utilização de perfil “U” e “L” em treliça de sustentação de telhado.

Projeto: Bianca Cito. Local: Penedo, RJ. Foto: Bianca Cito, 2002.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo “Tipos de perfis” disponível no módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.



Perfil "U" enrijecido

Fotografia 18- Exemplo de utilização de perfil "U" enrijecido para sustentação de telhas.

Projeto: Bianca Cito. Local: Penedo, RJ. Foto: Bianca Cito, 2002.

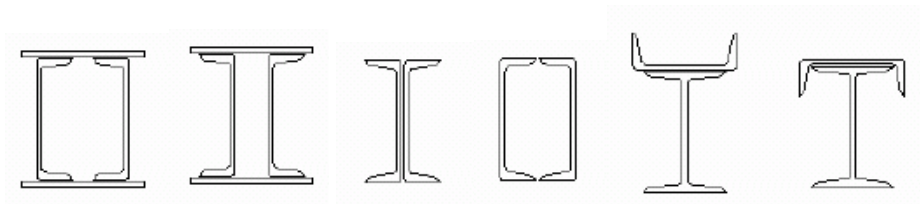


Figura 22-Exemplo de algumas composições de seções com o perfil "U".

Segundo REBELLO, Y.C.P.¹, o **perfil "I"** pode ser obtido por laminação ou soldagem de chapas. Os laminados são designados por sua altura em polegadas ou em milímetros e seu peso por metro linear. Os soldados recebem a sigla VS, suas dimensões são em milímetros, seguidos por seu peso por metro linear.

O perfil "I" também pode ser chamado de perfil "W" (vindo do inglês, *Wide Flange Shape*), ou duplo "Tê", embora estas nomenclaturas sejam pouco usuais.

O formato do perfil "I", com concentração de material nas mesas, o indica para resistir a solicitações de momento fletor, ou seja, para vigas.

Uma solução bastante proveitosa é quando se associa perfil "I" com lajes de concreto, resultando nas vigas mistas. As placas de concreto absorvem as tensões de compressão e, o perfil metálico, as de tração. Ou seja, cada material trabalha dentro de suas melhores características.

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo "Tipos de perfis" disponível no módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

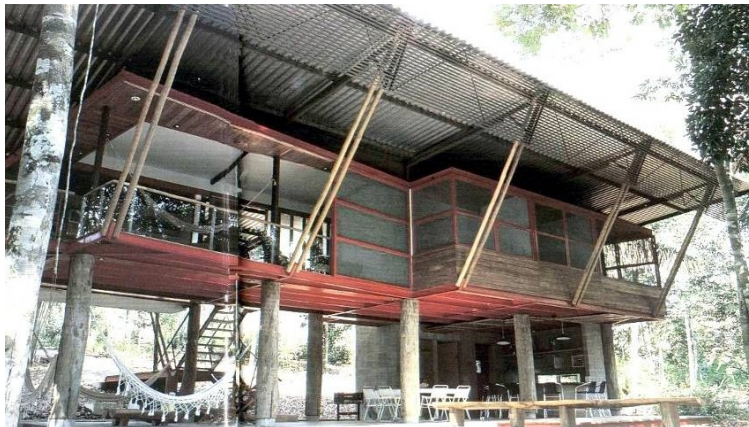


Fotografia 19- Exemplo de utilização de perfil "I" em uma residência com mistura de materiais diferenciados, como: pilares em madeira, vigas em aço, piso em madeira e paredes internas em "dry wall".

O interessante desta residência é justamente a mistura dos materiais, trazendo a esta casa uma arquitetura diferenciada.

Projeto: Roberto Moita, local:Manaus, AM.

Fonte: Arquitetura e Construção, p. 69, set. 2003.



Fotografia 20- Exemplo de utilização de perfil "I" em uma residência.

Projeto: Roberto Moita, local: Manaus, AM.

Fonte: Arquitetura e Construção, p.67, set. 2003.

O perfil "I", quando retrabalhado, pode gerar as denominadas vigas alveolares, obtidas através de cortes estratégicos na alma do perfil e posterior soldagem. O perfil obtido, com a mesma quantidade de material, consegue vencer vãos maiores e absorver cargas maiores.



Figura 23- Confeção da viga alveolar a partir de um perfil "I".

Fonte: Castro, A. A., 2002.

Segundo REBELLO, Y.C.P.¹, o perfil “H” se difere do “I” por ter as dimensões de mesa e alma iguais. Normalmente este perfil é obtido por soldagem de chapas. É especificado com a sigla CS, fornecendo-se a dimensão da altura em milímetros e o seu peso por metro linear. A distribuição de material na seção “H” o credencia a ter bom desempenho quando utilizado como pilar, porém, quando utilizado como viga, não apresenta resultados economicamente vantajosos.

Os **perfis tubulares** podem ter seções circulares, quadradas ou retangulares, sendo denominados com costura ou sem costura, conforme seu processo de fabricação.

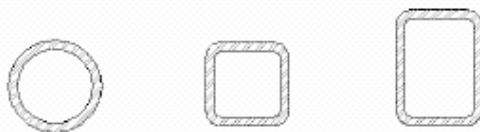


Figura 24- Seções de perfis tubulares.

Fonte: Castro, A. A., 2002.

Os tubos são especificados com suas dimensões externas e espessura em milímetros. Normalmente, os tubos de grandes diâmetros são com costura e os de pequeno diâmetro, sem costura.

Quando são obtidos por dobramento de chapas e posterior soldagem da emenda são denominados tubos com costura. Para sua fabricação podem ser usadas chapas de diversas espessuras, porém o comprimento das seções é limitado pelo comprimento dos cilindros da calandra ou prensa, que são máquinas que fazem parte da produção do tubo. Portanto, o comprimento do tubo desejado, muitas vezes, será obtido pela união de diversos anéis soldados. Entretanto, podem também ser soldados por resistência elétrica em sistemas contínuos de fabricação, onde a bobina de aço é desenrolada e pré-conformada por meio de roletes sucessivos que vão dando forma circular ao tubo, e soldada na seqüência.

Quando obtidos por processo de extrusão, os perfis tubulares são denominados tubos sem costura. Neste processo o material aquecido passa por um molde de forma circular ou retangular, conformando as barras tubulares. Para as seções quadradas ou retangulares utiliza-se o tubo redondo, que é pressionado nas laterais alterando a sua seção (portanto, pelo próprio processo de fabricação, os tubos quadrados e retangulares são mais caros, pois são feitos a partir do tubo circular). A V & M (Vallourec & Mannesmann) do Brasil é o único fabricante expressivo de tubos de aço sem costura no Brasil. Fabrica tubos de seção circular (de 26,0 mm a 355,6 mm de diâmetro externo), quadrada e retangular.

Como já visto na seção 7.2.1, devido à distribuição do material na seção, os tubos de seção circular e diâmetros maiores denotam bom desempenho como pilares, pois suas características geométricas propiciam melhor resistência à flambagem. Os de diâmetro menor são usados em treliças planas e espaciais. Conforme REBELLO¹, *um aspecto interessante do uso de perfis tubulares é a possibilidade de adotar diferentes espessuras de chapa, variando a resistência do elemento estrutural de*

¹ REBELLO, Y.C.P. em aula em vídeo “Tipos de perfis” disponível no módulo 3 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

acordo com as necessidades sem alterar o seu diâmetro externo, mantendo-se a continuidade visual da estrutura.

As seções tubulares retangulares podem ser usadas para vigas, embora não apresentando a mesma eficiência das seções "I". Pois os tubos apresentam a mesma espessura em todo o perímetro. Assim sendo, a alma do perfil tubular retangular acaba por apresentar o dobro de espessura na alma, contrariando a distribuição mais adequada de concentração de material, que seria, nas mesas.

Quanto à manutenção, os perfis tubulares exigem cuidados especiais. Como não se tem acesso à parte interna do perfil para pintura periódica, o processo de corrosão pode acontecer de dentro para fora, sendo de difícil percepção e levando a problemas sérios. Daí, para edificações, recomenda-se o uso de tubos feitos com aços resistentes à corrosão.



Fotografias 21 e 22- Residência com vigas em perfil "I" e pilares em perfil tubular redondo.

Projeto: bernardes + jacobson.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 23- Residência com pilar em perfil tubular redondo em pilares, estrutura do telhado e guarda corpo.

Projeto: João Diniz, local:Lagoa Santa, MG.

Fonte: SEGRE, R., Casas Brasileiras, p. 45, 2006.



Fotografia 24- Perfil tubular redondo em estrutura do telhado e guarda corpo. Perfil tubular retangular em esquadrias.

Projeto: Bianca Cito. Local: Penedo, RJ.

Foto: Bianca Cito. 2002.



Fotografia 25- Perfil tubular redondo em estrutura do telhado. Perfil tubular retangular em esquadrias.

Projeto: Bianca Cito. Local: Penedo, R.J.

Foto: Bianca Cito, 2002.



Fotografia 26- Residência com estrutura tubular redonda formando arcos que suportam uma cobertura de membrana tensionada.

Projeto: Norman Foster. Local: Europa.

Fonte: AD- Architectural Digest, p.417,edição italiana, novembro, 2006.



Fotografia 27- Detalhe da estrutura tubular redonda formando arcos que suportam uma cobertura de membrana tensionada.

Projeto: Norman Foster. Local: Europa.

Fonte: AD- Architectural Digest, p.423,edição italiana, novembro, 2006.

7.3 A utilização dos perfis nos componentes estruturais

Esta parte do trabalho utiliza, como referência, de forma intensiva, o módulo 3 do curso à distância, “Introdução ao Uso do Aço na Construção”, organizado pelo CBCA-Centro Brasileiro da Construção em Aço.

7.3.1 Pilares

Os pilares são elementos estruturais verticais ou com pouca inclinação e que trabalham submetidos à compressão, acompanhados ou não por momentos fletores e torsores.

O uso de contraventamentos ajuda a eliminar os esforços de flexão e torção no pilar. No caso de residências que, de maneira em geral, não possuem grandes vãos e pés direitos muito altos, a necessidade de barras de contraventamento é menor. Em alguns casos, a própria alvenaria funciona como contraventamento da estrutura. Porém em situações especiais como, por exemplo, construção com pilares com grande altura ou com estrutura muito esbelta, deve ser utilizado um sistema de contraventamento compondo a estrutura.



Fotografia 28 – Residência com pilares contraventados.

Projeto: João Diniz, local: Belo Horizonte, MG.

Fonte: Arquitetura e Aço, p. 6, julho 2006.

Com já visto anteriormente, a seção geométrica do melhor perfil para pilares é o perfil tubular. Porém, em função das dificuldades de execução de ligações, seu uso é mais restrito.

Os pilares também podem ser mistos, constituídos por peças de um ou mais tipos de perfis de aço, preenchidos ou revestidos de concreto. Conforme artigo da revista Construção Metálica, nº 73, a combinação dos dois materiais em pilares mistos propicia, além da proteção ao fogo e à corrosão, o aumento da resistência. Essa combinação contribui também para o aumento na rigidez da estrutura aos carregamentos horizontais. A ductilidade é outro ponto que diferencia os pilares mistos, que apresentam um comportamento mais dúctil quando comparados aos pilares de concreto armado. Existem também outras vantagens, tal como dispensarem o uso de fôrmas, no caso de pilares mistos preenchidos, possibilitando a redução de custos com materiais, mão-de-obra e propiciando agilidade na execução.

Os pilares mistos são classificados em função da posição em que o concreto ocupa na seção mista. A figura a seguir ilustra algumas seções típicas destes pilares.

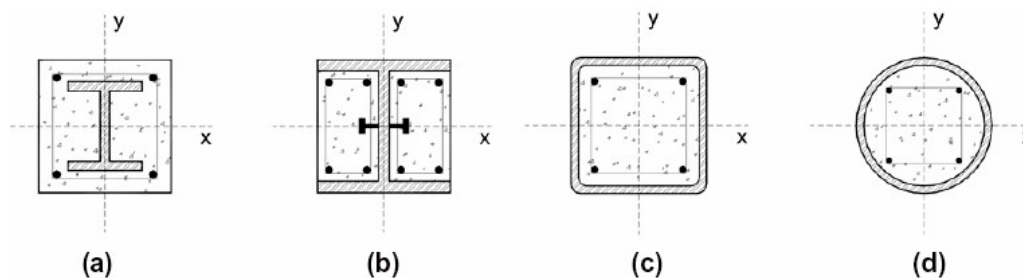


Figura 25 - Exemplos de seções típicas de pilares mistos.

Fonte: <http://www.scielo.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

Os pilares mistos revestidos caracterizam-se pelo envolvimento por completo, do elemento estrutural em aço, conforme ilustra a figura 25 a. A presença do concreto como revestimento, além de propiciar maior resistência, impede a flambagem dos elementos da seção de aço e fornece maior proteção ao fogo e à corrosão da porção metálica. A principal desvantagem desse tipo de pilar é a necessidade de

utilização de fôrmas para a concretagem, tornando sua execução mais trabalhosa e onerosa, quando comparada ao pilar misto preenchido.

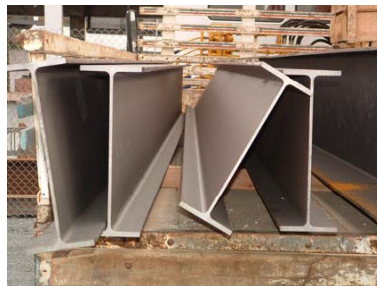
Os pilares mistos, parcialmente revestidos, caracterizam-se pelo não envolvimento completo da seção de aço pelo concreto, conforme ilustra a figura 25 b. Os pilares mistos preenchidos são elementos estruturais formados por perfis tubulares, preenchidos com concreto de qualidade estrutural, conforme a figura 25 c e 25 d. A principal vantagem é que estes dispensam fôrmas. Podem, em certos casos, dispensar a armadura e é possível, ainda, a consideração do efeito de confinamento do concreto na resistência do pilar.

7.3.2 Vigas

As vigas são elementos estruturais sujeitos basicamente à flexão e são responsáveis pela transmissão dos esforços verticais para os apoios.

7.3.2.1 Vigas de Alma Cheia

Formadas por duas mesas, uma superior e outra inferior, e por uma alma, podem ser constituídas por perfis laminados a quente, soldados ou conformados a frio.



Fotografia 29 -Exemplo de viga de alma cheia de perfil "I".

Fonte: Curso "Introdução ao uso do aço na construção", módulo 3.

Para estas vigas, de maneira geral e estimativa, tem-se como pré-dimensionamento, para vigas "I" de alma cheia simplesmente apoiada:

- altura de alma de vigas principais – $1/20$ a $1/14$ do vão (para vãos de 8,0 a 30,0 m)
- altura de alma de vigas secundárias – $1/25$ a $1/20$ do vão (vãos de 4,5 a 18,0 m)

7.3.2.2 Vigas Alveolares

São obtidas através do recorte de vigas I, com deslocamento e soldagem defasada, de forma que a altura da alma fique maior e a resistência da peça também aumente, e com redução de peso. É possível, além disso, passar instalações como os dutos de ar condicionado e outras através das aberturas criadas.

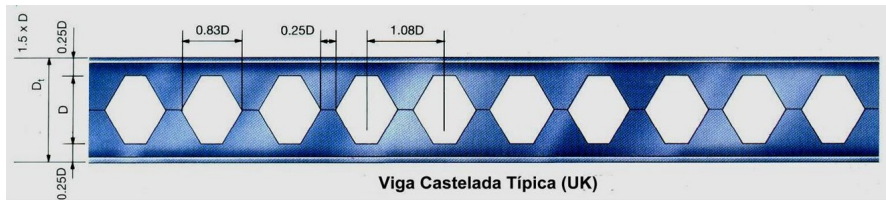


Figura 26- Viga alveolar hexagonal.

Fonte: Curso "Introdução ao uso do aço na construção", módulo 3.

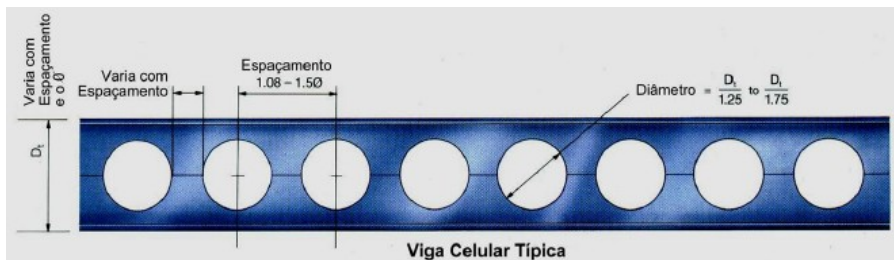
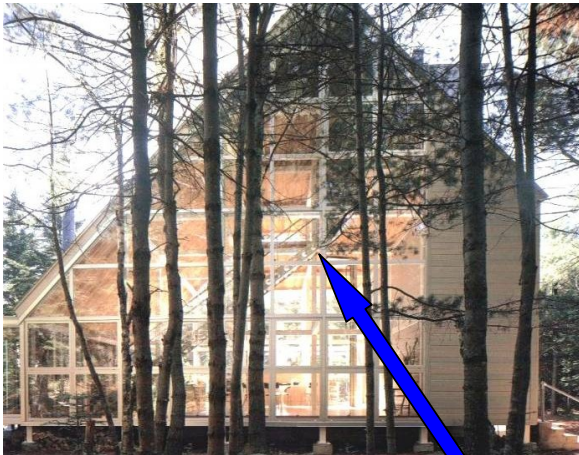


Figura 27- Viga alveolar redonda.

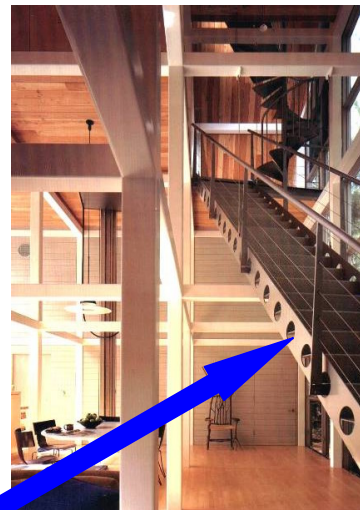
Fonte: Curso "Introdução ao uso do aço na construção", módulo 3.



Fotografia 30 – Residência com escada com viga alveolar.

Projeto: Peter Forbes, local: Maine, EUA.

Fonte: JODIDIO, P. ,Contemporary American Architects vol.II., p.81, 1996.



Fotografia 31 – Residência com escada com viga alveolar.

Projeto: Peter Forbes, local: Maine, EUA.

Fonte: JODIDIO, P. ,Contemporary American Architects vol.II., p.82, 1996.



Fotografia 32 – Exemplo de viga alveolar.

Fonte: DIAS, Luís Andrade de Mattos, “Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem” apud CASTRO, Adriana.

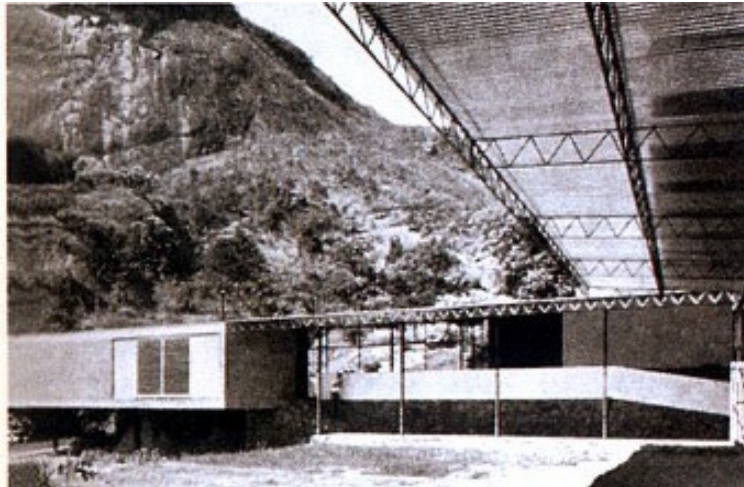
7.3.2.3 Vigas Treliçadas

As vigas treliçadas são sistemas reticulados compostos de barras tracionadas ou comprimidas, unidas em nós articulados e formando sempre triângulos. As cargas devem ser sempre aplicadas nos nós. A união das barras pode ser por soldagem ou por chapas de ligação com solda ou parafusos. Para vigas treliçadas de aço, de maneira geral e estimativa, tem-se como pré-dimensionamento, para a altura:

- 1/25 a 1/20 a (para vãos de 10,0 a 20,0 m).

- 1/20 a 1/15 do vão (para vãos de 20,0 a 35,0 m).

A seguir, um exemplo de uma residência, projetada por Sérgio Bernardes em 1951, onde foram utilizadas treliças de aço para sustentar o telhado. O interessante é o uso do vergalhão, que provavelmente era o que havia de disponível no mercado na época. Como é demonstrado nos pequenos trechos dos artigos, esta residência foi um ícone no Brasil para a arquitetura moderna e para a utilização do aço de forma inovadora.



Fotografia 33 –Residência “Lota de Macedo Soares” mostra o uso de vigas treliçadas.

Projeto: Sérgio Bernardes, local: Petrópolis, RJ. Data do projeto: 1951.

Fonte: Projeto e Design, nº 270.

" (...) Na residência Lota de Macedo Soares, a utilização de cobertura de sapê por cima de telhas de alumínio evidencia a intenção de integração com o entorno, como justificado na memória explicativa: 'Com isso, obtivemos excelente resultado estético, pois o material se confunde com a natureza' (...)"

FONTE: BACKHEUSER, João Pedro. Sérgio Bernardes: sob o signo da aventura e do humanismo. Em <http://www.arcoweb.com.br/debate/debate35.asp>

" (...) O teto, em alumínio ondulado, se apóia em longarinas de vergalhões de aço, expostas, em treliças. Elas são feitas soldando o vergalhão em zig-zag a dois outros laterais, pintados em branco e preto, o que lhes dá um toque alegre e leve. Aqui, este uso do aço funciona como um prenúncio de uma época que se aproxima, na qual a sua utilização se tornará mais e mais comum no país. (...)"

FONTE apud <http://salu.cesar.org.br/arqbr>: MINDLIN, Henrique E.. *Arquitetura moderna no Brasil*. Rio de Janeiro: Aeroplano/lphan, 2000. P. 78-79.

" Verdadeiro ícone da arquitetura moderna brasileira, esta residência ganhou o prêmio para arquitetos abaixo de 40 anos da II Bienal de São Paulo, com júri composto por Walter Gropius, Alvar Aalto e Ernest Rodger. Foi feita por encomenda de Lotta Macedo Soares, figura proeminente nos meios artísticos e culturais dos anos 40 e 50, além de realizadora do Aterro do Flamengo, no Rio de Janeiro. Em seu interior Elisabeth Bishop, companheira de Lotta, escreveu inúmeros poemas que lhe valeram o Prêmio Pulitzer em 1956. (...) A casa encontra-se preservada em sua forma original e não está aberta à visitação."

FONTE apud <http://salu.cesar.org.br/arqbr>: *Quando o Brasil era moderno: guia de Arquitetura 1928-1960*. Lauro Cavalcanti (org.). Rio de Janeiro: Aeroplano, 2001. P. 338.



Fotografia 34 – Residência com cobertura com estrutura treliçada em aço.

Projeto: Consuelo Jorge, local: Campo Belo, SP.

Fonte: Arquitetura e Aço, p. 4, julho 2006.



Fotografia 35 – Vista da estrutura treliçada em aço.

Projeto: Consuelo Jorge, local: Campo Belo, SP.

Fonte: <http://www.metalica.com.br>. Acesso em julho/2006.

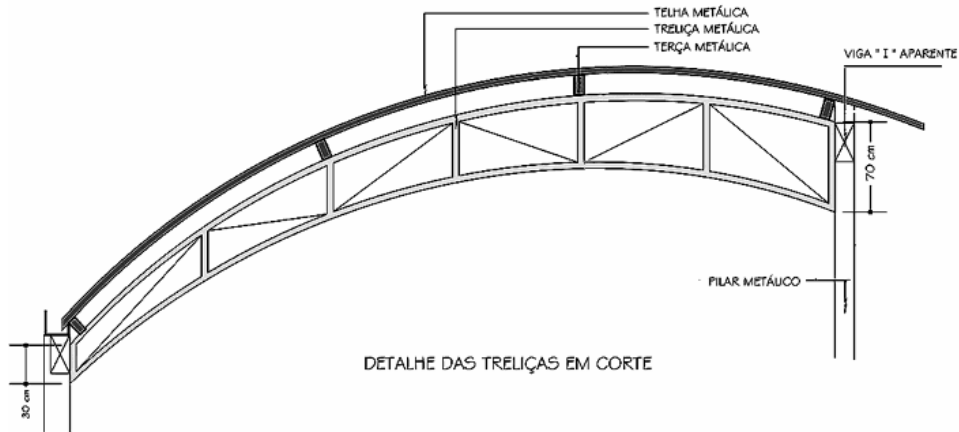


Figura 28 – Detalhe da estrutura treliçada em aço utilizada na residência.

Projeto: Consuelo Jorge, local: Campo Belo, SP.

Fonte: <http://www.metalica.com.br>. Acesso em julho/2006.



Fotografia 36 – Residência caracterizada por uma treliça na fachada.

Projeto: Pilippo Somonetti, 1987.
Local: Porza, Suíça.

Fonte: CERVER, F. A., "Houses of the world", p. 904.



Fotografia 37 – Residência caracterizada por um pórtico formado a partir de uma treliça. Este tipo de solução arquitetônica mais é uma reverência à estrutura metálica do que uma solução estrutural necessária.

Fonte: DIAS, Luís Andrade de Mattos, "Edificações de aço no Brasil", p. 129, 1999.

7.3.2.4 Vigas Armadas

A viga armada pode ter armação superior ou inferior, como nas vigas vagon, e o enrijecimento da viga é feito pela protensão do cabo, que absorve parte do momento fletor. Associado a um arco, este sistema também é muito usado em pontes.

7.3.2.5 Viga em Quadro (ou Viga Vierendeel)

É um tipo de viga com todos os nós enrijecidos e grande número de vazios. Pode estar submetida a tração, compressão simples e momento fletor. Normalmente, este tipo de solução estrutural é adotada quando se quer vencer grandes vãos com poucos apoios.

Segundo LIMA. J. F.¹, como nas treliças, a viga Vierendeel bi apoiada tem tensões muito fortes à compressão e tração. Os grandes esforços começam a surgir junto aos apoios, onde os esforços de cisalhamento são mais fortes. As soluções mais apropriadas são com os furos em hexágonos ou octógonos.

¹ LIMA. J. F., conhecido como Lelé, em curso de Tecnologia da Arquitetura, 2006, disponível em <http://www.usp.br/fau>. Acesso em julho/2006.



Fotografia 38 – Exemplo de viga em quadro na obra do Centro de Capacitação e Pesquisa do Meio Ambiente.

Projeto: Carlos Bratke, 2004. Local: Cubatão, SP.

Fonte: Projeto e Design, nº 322, 2006.

7.3.2.6 Vigas Mistas

As vigas mistas resultam da associação de uma viga de aço com uma laje de concreto ou mista, cuja ligação é feita por meio dos conectores de cisalhamento, geralmente soldados à mesa superior do perfil.

Esta associação é feita por meio de conectores metálicos ligados às vigas de tal maneira que esta ligação seja resistente ao cisalhamento. Este tipo de associação é economicamente interessante porque reduz o peso das vigas, fazendo com que a laje de concreto receba grande parte do esforço de compressão, enquanto a viga de aço absorve os esforços de tração. Podem ser usadas lajes moldadas in loco com face inferior plana ou com fôrma de aço incorporada, lajes metálicas conhecidas como *steel deck*, ou, ainda, podem ser formadas de componentes pré-fabricados.

No caso de lajes *steel deck*, a união é feita por conectores conhecidos como *stud bolts*, que são pinos eletro-soldados na fôrma metálica e na viga, absorvendo o esforço de cisalhamento.

O sistema de lajes *steel deck* configura-se como um sistema de laje mista. Consiste na utilização de uma fôrma permanente nervurada de aço, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das cargas de utilização. Após a cura do concreto, os dois materiais, a fôrma de aço e o concreto, solidarizam-se estruturalmente, formando o sistema misto. A fôrma de aço substitui então a armadura positiva da laje, requerendo, entretanto proteção contra ação do fogo.



Fotografia 39 – Instalação de *stud bolts*.

Fonte: Construção Metálica / ABCEM – Nº 73, p. 21, 2006.

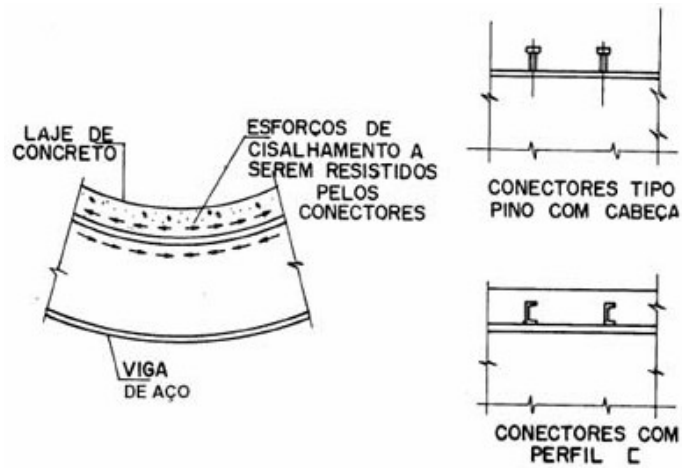
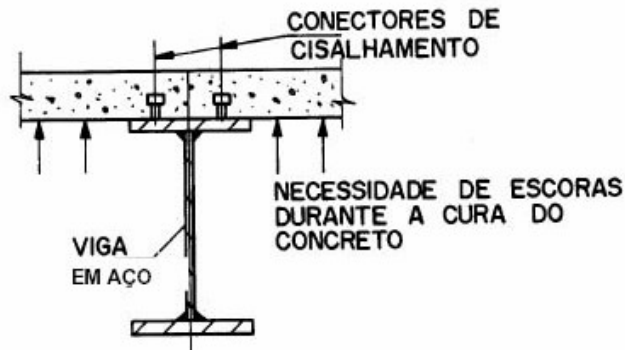
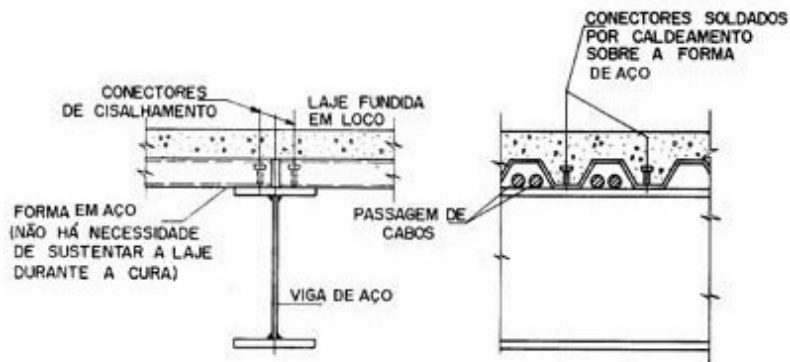


Figura 29 – Tipos usuais de conectores.

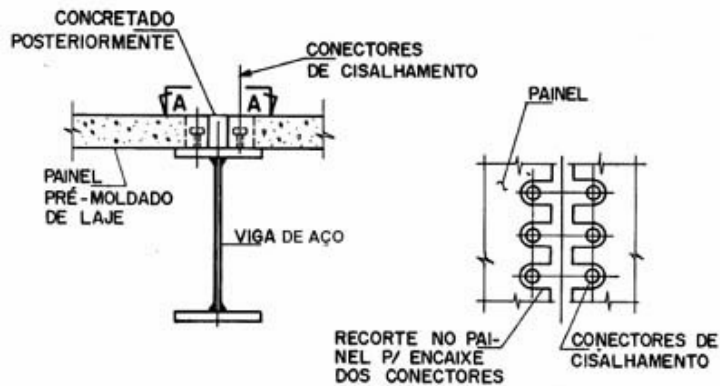
Fonte: "Tipos de aço e perfis para construção metálica", disponível em <http://www.forumdaconstrução.com.br>. Acesso em maio/2008.



(A) LAJE FUNDIDA IN LOCO



(B) LAJE COM FORMA METÁLICA



(C) LAJE PRÉ-MOLDADA

Figura 30 a,b e c – Tipos usuais de vigas mistas.

Fonte: "Tipos de aço e perfis para construção metálica", disponível em <http://www.forumdaconstrução.com.br>. Acesso em maio/2008.

7.4 Outros produtos em aço para utilização em edificações

Existem diversos outros produtos em aço que também podem fazer parte da composição de uma edificação. Podem também ter função estrutural ou apenas de vedação, revestimento e, ainda, para abrigar algumas instalações (elétricas, hidráulicas, ou outras). Alguns deles serão exemplificados através de seu uso.

7.4.1 Chapas de aço

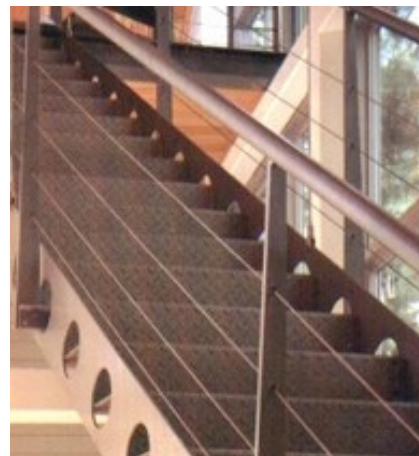
São laminados planos assim denominados quando uma das dimensões (espessura) é muito menor que as demais. Sua especificação, de acordo com a norma, é feita através das letras CH seguida da espessura (mm) e o tipo de aço empregado. Elas podem ser lisas, estampadas (xadrez) ou perfuradas.

As chapas xadrez podem ser utilizadas em pisos ou revestimentos. No caso de pisos, a textura empregada reduz a possibilidade de escorregões dos usuários.



Fotografia 40 – Chapa xadrez.

Fonte: <http://www.ecotel-telecom.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 41– Piso da escada em chapa xadrez em uma residência.

Projeto: Peter Forbes, local: Maine, EUA.

Fonte: JODIDIO, P. ,Contemporary American Architects vol.II., p.82, 1996.

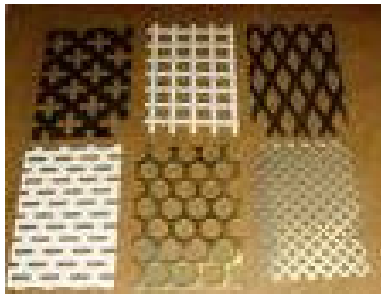


Fotografia 42- Degraus de escada em chapa xadrez em uma residência.

Projeto: Antonio Ferreira Jr. e Mário Celso Bernardes, local:São Paulo, SP.

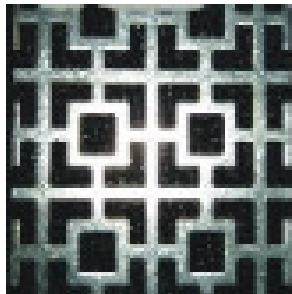
Fonte: Arquitetura e Construção, p.87, novembro/ 2006.

As chapas perfuradas são produzidas em diversos padrões e cores. Podem ter furos redondos, quadrados, oblongos, hexagonais e em malha ornamental. Podem ser utilizadas como elementos de controle de incidência solar, antivandalismo ou em detalhes como guarda corpos, portões, etc.



Fotografia 43 – Vários padrões de chapas perfuradas.

Fonte: <http://www.eduaco.com.br>.
Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 44 – Chapa perfurada ornamental.

Fonte: <http://www.eduaco.com.br>.
Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 45 – Residência com chapa perfurada compondo esquadria na fachada.

Projeto: Eduardo de Almeida. Local: São Paulo, SP.

Fonte: Projeto e Design, nº 310, 2005.

7.4.2 Grades para pisos

As grades de piso têm grande utilidade no setor industrial. Podem ser usadas como proteção para máquinas, divisões, passarelas, degraus de escada, *pallets* e plataformas para máquinas. As grades são fornecidas em medidas padrão ou conforme necessidade do vão a ser vencido.

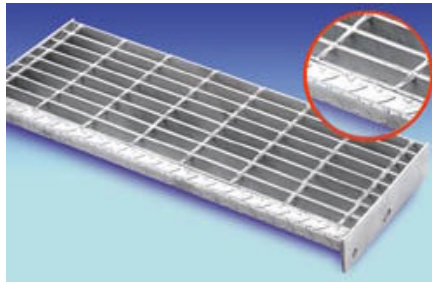
As grades permitem a aplicação de tratamentos de proteção à oxidação. A zincagem por imersão a quente¹ é tida como a mais eficaz.

Em residências, seu uso é mais comum sobre canaletas de drenagem, dando continuidade ao piso.



Fotografia 46 – Grade metálica para piso.

Fonte: <http://www.eduaco.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 47 – Grade metálica para degrau de escada.

Fonte: <http://www.eduaco.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 48– Piso em grade metálica, em mezanino que é utilizado como biblioteca no interior da “T house”.

Projeto: Simon Ungers, local: Wilton, NY, EUA.

Fonte: JODIDIO, P. ,Contemporary American Architects vol.II., p.164, 1996.



Fotografia 49– “T house”.

Projeto: Simon Ungers, local: Wilton, NY, EUA.

Fonte: JODIDIO, P. ,Contemporary American Architects vol.II., p.167, 1996.

¹ Sistema de proteção do aço perante a corrosão.

7.4.3 Barras

Barras são peças de aço de seção transversal redonda, quadrada, retangular (barra chata) ou sextavada, onde a dimensão da seção transversal é pequena frente ao comprimento. Sua especificação é feita através do símbolo do formato da seção da barra, seguido da dimensão da seção em mm. Estão disponíveis no comprimento de 6 m.

As barras são geralmente empregadas nas estruturas metálicas como tirantes, contraventamentos e chumbadores.

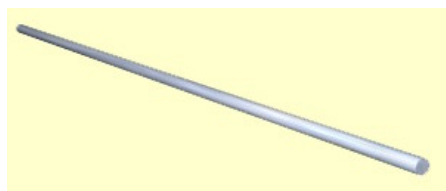


Figura 31 – Barra redonda.

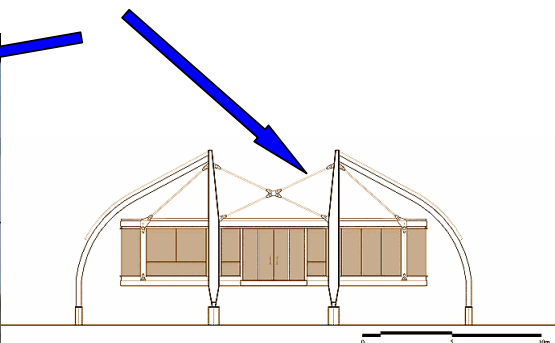
Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR.
Autores: Azevedo, C. A. C. et al.



Fotografia 50 – Residência “pouso alto” com barras de aço como tirantes da estrutura.

Projeto: Newton Massafumi Yamato e Tânia Regina Parma. Local: Barra do Una, São Sebastião, SP.

Fonte: <http://www.metlica.com.br>. Acesso em fevereiro/2007



Fotografia 51 – Fachada da residência “pouso alto” com barras de aço como tirantes da estrutura.

Projeto: Newton Massafumi Yamato e Tânia Regina Parma. Local: Barra do Una, São Sebastião, SP.

Fonte: <http://www.metlica.com.br>. Acesso em fevereiro/2007.

7.4.4 Fios, cordoalhas e cabos

São produtos metálicos obtidos por trefilação¹ e que, devido a sua flexibilidade, são muito utilizados na construção civil.

Na fabricação do fios, utilizam-se aços de alto teor de carbono (aço duro) ou aço doce (baixo teor de carbono).

¹ A trefilação é um processo pelo qual a barra ou fio é estirado, sofrendo simultaneamente compressão/ mordeduras laterais.

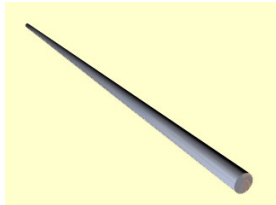


Figura 32 – Fio trefilado.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR.
Autores: Azevedo, C. A. C. et al.

As cordoalhas podem ser formadas pela associação de três ou sete fios arrumados de forma helicoidal. O seu módulo de elasticidade longitudinal (E)¹ é tão elevado quanto o de uma barra maciça de aço. São muito utilizadas em estruturas protendidas, como cabo de aterramento de pára-raio, tirante de sustentação, cabo mensageiro para telefonia e outras aplicações.

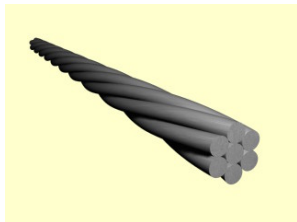


Figura 33 – Cordoalha.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR.
Autores: Azevedo, C. A. C. et al.

Os cabos de aço também são formados pelo arranjo helicoidal de fios trefilados. São muito flexíveis e empregados em inúmeras funções. Porém apresentam módulo de elasticidade longitudinal (E) cerca de 50% menor que o de uma barra maciça.



Figura 34 – Cabo de aço.

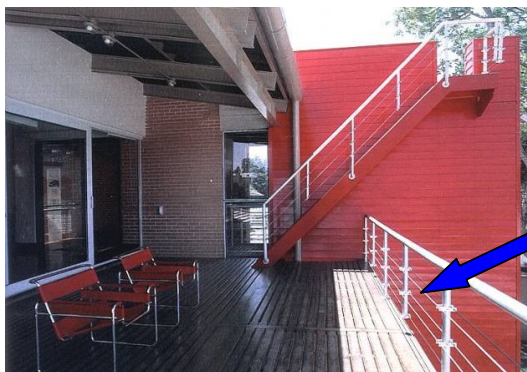
Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR.
Autores: Azevedo, C. A. C. et al.



Fotografia 52- Cabos de aço como tirantes em cobertura de uma residência.

Projeto: Karina Pimentel, local:Curitiba, PR.

Fonte: Arquitetura e Construção, p.47, fevereiro/2005.



Fotografia 53- Cabos de aço em guarda corpo de uma residência.

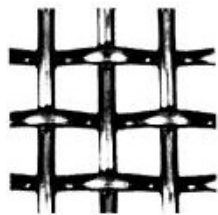
Projeto: Karina Pimentel, local:Curitiba, PR.

Fonte: Arquitetura e Construção, p.49, fevereiro/2005.

¹ Módulo de elasticidade longitudinal é uma relação que cumprem todos os materiais que apresentam comportamento elástico, sendo então, o coeficiente de proporcionalidade entre a tensão e a deformação percentual

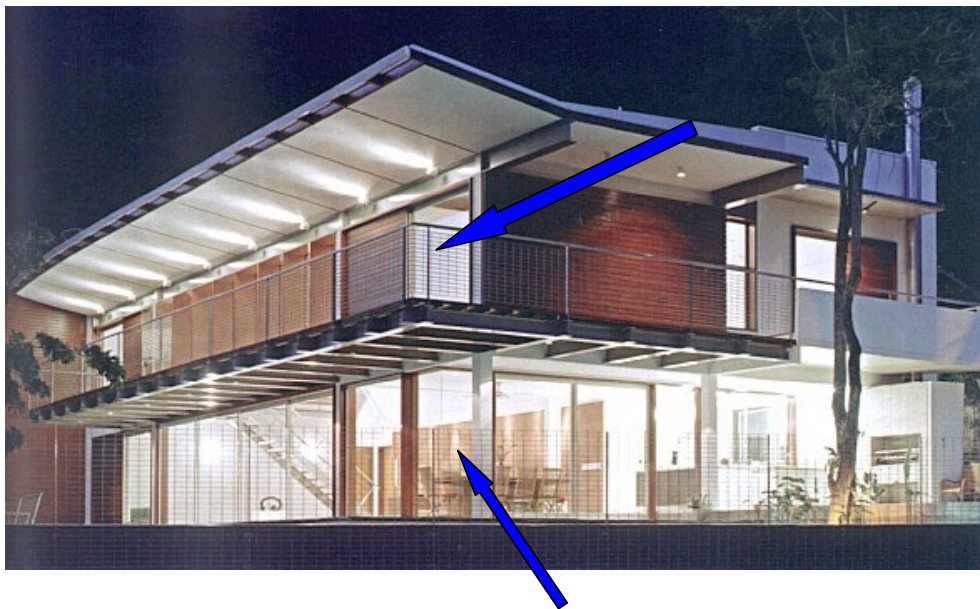
7.4.5 Telas

As telas de aço também são produzidas em diversos formatos e tipos de aço. Sua maior utilização é na composição de cercas ou guarda corpos.



Fotografia 54- Telas metálicas.

Fonte: <http://www.eduaco.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007.



Fotografia 55- Exemplo de residência com utilização de tela no guarda corpo e cerca de divisa.

Projeto: Mário Biselli e Artur Katchborian. Local: São Sebastião, SP.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras", p. 130, 2006.

7.4.6 Telhas

As telhas em aço são produzidas a partir de chapas de aço de várias espessuras. Conforme FREIRE, C.¹, são fabricadas por roloformagem, a partir de chapas ou bobinas de aço laminado a frio, com ou sem requisitos de propriedades mecânicas. Podem adquirir diversas formas, tamanhos e cores.

Normalmente são fabricadas a partir de chapas de aço zincado por imersão a quente, com ou sem pintura, e ou de chapas finas de aço resistente à corrosão atmosférica tipo *galvalume*², pós-pintada. As telhas de aço podem ser onduladas ou trapezoidais, sendo variáveis as alturas das ondas e das nervuras, o seu espaçamento, as suas dimensões, a espessura da chapa de aço e a presença ou não de estampas enrijecedoras.

As telhas de aço podem ser compostas por apenas uma chapa de aço conformada com o perfil desejado ou com duas chapas com um recheio de material isolante. Neste último caso são conhecidas como telhas sanduíche. Para um melhor conforto térmico e acústico, entre os dois perfis das chapas são usados materiais isolantes como, por exemplo, lãs minerais, poliuretano ou EPS (isopor). Também são fabricados, com as mesmas chapas utilizadas nas telhas, rufos, calhas, cumeeiras, pingadeiras e arremates.



Figura 35- Exemplos telhas em aço (sanduíche trapezoidal com EPS, sanduíche trapezoidal com poliuretano, trapezoidal multidobras, ondulada simples e trapezoidal).

Fonte: <http://www.isoeste.com.br>. Acesso em junho/2007.

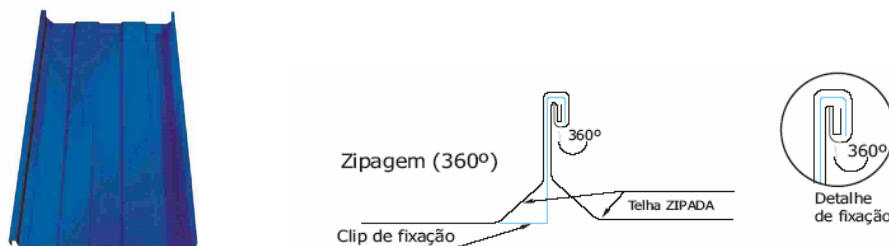


Figura 36- Exemplos telha em aço zipada. Estas são produzidas em obra, de forma contínua e sem emendas.

