

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ASPECTOS DA SUSTENTABILIDADE
AMBIENTAL NOS EDIFÍCIOS
ESTRUTURADOS EM AÇO

Ouro Preto, julho de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ASPECTOS DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NOS EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO

AUTORA: ROBERTA CARVALHO MACHADO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

CO-ORIENTADORA: Prof. D.Sc. Cláudia Barroso-Krause

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, Julho de 2010.

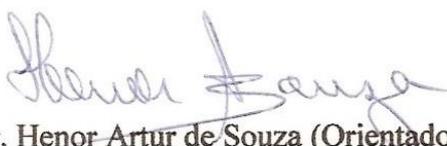
M149a	<p>Machado, Roberta Carvalho. Aspectos da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço [manuscrito] / Roberta Carvalho Machado - 2010.</p> <p>xiv, 232 f.: il. color., graf., quadros.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza. Co-Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Barroso-Krause.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção metálica.</p> <p>1. Construção metálica - Teses. 2. Sustentabilidade ambiental - Teses. 3. Indústria de construção civil - Teses I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 624.014.2</p>
-------	--

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

ASPECTOS DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NOS EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO

AUTORA: ROBERTA CARVALHO MACHADO

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 06 de julho de 2010, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



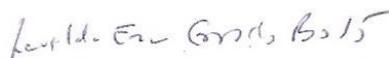
Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Prof. Dra. Cláudia Mariz de Lyra Barroso Krause (Orientadora / UFRJ)



Prof. Dr. Valério Silva Almeida (UFOP)



Prof. Dr. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos (UFRJ)

À minha família e ao Fernando

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que me permitiu mais esse aprimoramento.

Ao professor Henor Artur de Souza pela competente orientação, pela amizade e pelo incentivo em todos os momentos.

À professora Cláudia Barroso-Krause pela disponibilidade e observações preciosas na co-orientação, contribuindo enormemente para este trabalho.

Aos professores Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos e Valério da Silva Almeida por suas contribuições ao participarem da banca avaliadora, com comentários preciosos para os rumos desta pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa que viabilizou a realização do mestrado e ao PROPEC/UFOP pela formação recebida e apoio à produção acadêmica.

À Rovadavia pelo pronto atendimento e ajuda durante todo o curso.

Aos colegas do Mestrado, em especial à Eliana, pela amizade e aos professores do PROPEC pela oportunidade e ensino.

Às empresas: PRECON, em especial aos profissionais Sílvio Xavier Santos e José Hastenreiter; KNAUF, em especial aos profissionais Clarice Borring, Felipe Menezes, Glória Dias e Gerson Richa; LP BRASIL, em especial aos profissionais Francieli Fernanda Lucchette e Roberto Hiroyuki Nakamura; PREMO, em especial à Carlos Felipe de Oliveira Barbosa e BRASILIT, em especial à Emerson Salum, pela gentileza de me receberem nas fábricas e pela grande colaboração fornecendo informações imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Aço Brasil, em especial ao Fernando Matos que forneceu informações valiosas a esse estudo.

À PETROBRÁS, em especial aos profissionais Rafael Carneiro Guimarães e Desirée de Jesus Vieira Poço, que viabilizaram a minha visita ao CENPES II e forneceram informações valiosas para a realização desta dissertação.

Ao arquiteto Siegbert Zanettini por me conceder uma entrevista e fornecer informações essenciais sobre o projeto CENPES II.

Aos meus amigos pelo grande incentivo, com um pedido de desculpas pela ausência inevitável nos últimos meses.

À minha família pela confiança e incondicional estímulo à qualificação profissional.

Um agradecimento especial ao Fernando, pela ajuda, carinho, motivação e compreensão ao longo dessa trajetória.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho, obrigada.

RESUMO

No final do século XX, começaram a surgir manifestações significativas que reconheceram a influência do homem e das suas realizações sobre o meio ambiente. Nesse contexto, o conceito de sustentabilidade nasceu e foi adotado em diversos setores da sociedade. A indústria da construção civil tem um papel importante no desenvolvimento sustentável, principalmente porque os esforços estão sendo feitos para diminuir seus impactos ambientais negativos. Com esse objetivo, a construção estruturada em aço com a utilização de fechamentos industrializados é vista como uma das alternativas sustentáveis por aliar velocidade, qualidade e racionalização, além de retirar do canteiro de obras uma gama de atividades precárias e artesanais. Este estudo teve como objetivo avaliar como as edificações em estruturas metálicas e painéis de fechamento verticais industrializados podem contribuir para a sustentabilidade ambiental. A metodologia desenvolvida envolveu uma pesquisa bibliográfica sobre os sistemas de avaliação de desempenho ambiental usado para edifícios. O objetivo foi identificar os principais critérios que devem ser considerados na seleção de materiais a fim de implementar práticas sustentáveis na construção. Uma vez que esses critérios foram estabelecidos, os processos de produção e aplicação dos principais painéis verticais disponíveis no mercado brasileiro foram investigados. Os seguintes painéis foram avaliados: painel de gesso acartonado-Knauf, painel cimentício- Brasilit, painel de partículas orientadas (OSB)- LP Brasil e painéis de concreto armado das empresas Premo e Precon. Também foram avaliadas as vantagens da utilização de estruturas metálicas em edificações e as implicações ambientais da produção do aço. Um estudo de caso da construção sustentável estruturada em aço CENPES II foi realizado, investigando o processo de seleção dos materiais usado nos painéis verticais. Os resultados do estudo demonstraram que é difícil encontrar todos os aspectos de sustentabilidade no mesmo material e que a indústria brasileira está despreparada para lidar com algumas questões relativas à sustentabilidade. Constatou-se também que os fabricantes não têm todas as informações necessárias para avaliar o grau de sustentabilidade de seus produtos. Finalmente, alguns subsídios são dados para auxiliar os agentes envolvidos na indústria da construção na incorporação do conceito de sustentabilidade ambiental nos processos de projeto e de execução de edifícios em estrutura metálica.

ABSTRACT

In the end of the twentieth century, began to appear significant manifestations that have recognized the influence of humans and their actions on the environment. In this context, the concept of sustainability was born and implemented in several sectors of society. The construction industry plays an important role in sustainable development, mainly because efforts are being made to decrease its negative environmental impacts. With this goal, the steel-structured construction with the utilization of industrialized panels has been seen as one of the sustainable alternatives because it combines speed, quality, rationality, and it also removes an array of precarious and manual labour activities from the work site. This study aimed to evaluate how buildings with steel structures and industrialized vertical panels can contribute to the environmental sustainability. The developed methodology involved a bibliographic research on environmental performance evaluation systems used for buildings. The objective was to identify the principal criteria that should be considered in materials selection in order to implement sustainable practices in the construction. Once these criteria were established, the production and application processes of the main vertical panels available in the Brazilian market were investigated. The following panels were evaluated: Plasterboard- Knauf, Cement board-Brasilit, Oriented Strand Board (OSB)- LP Brasil and reinforced concrete- from Premo and Precon companies. In addition, were evaluated the advantages of using the metallic structures in buildings and the environmental implications in steel production. A case study was performed with sustainable steel-structured construction CENPES II, investigating the selection process of the material used in the vertical panels. The results of the study demonstrated that it is difficult to find all the sustainable aspects in the same material and that the Brazilian industry is not ready to deal with some sustainability matters. It was also found that the manufacturers do not have all the necessary information needed to evaluate the sustainability degree of their products. Finally, some advices are given to assist those involved in the construction industry in incorporating the concept of environmental sustainability in processes of design and execution of metallic-structured buildings.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A preocupação ambiental e o conceito de Desenvolvimento Sustentável	1
1.2. A evolução para a Arquitetura Sustentável	3
1.3. As estruturas metálicas e os sistemas de fechamento	8
1.3.1. Proposta	9
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo principal	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Justificativa e relevância	10
1.6. Metodologia	11
1.7. Estrutura da dissertação.....	12
2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	14
2.1. O impacto da Construção Civil – Cenário brasileiro	14
2.2. Agenda 21 para a Construção Sustentável	16
2.3. Aspectos da sustentabilidade na Construção Civil Européia	18
2.3. Qualidade ambiental na Construção Civil.....	20
2.4. Arquitetura Sustentável	21
2.5. Análise do Ciclo de vida	26
2.6. Sistemas de Avaliação e de Certificação Ambiental de edifícios	30
2.7. Situação do Brasil.....	31
2.8. Implicações da importação de sistemas de avaliação internacionais	33
2.9. Sistemas que conferem Selos e Certificações Ambientais.....	35
3. PARÂMETROS PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS	37
3.1. Metodologias avaliadas	37
3.2. Certificação AQUA.....	37
3.3. Selo SustentaX	40
3.4. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ_C).....	43
3.5. Sistema LEED	47
3.6. Critérios selecionados	51
4. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS- CONSIDERAÇÕES	53

4.1.	Materiais Sustentáveis	53
4.2.	Composição	54
4.3.	Localização: extração das matérias-primas, da fábrica e dos demais componentes do produto	54
4.4.	Processo de produção	55
4.5.	Impactos ambientais	56
4.6.	Resíduos de produção.....	56
4.7.	Programas de gestão da qualidade e gestão ambiental e normas de produção	57
4.8.	Propriedades termo-acústicas	57
4.9.	Dimensões fornecidas	60
4.10.	Possibilidades de acabamentos	61
4.11.	Conteúdo reciclado na fabricação e no pós-consumo	62
4.12.	Toxicidade do material	63
4.13.	Energia gasta na produção	64
4.14.	Quantidade de água e emissão de CO ₂	64
4.15.	Flexibilidade e potencial de reutilização	65
4.16.	Vida útil	66
4.17.	Montagem	66
4.18.	Manutenção	66
4.19.	Transporte até a obra	67
4.20.	Análise dos painéis de fechamentos	68
5.	CONSTRUÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO	69
5.1.	História do uso do aço na construção	69
5.2.	Construções metálicas	70
5.2.1.	Sistemas Light Steel Framing e Drywall	73
5.3.	Potencial do Brasil	76
5.4.	Vantagens da utilização do aço na construção civil	77
5.5.	Desvantagens da utilização do aço na construção.....	81
5.6.	Processo de produção do aço	83
5.6.1.	Processo integrado	83
5.6.2.	Processo semi-integrado	85
5.6.3.	Comparação dos processos	86
5.7.	Parque produtor de aço.....	88
5.8.	Estratégias Sustentáveis adotadas na produção do aço	90

5.9.	Reciclagem do aço	96
6.	PAINÉIS DE FECHAMENTO	100
6.1.	Características dos painéis industrializados	100
6.2.	Análise dos painéis verticais industrializados utilizados no Brasil.....	101
6.3.	Painéis de gesso acartonado- Knauf.....	103
6.3.1.	Características gerais e composição	103
6.3.2.	Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica 105	
6.3.3.	Processo de produção	107
6.3.4.	Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção.....	109
6.3.5.	Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO ₂	112
6.3.6.	Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção.....	112
6.3.7.	Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo	112
6.3.8.	Toxicidade do material	113
6.3.9.	Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento	114
6.3.10.	Montagem	114
6.3.11.	Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização	116
6.3.12.	Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas	116
6.3.13.	Transporte e entrega na obra.....	119
6.4.	Painéis cimentícios- Brasilit.....	119
6.4.1.	Características gerais e composição	119
6.4.2.	Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica 120	
6.4.3.	Processo de produção	120
6.4.4.	Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção.....	123
6.4.5.	Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO ₂	124
6.4.6.	Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção.....	125
6.4.7.	Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo	125
6.4.8.	Toxicidade do material	125
6.4.9.	Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento	125
6.4.10.	Montagem	126
6.4.11.	Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização	127
6.4.12.	Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas	128
6.4.13.	Transporte e entrega na obra.....	129

6.5.	Painéis OSB – LP Brasil	130
6.5.1.	Características gerais e composição	130
6.5.2.	Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica 130	
6.5.3.	Processo de produção	131
6.5.4.	Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção.....	132
6.5.5.	Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO ₂	136
6.5.6.	Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção.....	137
6.5.7.	Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo	137
6.5.8.	Toxicidade do material	137
6.5.9.	Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento	137
6.5.10.	Montagem	139
6.5.11.	Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização	139
6.5.12.	Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas	140
6.5.13.	Transporte e entrega na obra.....	140
6.6.	Painéis de concreto armado – PREMO e PRECON	141
6.6.1.	Características gerais e composição	141
6.6.2.	Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica 142	
6.6.3.	Processo de produção	142
6.6.4.	Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção.....	143
6.6.5.	Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO ₂	144
6.6.6.	Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção.....	145
6.6.7.	Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo	145
6.6.8.	Toxicidade do material	146
6.6.9.	Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento	146
6.6.10.	Montagem	148
6.6.11.	Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização	149
6.6.12.	Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas	150
6.6.13.	Transporte e entrega na obra.....	153
6.7.	Comparações entre painéis e considerações.....	153
7.	EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO - SUBSÍDIOS	163
7.1.	Edifícios Metálicos certificados pelo LEED	163
7.2.	CENPES II (Rio de Janeiro, Brasil) e processo de certificação	165