Fonte: <http://www.isoeste.com.br>. Acesso em junho/2007.

1 FREIRE, C. Coberturas e Fechamentos. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>> Acesso em junho/2007.

2 Tipo de chapa de aço com sistema de proteção galvânica com zinco e alumínio.

As telhas de aço aqui exemplificadas possuem, normalmente, grandes dimensões. Tendo, em geral, largura de 1 m e comprimento variável entre de 2 e 5 m, a ser especificado conforme o modelo da telha mais adequado ao projeto. Têm como vantagem o poder de vencer vãos consideráveis, diminuindo, portanto o número de apoios.



Fotografia 56- Exemplo de residência com utilização de telha em aço multidobras.

Projeto: Flávio Kiefer. Local: Eldorado do Sul, RS.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 213. 2006.



Fotografia 57- Exemplo de residência com utilização de telha em aço trapezoidal.

Projeto: Carlos Bratke. Local: São Paulo, SP.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 193-4. 2006.



Fotografia 58- Exemplo de residência com utilização de telha em aço trapezoidal.

Projeto: Carlos Bratke. Local: São Paulo, SP.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 193-4. 2006.

Existem também telhas de aço de pequenas dimensões como, por exemplo, as telhas gravilhadas fabricadas a partir do aço galvanizado (55% alumínio, 43,4% zinco e 1,6% de silício), que aqui no Brasil é produzido pela CSN¹. São recobertas por gravilha de rochas moídas e camada de acrílico transparente oferecendo uma proteção extra contra corrosão.

Este tipo de telha pode ser fixado tanto sobre uma estrutura de aço ou madeira.



Fotografia 59 - Telha em aço gravilhada.

Fonte: <http://www.eurotelhas.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007



Fotografia 60 - Exemplo de residência com telha em aço gravilhada.

Fonte: <http://www.eurotelhas.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007

7.4.7 Painéis

Os painéis de aço também são produzidos a partir de chapas de aço. Podem ser corrugados, estampados, lisos, com revestimento termo acústico agregado ou não. Podem ser utilizados como vedação ou revestimento.

¹ Cia Siderúrgica Nacional.



Figura 37 - Exemplo de painéis de aço.

Fonte: <http://www.isoeste.com.br>. Acesso em dezembro/ 2006.



Figura 38 - Detalhe da junção entre painéis.

Fonte: <http://www.isoeste.com.br>. Acesso em dezembro/ 2006.



Fotografia 61 - Exemplo de residência com painel de aço corrugado.

Projeto Shuhei Endo. Local: Osaka, Japão.

Fonte: <http://www.usefulandgreeable.com>. Acesso em maio/ 2008.

8 A arquitetura de uma residência com aço

O aço numa residência ou em qualquer outra edificação pode estar presente de diversas maneiras: em suas fundações, no sistema estrutural, como vedação vertical ou horizontal, em coberturas, em guarda corpos, esquadrias e etc. Pode ser utilizado em caráter essencialmente arquitetônico ou com objetivo de superar algum entrave técnico, ou de ambas as formas.

Como todo material construtivo, o aço tem suas peculiaridades. Com ele é possível elaborar qualquer tipo de arquitetura residencial. Uns dos grandes avanços tecnológicos que o acompanha é a possibilidade do aumento dos vãos livres e a pré-fabricação. Com os avanços tecnológicos, as formas na arquitetura também evoluem.

O aço, utilizado como estrutura, pode delinear ou ser delineado pela arquitetura e ser submetido a variados sistemas estruturais. A concepção formal de uma obra está intrinsecamente ligada a sua concepção estrutural. A concepção estrutural pode estar presente e exposta na obra arquitetônica ou omitida por ela.



Fotografia 62 -Exemplo residência cuja concepção estrutural está omissa na arquitetura.

Esta residência, de aspecto “neoclássico” foi executada pela construtora Seqüência, no Estado de São Paulo, com o sistema construtivo *light steel frame*.

Fonte: <http://www.construturasequencia.com.br>. Acesso em dezembro/ 2007.



Fotografia 63 -Exemplo residência cuja concepção estrutural está exposta na arquitetura.

Esta residência é da década de 1960, construída no Estado da Carolina do Norte, EUA.

Fonte:<http://www.architecturelist.com>. Acesso em janeiro/2008.

Existem vários sistemas construtivos e peculiaridades pertinentes a cada um. Os sistemas construtivos que utilizam estrutura em aço podem ser compostos por perfis pesados (laminados ou soldados) ou leves (perfis dobrados). Também podem ser sistemas construtivos mistos, em que são utilizadas, por exemplo, estruturas em madeira e aço, concreto e aço, etc.

O conhecimento do aço, como material, e de como se dá sua utilização em sistemas construtivos fornece liberdade de criação aos arquitetos. Com o domínio destes conhecimentos pode-se direcionar o partido arquitetônico a ser adotado em função de aspectos técnicos e estéticos, adequando-os também ao custo-benefício da obra.

A racionalidade na concepção estrutural favorece a relação custo benefício. Quando se pensa em aço, pensa-se logo em sua pré-fabricação, pertinente aos sistemas estruturais. Quando se opta por arquiteturas com volumetrias e formas curvas ou em ângulos diferenciados de 90 °, o processo de fabricação começa a encarecer, pois a tão esperada padronização dá lugar a um processo praticamente artesanal. Levando-se em conta que uma residência unifamiliar de médio e alto padrão, é única em sua arquitetura, na maioria das vezes, o que deverá ser ponderado nas decisões arquitetônicas é o custo dos procedimentos a serem adotados. Possibilidades técnicas existem, porém custam mais caro. Muitas vezes, conforme o padrão aquisitivo da pessoa que esteja construindo, o custo elevado não é problema perante uma realização sonhada.

Em países como Estados Unidos, Inglaterra, Canadá e Japão, a tecnologia construtiva em aço, voltada para residências, já está bem disseminada. Sistemas construtivos como o *Light steel Frame* são amplamente utilizados, bem como sistemas de vedações com painéis. Aqui no Brasil, ainda estamos caminhando para disseminação dos processos construtivos em aço. Em residências, o que é mais comum vermos são sistemas estruturais compostos por perfis pesados e vedação em alvenaria.

As paredes do sistema *Light steel Frame* funcionam como paredes estruturais. Através delas as cargas se distribuem, para chegarem à fundação. Neste sistema as paredes são montadas através de quadros de perfis leves de aço galvanizado, cuja modulação varia entre 40 e 60 cm. Os perfis chegam à obra em tamanhos típicos e são cortados e montados no próprio canteiro. A estrutura é toda parafusada, com parafusos auto-brocantes¹ galvanizados. Por serem perfis leves, a fundação se torna bem mais leve. Em residências, é comum ver a fundação tipo radier. É um sistema de obra seca, pois toda a composição, com os perfis de aço, é baseada em elementos de vedação como painéis cimentícios, de madeira ou de aço.

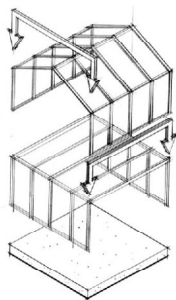


Figura 39 -Direcionamento das cargas no sistema *Light steel Frame*.

Fonte: Campos, A. S. em "O que é o *Light Steel Framing*", disponível em <http://www.forumdaconstrução.com.br>. Acesso em maio/2008.

1 O parafuso auto-brocante desempenha, ao mesmo tempo, o papel de broca (que faz o furo) e de parafuso (com a função de fixar algum componente). Este tipo de parafuso é utilizado para perfurar e fixar componentes feitos de chapas de aço fino. Funcionam bem com chapas de no máximo 3 mm.

No sistema construtivo com perfis pesados, as cargas se distribuem através da estrutura, caminhando através de todos os elementos estruturais como, por exemplo, lajes, vigas, pilares, vigas de fundação e fundação. Pode ser um sistema de obra seca ou não, dependendo do tipo de vedação utilizado. As vedações, tanto as horizontais quanto as verticais, podem ser de blocos ou painéis de diversos materiais. As estruturas em perfis pesados, normalmente, são pré-fabricadas e, posteriormente, são levadas à obra para a montagem, sendo então soldadas ou parafusadas.

Atualmente, a arquitetura estruturada por sistemas construtivos em aço desponta com aspectos muito criativos em suas soluções. Tudo é possível ser feito quando não há empecilhos financeiros.

Serão apresentados alguns exemplos de residências com o uso de aço, que estarão agrupados, conforme a percepção da autora, de acordo com a linguagem arquitetônica, designando-as como:

- **Arquitetura escultura:** são residências únicas, que por sua forma exótica e o conceito a que se prestam se configuram como uma obra de arte com caráter escultural. Estas residências apresentam um aspecto inusitado e único.
- **Arquitetura contemporânea moderna:** são residências que tiram partido da estrutura metálica e assumem uma arquitetura próxima de um aspecto industrial, com seus elementos estruturais expostos. São residências impregnadas com conceitos de modernidade.
- **Arquitetura contemporânea convencional:** são residências cujo aspecto está mais próximo do imaginário da grande maioria das pessoas. São residências que apresentam formas convencionais.

Independente do tipo de arquitetura e de obras que serão apresentadas a seguir, vale ressaltar que, atualmente, o mundo caminha para uma maior conscientização da gestão de nosso planeta. A arquitetura tem o poder de gerar o bem estar aos homens e, na atual circunstância, tem a obrigação de estar direcionada às questões ambientais e de sustentabilidade. Para tanto, o desempenho e a eficiência das residências são um dos pontos de uma grande equação a ser resolvida rumo à qualidade de vida de todos. Ao projetar, cuidados com o conforto térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança estrutural, segurança ao fogo e durabilidade devem ser bem resolvidos, bem como, a integração com o meio ambiente e a tecnologia mais adequada a ser utilizada.

8.1 Arquitetura escultura

Neste viés da arquitetura é preponderante a liberdade de formas e texturas, independente de um resultado conceituado como bonito ou não. A criatividade é completamente liberta, exceto perante aspectos que a fazem transportá-la para algo concreto como, por exemplo, o tempo e o dinheiro empregado.

O aço como material possibilita a construção de obras com particularidades pertinentes ao próprio material. A possibilidade de vencer grandes vãos com uma estrutura relativamente esbelta oferece às formas mais leveza (não que todos os

projetos objetivem isto). A pré-fabricação também é um fator que soluciona muitas formas arquitetônicas.

A seguir, alguns exemplos de arquitetura escultura.

8.1.1 Panorama internacional



Fotografia 64 -St. Andrews Beach House.

Nota-se a presença de chapas de aço patinável como revestimento/vedação e chapa perfurada como *brise soleil*.

Projeto: Sean Godsell Architects.

Fonte: [http:// www.architecture.uark.edu](http://www.architecture.uark.edu). Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 65 e 66 - Xeros Residence, Phoenix, Arizona, EUA, 2005 .

Nota-se a presença de chapas de aço patinável como revestimento/vedação e chapa perfurada como *brise soleil*.

Projeto: Architect Matthew Trzebiatowski.

Fonte: [http:// www.blankspace.net](http://www.blankspace.net). Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 67 - *Rusted Steel House*, EUA.

Nota-se a presença de chapas de aço patinável como revestimento/vedação.

Projeto: Robert Bruno.

Fonte: <http://www.darkroastedblend.com>. Acesso em janeiro/ 2008.



Fotografia 68 e 69 – Interior da *Rusted Steel House*, EUA.

Projeto: Robert Bruno.

Fonte: <http://www.darkroastedblend.com>. Acesso em janeiro/ 2008.



Fotografia 70 – Glass house, 1949. EUA.

Nota-se estrutura em perfil pesado de aço e vedação em vidro.

Projeto: Philip Johnson.

Fonte: <http://www.matthewlangley.com>. Acesso em janeiro/ 2008.



Fotografia 71–*Farnsworth house*, 1951. Illinois, EUA.

Nota-se estrutura em perfil pesado de aço e vedação em vidro.

Projeto: Mies van der Rohe.

Fonte: Projeto Design 285, p.20, 2004.



Fotografia 72 - *Maison-stuttgart*, 1949. EUA.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e vedação externa em vidro.

Projeto: Werner Sobek.

Fonte:<http://www.otua.org> steel-housin-creative. Acesso em janeiro/ 2008.



Fotografia 73 e 74– Casa com forma de vaso sanitário, criada por ativistas sul-coreanos, num ato de protesto contra o fato de 2 bilhões de pessoas não terem banheiros em casa ou qualquer tipo de instalação sanitária. A casa, que foi toda construída em aço, concreto branco e vidro.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e vedação externa em concreto branco.

Projeto: Sim Jae-duck.

Fonte:[http:// www.projetandonomundo.blogspot.com](http://www.projetandonomundo.blogspot.com). Acesso em janeiro/ 2008.



Fotografia 75 - *Bart Prince House*, 1949,EUA.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e diversos tipos de vedações.

Projeto: Bart Prince.

Fonte:<http://www.roxanneardary.com>. Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 76 - *Football house*, 2001, Malawi.

Nota-se a presença de chapas de aço patinável como revestimento/vedação.

Projeto: Jan Sonkie.

Fonte:<http://www.roxanneardary.com>. Acesso em janeiro/ 2008.

8.1.2 Panorama nacional



Fotografia 77- Residência em São Paulo.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações. A cobertura é de telha de aço tipo sanduíche, atirantada com cabos de aço. No portão é utilizada chapa de aço pintada.

Projeto: Carlos Bratke.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 193. 2006.



Fotografia 78- Residência na Serra da Cantareira, SP.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e diversos tipos de vedações.

Projeto: José Wagner Garcia.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 209. 2006.



Fotografia 79 - *Residência Itanhagá.*

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações. A cobertura é uma membrana tensionada, atirantada com cabos de aço.

Projeto: bernardes + jacobsen.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 80 - *Casa de campo.*

Nota-se estrutura em perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações.

Projeto Carlos Alberto Marciel.

Fonte: *Arquitetura e Aço*, p.26, julho 2006.

8.2 Arquitetura contemporânea moderna

A arquitetura contemporânea moderna expressa o pragmatismo de uma sociedade industrial. Assume aspectos estéticos similares a uma edificação fabril. Normalmente, neste tipo de arquitetura, a estrutura metálica é um elemento funcional e estético exposto, fazendo parte da composição da obra.

Sob o ponto de vista da autora, são projetos que representam a era da revolução científica e industrial. Eles não são imbuídos de características do lugar. Um mesmo projeto pode estar inserido em qualquer lugar, como uma arquitetura internacional.

A seguir, alguns exemplos de arquitetura contemporânea moderna.

8.2.1 Panorama internacional



Fotografia 81 – Casa González. Local: Granada, Espanha.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e diversos tipos de vedações. No portão há tela e chapa de aço.

Projeto: Javier Terrados.

Fonte: CERVER, F. A., "Houses of the world", p. 563, 2003.

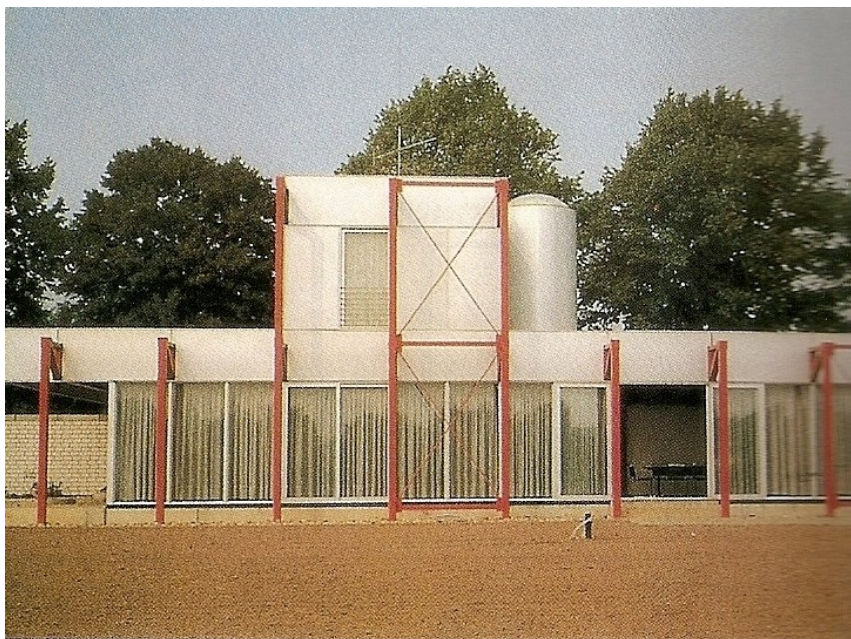


Fotografia 82 – Casa em Igualada. Local: Igualada, Espanha.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis de aço e diversos tipos de vedações, inclusive chapa de aço. O guarda corpo da escada é composto de tubos e cabos de aço.

Projeto: Pep Zazurca.

Fonte: CERVER, F. A., "Houses of the world", p. 373, 2003.



Fotografia 83 – Wabbel House. Local: Wittlaer, Alemanha.

Nota-se estrutura metálica e diversos tipos de vedações. Há barras de aço como contraventamento dos pilares centrais.

Projeto: Wolfgang Dörin.

Fonte: CERVER, F. A., "Houses of the world", p. 194 , 2003.

8.2.2 Panorama nacional



Fotografia 84 - Residência Jardim Botânico. Local: Rio de Janeiro, RJ.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações. A varanda é atirantada por barras de aço que compõem do guarda corpo.

Projeto Luiz Eduardo Índio da Costa e Cláudia Amorim.

Fonte: Arquitetura e Aço, p.11, julho 2006.



Fotografia 85 - Pavilhão Freiberg. Local: São Paulo, SP.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações. A cobertura em vidro é atirantada por cabos de aço. No meio do vão da construção encontram-se dois tirantes com o *design* diferenciado, feito com chapa metálica e barra de aço.

Projeto: Roberto Loeb.

Fonte: Arquitetura e Aço, p.22, julho 2006.



Fotografia 86 - Casa Portobello, Angra dos Reis, RJ.

Nota-se estrutura em diversas formas de perfis pesados de aço e diversos tipos de vedações

Projeto: Raf arquitetura.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 145. 2006.

8.3 Arquitetura contemporânea convencional

A arquitetura contemporânea convencional expressa características tradicionais locais. Embora muitas vezes estejam inseridas em países cuja cultura não é representada por determinado tipo de composição, é um tipo de arquitetura que carrega um simbolismo de lar.

Neste tipo de arquitetura o aço pode estar presente de forma aparente ou não, podendo ser utilizado simplesmente como um sistema construtivo. O principal apelo estético não parte do aço como material.

A seguir, alguns exemplos de arquitetura contemporânea convencional.

8.3.1 Panorama nacional



Fotografia 87 – Residência Praia Vermelha.

Nota-se estrutura em perfis pesados de aço e paredes em alvenaria de tijolos maciços.

Projeto: Pepe Asbun.

Fonte: DIAS, Luís Andrade de Mattos, "Edificações de aço no Brasil"; p. 157, 1999.



Fotografia 88 – Residência Penedo.

Nota-se estrutura em perfis pesados de aço e paredes em alvenaria de blocos cerâmicos vazados.

Projeto: Bianca Cito. Local: Penedo, R.J.

Foto: Bianca Cito, 2002.

8.3.2 Panorama internacional



Fotografia 89 - Residência na Turquia.

Residência executada com o sistema construtivo *Light steel frame*.

Fonte:<http://www.trimetal.com.tr>. Acesso em junho/2008.



Fotografia 90 - Residência na Turquia.

Residência executada com o sistema construtivo *Light steel frame*.

Fonte:<http://www.trimetal.com.tr>. Acesso em junho/2008.

9 A composição de uma residência em aço

Seja qual for o sistema construtivo a ser adotado, o que se deve ter como meta é a produção de uma edificação que possua características adequadas de desempenho e que assegurem uma vida útil compatível com o objetivo da edificação. A vida útil é um período de tempo previsto durante o qual um sistema construtivo deve assegurar características mínimas de segurança, estabilidade e funcionalidade, sem que haja necessidade de intervenções de manutenção não previstas.

A partir de agora, será mostrado como juntar os componentes metálicos entre si e com os demais componentes da edificação. Logicamente, isto é um universo muito grande, tanto de materiais quanto de possibilidades de combinações. Será dada ênfase no mais usual em nossa cultura de construir em aço que no caso de residências, são estruturas em aço com perfis pesados e vedação em alvenaria. O sistema construtivo com perfis leves, o *Ligth steel frame* será apenas apresentado.

O processo de elaboração de uma edificação passa por diversas fases como: planejamento, projeto, escolha de materiais, execução e uso. De maneira generalista, serão apresentados alguns cuidados e estratégias que auxiliam o processo construtivo de uma residência em aço, buscando maior qualidade da construção, minimizando atividades de manutenção e aparecimento de patologias. Na fase da concepção do projeto arquitetônico deve-se ter em mente o sistema a ser adotado como um todo. É importante ter a integração entre diversos profissionais que estejam sempre apresentando, discutindo, analisando e questionando as escolhas feitas.

Para o projeto arquitetônico de uma residência ou de qualquer edificação, antes de tudo, deve-se pensar no partido arquitetônico a ser assumido quando se pretende usar o aço. Uma decisão fundamental é definir se a estrutura em aço será aparente ou revestida. Isto significa definir a maneira que os componentes metálicos influenciarão na arquitetura, ou seja, adotar o aço simplesmente por suas inúmeras vantagens como material ou também aproveitá-lo como apelo estético.

Segundo INABA, R.¹ cabe ao arquiteto definir qual a solução mais adequada para cada obra. Nessa etapa do projeto é interessante uma consulta a um calculista que poderá orientar sobre as melhores alternativas.

9.1 Ligações entre componentes estruturais de aço

Ligação é todo detalhe que promova a união de componentes de aço entre si ou com componentes ou elementos externos.

A estrutura metálica é composta de perfis, sejam eles soldados, laminados ou de chapas dobrada. Os perfis a serem utilizados em uma obra são adquiridos e fabricados de acordo com o projeto da obra a ser executada. Estes, numa fábrica de estruturas metálicas, recebem cortes, reforços e furações, de acordo com o projeto executivo da estrutura, que deve ser elaborado em conjunto com os outros projetos

¹ INABA, R. Construções metálicas arquitetura em aço. Disponível em: <http://www.metálica.com.br>.

complementares da edificação (estruturas, instalações, etc). Algumas peças da estrutura serão associadas a outras, ainda na fábrica de estruturas. Outras, só serão associadas à estrutura no canteiro de obras, durante a montagem. Isto depende da logística do projeto, da viabilidade de transporte, do grau de facilidade de execução, e de outras peculiaridades de execução de cada obra.

As conexões ou ligações entre peças metálicas podem ser parafusadas ou soldadas. É desejável que as ligações soldadas sejam feitas em fábrica e ligações parafusadas sejam feitas em obra. Em fábrica se tem um bom controle de soldagem, deixando assim para o canteiro de obras, as ligações parafusadas devido a maior facilidade de montagem.

A escolha criteriosa entre um sistema de ligação soldado e ou parafusado, pode significar uma obra mais econômica e tornar a montagem mais rápida e funcional.

Segundo INABA, R.¹, *se a intenção do projeto for deixar as estruturas aparentes, o desenho das ligações assume uma importância maior. O formato, posição e quantidade de parafusos, chapas de ligação e nervuras de enrijecimento, são alguns dos itens que podem ter um forte apelo estético se convenientemente trabalhados pelo arquiteto em conjunto com o engenheiro calculista.*

Na execução das ligações deve-se levar em conta:

- Tipo da ligação: rígida, semi- rígida ou flexível, por contato ou por atrito;
- Possíveis limitações construtivas ou de fabricação;
- As características da montagem
- Avaliação dos custos dos vários tipos de ligação.

As ligações estruturais, de acordo com a análise estrutural elaborada para um projeto, podem ser tratadas como rígidas, semi-rígidas ou flexíveis, em função do grau de rotação relativa entre as partes e a rigidez determinada para os nós da estrutura. *Isto quer dizer que, além das barras que compõem a estrutura, também as ligações deverão estar convenientemente concebidas e dimensionadas, sob pena da estrutura não se comportar, em termos de deslocamentos e rotações, conforme desejado².*

São consideradas ligações rígidas as que impedem 90 por cento ou mais do giro da peça quando carregadas. O ângulo entre os elementos estruturais que se interceptam permanece essencialmente o mesmo após o carregamento da estrutura. O momento transmitido através da conexão rígida é máximo (ou próximo dele).

1 INABA, R. Construções metálicas arquitetura em aço. Disponível em: [http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br).

2 Ligações em estruturas metálicas, 3a edição. Instituto brasileiro de siderurgia, CBCA, RJ. 2004.

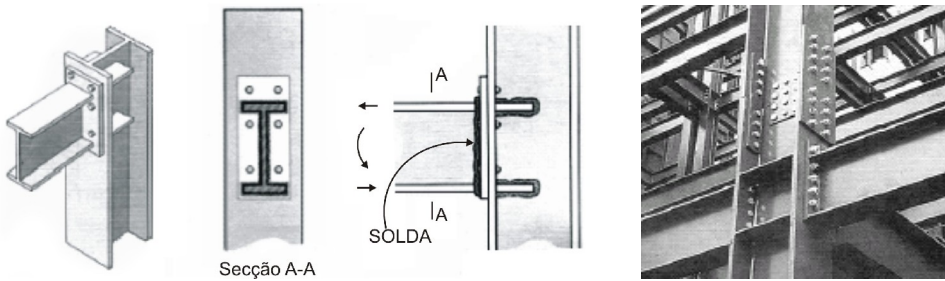


Figura 40 - Exemplo de ligação rígida com chapa de extremidade parafusada para conexão entre viga e pilar.

Fonte:ARAGÃO, M., "Ligações em estruturas metálicas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

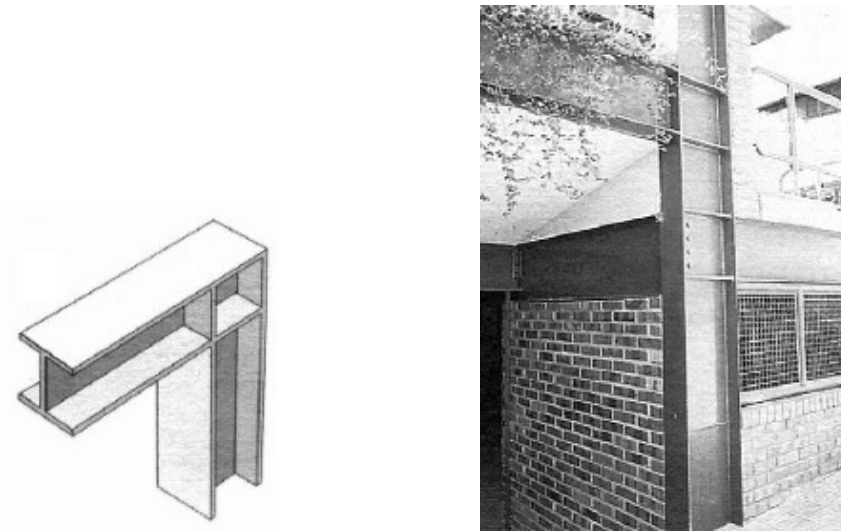


Figura 41 - Exemplo de ligação rígida soldada entre viga e pilar.

Fonte:ARAGÃO, M., "Ligações em estruturas metálicas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

As ligações flexíveis permitem o giro da peça quando carregada. O momento transmitido através da conexão flexível é zero (ou próximo de zero), ou seja, a ligação deve apenas transmitir força cortante ao pilar. Estas ligações são assim consideradas *quando atingem 80 por cento ou mais daquele comportamento esperado teoricamente caso a conexão fosse totalmente livre de girar*¹.

¹ Ligações em estruturas metálicas, 3a edição. Instituto brasileiro de siderurgia, CBCA, RJ. 2004.

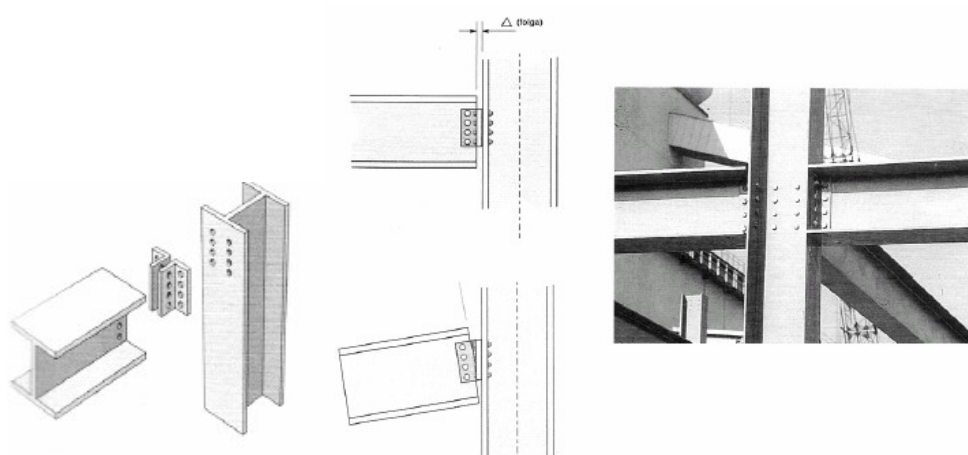
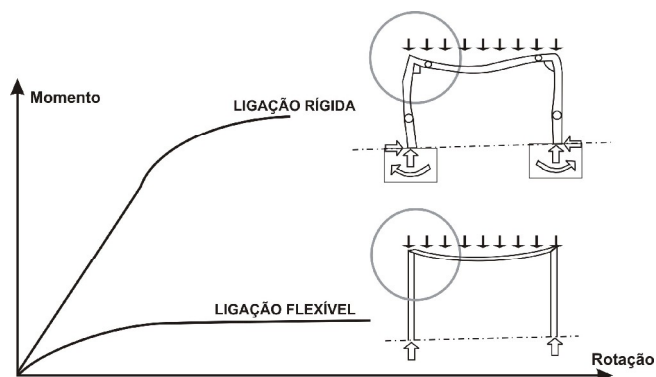


Figura 42 - Exemplo de ligação flexível entre viga e pilar. Ligações flexíveis e rígidas nos apoios.

Fonte: ARAGÃO, M., "Ligações em estruturas metálicas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

Gráfico 10 – Ligações flexíveis e rígidas nos apoios.

Fonte: ARAGÃO, M., "Ligações em estruturas metálicas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.



Na prática não existe uma ligação totalmente rígida ou flexível, pois estas são situações idealizadas, difíceis de serem atingidas. O comportamento real de uma ligação e sua influência na resistência estrutural, em uma edificação composta por um esquema de pilares e vigas, encontra-se, na maioria das vezes, entre as duas situações extremas, ou seja, entre as situações das ligações rígidas e flexíveis. Para este comportamento intermediário, o momento transmitido será resultante da rotação relativa entre a viga e a coluna. A ligação é, neste caso, denominada semi-rígida.

Nas estruturas metálicas as ligações possuem comportamento típico semi-rígido. Nesse caso a restrição à rotação está entre 20 e 90 por cento daquela teoricamente necessária para evitar qualquer rotação. Então o momento transmitido através da conexão não é nem zero (ou próximo de zero) como no caso de ligações flexíveis e nem o momento máximo (ou próximo dele) como no caso de conexões rígidas. Para que se possa utilizar a ligação semi-rígida, deverá ser conhecida primeiro a relação de dependência entre o momento resistente e a rotação. As ligações semi-rígidas,

para efeito de cálculo estrutural, são raramente utilizadas, devido à dificuldade de se estabelecer esta relação¹.

9.1.1 Ligações soldadas

Existem diversos tipos de processos de soldagem. A soldagem, além de ser um método de união de materiais, pode servir também para deposição de material sobre uma superfície, visando sua recuperação ou, para a formação de algum revestimento com características especiais. Processos relacionados com a soldagem também são utilizados para a separação de peças, ou seja, para o corte.

Para que se assegure um bom desempenho na soldagem entre peças de aço, algumas condições devem ser observadas, como por exemplo, a rugosidade e o grau de limpeza das peças.

As peças metálicas, mesmo polidas apresentam grande rugosidade. Quando esta rugosidade é muito grande, os pontos de contato (em escala microscópica) não são suficientes para se obter a resistência desejada naquela união.

A limpeza das peças é outro fator que assegura qualidade da união. As superfícies metálicas normalmente estão recobertas por camadas de óxidos, graxas, poeira, etc, o que impede o contato real entre as superfícies, prejudicando o processo de soldagem.

Para superar estas dificuldades, dois grandes grupos de processos de soldagem foram originados:

- Soldagem por pressão ou deformação, que *consiste em deformar as superfícies de contato permitindo a aproximação dos átomos. As peças podem ser aquecidas localmente de modo a facilitar a deformação das superfícies de contato.*
- Soldagem por fusão, que *consiste na aplicação localizada de calor na região de união até a sua fusão e do metal de adição (quando este é utilizado), destruindo as superfícies de contato e produzindo a união pela solidificação do metal fundido*².

Existe um grande grupo de processos de soldagem por fusão. Em função do tipo de fonte de energia usada para fundir as peças, os processos de soldagem a arco elétrico são os mais importantes e mais utilizados na indústria, atualmente.

O processo de soldagem a arco elétrico pode ser feito com eletrodo revestido³ ou por arco submerso.

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é normalmente um processo manual de solda, onde o material do bastão de solda se funde e preenche o vazio entre as peças, soldando-as⁴.

1 Ligações em estruturas metálicas, 3a edição. Instituto brasileiro de siderurgia, CBCA, RJ. 2004.

2 Fonte: MODENESE, P. J., MARQUES, P. V., "Introdução aos processos de soldagem", Universidade Federal de Minas Gerais, 2000, disponível em <http://www.infosolda.br>.

3 Eletrodo revestido consiste basicamente de uma "alma" metálica (vareta metálica sólida), recoberta por um revestimento composto por uma mistura de compostos minerais e orgânicos aglomerados com um elemento aglutinador.

4 Módulo 3 do curso a distância "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

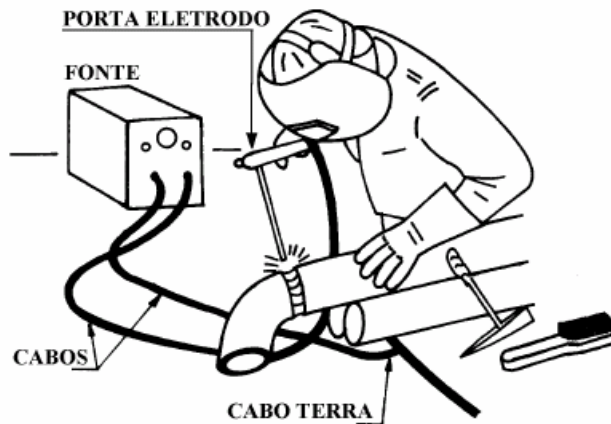


Figura 43 - Esquema de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.

Fonte: MODENESE, P. J., MARQUES, P. V., "Introdução aos processos de soldagem", Universidade Federal de Minas Gerais, 2000, disponível em <http://www.infosolda.br>. Acesso em junho/2008.

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> • Equipamento simples, portátil e barato. • Não necessita fluxos ou gases externos. • Pouco sensível à presença de correntes de ar (trabalho no campo) • Processo muito versátil em termos de materiais soldáveis. • Facilidade para atingir áreas de acesso restrito. • Aplicação difícil para materiais reativos • Produtividade relativamente baixa. • Exige limpeza após cada passe. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo. • Soldagem de aços carbono e ligado. • Soldagem de ferro fundido. • Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas.

Figura 44 – Quadro com vantagens, limitações e aplicações de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.

Fonte: MODENESE, P. J., MARQUES, P. V., "Introdução aos processos de soldagem", Universidade Federal de Minas Gerais, 2000, disponível em <http://www.infosolda.br>. Acesso em junho/2008.



Fotografia 91 - Soldador trabalhando obra residencial realizada com perfis laminados.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 92 - Eletrodos utilizados para soldagem da estrutura de obra residencial.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 93 - Ligação soldada em obra residencial realizada com perfis laminados.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 94 - Contraventamento temporário, para auxílio de prumo dos pilares durante a execução da estrutura soldada de obra residencial realizada com perfis laminados.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

O processo de soldagem a arco elétrico por arco submerso é um processo automatizado de solda comumente utilizado em soldas contínuas nas fábricas de estruturas metálicas.

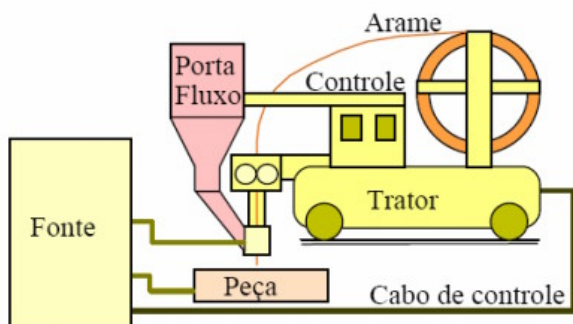


Figura 45 - Esquema de soldagem a arco elétrico por arco submerso.

Fonte: MODENESE, P.J., MARQUES, P. V., "Introdução aos processos de soldagem", Universidade Federal de Minas Gerais, 2000, disponível em <http://www.infosolda.eb.br>. Acesso em junho/2008.

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> • Altas velocidades de soldagem e taxas de deposição. • Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial. • Ausência de respingos e fumos. • Dispensa proteção contra radiação devido ao arco não visível. • Facilmente mecanizado. • Elevada produtividade. • Soldagem limitada às posições plana e filete horizontal. • Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades de junta em alguns casos. • Necessário retirar a escória entre passes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem de aço carbono e ligados. • Soldagem de níquel e suas ligas. • Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro. • Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço. • Recobrimento, manutenção e reparo.

Figura 46 – Quadro com vantagens, limitações e aplicações de soldagem a arco elétrico por arco submerso.

Fonte: MODENESE, P.J., MARQUES, P. V., "Introdução aos processos de soldagem", Universidade Federal de Minas Gerais, 2000, disponível em <http://www.infosolda.br>. Acesso em junho/2008.

As soldas feitas na fábrica têm um controle da qualidade melhor que as soldas de campo. Por isso, o projeto de execução deve prever o maior número possível de soldas na fábrica, deixando para o campo a montagem com parafusos comuns ou de alta resistência, conforme o caso. O aço usado na solda deve ter a mesma composição química do aço base, como no caso dos aços de maior resistência à corrosão.

A ligação por solda feita em fábrica ou em canteiro é normalmente mais rígida, simples e barata que a ligação parafusada¹. É, também, o tipo de ligação ideal para união de peças com geometria complicada.

¹ Fonte: Módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

A desvantagem fica por conta das dificuldades de se obter solda de boa qualidade durante a montagem de campo da estrutura, muitas vezes feita em posições e locais desfavoráveis. Por isso as fábricas de estruturas metálicas têm preferido usar em campo as ligações parafusadas¹.

9.1.2 Ligações parafusadas

As ligações parafusadas são recomendadas para a montagem em canteiro e no caso de estruturas pesadas. A resistência da junta é obtida através da resistência ao cisalhamento do parafuso, mais as forças de atrito entre as superfícies de contato. Podem ser utilizados dois tipos de parafusos: os comuns e os de alta resistência e, quanto ao comprimento da rosca, podem ser de rosca inteira ou parcial.

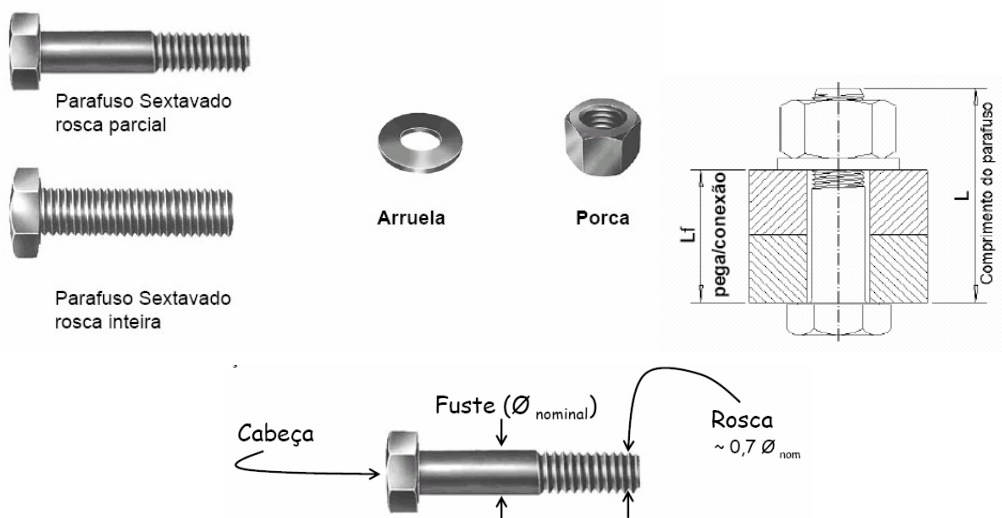


Figura 47- Descrição geral dos parafusos.

Fonte: ARAGÃO, M., "Ligações parafusadas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

Os parafusos comuns têm baixa resistência mecânica e por isso são utilizados apenas para ligações secundárias onde não são muito exigidos, como terças e longarinas, e peças decorativas como corrimãos.

Os parafusos de alta resistência são utilizados para as ligações estruturais, que possuem maior responsabilidade. Devido à característica de alta resistência, as ligações geralmente têm um número mais reduzido de parafusos, além de chapas de ligação menores. As ligações mais críticas são feitas com torquímetro² para permitir controle do aperto e considerar no cálculo o atrito entre as chapas, que com maior rigidez impedem a movimentação das partes conectadas. Também podem ser utilizados parafusos especiais como o parafuso com controle de tensão, ou arruelas com controle de carga.

¹ Módulo 3 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

² Chave de torque calibradora.



Fotografia 95 - Torquímetro.

Fonte: ARAGÃO, M., "Ligações parafusadas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

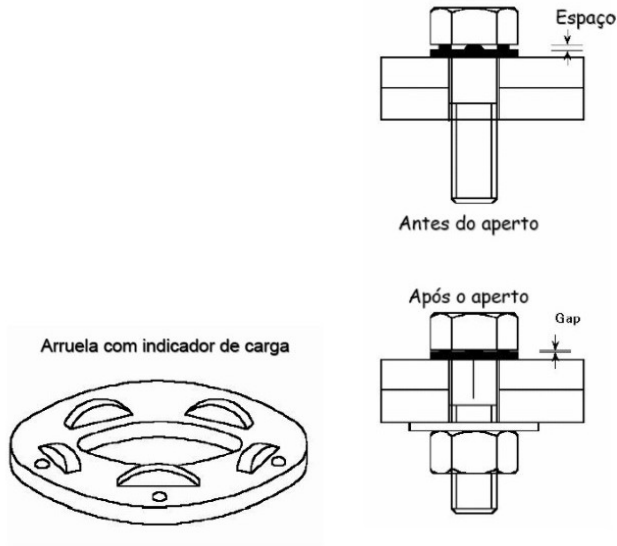


Figura 48 - Arruelas com controle de carga.

Fonte: ARAGÃO, M., "Ligações parafusadas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

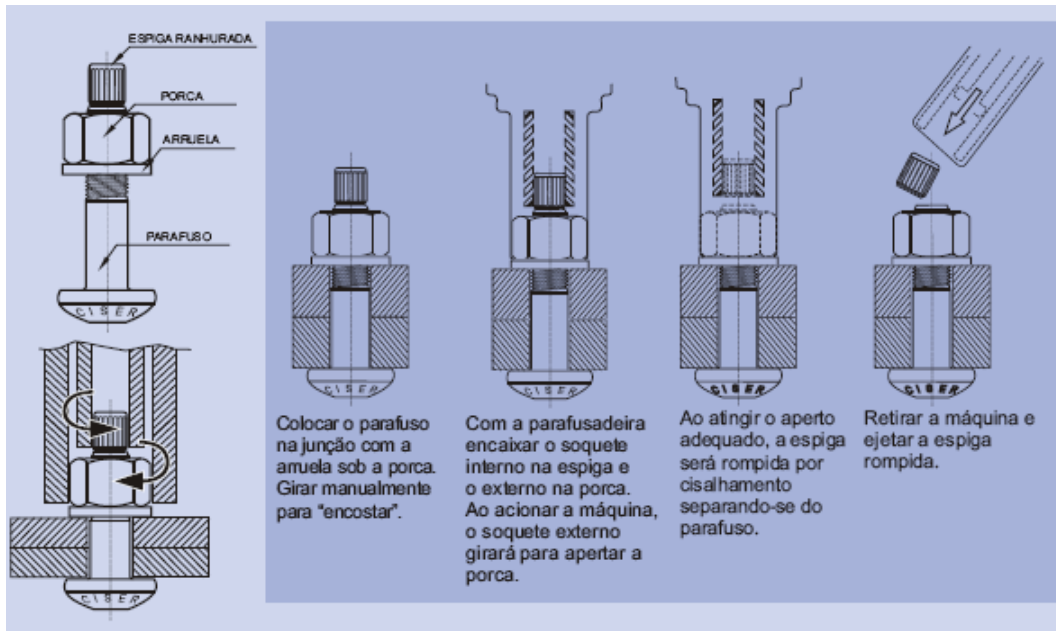


Figura 49 - Parafuso com controle de tensão.

Fonte: CISOE, parafusos e porcas, "Tenex, nem mais nem menos" disponível em <http://ciser.com.br>. Acesso em janeiro/ 2009.

Segundo ARAGÃO, M.¹ as ligações parafusadas se comparadas com as soldadas apresenta como vantagens:

- montagens mais rápidas e de inspeção fácil;
- facilidades para desmontagens para alteração e reparo;
- economia de energia;
- na montagem em campo a mão-de-obra é de menor qualificação da que seria necessária para uma montagem soldada;
- boa resposta à solicitação de esforços que levam a fadiga.

Como desvantagens:

- necessita de pré-montagem;
- no caso de modificações a furação é perdida e necessita de reparos.

Segundo INABA, R.² *é importante destacar que, quando a obra empregar aços resistentes à corrosão atmosférica (família COS AR COR) deve-se empregar parafusos de aço com as mesmas características. Também, não é recomendada a utilização de parafusos e porcas galvanizados sem pintura em estruturas de aço carbono comum ou resistentes à corrosão atmosférica. A diferença de potencial eletroquímico entre o revestimento de zinco e o aço da estrutura pode ocasionar uma corrosão acelerada da camada de zinco.*

9.1.3 Falhas em ligações soldadas e parafusadas

As falhas em ligações resultam de erros de projeto, fabricação da estrutura metálica e/ou execução da obra.

Em projeto, o detalhamento deve ser minucioso e com muita atenção nas junções das peças. O dimensionamento e a geometria da peça devem ser checados para que a fabricação e montagem ocorram bem. As futuras interferências na estrutura com as instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, de ar condicionado, etc, devem estar previstas em projeto.

Na fabricação da estrutura metálica, a precisão de corte, soldas e encaixes tornam-se fundamentais.