7.2.1.	O projeto	166
7.2.2.	Aspectos de sustentabilidade ambiental do projeto	169
7.2.3.	Investigação do Processo de certificação LEED – CENPES II.....	170
7.2.4.	Relatórios de Acompanhamento para Adequação ao Padrão LEED.....	172
7.2.5.	Relatórios de Parâmetros utilizados nos relatórios de Eco-eficiência.....	184
7.2.6.	Relatórios mensais de eco-eficiência.....	186
7.2.7.	Declarações Ambientais dos produtos utilizados	188
7.3.	Subsídios para construções em estrutura em aço mais sustentáveis	189
7.3.1.	Subsídios de projeto.....	189
7.3.2.	Subsídios de execução- responsabilidade dos empreiteiros	194
7.3.3.	Subsídios para a produção de componentes- responsabilidade dos fabricantes..	194
7.3.4.	Subsídios para o governo na promoção da sustentabilidade no setor da construção	195
8.	CONCLUSÕES	196
	REFERÊNCIAS.....	200
	ANEXO 1: Categorias AQUA.....	209
	ANEXO 2: Exemplos de itens de Sustentabilidade a serem avaliados para a obtenção do Selo SustentaX	211
	ANEXO 3: LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Project Checklist ..	212
	ANEXO 4: Declaração ambiental do produto- chapa de gesso Standard KNAUF.	216
	ANEXO 5: Entrevista com arquiteto Siegbert Zanettini	218
	ANEXO 6: TIPOS DE FECHAMENTOS VERTICAIS INDUSTRIALIZADOS POR AMBIENTE.....	223
	ANEXO 7: Modelos de Declaração ambiental de produtos. PETROBRAS, 2009b.	230

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Demanda mundial e reserva de petróleo por milhões de barris por dia.	4
Figura 1.2- (a) Mudanças climáticas nos últimos 1000 anos. (b) Mudanças climáticas nos últimos 140 anos.	6
Figura 1.3- Evolução da Arquitetura e incorporação de novas problemáticas.	7
Figura 2.1- Participação dos setores no consumo final energético no Brasil, 2007.	16
Figura 2.2: Human Research Institute- Proposta de edificação sustentável do arquiteto Ken Yeang.	24
Figura 2.3: ACROS Building, Fukuoka, Japão, 1989-95. Edificação sustentável projetada pelo arquiteto Emílio Ambasz.	25
Figura 2.4: Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício. Nota: RDC: Resíduo de construção e demolição.	28
Figura 2.5: Ciclo de vida de uma edificação e os diferentes níveis de alteração no meio ambiente.	28
Figura 3.1: Zoneamento bioclimático brasileiro.	45
Figura 3.2: Registros LEED no Brasil.	50
Fonte: GBC BRASIL, 2010.	50
Figura 5.1- Edificação estruturada em aço com fechamento em alvenaria tradicional em Viçosa/MG, dez. 2009.	72
Figura 5.2- Assentamento de blocos para alvenaria: processo artesanal e lento.	73
Figuras 5.3. Desenho esquemático de uma residência em <i>Light Steel Framing</i>	75
Figura 5.4: Emissões diretas de CO ₂ no setor da indústria em 2004.	81
Figura 5.5: Utilização da energia final na indústria em 2004.	82
Figura 5.6: Esquema do processo integrado de fabricação do aço.	84
Figura 5.7: Esquema das etapas de laminação.	85
Figura 5.8: Esquema do processo semi-integrado de fabricação do aço.	86
Figura 5.9: Energia consumida por processo de produção de aço.	87
Figura 5.10: Consumo de materiais e energia consumida por processo de produção de aço.	87
Figura 5.11: Impactos ambientais correspondentes aos dois processos de produção de aço.	88
Figura 5.12: Mapa das Minas da Vale do Rio Doce.	89
Figura 5.13: Parque produtor de aço no Brasil.	89
Figura 5.14: Resultados da diminuição de energia e emissão de CO ₂ da indústria europeia do aço.	91
Figura 5.15: Esquema do desenvolvimento sustentável no processo de produção da siderurgia.	92
Figura 5.16: Matriz energética em 2008.	93
Figura 5.17 – Total de água doce captada ao longo dos anos (m ³).	93
Figura 5.18: Sistema de tratamento de efluentes líquidos.	94
Figura 5.19: Destinação anual de resíduos e co-produtos (t).	94
Figura 5.20: Principais destinações dos agregados siderúrgicos em 2008 (t).	95
Figura 5.21: Sistema de tratamento de emissões atmosféricas.	95
Figura 5.22: Fluxo da sucata.	97
Figura 5.23: Fluxo da sucata.	98

Figura 6.1- Detalhes técnicos da parede <i>Drywall</i> - Corte.....	104
Figura 6.2- Localização do parque industrial em Queimados e da mina de extração em Araripina.	106
Figura 6.3- Extração da gipsita em minas.....	107
Figura 6.4- Correia transportadora que leva a gipsita para a fábrica.	108
Figura 6.5- Esquema do processo de produção dos painéis de gesso.....	108
Figura 6.6- Exploração da Gipsita: degradação ambiental.	110
Figura 6.7- Exemplo europeu: área minerada em fase de recuperação e área recuperada. ...	110
Figura 6.8- Esquema de colocação de montantes.	114
Figura 6.9- Colocação das instalações sanitárias antes das chapas.	115
Figura 6.10- Esquema de fixação das chapas de gesso.....	116
Figura 6.11- Desenho esquemático da máquina Hatschek.	121
Figura 6.12- Foto da vista superior da máquina Hatschek: formação de películas	121
Figura 6.13- Foto frontal do cilindro prensado da máquina Hatschek.	122
Figura 6.14- Foto do processo de cura no pátio da Brasilit em Capivari-SP, jul. 2009.....	122
Figura 6.16 - Evolução da eficiência no consumo de água na produção Masisa. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB e todas as fábricas, não só a do Brasil.	134
Figura 6.15 - Evolução no consumo total de água e na produção da Masisa. Dados referentes a todas as fábricas e a produção total, não somente de painéis OSB.....	134
Figura 6.17 - Gráfico da emissão e captura de CO ₂ por produção. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB e todas as fábricas, não só a do Brasil. ...	135
Figura 6.18 - Gráfico da emissão e captura de CO ₂ por país. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB.	135
Figura 6.19 – Revestimento do painel OSB com <i>siding</i> vinílico, de alumínio, de PVC ou de madeira.....	138
Figura 6.20 – Revestimento do painel OSB com tijolo à vista.....	138
Figura 6.21 – Revestimento do painel OSB com argamassa.	138
Figura 6.22 – Equipamento para reciclagem de resíduos de obras.....	146
Figura 6.23 – Tipos de acabamentos: agregados expostos lavados e textura.	147
Figura 6.24 – Tipos de fixação.	149
Figura 6.25 – Desenho do painel sanduíche com miolo geralmente em isopor.	151
Figura 6.26 – Desenho do painel bandeja com nervuras internas.....	151
Figura 6.27 – Desenho do painel alveolar.	152
Figura 7.1 - Sede do banco PNC em Pittsburgh. Edifício em estrutura metálica que recebeu a certificação LEED <i>Silver</i>	164
Figura 7.2 - Firma Zimmer em Lenexa- EUA. Edifício em estrutura metálica certificado pelo LEED.	164
Fonte: GERVÁSIO, 2008b.	164
Figura 7.3 – <i>Hearst Tower</i> , em Nova York.	165
Figura 7.4: Perspectiva geral do projeto CENPES II.....	165
Figura 7.5: Implantação das edificações que compõe o CENPES II.....	167
Figura 7.6 – Imagem em Corel Draw da implantação do CENPES II articulado com o CENPES existente (abaixo no canto direito).	168