Na execução da obra os cuidados começam na fundação. As bases que receberão os pilares devem ser locadas com muita precisão e, para isto, é aconselhável uma locação topográfica. Na montagem da estrutura metálica, a limpeza da obra, o uso adequado de um determinado sistema de ligação e, as precauções perante improvisações, evitam falhas nas ligações.

1 ARAGÃO, M., "Ligações em estruturas metálicas", disponível em <http://www.ime.eb.br>. Acesso em junho/ 2008.

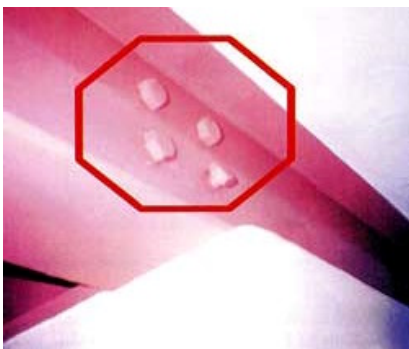
2 INABA, R. Construções metálicas arquitetura em aço. Disponível em: <http://www.metálica.com.br>.



Fotografia 96 – Falha em ligação soldada por falta de concordância em emenda de perfis.

Este tipo de falha gera excentricidades na transmissão de esforços, propiciando riscos à segurança estrutural da edificação. Isto demonstra uma completa falta de responsabilidade e controle na execução de estruturas metálicas.

Fonte: PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E.A., "Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em fevereiro /2007.



Fotografia 97- Falha em ligação parafusada.

Exemplo de ligação de viga principal com secundária, cuja ligação não obedeceu a um correto controle dimensional, causando dificuldade e impedimentos do correto aparafusamento da estrutura.

Fonte: PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E.A., "Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em fevereiro /2007.



Fotografia 98 - Falha em ligação parafusada.

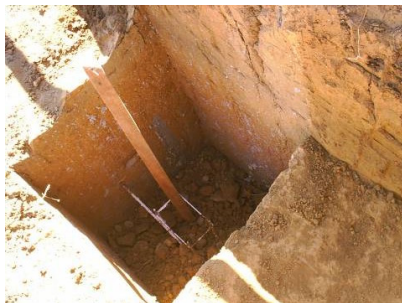
Exemplo de ligação de viga pilar, com a falta de furação para colocação do parafuso inferior. Faltou coordenação de projeto e execução da estrutura, podendo ser um erro de ambas as partes.

Fonte: PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E.A., "Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em fevereiro /2007.

9.2 Ligação entre estrutura metálica e a fundação

Numa residência, normalmente as fundações são feitas de forma convencional, em concreto armado. Devido ao pouco peso da construção residencial, não é comum a necessidade de estaqueamentos metálicos ou de concreto, de um modo geral. Logicamente isto depende muito do solo, da topografia do terreno e do projeto.

Para residências em estrutura metálica composta por perfis pesados, a fundação, normalmente, é feita com blocos de fundação denominados sapatas. Para residências em estrutura metálica composta por perfis leves, utiliza-se a fundação tipo radier.



Fotografia 99 -Exemplo de início de fundação tipo sapata. De forma convencional, é feito o lastro de concreto e fixada a armação de aço para receber as vigas de concreto armado para cintamento.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 100 -Exemplo de fundação já concretada, com os chumbadores de aço, que são rosqueados como parafusos, preparados para receberem os pilares em aço.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

Uma obra executada com estrutura metálica deve ter um rigor dimensional muito grande em sua locação. Todos os alinhamentos, níveis e prumos devem ser meticulosamente conferidos e ajustados. A estrutura metálica normalmente vem pré-fabricada e qualquer diferença de tamanho, as peças não se encaixarão, e isto, acaba gerando retrabalho, emendas, e conseqüentemente maior probabilidade de aparecimento de patologias, como corrosão, trincas e etc. Nesta fase, a utilização de um serviço topográfico é aconselhável.



Fotografia 101 - Exemplo de pilar em perfil I lançado sobre fundação em concreto armado. O nivelamento é ajustado através do parafusamento na base do pilar, que é feita com uma chapa grossa com os furos bitolados que se encaixam nos chumbadores fixados no cintamento de concreto armado.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 102 - Exemplo de nivelamento de base de pilar, finalizado e enrijecido com a execução de uma pequena base com graute.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

Quando se utiliza a estrutura metálica, um dos fatores com o qual se deve redobrar a atenção é com a umidade. Devemos evitar o contato direto da estrutura metálica com o solo ou bases que acumulem umidade, a fim de evitar processos de corrosão. A geometria da peça não deve apresentar reentrâncias que propiciem o acúmulo de água, umidade e sujeira.



Fotografia 103 - Exemplo de pilar em contato direto com o piso, à mercê de umidade, com sua base completamente atacada pela corrosão.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR. Autores: Azevedo, C. A. C. et al.



Fotografia 104 - Exemplo de má locação de uma obra onde o cinto em concreto foi executado menor que o previsto em projeto, ficando o pilar fora da base de fundação.

Fonte: PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E.A., "Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em fevereiro /2007.

PARA EVITAR CORROSÃO A NÍVEL DO CHÃO

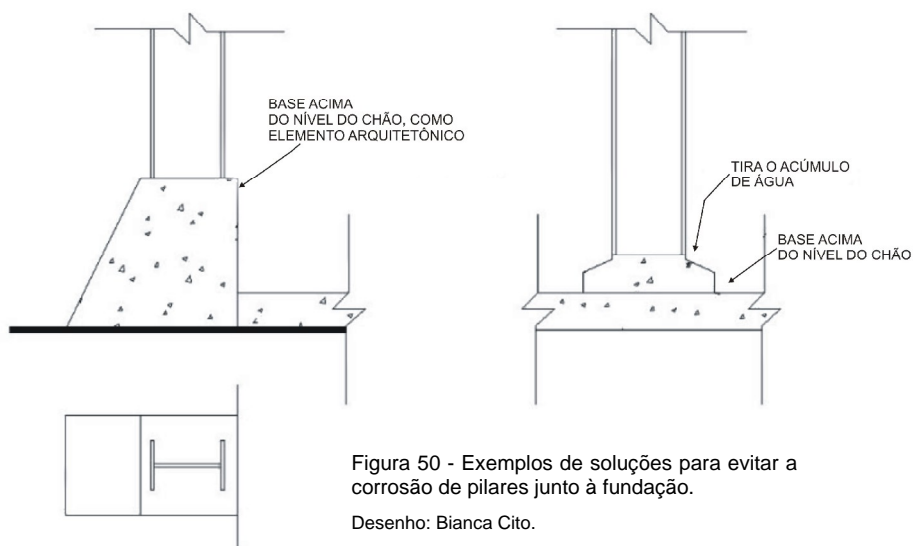


Figura 50 - Exemplos de soluções para evitar a corrosão de pilares junto à fundação.

Desenho: Bianca Cito.



Fotografia 105 - Nesta obra residencial, pela própria declividade do terreno, a estrutura fica distante do solo.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

De maneira geral, na estrutura metálica devem estar previstos furos de drenagem, em quantidades e tamanhos suficientes, para assegurar a drenagem da água. Os perfis devem ser dispostos de modo que a umidade não fique retida e, se isto ocorrer, deve-se criar condições que permitam o fluxo de ar, facilitando a secagem. Na próxima seção *Proteção do aço frente à corrosão e fogo* serão apresentadas, mais detalhadamente, questões sobre corrosão e geometria das peças.

9.3 Sistemas de vedação horizontal (pisos e tetos) e estrutura metálica

Após a execução da fundação e montagem da estrutura em aço, dependendo das características da arquitetura, a edificação poderá necessitar de uma laje, seja ela para possibilitar um outro pavimento superior ou, simplesmente, para ser um teto.

Para a escolha de um determinado tipo de laje, deve ser considerado o tamanho do vão máximo da laje, que refletirá nos vãos das vigas, o emprego ou não de equipamento para transporte vertical, o tipo de uso e carga de serviço, o aspecto estético e financeiro. Quando o projetista estrutural for calcular a estrutura ele já deve estar informado ou definir em conjunto com o arquiteto o tipo da laje a ser utilizada, para que o cálculo de estabilização da estrutura seja feito de maneira eficiente. Os projetistas de instalações também devem estar cientes do tipo de laje, pois têm que saber se podem ou não embutir os eletrodutos nas lajes e que tipo de aberturas poderão ser executadas. As vedações também possuem uma relação íntima com as lajes, e os projetos destas deverão prever o detalhamento da junção destes componentes em função da escolha do tipo de laje¹.

As lajes são elementos estruturais projetados para resistir às cargas verticais e também para funcionar como diafragma rígido no plano horizontal. Existem diversos tipos de lajes de piso, de forro ou de cobertura que podem ser utilizadas com estrutura em aço. No contexto industrializado da construção metálica, deve-se dar

¹ COELHO, R.A. em aula em vídeo "Introdução ao uso do aço na construção" disponível no módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

preferência as lajes que tem maior grau de industrialização e que não necessitam de escoramento para construção.

A estrutura de uma laje de piso é composta pela laje e pelo vigamento que a suporta. *A utilização de diferentes combinações de tipo de laje e vigamento tem grande influência na geometria e no caminho das cargas da estrutura, como quando optamos por utilizar:*

- *Piso sem vigamento*
- *Piso com vigamento em uma direção*
- *Piso com vigamento em duas direções*
- *Piso com vigamento em duas direções e vigas intermediárias.*

Cada uma destas opções define uma altura necessária para vencer o vão¹.

As lajes podem ou não trabalhar em conjunto com as vigas. Alguns tipos de laje resultam numa viga mista, onde viga e laje trabalham em conjunto, melhorando o desempenho estrutural, tornando também a estrutura mais econômica, em função da diminuição da altura dos perfis.

Deve-se lembrar que as tubulações de instalações (água, esgoto, elétrica, ar condicionado, etc) deverão ser distribuídas pelos pavimentos e, de preferência, atravessando vigas, para que a altura útil dos pavimentos seja a maior possível. Deve-se prever, em projeto, alturas de vigas diferenciadas, caso seja possível, para que se abra caminho para passagem das instalações. Por isto é muito importante a coordenação dos diversos projetos complementares com a concepção do detalhamento e a fabricação da estrutura, de forma que as aberturas em vigas de alma cheia já venham prontas da fábrica ou que vigas de menor altura sejam adequadamente distribuídas. No caso das vigas treliçadas e das vigas alveolares, esta abertura já existe naturalmente, tornando mais fácil a passagem das instalações.



Fotografia 106- Viga furada para passagem de dutos. Observe que a pintura de proteção foi refeita no local recortado.

Fonte: Módulo 4, curso a distância "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

1 Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.



Fotografia 107 -Nesta obra residencial foram previstas vigas com alturas diferenciadas para passagem de instalações.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

9.3.1 Lajes Moldadas no local

Para a execução de lajes moldadas no local utilizam-se fôrmas de apoio, coloca-se armadura de aço e lança-se o concreto usinado ou preparado no local. Existem, entretanto, alguns sistemas de fôrmas industrializadas que facilitam a montagem e lançamento de concreto. Este tipo de laje permite a criação de vigas mistas através da colocação de conectores soldados nas vigas e que vão se solidarizar com a laje de concreto aumentando a resistência ao cisalhamento.

Quando se utilizam fôrmas e escoramento de madeira, a laje moldada no local pode ser tornar desvantajosa devido à necessidade destes permanecerem até a cura do concreto (ou até que este atinja uma resistência mínima necessária), obstruindo o espaço físico da obra. Isto compromete algumas vantagens do aço como processo construtivo, como por exemplo, construção enxuta, industrialização da construção, pré-fabricação, redução do tempo, etc. Entretanto, dependendo do projeto, também pode ser a solução mais adequada.

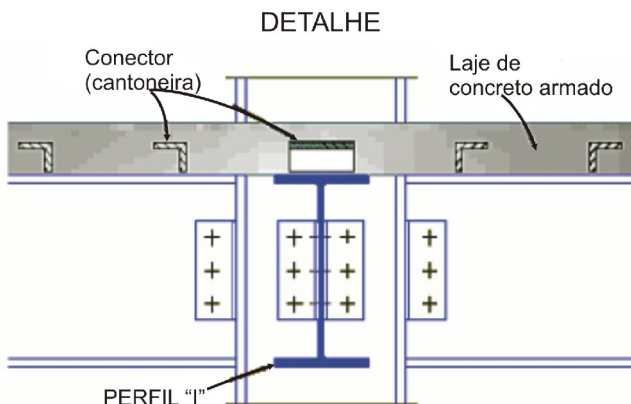


Figura 51- Detalhe laje moldada no local.

Fonte: COELHO, R. A , Coletânea do uso do Aço, Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares., 2ª edição – 2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

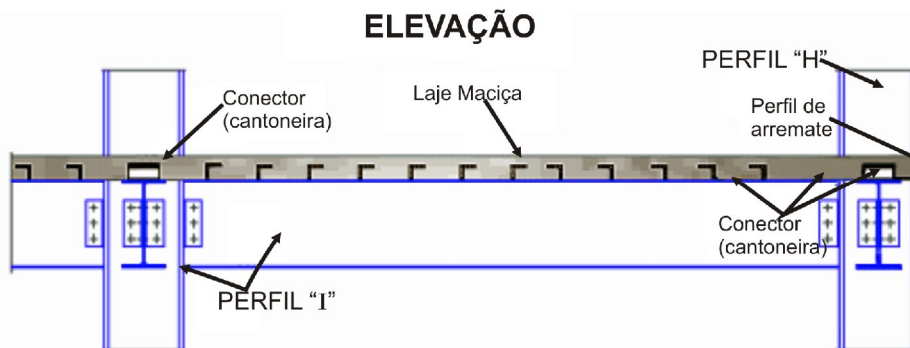


Figura 52 - Elevação de laje moldada no local.

Fonte: COELHO, R. A., Coletânea do uso do Aço, Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares., 2ª edição – 2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

9.3.2 Pré-lajes de concreto armado

Pré-lajes são placas de concreto armado ou protendido, executadas em fábrica ou no canteiro, em série. São produzidas em diversas medidas, em geral com espessura de 4 a 6 cm e com a armadura principal incorporada. Quando executadas em fábrica, costumam ter um bom acabamento na face inferior.

Após o posicionamento e fixação das placas de concreto sobre as vigas metálicas, é feita a concretagem do complemento da espessura da laje. A altura total é variável em função da carga de trabalho, porém é muito comum que seja de aproximadamente 10 cm. Podem ser fornecidas com larguras que variam de 10 a 24 cm e comprimentos variados, dependendo do tipo de laje pré-moldada. Costumam vencer até 2,5 m sem necessidade de escoramento¹.

Um tipo de laje pré-moldada muito utilizada e amplamente comercializada é a laje pré-moldada comum, que é uma laje composta por vigotas pré-moldadas em concreto no formato tipo "T" invertido, intercaladas com elementos cerâmicos. O uso desta laje é limitado a obras com vãos pequenos, com sobrecargas máximas de 500kgf/m² e, em edificações de até 3 pavimentos sem alvenaria (parede) sobre a laje. Para se combater os esforços no sentido transversal, é necessário acrescentar uma malha em aço que fica embutida no capeamento. Dependendo do vão entre vigas é necessário uma ou mais linhas de escoramento.

¹ Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.



Fotografia 108 - Início da colocação de laje pré-moldada comum em obra residencial. A estrutura metálica já está protegida com "primer".

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.
Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 109 - Laje pré-moldada de concreto em obra residencial. Observar escoramento em madeira, necessário em função do vão.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.
Foto: Bianca Cito, 2007.

Outro tipo de laje pré-moldada também muito utilizada em construções residenciais é a laje treliçada. A laje treliçada veio suprir todas as limitações técnicas da laje pré-moldada comum, proporcionando uma estrutura monolítica, já que o concreto de capa não entra em contato com o resíduo de desmoldante, aderindo totalmente à vigota. Há a possibilidade da laje ser unidirecional (quando montada em uma direção, com 2 apoios) ou bidirecional (quando montada em duas direções, 4 apoios). Isto permite a este tipo de laje que resista às cargas laterais de vento e atenda grandes edificações de grande porte, satisfazendo sobrecargas de até 5.000 kg/m² e vão livres de até 18,00 m, possibilitando também plantas livres (pavimentos flexíveis), ou seja, as paredes são montadas sobre a laje em qualquer direção e sentido, desde que calculada para essa finalidade.



Fotografia 110 - Exemplo de laje treliçada unidirecional. Este tipo de laje unidirecional é mais comum do que a bidirecional em residências.

Fonte: Módulo 4, curso a distância "Introdução ao uso do aço na construção".



Fotografia 111- Exemplo de laje treliçada bidirecional.

Fonte: <http://www.premac.com.br>. Acesso em novembro/2006.

Existem também outros sistemas como o de painéis pré-moldados, porém são pouco utilizados em residências, bem como lajes extrudadas protendidas.



Fotografia 112- Exemplo de painel treliçado. Normalmente são mais utilizados em obras de grande porte. O uso de guindaste para montagem é obrigatório.

Fonte: <http://www.premac.com.br>. Acesso em novembro/2006.

9.3.3 Lajes Steel Deck

A fôrma laje de aço conhecida como *steel deck* funciona, ao mesmo tempo, como uma fôrma e como a armadura positiva da laje. Juntamente com a utilização de conectores de cisalhamento fundidos no *steel deck* e na viga de aço, conhecidos como *stud bolts* (pinos de cabeça), passa a funcionar como uma viga mista.

A laje *steel deck* utiliza chapas galvanizadas de aço, perfiladas a frio, com tensão de escoamento¹ superior a 230 MPa, e espessuras que variam de 0,8 mm a 1,25 mm, podendo ser usados perfis trapezoidais, de nervuras largas ou mais estreitas, conforme o fabricante. Têm o aspecto de telhas, e podem ser fornecidas com a parte inferior pintada, funcionando como elemento arquitetônico.

Um aspecto importante deste tipo de fôrma é que o concreto deve estar bem aderido à chapa de aço que é, por natureza, bem lisa. Para isso, são feitas moças e ranhuras na fabricação do perfil da chapa, para servir de superfície de ancoragem do concreto. O concreto utilizado deve ter resistência superior a 20 MPa e necessita de uma armadura superior para combater fissuras oriundas de retração e variação térmica. Normalmente, esta armadura superior é executada com telas

¹ Tensão de escoamento: corresponde a tensão máxima relacionada ao fenômeno de escoamento, que quando o material deforma-se plasticamente sem praticamente aumento de tensão. Fonte: Costa, E. M., "Propriedade mecânica dos metais".

eletrosoldadas. Apenas nos locais onde é necessário algum reforço estrutural é colocada a armadura positiva adicional. Após a concretagem ficam com espessuras que variam de 13 a 20 cm.

Devido às características de resistência do perfil da chapa de aço, os vãos mais econômicos para o uso do steel deck situam-se entre 3,0 a 4,0 m, pois podem ser dispensados os escoramentos, o que é muito vantajoso. Além disso, a própria segurança da obra é aumentada após a distribuição dos decks, pois estes permitem que os operários possam caminhar sobre eles e ao mesmo tempo protegem o andar inferior da queda de objetos¹.

DETALHE

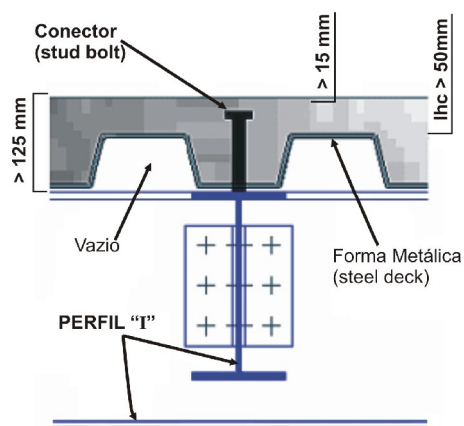


Figura 53- Detalhe de laje *steel deck*.

Fonte: COELHO, R. A , Coletânea do uso do Aço, Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares., 2ª edição – 2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

ELEVAÇÃO

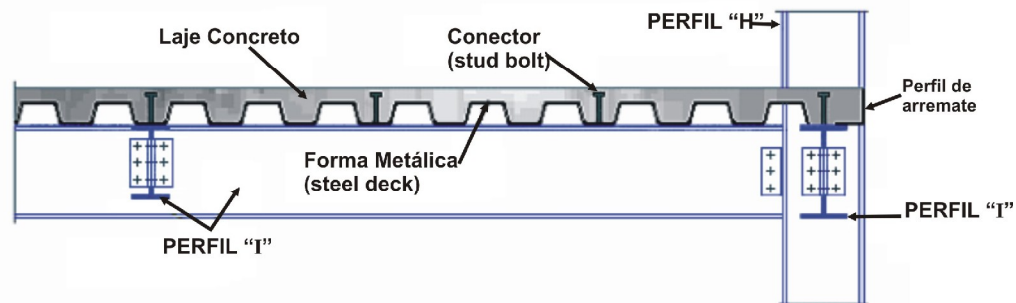


Figura 54 - Elevação de laje *steel deck*.

Fonte: COELHO, R. A , Coletânea do uso do Aço, Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares., 2ª edição – 2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

¹ Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.



Fotografia 113 - Utilização de laje steel deck em obra residencial.

Fonte: Artigo "Casas industrializadas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

As aberturas para passagem de tubulações podem ser executadas posteriormente com o emprego de serras especiais.

Na montagem não há necessidade do emprego de máquinas, pois são leves, pesando de 10 a 15 Kg/ m² ¹.

9.3.4 Lajes de painel de concreto celular autoclavado

São lajes formadas por painéis leves pré-fabricados, em concreto celular. Não permitem o emprego de vigas mistas. Possuem baixa resistência à compressão (em torno de 6 MPa) e módulo de elasticidade na faixa de 1800 MPa.

Devido às suas propriedades de isolamento térmico, são ideais para lajes de forro. O conjunto de lajes pode funcionar como um diafragma horizontal, desde que sejam executados anéis de concreto, confinando os "panos" de lajes. Quando empregados como piso, os painéis necessitam de um capeamento de argamassa forte, com espessura em torno de 3 cm, e a inserção de tela eletrosoldada. Não devem ficar diretamente expostos à umidade e não devem ser empregados em lajes que recebam cargas dinâmicas como, por exemplo, o tráfego de veículos.

São fabricados com comprimento máximo de 4 m, por 40 a 60 cm de largura, por 10 a 20 cm de espessura. Sua densidade fica em torno de 800 Kg/ m³ . Por serem leves, podem ser movimentados sem o auxílio de equipamentos. Podem ser facilmente serrados, furados e escarificados, para a passagem de tubulações.



Fotografia 114 - Painel de concreto celular autoclavado.

Fonte: <http://www.precon.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

¹ COELHO, R. A , Coletânea do uso do Aço, Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares., 2ª edição – 2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.2ª edição –2002, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

9.3.5 Lajes secas

Entende-se por laje seca aquela que não utiliza a concretagem ou outros processos que incluam materiais molhados. São lajes compostas de chapas de madeira em forma de compensados (*painel Wall*), em painéis tipo “OSB” (painéis de fibra de madeira orientada) e painéis cimentícios. Podem ou não ser revestidos com algum outro material, para reforço ou acabamento. Poderão receber, como acabamento, carpete, revestimento cerâmico ou piso de madeira. Nas áreas molhadas (banheiros, cozinha, áreas de serviço) o piso deve receber uma manta impermeabilizante.

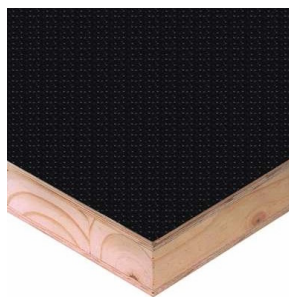
Os painéis “OSB” têm largura e comprimento padronizado de 1200 X 2400 mm e são fixados na estrutura por meio de parafusos ou presilhas. Estão sendo desenvolvidos painéis de “OSB” com revestimento de fibrocimento que tem apresentado bom desempenho. Podem ser usados como lajes ou paredes.



Fotografia 115 - Exemplo de utilização de painel “OSB” em residência. Este tipo de painel pode ser usado tanto em lajes como em outras vedações.

Fonte: <http://www.portalosb.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

Os *Painéis Wall* da Madeirit, por exemplo, são compostos de madeira maciça revestida de compensados com colagem à prova d’água, com espessura total de 4 cm. Suas superfícies são revestidas de manta fenólica anti-derrapante, que impermeabiliza e protege o painel. As placas apresentam as seguintes dimensões: 2.500 x 1.2000 x 40mm e necessitam de apoios a cada 1,25m. Seu peso próprio é 20kg/m² e sua resistência como lajes pode chegar a 700 kgf/m², dependendo da estrutura principal que suporta as placas. Podem ser usados como lajes ou paredes.



Fotografia 116 - *Painel Wall* da Madeirit.

Fonte: <http://www.painelwall.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

Os painéis cimentícios, como os fabricados pela Useplac, por exemplo, são constituídos por uma camada de 13 mm de espessura de concreto leve, reforçada por uma camada de tecido de fibra de vidro, em cada face. Suas dimensões são 2,40 m x 1,20 m. Podem ser usados como lajes ou paredes.

Na horizontal, estes painéis não têm função estrutural. Apesar de terem resistência à compressão suficiente para aplicar-se um piso frio (cerâmicas e/ou pedras), devem estar apoiados em estrutura com espaçamento por volta de 40 cm. As placas são mecanicamente fixadas nas estruturas com parafusos.



Fotografia 117 - Painel cimentício.

Fonte: <http://www.metálica.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

Outras soluções para vedações horizontais também são muito utilizadas em residências, como por exemplo, com a vedação no próprio assoalho de madeira em tábuas corridas ou tipo deck.



Fotografia 118 - Exemplo de utilização assoalho de madeira e perfis em aço.

Projeto: Roberto Moita, local: Manaus, AM.

Fonte: Arquitetura e Construção, p. 69, set. 2003.

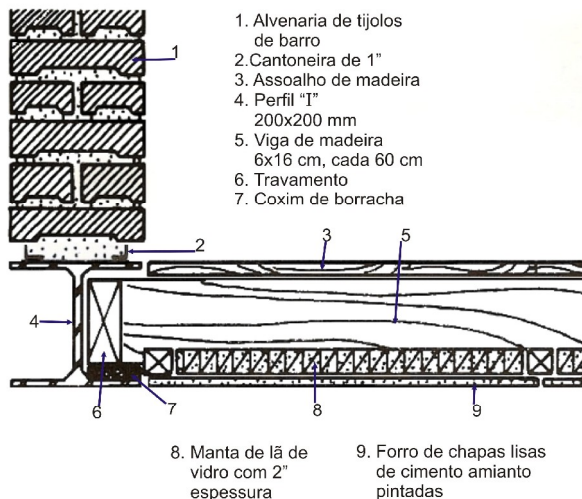


Figura 55 - Detalhe solução adotada no uso de assoalho de madeira como piso de residência com 5 pavimentos.

Fonte: DIAS, Luís Andrade de Mattos. Livro: "Edificações de aço no Brasil"; p. 47- 50, 1999.

9.4 Sistemas de vedação vertical (paredes) externa e interna

A interface das vedações com a estrutura metálica merece atenção especial, pois é na junção destes elementos que, muitas vezes, envolvendo materiais e componentes de diferentes comportamentos, que a obra é comprometida em seu desempenho. A correta compatibilização dos elementos evita patologias, como fissuras e trincas na construção, propiciando uma obra de melhor qualidade. Existem diversas opções para as vedações, tais como alvenarias, vidro e painéis de diversos materiais.

A edificação que utiliza componentes estruturais metálicos pressupõe um grau de industrialização da construção. Um grande impasse e questionamento acontece justamente na fase de vedação da edificação. O que a estrutura metálica preconiza em velocidade de execução da obra e padronização, às vezes se perde justamente na vedação. A grande questão a ser decifrada é: qual é a melhor forma de se construir paredes internas e externas de uma edificação em estrutura de aço? Esta questão é complexa, pois temos uma grande variedade de soluções. Para a escolha da mais adequada e eficiente, devem ser analisados vários fatores como: localização geográfica e disponibilidade de materiais; facilidade de execução; disponibilidade de mão-de-obra especializada; cronograma de entrega da obra; clima; função estética; limpeza; desempenho técnico; custo; e outros. O tempo desejado para execução da obra e a disponibilidade de recursos financeiros são geralmente os fatores que determinam a escolha do processo, logicamente devendo sempre assegurar o desempenho técnico requisitado para sua utilização.

Segundo PALATNIK, S.¹, *hoje, mais do que nunca, as escolhas econômicas têm um peso enorme nas decisões sobre materiais e técnicas utilizadas. O uso da estrutura*

¹ Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

de aço, em certas circunstâncias, vai ser a mais indicada. Em outros momentos pode não ser. O mesmo se dá com as vedações. Sob a ótica de uma obra industrializada, o ideal seria que todo o processo fosse industrializado, reduzindo o tempo da obra, o desperdício do material e aumentando o controle da qualidade.

Os painéis industrializados são geralmente os que permitem maior rapidez, mas demandam mais recursos financeiros em espaço curto de tempo. As paredes convencionais têm um custo inicial menor, mas requerem um tempo maior de construção.

Existem conceitos que, quando empregados, auxiliam a racionalização do empreendimento. Hoje as vedações podem ser concebidas com maior racionalidade, tendo em vista a padronização mais acentuada dos componentes e dos detalhes de sua união. Projetos permitem dispor da melhor maneira seus elementos constituintes, para evitar desperdícios de materiais, propiciarem melhor união entre peças e instalações, antecipar interferências e equalizar todas as questões de estabilidade, utilização, durabilidade e manutenção.

Nas vedações podem ser hoje empregados os conceitos da coordenação modular, em que a arquitetura vai se ajustando em função de um módulo, no qual os componentes do sistema se integram com um denominador comum. Estes são estudos antigos e, ao longo de anos de discussão, chegou-se à conclusão que o módulo deveria ser um decímetro. Conseqüentemente, todos os componentes da edificação deveriam ser múltiplos de um decímetro para que tudo se encaixasse sem perdas. Isto realmente ajuda economizar materiais e componentes.

Como exemplo, se sita a união entre blocos de concreto com 9 cm de espessura x 19 cm de altura x 39 cm de comprimento. A união entre dois blocos, com junta de argamassa de assentamento de 1 cm, configura um total de 40 cm, de eixo a eixo de juntas, que é múltiplo de 10 cm. Se o espaço fosse com medida “quebrada”, como por exemplo, 65 cm, o bloco deveria ser partido, desperdiçando material.

O grande problema disto tudo é que aqui no Brasil a indústria de componentes para construção não se une para que isto avance no sentido de uma correlação dimensional entre todos os componentes da edificação. O que nos mostra maior disparate é em relação a pisos, em que a variação dimensional é enorme. Não adianta pensar só na vedação, deve-se pensar na edificação como um todo.

Em relação a portas de madeira, por exemplo: no Estado de São Paulo as portas têm de largura 62,72 e 82 cm, e em outros estados 60, 70 e 80 cm. Seguindo o conceito de coordenação modular, afinal, quem está certo são os fabricantes que produzem com 62,72 e 82 cm, pois se considerarmos os batentes, o vão a ser deixado na alvenaria será de 70, 80 e 90 cm, múltiplos de 10 cm, sem a necessidade de cortes ou de quebra dos componentes.

Apesar disto tudo, temos de buscar fazer o possível para a correta aplicação das vedações atuais e para uma otimização futura das vedações.

As vedações internas e externas têm com função principal estabelecer a separação entre ambientes. Devem possuir propriedades que assegurem um bom desempenho à edificação como¹:

- *resistência à umidade e aos movimentos térmicos*

1 NASCIMENTO, O. L., “Alvenarias” -Manual da Construção em aço, CBCA, 2002.

- *resistência à pressão do vento*
- *isolamento térmico e acústico*
- *resistência à infiltrações de águas pluviais*
- *controle da migração de vapor de água e regulação da condensação*
- *servir de base ou substrato para revestimentos em geral*
- *oferecer segurança para usuários e ocupantes*
- *adequar e dividir ambientes*

A vedação pode estar vinculada ou não à estrutura. O posicionamento dela em relação à estrutura é designado em função da escolha, em projeto, entre deixar ou não a estrutura aparente. Quanto ao processo de produção, pode ser construída com componentes e materiais *in loco* (alvenarias) ou industrializada (painéis e placas, apenas montadas no canteiro de obra).

Culturalmente, no Brasil, a alvenaria tradicional é a mais difundida forma de vedação. Os painéis de vedação, principalmente em residências, ainda não estão muito difundidos. A alvenaria tradicional consiste no emprego de componentes tipo bloco, com dimensões reduzidas, de diversos tipos de materiais (argila, concreto, etc.), unidos dentro de um sistema estruturado.

O sistema construtivo com estruturas metálicas demanda em uma maior racionalização da obra. Por ser um sistema baseado na industrialização, a tendência é que sejam buscadas soluções mais racionalizadas e menos artesanais.

Seja com a utilização de alvenaria ou painéis, é importante que se busque a otimização do uso destes materiais. As obras residenciais de alto e médio padrão são projetos únicos, mesmo assim, conceitos de padronização e racionalização trazem benefícios financeiros e de desempenho técnico. No caso de residências com função popular, com alto nível de repetições, um projeto de vedação se torna mais importante ainda.

9.4.1 Vedações de alvenaria

As alvenarias, além das funções básicas de qualquer tipo de vedação, podem ter função estrutural (alvenaria estrutural), função de divisória com bordo livre (como platibandas, muros, etc.) e funções especiais (alvenaria acústica, térmica, antiimpacto (como por exemplo, em baias para cavalos), etc.). O importante é serem compostas com boa precisão dimensional, baixo peso, e que desempenhem bem as funções a que são designadas (simples vedação, isolamento térmico, acústico, resistência ao fogo).

Hoje em dia podem ser encontrados diversos tipos de blocos de alvenaria. No Brasil, os principais elementos usados nas alvenarias são¹:

- *bloco cerâmico vazado (tijolo furado), cuja densidade média é 1300kg/m³;*
- *bloco de concreto, cuja densidade média é 1800kg/m³;*

¹ NASCIMENTO, O. L., "Alvenarias" -Manual da Construção em aço, CBCA,2002.

- *bloco de gesso (uso interno), cuja densidade média é 1000kg/m³;*
- *tijolo cerâmico maciço (tijolo de barro), cuja densidade média é 1500kg/m³;*
- *bloco de concreto celular autoclavado cuja densidade média é 600kg/m³;*
- *tijolo de solo cimento.*

Nas alvenarias, dentre as patologias mais observadas, as fissuras ganham destaque. Estas provocam desconforto e receio quando à estabilidade, trazem o inconveniente de perda de estanqueidade e degradação ao longo do tempo.

Para que as fissuras não aconteçam, deve-se atentar para os seguintes itens¹:

- *dimensionamento do vão onde será fixada a alvenaria;*
- *tipo de argamassa a ser utilizada no assentamento dos blocos;*
- *adoção de juntas entre os elementos da alvenaria;*
- *ligação lateral com pilares;*
- *utilização de redutores de tensão (vergas e contravergas);*
- *juntas de dilatação nas alvenarias;*
- *projetos de alvenarias e revestimento adequados.*

Quando as paredes são fixadas à estrutura, são obrigadas a acompanhar todas as suas deformações, sendo então definidas como paredes vinculadas. Segundo LEAL¹, a definição do detalhe construtivo mais apropriado para a vedação de uma parede em blocos, é função do vão estrutural. Em vãos de até 4,5 m, é recomendado o uso do sistema rígido (ligação vinculada). Entre 4,5 e 6,5 m pode ser empregada interface semi-rígida (ligação vinculada). Para vãos maiores que 6,5 m, o mais adequado é o uso de sistemas deformáveis (ligação desvinculada). Em edificações térreas, a ligação semi-rígida pode ser utilizada independentemente da distância entre as peças estruturais.

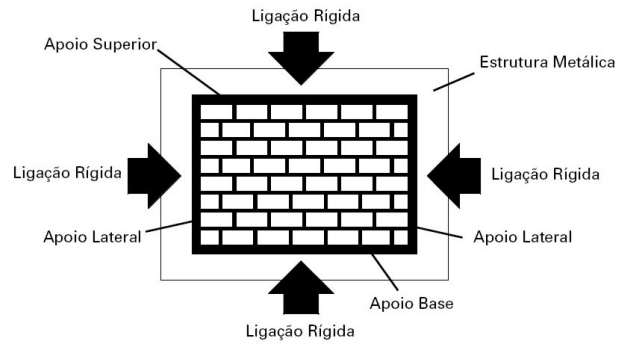
Tamanho do vão	Ligação com:	Tipo de ligação	Tipo de sistema
Vãos até 4,5m	Atrito lateral (rugosidade), chapisco	Tipo vinculada	Sistema rígido
Vãos de 4,5 a 6,5m	Fixação lateral e superior com tela soldada ou ferro dobrado de amarração	Tipo vinculada	Sistema semi-rígido
Vãos acima de 6,5m	Fixação lateral e superior com folha EPS (cantoneira) ou argamassa expansiva	Tipo desvinculada	Sistema deformável

Tabela 1 - Resumo de vinculação de alvenaria com estrutura metálica.

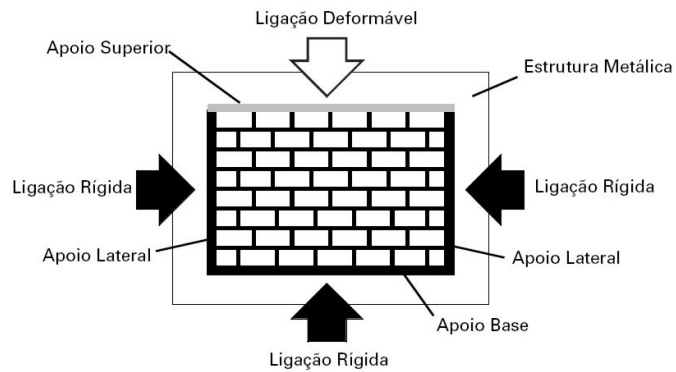
Fonte: Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

¹ LEAL, U. Estruturas metálicas - Difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, n° 73, p. 52-54, 2003.

- Alvenaria com 4 ligações rígidas:



- Alvenaria com 3 ligações rígidas:



- Alvenaria com 1 ligação rígida:

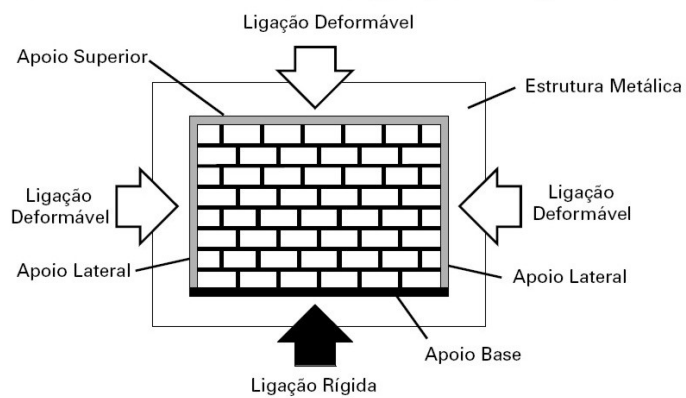


Figura 56 - Classificação das ligações de pilar / alvenaria.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., "Alvenarias" -Manual da Construção em aço, CBCA, 2002.

A ligação vinculada semi-rígida de alvenaria/ pilares, esta, ser executada através de barras de aço em forma de estribo (*ferro dobrado de amarração*, também chamado de *ferro-cabelo*), *ferro liso uni-direcionado* (também chamado de *ferro-cabelo*), telas eletro-soldadas, conectores ou mesmo, pela simples aderência entre materiais. Os conectores impedem os movimentos transversais ao plano da parede. Servem para reforçar as ligações e aumentar a resistência mecânica da alvenaria.

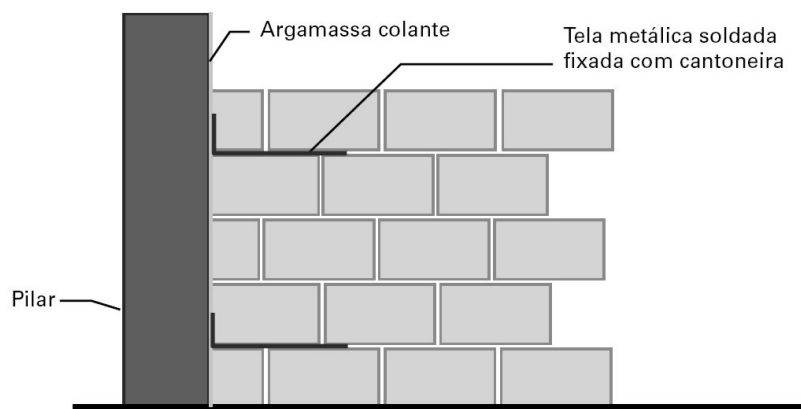


Figura 57 - Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com tela soldada. Este tipo de ligação forma uma ligação vinculada semi- rígida entre alvenaria e pilar.

Fonte: NASCIMENTO, O. L.. "Alvenarias" -Manual da Construção em aço. CBCA. 2002.



Fotografia 119- Ligação de pilar e alvenaria com tela soldada. Este tipo de ligação forma uma ligação vinculada semi- rígida entre alvenaria e pilar.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., "Alvenarias" -Manual da Construção em aço, CBCA, 2002.

As telas eletro-soldadas devem ser vinculadas aos pilares metálicos por meio de solda, chumbadas nas juntas horizontais de assentamento dos blocos. A largura da tela deve ser inferior à largura do bloco, penetrando na alvenaria pelo menos 40 cm.

Espessura do bloco	Dimensões da tela Largura x comprimento (mm)
70 mm	60 x 500
90 mm	80 x 500
120 mm	110 x 500
150 mm	120 x 500
190 mm	180 x 500 ou duas tiras 60 x 500

Tabela 2 - Dimensão das telas soldadas para ligação.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., "Alvenarias" -Manual da Construção em aço, CBCA, 2002.

Na ligação alvenaria/ pilar, o uso de argamassa colante com polímero adicionado auxilia a adesão química entre os componentes, melhorando o desempenho do conjunto. Em relação à argamassa de assentamento dos blocos, é importante se preencher totalmente as juntas verticais e horizontais e empregar material com resistência à compressão entre 6 e 8 MPa¹. A largura do bloco é fator determinante. A relação máxima entre a altura útil da parede e a espessura do bloco sem revestimento deve ser igual a 30.



Fotografia 120 - **Ferro-cabelo liso uni-direcionado**, soldado à estrutura. Estes já foram sendo soldados logo após a execução da estrutura metálica.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.



Fotografia 121 - Locação da alvenaria. Observar que a estrutura metálica já está protegida com "primer".

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.

O *ferro-cabelo* é soldado na estrutura com a possibilidade de ser ancorado dentro da argamassa. Em geral são colocados a cada 60 cm.

¹ 1 MPa (Mega Pascal) é uma unidade de medida que equivale a 10 Kg/ cm².



Fotografia 122 - Ligação de pilar e alvenaria com **ferro dobrado de amarração**.

Este tipo de ligação forma uma ligação vinculada semi-rígida entre alvenaria e pilar.

Fonte: Edificações habitacionais convencionais estruturadas em aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela caixa econômica federal, Anexo 3. Disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

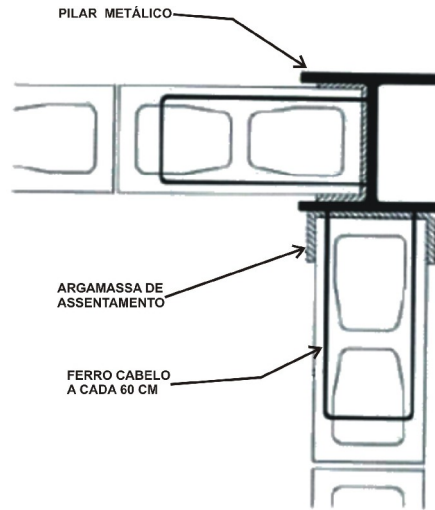


Figura 58 - Ligação de pilar e alvenaria com **ferro dobrado de amarração**.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, nº 73, p. 52-54, 2003.



Figura 59- Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração. Este tipo de ligação forma uma ligação vinculada semi-rígida entre alvenaria e pilar.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, nº 73, p. 52-54, 2003.

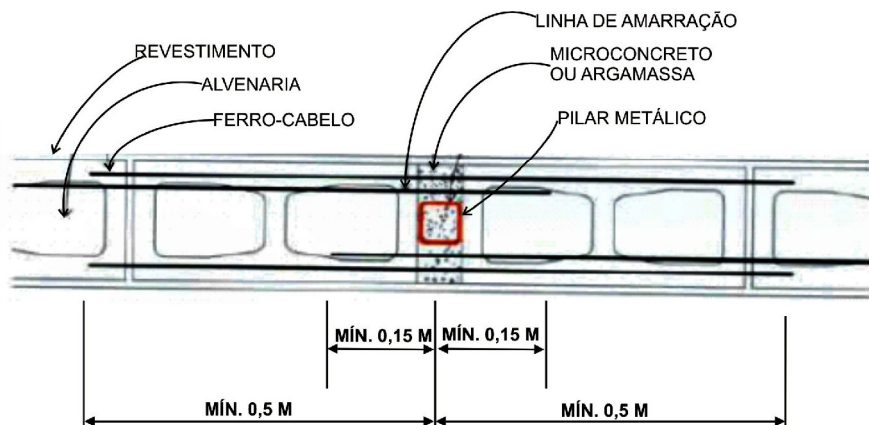


Figura 60- Detalhe de ligação de pilar e alvenaria com ferro de amarração. Este tipo de ligação forma uma ligação vinculada semi- rígida entre alvenaria e pilar.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, nº 73, p. 52-54, 2003.

A eficiência dos dispositivos de ligação pilar/ alvenaria é variável. Segundo avaliação, realizada em protótipos, apresentada no Manual de construção em aço – “alvenarias”, seguem-se as tabelas comparativas:

Sistema	Resistência ao arrancamento (Kgf)	Local de ruptura
Fita metálica perfurada	220	Fita
Fita metálica corrugada	400	Fita
Ferro de amarração Ø 5,0 mm	400	Fixação
Tela soldada Ø 1,65 mm	800	Corpo do fio

Tabela 3 - Análise comparativa entre os dispositivos de ligação lateral entre alvenaria e pilar, em sistemas rígidos e semi-rígidos.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.21, 2004.

Fixação	Resistência ao cisalhamento (Kgf)
Sem fixação metálica	500
Ferro cabelo	800
Ferro dobrado de amarração	1800
Tela soldada	2100

Tabela 4 - Análise comparativa entre os dispositivos de ligação frente ao cisalhamento da junta horizontal.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.21, 2004.

Sistema de fixação	Resistência ao arrancamento (Kgf)	Tipo de ruptura
Ferro CA 60 5 mm (reto)	240	Interface fio/ argamassa
Fita metálica	340	Interface fio/ argamassa
Ferro dobrado de amarração	540	Corpo da argamassa
Tela soldada	760	Corpo da argamassa

Tabela 5 - Análise comparativa entre os dispositivos de ligação através do ensaio de arrancamento por tração direta do sistema de fixação numa alvenaria já com carga de compressão.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.21, 2004.