Figura 7.7: Uso de paisagismo e estratégias para promover ventilação natural e proteger o interior da incidência solar direta no Prédio Central- Corte esquemático.	170
Figura 7.9: CENPES II em construção junho de 2009- Canteiro de obras limpo e organizado.	176
Figura 7.8: Prédio central do CENPES II em construção. (a) Detalhe da cobertura. (b) Detalhe do túnel.	176
Figura 7.10: Fechamento interno CENPES II. (a) Estrutura em <i>Drywall</i> pronta para receber os painéis de fechamento. (b) Aplicação de painéis de gesso acartonado.	177
Figuras 7.11: Fechamento interno CENPES II. (a) Material isolante térmico fabricado a partir de garrafa pet transparente aplicado entre a estrutura em <i>Drywall</i> . (b) Material isolante térmico fabricado com garrafa pet verde estocado.	178
Figuras 7.12: Painéis em concreto armado. (a) Detalhe do acabamento dos fechamentos externos das edificações do CENPES II. (b) Painéis arredondados para fechamento externo do prédio do Centro de Convenções.	178
Figura 7.13: Painel externo com acabamento de sistema <i>Drywall</i> no interior pronto para receber o fechamento em painel acartonado.	179
Figura 7.14: Painel externo GFRC instalado. Detalhe para as fibras de vidro.	179
Figura 7.15: Retirada do painel do estoque.	181
Figura 7.16: Posicionamento do transporte.	181
Figura 7.18: Solda pronta para instalação.	181
Figura 7.17: Solda das chapas no local de instalação.	181
Figura 7.19: Retirada do painel.	181
Figura 7.20: Posicionamento do painel.	182
Figura 7.21: Solda do painel na chapa de fixação.	182
Figura 7.22: Posicionamento do painel.	182
Figura 7.23: Chapa de fixação no local não bate com o painel.	183
Figura 7.25: Dificuldade na retirada da cinta.	183
Figura 7.24: Espaço não adequado para içamento.	183
Figura 7.26: Estudo de insolação durante o solstício de verão no período da manhã (9h). Destaque para a extensão da sombra sobre os laboratórios.	184
Figuras 7.27: Estudo de potencial de ventilação natural no empreendimento. (a) Distribuição da velocidade do vento no nível do pedestre, a 1,5m. (b) Distribuição de pressões de vento sobre as envoltórias.	184
Figura 7.28: Simulação de potencial de ventilação natural no Centro de Convenções.	185
Figura 7.29: Modelagem no aplicativo de simulação TAS: Oficina.	185

1. INTRODUÇÃO

1.1. A preocupação ambiental e o conceito de Desenvolvimento Sustentável

Desde a origem da Terra alterações ambientais fazem parte de sua evolução e desde os primórdios a humanidade busca um habitat que os proteja das intempéries do clima. O ser humano sempre demonstrou interesse pela qualidade do ambiente em que vive, mas foi a partir da segunda metade do século XX que as demonstrações de preocupação com a qualidade ambiental do planeta foram mais significativas.

A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, estabeleceu-se um grande marco no desenvolvimento tecnológico para a sociedade mundial, solidificando uma mudança de comportamento do homem frente à natureza. Tal revolução transformou o modelo de produção vigente e promoveu um progressivo crescimento tecnológico, provocando uma grande aceleração no consumo de recursos naturais disponíveis, principalmente o ferro e o carvão e, posteriormente, o petróleo. Nessa época, acreditava-se que a finalidade da natureza era servir o homem e seus interesses e a idéia da exploração do meio ambiente de forma exacerbada era tida como um mal necessário para o desenvolvimento.

Segundo Liddle¹ (1994, apud JOHN, 2000), a origem da sociedade industrial foi orientada pelo paradigma “desbravador”, no qual existe uma contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento. A lógica implícita nesta cultura industrial é que a quantidade de recursos naturais disponíveis é, em termos práticos, infinita e que a natureza é capaz de absorver ilimitadas quantidades de resíduos. Nesse período, o desenvolvimento era visto como algo contraditório à preservação ambiental e não se podia esperar pelos dois simultaneamente.

Até meados do século XX, o modelo de produção estabelecido pela Revolução Industrial foi potencialmente fortalecido, promovendo um cenário de grande impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente. Porém, a degradação dos recursos naturais ainda se apresentava como problemas localizados, não interferindo como fator limitante para o desenvolvimento num âmbito global. (MAGRINI², 2001, apud ZAMBRANO, 2004).

¹ LIDDLE, B. T. *Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry*. In: CIB TG 16 Sustainable Construction. **Proceedings**. Tampa, Florida, Nov. 6-9, 1994, p.47-56.

² MAGRINI, A. **Política e gestão ambiental**: conceitos e instrumentos. In: Revista Brasileira de Energia, Junho/2001.

Segundo SACHS³ (1993, apud MARTINS, 2010), após aproximadamente 30 anos do término da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), começaram a surgir diversas críticas ao modelo de desenvolvimento e expansão econômica vigente que revelava a crescente escassez de muitos recursos naturais.

Segundo Martins (2010), a crise energética de 1970 foi o alerta que possibilitou a elaboração de diversos estudos que corroboraram com um possível conflito entre o atual modelo de progresso econômico e o meio ambiente, a exemplo do relatório de 1972 realizado pelo Clube de Roma: *The Limits to Growth* (Os Limites do Crescimento), que divulgou os efeitos catastróficos futuros em matéria de crescimento demográfico, poluição ambiental, esgotamento de recursos naturais e qualidade de vida das pessoas.

Nesse contexto, Maurice Strong formulou o conceito de ecodesenvolvimento em 1973, segundo o qual se definia um estilo de desenvolvimento adaptado às áreas rurais do Terceiro Mundo, baseado na utilização criteriosa dos recursos locais, sem comprometer o esgotamento da natureza, pois nestes locais ainda havia a possibilidade de tais sociedades não se engajarem na ilusão do crescimento mimético. Em 1974, também as cidades do Terceiro Mundo passam a ser consideradas no ecodesenvolvimento e na década de 80, o economista Ignacy Sachs se apropriou do termo, desenvolvendo-o conceitualmente e criando um quadro de estratégias ao ecodesenvolvimento (LAYRARGUES, 1997).