Os resultados apresentados mostram maior eficiência para a tela soldada e o ferro dobrado. Porém, a tela soldada só será realmente mais eficiente se corretamente aplicada. Caso contrário terá efeito prejudicial, auxiliando o aparecimento de fissuras. O ferro-cabelo uni-direcionado praticamente não altera as características da ligação.

Quando as deformações da estrutura são elevadas, a alvenaria deve trabalhar desvinculada desta, sendo então uma alvenaria desvinculada. Isto normalmente ocorre quando ela está inserida em vão maior que 6,5 m, em casos que a relação de comprimento-altura ultrapassa duas vezes e, a relação altura-espessura é superior a 20 vezes. Neste caso as ligações são projetadas de forma que a estrutura não transfira esforços para a parede, evitando o aparecimento de fissuras. Estes conectores impedem apenas os movimentos transversais ao plano da parede. No caso da ligação pilar/ alvenaria, a alvenaria se encaixa dentro de uma moldura que permite a movimentação no plano da parede, mas que evita deslocamentos no sentido transversal. Esta moldura é feita com cantoneiras metálicas, cujas abas de contato com a alvenaria devem ter no mínimo 5 cm¹.

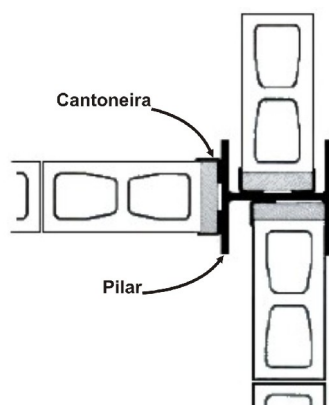


Figura 61- Detalhe de ligação desvinculada de pilar e alvenaria.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, n° 73, p. 52-54, 2003.

¹ NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, 2004.

Outra forma de parede desvinculada é a vedação executada por fora da estrutura, Apoiada diretamente nas fundações, sendo então chamada de parede cortina. É projetada para resistir ao seu peso próprio e a cargas horizontais de vento. É ligada à estrutura no nível das lajes, para as quais transfere todos os esforços horizontais. Conseqüentemente, permitem uma estrutura metálica mais leve e econômica. Este tipo de parede é mais adequado para obras industriais, com grandes alturas. Em residências, para se usar este tipo de fechamento, teria que se ter uma proposta bastante inovadora e conceitual, pois teria que haver uma solução para os pilares que ficariam totalmente expostos.

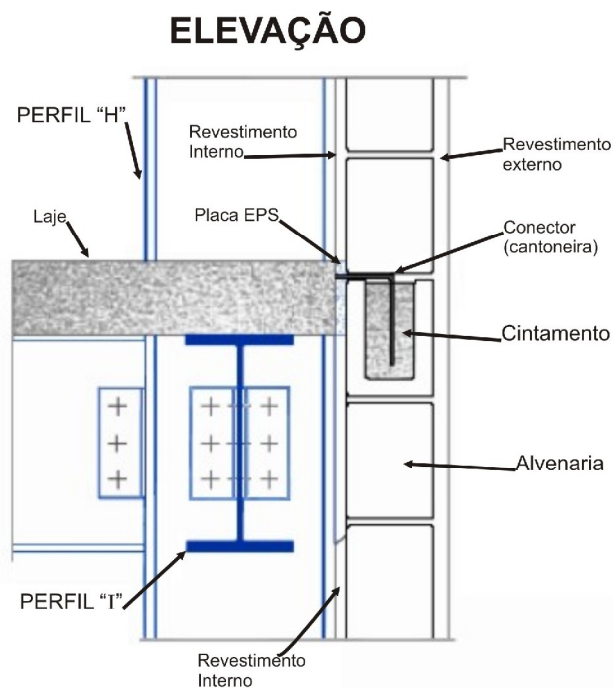


Figura 62 - Parede cortina.

Fonte: COELHO, R. A. Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares - Coletânea do Uso do Aço-São Paulo: Gerdau Açominas – 2ª Ed. 2002.

A ligação da parte superior da alvenaria com a laje ou viga geralmente é realizada com processo de encunhamento, com blocos ou com argamassa. No caso de uma ligação vinculada rígida entre alvenaria e viga metálica (para vãos até 4,5 m) emprega-se o processo de encunhamento, no qual a alvenaria é confinada sob a estrutura.

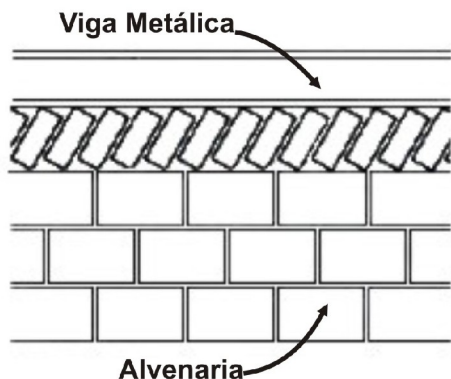


Figura 63 - Exemplo de detalhe de ligação vinculada rígida entre alvenaria e viga metálica.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, nº 73, p. 52-54, 2003.



Fotografia 123 - Alvenaria esperando para ser encunhada.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.



Fotografia 124 - Alvenaria já encunhada.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito, 2007.

O encunhamento da alvenaria deverá ser realizado, no mínimo, depois de sete dias do término da alvenaria, utilizando argamassa de assentamento, de preferência com aditivo tipo expensor, para evitar a retração excessiva da argamassa.

No caso de uma ligação vinculada semi-rígida entre alvenaria e viga metálica (para vãos de 4,5 a 6,5 m), para se absorver deformações térmicas, recomenda-se o uso de argamassa não-retrátil, com pequeno módulo de deformação. Também deve ser realizada sete dias a partir da conclusão da alvenaria.



Figura 64 - Exemplo de detalhe de ligação vinculada semi-rígida entre alvenaria e viga metálica, utilizando argamassa com aditivo expansor.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, n° 73, p. 52-54, 2003.

No caso de uma ligação desvinculada deformável entre alvenaria e viga metálica (para vãos acima de 6,5 m), utiliza-se o método constituído por confinamento lateral com o uso de cantoneiras.

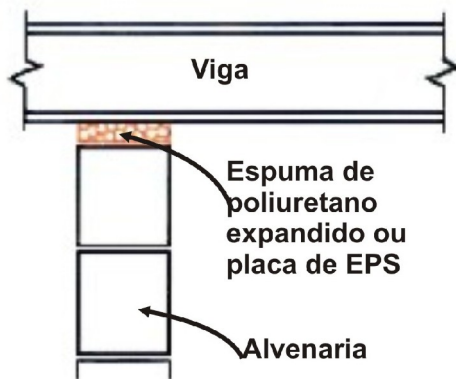


Figura 65 - Exemplo de detalhe de ligação desvinculada deformável entre alvenaria e viga metálica.

Fonte: LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. Técnica, Pini, São Paulo, n° 73, p. 52-54, 2003.



Fotografia 125 - Exemplo de ligação desvinculada deformável entre alvenaria e viga metálica.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.24, 2004.

As paredes podem também ser utilizadas como elementos de contraventamento, eliminando o uso diagonais metálicas, sendo então dimensionadas como alvenaria estrutural. Neste tipo de parede, devem ser evitadas aberturas que causam redução da resistência ao cisalhamento. Quando se utilizar uma parede em substituição às diagonais metálicas, devem ser previstos contraventamentos provisórios que

permitam agilizar a montagem da estrutura e o tempo de execução e cura da parede, que normalmente é de 28 dias.

Conforme NASCIMENTO, O. L. ¹, para elaboração de um projeto de produção de alvenaria, as principais informações, em nível de Projeto Arquitetônico, a serem coletadas são:

- *Dimensões das paredes (comprimentos, largura e espessura das paredes acabadas);*
- *Dimensões internas dos compartimentos;*
- *Posição relativa da alvenaria em relação aos perfis metálicos (entre os vãos da estrutura ou exterior a ela);*
- *Localização das aberturas (portas, janelas e instalações especiais);*
- *Definição se a estrutura metálica será ou não completamente revestida;*
- *Tipo e padrão de qualidade dos revestimentos;*
- *Detalhes construtivos de fixação das esquadrias, peças suspensas, etc;*
- *Detalhes arquitetônicos que interfiram nas características e na execução da alvenaria, tais como sacadas, beirais, platibandas, ressaltos e reentrâncias para proteção da fachada.*

Juntando-se a tudo isto a questão básica e primordial a ser definida é: a estrutura ficará aparente ou não? A resposta a esta pergunta define uma série de procedimentos a serem adotados.

No âmbito da construção de residências unifamiliares, é muito comum a opção pela estrutura metálica aparente pelo lado de fora, e revestida, pelo lado de dentro. Normalmente, a largura do pilar metálico é maior que a espessura do bloco a ser utilizado na alvenaria. Isto acarreta uma outra série de cuidados, que influenciarão diretamente na arquitetura.

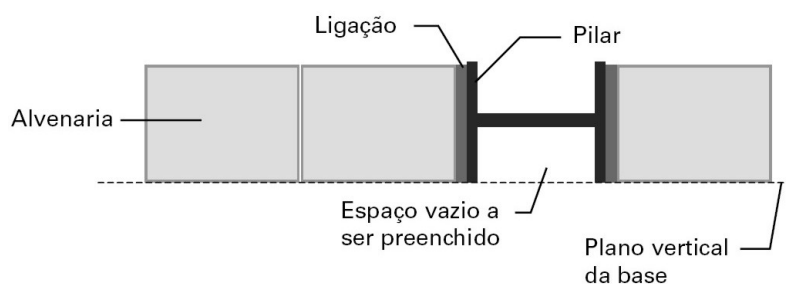


Figura 66 - Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria, onde sobra um espaço vazio a ser preenchido com revestimento.

Fonte: Nascimento, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.37, 2004.

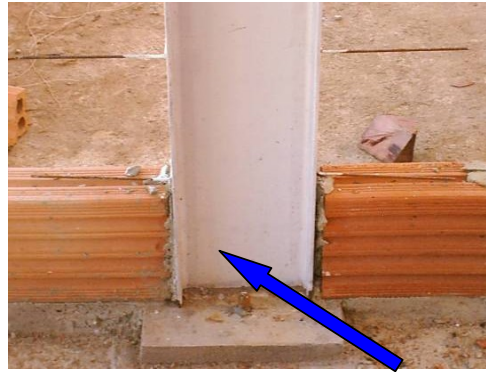
¹ NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.24, 2004.



Fotografia 126- Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria, onde sobra um espaço vazio a ser preenchido com revestimento.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.



Fotografia 127- Exemplo de detalhe de ligação pilar /alvenaria, onde sobra um espaço vazio a ser preenchido com revestimento.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.

Para a solução do problema dos vazios entre alvenarias e pilares de aço são viáveis as seguintes soluções: ou se opta pelo não preenchimento do espaço vazio, tirando partido estético do detalhe, ou , se opta pelo preenchimento do espaço. Caso a opção seja o preenchimento do espaço vazio tem-se a solução apresentada na figura 67.

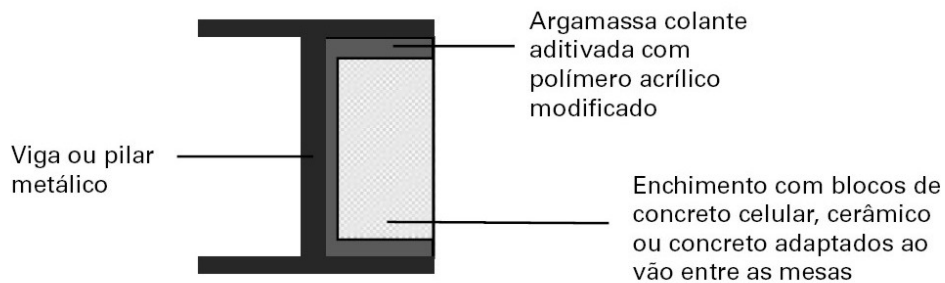


Figura 67- Detalhe genérico de preenchimento de perfil metálico.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.37, 2004.



Fotografia 128 - Exemplo de detalhe de preenchimento de espaço vazio nos pilares metálicos.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.



Fotografia 129 - Exemplo de detalhe de preenchimento de espaço vazio nos pilares metálicos.

Projeto: Cristina L. M. Rocha. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Foto: Bianca Cito,2007.

Envolver o pilar com algum painel (gesso acartonado, por exemplo) ou alvenaria também pode ser uma solução. O inconveniente é a criação de uma saliência no espaço.

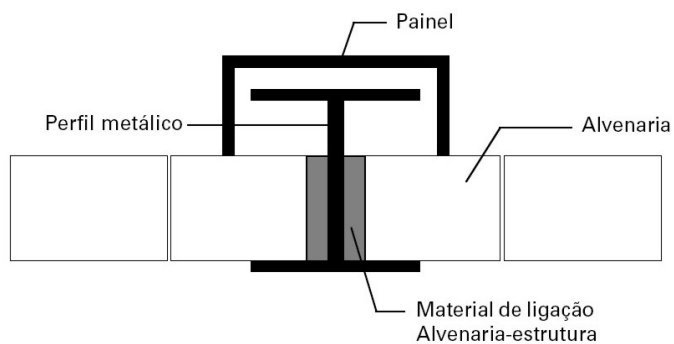


Figura 68 - Detalhe genérico envolvimento de perfil metálico.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.37, 2004.

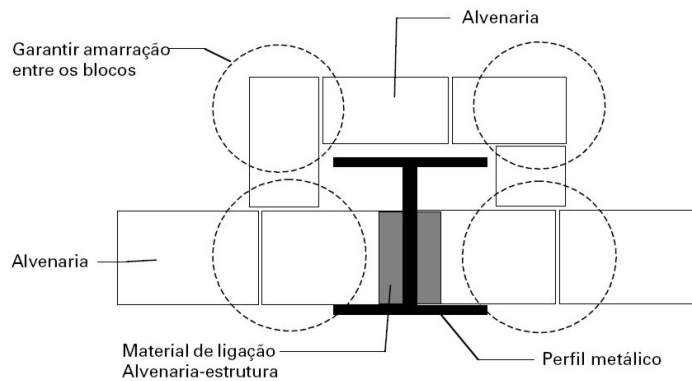


Figura 69 - Detalhe genérico envolvimento de perfil metálico.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.37, 2004.

Para o revestimento das paredes com argamassa, o perfil metálico também deve passar pelos seguintes procedimentos: *limpar o perfil metálico; aplicar a argamassa colante aditivada com polímero modificado (a mesma utilizada para fixação dos enchimentos) sobre todo o perfil metálico utilizando uma desempenadeira dentada, formando cordões; e aguardar, pelo menos, 24 horas para secagem da argamassa antes de lançar a de revestimento*¹.

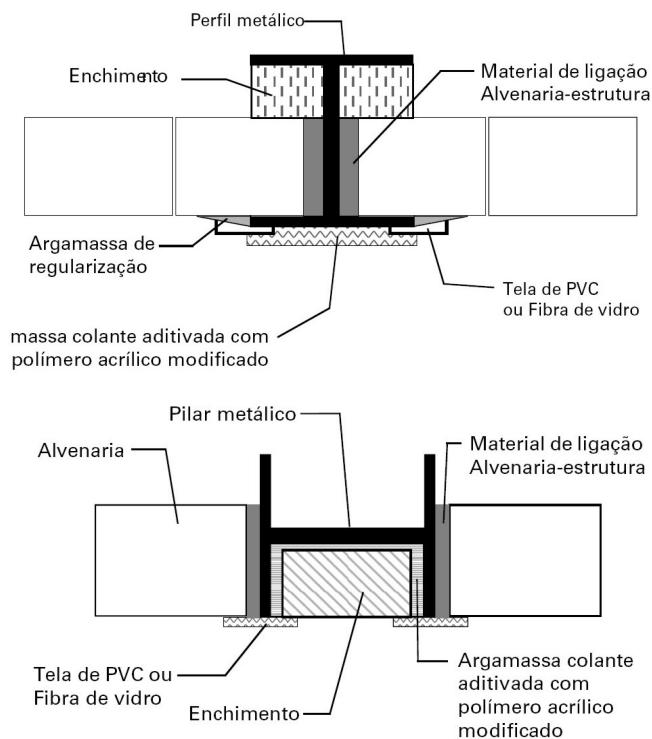


Figura 70 - Detalhes genéricos para revestimento em argamassa sobre perfil metálico, em seqüência de execução.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.36-37, 2004.

¹ Manual de construção em aço - alvenarias, 2004.

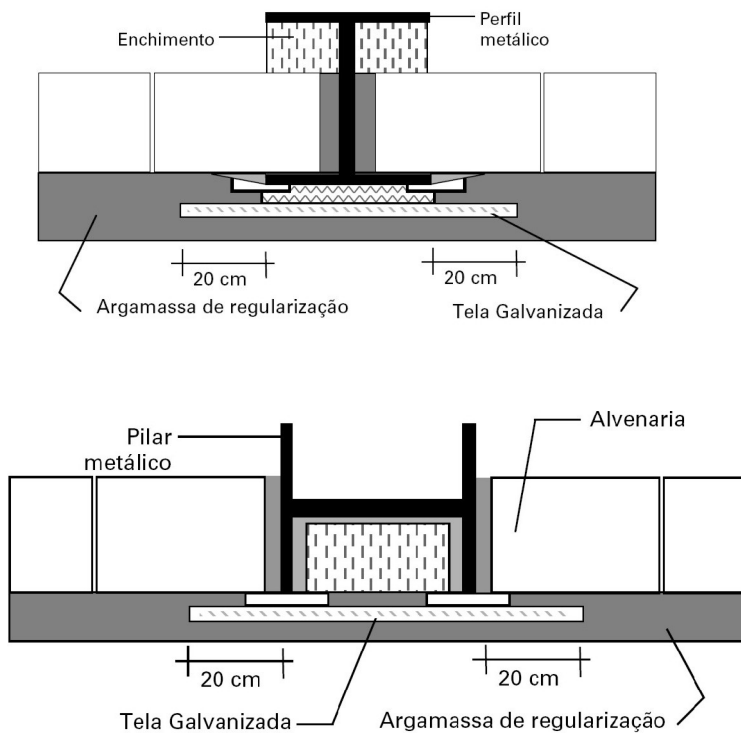


Figura 71 - Detalhes genéricos para revestimento em argamassa sobre perfil metálico, em seqüência de execução.

Fonte: NASCIMENTO, O. L., Manual de construção em aço - alvenarias, p.36-37, 2004.

9.4.2 Vedações com painéis

Painéis e placas são vedações industrializadas ou pré-fabricadas. Os painéis se sustentam sozinhos e são fixados diretamente na estrutura. As placas necessitam de uma estrutura auxiliar nas quais são fixadas, para assim, compor um painel.

Estes tipos de vedação são comuns em países mais industrializados e que, conseqüentemente, possuem indústria da construção mais desenvolvida em termos de tecnologias industrializadas. No Brasil, o uso deste tipo de vedação ainda é incipiente, principalmente nas construções habitacionais unifamiliares.

Na verdade, os painéis de vedação não são uma idéia nova. Passaram a ser utilizados de diversas formas, desde a revolução industrial e vêm evoluindo, sempre associados com a idéia de pré-fabricação e racionalização da construção.



Figura 72 – Palácio de cristal, Londres, 1850-51.

Fonte: <http://placeaudeesign.com>. Acesso em dezembro/2006.

Esta construção se destinou a abrigar a primeira exposição internacional industrial na Inglaterra. Na época, não era possível construir uma edificação convencional no pouco tempo requerido para elaborar a exposição.

Somente uma estrutura pré-fabricada solucionaria o problema e foi que aconteceu. Paxton, um jardineiro, projetou e entregou a construção no prazo previsto, executando-a em vigas e colunas de ferro fundido e paredes e telhado com placas de vidro.

Este significou o primeiro edifício pré-fabricado em ampla escala, representando um grande avanço na sistematização da construção: a pré-fabricação que resulta em um processo industrializado.

Na evolução da idéia de pré-fabricação, diversos sistemas de vedação foram sendo inventados, assim como ocorre até hoje. Em residências, desde o século XIX, existem relatos de fechamentos com chapas onduladas e estampadas em ferro galvanizado.

As casas pré-fabricadas dos catálogos representavam no contexto da época, a agilidade e a portabilidade no processo de colonização e exportação para países menos desenvolvidos. Podiam ser fabricadas em países mais desenvolvidos e transportadas para os lugares de interesse. Segundo SILVA, G. G. ¹ *muitas delas foram exportadas para a África do Sul, para a implantação de alojamentos para a busca de ouro e diamante. Estas casas, tinham a estrutura em madeira ou ferro, revestidas externamente por chapas onduladas galvanizadas e internamente por tábuas de madeira de ½” de espessura. Eram casas avarandadas para melhorar a questão térmica.*

Entretanto, este tipo de construção não caiu no gosto do povo, pois mais pareciam “armazéns”. No sentido de aprimoramento destas questões, mais tarde um pouco, no final do século XIX, na Bélgica, foi desenvolvido um outro sistema de fechamento, o sistema Danly.

O sistema Danly era um sistema um tanto engenhoso e inteligente. Era formado por perfis metálicos furados e chapas de aço galvanizado estampadas, tanto no exterior quanto no interior. Os perfis furados faziam parte de um sistema de isolamento térmico e, na altura do rodapé e do forro, eram arrematados por uma lâmina, também perfurada, controlando a entrada de ar entre as chapas estampadas. Esta possibilidade de ventilação entre as chapas garantia o conforto térmico, tanto no verão quanto no inverno.

Com as chapas estampadas, o sistema Danly se aproximava mais do gosto popular, tendo sido bastante exportado, inclusive com exemplares aqui no Brasil, como o chalé de ferro da Universidade Federal do Pará e a Estação ferroviária de Bananal.

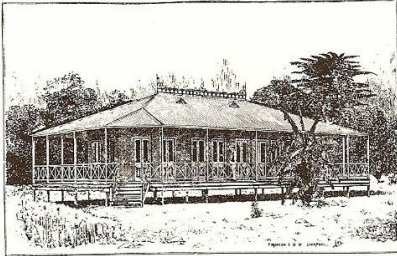
¹ SILVA, G.G. Arquitetura do ferro no Brasil. São Paulo: Ed. Nobel, 1986

CORRUGATED IRON BUNGALOW

Drawing No. 1 BA

FOR FOREIGN CLIMATES,

As supplied by us for the Crown Agents for the Colonies, Eastern Telegraph Company, etc.



CORRUGATED DWELLING HOUSE & STORE

Drawing No. 1 HB

FOR FOREIGN CLIMATES,

As supplied by us for the Niger Company, Crown Agents for the Colonies, etc.

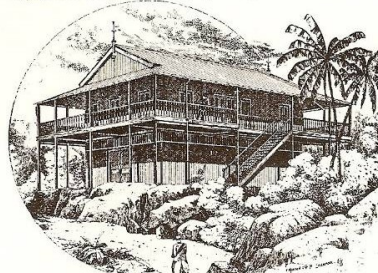


Figura 73 - Catálogo da empresa Francis Morton & Co., Inglaterra, séc. XIX. Casas pré-fabricadas em chapas onduladas.

Fonte: Silva, G.G., Arquitetura do ferro no Brasil, p.60, 1986.



Fotografia 130 - Chalé de ferro da UFPA (Universidade Federal do Pará), com sistema construtivo Danly (sistema de vedação com chapas de aço estampadas e galvanizadas), em Belém, PA.

Fonte: Silva, G.G., Arquitetura do ferro no Brasil, p.209, 1986.



Fotografia 131 – Estação ferroviária de Bananal, SP, com sistema construtivo Danly. Sistema de vedação com chapas de aço estampadas e galvanizadas.

Foto: Bianca Cito, 2006.

Hoje, no Brasil, há um atraso tecnológico em relação a vedações com painéis. A cultura, como já foi dito anteriormente, privilegia a aplicação da alvenaria tradicional. O uso de painéis de vedação, muitas vezes, tira proveito da racionalização, agregando qualidade, minimizando desperdícios e ganhando em velocidade de produção (produtividade).

A falta de familiaridade com o uso dos painéis de vedação acontece porque, durante muitos anos, o que se tinha no mercado para consumir eram componentes para alvenaria. Somente no final da década de 1980 este tipo de vedação começou a ser mais considerado, tendo como um dos motivos a busca de produtividade e, também, associados à evolução das estruturas metálicas no mercado da construção civil, com alguma evolução da construção industrializada.

O que acontece, por aqui, é que, muitas vezes, esta tecnologia é importada e não se adequa à realidade construtiva nacional. Há de se ter a integração de todas os subsistemas de construção, levando em conta as peculiaridades de nosso país. Há

uma preocupação muito grande quanto ao desempenho técnico de painéis disponíveis no mercado.

Quando se pensa em um painel de vedação agregado à estrutura metálica, fala-se de algo pré-fabricado, onde todos os problemas devem estar previamente pensados, analisados e resolvidos na elaboração do projeto. Caso contrário, as vantagens oferecidas por este sistema perdem sua valia. O conhecimento do desempenho técnico do produto, sua fabricação, materiais de composição, transporte e estocagem são fundamentais para a concepção do projeto arquitetônico. Segundo BRITO, A. C.¹, *no caso das juntas, por exemplo, é preciso saber que tipo de selante será empregado, a sua resistência em relação à incidência de água, se há outros tipos de juntas mais simples, ou se haverá detalhes arquitetônicos de peitoril para protegê-lo do encontro com a água.*

Atualmente, há diversos tipos de painéis no mercado. Em função dos materiais empregados, destacam-se, entre outros, painéis de gesso acartonado, de concreto celular autoportante, de poliestireno expandido, pré-moldado de concreto, de madeira, de vidro e metálicos.

Dependendo do tipo de painel pré-fabricado eliminam-se etapas e dificuldades relativas à execução dos acabamentos e, da mesma forma que as estruturas de aço, podem ser executados em linhas de fabricação, fora do canteiro de obra, onde o controle da qualidade e a precisão geométrica são muito mais altos.

Este tem sido um grande desafio da construção civil brasileira em sua busca por soluções que garantam velocidade e qualidade às edificações. A utilização de painéis de vedação pré-fabricados é uma importante evolução no conceito de construir.

9.4.2 Alguns tipos de painéis de vedação

9.4.2.1 Painéis de concreto

Segundo SILVA, M. G.², *os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 1950, sob impulso do período de recuperação pós-guerra e do movimento modernista na arquitetura. Após o auge de utilização dos anos 1960, notou-se um declínio no emprego desses painéis devido à limitação estética resultante do rigor imposto pela padronização dos componentes. Nos últimos anos, os painéis de concreto armado foram revitalizados na forma dos chamados painéis de concreto arquitetônico, com revestimento incorporado.*

Estes painéis têm características vantajosas como, precisão geométrica e variedade de dimensões. Podem ter diversos tipos de acabamentos, cores e texturas, que são produzidos a partir da colocação de pigmentos, pedriscos ou fôrmas variadas. Em sua fabricação é colocada a armadura estrutural, que dá sustentação ao painel, e os *inserts*³ metálicos, que são as peças que farão a ligação com a estrutura de aço.

1 BRITO, A. C.; CAMPOS, P. E. F. Fachadas prontas. Téchne, Pini, São Paulo, n° 119 p. 44 -47, 2007.

2 SILVA, G.G. Arquitetura do ferro no Brasil. São Paulo: Ed. Nobel, 1986.

3 Os *inserts* metálicos são peças ou pinos de aço que auxiliam a junção entre o painel e a estrutura.

Podem ser enviados para a obra no momento necessário da sua utilização. Os revestimentos e até mesmo as esquadrias podem ser aplicados na fábrica, de forma que apenas seja necessária a fixação do painel pronto em seu local definitivo e feita a junção adequadamente.



Fotografia 132 - Exemplo de painel de concreto, com acabamento liso.

Fonte: SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. Técnica, Pini, São Paulo, nº 56, p. 78-81, 2001.



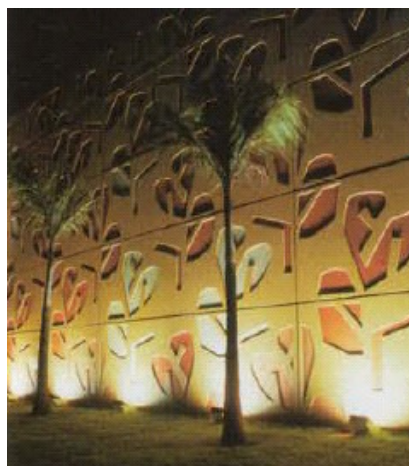
Fotografia 133 - Exemplo de painel de concreto, com acabamento frisado.

Fonte: SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. Técnica, Pini, São Paulo, nº 56, p. 78-81, 2001.



Fotografia 134 - Exemplo de painel de concreto, com acabamento modulado.

Fonte: SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. Técnica, Pini, São Paulo, nº 56, p. 78-81, 2001.



Fotografia 135 - Exemplo de painel de concreto, com acabamento personalizado.

Fonte: SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. Técnica, Pini, São Paulo, nº 56, p. 78-81, 2001.

Os painéis de concreto arquitetônico são vedações externas pesadas e necessitam de guias ou guindastes para sua movimentação. Os componentes pré-fabricados podem ser planos ou podem receber nervuras para aumentar suas dimensões, sem o acréscimo de espessura ou da armadura.



Fotografia 136 - Exemplo de fabricação de painel de concreto com armadura e instalações incorporadas.

Fonte: SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. Técnica, Pini, São Paulo, n° 56, p. 78-81, 2001.



Fotografia 137 - Exemplo de fixação de painel de concreto com os inserts metálicos incorporados.

Os painéis de concreto são normalmente fixados às lajes dos pavimentos através de conectores incorporados ao próprio painel e a uma cantoneira fixada na laje. Se os painéis forem fixados apenas na estrutura metálica, corre-se o risco de que as deformações da estrutura metálica sejam transmitidas para os painéis, podendo comprometer o desempenho global do sistema de vedação. Para o içamento do painel é necessário uma grua ou guindaste.

Fonte: Módulo 4 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

Os painéis de concreto podem ser maciços ou do tipo sanduíche, com uma camada de material isolante (poliuretano ou isopor), entre duas placas, para melhorar desempenho térmico e acústico.



Fotografias 138 e 139- Exemplo de residência com estrutura metálica e fechamento externo em painel de concreto, em Santana de Parnaíba, SP. Projeto:Arthur Casas.

Para a vedação das fachadas, Casas optou por painéis pré-fabricados de concreto, alguns brutos e outros já com acabamento de agregado mineral jateado. Comum em edifícios e em galpões industriais, essa solução mostrou-se uma alternativa prática, funcional e de fácil integração ao desenho da casa, identificada por linhas leves e grandes áreas transparentes. O mesmo tipo de painel pré-fabricado, mas sem o acabamento texturizado, reveste os pisos externos... Pelo lado interno, as paredes em painéis de concreto são recobertas com gesso acartonado. O fornecedor dos painéis de concreto foi a empresa Stone Pré-Fabricados.

Fonte: Projeto design, Edição 314. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br>>. Acesso em março/2007.

9.4.2.2 Painéis GFRC (Glass Fibre Reinforced Concrete)

Os painéis GFRC são painéis cimentícios compostos com um microconcreto de alta resistência, constituído de cimento, areia silicosa, água, aditivos e fibras de vidro alcali-resistentes dispersas no produto. O painel resultante é leve e, ao mesmo tempo, com grande resistência a deformações à tração, à flexão e aos impactos. Propicia maior conforto ambiental se comparados ao painel de concreto, tradicional, por exemplo.

Cada painel é constituído por duas lâminas de GFRC, com 10 mm de espessura, tendo entre elas uma manta de fibra de lã de vidro. Um painel pronto apresenta uma massa que é cerca de $\frac{1}{4}$ da habitual para um painel equivalente em concreto tradicional, bem como um comportamento térmico e acústico muito superior. Quanto à resistência mecânica, segundo CAMPOS, P. E. F.¹, 10 cm de um painel de concreto maciço equivalem a um painel de 2 cm de espessura num painel GFRC.

Uma das qualidades do GFRC é sua moldabilidade, que propicia efeitos arquitetônicos de altos e baixos relevos, impossíveis de obter com outros materiais. Aplicados sobre moldes, podem ter incorporado pigmentos e reproduzir texturas de qualquer natureza.

Segundo CAMPARI, G.P.² *uma grande vantagem é que o sistema sendo previsto ainda na fase de projeto permite o aproveitamento máximo dos seus benefícios, entre eles a leveza, a rapidez na colocação e a praticidade na execução das diversas instalações. Essa escolha interfere diretamente nos cálculos estruturais e nos projetos de hidráulica e elétrica, entre outros. Ou seja, todo o processo construtivo, do alicerce aos acabamentos, deve ser planejado levando em consideração o uso desse material. Este sistema agiliza a montagem das paredes e as instalações. A leveza do material resulta na redução da sobrecarga dos pavimentos e, conseqüentemente, em uma estrutura mais esbelta, com fundação mais econômica.*

Em princípio, as técnicas de vedação de juntas em componentes e painéis de GFRC são similares às de painéis de concreto. É necessário um projeto adequado para dimensionamento dos painéis e desenho das juntas, de forma a garantir a segurança contra o fogo, a estanqueidade e o isolamento termo-acústico desejado. As juntas mais usadas são as com selantes elásticos.



Fotografia 140 - Exemplos de painel GFRC.

Fonte: <http://www.pre-cast.org>. Acesso em março/2007.

¹ BRITO, A. C.; CAMPOS, P. E. F. Fachadas prontas. Técnica, Pini, São Paulo, n° 119 p. 44 -47, 2007.

² CAMPARI, G. P. Nosso Brasil. A utopia dos arranha-céus sustentáveis. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br>>.

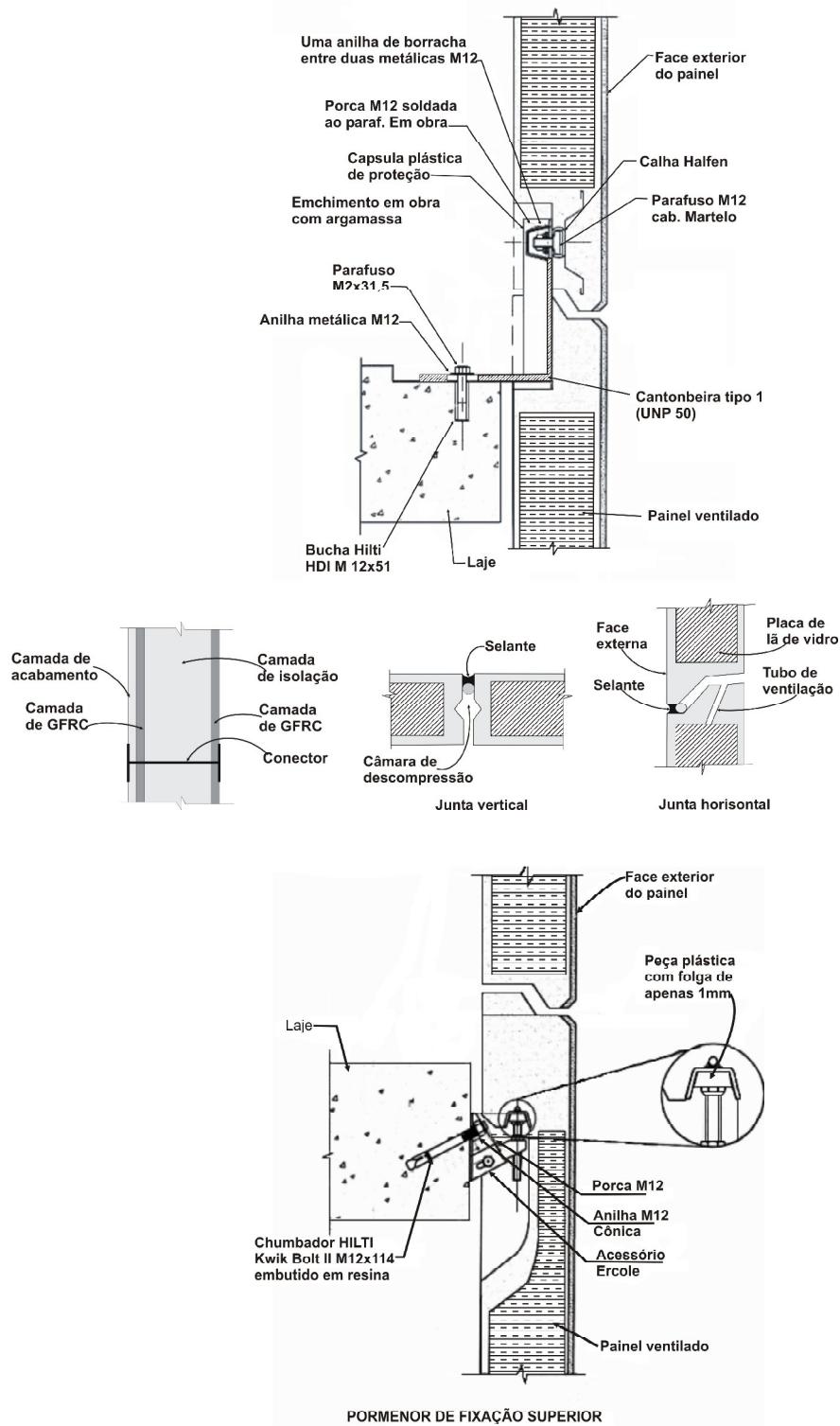


Figura 74 - Detalhes de composição e fixação de painéis GFRC.

Fonte: Painéis arquitetônicos de GFRC, Pavi do Brasil, disponível em <http://www.metálica.com.br>, acesso em março/2007 e; "Painel de GFRC para fachadas de edifícios", outubro/2004, disponível em <http://www.piniweb.com.br>, acesso em maio/ 2008.

Para os painéis GFRC, podem ser citadas como vantagens e desvantagens:

Vantagens

- *Versatilidade de geometrias, dimensões, cores e texturas superficiais;*
- *Facilidade de incorporação de camadas de isolamento termo acústico;*
- *Painéis leves e finos, proporcionando alívio de carga para estrutura;*
- *Facilidade de montagem;*
- *Razoável resistência ao fogo e elevada resistência mecânica inicial.*

Desvantagens

- *Fissuração superficial favorecendo a proliferação de microorganismos;*
- *Pode haver empenamento dos painéis se houver uma grande diferença de temperatura e umidade entre as faces interna e externa;*
- *Produto ainda não normalizado¹.*

Apesar de excelente solução com relação ao peso próprio da peça e ao transporte, os painéis de GFRC têm um custo muito alto, se comparados aos painéis tradicionais de concreto e apresentam um risco de variação de preço muito alto, pois alguns de seus componentes são derivados do petróleo.

Aqui no Brasil, não foi localizado nenhum exemplo de arquitetura residencial com este tipo de painel. Através de consultas a sites estrangeiros, principalmente de empresas americanas, observa-se um forte apelo à questão ecológica e a sustentabilidade do planeta pela utilização de vedação com painéis GFRC. Além da redução no tempo da construção, a pré-fabricação elimina o trabalho artesanal das alvenarias externa e interna, evitando o consumo exagerado de água para argamassas e cimento e sua contaminação no solo. É a chamada “construção seca” (lean construction), na qual a versatilidade destes materiais proporciona uma redução de até 30% do tempo de obra.



Fotografia 141- Exemplo de execução de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio .

Fonte: <http://www.nsteel.com>. Acesso em março/ 2007.



Fotografia 142- Exemplo de execução de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio .

Fonte: <http://www.nsteel.com>. Acesso em março/ 2007.

¹ Módulo 4 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.



Fotografia 143 – Exemplo de residência, nos Estados Unidos, com painel GFRC e estrutura em aço leve, dobrado a frio.

Fonte: <http://www.nsteel.com>. Acesso em março/ 2007.

9.4.2.3 Painéis com placas cimentícias

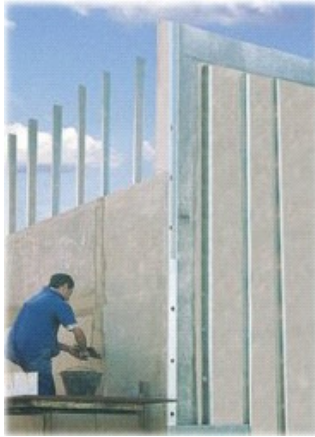
As placas cimentícias são placas delgadas, com aproximadamente 1 a 2 cm de espessura e variados tamanhos, dependendo do fabricante.

As placas cimentícias compõem um sistema construtivo para aplicação nas construções a seco dos tipos *Dry Wall* e *Steel Frame*, semelhante ao sistema de paredes de gesso acartonado *dry-wall*. Elas necessitam de uma estrutura auxiliar (em aço leve, madeira ou concreto) para serem fixadas.

As placas cimentícias tendem a substituir as placas de gesso acartonado em áreas molháveis e também sua utilização em fachadas, pois oferecem um melhor resultado em situações onde se requer maior resistência a impactos e à ação das águas. Podem, no entanto, ser utilizadas para fechamento de ambientes internos (cozinhas, banheiros, saunas, etc.) conforme requisitos de projeto.

As placas cimentícias são feitas de concreto com agregados e reforço de fibras que variam conforme tipo de uso recomendado, propiciando assim, vários tipos de placas, com destinações específicas. Não possuem função estrutural. Servem como base para diversos revestimentos, podendo ser pintadas, revestidas com argamassas, pedras, cerâmicas e laminados em geral.

Comumente, o que se tem verificado em residências é o fechamento externo com painéis de placas cimentícias e a vedação interna com placas de gesso acartonado.



Fotografia 144 – Exemplo de aplicação de placa cimentícia.

Fonte: BRICKA - Manual de Placas Cimentícias, disponível em <http://www.bricka.com.br>. Acesso em junho/2007.



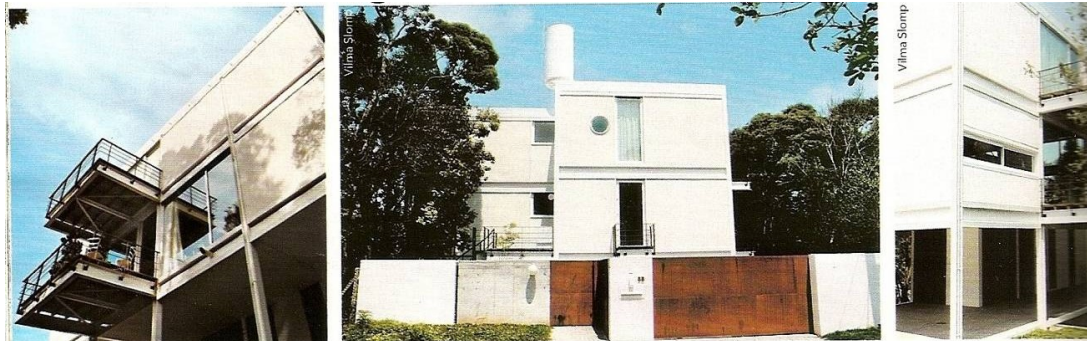
Fotografia 145 – Exemplo de aplicação de placa cimentícia.

Fonte: USEPLAC disponível em <http://www.useplac.com.br>. Acesso em julho/2007.



Fotografia 146 – Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias.

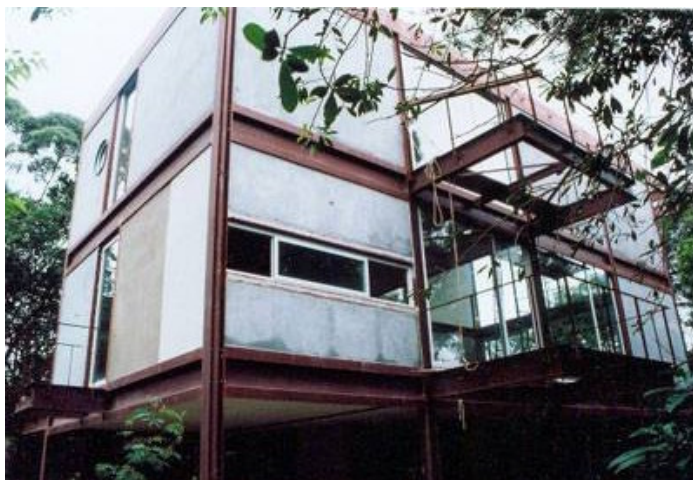
Fonte: <http://www.metálica.com.br>. Acesso em julho/2007.



Fotografia 147, 148 e 149 – Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias, em Curitiba, PR.

Projeto: Daniela Slomp Busarello.

Fonte: Arquitetura & Construção, p.66, março 2007.



Fotografia 150 – Exemplo de residência com vedação externa em painéis com placas cimentícias, em Curitiba, PR.

Projeto: Daniela Slomp Busarello.

Fonte: <http://www.revistasim.com.br>. Acesso em julho/2007.

Segundo um dos maiores fabricantes de placas cimentícias, a Useplac, seu uso propicia redução de custos de fundações, estruturas e transporte e diminuição de custos fixos e financeiros, pois se constrói em menos tempo. O tipo de placa produzido permite fechar superfícies curvas e aceita os mais diversos tipos de revestimento e facilidade de reciclagem, evitando o desperdício e ajudando na preservação dos recursos naturais. Os resíduos deste tipo de placa podem ser moídos e reaproveitados como agregado em concreto.

9.4.2.4 Painéis Metálicos

Os painéis metálicos podem ser lisos ou perfilados (quando sofrem um processo de conformação assumindo formas como, por exemplo, corrugadas, estampadas, onduladas, trapezoidais, etc). Quando estes incorporam revestimento termo-acústico agregado, passam a ser chamados de painel metálico do tipo “sanduíche”.

Os painéis metálicos normalmente são fabricados a partir de chapas de aço galvanizado (com zinco ou alumínio), podendo ter pintura ou não. Podem ser utilizados como vedação ou revestimento.

Os painéis tipo “sanduíche” são compostos por lâminas metálicas de aço ou alumínio, perfiladas ou não, intermediados por isolamento térmico e revestimento interno.

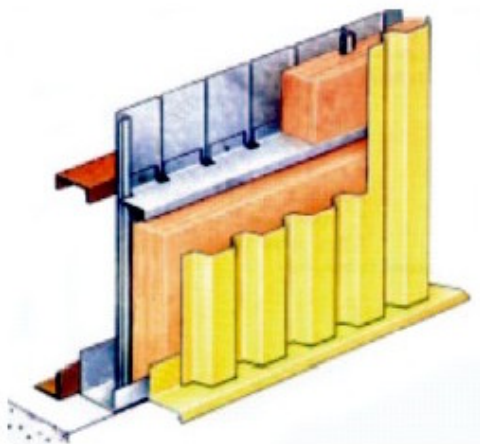


Figura 75 – Exemplo de estruturação de um painel em aço com isolamento térmico.

Fonte: <http://www.cssbi.ca>. Acesso em abril/2007.

Os painéis metálicos são normalmente leves e não interferem na estabilidade estrutural do edifício, sendo fixados em uma estrutura metálica leve, apoiada na estrutura principal. Geralmente, utilizam-se painéis de largura padrão, parafusados na estrutura de apoio.

Os painéis metálicos são muito utilizados no exterior para vedações externas tanto em edifícios residenciais como comerciais e industriais, principalmente os painéis “sanduíche” de aço ou de alumínio. Aqui no Brasil já se encontram muitas fachadas em prédios comerciais que utilizam os painéis de alumínio. Já as fachadas com painéis de chapas de aço pré-pintadas ainda são pouco comuns. Porém, devido ao seu menor custo e atual disponibilidade, é provável que seu uso cresça em segmentos diferentes do industrial.

Como citado anteriormente, o sistema de vedação com painéis metálicos não é novidade. Atualmente, no Brasil, existem sistemas para construção de residências com propostas de industrialização da construção que oferecem a entrega da casa toda pronta. Um exemplo é o sistema, *QUICK HOUSE*, que consiste basicamente na aplicação, em todas as paredes (internas e externas), de um conjunto de painéis de aço que constituem a estrutura da construção.



Fotografia 151 – Exemplo de residência executada com painel metálico, sistema *QUICK HOUSE*.

Fonte: <http://www.metálica.com.br>. Acesso em abril/2007.

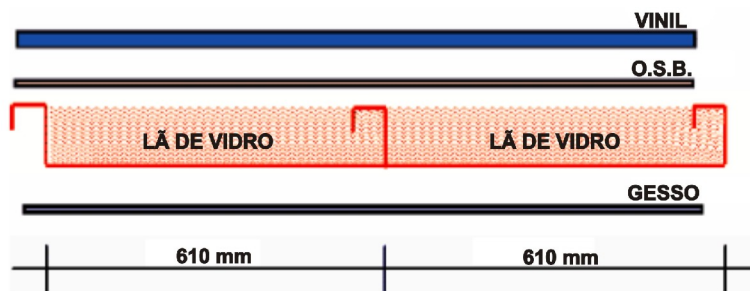
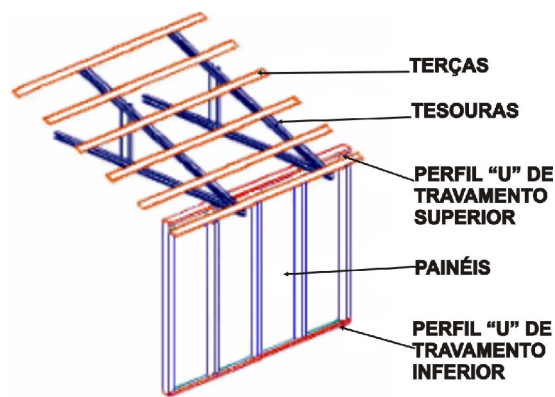
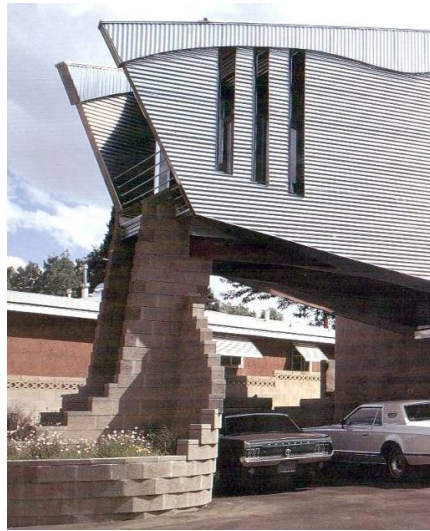
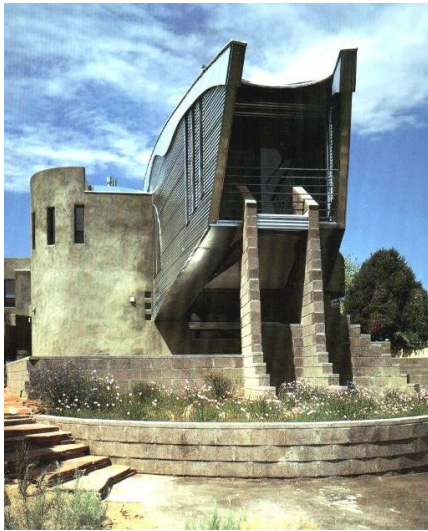


Figura 76 – Detalhes do sistema construtivo *QUICK HOUSE*.

Fonte: <http://www.metálica.com.br>. Acesso em abril/2007.



Fotografia 152 e 153 – *Mead/Penhall Residence*. Local: Albuquerque, New Mexico, EUA.

Esta casa é um exemplo de uma arquitetura diferenciada, com o uso de vedação em painéis metálicos.

Projeto: Bart Prince.

Fonte: JODIDIO, P. ,*Contemporary American Architects vol.II.*, p.145-6, 1996.



Fotografia 154 – “Casa Fatia”. Local: Porto Alegre, RS, Brasil.

Nota-se uma mistura de materiais, como o concreto aparente e chapa corrugada, como painel de vedação, em uma das fachadas.

Projeto: Fernando Procter e Christopher Rihl.

Fonte: SEGRE, R., “Casas Brasileiras” p. 27. 2006.



Fotografia 155 – “Casa em Petrópolis”. Local: Petrópolis, RJ, Brasil.

De forma inusitada, esta casa apresenta uma vedação com um painel metálico de enrolar (funcionando como grandes portas de enrolar), podendo se transformar num espaço quase totalmente aberto, como uma varanda.

Projeto: José Kós.

Fonte: SEGRE, R., “Casas Brasileiras” p. 51. 2006.



Figura 77 – “Casa K”.

Projeto feito especialmente para a 5ª Bienal Internacional de Arquitetura.

O conceito é o de uma “casa desmontável, que não se fixa no terreno e incorpora hábitos e memórias do usuário, que assim pode vagar confortavelmente.” Trata-se de uma casa contêiner, com vedação em painel de telhas de aço e vidro.

Projeto: Alcides Barbosa, Patrícia Martins e Igor Ernits Kalju.

Fonte: Projeto Design 285, p. 55, 2004.

9.4.2.5 Painéis de vidro

O vidro, também já é um material bastante antigo, sendo um dos materiais aliados da pré-fabricação. Junto com o aço, proporcionou uma nova linguagem de arquitetura. Como citado anteriormente, o Palácio de Cristal de Paxton, foi a primeira edificação representando um grande avanço na sistematização da construção: a pré-fabricação.

A arquitetura de aço e vidro é considerada um modelo de arquitetura moderna. Um exemplo de residência que é um marco da arquitetura moderna nos Estados Unidos é a *Farnsworth house*, projetada pelo arquiteto alemão Mies van der Rohe, 1951.



Fotografia 156 – *Farnsworth house*.
Local: Plano, Illinois, EUA.

Residência em estrutura metálica com fechamento em grandes painéis de vidro, seguindo o paradigma *less is more*.

Projeto: Mies van der Rohe.

Fonte: Projeto Design 285, p. 20, 2004.

O Brasil é um país com o clima muito quente em algumas regiões e frio em outros, tendo, também, um grau de insolação bastante acentuado. O uso de painéis de vidro deve levar em larga consideração estes fatores, para que possibilite um nível satisfatório de conforto aos usuários. Mesmo com toda a tecnologia embutida na fabricação de vidros (refletivos, com controle solar, controle acústico, etc.) o projeto de arquitetura não deve sacrificar o usuário em prol da estética. Todos os dados técnicos e climáticos devem ser analisados minuciosamente antes da decisão. A questão da segurança estrutural e da estanqueidade do sistema de fixação das placas de vidro também deve ser avaliado cuidadosamente. Sendo tomados estes cuidados, basta que se tire proveito das qualidades deste material, como: transparência, leveza, luminosidade, pré-fabricação e outros.



Fotografias 157 e 158 – Casa de aço e vidro. Local: Bragança Paulista, SP, Brasil.

Residência em estrutura metálica com fechamento em grandes painéis de vidro. Para proteção da luminosidade ao longo do dia foi utilizado um sistema de brise soleil em alumínio.

Projeto: Henrique Reinach e Maurício Mendonça.

Fonte: SEGRE, R., "Casas Brasileiras" p. 203, 207. 2006.



Fotografia 159 – “Loft Cantareira”.
Local: Serra da Cantareira, SP,
Brasil.

Residência debruçada sobre a mata, em terreno muito acidentado, onde a estrutura metálica se fez uma grande aliada, tanto tecnicamente quanto esteticamente. O fechamento de vidro favoreceu a intimidade com a mata.

Projeto: José Wagner Garcia.

Fonte: SEGRE, R., “Casas Brasileiras”
p. 209, 210. 2006.



Fotografia 160 – Residência com vedação em painéis de vidro. Local: Almelo, Holanda.

Projeto: Dirk Jan Postel, 1997.

Fonte: CERVER, F. A. "Houses of the world". p. 437.2003.



Fotografia 161 – Residência com vedação em painéis curvos de vidro. Local: Shizyoka, Japan.

Projeto: Kengo Kuma, 1995.

Fonte: CERVER, F. A., "Houses of the world", p. 469,2003.

Existe um sistema, o *SGG SPIDER GLASS*, que é solução de envidraçamento exterior, desenvolvida pela *SAINT-GOBAIN GLASS*, permitindo a fixação dos vidros à estrutura por intermédio de ferragens especiais articuladas, denominadas “aranhas”.



Fotografia 162 – Exemplo de edificação com o sistema *Spider Glass*.

O princípio funcional adotado consiste em suportar, de forma rigorosa (e graças às fixações articuladas) os esforços ligados ao peso próprio dos vidros e às cargas climáticas. O sistema utiliza vidros sustentados por parafusos e fixados a uma estrutura portante destacada do plano dos vidros. Este tipo de fixação pode ser usado em fachadas e coberturas, e é apropriada para vidros monolíticos, laminados ou duplos.

Fonte: O vidro na Arquitetura, Sistema SPIDER GLASS disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em abril/2007.



Fotografia 163 – Modelo de aranha do sistema *Spider Glass*.

Existem dois modelos diferentes de aranhas: de aço inoxidável e de alumínio. A de alumínio pode receber tratamento na cor que o cliente desejar, enquanto a de aço inox é padrão.

Fonte: O vidro na Arquitetura, Sistema SPIDER GLASS disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em abril/2007.

9.4.2.6 Painéis de madeira

Os painéis são compostos de chapas de madeira em forma de compensados (painel *Wall*), em painéis tipo OSB (painéis de fibra de madeira orientada) ou simplesmente como um conjunto de régua de madeira. Podem ser revestidos (ou não) com algum outro material, para reforço ou acabamento.

Para estruturação de um painel de madeira, pode ser usada uma estrutura em aço leve ou pesado. Existem inúmeros sistemas construtivos que adotam este tipo de vedação.

É comum se ver o fechamento externo, por exemplo, em painel OSB, e o interno em painel com placas de gesso acartonado. Para revestir o painel OSB, costuma-se utilizar o acabamento externo em *siding*¹. O revestimento com *siding* elimina as sucessivas etapas de acabamento comuns na construção tradicional, como o chapisco, emboço e reboco. Pode ser metálico, de PVC ou madeira, proporcionando o que se conhece como construção seca.

No Brasil, a produção de OSB é recente e a demanda por este produto está aumentando. Na construção civil, já é possível ver sua aplicação em pisos, divisórias (paredes), coberturas (telhados) e obras temporárias (tapumes e alojamentos).



Fotografia 164 - Exemplo de utilização de painel "OSB" em residência.

Este tipo de painel pode ser usado tanto em lajes como em outras vedações.

Fonte: <http://www.portalosb.com.br>. Acesso em novembro/2006.

Outra forma de configurar a vedação por painel de madeira é ter este composto por régua de madeira, normalmente encaixadas por sistema de macho e fêmea.



Fotografia 165 - Exemplo residência com estrutura em aço e fechamento em painel de madeira em lambri. Local: Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Arquitetura inusitada e criativa, exemplifica novas formas de pensar.

Projeto: Ricardo Vilar e Antonio Violante.

Fonte: BRANT, A., "Arquitetos do Brasil", p. 166, 1995.

¹ *Siding* é um tipo de revestimento externo que dá acabamento às fachadas. Utiliza materiais com texturas e cores variadas, normalmente, constituídos por régua de plástico, aço ou madeira.



Fotografia 166 - Detalhe do uso do aço com a madeira. Local: Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Projeto: Ricardo Vilar e Antonio Violante.

Fonte: BRANT, A., "Arquitetos do Brasil", p. 167,1995.



Fotografia 167 – Residência com painel em madeira. Local: Brasil.

Neste caso as esquadrias formaram os painéis de vedação em madeira.

Projeto: Bernardes + Jacobsen.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 168 - Residência com painel em madeira e membrana tensionada. Local: Brasil.

Nesta residência, além das esquadrias formarem os painéis de vedação em madeira, há uma membrana tensionada como vedação.

Projeto: Bernardes + Jacobsen.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.

9.5 Coberturas

As coberturas de residências podem ser compostas de diversas maneiras com a utilização do aço. Este pode estar presente tanto na estrutura do telhado quanto nas próprias telhas e também pode ser usado de maneira mista, juntamente com outros materiais.

As coberturas, principalmente no que diz respeito a uma residência, têm função primordial em sua arquitetura. Na realidade, existe uma gama muito grande de combinações de materiais para coberturas que envolvem o aço. Passa-se a exemplificar algumas soluções mais comuns adotadas em residências.

9.5.1 Coberturas com estrutura em aço e telhas cerâmicas

O engradamento do telhado é semelhante ao engradamento convencional de madeira, sendo que, com a função de caibros e ripas, normalmente, são utilizados perfis “U” de aço.

Como vantagem, pelo fato de o perfil em aço vencer vão maiores, pode-se economizar em tesouras e a estrutura fica mais “limpa”. Como desvantagem, (ou condicionante) têm-se a dificuldade do uso de manta de sub cobertura. A manta de sub cobertura, que tem a função de anteparo térmico e hidro repelente, normalmente, num telhado estruturado em madeira, fica pregada entre os caibros e as ripas. Num telhado com a estrutura em aço, uma opção seria rebitar ou atarraxar as ripas com parafusos auto-brocantes¹ nos caibros metálicos, pois se fossem soldadas, haverá dano à manta, fazendo com que ela perca sua função. Com isto, tem-se que tomar cuidado redobrado com as inclinações do telhado, o tipo de forro e seu desempenho em geral.



Fotografias 169 e 170 -Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas.
Local: Penedo, RJ.

Nesta residência o aspecto final da cobertura é muito semelhante à uma cobertura convencional estruturada em madeira, embora, tenham sido utilizados todas as peças que a compõem em estrutura metálica, inclusive a chapa testa.

Projeto: Bianca Cito. Foto: Bianca Cito, 2002.

1 O parafuso auto-brocante desempenha, ao mesmo tempo, o papel de broca (que fazer o furo) e de parafuso (com a função de fixar algum componente).



Fotografia 171 - Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas. Local: Penedo, Itaiaia, RJ

Projeto: Bianca Cito. Foto: Bianca Cito, 2003.



Fotografia 172 - Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas. Local: Campos do Jordão, SP.

Fonte: DIAS, Luís Andrade de Mattos. Livro: "Edificações de aço no Brasil"; Pág 77, 1999.



Fotografia 173 - Exemplo de cobertura estruturada em perfis de aço com telhas cerâmicas.
Local: São Paulo, SP, Brasil.

Projeto: Carlos Bratke.

Fonte: BRANT, A., "Arquitetos do Brasil", p. 40,1995.

9.5.2 Coberturas com estrutura em aço leve e telhas variadas

Um sistema de cobertura estruturado em aço leve, galvanizado, pode suportar diversos tipos de telhas como, por exemplo, telhas cerâmicas, de concreto, metálicas, fibro-cimento, etc. Neste sistema, toda a estrutura da cobertura é feita de acordo com a solicitação arquitetônica e, todos os componentes da cobertura (como tesouras, terças, pontaletes, ripas, etc.) são executados em perfis leves de aço.



Fotografias 174 e 175 - Exemplo de utilização de aço leve galvanizado na estrutura da cobertura de uma residência.

Projeto: Flávio Nesse. Local: Jundiaí, SP, Brasil.

Fonte: <http://www.jorsil.com.br>. Acesso em dezembro/2007.

Conforme informado pela empresa Jorsil¹, as vantagens apresentadas por este sistema são:

- *a colaboração para a preservação das florestas nativas;*
- *o aço sendo 100% reciclável, poderá ser aproveitado inúmeras vezes;*
- *o aço possui alta resistência às intempéries²;*
- *é imune ao ataque de cupins e não sofre empenamentos;*
- *pela montagem mais rápida proporciona economia;*
- *maior facilidade no transporte, baixando os custos de frete;*
- *facilita a conferência dos materiais na obra devido à uniformidade dos materiais;*
- *implica em menor peso total;*
- *é adaptável a quaisquer projetos e telhas (cerâmica, concreto, fibrocimento ou shingles);*
- *o risco de incêndio é reduzido, pois o aço não é combustível.*

Este tipo de sistema é totalmente parafusado, com parafusos auto-brocantes³. Para união entre as peças, são utilizadas chapas de ligação (também do mesmo material) ou, se unem diretamente entre si.

9.5.3 Coberturas com estrutura em aço e telhas em aço

Para vãos de médio e grande porte são fabricadas telhas autoportantes, a partir da combinação de alguns tipos de seção, com aços de alta resistência.

As telhas de aço são fixadas em terças por ganchos de aço convencionais ou parafusos galvanizados auto-atarrachante ou auto-brocante. Tanto os ganchos como os parafusos deverão ser fixados com arruelas metálicas e de neoprene⁴. O cuidado que se deve tomar é que, se a estrutura da cobertura não for do mesmo material da telha, bem como os parafusos, pode ocorrer a corrosão galvânica (metais de diferentes potenciais), por isto, deve-se colocar arruelas de neoprene como separador de materiais. Esta questão será mais bem explicada na próxima seção *Proteção do aço frente à corrosão e fogo*

Arquiteticamente, uma cobertura em aço pode oferecer diversas possibilidades de composição. No Brasil, em residências unifamiliares, ainda estamos engatinhando neste sistema. Em países como Estados Unidos e Canadá, tal solução de cobertura já é comum. Aqui, em princípio, o primeiro preconceito vem quanto ao aspecto estético. Na seqüência o econômico. Se compararmos o custo do metro quadrado de uma telha tipo “sanduíche”, em aço, com o metro quadrado de telhas cerâmicas tipo colonial, temos muita diferença de valor. As telhas cerâmicas são muito mais

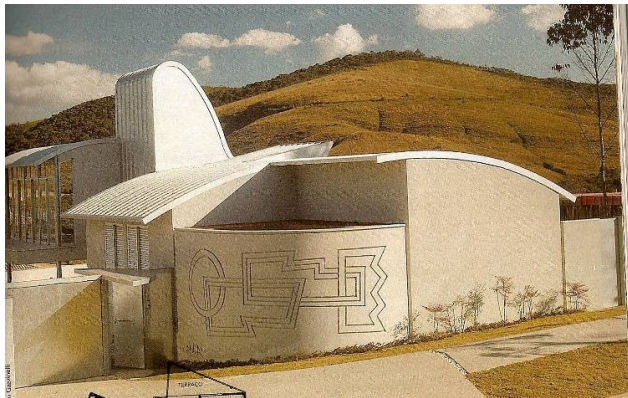
1 Empresa que aplica este tipo de sistema construtivo para coberturas.

2 Isto no caso do aço galvanizado, próprio para o uso neste tipo de sistema construtivo.

3 O parafuso auto-brocante desempenha, ao mesmo tempo, o papel de broca (que fazer o furo) e de parafuso (com a função de fixar algum componente).

4 Tipo de borracha sintética.

baratas. O que devemos colocar na balança é o desempenho técnico que cada tipo de material oferece, a estrutura necessária para suporte e o apelo estético desejado.



Fotografia 176– Exemplo de residência com cobertura em aço, em Nova Lima, BH, MG.

Projeto: João Diniz.

Fonte: Arquitetura & Construção,p.79, set 2005.



Fotografia 177 – Exemplo de residência com cobertura em aço. Local: Bells Beach, Austrália.

Projeto: Reiner Blunk, 1990. Local: Bells Beach, Austrália.

Fonte: CERVER, F. A. in "Houses of the world", p. 513,2003.



Fotografia 178– Exemplo de residência com cobertura em aço em telhas zipadas, em Uberlândia, MG.

Projeto: Luiz Humberto Finotti.

Fonte: Arquitetura & Construção,p.74, jul 2003.



Fotografia 179– Exemplo de residência com cobertura em aço em telhas zipadas, no Canadá.

Fonte: <http://www.cssbi.ca>. Acesso em abril/2007.

9.5.4 Coberturas com telhas tipo *shingle*

As telhas tipo *shingle* são telhas asfálticas, flexíveis. Devido à tecnologia de sua aplicação, aproximam-se muito do sistema industrializado de construção. São largamente utilizadas em residências com estrutura metálica. São muito leves e sua aplicação se dá, normalmente, sobre uma estrutura de tesouras metálicas ou de madeira, cobertas por placas de madeira (tipo OSB) ou placas cimentícias com fibrocelulose.



Fotografias 180, 181 e 182 -Execução de telhado em residência com estrutura metálica e cobertura com telhas tipo *shingle*. Local: Penedo, Itatiaia, RJ.

Neste caso, a estrutura da cobertura foi executada em madeira.

Projeto: Cristina L. M. Rocha.

Foto: Bianca Cito, 2007.

9.5.5 Coberturas com estrutura em aço e membrana tensionada

As membranas tensionadas são coberturas bem leves. São lonas tensionadas e atirantadas, nas quais atuam somente esforços de tração. Este tipo de cobertura remonta há mais de dois mil anos, tipicamente das sociedades nômades, que utilizavam cabanas feitas com peles de animais ou de outros materiais tramados.

Atualmente há um grande desenvolvimento tecnológico nos sistemas construtivos com membranas tensionadas, oferecendo aos projetos, peculiaridades como:

- luminosidade e translucidez;
- flexibilidade de desmontagem;
- baixo peso;
- possibilidade de formas geométricas diferenciadas.

Segundo BIANCHI, G. M.¹, *os componentes básicos de tensoestruturas são as mantas sintéticas, as cordoalhas de aço, as estruturas de suporte e os elementos de ancoragem e fundação.* As mantas sintéticas podem ser feitas de diversos materiais como a fibra de vidro, o poliéster, o kevlar (fibra de carbono), ou o nylon e como revestimento existem o cloreto polivinílico (PVC), o politetrafluoretileno (PTFE), o teflon (PVDF), ou o silicone.

Atualmente lonas tramadas de fibra de vidro e de poliéster apresentam, de forma geral, melhor desempenho pelas suas características, sendo, assim, os materiais mais utilizados nas tensoestruturas atuais. No Anexo 3 encontra-se uma tabela da síntese comparativa das propriedades destas duas mantas.

Questões tecnológicas que assegurem um bom desempenho das mantas já são bem resolvidas. Obviamente, quanto melhor o desempenho, como por exemplo, em relação à segurança contra incêndio, a ataques químicos e raios ultravioleta, a luminosidades, a acústica, mais cara fica a manta. O grau de desempenho requerido é variável de acordo com o tipo de projeto.

Entre suas propriedades, ainda segundo BIANCHI, G. M., *mantas em funções comuns são caracterizadas pela capacidade de baixo isolamento, baixa massa térmica, alta reflectividade da luz, e baixa a moderada translucidez.* Estas características têm feito com que as lonas apresentem efetiva aplicabilidade de uso em climas de temperaturas quentes ou temperadas com radiação solar alta. Os valores de baixo isolamento não resultam em alto aquecimento visto que a reflectividade reduz o calor, e a translucidez pode ser utilizada para iluminação natural, dessa forma reduzindo o custo de iluminação e resultando num decréscimo de calor produzido pelas lâmpadas artificiais.

Em relação ao desempenho acústico de uma manta estrutural este é caracterizado *pela alta refletividade de vibrações sonoras, particularmente em frequências na classe de 500 a 2000 Hertz.* Esta refletividade pode resultar num som pobre para performances musicais e dificuldade na velocidade de entendimento. Para a correção deste problema pode-se adaptar a forma arquitetônica tensoestruturas de

1 BIANCHI, G. M.1, "Estruturas de membranas tensionadas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em maio/2008.

maneira a desencadear um bom desempenho acústico, *particularmente em estruturas suportadas pelo próprio ar ou coberturas suportadas por arcos que apresentam uma cobertura de perfil geralmente côncavo voltado para dentro*¹.

A propagação do som através da manta é outra consideração importante em locais onde se deseja proteger os ocupantes da construção de barulhos externos. O isolamento da fibra de vidro entre as duas camadas de revestimento na manta pode aumentar o desempenho quanto ao isolamento do som.

*As lonas, na maioria dos casos, são fornecidas em bobinas de até 2 m de largura. Os padrões de corte são geralmente definidos com o uso de software. Moldes executados com um ploter (de 2,80 x 80,00 m) fornecem a base para o corte. A soldagem pode ser feita por solda eletrônica de alta frequência (onde as microondas derretem o revestimento e as fibras do tecido são conservadas), cunha quente ou ar quente. Além das juntas soldadas existem as costuradas e as mecânicas. As costuradas têm como desvantagem a degradação da manta. As mecânicas têm como vantagem a possibilidade de execução in loco, porém nem sempre são a prova d'água*¹.



Fotografia 183 – Exemplo de residência com cobertura em membrana tensionada. Local: Noosa Heads, Austrália.

Projeto: Elisabeth Poole et al, 1996.

Fonte: CERVER, F. A. in "Houses of the world", p. 631,2003.

¹ BIANCHI, G. M.1, "Estruturas de membranas tensionadas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em maio/2008.



Fotografia 184 - Residência Itanhagá. Local: Brasil.

Projeto: Bernardes + Jacobsen.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.



Fotografia 185 - Residência Itanhagá. Local: Brasil.

Projeto: Bernardes + Jacobsen.

Fonte: <http://www.bjaweb.com.br>. Acesso em janeiro/2008.

9.6 Proteção contra descargas atmosféricas

Uma dúvida freqüente de quem pretende construir uma residência em estrutura metálica é: uma casa em aço atrai raios? E uma cobertura metálica? Existe perigo de tomar alguma descarga elétrica? Se estiver encostado na estrutura, o morador pode receber alguma descarga elétrica?

O raio é uma descarga elétrica, é um tipo de eletricidade natural proveniente de uma descarga atmosférica para a terra. É caracterizado pelo trovão (som) e pelo relâmpago (luminosidade que aparece no caminho por onde o raio passou). *Os raios podem ocorrer de uma parte para outra de uma mesma nuvem, de uma nuvem para outra ou da nuvem para o solo. A grande maioria dos raios ocorre no interior da própria nuvem ou entre nuvens e apenas uma parcela muito pequena ocorre entre a nuvem e o solo¹.*

Os raios ocorrem porque as nuvens se carregam eletricamente. As nuvens carregadas são como *um enorme bipolo com cargas positivas na parte superior e as negativas na inferior².*

A nuvem carregada, induz no solo cargas positivas, que ocupam uma área correspondente ao tamanho da nuvem. Como a nuvem é arrastada pelo vento, a região de cargas positivas no solo acompanha o deslocamento dela, formando uma forma de sombra de cargas positivas que seguem a nuvem².

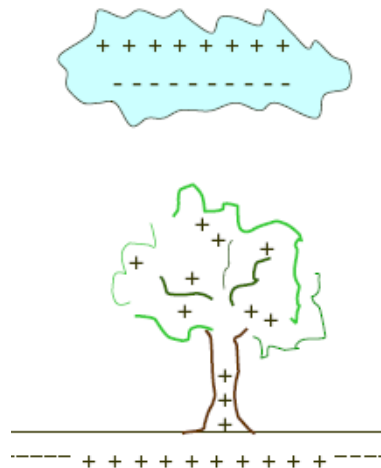


Figura 78- Esquema de uma nuvem carregada e a indução de cargas positivas no solo.

Fonte: "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

¹ "Para-raios e aterramento na prática I", disponível em <http://www.under-linux.org>. Acesso em janeiro/2009.

² "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

Ocorre um raio quando a diferença de potencial entre a nuvem e a superfície da Terra ou entre duas nuvens é suficiente para ionizar o ar; os átomos do ar perdem alguns de seus elétrons e tem início a uma corrente elétrica (descarga)¹.



Figura 79- Diferença de potencial entre a nuvem e a Terra.

Fonte: "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

Uma descarga atmosférica direta em pessoas, plantas ou animais mata instantaneamente, porém é muito raro isto acontecer. A descarga atmosférica indireta, ou seja, aquela que, por exemplo, atinge o solo primeiro, também é perigosa e pode chegar a matar pessoas, animais ou plantas. Esta, pode gerar enormes sobretensões com um gradiente de potencial que pode afetar aos seres vivos, bem como, em equipamentos eletrônicos.

¹ "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>.. Acesso em janeiro/2009.

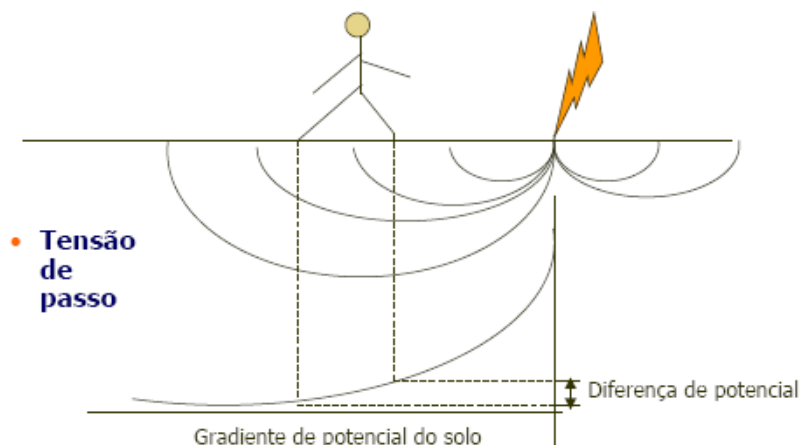


Figura 80- Descarga atmosférica penetrando o solo.

Fonte: "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

Os raios caem nos pontos mais altos porque eles sempre procuram achar o menor caminho entre a nuvem e a terra. Árvores altas, torres, antenas de televisão, torres de igreja e edifícios são pontos preferidos pelas descargas atmosféricas. O fator importante na queda de um raio é a altura da edificação¹.

Portanto, respondendo aos primeiros questionamentos: uma casa em aço atrai raios? E uma cobertura metálica? A casa em si ou a cobertura não atraem raio. O que torna uma edificação ser candidata a ser um ponto preferencial de queda de raios é sua altura em relação ao seu entorno. Caso estas sejam edificações isoladas, situadas em um grande descampado ou numa colina, mesmo sendo estruturas baixas, poderão se tornar candidatas preferenciais para a condução do raio ao solo, seja qual for o tipo de estrutura.

Entretanto, comparando-se uma casa construída de forma convencional (alvenaria comum, telhado de madeira e telhas cerâmicas) e outra com o mesmo projeto, construída com estrutura metálica (com pilares, vigas e cobertura metálica), situando-as em um descampado, caso haja um raio, ele cairá preferencialmente na que foi construída com estrutura metálica. Isto se dá porque, os metais são, sabidamente, bons condutores elétricos.

Quando um raio atinge uma edificação provoca uma circulação de corrente pelas partes metálicas da instalação atingida. No caso de uma casa, os canos metálicos de água, os fios da instalação elétrica e as ferragens das lajes e colunas irão conduzir parte da corrente do raio e ficarão também "carregados de eletricidade".

Para se evitar que raios atinjam às edificações e causem problemas com suas cargas elétricas, criaram-se os sistemas de proteção contra descargas elétricas (SPDA): os pára-raios. Estes direcionam para a terra um raio que iria cair sobre a casa, encaminhando-o para dissipação no solo, pelo caminho mais curto e rápido.

¹ PAULINO, J.O.S., "Proteção de cercas contra descargas atmosféricas", 1994.

O pára-raio, não atrai nem evita os raios. Ele apenas direciona para a terra um raio que iria cair sobre a casa, encaminhando-o para dissipação no solo, pelo caminho mais curto, rápido e seguro possível. Oferece um caminho preferencial à descarga elétrica, protegendo o patrimônio e as pessoas que estão dentro da edificação. Para que seja feita uma proteção eficiente às descargas atmosféricas devem ser considerados vários fatores, dentre eles: o tipo de estrutura e o material utilizado, a área construída, as estruturas da vizinhança, a geografia local, o tipo de ocupação e o conteúdo da edificação e o índice cerâmico (que é a quantidade raios em uma determinada região, relacionando-se o número de dias de tempestade por ano).

Os sistemas de proteção contra descargas elétricas mais utilizados atualmente são basicamente dois, o denominado Pontas ou Hastes (ou do tipo Franklin) ou, o Gaiola de Faraday.

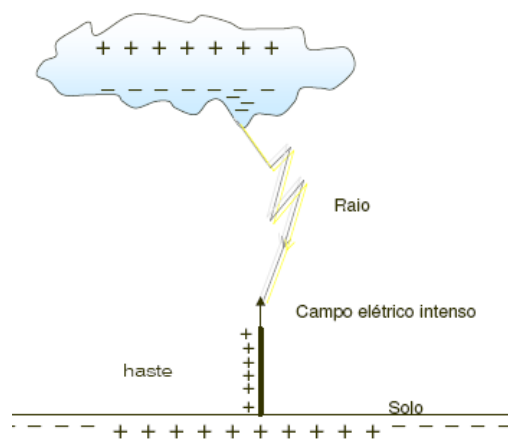


Figura 81- SPDA tipo hastes ou do tipo Franklin.

Formado por um mastro galvanizado, suportes isoladores para o mastro, base de fixação e um condutor de descida que leva a descarga elétrica até a malha de aterramento.

Fonte: "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

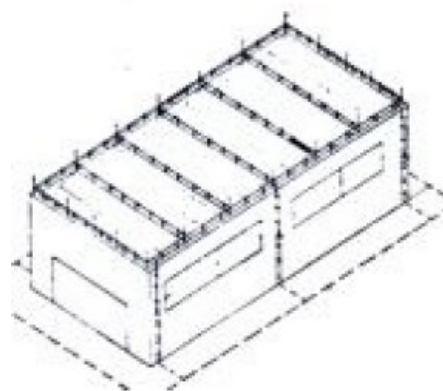


Figura 82- SPDA tipo gaiola Faraday.

É formada por um captor, cabos de cobre no formato de uma malha, suportes isoladores e tubos de proteção para os condutores de descida até o solo.

Fonte: "Sistema de proteção contra descargas atmosféricas", PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>. Acesso em janeiro/2009.

O funcionamento de um sistema de proteção contra descargas elétricas (SPDA) é composto de sistemas de captação, de dissipação e de aterramento das descargas elétricas.

O sistema de captação é responsável por receber as descargas diretas. De acordo com Jobson Modena, apud LOTURCO, B. ¹, *tudo o que for metálico e estiver no topo*

¹ LOTURCO, B., Descargas sob controle, Técnica, Pini, São Paulo, n° 134, maio/2008, disponível em <http://www.techne.com.br>. Acesso em maio/2008.

de uma edificação pode ser considerado elemento de captação. O mesmo vale para objetos metálicos localizados nas laterais a mais de 20 m de altura a partir do solo.

O sistema de dissipação recebe a descarga dos captadores e divide e conduz, através de descidas, a corrente elétrica para o aterramento. A quantidade de descidas influencia muito na eficiência da condução. Estas descidas podem ser feitas externas à edificação ou utilizando a própria ferragem da estrutura. No caso de estrutura metálica, os pilares e vigas estão prontos como sistema de dissipação. No caso de estrutura de concreto, toda a ferragem da estrutura de pilares e vigas também pode ser usada. Utilizar a própria estrutura como sistema de dissipação, além de ser mais econômico, tem a vantagem de não ter que deixar cabos de pára-raios aparentes na fachada.

O sistema de aterramento deve garantir a dispersão da corrente no solo. Se as ferragens da estrutura ou a estrutura metálica estiverem ligadas às das fundações, o aterramento está pronto. *O volume de metal dentro dos blocos de fundação aliado à umidade do subsolo garante a dispersão da corrente na terra. Nos casos em que a fundação não é usada para esse fim, os condutores de descida devem ser interligados por um anel que contorna toda a estrutura. Esse deve distar 1 m da periferia do prédio e estar enterrado a 50 cm de profundidade¹.* Um aterramento é de qualidade quando se possibilita a dispersão das correntes diminuindo-se as tensões de passo e eliminando a circulação de correntes por outros meios, tais como cabos e canos. Não devem surgir entre as partes metálicas e o solo diferenças de potencial que causem tensões de toque ou descarga laterais às pessoas.

Portanto, respondendo aos outros questionamentos: se estiver encostado na estrutura, o morador pode receber alguma descarga elétrica? Tudo dependerá do SPDA. Se este estiver bem feito, com seu aterramento bem equalizado, as pessoas estarão devidamente protegidas. Caso contrário, as pessoas poderão sim sofrer com tensões de toque e passo.

10 Proteção do aço frente à corrosão e fogo

Todo projeto e obra edificada devem considerar, com grande relevância, questões de durabilidade, vida útil e custos de manutenção do imóvel.

Segundo dito corrente, entre vários empreiteiros do aço, *a principal doença do aço é a corrosão*. Entretanto, só se predispõe a edificação a esta “doença” se, conforme PANNONI, *cometermos erros banais, que vão desde a desconsideração da agressividade do meio onde a estrutura será montada (proteção certa para dado ambiente) até a criação de situações em que o aço é levado a corroer (por exemplo, locais onde a água possa ficar acumulada). É, assim, um misto de mau detalhamento de projeto com a escolha de um sistema de proteção inadequado*.

A corrosão no aço, bem como em outros materiais metálicos, cerâmicos ou polímeros, é um processo de deterioração que se dá através da interação do material e o meio, produzindo alterações em suas propriedades. O produto da corrosão é uma substância, ou conjunto destas, diferente do material original, oriundos da deterioração do material. A liga inicial de aço, por exemplo, acaba perdendo suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc.

A compreensão do processo de corrosão faz com que saibamos prevenir diversas patologias nas edificações que utilizam o aço. Existem vários processos preventivos que podem ser adotados desde o projeto de arquitetura, na especificação do tipo de aço e em tratamentos de superfícies e pinturas, que assegurarão uma vida útil mais longa às obras. Prevenção e controle são as melhores formas de evitar problemas.

Quanto ao incêndio, este é um risco ao qual ninguém está totalmente livre. Podemos minimizá-lo e o desempenho estrutural do aço pode ser mais bem preservado em incêndios se adotarmos algumas precauções.

Nesta seção, grande parte das informações foram extraídas dos Módulos 5 e 6 do curso *Introdução ao uso do aço na construção*; das aulas em vídeo ministradas pelo professor Luís Andrade de Mattos Dias ¹; das aulas ministradas pela professora Zehbour Panossian, na disciplina de Sistemas Construtivos do Mestrado em Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT; das aulas ministradas pelo professor Antonio Fernando Berto, na disciplina de Instalações Prediais do referido Mestrado e; do Dr. Ph.D. Fábio Domingos Pannoni, que gentilmente me auxiliou com preciosas correções e comentários a esta seção.

Como aprendiz disto tudo, algumas informações foram transpostas e organizadas de forma concebida como convenientemente lógica. São informações de grande valia para arquitetos e outros profissionais que lidam com aço como matéria prima para seus projetos de edificações.

¹ Curso Introdução ao uso do aço na construção, 2007.

10.1 A corrosão e seus processos

10.1.1 O que é corrosão

Para a obtenção do aço, que é um produto industrializado, o homem emprega uma enorme quantidade de energia para reduzir os minérios (óxidos e sais) em aço. Já, a natureza, através das ações do intemperismo e agentes naturais, tem a tendência de transformar este aço industrializado, em sua forma original, o óxido de ferro, presente nos minerais, através do processo de corrosão. Conforme DIAS, L.A.M.¹, a corrosão, é o conjunto de alterações físico-químicas que o aço sofre pela ação de agentes naturais, como o vento, a chuva, o mar, o calor, o frio e os organismos vivos.

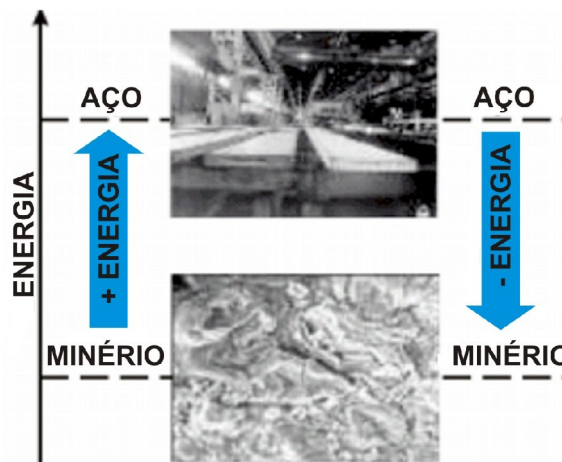


Figura 83 – Tendência de retorno do aço ao seu estado primitivo de origem: o minério.

Fonte: Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio - Coletânea do Uso do Aço Volume 2 – Gerdau Açominas – 1ª Ed. 2002– Autor: Fábio Domingos Pannoni.

A corrosão só acontece com a presença concomitante de um meio que contenha água e oxigênio e diferença de potencial elétrico. Se algum destes componentes falta, não ocorre o processo corrosivo do aço.

Só para lembrar, os metais, em sua forma pura, são elementos químicos eletricamente neutros, ou seja, possuem o mesmo número de prótons e elétrons. A corrosão transforma o metal em um íon metálico, pela ação do meio. A natureza tende a equilibrar as coisas. Quando se tem um átomo que possui mais elétrons que outro, o mais negativo tende a doar seus elétrons, ficando, portanto desbalanceado. Isto acontece pelo princípio da eletrólise, através do eletrólito que é o meio.

Conforme a apresentação do módulo 5 do curso à distância “Introdução ao uso do aço na construção” a corrosão envolve três constituintes:

¹ DIAS, L. A. M. Aula em vídeo disponível em Curso “Introdução ao uso do Aço na construção”, 2007. Módulo 5.

- O Ânodo (-) que é onde o metal é corroído,
- o Meio, que é a solução eletricamente condutora,
- e o Cátodo (+) que é a parte do metal (ou de outro metal) que não se corrói.

Quanto mais condutor o Meio, mais rápida é a reação. Por exemplo, quanto mais úmida ou mais salina a atmosfera, mais rápida será a corrosão. Por isso é que o processo de corrosão é tão acelerado à beira-mar, pois além da umidade, também há presença de cloreto de sódio. As atmosferas industriais que são poluídas com gases de enxofre, formando ácido sulfúrico, são também muito corrosivas.

Nos Meios naturais (água, solo e atmosfera) os aços-carbono não apresentam resistência à corrosão e, portanto nunca podem ser utilizados sem proteção superficial. A atmosfera (contém poeira, gás carbônico, gás sulfídrico e amônia), as águas naturais (contém gases, sais minerais, matéria orgânica e microorganismos), o solo (porosidade, sais minerais, bactérias, umidade, acidez ou alcalinidade) e produtos químicos (ácidos, bases, sais, óxidos) são os meios corrosivos mais comuns para o aço.

10.1.2 O processo de corrosão

Segundo PANNONI corrosão é, basicamente, um processo eletroquímico. Quase todos os processos de corrosão mais comuns envolvem etapas eletroquímicas. A corrosão eletroquímica ou úmida se dá em decorrência do contato do aço com a água, ou simplesmente num meio úmido. A superfície metálica possui pontos com diferentes potenciais elétricos. Estes pontos constituem pequenas regiões anódicas e catódicas que, ao entrarem em contato com a água ou um ambiente úmido, propiciarão um processo de corrosão.

A corrosão pode ocorrer através de várias formas e sua classificação pode ser feita através da aparência do metal corroído. As formas mais comuns de corrosão que acometem o aço carbono, importantes na construção civil, são a corrosão uniforme, a corrosão localizada, a corrosão por frestas e a corrosão por *pite*¹.

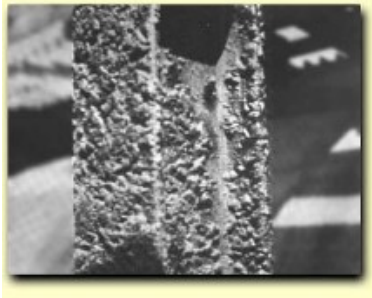
10.1.2.1 Corrosão uniforme

A corrosão uniforme é o fenômeno de corrosão mais importante e comum. Ela acontece em metais e ligas relativamente homogêneas expostas a ambientes também homogêneos.

A forma mais comum da corrosão uniforme é a corrosão atmosférica. Conforme PANNONI, como o próprio nome indica, trata da reação do oxigênio, constituinte da atmosfera, à temperatura ambiente, com o metal, estando a superfície recoberta por uma película (macroscópica ou microscópica) de água e agentes poluentes

¹ Segundo Pannoni, A palavra "pite" vem do inglês "buraco", e é de uso consagrado em corrosão.

dissolvidos, chamado de eletrólito. A corrosão atmosférica é intrinsecamente relacionada com os constituintes da atmosfera, com a água e os poluentes.



Fotografia 186 -Exemplo de corrosão uniforme.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR.

10.1.2.2 Corrosão localizada

Segundo PANNONI o *fenômeno ocorre diferentemente da corrosão uniforme, quando o metal é colocado em presença de um ambiente não homogêneo. Estas diferenças podem advir de múltiplas origens, tanto ao nível do material (ligas multifásicas, presença de inclusões, defeitos localizados em revestimentos protetores, pares bimetálicos, etc) quanto ao ambiental (variação local de composição química, de pH ou da temperatura).*

De forma localizada, pode se apresentar em placas, em regiões da superfície, mas não em toda a sua extensão.



Fotografia 187- Exemplo de corrosão por placas.

Este tipo de corrosão por placas no pé deste pilar se deu por ser um trecho sujeita a molhaduras constantes e por não ter tido um detalhamento de projeto adequado que evitasse este fato.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR. Autores: Azevedo, C. A. C. et al .

A corrosão bimetálica ou “galvânica” é umas das formas mais comuns de corrosão localizada.

A corrosão galvânica acontece quando há a formação de par galvânico entre diferentes metais, num meio aquoso (eletrólito). É gerada então uma diferença de potencial elétrico onde um dos metais (anodo) cede elétrons ao outro e se corrói, enquanto o outro se mantém protegido (catodo).

As regiões onde acontecem as reações anódica (a corrosão metálica) e catódica (redução do oxidante) são espacialmente distintas (PANNONI). Cada metal ou liga podem ser caracterizados pelo seu potencial de corrosão. Torna-se possível, deste modo, estabelecer o que se chama de série galvânica, que é um meio de

classificação de diferentes metais e ligas segundo seu potencial de corrosão. A *série galvânica* é uma série prática, experimental, obtida para diversos metais ou ligas mergulhados em um determinado eletrólito, como, por exemplo, a água do mar.