Segundo Martins (2010), a expressão Desenvolvimento Sustentável foi criada a partir do conceito ecodesenvolvimento e em 1987, durante a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*), foi apresentada no Relatório Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro Comum”, a primeira definição mundialmente aceita do termo “Desenvolvimento Sustentável”: “é o desenvolvimento que atenda as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades⁴” (BRUNDTLAND, 1987).

Sachs³ (1993 apud MARTINS, 2010) parte dessa premissa de desenvolvimento para sugerir uma sistematização baseada em cinco dimensões que, segundo o autor, necessitam ser equilibradamente consideradas em qualquer modelo de desenvolvimento que se propõe sustentável: racionalidade econômica, prudência ecológica, compromisso político, justiça social e respeito às especificidades e necessidades humanas conforme a cultura de cada lugar.

³ SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

⁴ "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

Silva (2003) divide o desenvolvimento sustentável em três esferas: social, econômica e ambiental. No âmbito ambiental busca-se o equilíbrio entre a proteção do ambiente físico e seus recursos, por meio do uso racional, garantindo a qualidade de vida aceitável no planeta. Na esfera social o foco é no desenvolvimento de sociedades justas, proporcionando desenvolvimento humano e um nível aceitável de qualidade de vida a todos. Quanto à dimensão econômica, espera-se um sistema econômico que ofereça facilidade de acesso a recursos e oportunidades, aumentando a prosperidade para todos, dentro dos limites ecologicamente possíveis e sem comprometer os direitos humanos.

Com o passar dos anos a noção de Sustentabilidade consolidou-se e passou a ser aplicada a quase todas as atividades humanas, por ser suscetível de várias interpretações e por se tratar de um conceito amplo e complexo.

1.2. A evolução para a Arquitetura Sustentável

No âmbito da construção civil, os movimentos arquitetônicos foram evoluindo com o passar dos anos, acompanhando os modelos de desenvolvimento e de paradigmas presentes em cada época. Nas últimas décadas criaram-se novos critérios e condicionantes de desenho que incorporam os conceitos de sustentabilidade nos projetos.

As bases históricas da arquitetura remetem à ambientes construídos a partir da interação do homem com o meio ambiente. Na concepção das construções vernaculares, quando ainda não havia a figura do arquiteto ou projetista, já se utilizavam técnicas de edificação peculiares para adequação inteligente às particularidades climáticas de diversas regiões do mundo. No período Clássico, Vitruvius entendia a arquitetura como um espaço habitável que deveria ter como bases os critérios estabelecidos na chamada tríade ou triângulo conceitual de Vitruvius: *firmitatis*, *utilitatis* e *venustatis* (solidez, utilidade e beleza) (MANENTI, 2010).

A Revolução Industrial refletiu-se na arquitetura por meio do Movimento Moderno. O Modernismo, estilo predominante no século XX, buscava renovar a arquitetura e romper com as referências históricas, voltando-se para as possibilidades oferecidas pelos avanços da tecnologia. Segundo Zambrano (2008), nesse cenário nasceu a linguagem arquitetônica denominada Estilo Internacional, o qual se difundiu rapidamente e veio a ser o estopim da ruptura generalizada da arquitetura com o meio ambiente e com o conhecimento dos fenômenos naturais.

O período pós II Guerra Mundial (1939-1945) foi marcado pela abundância de combustível barato e por uma série de desconsiderações no âmbito do projeto da Construção

Civil, como por exemplo, a falta de: conforto térmico, iluminação natural, conforto acústico e interação entre o edifício e o entorno. Para solucionar os problemas criados por essa arquitetura houve um aumento no consumo de energia, o que não foi um grande problema, pois essa tinha custo irrisório e a consciência generalizada sobre a poluição criada na geração e no consumo dessa energia não existia (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Segundo Corbella e Yannas (2003), no Brasil dos anos 30, durante um curto, porém intenso período (pouco mais de 20 anos), uma parte da geração passada de arquitetos abraçou os princípios do modernismo incluindo a preocupação com o projeto e consciência do meio ambiente. Mas, a partir da década de 60 os edifícios comerciais passaram a ser rotineiramente equipados com sistemas de ar condicionado e iluminação artificial para alcançar as condições interiores de conforto ao longo de todo o dia e todas as estações.

Segundo Druszcz (2002), no último terço do século passado, as primeiras manifestações que pareciam reconhecer a influência do homem e das suas realizações sobre o meio ambiente relativas à construção civil tomaram corpo, juntamente com discussões sobre: poluição nas cidades, consumo de recursos, aumento da população e outros fatores ligados aos problemas ambientais.

Em 1973 houve uma considerável alta no preço do combustível fóssil quando os países árabes decretam completo bloqueio do fornecimento de petróleo aos aliados de Israel, atingindo principalmente Estados Unidos, Holanda e Portugal, culminando na primeira crise de energia. A partir desse período começou-se a calcular quanto petróleo e gás restavam no planeta e as previsões foram alarmantes como pode ser observado nos dados mostrados na figura 1.1.

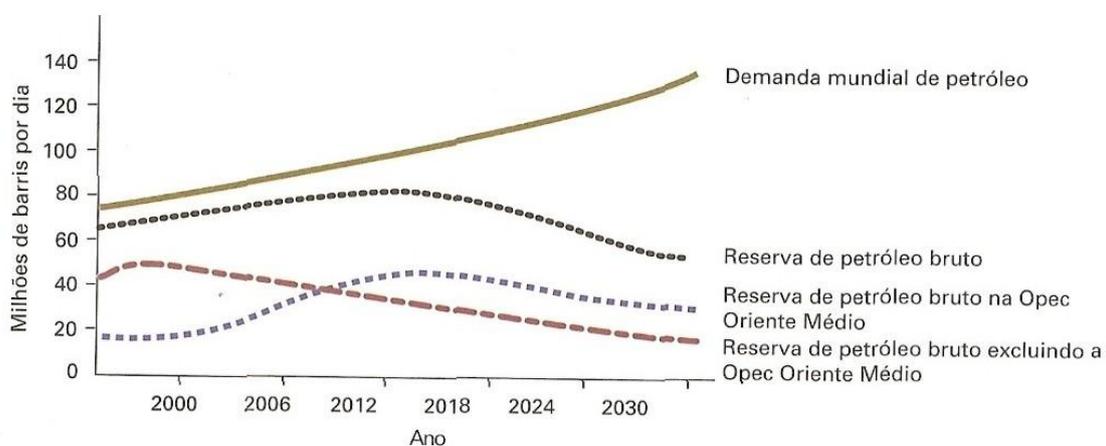


Figura 1.1- Demanda mundial e reserva de petróleo por milhões de barris por dia.
Fonte: GUARDIAM⁵, 2000 (apud ROAF, 2006, p. 12).

⁵ **Guardiam**, June 2000, p.30.

Roaf (2006) afirma que as mudanças em direção a projetos mais conscientes ambientalmente começaram nos anos 70 como uma resposta pragmática à alta do petróleo, impulsionando a chamada Arquitetura Solar. A preocupação fundamental era incorporar a energia solar aos edifícios, por meio da exploração da energia solar passiva e de sistemas de aquecimento solar da água, contribuindo à sua calefação e poupando energia convencional (CORBELLA; YANNAS, 2003; ROAF, 2006).

A Arquitetura Solar explorava o uso da iluminação natural e de técnicas de construção capazes de favorecer os ganhos térmicos para aquecimento em locais de clima frio, bem como a redução das perdas de calor pelas paredes em função de sua massa e inércia térmica. De acordo com Zambrano (2008), esta arquitetura priorizava a otimização energética, porém freqüentemente apresentava um desequilíbrio térmico considerável porque algumas soluções de projeto adotadas eram desprovidas de estudos mais aprofundados que promovessem o conforto térmico também no período de verão.

Nos anos 80 houve outro grande choque: as mudanças climáticas. Advertências mundiais sobre as taxas de redução da camada de ozônio e o aumento dos gases que geram o efeito estufa vieram a ser reais. Nos anos 90 foi constatado o aumento constante da temperatura global, a década mais quente até então registrada. O clima do mundo sempre variou, conforme indicado na figura 1.2, mas o que é preocupante agora é a taxa e a escala de mudanças em um curto espaço de tempo (ROAF, 2006).

Como uma evolução natural da Arquitetura Solar impulsionada pelas novas descobertas de mudanças climáticas, foi surgindo uma arquitetura mais abrangente, preocupada com a interação ao clima e micro-clima local e atenta ao conforto ambiental, chamada Arquitetura Bioclimática.

Para Zambrano (2008), a Arquitetura Bioclimática ganhou força nos anos 80, acompanhada por um grande avanço no desenvolvimento de técnicas e dispositivos arquitetônicos passivos para proteção ou aproveitamento dos efeitos do micro-clima em relação à edificação.

Para Corbella e Yannas (2003) a evolução da abordagem de Arquitetura Bioclimática para Arquitetura Sustentável é uma continuidade natural porque se passa a considerar também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, tornando-o parte de um conjunto maior, em conformidade com novo paradigma de Desenvolvimento Sustentável.

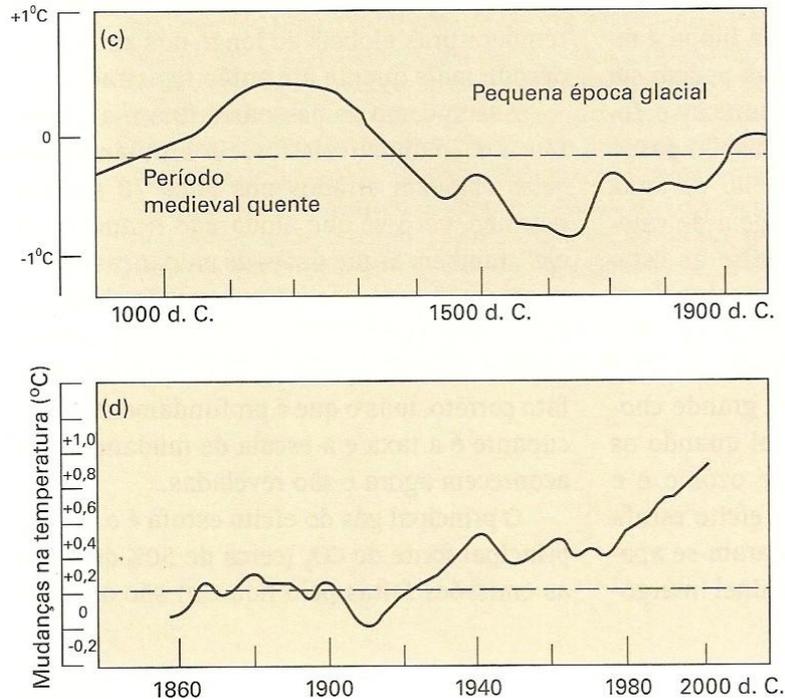


Figura 1.2- (a) Mudanças climáticas nos últimos 1000 anos. (b) Mudanças climáticas nos últimos 140 anos.

Fonte: (a) HOUGHTON et al.⁶, 1990 apud ROAF, 2006, p. 16. (b) <http://www.met-office.gov.uk/sec5/CR_div/CoP5/obs_pred_clim_change.html>, apud ROAF, 2006, p.16.

Nos anos 90 as respostas da arquitetura concentraram-se nas questões ambientais, onde as decisões projetuais levavam em conta a redução de impactos ao ambiente externo. Essa arquitetura foi identificada por diversos nomes: “Arquitetura Ecológica”, “Arquitetura Verde”, “Arquitetura Ambiental”, “Arquitetura Eco-eficiente”, entre outros. Com o passar dos anos, a abordagem foi evoluindo, mais significativamente a partir do ano 2000, quando todos os aspectos que envolvem o Desenvolvimento Sustentável passaram a ser considerados no desenvolvimento do projeto da chamada Arquitetura Sustentável (ZAMBRANO, 2008).

A questão central da Arquitetura já não se trata mais de simplesmente valorizar uma boa integração com a natureza e de explorar recursos naturais e climáticos para a promoção de conforto, deflagrou-se uma problemática muito mais ampla não só no aspecto ambiental, mas também nos de ordem social e econômica.

A figura 1.3 ilustra a evolução das abordagens na arquitetura até se chegar na Arquitetura Sustentável que abrange uma visão muito mais ampla e complexa.

Não diminuindo a importância das outras esferas, que já são objeto de preocupação acadêmica e do Setor, quando se trata da Construção Civil, as questões ambientais são

⁶ HOUGHTON, J. JENKINS, G. EPHRAUMS, J. *Climate Change: The Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

extremamente graves e urgentes, porém permanecem pouco tratadas. Por esse motivo, a ênfase nessa dissertação será no aspecto ambiental da sustentabilidade, que deve ser efetivamente considerado pela indústria da construção.