A tabela a seguir mostra os metais que são mais suscetíveis à corrosão galvânica. Os metais e ligas situados no topo da tabela (anódicos, mais sujeitos a corrosão) se corroem protegendo os situados na base da tabela (catódicos menos sujeitos à corrosão).

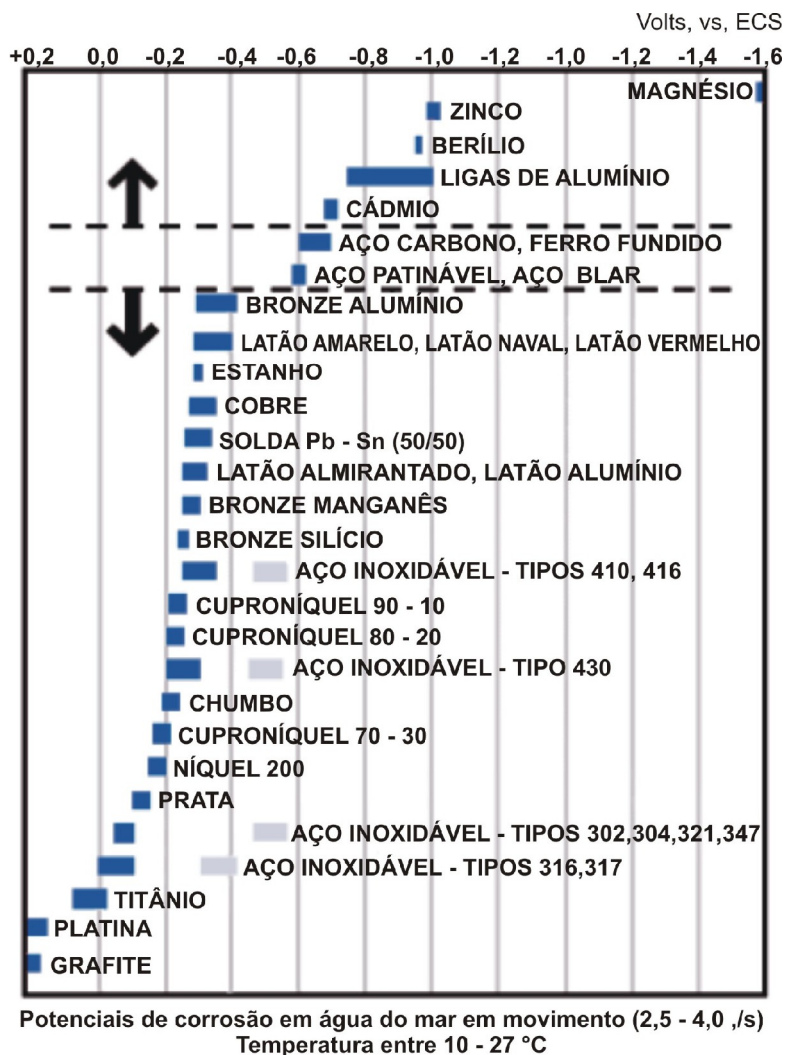


Tabela 6 – Série galvânica para metais e ligas imersas em água do mar.

Fonte: Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio - Coletânea do Uso do Aço Volume 2 – Gerdau Açominas – 1ª Ed. 2002– Autor: Fábio Domingos Pannoni.



Fotografia 188 -Exemplo de corrosão galvânica.

Nota-se o contato de telhas galvanizadas ou de galvalume com estrutura em aço carbono sem o devido isolamento. O ideal seria ter sido utilizada uma pintura ou arruela de borracha para isolar os materiais e evitar a corrosão bimetálica.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR. Autores: Azevedo, C. A. C. et al .

10.1.2.3 Corrosão por pites

Esta forma de corrosão se caracteriza por um ataque localizado que está geralmente associado à ruptura local de uma película passiva e que acontece muitas vezes na presença de cloretos ou de passivação incompleta (por exemplo: utilização de quantidade insuficiente de inibidor de corrosão). A quantidade de metal perdido por esta forma de ataque é muito pequena, mas pode levar à perfuração rápida das peças afetadas. A corrosão por pites é um fenômeno bastante freqüente, que afeta os aços carbono, aços inoxidáveis, ligas de níquel, de titânio, de alumínio ou cobre (PANNONI).

Em aços estruturais, pites acontecem na maior parte dos casos em condições de contínuo molhamento ou em certos solos altamente agressivos, e não na atmosfera (PANNONI).



Fotografia 189 -Exemplo de corrosão puntiforme.

Fonte: Curso de Estruturas Metálicas, UFPR. Autores: Azevedo, C. A. C. et al .

10.1.2.4 Corrosão por frestas

Este tipo de corrosão por frestas normalmente é gerada por um mau detalhamento de projeto e operações de soldagem.

O oxigênio disponível dentro da fresta é rapidamente consumido pelo processo de corrosão, e, devido à dificuldade de reposição (isto é, dificuldade na difusão do oxigênio para dentro da fresta), não é repostado. O lado externo da fresta, em contato com o oxigênio atmosférico, torna-se um grande catodo e a parte interior da fresta se torna um anodo localizado, onde a corrosão acontece com velocidade elevada (PANNONI).

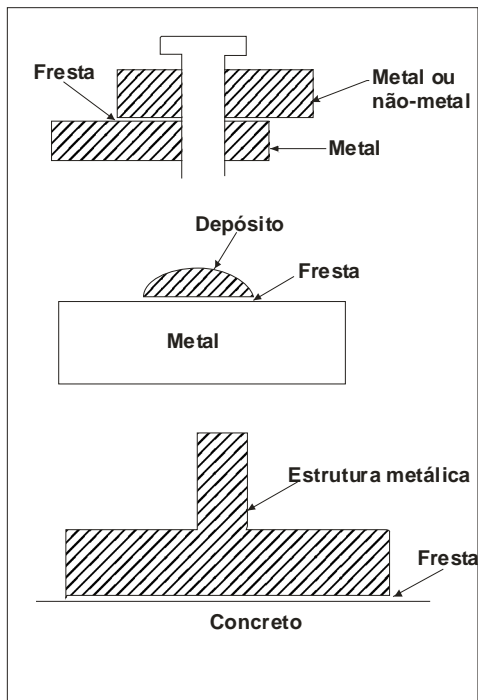


Figura 84 -Exemplo de projetos com frestas que favorecem o aparecimento da corrosão.

Fonte: Emprego do aço na construção habitacional -detalhes construtivos Aula do Curso de Mestrado IPT. Autora: Panossian, Zehbour.

10.1.3 A proteção do aço frente à corrosão

A durabilidade de uma obra não depende somente do material utilizado. Sua vida útil pode ser prolongada de diversas maneiras. A proteção de uma construção que utiliza o aço nasce no projeto e fabricação da estrutura e perpetua-se através de seu plano de manutenção.

10.1.3.1 Cuidados em projeto

O reconhecimento da corrosividade do ambiente no qual a estrutura será exposta e a escolha apropriada de revestimento são fatores fundamentais para o bom desempenho das estruturas metálicas.

A condição do ambiente em que a estrutura metálica se encontrará direcionará a escolha adequada do tipo de aço e o tipo de tratamento que ela deverá receber contra a corrosão. Isto deve ser observado porque o processo de corrosão não pode ser tratado de forma generalizada para todos os ambientes. Existem variações ambientais em diferentes atmosferas. Segundo PANNONI, a Norma ISO 9223:1992

trata da categorização da corrosividade ambiental atmosférica e traz exemplos de diferentes ambientes típicos, conforme esquema da tabela a seguir.

Categoria de corrosividade	Perda de espessura, μm (após um ano)		Exemplo de ambientes típicos (informativo)	
	Aço carbono	Zinco	Exterior	Interior
C1 Muito baixa	= 1,3	= 0,1	-	Edificações aquecidas com atmosferas limpas (escritórios, lojas, escolas, hotéis, etc)
C2 Baixa	> 1,3 a 25	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição, a maior parte das áreas rurais.	Edificações sem aquecimento, onde a condensação é possível (armazéns, ginásios cobertos, etc)
C3 Média	> 25 a 50	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e indústrias com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição atmosférica (lavanderias, cervejarias, laticínios, etc.)
C4 Alta	> 50 a 80	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada	Indústrias químicas, piscinas, etc.
C5-I Muito alta industrial	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição
C5-M Muito alta marinha	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas costeiras e <i>offshore</i> com alta salinidade	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição

Tabela 7 - Categorias de corrosividade atmosférica, e exemplos típicos de ambientes.
Fonte: Artigo: A Prevenção da Corrosão em Estruturas Metálicas. Autor: Fábio Domingos Pannoni.

No projeto é onde se pode prever o melhor custo benefício da vida útil da estrutura. Sendo feita uma adequada especificação de material, um bom detalhamento de peças, ao longo do tempo, os custos com o controle da corrosão podem ser minorados.

O projeto da peça de aço pode ter significativa influência na resistência à corrosão. Como já dito na seção anterior, um dos principais pontos é assegurar que a geometria das peças favoreça a drenagem da água. As peças devem estar providas de furos, em quantidade e tamanho suficientes para que a água seja drenada. Estas também devem permitir o livre fluxo de ar, para que a secagem seja mais eficaz. A acessibilidade para a manutenção das peças metálicas também deve ser observada em projeto, para que sejam criados locais de manutenção fácil.

Uma das melhores formas de se evitar a corrosão de uma estrutura metálica é evitar o seu contato com a água. Deve-se reduzir ao máximo o tempo de umidificação da superfície metálica. Em áreas expostas a esta umidificação, a estrutura deve sofrer tratamentos ou pinturas como proteção.

Devem ser evitadas especificações que resultem em formações de pares galvânicos. Como, por exemplo, aço em contato com cobre ou outro metal. Até mesmo, deve-se evitar o contato de telhas galvanizadas com a estrutura. Nestes casos recomenda-se o uso pinturas ou de fitas e borrachas isolantes, que separem os metais diferenciados. Deve-se, também, evitar que peças metálicas fiquem submersas ou semi-enterradas.


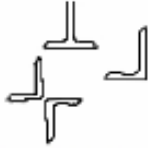




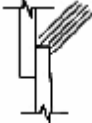
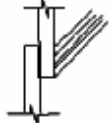




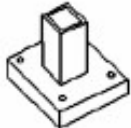


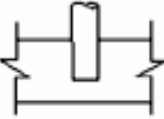











PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
Umidade e sujeira podem se acumular na fenda	Utilize perfil "T" ou outra geometria	Umidade penetra na fenda	Utilize cordão de solda ou selante
			
Corrosão potencial (fresta)	Elimine a fenda por soldagem ou selante (epóxi ou poluetano)	Condição desfavorável	Condição favorável
			
Cantos vivos e solda descontínua	Cantos arredondados e solda contínua	Reforços criam acúmulo de água e sujeira	Elimine o acúmulo de água e sujeira
			
Cuidado com o acúmulo de água e sujeira	Crie situações que evitem o acúmulo de sujeira e água		
		Água retida	Não acumula água
			
		Solda na base cria fresta	Solde o topo da junta
			
Umidade e sujeira podem se acumular na fenda	Use selante para dificultar o ingresso da água	Enrijecedores impedem a drenagem	Deixe furo para a drenagem
			
A chapa de base e os chumbadores no nível do solo resulta em retenção de água	A chapa de base acima do solo, sobre a base de concreto promove a proteção, inclinação para a drenagem da água	Criação de fresta	Eliminação de fresta
			

Figura 85 –Sugestões de detalhamentos para minimização de corrosão.

10.1.3.2 Cuidados na execução da obra e manutenção da obra

Não adianta um projeto bem elaborado se não houver uma execução cuidadosa e inteligente. Esta deve ser rigorosamente acompanhada por profissionais capacitados. As superfícies metálicas devem estar bem preparadas e o sistema de pintura ou qualquer outro sistema a ser utilizado deve ser adequado ao ambiente em que a estrutura metálica será utilizada.

Além da correta utilização da construção, deve haver um plano de manutenção preventiva para o tratamento da edificação, aonde manutenções periódicas são feitas, para que não sejam necessárias manutenções corretivas.

Se uma manutenção corretiva acontecer, significa que as manutenções preventivas não foram suficientes ou aconteceu algum acidente. Porém, muitas das vezes, é o que mais acontece na construção civil brasileira.

10.1.4 Sistemas de proteção do aço frente à corrosão

10.1.4.1 O desenvolvimento de aços resistentes à corrosão

O aço é produzido em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações.

Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade micro estrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos.

Dentre os aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Entretanto, a tendência moderna no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas.

O aço, como material em si, pode sofrer adições de outros elementos químicos, como cobre e cromo, por exemplo, se tornando um aço liga, apresentando maior resistência à corrosão do que os aços comuns.

Dentre os aços pertencentes a esta categoria, merecem destaque os aços de alta resistência e baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica. Eles constituem a família dos aços conhecidos como patináveis.

10.1.4.1.1 Aços patináveis (ou aclimáveis)

Aço patinável é um aço com alta resistência mecânica e baixa-liga que além de Ferro (Fe) e Carbono (C), tem a adição de certos constituintes microligantes, como Cobre (Cu), Cromo (Cr), Fósforo (P) e Silício (Si), que além da resistência mecânica característica dos aços-carbono, soma resistência à corrosão atmosférica. A adição destes elementos, *quando expostos ao clima (daí o nome aclimável) desenvolvem em sua superfície uma camada de óxido compacta, aderente e protetora, que funciona como barreira de proteção contra o prosseguimento do processo corrosivo, possibilitando assim a utilização desses aços sem qualquer revestimento* (DIAS, L.A.M., 1989, apud Aço na Construção, p. 23-6).

A pátina protetora do aço só se desenvolve quando o material é submetido a ciclos alternados de molhamento (chuva, nevoeiro, umidade) e secagem (sol, vento).

O tempo para formação da pátina é variável em função do tipo de atmosfera de exposição. De modo geral leva de 18 meses a três anos para se formar, adquirindo então uma coloração marrom escura.

Em relação às condições de uso, o aço patinável tem a vantagem de não precisar de qualquer tipo de proteção além da pátina, a não ser que se queira. Isto dependerá do tipo de projeto, de sua utilização, do ambiente e do grau de contaminação a que for exposto o aço patinável. A utilização ou não de revestimentos de proteção é em função da análise dos itens citados.

O uso do aço patinável, sem revestimento, é recomendado em locais que possam formar inteiramente a camada de óxido com característica protetora. Normalmente, quando expostos a atmosferas industriais pouco agressivas, rural, urbana e marítima (no caso, distantes mais de 600m da orla marítima), podem ser usados sem proteção. Porém, é de grande importância o projeto adequado das peças, pois dependendo da sua utilização, no período de formação da pátina protetora, a oxidação escorre, podendo manchar outros elementos da construção. *Outros cuidados também se fazem necessários: retirada da carepa¹ de laminação, de respingos de solda, resíduos de óleo, graxa, argamassa e concreto; evitar regiões de estagnação que possam conter água e resíduos sólidos e; as partes não expostas ao intemperismo, como juntas de expansão, articulações, regiões sobrepostas e frestas, devem ser convenientemente protegidas devido ao acúmulo de resíduos sólidos e umidade. Deve também ser feito o acompanhamento periódico para verificação do desenvolvimento do óxido, caso não ocorra a formação da pátina, será necessário fazer uma pintura* (FREIRE, C.)².

O uso do aço patinável com revestimento é aconselhável *em locais em que as condições climáticas ou de utilização não permitem o desenvolvimento da pátina protetora ou por escolha de projeto arquitetônico. Devem ser revestidos quando expostos a atmosfera industrial altamente agressiva, atmosfera marinha severa e moderada* (distantes até 600m da orla marítima), *regiões submersas ou sujeitas a*

¹ Carepa de laminação é um uma camada cinza azulada que se forma na superfície da peça em aço durante o resfriamento. O aço é aquecido entre 1250 °C e 450 °C e o oxigênio reage com o ferro formando a carepa.

² FREIRE, C. Proteção contra corrosão. Disponível em: <[http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br)>.

respingos e locais em que não ocorram ciclos alternados de molhagem e secagem (FREIRE, C.)¹.

Os revestimentos apresentam ótima aderência aos aços patináveis com um desempenho, no mínimo, duas vezes superiores em relação ao mesmo aço-carbono comum (FREIRE, C.)¹. Segundo PANOSSIAN, Z.², isto acontece porque, no caso de corrosão, o produto desta no aço carbono comum é muito volumoso e logo a tinta descola da peça. Nos aços patináveis o produto da corrosão forma uma camada fina, compacta e aderente, propiciando mais durabilidade da fixação das tintas. Porém, a pintura não deve ser aplicada sobre a pátina já formada. Assim como um aço comum, o aço patinável, para ser pintado, deve passar por procedimentos de preparação da superfície (como por exemplo, limpeza de superfície e criação de rugosidade adequada).

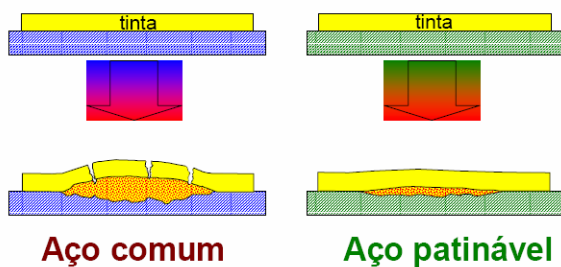
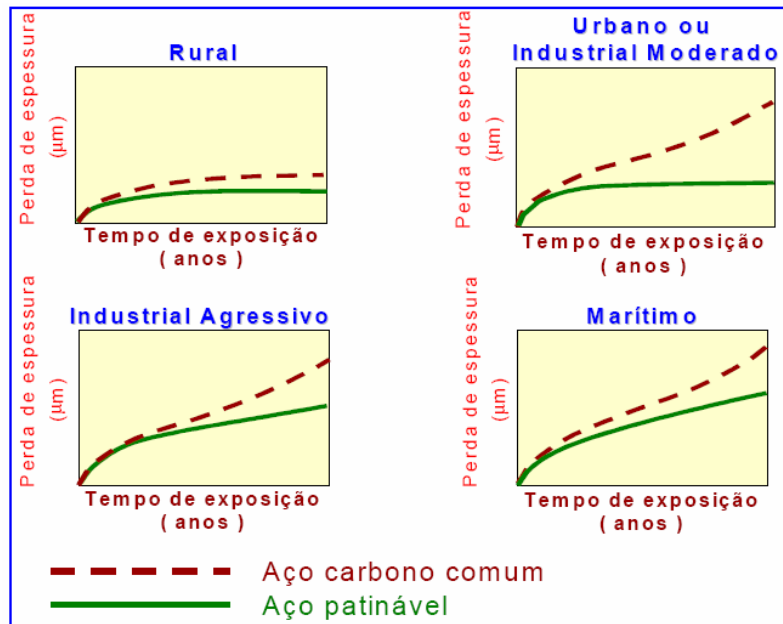


Figura 86 –Comparação esquemática entre pintura, frente à corrosão, em um aço comum e em um aço patinável.

Fonte: GENECCO, C., “A pintura do aço patinável”, 2000. Disponível em <http://www.chuman.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

O desempenho do aço patinável em relação à corrosão atmosférica é melhor que do aço carbono comum, assim demonstrado nos gráficos 11 a 14. Se compararmos ambos os aços, revestidos por um mesmo sistema de pintura, o aço patinável apresenta um desempenho bem superior ao do aço comum, implicando na redução com gastos em manutenção e repinturas.



Gráficos 11, 12,13 e 14 – Curvas de comportamento do aço carbono comum e do aço patinável.

Fonte: PANOSSIAN, Z., “Corrosão atmosférica de metais” apud GENECCO, C., “A pintura do aço patinável”, 2000. Disponível em <http://www.chuman.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

1 FREIRE, C. Proteção contra corrosão. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>>.

2 Em aula ministrada no Curso de Mestrado Profissional em Habitação do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas /SP.

Quanto às propriedades, são soldáveis e trabalháveis de maneira similar ao aço-carbono comum. Apresentam ainda média ou alta resistência mecânica, o que proporciona tanto uma redução no peso da estrutura quanto uma diminuição da espessura das chapas usadas.

Os elementos de ligação utilizados na estrutura (chapas, parafusos, porcas, arruelas, rebites, cordões de solda, etc.) devem apresentar não só resistência mecânica compatível com o aço patinável, mas também compatibilidade química, para evitar (ou minimizar) o aparecimento da corrosão galvânica entre os componentes.

A soldagem dos aços patináveis também deve apresentar resistência à corrosão. Portanto, o eletrodo utilizado deve ser próprio para este tipo de aço. Conforme catálogo da CSN¹, para soldagem de múltiplos passes, pode-se utilizar o eletrodo especial somente nos dois últimos filetes que ficam, efetivamente, em contato com a atmosfera.

Os aços patináveis são encontrados na forma de chapas, bobinas e perfis laminados. Na arquitetura de residências pode ser utilizado com intenção estética, tirando partido da textura e cor do material. Abaixo, seguem alguns exemplos de residências com o uso do aço patinável.



Fotografia 190– “T house” é um exemplo de residência em chapas de aço patinável aparente.

Projeto: Simon Ungers, local: Wilton, NY, EUA.

Fonte: Contemporary American Architects vol.II.



Fotografia 191 – Exemplo de residência em chapas de aço patinável aparentes.

Projeto: Shim Sutcliffe Architects. Local: Toronto, ON, Canadá.

Fonte:<http://www.raic.org> (Royal Architectural Institute of Canada). Acesso em setembro/ 2007.

¹ Companhia Siderúrgica Nacional.



Fotografia 192– Casa em Ubatuba, Sp, Brasil.

Este é um exemplo de residência com uso conceitual do aço patinável em arquitetura, diferente dos exemplos das casas americana e canadense mostrados anteriormente. Neste projeto, o uso do aço resistente à corrosão não objetivou o apelo estético e sim a proteção perante o ambiente marinho.

Projeto: Lilia Andrade Projetos e Arquitetura.

Fonte: <http://www.metálica.com.br>. Acesso em setembro/ 2007.

No quadro a seguir estão os fabricantes de aço patinável no Brasil.

EMPRESA	AÇO
BELGO MINEIRA	ASTM A588
COSIPA	COS-AR-COR 400, COS-AR-COR 400E, COS-AR-COR 500, ASTM A242, ASTM A588
CSN	CSN CSN-COR 420, CSN-COR 500
CST	ASTM A242
GERDAU AÇOMINAS	ASTM A588
USIMINAS	USI-SAC-300, USI-SAC-350, USI-FIRE-350, ASTM A242, ASTM A588
V&M	VMB 250 COR, VMB 300 COR, VMB 350 COR

Figura 87 – Quadro com os aços patináveis produzidos no Brasil.

Fonte: <http://www.cbca.com.br>. Acesso em set./2007.

10.1.4.1.2 Aço inox

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro que possuem Cr (cromo) com teores de pelo menos de 10,5%. Este tipo de aço é de grande interesse de aplicação em determinados ambientes ou situações, devido à sua capacidade de resistir à corrosão, aliada a algumas propriedades mecânicas. Como nos aços patináveis, a característica de alta resistência à corrosão é obtida pela formação de um filme superficial, produto da reação do cromo com o oxigênio da atmosfera: cada vez que este filme é rompido por qualquer motivo (riscos, por exemplo), imediatamente ele se recompõe, desde que haja oxigênio disponível para a formação do óxido protetor. Tanto a resistência à corrosão, bem como características de fabricação, podem ser melhoradas através da adição de alguns elementos além do cromo¹.

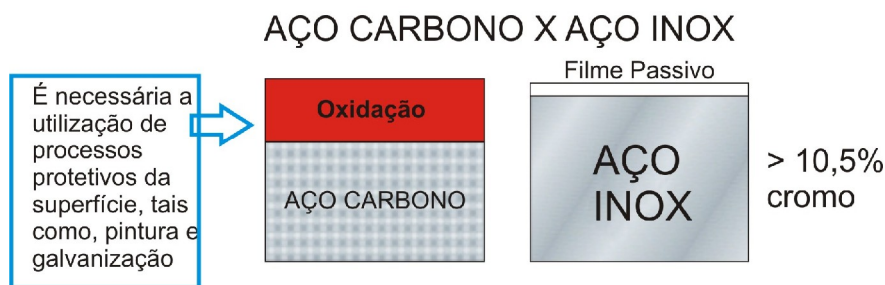


Figura 88– Esquema Aço carbono x aço inox.

Fonte: "Inox na arquitetura" disponível em <http://www.acesita.com.br>. Acesso em fevereiro/ 2007.

Os aços inoxidáveis estão agrupados em três famílias, em função de sua composição química: austeníticos, ferríticos e martensíticos. Existem diversos sistemas de classificação, e será mostrado o padrão reconhecido pela ABNT²:

a) austeníticos: contem tipicamente 18% de cromo, 8% de níquel e baixo teor de carbono. Atualmente esta família responde por cerca de 70% do total de aços inox produzidos em todo o mundo, principalmente em função de características como: excelente resistência à corrosão, alta resistência mecânica, boa soldabilidade, boa conformabilidade, facilidade de limpeza, durabilidade, recomendando-os à arquitetura e construção em geral;

b) ferríticos: são ligas de ferro-cromo, contendo geralmente de 12 a 17% de cromo. Apresentam boa resistência à corrosão em meios menos agressivos, boa ductilidade, razoável soldabilidade;

c) martensíticos: também são ligas ferro-cromo. Uma característica desta família é a de poder atingir altas durezas (1379 MPa) através de tratamento térmico, entretanto, não são especificados para uso da construção civil¹.

¹ Informações obtidas em "Inox na Arquitetura", Acesita, fev. 2007.

² Associação Brasileira de Normas técnicas.

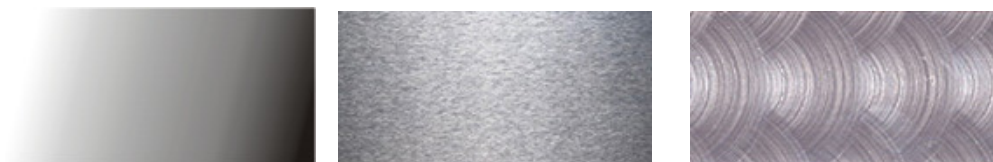
Nenhum material é totalmente inoxidável, portanto, o uso do aço inox na construção também deve obedecer a critérios de seleção em função do ambiente que será utilizado, assim como acontece com o uso do aço patinável. De forma geral, na arquitetura, os aços inoxidáveis mais utilizados são os denominados 430, 444, 304 e 316.

Família	Tipo	Alicações	Composição
FERRÍTICOS (magnéticos)	430 (mais popular)	Diversas aplicações em INTERIORES , desde que não sejam em cidades litorâneas	Cr 16/18
	444	Aplicações em tubos ou chapas em regiões LITORÂNEAS ou não	Cr 17/19 Mo 1,75/2,50
AUSTENÍTICOS (não magnéticos)	304 (mais popular)	Diversas aplicações em INTERIORES E EXTERIORES , desde que não sejam em cidades litorâneas	Cr 18/20 Ni 8/10,5
	316	Diversas aplicações em INTERIORES E EXTERIORES , em cidades litorâneas	Cr 16/18 Ni 10/14 Mo 2/3

Figura 89—Quadro orientativo para a seleção do tipo de aço inox mais adequado para cada ambiente.

Fonte: "Aço Inoxidável" disponível em <http://www.constructalia.com.br>. Acesso em fevereiro/2009.

Aqui no Brasil, quem produz o aço inoxidável é a Acesita, Villares Metais e Gerdau Aços Especiais. O aço inoxidável é produzido em forma de chapas, bobinas, tubos redondos, quadrados e retangulares, cabos e telas. Existem várias formas de acabamento, como mostra a fotografia 193.



Fotografia 193 – Exemplos de acabamentos de aço inox: espelhado, escovado e decorativo.

Fonte: "O Aço Inoxidável na Arquitetura" disponível em <http://www.metallica.com.br>. Acesso em fevereiro/2007.

O aço inox é um material que, na arquitetura, sempre traz uma idéia de vanguarda, futurismo e higiene. É muito caro e, por isto, raramente é usado como elemento estrutural. Normalmente é utilizado em painéis de revestimento de fachadas, guarda corpos e em alguns elementos de destaque ou apelo arquitetônico.



Fotografia 194– Exemplo de uso aço inox em escada.

Obra realizada pela empresa Artinox.

Fonte: <http://www.artinox.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.



Fotografia 195– Exemplo de uso aço inox em escada.

Obra realizada pela empresa Artinox.

Fonte: <http://www.artinox.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.



Fotografia 196– Exemplo de uso aço inox em platibanda.

Obra realizada pela empresa Artinox.

Fonte: <http://www.artinox.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.



Fotografia 197– Exemplo de uso aço inox em lareira.

Obra realizada pela empresa Artinox.

Fonte: <http://www.artinox.com.br>. Acesso em novembro/ 2006.

A aparência exterior das edificações pode ser brilhante ou reflexiva conforme as exigências ou preferências de projeto em questão. Os acabamentos mais reflexivos geralmente assumem as cores do meio-ambiente que o envolve, cores estas que variam com a alteração da luminosidade ao longo das horas do dia e dos meses do ano. O aço inox também tem sido bastante empregado no mobiliário urbano, principalmente em função de suas características de durabilidade, facilidade de limpeza e manutenção, além da boa resistência ao ataque da poluição, característica de nossas cidades, e que muitas vezes leva a uma rápida deterioração deste tipo de equipamento.

10.1.4.2 Aço zincado

O aço zincado é o processo pelo qual se deposita o zinco sobre o aço com o objetivo de se criar uma proteção superficial, através das diferenças de potencial elétrico entre os metais. Quando o aço e o zinco entram em contato em um meio úmido é criada uma diferença de potencial elétrico entre os metais, gerando uma corrente galvânica que protege o aço.

	METAL	POT.ELETRODO	
MENOS NOBRES	Magnésio	-2,340	ANÓDICOS
	Alumínio	-1,670	
	Zinco	-0,762	
	Cromo	-0,710	
	Ferro	-0,440	
	Cádmio	-0,402	
	Níquel	-0,250	
	Estanho	-0,135	
	Chumbo	-0,126	
MAIS NOBRES	Cobre	+0,345	CATÓDICOS
	Prata	+0,800	
	Ouro	+1,680	

Tabela 8– Série de potencial de eletrodo dos metais.

Observar que, correlacionado à série galvânica, quanto mais nobre o metal, mais valor de mercado o metal possui.

Fonte: "O que é galvanização a fogo", Revista Metálica n° 50, disponível em <http://www.metálica.com.br>.

O zinco é um revestimento de sacrifício. Ele protege o aço nas discontinuidades. O objetivo é se criar uma camada de proteção de zinco sobre o aço. O grau desta proteção é variável em função do processo de aplicação e da espessura aplicada (medida em μm). Considerando-se um mesmo ambiente, quanto maior for a espessura de proteção e sua uniformidade, maior será sua vida útil.

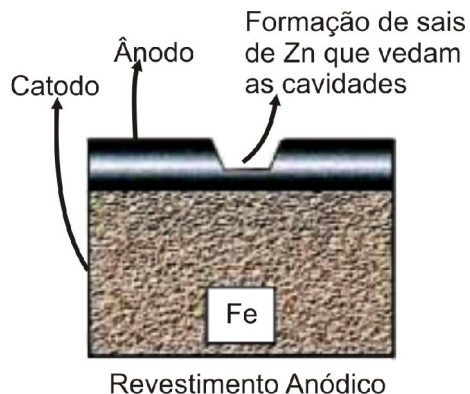


Figura 90 – Papel do zinco como proteção do aço, formando um par galvânico.

Fonte: Revista Metálica nº 50, disponível em [http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br). Acesso em novembro/ 2006.

Existem três processos de zincagem:

- por eletrodeposição (eletrozincado);
- por imersão a quente (galvanização a fogo);
- por aspersão térmica.

Antes de qualquer processo de zincagem, as peças de aço devem passar por procedimentos de limpeza e preparo. Estes envolvem a retirada de graxas, óleos, ferrugem, carepa, etc. (PANNONI)¹.

O processo de aplicação por eletrodeposição consiste basicamente em se dar um banho no aço em uma solução aquosa iônica com o auxílio de corrente elétrica a fim de impedir a deteriorização de peças devido à oxidação. Este tipo de processo é caro, produz espessuras baixas de proteção (40 μm) e também não gera um recobrimento uniforme. (PANNONI).

O processo por imersão a quente ou simplesmente mais conhecido como galvanização a fogo consiste na imersão da peça em um recipiente com zinco fundido a aproximadamente 454°C. A ligação da camada protetiva é feita por reação metalúrgica, propiciando maior aderência, resistência à abrasão e uniformidade do revestimento. O zinco adere à superfície do aço através da formação de uma camada de liga Fe-Zn, sobre a qual deposita-se uma camada de zinco pura de espessura correspondente a agressividade do meio a qual a peça será submetida (FREIRE, C.)². A espessura desta camada varia (5 μm a 200 μm) em função do tempo de imersão da peça nos tanques de zincagem, da velocidade com que o componente é retirado da cuba, da rugosidade superficial, etc. (PANNONI).

Este tratamento garante à peça uma maior durabilidade, já que a corrosão do zinco é de 10 a 50 vezes menor que no aço em áreas industriais e rurais, e de 50 a 350 vezes em áreas marinhas (FREIRE, C.).

Para garantir uma proteção ainda maior contra a corrosão costuma-se aplicar tintas sobre as superfícies zincadas. Para a aplicação de tintas é necessária a aplicação

1 Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio – Coletânea do Uso do Aço Vol. 2 ,2002.

2 FREIRE, C. Proteção contra corrosão. Disponível em: <[http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br)> Acesso em 06/2006.

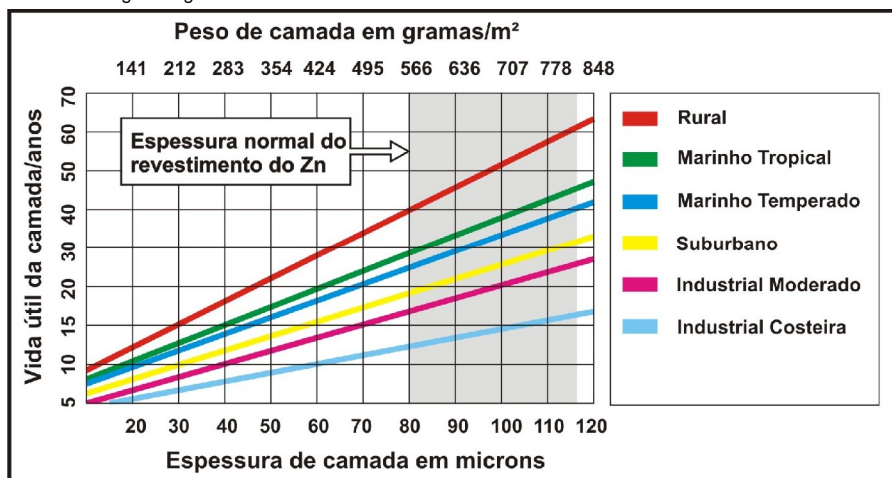
de um primer específico, que tenha adesão neste substrato, como um epóxi isocianato¹ (PANNONI).

A galvanização é de grande utilidade à construção civil. Ela está presente em diversos produtos que atendem ao mercado da construção como: telhas metálicas, chapas, perfis para sistemas construtivos tipo *Light Steel Frame* e *dry wall*, pregos, parafusos, e outros.

No caso de peças estruturais, estas são produzidas em fábricas de estruturas metálicas e enviadas para empresa de zincagem por imersão a quente. Cuidados com tamanhos, formas, identificação das peças, partes móveis, e outros, devem ser analisados com cuidado para se obter sucesso nos procedimentos.

Quanto às ligações entre peças, o ideal é que elas sejam parafusadas, para que a solda não danifique a camada protetora, ou, que sejam soldadas antes do processo de zincagem. Caso seja necessário o uso de solda, existe uma tinta protetora, também à base de zinco, que ajuda a solucionar o problema. Porém, é muito cara e fica com coloração diferente, necessitando então de uma pintura, para disfarçar as diferenças.

Gráfico 15– Correlação Peso/Espessura/ Vida útil da camada de um aço galvanizado.
Fonte: Catálogo Mangels.



A vida útil de um aço galvanizado, com espessura normal de revestimento, preconizada pela norma em 86 μm , em atmosfera rural, chega em torno de 50 anos. Quando acaba este tempo de durabilidade, pode-se fazer outro banho de imersão em zinco, caso seja possível a desmontagem da estrutura, ou simplesmente utilizar a pintura como proteção.

O processo de zincagem por aspersão térmica trata-se quase de uma pintura metalizada. Este é feito in loco, com pistola e aquecimento. Produz camadas de elevadas espessuras (50 μm a 300 μm) e uniformidade média, dependendo do aplicador.

¹ tinta epoxi-isocianato, hoje é a mais usada na indústria por oferecer uma série de vantagens como: ser insaponificável, se liga quimicamente ao zinco e oferece uma excelente base de aderência para diversos sistemas de pintura. Fonte: GNECCO, C., Disponível em <http://www.tintassumare.com.br>. Acesso em 02/2009.



Fotografia 198– Residência sendo construída com o sistema construtivo *steel frame*.

O aço galvanizado é muito utilizado no sistema construtivo *Light Steel Frame*, que, no campo residencial, significa um processo de industrialização da construção de casas.

Fonte: <http://www.steelframehousing.org>. Acesso em março/2008.

Atualmente estuda-se bastante o comportamento de ligas zinco/alumínio para proteção galvânica de superfícies metálicas, em revestimentos comercialmente conhecidos como Aluzinco, Zinalume ou Galvalume. Com base no “bate-papo programado” (disponível em <http://www.ipt.com.br>, maio/2006) realizado pelo IPT, a pesquisadora RAMUS, A., do Agrupamento de Corrosão e Proteção contra corrosão diz que *o revestimento de ligas Zn/55Al¹ apresenta uma resistência à corrosão cerca de 2 a 4 vezes superior ao revestimento de zinco convencional. O benefício que ele traz é uma maior durabilidade, portanto, uma menor agressão ao meio ambiente.* Uma das grandes utilidades do produto é a proteção de telhas.

O alumínio é um metal não ferroso, conhecido por sua boa resistência à oxidação, mas com custo elevado, devido ao gasto energético necessário para sua produção. Este revestimento é mais uniforme que o zincado simples e tem um aspecto visual melhorado pela presença do alumínio. Porém, seu custo é maior, se comparado ao aço zincado Grau B.

O revestimento de Zn/55Al é formado pela liga constituída, em peso, de 55% de alumínio, 1,6% de silício e 43,4% de zinco. A CSN² introduziu no Brasil esta tecnologia (o Galvalume) e produz bobinas de chapas de aço já galvanizadas com este tipo de revestimento de liga.

1 Tipo de liga que contém zinco e alumínio, e que 55% em peso é de alumínio. Reveste o aço, pelo processo de imersão a quente, gerando o chamado “galvalume”.

2 Companhia Siderúrgica Nacional.



Fotografias 199 e 200 – Exemplos de residências com telhas produzidas a partir do galvalume.

Fonte: <http://www.eurotelhas.com.br>. Acesso em janeiro/ 2007.

10.1.4.3 Pintura

O uso da pintura tem como objetivo a proteção da superfície do aço. Para serem obtidos os melhores resultados em relação ao custo e benefício que a pintura oferece, é necessário que se faça uma programação dos serviços a serem executados. Elabora-se então um esquema de preparo e pintura da superfície a ser seguido. Neste esquema devem ser considerados: o tipo de superfície a ser pintada; o ambiente que ela se encontra; condições de trabalho da estrutura; acessibilidade para pintura; técnica de preparo da superfície; o esquema de tintas (tipos a serem usados); método de aplicação (número de demãos e espessuras) e; compatibilidade entre tintas.

10.1.4.3.1 Preparo da superfície

Um dos principais fatores para o bom desempenho da pintura do aço é o preparo da sua superfície, pois as tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas. *As ligações físicas e químicas ocorrem através de grupos de moléculas presentes nas resinas das tintas que interagem com grupos existentes nos metais, já as ligações mecânicas necessitam de uma certa rugosidade da superfície para ocorrer¹.*

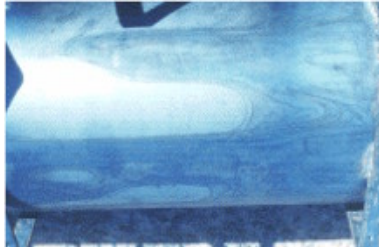
Nesta fase deve-se eliminar impurezas, como contaminantes (óleos ou graxas, suor, compostos solúveis e carepa de laminação), óxidos, pó, tintas anteriores e também criar a rugosidade ideal para o material utilizado no revestimento. Uma superfície bem preparada garantirá maior durabilidade à peça de aço. O grau requerido de limpeza da superfície varia em função do tipo de tinta a ser aplicado e com as condições do ambiente a que ficará exposta.

A carepa de laminação é um contaminante que se forma na laminação a quente da chapa de aço ou quando o aço é aquecido entre 1250 °C e 1450 °C. Isto ocorre porque nestas temperaturas o oxigênio reage com o ferro formando a carepa, uma

¹ Módulo 5 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

camada cinza azulada que se forma na superfície durante o resfriamento. A carepa se forma em perfis, tubos, vergalhões e chapas¹.

Ao contrário da pátina que se forma nos aços patináveis, a carepa não é um bom revestimento, pois é quebradiça e permite a criação de muitas fissuras e fendas. Também é muito lisa para que a tinta tenha boa aderência. Por isso, a carepa deve ser completamente removida antes da pintura, inclusive a formada nos cordões de solda por causa do calor gerado durante a soldagem¹.



Fotografia 201 –Carepa de laminação numa chapa de aço.

Fonte: Módulo 5, curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

Para se fazer a limpeza da superfície, existem vários processos que podem ser feitos com ferramentas manuais, elétricas ou a ar comprimido. Para a remoção de óleos, graxas, terra e outros resíduos superficiais sobre a peça em aço, usam-se solventes.

A limpeza manual pode ser:

- *Por Lixamento, com lixas à prova de água;*
- *Por Escovamento, com escovas de cerdas de aço;*
- *Ou ainda com mantas não tecidas, impregnadas de abrasivos¹.*

Este tipo de limpeza retira a ferrugem, tintas velhas e as carepas soltas, mas não proporciona uma limpeza muito rigorosa. O grau de limpeza alcançada por ferramentas manuais é aceitável apenas para aplicação de tintas alquídicas e betuminosas em ambientes normais.

Com ferramentas elétricas ou com ar comprimido consegue-se melhor qualidade na limpeza. São usadas escovas rotativas, esmerilhadeiras, lixadeiras e outros. Este método é mais utilizado para limpeza de pequenas áreas ou de áreas de difícil acesso (como porcas, parafusos e cantos) e também, para limpeza de cordões de solda.

Outra forma de limpeza das peças de aço é com o jateamento com partículas abrasivas, como areia ou granalha de aço ou alumínio. Este tipo de limpeza é um dos poucos métodos que remove, quase totalmente, as carepas de laminação, ferrugens e pinturas antigas do aço. É um método muito utilizado nas fábricas de estruturas metálicas, com grande eficiência.

O jateamento a seco com areia é um método que, atualmente, está proibido no Brasil. Pois, gerava inconvenientes, como problemas respiratórios decorrentes do teor de sílica na areia.

O jateamento com granalha de aço, atualmente, é a forma mais utilizada de limpeza de peças. As granalhas são produzidas com um tipo de aço de alta dureza, em dois formatos, esféricas (*shot*) e angulares (*grit*) e, podem ser recicladas inúmeras vezes.

A finalidade do jateamento, além de propiciar a limpeza da superfície, é criar rugosidade adequada para boa aderência da pintura. *O grau de limpeza aumenta de acordo com o tempo de jateamento da estrutura. A rugosidade deve ter um perfil adequado, pois se excessiva, pode, na pintura, deixar expostos pontos do aço base e, se insuficiente, a tinta pode não aderir*¹.

Após a limpeza da superfície, o aço base estará completamente exposto à atmosfera. O tempo que a superfície jateada pode ficar sem pintura depende das condições de clima e de localização do ambiente onde a superfície ficará exposta. Porém, deve-se cuidar para que, na medida do possível a pintura seja feita logo a seguir da limpeza.

Por exemplo:

- *Se a umidade do ar estiver entre 30% e 70%, o tempo pode ser de 8 horas.*
- *Entre 70% e 85%, não deve passar de 4 horas. Se acima de 85% não deve ser feito o jateamento e nem a pintura.*
- *Se em ambiente industrial agressivo ou à beira mar, não deve passar de 2 horas e se houver poeira no ar ou chuvisco, será necessária uma cobertura com lonas e pintar o mais rápido possível*¹.

¹ Módulo 5 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

10.1.4.3.2 Sistema de pintura

O sistema de pintura é a especificação do tipo de proteção necessário à peça de aço perante à corrosão. Nele é fundamental a correta especificação das tintas a serem utilizadas.

Um sistema de pintura completo abrange: técnica de preparo de superfície (apresentado no item anterior); tipo de tinta; número de demãos; espessura por demão e; método de aplicação.

As tintas, basicamente, são compostas de solventes, resinas, pigmentos e aditivos. Os solventes são compostos orgânicos 100% voláteis, que têm a função de dissolver a resina.

A resina (não volátil) é o componente mais importante da tinta e é responsável pelas propriedades de aderência, impermeabilidade e flexibilidade. Elas têm a função de aglomerar as partículas de pigmento e mantê-las unidas entre si e à estrutura metálica. As resinas mais importantes para pintura de aço são as: alquídicas (esmalte sintético), vinílicas (latex PVA¹), acrílicas (latex acrílico), epoxídicas, poliuretânicas, borrachas cloradas, etil silicato de zinco e silicone. Cada uma delas confere à tinta características diferentes de uso e durabilidade em diferentes situações.

Os pigmentos são os produtos que dão cor às tintas e podem ser encontrados em uma infinidade de cores, normalmente obtidos a partir de mistura de cores primárias, como: branco, preto, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, púrpura, alumínio e dourado².

Os pigmentos também podem ter função anticorrosiva. Apesar de a resina ser o principal componente da tinta, ela não é totalmente impermeável. Por isso, a adição de pigmentos anticorrosivos ajuda a isolar o aço de agentes que possam atacá-lo. Os principais são: o cromato de zinco, zarcão, fosfato de zinco, silicato de cálcio, zinco metálico, e óxido de ferro³.

Os aditivos servem para melhorar o processo de fabricação, de estocagem e de aplicação das tintas. Podem atuar como secantes, plastificantes, antimofos, anti-sedimentantes, nivelantes, dispersantes, antiespumantes, antiincrustantes, etc.³

As tintas podem ser classificadas em mono componentes e bi componentes. As tintas mono componentes são fornecidas em uma só embalagem ou lata. As mais conhecidas são: esmalte sintético, primer sintético, borracha clorada e tinta betuminosa. As tintas bi componentes são fornecidas em duas embalagens separadas. As mais utilizadas são: epóxi, poliuretânicas, fundos fosfatizantes (wash primer) e etil-silicato de zinco².

As tintas também são classificadas de acordo com sua posição nas demãos do sistema de pintura. Podem ser de fundo ou *primer*, intermediária e acabamento.

1 Polímero sintético de acetato de vinila.

2 GNECCO, C.et al. Manual da Construção em Aço - Tratamento de superfície e pintura.

3 Módulo 5 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

A tinta de fundo ou primer é a primeira camada e contém pigmentos anticorrosivos, pois está em contato direto com o aço base. Um exemplo de camada de fundo é a chamada fosfatização, que consiste na aplicação de uma camada de fosfato cristalino insolúvel que melhora a aderência da tinta e faz com que a superfície metálica se transforme em não metálica, aumentando a resistência à corrosão em torno de 5 vezes. Quando associada à pintura, esta proteção tem aumento de até 600 vezes.

As tintas intermediárias ou undercoating sem pigmentos anti-corrosivos ou de cor, serve apenas para aumentar a espessura do sistema. Deve ter afinidade com as tintas do sistema¹.

A tinta de acabamento ou esmalte é a tinta que dá acabamento ao sistema de pintura e definirá a aparência final da estrutura. Deve ter características que resistam ao meio ambiente além de ser compatível com as demais tintas do sistema. Estas podem ter cores variadas e acabamentos variados (acetinado, brilhante, fosco, martelado, etc).

Atualmente, a indústria também produz tintas que não necessitam de solventes derivados de petróleo e são solúveis em água, gerando baixo impacto ambiental. Este é um dos grandes desafios do mercado de tintas atualmente. Já há, nas lojas de tintas, esmaltes sintéticos solúveis em água, para pintura de aço.

Basicamente, as tintas podem desencadear três tipos de mecanismos de proteção contra corrosão: proteção por barreira, proteção anódica e proteção catódica.

A proteção por barreira se dá quando a tinta não possui pigmentos inibidores da corrosão. Age por barreira mecânica, ou seja, serve de anteparo das intempéries, sendo um processo basicamente físico. Por isto, a tinta deve ser a mais impermeável possível, para dificultar a passagem do vapor de água e do oxigênio².

A proteção anódica é propiciada pelos pigmentos anticorrosivos que tem a capacidade de inibir a corrosão. O procedimento mais comum é revestir a superfície do metal por uma camada de tinta ou de óxido protetor. O método atual consiste em oxidar a superfície do ferro com um sal de cromo para formar o óxido de ferro e óxido de cromo. Estes óxidos são impermeáveis à água e ao oxigênio, e a oxidação do ferro (reação anódica) torna-se impossível³.

A proteção catódica se dá quando colocamos em contatos dois metais em um meio eletrolítico, o que provoca a corrosão do mais eletronegativo. Trata-se de uma proteção de sacrifício para a proteção do aço. O pigmento mais utilizado neste tipo de proteção é o zinco em pó que, misturado às tintas, produz as tintas chamadas ricas em zinco, propiciando um processo, também chamado de galvanização a frio². A película de zinco se oxida antes do ferro, sendo chamada de ânodo de sacrifício.

Quanto à aplicação da tinta, esta pode ser tanto manual como mecânica, por imersão em linhas contínuas ou em cabines com equipamentos automáticos. A aplicação manual pode ser feita com o uso de pincel, rolo ou pistola de ar comprimido.

1 Módulo 5 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

2 GNECCO, C.et al. Manual da Construção em Aço - Tratamento de superfície e pintura.

3 Exercícios resolvidos de Eletroquímica. Fonte: <http://www.qmc.ufsc.br>.

A pintura eletrostática consiste na aplicação de cargas elétricas contrárias na tinta e no objeto a ser pintado, de forma que seja gerando um campo eletrostático e as partículas da tinta sejam atraídas para a peça. A pintura eletrostática pode ser feita com tinta líquida ou em pó¹.

A pintura por imersão pode ser feita com ou sem corrente elétrica. A sem corrente elétrica, convencional, é o processo mais comum, onde as peças são mergulhadas em um tanque com a tinta. A com corrente elétrica, também chamada de eletroforese, é a migração das partículas de tinta, sob a influência de um campo elétrico, no qual o recipiente e a tinta têm carga contrária à da peça a ser pintada. A eletroforese pode ser anódica (recipiente e tinta negativos e peça positiva) ou catódica (recipiente e tinta positivos e peça negativa)¹.

Para a especificação correta de tintas deve-se considerar:

- a superfície metálica ficará aparente ou não?
- que tipo de superfície de aço será pintada? (aço carbono, aço galvanizado, aço patinável, etc);
- em que ambiente e clima estará a estrutura em aço? (clima quente, frio, úmido ou seco; ambiente: rural, urbano, marítimo, industrial, etc);
- como é o local? (Interno ou externo, enterrado, submerso, etc);
- qual a temperatura de trabalho? (ambiente, refrigerada ou aquecida);
- o que deverá vir pronto de fábrica ou feito na obra?

¹ GNECCO, C.et al. Manual da Construção em Aço - Tratamento de superfície e pintura.

Tintas	Tipo	Locais de uso	Aplicação	Principais características
Alquídicas	monocomponente	Interiores secos e abrigados ou exteriores normais, sem poluição	Portas, esquadrias, janelas de madeira ou de aço	Baixo custo inicial e baixa resistência a intemperismo
Alquídicos à base de água	monocomponente	Ambientes rurais, urbanos ou marítimos abrigados	Sobre metais	
Acrílicas à base de água	monocomponente	Ambientes de média agressividade e industrial moderado	Alvenaria, pintura de estruturas, equipamento, bombas e exteriores de tanques	
Epóxi *	Bicomponente	Ambientes úmidos e/ou submersos	Pintura interna de tanques, tubulações, equipamentos e estruturas	Alta resistência à umidade e imersão
Poliuretânicas	Bicomponente	Usadas como acabamentos em uso externo	Pintura externa	Resistência a radiação ultravioleta solar e as águas de chuva
Etil silicato de zinco	Bicomponente	Alto desempenho em ambientes de alta agressividade e em ambientes marítimos	Para aplicação somente em aço carbono	Proteção catódica ao aço carbono
Silicone	Mono ou Bicomponente	Substratos sujeitos a altas temperaturas	Pintura de chaminés, caldeiras, tubulações quentes	Altas temperaturas (até 600°C)

Figura 91 – Quadro resumo de tintas.

Fonte: Módulo 5 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

Existem diversos tipos de tintas para tratamento e proteção de superfície das estruturas, portanto o que deve ser analisado é qual oferece o melhor desempenho (proteção e durabilidade) e preço. Uma tinta que inicialmente parece ter custo mais baixo, ao longo da vida útil da construção se torna mais cara, pelo fato de necessitar de uma manutenção mais intensa.

	Custo	Tolerância ao preparo superficial	Resistência química	Resistência a solventes	Lixamento entre demãos	Outras informações
Aquídica	Baixo	Média	Baixo	Média	Sim	Decorativa Facilidade de compra monocomponete
Borracha clorada	Alto	Baixa	Boa	Baixa	Não	Calcinam Alta espessura monocomponete
Epoxidica	Médio	Muito baixa	Muito boa	Boa	sim	calcinam
Betuminosa	Baixo	Boa	Média	Baixa	Não	Cor preta Amolece com o calor monocomponete
Betuminosa/epoxidica	Médio	Baixa	Média	Média	Sim	Cor preta ou marrom Alta espessura
Poliuretânica	Alto	Muito baixa	Muito boa	Boa	sim	Muito decorativo
Silicato (inorgânico ou orgânico)	Alto	Muito baixa	Média	Boa	Não	Pode requerer preparo superficial especial

Figura 92 – Quadro resumo de tintas.

Fonte: Módulo 5 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

10.1.4.3.3 Aço pré pintado

O aço pré pintado é elaborado através de um processo de pintura chamado *coil-coating*. Segundo CRUZ, M¹. *Este é o processo mais indicado para a fabricação de telhas e é realizado quando o aço ainda se encontra sob a forma de bobina, permitindo um rigoroso controle de camada de tinta e uniformidade de aplicação, impossíveis de serem obtidos nos outros processos. O grande diferencial foi a descoberta de resinas extremamente flexíveis, não somente no sentido físico, uma vez que o aço pré-pintado pode ser conformado sem que ocorram trincas, mas principalmente pela diversidade de produtos existentes, possibilitando atender quase todas as exigências da construção civil.*

O aço pré-pintado, aqui no Brasil é fornecido em bobinas de chapas metálicas produzido pela CSN² e a Tekno.

1 CRUZ, M. O aço e os sistemas de cobertura. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>> Acesso em 11/2007.

2 Companhia Siderúrgica Nacional.

As principais aplicações na construção civil são: telhas e tapamentos laterais; painéis termoacústicos; portas e portões; painéis decorativos; forros; eletrocalhas; estruturas metálicas leves; persianas; quadros escolares; painéis elétricos; e esquadrias.

Outra vantagem deste processo é a manutenção da cor uniforme por toda a superfície do edifício. Isto permite o desenvolvimento de projetos com rigoroso planejamento arquitetônico de composição de cores.



Fotografia 202 –Bobina de aço pré pintado.

Fonte: <http://www.csn.com.br>. Acesso em novembro/2006.



Fotografia 203 –Telhas fabricadas a partir de bobinas de aço pré pintado.

Fonte: <http://www.csn.com.br>. Acesso em novembro/2006.

A corrosão é um processo natural que pode ser evitado com práticas adequadas de prevenção. A correta especificação do aço estrutural para uma obra, revestido ou não, é fundamental para a garantia de durabilidade da edificação.

Um bom projeto, baseado no conhecimento do produto, seguido da correta execução, vai certamente levar a uma obra de qualidade, que devidamente mantida atenderá com folgas as expectativas normais de construção.

Não se deve de forma alguma economizar em projetos, em sistemas de proteção ou na correta preparação de uma superfície antes da aplicação de pintura ou outro meio protetivo, sob pena de se comprometer de maneira importante a vida útil da edificação.

Uma armadura de aço com a cobertura adequada, ou uma estrutura metálica devidamente enclausurada, onde não existe presença de oxigênio, terão vida ilimitada. Isto demonstra a significância da prevenção.

Sabe-se que não existe material bom ou ruim, e sim material bem ou mal especificado. Sob o ponto de vista econômico, sempre existirão limites para nossos projetos. A vida esperada para uma edificação, normalmente de 50 anos, só pode ser atingida com técnicas corretas de projeto e execução, e com a garantia de manutenção durante o uso. O principal obstáculo na obtenção dos adequados resultados é o desconhecimento.

10.2 Situação de incêndio

Um incêndio é um fato passível de acontecer em qualquer edificação. Um curto circuito, um equipamento que falha, um erro humano, um vazamento de alguma substância inflamável, podem ocasionar o princípio de um incêndio.

O aço, quando atacado pelo fogo, tem sua resistência reduzida e sofre uma redução brusca do seu estado limite de escoamento, a partir de 400°C, atingindo valores críticos em temperaturas em torno de 550°C. Ocorrem dilatações, perda de massa e perda de resistência e rigidez. Quando submetido a temperaturas acima de 600°C perde 50% de sua resistência.

A necessidade de proteção contra fogo deve ser prevista na fase de projeto, embora esta não seja resolvida somente no projeto. Conforme o professor BERTO, A. F.¹, as questões que envolvem um incêndio e uma edificação, devem ser vistas de forma sistêmica: *o primeiro passo deve ser resolver a questão da prevenção visando minimizar o risco de surgimento do incêndio. Depois, considerando que o incêndio ocorreu, limitar o seu crescimento, dotar o edifício de meios para o combate inicial, limitar sua propagação, garantir os meios de fuga para sua população, limitar a propagação para edificações vizinhas, prevenir a ocorrência do colapso estrutural (já que o incêndio tem a capacidade de promovê-lo) e, por último, estabelecer os meios para que o combate do Corpo de Bombeiros ou de uma brigada profissional possa ter sucesso. Resolvidos todos esses problemas e considerada a interação que existe entre eles, o problema maior da segurança contra incêndio poderá ser resolvido.*

O evento “incêndio” pode ser combatido através do uso de sistemas de proteção passivos e ativos. A proteção passiva visa retardar a propagação do fogo, como por exemplo, com o uso de materiais fogo-retardantes, projetos adequados para rotas de fuga e elementos construtivos que cortam o fogo. A proteção ativa visa combater o fogo através de mecanismos como, por exemplo, os de rede de chuveiros automáticos ligados a detectores de fumaça, que em caso de incêndio lançam água sobre as chamas.

O potencial de um incêndio está baseado na carga de incêndio contida no compartimento. Todo o conteúdo inflamável contido em um compartimento é a sua carga de incêndio. Esta carga é baixa quando não contém materiais inflamáveis, e alta quando contém muitos produtos inflamáveis, como móveis, papéis, revestimentos, ou produtos químicos voláteis, entre outros. Considera-se que o incêndio começa na ignição, passando por um período de crescimento, até a inflamação generalizada (flashover), onde todos os produtos combustíveis estão em chamas, até atingir a temperatura máxima de incêndio. A partir daí o incêndio entra em declínio².

¹ BERTO, A. F. Aulas ministradas na disciplina de instalações prediais. Mestrado Profissional em Habitação, IPT
² Módulo 6 do curso “Introdução ao uso do aço na construção”, 2007.

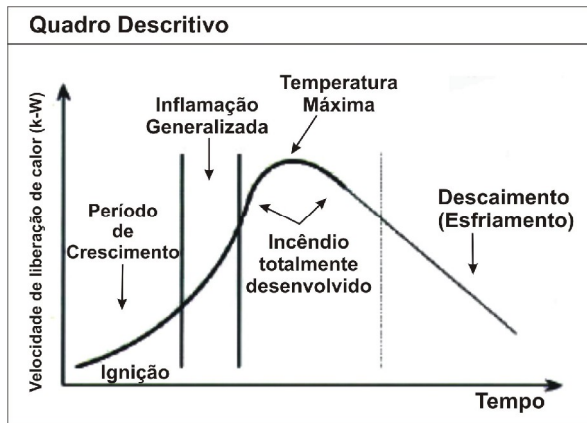


Figura 93 – Temperatura / tempo de um incêndio.

Fonte: Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço Mauri Resende Vargas, Valdir Pignatta e Silva Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS / Centro Brasileiro apud Módulo 6 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

Para o uso do aço, como elemento estrutural, deve-se verificar o fator de massividade, que é a relação entre a superfície exposta e a massa do perfil, e que está intrinsecamente ligada à velocidade com que ele se aquece. Quanto maior a superfície e menor a massa do perfil, mais rápido irá se aquecer.

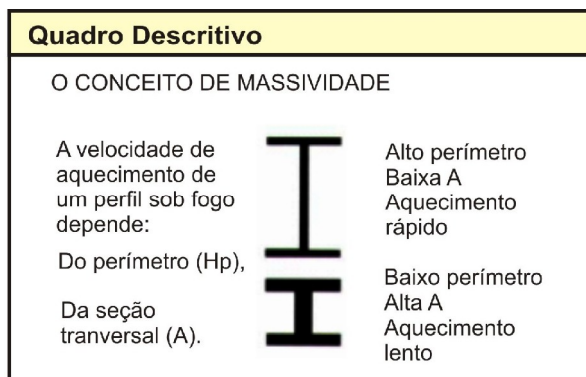


Figura 94 – Conceito de massividade.

Fonte: Módulo 6 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

As medidas preventivas ao incêndio são diferenciadas em função do tipo de edificação (forma, altura, área, saídas) e de seu uso (quantidade de pessoas que a utilizam e sua mobilidade). Os aspectos a serem considerados no projeto de edifício visando a segurança contra incêndio são: proteção da vida dos ocupantes da edificação; manutenção da estabilidade; contenção do avanço do fogo; aviso de incêndio e evacuação; e combate a incêndio.

Conforme PANONNI¹, pelas normas vigentes (NBR 14323, "Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio – Procedimento", 1999; NBR 14432, "Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimentos", 2000), e a Instrução técnica do corpo de bombeiro de

¹ Fonte: PANONNI, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", Disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

São Paulo IT –CB011/33/99, que aborda a segurança estrutural dos edifícios e a resistência ao fogo dos elementos construtivos, há casos de isenção da proteção contra fogo. De acordo com estas normas, o dimensionamento em situação de incêndio envolve a verificação dos elementos estruturais e suas ligações no que se refere à estabilidade e à resistência aos esforços solicitantes em temperatura elevada, a fim de se evitar o colapso da estrutura durante tempos de resistência ao fogo, que variam de 1/2 a 2 horas, dependendo do tipo da edificação. Este tempo é o TRRF ou tempo requerido de resistência ao fogo, conforme estabelecido na NBR 14432. Mas ele nada tem a ver com o incêndio real ou com o tempo de evacuação de uma edificação. É um consenso de uma sociedade ou país, e por isso tem variações regionais.

Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF*), em minutos, segundo NBR 14432/2000					
Ocupação	Altura da edificação				
	h = 6m	6m<h=12m	12m<h=23m	23m<h=30m	h>30m
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60 (30)	60	90	120
Comercial	60 (30)	60 (30)	60	90	120
Escritório	30	60 (30)	60	90	120
Escola	30	30	60	90	120
Locais públicos	60 (30)	60	60	90	120
Estacionamento fechado	30	60 (30)	60	90	120
Estacionamento aberto	30	30	30	30	60
Hospital	30	60	60	90	120
Indústria com baixa carga de incêndio	30	30	60	90	120
Indústria com alta densidade de carga de incêndio	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
Loja com baixa densidade de carga de incêndio	30	30	30	30	60
Loja com alta densidade de carga de incêndio	60	60	90 (60)	120 (90)	120

(*) tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é definido como sendo o tempo mínimo de resistência de um elemento construtivo submetido ao incêndio-padrão.
(a) valores entre parênteses são válidos para edificações com área = 750m².
(b) a altura da edificação (h) é a distância compreendida entre o ponto que caracteriza a saída situada no nível de descarga do prédio e o piso do último pavimento, excetuando-se zeladorias, barrilete, casa de máquinas, piso técnico e piso sem a permanência humana.

Tabela 9 – Tempo requerido de resistência ao fogo. NBR 14432.

Fonte:Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em:<<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

Este é o método TABULAR. Outro método utilizado e aceito pela NBR 14432, é chamado de Tempo Equivalente e relaciona a máxima temperatura do aço em um incêndio real, com a mesma temperatura na curva padrão. A estrutura é dimensionada com base nesta temperatura máxima. O Corpo de Bombeiros de São Paulo adota uma série de Instruções Técnicas ou IT que admitem o uso do método de tempo equivalente. Tanto a NBR 14432 como as ITs do corpo de Bombeiros, apresentam isenções para verificação de resistência ao fogo em certas edificações¹.

¹ Fonte:PANNONI, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

Isenções segundo a NBR 14432				
Ocupação	Área (m ²)	Densidade de carga de incêndio(MJ/m ²)	Altura	Equipamentos de proteção de incêndio ^(a)
Qualquer	= 750	Qualquer	Qualquer	Mínimo
Qualquer	= 1500	= 1000	= 2 pavimentos	Mínimo
Estádios, aeroportos, estações ferroviárias	Qualquer	Qualquer	= 23m	Mínimo
Estacionamento aberto ^(b)	Qualquer	Qualquer	= 30m	Mínimo
Lojas ^(d)	Qualquer	Incombustível	= 30m	Mínimo
Qualquer	Qualquer	= 500	Térrea	Mínimo
Industrial ^(d)	Qualquer	= 1200	Térrea	Mínimo
Lojas ^(d)	Qualquer	= 2000	Térrea	Mínimo
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros ^(e)
Qualquer	= 5000	Qualquer	Térrea	Duas fachadas para acesso dos bombeiros ^(f)
<p>^(a) Mínimo por lei</p> <p>^(b) Estruturas de concreto ou aço mais com vigas compostas e fatores de forma mínimos de 250 m² para colunas e 350m² para vigas.</p> <p>^(c) Estruturas de concreto ou aço.</p> <p>^(d) Compartimentação em conformidade com outras normas Brasileiras.</p> <p>^(e) Em conformidade com outras normas Brasileiras.</p> <p>^(f) Perímetro das fachadas = 50% do perímetro da edificação</p>				

Tabela 10 – Isenções segundo a NBR 14432.

Fonte:Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em:<<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

Como é verificado nas tabelas 9 e 10, uma residência unifamiliar dificilmente atinge padrões que implicam em grande risco, a ponto de serem exigidos sistemas de proteção passiva e ativa ao fogo. O tempo requerido de resistência ao fogo é de 1/2 hora para os elementos de compartimentação, inclusive parede entre habitações. Entretanto, é válido conhecermos algumas soluções diante deste problema.

A proteção térmica dos elementos estruturais de aço (proteção passiva) é o meio mais comum de se proteger o aço contra o incêndio. Vários são os materiais utilizados com esta finalidade, tais como as argamassas projetadas, tintas intumescentes, mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica, gesso acartonado e outros. Seguem, alguns exemplos de proteção passiva de estruturas.



Fotografia 204- Fibra projetada, constituída basicamente por fibras obtidas a partir de rocha basáltica (ou escória de alto-forno) como principal ingrediente. Estas fibras são misturadas com escória de alto-forno (20 a 30% do peso seco total) para criar uma mistura de baixa densidade.

Fonte: Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.



Fotografia 205 - Argamassa projetada, constituída basicamente de gesso (aproximadamente 80% do peso seco), cimento Portland (em materiais de média e alta densidade), resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido, celulose e preservantes.

Fonte: Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

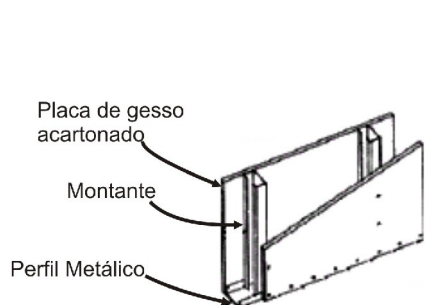


Figura 95- Placas de gesso acartonado, contendo fibra de vidro, e, em alguns casos, vermiculita incorporada. Assim como a argamassa "cimenticious", o gesso da placa perde moléculas de água de hidratação durante o aquecimento, mantendo baixa a temperatura do aço.

Fonte: Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

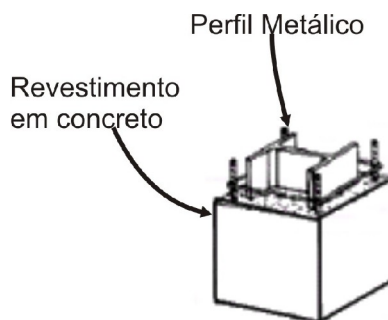
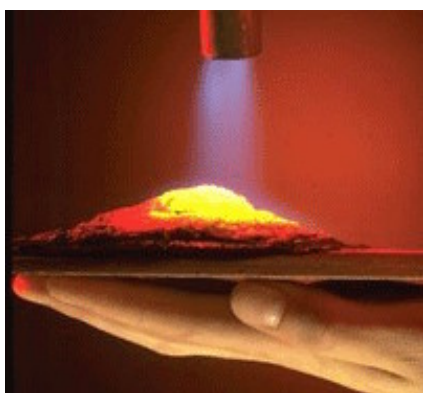


Figura 96- Enclausuramento do elemento metálico em concreto. Este solução proporciona proteção ao aço frente à corrosão e incêndio ao mesmo tempo.

Fonte: Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.



Fotografia 206- Tintas Intumescentes são tintas especiais que expandem a partir de 200°C, formando uma espuma rígida que isola eficientemente os gases quentes gerados no incêndio do aço. Antes da aplicação desta tinta especial, a superfície deverá ser preparada conforme recomendações do fabricante, e um primer compatível deverá ser aplicado. Como esta tinta não apresenta grande resistência química e física, ela deve ser recoberta por uma película acrílica ou poliuretânica, a critério do usuário.

Fonte: Pannoni, F. D., "Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo", disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

Existem tipos de ligas de aço mais resistentes ao fogo, propiciando um tempo maior de início da deformação da estrutura, conferindo maior segurança para a evacuação dos usuários.

Os aços resistentes ao fogo são basicamente resultantes da modificação de aços resistentes à corrosão atmosférica. Sofrem adições de elementos químicos como Níquel, Nióbio, Vanádio e Molibdênio. As adições são ajustadas sempre no limite mínimo possível, para garantir um valor elevado de resistência mecânica à tração, sem prejudicar sua soldabilidade e a resistência à corrosão atmosférica, intrínseco do aço de origem. Os aços disponíveis no mercado são o COS-AR-COR-FIRE 500 produzido pela COSIPA¹ e o USI-FIRE-400 e USI-FIRE-490 fabricado pela USIMINAS. Normalmente estes tipos de aço são utilizados em edificações de grande porte.

¹ Companhia Siderúrgica Paulista, empresa do sistema USIMINAS.

11 Conclusões e recomendações

Atualmente, no Brasil, a arquitetura de residências em aço ainda aparece de forma incipiente. Historicamente, devido às condições sócio-culturais, econômicas e tecnológicas, o uso do concreto e alvenaria ainda é predominante, se comparado ao uso do aço. Praticamente artesanais e marcadas pelo improvisado, as construções em concreto e alvenaria convencionais se diferem dos conceitos que caminham rumo à industrialização da construção, promovidos pelo uso do aço em edificações.

Hoje há um grande esforço e incentivo por parte de usinas siderúrgicas na divulgação de aços para construção civil. Muitas informações estão disponíveis na internet, em manuais, em livros e revistas. Para arquitetura, o uso do aço como material construtivo vem enriquecendo a forma de pensar e produzir uma edificação. É uma possibilidade a mais de material a ser utilizado.

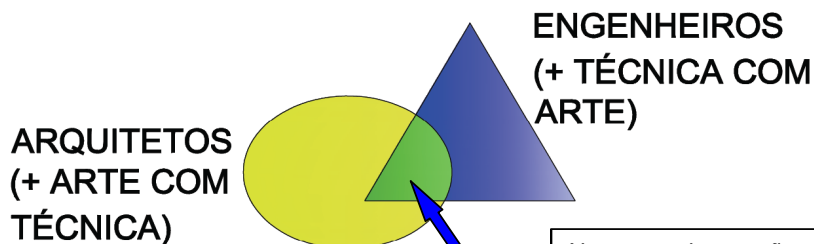
Por que, quando e como construir uma residência em aço?

Estas são perguntas que este trabalho procurou ajudar a responder. Existem vários motivos para o uso do aço em residências. Os motivos podem ser de ordem técnica, conceitual, estética, econômica ou logística.

Cada material e cada sistema construtivo possui características próprias. As propriedades físicas e estruturais são distintas em materiais diferenciados. As necessidades da obra, as características do material e do sistema construtivo, os objetivos e o valor estimado do empreendimento, devem ser avaliados e orientar a decisão do uso ou não de um determinado material.

O aço é um produto industrializado. Seu uso nas construções vem agregado a conceitos como:

- padronização;
- modulação;
- reprodução em larga escala de elementos repetitivos;
- planejamento e detalhamento;
- participação conjunta e integrada de equipe de projeto;
- procedimentos de montagem em obra e;
- sistemas construtivos industrializados.



Nesta interseção profissional encontram-se as melhores avaliações. Um arquiteto não pode ser alienado frente aos conhecimentos técnicos e tampouco um engenheiro insensível à arte. Quanto maior for esta fusão de formação profissional ou de trabalho em conjunto, melhor será o desenvolvimento qualitativo das edificações.

Figura 97 – Figura esquemática da interseção profissional entre arquitetos e engenheiros.

Fonte: Bianca Cito, 2008.

Quando um cliente solicita um projeto arquitetônico de uma residência, o primeiro impulso do arquiteto é captar os ideais do cliente e ver o local. Em relação ao uso do aço, vários aspectos devem ser considerados e ponderados para que se comece um processo criativo, tecnicamente embasado, de forma coerente e racional. O primeiro aspecto a ser considerado é localização e a tipologia do terreno.

- **Localização e a tipologia do terreno**

O terreno tem fácil acesso ou não (como condições das estradas, restrições ao trânsito, distâncias a serem percorridas)? Qual é a topografia? Tem energia disponível? Tem local para montar o canteiro de obra?

Em terrenos de difícil acesso, como por exemplo, em ilhas, mata muito densa, locais muito longe de centros urbanos ou muito acidentados, o uso de sistemas construtivos pré-fabricados facilita a execução da obra, pois grande parte dela estará reduzida apenas à montagem. Em casos assim, sistemas construtivos em aço (leves ou pesados) ou em madeira, podem ser uma boa solução, através de pré-fabricação.

Para o uso aço como sistema construtivo há necessidade de equipamentos especiais para o transporte vertical e montagem das peças.



Os perfis de aço para construção podem ser leves ou pesados:

- Os perfis pesados podem ser laminados, soldados ou dobrados
- Os perfis leves são produzidos a partir de chapas finas, dobradas a frio.

A utilização destes perfis determina sistemas construtivos diferenciados.

Fotografia 207 – Caminhão saindo de uma fábrica de estrutura metálica para ir para o local da obra.

As peças, em perfis pesados, saem devidamente marcadas e numeradas de acordo com suas posições no projeto.

Fonte: Módulo 9 do curso "Introdução ao uso do aço na construção", 2007.

As peças em aço, ao chegarem no local da obra, devem ser descarregadas, separadas e organizadas para sua montagem. Tanto para a descarga do material quanto para a montagem, equipamentos como guindastes ou gruas devem ser utilizados. O porte da obra e o sistema construtivo, em aços leves ou pesados, definirão o tipo de equipamento necessário.

A montagem pode ser parafusada ou soldada. Caso não haja disponibilidade de energia no local, a soldagem das peças pode ser feita com uso de geradores alimentando as máquinas de solda.

Ligações Soldadas	X	Parafusadas
<ul style="list-style-type: none"> • Mais rígidas • Podem ser feitas em fábrica ou em canteiro de obra, embora mais difíceis de serem executadas na obra • Mais barata • Ideal serem soldadas em fábrica, pois é melhor o controle da qualidade • Mais indicada para peças de geometria complicada 		<ul style="list-style-type: none"> • Menos rígidas • Mais fáceis de serem executadas no canteiro de obra • Mais cara • Cuidados com o tipo de parafusos • Podem vir a dispensar o uso de energia elétrica para a montagem

O espaço de canteiro para uma obra construída com um sistema pré-fabricado é reduzido, pois, dependendo da logística da obra, as peças ao chegarem, em curto período, já são montadas. Não é necessário local amplo para armazenagem de areia, brita, madeira para fôrmas, etc.

O tipo de solo do terreno também é um fator importante na decisão da utilização de um sistema construtivo. Em solos muito ruins, uma estrutura muito pesada pode acarretar prazos e gastos altos em fundações e se tornar inviável. Sistemas construtivos em aço são mais leves, se comparados aos de concreto. Isto significa alívio de cargas nas fundações e, conseqüentemente, menos gastos e menor tempo de execução.

Caso seja decidida a utilização do aço em algum sistema construtivo, a localização do terreno, sua topografia e o porte da obra influenciarão na escolha do tipo de aço e seu tratamento de superfície. Cuidados com a corrosão no aço influenciarão na durabilidade, vida útil e custos de manutenção do imóvel. A especificação dos sistemas de tratamento do aço está diretamente relacionada com a localização do empreendimento.

Não havendo empecilhos determinantes pelos aspectos da localização e tipologia do terreno, a opção pelo uso do aço, como sistema construtivo, fica à mercê de questões conceituais, estéticas, técnicas, econômicas ou de prazos de execução.

Outro aspecto importante a ser considerado e ponderado, quanto ao uso do aço, é a técnica construtiva.

- **Técnica**

Como será a execução desta residência? Qual o tipo de estrutura mais adequada para concretizar uma imagem, pré-concebida ou não, da residência de uma família? Ou a imagem será concebida a partir de técnica construtiva determinada?

As necessidades específicas de cada obra ou projeto muitas vezes direcionam o tipo de estrutura mais adequada ou, até mesmo, o uso misto de sistemas construtivos. Por exemplo, se o concreto trabalha melhor na compressão, por que não utilizá-lo nos pilares? E o aço, que possui características de melhor resistência à tração, ser usado nas vigas? Por que não usar perfis aço pesados e leve num mesmo empreendimento?

O ideal é que a escolha deste sistema seja feita antes da concepção do projeto. Cada sistema construtivo tem peculiaridades. Características de comportamento dos materiais perante os esforços solicitados mudam. Por exemplo, de maneira simbólica, para um vão de 3 m com uma viga de concreto, teríamos 30 cm de altura de viga. Com estes mesmos 30 cm, com uma viga de aço, poderíamos vencer um vão de 6 m.

Isto significa que, se o objetivo for usar a racionalidade num projeto, deve-se pensar, cada sistema construtivo de forma espacial e estrutural coerente. Este tipo de racionalidade se torna ainda mais relevante quando se trata de projetos de grande porte. A otimização da relação entre projeto de arquitetura e sistema estrutural favorece a qualidade do espaço e de suas funções, com diminuição de custos e melhor desempenho global da obra.

No Brasil, há anos que o sistema construtivo em concreto armado e alvenaria convencional reina soberana.

Atualmente há uma forte tendência e disponibilidade para divisão desta soberania.

O conhecimento técnico é determinante para difusão de outros sistemas construtivos.

A decisão do uso do aço, ou da madeira, ou do concreto, etc., só deve ser tomada após uma avaliação técnica. O que se observa, é que grande parte de profissionais, por puro desconhecimento, aborta uma idéia logo no início.

Em construção de residências unifamiliares isoladas e únicas, com no máximo três pavimentos, de padrão médio e alto, a racionalização da construção deve também estar presente. Entretanto, por serem produtos únicos, personalizados, questões estéticas podem prevalecer sobre a racionalização. Isto pode acarretar um custo mais elevado, mas, se o proprietário estiver informado e disposto a pagar, a opção é justificável. Mas no caso de residências seriadas, como produtos de repetição, em condomínios, por exemplo, a racionalização deve prevalecer sobre qualquer tipo de audácia estética, pois os custos acumulados podem gerar a inviabilidade do empreendimento. Em qualquer sistema construtivo estas situações são pertinentes.

Algumas características altamente positivas dos sistemas construtivos em aço devem ser consideradas, tais como:

- diminuição de peso da estrutura, aliviando as cargas em fundações;
- por serem sistemas que envolvem a pré-fabricação, as fundações podem estar sendo executadas ao mesmo tempo em que vigas e pilares estão sendo fabricados. Com isto há uma diminuição no cronograma da obra;
- por serem estruturas que são apenas montadas na obra, os sistemas de vedação podem andar paralelamente à sua montagem. Não é necessário esperar um tempo para desenforma de pilares e vigas. Entretanto, o planejamento do tipo de vedações deve ser previamente estudado e contabilizado, pois, existe uma gama muito grande de possibilidades de vedações e preço diferenciados, englobando, desde produtos corriqueiros a

componentes pré-fabricados “novos” no mercado da construção. A união entre os componentes de vedação e a estrutura é um dos pontos onde o detalhamento de projeto e a boa execução em obra se torna fundamental para evitar patologias na edificação;

- o sistema construtivo em aço, se comparado com o sistema construtivo convencional em concreto, passa por um processo de montagem que é mais rápido, mais limpo e menos barulhento. Isto é mais correto ambientalmente para o entorno da obra e seus trabalhadores;
- rumo à industrialização da construção, o aço permite, até mesmo, algo próximo à “linha de montagem”, propiciando diminuição substancial de desperdícios, precisão milimétrica de produção, controle da qualidade e produtividade. Para que isto tudo ocorra, porém, torna-se imprescindível o cuidadoso planejamento do empreendimento, o detalhamento adequado do projeto (com a participação conjunta e integrada dos profissionais das diferentes especialidades envolvidas) e uma boa execução;
- o uso de água na obra é minimizado. Esta é uma característica que atende alguns dos anseios atuais da humanidade. Entretanto, tem-se que colocar na balança que, para a fabricação do aço, há um grande consumo de energia;
- o aço é um material reciclável. Pode retornar às usinas siderúrgicas, como sucata, para ser reprocessado e reutilizado.

Ao se ter questões técnicas avalizadas, outro aspecto importante a ser considerado e ponderado, quanto ao uso do aço, é a questão estética.

- **Estética**

Como o aço deve se apresentar frente à arquitetura de uma residência? Por que usá-lo?

O aço, na arquitetura, tanto pode ser o determinante do partido arquitetônico quanto uma solução técnica de alguma concepção arquitetônica ou, simultaneamente, as duas coisas. Como estrutura, pode delinear ou ser delineado pela arquitetura e ser submetido a variados sistemas estruturais. A concepção formal de uma obra está intrinsecamente ligada à sua concepção estrutural. A concepção estrutural pode estar presente e exposta na obra arquitetônica ou omitida por ela.

Na arquitetura contemporânea, em diversas obras, o aço vem sendo utilizado como linguagem arquitetônica, expressando tecnologia e modernidade.

Na arquitetura residencial, os referenciais formais são assimilados gradativamente. O imaginário da maioria das pessoas está direcionado para arquitetura contemporânea convencional, entretanto, a linguagem moderna do aço na arquitetura vem ganhando seu espaço.



Fotografia 208 -Exemplo residência com uma arquitetura contemporânea convencional.

Esta residência, de aspecto “neoclássico” foi executada pela construtora Seqüência, no Estado de São Paulo, com o sistema construtivo *light steell frame*.

Fonte: <http://www.construtorasequencia.com.br>. Acesso em dezembro/ 2007.



Fotografia 209 - Exemplo residência com uma arquitetura contemporânea moderna. Local: Rio de Janeiro, RJ.

X Esta residência, de aspecto “moderno” foi executada com o sistema construtivo em aço pesado.

Projeto Luiz Eduardo Índio da Costa e Cláudia Amorim.

Fonte: Arquitetura e Aço, p.11, julho 2006.

Vale ressaltar que o aço traz para a arquitetura a possibilidade de vencer grandes vãos com “leveza”. Isto se dá pela característica do material funcionar muito bem aos esforços de tração.

Outra característica do material é que, quando aparente, requer algum sistema de proteção frente à corrosão. Isto demanda, uma correta escolha do tipo de aço e/ou a prescrição de sistemas de pintura ou galvanização.

Para a decisão uso do aço em residências, assim como em qualquer edificação, além dos aspectos já apresentados, o custo da obra tem um peso enorme.

• Custo

São raros os clientes para os quais o valor de uma obra não é uma preocupação. Vivemos em um sistema capitalista e mesmo os mais ricos gostam ter sob controle a relação custo x benefício.

Em muitos casos, a simples afirmação de que a estrutura em aço ficaria mais cara encerra uma análise. Em outras situações, a opção por sistemas ditos convencionais é feita pelo desconhecimento de outros sistemas, e não garante que a decisão seja a mais correta.

A escolha do sistema construtivo não deve ser uma competição entre os tipos de estrutura, mas uma decisão com base nas necessidades da obra e nas características de cada sistema¹.

Não dá para simplesmente comparar o preço de uma estrutura em concreto e o preço de uma estrutura em aço, sem ter uma visão global dos sistemas construtivos e avaliar todos os aspectos de composição de custo de edificação. Este tipo de comparação é um grande equívoco perante soluções construtivas frente aos problemas apresentados. Existem casos em que o desempenho de uma obra será muito superior, de acordo com a tecnologia construtiva adotada.

¹ PINHO, F. O., Quando construir em aço. Técnica, Pini, São Paulo, n° 134, p. 64-8, 2008.

Se simplesmente for feito este tipo de comparação, o uso do aço ficará sempre em desvantagem, pois seu custo em estruturas é sabidamente, em torno de 20% a 50% mais caro que o de concreto. Entretanto, ao longo da obra esta diferença se dilui. Se for considerada a economia no dimensionamento de fundações, o menor desperdício de materiais (devido à reciclabilidade do material e a precisão construtiva), o menor gasto com despesas indiretas com mão-de-obra (encargos sociais), o adiantamento do prazo de entrega, etc., o custo da obra, dependendo do caso, será mais barato.

O uso do aço como sistema construtivo demanda um desembolso financeiro inicial mais alto e rápido. Os fabricantes de estruturas metálicas entregam a mercadoria e querem receber. Portanto, o proprietário deve estar precavido.

Aqui no Brasil a mão-de-obra ainda é muito barata para fazer o sistema construtivo convencional em concreto e alvenaria. Na maioria das vezes, os trabalhadores são empregados de maneira informal, por diária, tendo desprezados seus direitos trabalhistas. Isto realmente influencia num custo menor de uma edificação convencional.

Num sistema construtivo em aço, pressupõe-se uma mão-de-obra mais especializada e qualificada. Por serem sistemas pré-fabricados, com tolerâncias dimensionais mínimas, há a necessidade de um maior acompanhamento e comprometimento dos profissionais nos processos de fabricação e de montagem. Na fase de projeto, este deve contemplar um nível de detalhamento que preveja todas as interferências e ligações com os outros componentes e sub-sistemas do sistema construtivo.

Por fim, caso haja a intenção de executar uma residência em estrutura metálica, seja por qual motivo for (técnico, estético, econômico, etc.) o que importa é que esta seja bem feita. Para isto, o imprescindível é o conhecimento técnico. Com conhecimento, tem-se discernimento nas escolhas e liberdade de criação, com coerência.

Referências bibliográficas

ABAATE, V. Do bloco ao painel. **Téchne**, Pini, São Paulo, nº 69, p. 35-39, 2002.

ACESITA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.acesita.com.br>> Acesso em fevereiro/2007.

AÇO INOXIDÁVEL. Disponível em <http://www.constructalia.com.br> . Acesso em fevereiro/2009.

AD- Architectural Digest. Edição Italiana, p.423 , nov., 2006.

ARQUITETURA E AÇO. São Paulo, jul. 2006.

ANANDA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.anandatelha.com.br> > Acesso em novembro/2006.

ARAGÃO, M. **Ligações em estruturas metálicas**. IME- Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br> > Acesso em junho/ 2008.

ARAGÃO, M. **Ligações flexíveis e rígidas nos apoios**. IME- Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br> > Acesso em junho/ 2008.

ARAGÃO, M. **Ligações parafusadas**. IME- Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br> > Acesso em junho/ 2008.

ARCHITECTURE. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.architecture.uark.edu> > Acesso em janeiro/ 2008.

ARCHITECTURELIST. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.architecturelist.com> > Acesso em janeiro/ 2008.

ARTINOX. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.artinox.com.br> > Acesso em novembro/2006.

ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO. São Paulo: Ed. Abril.

Nov. 2002.

Set. 2003.

Set. 2006.

Mar. 2007.

Jul. 2003.

ARTSTEC. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.artstec.com.br> > Acesso em maio/ 2008.

BIANCHI, G. M., **Estruturas de membrana tensionadas.** Disponível em
<http://www.metálica.com.br>. Acesso em maio /2007.

BRANT, A., **Arquitetos do Brasil.** Rio de Janeiro: Salamandra, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA – ABCEM. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.abcem.org.br>> Acesso semanal.

AZEVEDO, C. A. C. ; WORMSBECKER , L. E. **Curso de estruturas metálicas** disponível em <<http://www.ufpr/petcivil.com.br>>. Acesso em novembro/2006.

BERTO, A. F. Proteção contra incêndio de estruturas de aço. In INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tecnologia das edificações.** São Paulo: PINI, 1988. p.407-12.

BERTO, A. F. Aulas ministradas na disciplina de instalações prediais. Mestrado Profissional em Habitação, IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. São Paulo, nov. 2006.

BERNARDES + JACOBSEN. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.bjaweb.com.br> > Acesso em janeiro/2008.

BETINELLI, E. A. ; PRAVIA, Z. M. C. **Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas.** Disponível em: <<http://www.metálica.com.br> > Acesso em fevereiro/2007.

BRICKA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.bricka.com.br>> Acesso em junho/2007.

BRITO, A. C.; CAMPOS, P. E. F. Fachadas prontas. **Téchne**, Pini, São Paulo, nº 119 p. 44 -47, 2007.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - **Edificações habitacionais convencionais estruturadas em aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento**,2002. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>>. Acesso em novembro/ 2006.

CAMPARI, G. P. **Nosso Brasil. A utopia dos arranha-céus sustentáveis**. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br>>. Acesso em maio/2006.

CASTRO, A. A. **Arquitetura em aço: parâmetros para o projeto arquitetônico com a utilização da estrutura em aço**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>> Acesso semanal.

CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço- MANUAIS

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. Rio de Janeiro, 2005.

PINHO, M.O. **Transporte e montagem**. Rio de Janeiro, 2005.

GNECCO, C.et al. **Tratamento de superfície e pintura**. São Paulo, 2003.

VARGAS, M.R., SILVA, V.P. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G.; **Painéis de vedação**. Rio de Janeiro, 2003.

Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro, 2003.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: < <http://www.cimm.com.br>> Acesso em maio/ 2008.

CHRISTUS. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.christus.com.br>> Acesso em novembro/2007.

CERVER, F. A. **Houses of the world**. São Paulo: Studio Nobel: Fundação Vilanova Artigas, 1995.

CISER. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em <<http://ciser.com.br>> Acesso em janeiro/ 2009.

CLICK REFORMA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.clickreforma.com.br> > Acesso em julho/ 2008.

CONSTRUÇÃO METÁLICA. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Metálica, (Bimestral). Nº 73 – 2006.

CONSTRUTORA SEQUENCIA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.construturasequencia.com.br>> Acesso em dezembro/2007.

COELHO, C. M. C. S. Sinergias em prol da construção em aço. **Construção Metálica**, ABCEM, São Paulo, ed. 73, p.6-7,2006.

COELHO, R. A. **Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares** - Coletânea do Uso do Aço-São Paulo: Gerdau Açominas – 2ª Ed. 2002.

COELHO, R. A. Aula em vídeo disponível em Curso “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, 2007. Módulo 4. Oferecido pelo CBCA- Centro Brasileiro da Construção.

CORBIOLI, N. **Projeto design**, Arco, São Paulo, nº 314, 2006. Disponível em
<<http://www.arcoweb.com.br>>. Acesso em março/2007.

CORONA & LEMOS. **Dicionário da Arquitetura Brasileira**, São Paulo: Edart- São Paulo Livraria Editora Ltda.

CORTE-REAL,L. ;ALMEIDA, E. Certificação de esquemas de Pintura anti-corrosivos. **Corrosão**, vol.24, nº 3, p.74-76,2005.

COSIPA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.cosipa.com.br>> Acesso em novembro/2006.

COZZA, E. Uma nova era para o aço. **Téchne**, Pini, São Paulo, nº 36, p.18-23, 1998.

CRUZ, M. **O aço e os sistemas de cobertura**, 2007. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>> Acesso em novembro/2007.

CSN. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.csn.com.br>> Acesso em novembro/2006.

COSRA, E. M. **Propriedade mecânica dos metais**, apresentação em power point. Disponível em www.em.pucrs/~eleani/Protegidos/4-%20propriedades%20mecânicas.ppt. em janeiro/2008.

CSSBI – Canadian Sheet Steel Building Institute. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.cssbi.ca>> Acesso em abril/2007.

CURSO “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, Módulos 1 ao 10. Tutor: Arquiteto Sidnei Palatnik. Oferecido pelo CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2007.