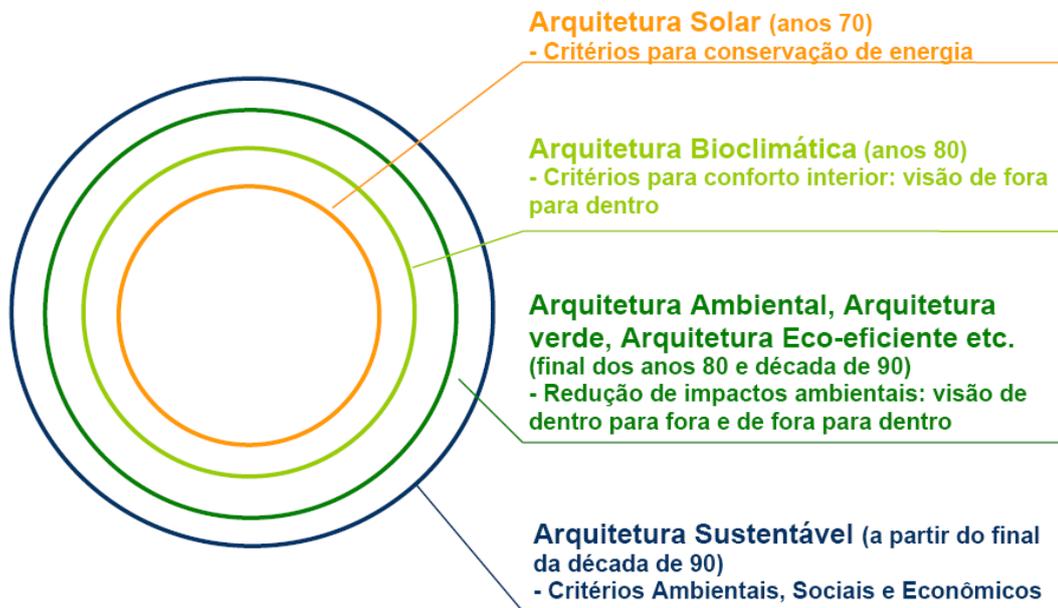


Figura 1.3- Evolução da Arquitetura e incorporação de novas problemáticas.

Fonte: FERNANDEZ ⁷, 2002 apud ZAMBRANO, 2008.

O termo “sustentabilidade na construção” ou “edifício sustentável” é adotado nesta Dissertação para designar edificações que minimizem os impactos negativos causados ao ambiente, sem prejuízo do conforto e da saúde dos usuários, dos construtores e do entorno, por meio da adoção de medidas ou mecanismos que aumentam a economia, a eficiência de recursos e o desempenho dos edifícios.

Segundo Cabreira (2010, p. 57), a Construção Sustentável pressupõe uma visão holística entre ambiente construído e ambiente natural, considerando todo o ciclo de vida do edifício:

Este conceito vai além do processo construtivo propriamente dito incluindo toda a cadeia crítica que envolve a produção de um bem construído: extração de matérias-primas, processamento e distribuição de componentes, construção propriamente dita, operação, manutenção, demolição e deposição final dos resíduos.

Dessa forma, percebeu-se que os insumos gerados em uma construção e seus rejeitos gerados ao longo de todo o seu ciclo de vida impactam a natureza em escala local (impactos

⁷ FERNANDEZ, P. **A Arquitetura e a Problemática Ambiental**. Palestra no PROARQ/ UFRJ, na disciplina Tópicos Especiais em CAEE. Sustentabilidade: Outras Visões. Coord. Prof^ª: Cláudia Barroso-Krause. 2002.

diretos ao sítio e ao entorno), regional (esgotamento de recursos e poluição) e ainda contribuem com danos referentes à escala global, como aquecimento global e mudanças climáticas.

Neste contexto, os profissionais ligados ao Setor da Construção, principalmente os arquitetos, buscam adotar conceitos e práticas mais conscientes que integrem a Arquitetura às características dos diversos usos previstos, ao clima e condicionantes locais, produzindo edifícios de baixo consumo energético que, aliados ao aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (como iluminação natural e água de chuva) e às técnicas de execução mais eficientes, possam contribuir para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações.

1.3. As estruturas metálicas e os sistemas de fechamento

O emprego das estruturas metálicas já é apontado como uma das alternativas para a construção civil sustentável por aliar velocidade, qualidade e racionalização, diminuindo desperdícios. Porém, no panorama nacional, existe uma carência de tecnologias para aliar sistemas eficientes de construção ao aço, por exemplo, na execução de fechamentos externos, lajes e divisórias internas, o que dificulta a viabilização do emprego generalizado de construções metálicas neste país.

As características dos sistemas originados em processos industriais possibilitam a incorporação da racionalização e da agilidade das linhas de montagem no fechamento das estruturas, visando um produto final de uso e manutenção mais racionais e eficientes.

Este seria um “edifício inteligente”, ou seja, uma construção que se apropria da tecnologia disponível no mercado para atingir os melhores desempenhos ambientais e construtivos possíveis. É importante salientar, portanto, que o uso de inovações tecnológicas em uma construção não é garantia de melhor desempenho, sendo imprescindível que, para se atingir esta eficiência, utilizem-se os sistemas e os materiais de forma adequada e de acordo com os condicionantes de cada situação (HERMSDORFF, 2005, p. 14).

A principal característica da construção industrializada é a determinação de cada passo do processo construtivo ainda em fase de projeto, de modo a evitar qualquer alteração na obra em andamento. Dessa forma, o uso da alvenaria tradicional para fechamento distancia-se dos conceitos de montagem industrial e precisão dimensional que caracterizam o emprego de estruturas metálicas por se tratar de um processo de edificação lento, artesanal e passível de erros e improvisações (SALES; SOUZA; NEVES, 2002).

Marques (2007) concluiu em seu trabalho, por meio de entrevistas com arquitetos brasileiros que se preocupam com a preservação do meio ambiente através da aplicação de

arquitetura sustentável, que uma das principais dificuldades que enfrentam na seleção de materiais está na falta de informações disponíveis em relação às características dos materiais.

O problema do emprego de sistemas construtivos industrializados para fechamento de edificações estruturadas em aço parece estar na pouca familiarização dos profissionais ligados ao Setor com esses sistemas associada à falta de treinamento da mão-de-obra predominante no Brasil. Faltam informações sobre os fechamentos disponíveis, conhecimento de suas vantagens aplicativas e domínio da metodologia construtiva racionalizada (BASTOS, SOUZA, 2007).

1.3.1. Proposta

Considerando que as edificações têm sido uma das grandes fontes geradoras do processo de degradação ambiental das últimas décadas em decorrência do consumo de recursos, energia e de materiais envolvidos, não só na construção, como também pelo processo de manutenção ao longo de sua vida útil, propõe-se nessa pesquisa, avaliar as edificações em estruturas metálicas e os painéis de fechamento verticais industrializados sob a ótica de alguns critérios de sustentabilidade ambiental para indicar suas possíveis contribuições para a sustentabilidade ambiental de uma edificação.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo principal

O objetivo principal desta dissertação é estabelecer recomendações de projeto, manutenção e montagem de edificações estruturadas em aço ambientalmente sustentáveis a fim de auxiliar os projetistas e demais profissionais ligados ao Setor da Construção Civil a incorporarem os conceitos de sustentabilidade no planejamento e na obra.