DARKROASTEDBLEND. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.darkroastedblend.com>> Acesso em janeiro/ 2008.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DOS MATERIAIS E METALURGIA- Pontifícia Universidade Católica- Rio de Janeiro. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em <<http://www.dcomm.puc-rio.com.br>>. Acesso em julho/ 2008.

DIAS, L. A. M. **Edificações de Aço no Brasil**. São Paulo, Ed. Zigurate, 1999.

DIAS, L. A. M. Aula em vídeo disponível em Curso “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, 2007. Módulo 5. Oferecido pelo CBCA- Centro Brasileiro da Construção.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de Aço – Conceitos, Técnicas e Linguagem**. São Paulo, Ed. Zigurate, 2002.

DISCOVERY BRASIL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.discoverybrasil.com>> Acesso em novembro/2007.

ECOTEL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <[http:// www.ecotel-telecom.com.br](http://www.ecotel-telecom.com.br)> Acesso em dezembro/2006.

EDUAÇÃO. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.eduaco.com.br>> Acesso em janeiro/2007.

EUROTELHAS. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.euotelhas.com.br>> Acesso em janeiro/2007.

Exercícios resolvidos de Eletroquímica. Disponível em: <[http:// www.qmc.ufsc.br](http://www.qmc.ufsc.br)>. Acesso em julho/2008.

FARAH, F. **Avaliação e orientação do trabalho** de qualificação do curso do mestrado profissional em habitação do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Fevereiro/ 2008.

FERRAZ, H. **Revista Eletrônica de Ciências** - Número 22 - Outubro / Novembro / Dezembro de 2003. Disponível em: <[http:// www.cdcc.sc.usp.br](http://www.cdcc.sc.usp.br)> Acesso em agosto/2006.

FERREIRA, O. L. **O uso adequado do aço e sua contribuição na racionalização da construção**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

FIGUEIREDO, A. **Aço para concreto armado e protendido**.2007. Aula ministrada no curso de mestrado profissional em Habitação do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, na disciplina de Concreto.

FREIRE, C. **Coberturas e Fechamentos**. Disponível em: <[http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br)> Acesso em junho/2007.

FREIRE, C. **Proteção contra corrosão**. Disponível em: <[http:// www.metálica.com.br](http://www.metálica.com.br)> Acesso em junho/2006.

FORUM DA CONSTRUÇÃO. **Tipos de aço e perfis para construção metálica.** Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br>> Acesso em setembro/2007.

GRAEFF, E. A. **Arte e técnica na formação do arquiteto.** São Paulo: Studio Nobel: Fundação Vilanova Artigas, 1995.

GERDAU. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>> Acesso em novembro/2006.

GNECCO, C.et al. **Manual da Construção em Aço - Tratamento de superfície e pintura.** São Paulo: CBCA, 2003.

GNECCO, C. **A pintura do aço patinável,** 2000. Disponível em <http://www.chuman.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

GOMES, D.M. **O aço na visão dos arquitetos,** Construção metálica, ed. 70,2005. Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>. Acesso em julho/ 2008.

INFOMET. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.infomet.com.br>> Acesso em maio/ 2008.

INFOSOLDA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br>> Acesso em maio/ 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.ibs.org.br>>. Acesso em junho/2006.

ISOESTE. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.isoeste.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

INTELLI. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.intelli.com.br/pesquisa>> Acesso em dezembro/2006.

INABA, R. **Construções metálicas arquitetura em aço.** Disponível em: <<http://www.metálica.com.br>> Acesso em novembro/2007.

JODIDIO, P. **Contemporary American Architects vol.II.** Alemanha: Taschen, 1996.

JORSIL. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.jorsil.com.br> > Acesso em dezembro/2007.

JURESA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.juresa.com.br>> Acesso em novembro/2006.

INFOMET. **Evolução dos processos siderúrgicos – Alto Forno.** Disponível em: <<http://www.infomet.com.br>> Acesso em novembro/2007.

LEAL, U. Estruturas metálicas - difícil interface com a alvenaria. **Téchne**, Pini, São Paulo, n° 73, p. 52-54, 2003.

LIMA, J. F. **Curso de Tecnologia da Arquitetura**, 2006. Disponível em <http://www.usp.br/fau>. Acesso em julho/2006.

LOTURCO, B., **Descargas sob controle**, Téchne, Pini, São Paulo, n° 134, maio/2008. Disponível em <http://www.techne.com.br>. Acesso em maio/2008.

MATTHEWLANGLEY. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://www.matthewlangle.com> > Acesso em janeiro/ 2008.

MANGELS. Catálogo de aço galvanizado. 2007.

MEI, P. R. ; SILVA, A. L. C. **Aços e ligas especiais**. Sumaré, SP: Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.

METAFER. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.metafer.com.br> > Acesso em maio/ 2008.

METÁLICA. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.metlica.com.br> > Acesso semanal.

MODENESE, P.J., MARQUES, P. V., **Introdução aos processos de soldagem**.
Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Disponível em
<http://www.infosolda.eb.br>. Acesso em junho/2008.

MSIMÕES. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.msimo.es.com.br/>> Acesso em novembro/2006.

NSTEEL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.nsteel.com> >
Acesso em abril/2007.

OTUA- Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier. **Pesquisa geral na homepage**.
Disponível em: <<http://www.otua.org> > Acesso em janeiro/ 2008.

PANNONI, F. D. **Aços Estruturais**. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>
Acesso em abril/2006.

PANNONI, F. D. **Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio** – Coletânea do Uso do Aço Volume 2 – São Paulo: Gerdaul Açominas – 1ª Ed. 2002.

PANNONI, F. D. **Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. Disponível em: <<http://www.axionconstrucoes.com.br>> Acesso em dezembro/2006.

PANOSSIAN, Z. **Emprego do aço na construção habitacional -detalhes construtivos**. 2006. Aula ministrada no curso de mestrado profissional em Habitação do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, na disciplina de Sistemas Construtivos.

PARADA, S. **Aço na arquitetura de edifícios: Estudos de caso**. 2000. 293f Dissertação (Mestrado Profissional) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.. – Habitação: Tecnologia e Construção de Edifícios, São Paulo, 2000.

PALATINIK, S. Comentários e explicações no Curso “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, 2007. CBCA-Centro Brasileiro da Construção.

PAINEL WALL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.painelwall.com.br>> Acesso em novembro/2006.

PARA-RAIOS e aterramento na prática I. Disponível em < <http://www.underlinux.org>. > Acesso em janeiro/2009.

PAULINO, J.O.S., **Proteção de cercas contra descargas atmosféricas**. Cia Siderúrgica Belgo Mineira, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG,1994. Disponível <http://www.eletrica.ufsj.edu.br>. Acesso em maio/2008.

PAVI DO BRASIL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.pavidobrasil.com.br> > Acesso em março/2007.

PERFILOR. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.perfilor.com.br>> Acesso em novembro/2006.

PESSOA, A. Comentários no Curso “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, 2007. CBCA-Centro Brasileiro da Construção.

PLACE AU DESIGN. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://placeaudeSIGN.com.br> > Acesso em dezembro/2006.

PINHO, F. O. Quando construir em aço. **Téchne**, Pini, São Paulo, n° 134, p. 64-8, 2008.

PIRES, L. P. **Aço: Subsídios para seu conhecimento e aplicação na Arquitetura**. 1998. 168f Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PORTALDRYWALL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.portaldrywall.com.br> > Acesso em maio/ 2008.

PORTAL OSB. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.portalosb.com.br>> Acesso em novembro/2006.

PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E.A., **Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas**. Disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em fevereiro /2007.

PRECAST DO BRASIL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.precast.com.br> > Acesso em março/2007.

PRECON. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.precon.com.br>> Acesso em novembro/2006.

PREMAC. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.premac.com.br>> Acesso em novembro/2006.

PROJETANDO NO MUNDO. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.projetandonomundo.blospot.com>> Acesso em janeiro/ 2008.

PROJETO DESIGN. São Paulo: Arco.
nº 257 ,2001.
nº 285, 2004.
nº 310,2005.
nº 322, 2006.

RAMUS, A. bate-papo realizado pelo IPT. Disponível em: <<http://www.ipt.br>>
Acesso em maio/2006.

REBELLO, Y.C.P. Aula em vídeo disponível em Curso “**Introdução ao uso do Aço na construção**”, 2007. Módulo 3. Oferecido pelo CBCA- Centro Brasileiro da Construção.

REBELLO, Y.C.P. **Avaliação do trabalho** de qualificação do curso do mestrado profissional em habitação do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Fevereiro/ 2008.

REVISTASIM. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.revistasim.com.br>> Acesso em julho/2007.

ROYAL ARCHITECTURAL INSTITUTE OF CANADÁ. **Pesquisa geral na homepage:**
< <http://www.raic.org>>. Acesso em setembro/2007.

ROXANN EARDARY. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.roxanneardary.com> > Acesso em janeiro/ 2008.

SEGRE, R. **Casas brasileiras**. São Paulo: Studio Nobel: Fundação Vilanova Artigas, 1995.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: < <http://www.sbrt.ibict.com.br> > Acesso em novembro/2007.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G.; **Painéis de vedação**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003.

SILVA, G.G. **Arquitetura do ferro no Brasil**. São Paulo: Ed. Nobel, 1986.

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, PCC-2466 - Sistemas Prediais II, disponível em <<http://www.pea.usp.br/ext/pea2402/spda.pdf>>. Acesso em janeiro/2009.

SOUZA, A. M. S. F. ; KRUGER, P. G. Desempenho de painéis de vedação. **Téchne**, Pini, São Paulo, n° 56, p. 78-81, 2001.

STEELFRAMEHOUSING. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.steelframehousing.org> > Acesso em março/2008.

STEEL- SCI. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em: <<http://www.steel-sci.org/lightsteel> > Acesso em novembro/2006.

THOMAZ, E. **Avaliação do trabalho** de qualificação do curso do mestrado profissional em habitação do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Fevereiro/ 2008.

TRIMETAL. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.trimetal.com.tr> > Acesso em junho/ 2008.

TSCHOEPE. **Pesquisa geral na homepage**. Disponível em:
<<http://www.tschoepe.de> > Acesso em janeiro/ 2009.

UFPR. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.cesec.ufpr.br/etools/oe3/objeto.php?id=12>> Acesso em dezembro/2006.

USEFULANDGREEABLE. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.usefulandgreeable.com> > Acesso em maio/ 2008.

USEPLAC. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.useplac.com.br/>> Acesso em julho/2007.

USIMINAS MECÂNICA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.usiminasmecanica.com.br> > Acesso em novembro/2006.

UNISINOS. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em: <<http://inf.unisinos.br/~karla/resistencia/flamba/index.htm26>> Acesso em novembro/2006.

VERNA, C. ; SANTINI, A. **Alma e coração de aço.** Arquitetura e Construção, nov. 2002.

YAHOO RESPOSTAS. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.br.answers.yahoo.com> > Acesso em julho/ 2008.

WIKIPEDIA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.wikipedia.com.br> > Acesso em julho/ 2008.

ZAMPROGNA. **Pesquisa geral na homepage.** Disponível em:
<<http://www.zamprogna.com.br> > Acesso em maio/ 2008.

ZANETTINI, S. **A arquitetura de Zanettini.** Disponível em:<<http://www.cbca.com.br> > Acesso em janeiro/2009.

Anexos

Anexo 1- Tabela dos aços com as especificações gerais para os aços estruturais do grupo A, conforme o sistema ASTM.

Designação ASTM	Denominação da especificação
A 36/A 36M	Aço estrutural
A 131/A 131 M	Aço estrutural para navios
A 242/A 242 M	Aço estrutural de alta resistência e baixa liga
A 283/A 283 M	Chapas, formas e barras de aço carbono de baixa e média resistência
A 284/A 284 M	Chapas de aço carbono – silício de baixa e média resistência para partes de máquinas e construção em geral
A 307	Parafusos e pinos de aço carbono
A 325	Parafusos estruturais com tratamento térmico
A 328/ A 328	Chapas – perfis interconectáveis
A 441/A 443 M	Aço manganês vanádio de alta resistência e baixa liga
A 449	Parafusos de cabeça sextavada e pinos de aço tratado termicamente
A 500	Tubos estruturais de aço carbono conformados a frio
A 501	Tubos estruturais de aço carbono conformados a quente
A 514/A 514 M	Chapas de aço liga de alta tensão de alta resistência, temperado e revenido, adequado para soldagem
A 529/A 529 M	Aço estrutural com escoamento mínimo de 42 000 psi (290 MP a) (espessura máxima 12.7 mm)
A 572/A 572 M	Aço Nióbio – Vanádio de alta resistência e baixa liga com qualidade estrutural
A 573/A 573 M	Chapas de aço carbono estrutural de tenacidade melhorada
A 588/A 588 M	Aços de alta resistência e baixa liga com escoamento mínimo de 50 ksi (345 MP a) (até 4" de espessura)
A 606	Chapas e tiras de aço de alta resistência e baixa liga, laminados a frio ou a quente com resistência à corrosão atmosférica melhorada
A 615/A 615 M	Barras de aço lisas e ranhuradas para reforço de concreto
A 616	Barras de aço para trilha, lisas e ranhuradas para reforço de concreto
A 617	Barras de aço para eixo, lisas e ranhuradas para reforço de concreto.
A 618	Tubos estruturais de aço de alta resistência e baixa liga conformados a quente
A 633/A 633 M	Aço estrutural de alta resistência e baixa liga normalizado
A 656/A 656 M	Chapa de aço de alta resistência e baixa liga, laminada a quente com deformabilidade melhorada
A 678/A 678 M	Chapas de aço carbono temperadas e revenidas para aplicações estruturais
A 690/A 690 M	Chapas – perfis interconectáveis e perfis H de aço de alta resistência e baixa liga para uso em ambientes marítimos
A 699	Placas, formas estruturais e barras de aço manganês molibdênio-nióbio de baixo carbono
A 709	Aço estrutural para pontes
A710/A710 M	Aço envelhecível Ni-Cu-Cr-Mo-Nb, Ni-Cu-Nb e Ni-Cu-Mn-Mo-Nb de baixo carbono
A 769	Formas de aço soldadas por resistência elétrica
A 786/A 786 M	Chapas laminadas de aço para piso
A 808/A 808 M	Aço carbono, manganês, nióbio, vanádio de alta resistência e baixa liga de qualidade estrutural, com tenacidade ao entalhe melhorada
A 827	Chapas, aço carbono, para forjamento e aplicações similares
A 829	Chapas, aço liga, qualidade estrutural
A 830	Chapa aço carbono, qualidade estrutural
A 847	Tubos estruturais de aço de alta resistência e baixa liga conformados a frio
A 852	Aço estrutural de alta resistência temperado e revenido para construções soldadas ou parafusadas de pontes e edifícios com resistência à corrosão melhorada
A 992/A 992M	Formas estruturais para edificações, pontes e outros usos
A1011/A1011M	Chapas e tiras laminadas a quente, de aço carbono estrutural, aço de alta resistência e baixa liga com ductilidade melhorada

Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica disponível em <http://www.cimm.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

Anexo 2- Tabela de equivalências entre especificações para alguns aços em sistemas diferentes.

Tabela de equivalência de Normas				
ASTM (American Standards of Testing and Materials)	EM (União Européia)	JIS (Japão)	NBR (Brasil)	MERCOSUL
A36	EN 10025	JIS-G 3101	NBR 6648 6650/7007	NM-00131
A572 gr 50	EN 10025	JIS-G 3101	NBR 5000 5004/7007	NM-00101 NM-00102
A709 gr 36	EN 10155	JIS-G 3114	NBR 5008/ 5921	NM-00103
A709 gr 50	JIS-G 3114	NBR 5008/ 5921	NM-00103
A709 gr 70	JIS-G 3114	
A558/A606	EN 10155	JIS-G 3114	NBR 5008 5920/5921/7007	NM-00103

Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica disponível em <http://www.cimm.com.br>. Acesso em maio/ 2008.

Anexo 3- Síntese comparativa das propriedades das mantas mais utilizadas para tensoestruturas.

Propriedade		Manta	
		Poliéster revestido de PVC	Fibra de vidro revestida de PTFE
Propriedades estruturais	Resistência à tensionamento	Média	Alta
	Módulo de tração	Média	Alta
	Resistência ao estiramento	Média	Alta
	Direcionalidade	Normalmente mais flexível na direção warp que na direção weft, mas há mantas disponíveis com propriedades idênticas em ambas as direções.	Como o poliéster revestido de PVC
	Esticamento na construção	Média	Baixa
	Estabilidade de dimensão	Média	Alta
Propriedades não estruturais	Durabilidade	O tempo de vida normalmente de 10 a 12 anos, dependendo da opacidade do revestimento. A vida da obra poderia ser de somente 3 a 5 anos com revestimentos opacos. Um acabamento branco reduziria a <u>temperatura</u> superficial e melhoraria a durabilidade	25 anos ou mais
	Translucidez	8% a 30 %	5% a 15%
	Aparência	Todas as cores estão disponíveis. Podem ser opacas ou translúcidas. As superfícies com retenção de sujeira aparecem e a deterioração física também de acordo com o tempo de vida.	A cor branca e algumas outras estão disponíveis. A sujeira não é retida e a superfície fica praticamente limpa. Não há descoloração
Facilidade de instalação	Flexibilidade	Alta, tornando fácil a fabricação, o transporte e a instalação.	Baixa, criando riscos de danos durante a fabricação, o transporte e a instalação. É vital ter cuidado nos cortes e na instalação.
	Encaixe / junções	Facilmente feitas.	Necessidade de técnicas específicas.
Comentários gerais		E a mais popular manta revestida, e há muitos instaladores experientes. Barato o suficiente para ser substituído a cada dez anos mantendo a aparência original.	Utilizada para coberturas onde a vida útil e/ou a baixa manutenção são mais importantes que o baixo custo ou a facilidade de instalação.

Fonte: VANDENBERG, M. Soft canopies - detail in building. London: Academy editions, 1996, p.29. apud BIANCHI, G. M., "Estruturas de membranas tensionadas", disponível em <http://www.metálica.com.br>. Acesso em maio/2008.

Anexo 4- Influência da composição química nas propriedades do aço

- Alumínio (Al)**
 Em quantidade não superior a 0,2%, reduz a temperatura de transição e aumenta a tenacidade. Em quantidades suficientemente grandes, o alumínio prejudica o acabamento superficial dos produtos laminados.
- Carbono (C)**
 É o responsável pelo aumento da temperatura de transição, da resistência (e dureza) porém reduz a ductilidade, tenacidade e soldabilidade. As quantidades de *carbono* adicionadas no material devem então serem restritas ao máximo de 0,3 % ou em função das demais quantidades de outros elementos de forma a não manter o grau de soldabilidade de resistência desejados.
- Cobre (Cu)**
 É muito eficaz na resistência a corrosão atmosférica, para quantidades até 0,35%. Aumenta o limite de resistência (f_u) e a resistência a fadiga. Reduz a ductilidade, a tenacidade e a soldabilidade, porém em pequenas quantidades.
- Nióbio (Nb)**
 A adição de pequenas quantidades deste elemento acarreta acréscimos significativos no limite de escoamento (f_y) e acréscimo em menores intensidades no limite de resistência (f_u), embora apresente efeitos desfavoráveis em relação a ductilidade. Este elemento é quase que obrigatório na composição dos aços de alta resistência e baixa liga, pois permite uma redução nos teores de carbono e manganês, fornecendo uma melhor soldabilidade e tenacidade.
- Cromo (Cr)**
 Melhora o comportamento a temperaturas de até 500 °C, em comparação com o aço carbono. A adição também melhora sua resistência mecânica e resistência à corrosão atmosférica, porém reduz a soldabilidade do aço.
- Manganês (Mn)**
 Assim como outros elementos químicos, a sua adição reduz a soldabilidade do aço. Também permite que o envelhecimento seja retardado e proporciona um aumento no limite de resistência (f_u), na resistência à fadiga, na resistência a corrosão e na tenacidade do aço.
- Molibidênio (Mo)**
 Melhora a soldabilidade e assim como o *cobre*, melhora o comportamento do aço quando sujeito à alta temperatura. Seu limite de escoamento, resistência à abrasão e resistência à abrasão também são aumentados.
- Vanádio (V)**
 Para adições de até 0,12 %, a soldabilidade e a tenacidade do aço não são prejudicadas e este elemento eleva a resistência à abrasão, o limite de resistência e a resistência à deformação lenta.
- Níquel (Ni)**
 Eleva a resistência mecânica, a resistência à corrosão e a tenacidade, porém reduz a soldabilidade.

O comportamento de cada elemento químico na soldabilidade do aço é expressa em carbono equivalente, sendo que uma das expressões que relacionam a influência destes elementos esta indicada abaixo:

$$\%C_{eq} = \left(C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{12} + \frac{Ni + Cu}{15} \right)$$

Glossário

A

Aciaria: Para a transformação do ferro gusa em aço, é necessário limpá-lo ainda mais, e também, dependendo do tipo de aço que se queira obter, promover adições. Na aciaria o ferro gusa é reduzido, diminuindo o teor de carbono (de no máximo 2%) e outras impurezas. Esta operação é feita em um conversor através do sopro de oxigênio, que gera grande quantidade de calor (1700°C). O aço é vazado em panelas e colocado nas lingoteiras (moldes) para formação dos lingotes que é então direcionado para área de laminação.

Aços: São os materiais metálicos quantitativamente mais empregados na indústria. São ligas ferro-carbono, podendo ter elementos de liga adicionados proposadamente ou residuais (decorrentes do processo), dependendo das propriedades necessárias. Depois do ferro, o carbono é o elemento mais importante, que é o determinativo do aço. A quantidade de carbono é um dos principais fatores que definem a classificação em aço doce ou duro. Os outros principais elementos de liga encontrados em todos os tipos de aço, em maior ou menor quantidade, são o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre. São empregados em equipamentos para a indústria mecânica, como em veículos de transporte de toda natureza, aparelhos elétricos e eletrônicos, eletrodomésticos e em máquinas em geral, além de ter grande aplicação na construção civil. Fonte: CIMM.

Aço Carbono (aço carbono comum): Liga de ferro-carbono contendo de 0,008% até aproximadamente 2,0% de carbono, e outros elementos residuais, resultantes do processo de fabricação, como fósforo, enxofre, manganês e silício. A maior parte do aço produzido no mundo é do tipo aço carbono. Em regra geral, quanto maior o teor de carbono, maior a dureza e menor a ductilidade do aço. Fonte: infomet.

Aço doce: aço de baixo teor de carbono (entre 0,15 a 0,30%), suscetível de grandes deformações sem ruptura. Fonte: clickreforma.

Aço estrutural: Termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos. Fonte: CBCA.

Aço de alta resistência (mecânica) e baixa liga (ARBL): São aços que contêm pequenas adições de elementos de liga, como nióbio, titânio, vanádio e outros, que

no entanto aumentam muito a resistência mecânica do aço através de formação de carbeto desses elementos (NbC, TiC, VC e etc), que contribuem para aumentar significativamente a resistência mecânica do aço. Fonte: infomet.

Aço forjado: aço submetido, mediante temperaturas elevadas, a uma deformação plástica que lhe confere sensível melhoria em sua resistência mecânica. Fonte: clickreforma.

Aço galvanizado: Aço revestido por uma camada de zinco, a qual o protege contra a corrosão, que de outro modo destruiria o aço. Fonte: infomet.

Aço inoxidável: Aço contendo, no mínimo, 11,5% de cromo, com grande resistência à corrosão. Pode ser encontrado com diversas microestruturas e propriedades sob as formas: martensítico, ferrítico, austenítico, ou duplex. Fonte: infomet. Fonte: infomet.

Aço-liga: Chamado também de aço especial, é uma liga de ferro-carbono com elementos de adição (níquel, cromo, manganês, tungstênio, molibdênio, vanádio, silício, cobalto e alumínio) para conferir a esse aço características especiais, tais como: resistência à tração e à corrosão, elasticidade e dureza, entre outras, tornando-os melhores do que os aços-carbono comuns. A adição de elementos de liga tem o objetivo de promover mudanças microestruturais que, por sua vez, promovem mudanças nas propriedades físicas e mecânicas, permitindo que ao material desempenhar funções específicas. Os aços-liga costumam ser designados de acordo com os elementos predominantes, como, por exemplo, aço-níquel, aço-cromo e aço-cromo-vanádio. Seguem a mesma classificação dos aços-carbono, dividindo-se também em graus, tipos e classes. Os sistemas de classificação também são os mesmos, destacando-se os sistemas SAE, AISI, ASTM e UNS. Os aços-liga podem ser encontrados em praticamente todos os segmentos industriais, desde a construção civil até a construção naval, passando pelas indústrias petrolífera, automobilística e aeronáutica. Aços de alta liga são aqueles cuja soma dos elementos ultrapassa 5%. Três grupos podem representar os aços ligados: aços temperados e revenidos, aços tratáveis termicamente e aços resistentes à corrosão e ao calor. Fonte: CIMM.

Alto-Forno: Forno onde elementos sólidos como minério de ferro, coque e fundentes são combinados em alta pressão com um sopro de ar quente, reduzindo continuamente o minério de ferro em ferro líquido. Fonte: infomet.

Anodo: Eletrodo no qual ocorrem reações de oxidação. No anodo há uma tendência em aumentar o número de íons do metal em solução, a massa do anodo também tende a diminuir (corrosão). Fonte: infomet.

Anodo de sacrifício: Recobrimento ou peça soldada que vai corroendo, protegendo o aço dos agentes corrosivos atmosféricos. Fonte: infomet.

C

Carepa: Película de óxido de ferro que se forma na superfície do aço laminado a quente, é removida com sprays de água em alta pressão ou outros métodos. Fonte: infomet.

Carvão mineral (ou carvão de pedra): É um combustível fóssil natural extraído da terra por processos de mineração. É um mineral de cor preta ou marrom prontamente combustível. É composto primeiramente por átomos de carbono e magnésio sob a forma de betumes. Dos diversos combustíveis produzidos e conservados pela natureza sob a forma fossilizada, acredita-se ser o carvão mineral o mais abundante. Fonte: Wikipédia.

Carvão vegetal: É uma substância de cor negra obtida pela carbonização da madeira ou lenha. Fonte: Wikipédia.

Chapa fina: Chapa cuja espessura é igual ou inferior a 5 mm e igual ou superior a 0,30 mm. Fonte: infomet.

Chapa grossa: Chapa com espessura superior a 5 mm, também chamada de placa. Fonte: infomet.

Coque: Carvão tratado ao forno para a evacuação dos elementos voláteis. Basicamente carbono puro, é um dos elementos da combustão do alto-forno. Fonte: infomet.

Coqueria: São grandes estruturas que possuem grupos de fornos, podem ter 30, 60, 90 ou mais fornos com mais de 3 metros de altura, por 0,5 metro de largura, esses fornos tem sua paredes de material refratário que permitem a transmissão de calor, no interior das paredes possuem câmaras de aquecimento a gás, cuja temperatura pode chegar a 1200 graus. Recebem uma mistura de carvão mineral (12 ton cada forno) que passam por um processo de destilação a seca, pois ocorre na ausência de oxigênio. O resultado deste processo denominado de coqueificação, é a retirada da matéria volátil (gás) do carvão, que após a condensação resulta num subproduto, o alcatrão, cuja destilação fracionada resultará em outros produtos aplicados na indústria química. Mas o principal objetivo desse processo de coqueificação é o resíduo sólido que resulta ao final do processo, que é o coque (carvão coque), um produto com alto teor de carbono (>que 85%), matéria prima fundamental no processo de produção do aço. Fonte: Yahoo respostas.

Corrosão: Deterioração sofrida por um material em consequência da ação química ou eletroquímica do meio, aliada ou não a esforços mecânicos. . Fonte: infomet.

Corrosão Galvânica: Corrosão característica que se dá quando dois metais ou duas ligas metálicas distintas estão em contato mútuo em um meio corrosivo onde o metal anodo é corroído. Fonte: infomet.

Corrosão Uniforme: Forma de corrosão que se manifesta aproximadamente por igual em toda superfície da peça em contato com o meio corrosivo causando uma perda mais ou menos constante de espessura. Fonte: infomet.

D

Deformação Elástica: Regime de deformação onde não ocorre mudança dimensional permanente, isto é, com o fim do carregamento, o material volta ao estado inicial. Fonte: infomet.

Deformação Plástica: Regime de deformação onde ocorre mudança dimensional permanente depois que estão excedidos os limites de deformação elástica. Fonte: infomet.

Dendrita: Tipo de cristal que se forma na solidificação com aparência de galhos e ramificações. Fonte: infomet.

Drywall: É uma tecnologia que substitui a alvenaria convencional nas vedações internas (paredes, tetos e revestimentos) de edifícios de quaisquer tipos, consistindo de chapas de gesso acartonado fixadas em estruturas de perfis de aço galvanizado. O sistema *Dry Wall* consiste numa edificação de paredes de gesso acartonado que são mais leves e com espessuras menores. São chapas fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, onde uma é virada nas bordas longitudinais e colada sobre a outra. Fonte: Babylon.

Ductilidade: É a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper, daí sua grande importância, já que estas deformações constituem um aviso prévio à ruptura final do material, o que é de extrema importância para prevenir acidentes em uma construção, por exemplo. Fonte: Pannoni, F. D, "Aços estruturais"

E

Eletrodo revestido: consiste basicamente de uma “alma” metálica (vareta metálica sólida), recoberta por um revestimento composto por uma mistura de compostos minerais e orgânicos aglomerados com um elemento aglutinador. Tanto o metal da vareta quanto o revestimento devem possuir composição química compatível com o metal base a ser soldado. Fonte: EM/ PUCRS.

Encruamento: Aumento da dureza que acompanha um trabalho de deformação. Fonte: infomet.

Escória: Rejeito da redução de minério de ferro, trata-se basicamente de óxidos e outras impurezas. Fonte: infomet.

F

Ferro gusa ou gusa: O gusa é o produto imediato da redução do minério de ferro pelo coque ou carvão e calcário num alto forno. O gusa normalmente contém até 5% de carbono, o que faz com que seja um material quebradiço e sem grande uso direto. O ferro gusa é a principal matéria prima para a fabricação do aço. Fonte: Wikipédia.

Ferro fundido: O ferro fundido é uma liga de ferro em mistura eutética com elementos à base de carbono e silício. Forma uma liga metálica de ferro, carbono (entre 2,11 e 6,67%), silício (entre 1 e 3%), podendo conter outros elementos químicos. Os ferros fundidos dividem-se em três tipos principais: branco, cinzento e nodular. Fonte: Wikipédia.

Fluência: Fenômeno pelo qual metais e ligas tendem a sofrer deformações plásticas quando submetidos por longos períodos a tensões constantes, porém inferiores ao limite de resistência normal do material. Pode ser ativada pela temperatura (sua ocorrência é comum a temperaturas elevadas), e se manifesta com o passar do tempo. Esta deformação produz fissuras no material e pode levar à ruptura. À temperatura ambiente, a deformação das estruturas metálicas é muito pequena, a não ser que a carga adquira uma tal intensidade que se aproxime da tensão de ruptura. Entre os equipamentos que estão sujeitos a falhar por fluência estão as turbinas a jato e os geradores a vapor. Fonte: CIMM.

Forjamento: Processo de fabricação descrito por deformação mecânica de um metal aquecido através de martelamento ou prensagem. Fonte: infomet.

Forno a Arco Elétrico: Equipamento de produção de aço onde sucata é fundida graças a energia proveniente de um arco elétrico gerado por eletrodos. Fonte: infomet.

Fundente: Agente limpador de ferro, reagente que carrega a escória para o topo, permitindo purificar o ferro. Fonte: infomet.

Fundição: Processo de fabricação que consiste em vaziar (despejar) metal líquido num molde contendo uma cavidade com a geometria desejada para a peça final. O metal endurece no interior do molde, assumindo a forma desejada. Deve-se cuidar com alguns fenômenos que podem ocorrer durante a solidificação do metal líquido no interior dos moldes, tais como a cristalização, a contração do volume, a concentração de impurezas e o desprendimento de gases. O processo de fundição pode ser classificado de acordo com o tipo e o modelo de molde e/ou pela força (ou pressão) exercida para preencher o molde com o metal líquido. Tal processo permite obter, de modo econômico, peças de geometria complexa, que é a principal vantagem deste processo de fabricação. Na maioria dos casos, a fundição é o processo inicial, visto que permite a obtenção de peças com formas praticamente definitivas e possibilita a fabricação dos chamados lingotes, os quais podem ser posteriormente submetidos à conformação mecânica e transformados em suas formas finais. Em muitos casos, as peças são usinadas antes de estarem em condições de utilização. O processo de fundição se aplica a vários metais, como aços, ferros, alumínio, cobre, zinco, magnésio e respectivas ligas. Entretanto, há também desvantagens no processo. Os aços fundidos, por exemplo, podem apresentar elevadas tensões residuais, microporosidade, zonamento e variações no tamanho dos grãos. Tais fatores resultam em menor resistência e ductilidade, quando comparados aos aços obtidos por conformação a quente. Fonte: CIMM.

G

Galvanização: Recobrimento de aço com uma fina camada de zinco para aumentar a resistência à corrosão. Fonte: infomet.

Galvanização por imersão à quente: Aplicação de recobrimento de zinco por imersão da peça em banho de zinco fundido. Fonte: infomet.

L

Laje treliçada: Possui como armadura uma estrutura metálica denominada treliça que é fundida a uma base de concreto formando assim, uma vigota

Laminação: Processo de deformação plástica dos metais no qual o material passa entre rolos, com altas tensões compressivas devido à ação de prensagem dos rolos, e com tensões cisalhantes superficiais resultante da fricção entre os rolos e o metal. Fonte: infomet.

Laminação a Frio: Etapa final do processo de laminação que tem por objetivo o acabamento do metal, no qual o mesmo, inicialmente recebido da laminação a quente como chapa grossa, tem sua espessura reduzida para valores bem menores, normalmente à temperatura ambiente. Fonte: infomet.

Laminação a Quente: Etapa inicial do processo de laminação no qual o material é aquecido a uma temperatura elevada (no caso de aços inicia entre 1100 e 1300 °C e termina entre 700 e 900 °C, porém no caso de não-ferrosos estas temperaturas normalmente são bem mais baixas) para que seja realizado o chamado desbaste dos lingotes ou placas fundidas. Fonte: infomet.

Liga Metálica: Material contendo dois ou mais elementos metálicos. Fonte: infomet.

Light Steel Frame: É uma designação utilizada internacionalmente para descrever um sistema construtivo que utiliza o aço galvanizado como principal elemento estrutural. São estruturas que não utilizam tijolo ou cimento, sendo que o betão é apenas empregue nas fundações ou caves. O sistema também é conhecido por Estruturas em Aço Leve, construção LSF ou construção com aço galvanizado. Fonte: Wikipédia.

Limite de Escoamento: Resistência máxima a deformação elástica. Fonte: infomet.

Limite de Resistência: Tensão máxima suportada sem rompimento da peça ou corpo de prova. Fonte: infomet.

Lingotamento Contínuo: Processo que continuamente produz placas ou tarugos a partir do aço líquido vazado através de um molde. Já substituiu em quase todas as usinas siderúrgicas o processo de lingotamento convencional que consistia em vazar aço líquido em moldes de lingotes para posterior processamento. Fonte: infomet.

Lingote: Produto bruto resultante da solidificação do metal líquido em molde metálico, geralmente destinado a posterior conformação plástica. Fonte: infomet..

M

Minério: Mineral comercialmente explorável no estado puro ou como fonte de outro elemento. Fonte: infomet.

Módulo de Elasticidade: No regime elástico, coeficiente de proporcionalidade entre a tensão e a deformação percentual. Fonte: infomet.

MPa (Mega Pascal): é uma unidade de medida que equivale a 10 Kgf/ cm ².

N

Normalização: Tratamento térmico, caracterizado por aquecimento acima da zona crítica e por equalização nesta temperatura seguida de resfriamento uniforme ao ar, sem restringi-lo ou acelerá-lo, até a temperatura ambiente. A normalização é usada para homogeneizar composição e tamanho de grão ou para eliminar resultados de tratamento térmicos prévios. Fonte: infomet.

O

Obtenção do aço (processo): O processo clássico e mais utilizado para a redução do minério de ferro é o do alto-forno, cujo produto consiste numa liga ferro-carbono de alto teor de carbono denominada ferro gusa. O ferro gusa, ainda no estado líquido, é encaminhado à aciaria, onde, em fornos adequados, é transformado em aço. O minério de ferro constitui a matéria-prima essencial, pois dele se extrai o ferro. O coque (produto da destilação do carvão mineral metalúrgico) atua como combustível do alto-forno, como redutor do minério e como fornecedor de carbono (principal elemento de liga dos produtos siderúrgicos). O calcário atua como fundente, ou seja, reage pela sua natureza básica com as substâncias estranhas ou impurezas contidas no minério e no carvão (geralmente de natureza ácida) diminuindo seu ponto de fusão e formando a escória, que é um sub-produto, por assim dizer, do processo clássico do alto-forno. Em outras palavras, o aço é originado da mistura de minério de ferro, carvão, coque, ar e calcário, sendo inicialmente formada a escória (sub-produto para a fabricação de cimento e base para pavimentação) e o ferro gusa (constituído de 4,5 a 4 % de carbono). O ferro gusa (ferro bruto) não tem aplicação em estruturas metálicas por apresentar grandes porcentagens de carbono, sendo por isso frágil e pouco tenaz (quebradiço), e contém impurezas indesejáveis. Por isso é introduzido em convertedores na aciaria, onde a injeção de oxigênio irá queimar o carbono e outros elementos de liga (ou será absorvido pelo calcário formando a escória), refinando o ferro gusa e transformando-o em aço. É na aciaria que fica definido o tipo de aço a partir da adequação de sua composição química. A etapa de refino secundário é onde se realiza o ajuste fino da composição química do aço. Alguns processos de fabricação do aço são: Processo Bessemer (o ar é soprado pelo fundo do conversor), Processo Siemens-Martin e Processo de Sopragem a Oxigênio. Fonte: CIMM.

Oxidação: Corrosão resultando na formação de óxidos. Fonte: infomet.

P

Parafuso auto-brocante: Desempenha, ao mesmo tempo, o papel de broca (que fazer o furo) e de parafuso (com a função de fixar algum componente). Este tipo de parafuso é utilizado para perfurar e fixar componentes feitos de chapas de aço fino. Funcionam bem com chapas de no máximo 3 mm.

Passivação: Aderência de uma camada de óxidos na superfície do material, protegendo-o da corrosão. Fonte: infomet.

Perfil: Produto industrial cuja seção transversal reta é composta de figuras geométricas simples. Geralmente usado para fins estruturais. Fonte: infomet.

Perfiladeira contínua: Tipo de equipamento próprio para a produção de perfis em regime contínuo ou em blanks. Blanks são produtos de aço fornecidos em medidas certas, para cada aplicação, como por exemplo, peças de automóveis. Fonte: Zamproгна.

Pite: Pequena depressão na superfície do metal. É resultado de corrosão. Fonte: infomet.

Plasticidade: Capacidade de um material de se deformar inelasticamente isto é definitivamente. Existem dois tipos de deformação a elástica e a plástica. Na deformação elástica, o material retorna as suas dimensões de origem após o fim do carregamento, na deformação plástica o material assume novas dimensões. Fonte: infomet.

Processos de soldagem: Pode-se dividir o processo de soldagem em dois grandes grupos: a) Por fusão: a energia é aplicada para produzir calor capaz de fundir o material de base. Diz-se neste caso que a solubilização ocorre na fase líquida, que caracteriza o processo por fusão. São os principais processos de soldagem por fusão:

Soldagem a chama (fonte de calor química): oxi-acetilênica, oxi-GPL, oxi-hídrica. A fusão origina-se do calor gerado pela queima de um gás, com o material de adição introduzido separadamente. É atualmente o processo mais rudimentar de soldagem;

- Soldagem a arco elétrico: eletrodo revestido, eletrodo tubular, fio contínuo (MIG, MAG), eletrodo permanente (TIG). A fusão origina-se da ação direta e localizada de um arco voltaico;
- Em banho de escória;
- Aluminotérmica;
- Raio laser;
- Feixe eletrônico. b) Sob pressão: A energia é aplicada para provocar uma tensão no material de base capaz de produzir a solubilização na fase sólida, caracterizando a soldagem sob pressão. Uma pressão sobre as partes a unir é exercida após o aquecimento para garantir o total interfaceamento entre as partes pela conformação de suas rugosidades. De forma similar, as fontes de energia

podem ser diversas. Podemos subdividir a soldagem por pressão nas seguintes categorias:

- Por resistência;
- Por faiscamento;
- Por indução;
- Por atrito;
- Por ultra-som. Fonte: CIMM.

Produto longo (ou não plano): Produto de seção transversal constante que constitui figuras geométricas simples. São considerados produtos longos: lingotes, blocos, tarugos, barras, vergalhões, fios-máquina, perfis, trilhos e acessórios, tubos sem costura e arames trefilados. Fonte: infomet.

Produto plano: Produto de seção transversal retangular constante, com largura nominal maior que duas vezes a espessura. São considerados produtos planos: placas, bobinas, chapas grossas e finas, folhas-de-flandres. Fonte: infomet.

Proteção catódica: Sendo diagnosticada a ocorrência de corrosão em estruturas como tubulações enterradas ou tanques de armazenamento, recomenda-se sempre, qualquer que seja o tipo de corrosão (por solo, galvânica, por corrente de fuga ou por uma combinação destas) a instalação de um sistema de proteção catódica, única solução capaz de eliminar o problema, a baixo custo. O sistema de proteção catódica largamente utilizado, por corrente impressa, consiste na instalação de um ou mais retificadores e anodos inertes de titânio ativado distribuídos dentro da planta e aterrados numa profundidade de até 3 metros. Fonte: CIMM.

R

Recozimento: Termo genérico que indica um tratamento térmico composto de aquecimento controlado até uma determinada temperatura, permanência nessa temperatura durante um certo intervalo de tempo e resfriamento regulado. O recozimento altera microestrutura e propriedades do material. Fonte: infomet.

Resiliência: Capacidade do material absorver e devolver energia sem deformação permanente. Fonte: infomet.

Revenido: Ou Revenimento. Tratamento térmico que elimina a maior parte dos inconvenientes provocados pela têmpera. Remove tensões internas, corrige dureza excessiva e fragilidade, aumentando a ductilidade e tenacidade do material. Fonte: infomet.

Rigidez: Propriedade de resistir à deformação elástica. Fonte: infomet.

S

Siding: É um tipo de revestimento externo que dá acabamento às fachadas. Utiliza materiais com texturas e cores variadas, normalmente, constituídos por réguas de plástico, aço ou madeira.

Sinter: O sinter, que é um agregado que é adicionado à carga do alto forno. O sinter é produzido a partir do minério de ferro e alguns fundentes. É um produto resultante da queima da mistura de finos de minério de ferro, moinha de coque, finos de calcário, areia sílica e finos do próprio sinter. Este agregado permite um maior rendimento do alto forno e também uma melhor qualidade do ferro gusa (produto resultante da redução do minério de ferro).

Sinterização: Aglomeração de sólidos por meios térmicos. Fonte: infomet.

Sistemas de classificação dos aços: Os aços, em geral, são classificados em grau, tipo e classe. O grau normalmente identifica a faixa de composição química do aço. O tipo identifica o processo de desoxidação utilizado, e a classe é utilizada para descrever outros atributos, como nível de resistência e acabamento superficial. A designação de grau, tipo e classe utiliza letra, número, símbolo ou nome. Existem várias associações técnicas especializadas em designação dos aços, como a SAE (Society of Automotive Engineers), a AISI (American Iron and Steel Institute), a ASTM (American Society of Testing and Materials) e a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A normalização unificada vem sendo utilizada com frequência cada vez maior é designada pela sigla UNS (Unified Numbering System). Uma das designações mais utilizadas é o sistema AISI, que classifica o aço pela composição química, visto que é determinante para as suas características mecânicas. A quantidade de tipos de aço é muito elevada, pois, além dos aços-carbono, há uma diversidade de tipos de aços ligados. Fonte: CIMM.

Soldabilidade: Pode referir-se à facilidade de realizar a operação de soldagem utilizando-se parâmetros normais de regulagem da máquina, de material de adição e de rendimento, ou à capacidade de o material ser soldado sem que haja a formação de microestruturas prejudiciais às suas características e propriedades mecânicas. Um material com boa soldabilidade deve se apresentar, após a soldagem, sem

concentração excessiva de tensões internas e com boas propriedades mecânicas de tenacidade e ductilidade. Fonte: CIMM.

Soldagem: Operação de junção envolvendo geralmente a fusão das partes a serem unidas. Fonte: infomet.

Steel Deck: É uma laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto. O aço, excelente material para trabalhar a tração, é utilizado no formato de uma telha trapezoidal que serve como fôrma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço. Conformado a frio e cobrindo uma largura útil de 820 a 840 mm, o Steel Deck possui nervuras largas e com a utilização de conectores de cisalhamento (stud bolts) permite a interação do concreto com o aço o que possibilita o cálculo de vigas mistas, permitindo uma redução do peso da estrutura. Fonte: metálica.

T

Têmpera: Tratamento térmico que consiste no resfriamento rápido do material, de uma temperatura superior à sua temperatura crítica em meio de resfriamento específico. Fonte: infomet.

Tenacidade: Capacidade de um material tem para absorver energia, nos campos plástico e elástico. Fonte: infomet.

Tensão de escoamento: Corresponde a tensão máxima relacionada ao fenômeno de escoamento, que quando o material deforma-se plasticamente sem praticamente aumento de tensão. Fonte: Costa, E. M., "Propriedade mecânica dos metais".

Teor de carbono: O teor de carbono influencia, em importante medida, as propriedades do material. O ferro fundido se configura como uma liga, não passível de deformação plástica sensível. É dura e quebradiça. O baixo teor de carbono no aço torna o material mais macio permitindo o fácil processamento. O aço é mais plástico e mais resistente a tensões de tração e compressão.

Tensões Residuais: Tensões provenientes de deformação térmicas ou mecânicas não uniforme, presentes em um corpo livre de esforços externos ou gradientes térmicos. Fonte: infomet.

A tensão residual influencia nas características de resistência mecânica e do funcionamento dos elementos de uma estrutura.

Tratamento térmico: Operação ou conjunto de operações realizadas no estado sólido que compreendem aquecimento, permanência em determinadas temperaturas e resfriamento, realizados com a finalidade de conferir ao material determinadas propriedades mecânicas e microestruturais. Fonte: infomet.

Tratamento termoquímico: Conjunto de operações realizadas no estado sólido que compreendem modificações na composição química da superfície da peça, em condições de temperatura e meio adequados. Fonte: infomet.

Trefilação: Conformação a frio de material passando por uma matriz com redução de área da seção. Fonte: infomet.

Tubo com Costura: Tubo feito a partir de chapas ou folhas laminadas, dobradas e soldadas em forma de tubo. Fonte: infomet.

Tubo sem Costura: Tubo feito a partir de um tarugo aquecido e girado sob alta pressão. A rotação cria uma depressão no centro do tarugo que é conformado em forma de tubo com um mandril. Fonte: infomet.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.