1.4.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo principal contemplam-se os seguintes objetivos específicos:

- realizar uma revisão bibliográfica em relação ao tema da sustentabilidade no processo de Construção Civil;
- prover uma base de conceitos e referências para o estabelecimento de critérios para a seleção de materiais e componentes mais sustentáveis em edificações por meio do estudo de sistemas e/ou ferramentas de avaliação e certificação ambiental de edificações enfatizando as metodologias brasileiras: Referencial Técnico Brasileiro AQUA (Alta Qualidade Ambiental), Selo SustentaX e Regulamento Técnico da Qualidade para a

Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos⁸ e a metodologia norte-americana LEED-NC (*Leadership in Energy & Environmental Design- New Construction*);

- reunir informações relativas à seleção de materiais sob a ótica da sustentabilidade, por meio da análise dos principais critérios adotados pelas certificações e metodologias analisadas;
- identificar os principais impactos relacionados à produção e utilização do aço na construção civil, bem como suas vantagens construtivas;
- analisar os processos produtivos e as características dos principais painéis de fechamentos verticais industrializados disponíveis no mercado brasileiro indicados para uso em construções estruturada em aço, no intuito de avaliar as vantagens e desvantagens de seu emprego em edificações mais sustentáveis;
- realizar um estudo de caso sobre a seleção de materiais de fechamentos para a construção do CENPES II, edificação brasileira sustentável ambientalmente estruturada em aço e
- propor recomendações capazes de auxiliar os agentes da construção civil no desenvolvimento de empreendimentos estruturados em aço mais sustentáveis ambientalmente.

1.5. Justificativa e relevância

Para Lemoine (2002), as experiências europeias comprovam que as construções em aço utilizam tecnologia limpa, reduzem sensivelmente os impactos ambientais na etapa de construção e, concluída a obra, garantem segurança e conforto aos ocupantes das edificações, embora representem um alto custo energético embutido no processo de fabricação do material.

O tempo superior de vida útil da estrutura de aço em comparação às soluções alternativas, somado às possibilidades de reutilização e reciclagem contribuem para compensar os impactos decorrentes da sua fabricação. Os sistemas de fechamentos das edificações estruturadas em aço também devem ser especificados com base em seu desempenho térmico, adequação ao sistema estrutural, redução do consumo de energia e compatibilidade com os critérios sustentáveis.

A sistematização dos processos proporcionada pela construção industrializada tende a restringir os problemas à indústria, onde geralmente são minimizadas as perdas de materiais,

⁸ Aprovado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO, na Portaria n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009, disponível no Anexo da Portaria INMETRO n.º 53/2009.

principalmente se as empresas aplicam um sistema de gestão do processo que visa a qualidade do produto, a redução de desperdícios e a economia de recursos.

A organização e a combinação dos materiais e dos sistemas industrializados permitem que o canteiro de obras de uma edificação estruturada em perfis de aço com fechamentos industrializados seja apenas um local de montagem mais eficiente, o que leva à sustentabilidade, pois diminui desperdícios e o esforço humano.

Desse modo, o Desenvolvimento Sustentável, no âmbito da construção civil, torna imperativo o estudo dos aspectos ambientais do aço, do seu sistema estrutural e dos principais sistemas de fechamento, uma vez que se sabe que a utilização de materiais de construção é um dos grandes fatores que causam problemas ao meio ambiente e se reconhece que muitos dos profissionais ignoram o consumo energético, o impacto ambiental e as vantagens da utilização da maioria dos materiais. Conhecendo-se algumas características dos materiais, podem-se escolher inúmeras estratégias para tentar minimizar os impactos ambientais inerentes ao seu uso.

Segundo Martins (2010), a população urbana brasileira cresceu em ritmo acelerado e desprovido de planejamento adequado proporcionando igualmente uma rápida deterioração do ambiente natural e urbano e da qualidade de vida da população. O processo de crescimento contínuo da população implica em cada vez mais consumo e poluição ambiental. Por isso as cidades e seus protagonistas são o foco das atenções para estratégias de desenvolvimento sustentável desejáveis para qualquer país.

Segundo Montes (2005), embora as pessoas estejam conscientes da importância de se pensar em um contexto sustentável, isso ainda não é uma prioridade para todos os projetistas na hora de planejar a arquitetura devido à carência de ferramentas de orientação para o mercado da Construção Civil, principalmente na etapa de concepção. Faltam bases teóricas e práticas para uma arquitetura sustentável.

Por outro lado, o interesse por avaliações ambientais de edificações tende a ser potencializado em todos os segmentos do Setor da Construção em vista do grande apelo mercadológico que um possível bom desempenho tem sobre a valorização dos imóveis.

1.6. Metodologia

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho foram organizados em três etapas: investigação teórica e documental, parte prática de pesquisas em campo, visitas técnicas e entrevistas e definição de resultados.

A etapa de investigação teórica e documental consistiu em:

- pesquisa bibliográfica em relação ao tema da Sustentabilidade no processo de Construção Civil;
- levantamento dos sistemas de avaliações e certificações ambientais existentes mais significativos e de pesquisas brasileiras existentes e em andamento relativas ao estabelecimento de práticas sustentáveis e etiquetagem de construções;
- análise das certificações brasileiras: AQUA, SustentaX e Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e da certificação norte-americana LEED-NC para levantamento e identificação dos critérios de escolha de materiais sob a ótica da sustentabilidade;
- identificação dos principais impactos relacionados à produção e à utilização do aço na construção civil e
- análise dos manuais e revisão bibliográfica sobre os principais sistemas de fechamentos indicados para as construções estruturadas em aço disponíveis no Brasil. Foram analisados os fechamentos: painel de gesso acartonado da empresa KNAUF, painel cimentício da empresa BRASILIT, painel OSB - *Oriented Strand Board*, da empresa LP BRASIL e os painéis de concreto armado das empresas PREMO e PRECON.

A parte prática de pesquisas em campo, visitas técnicas e entrevistas envolveram:

- visitas às fábricas: KNAUF, BRASILIT, PREMO e PRECON, para a investigação das diversas etapas do processo de produção;
- realização de entrevistas aos fabricantes e fornecedores dos fechamentos selecionados para a complementação de informações indisponíveis sobre os produtos analisados;
- realização de estudo de caso da ampliação do Centro de pesquisas da Petrobrás – CENPES II, primeiro grande empreendimento sustentável no Brasil, com edificações estruturadas em aço que utilizam painéis de fechamento industrializados por meio de visita técnica e levantamento de informações com profissionais da empresa e
- entrevista com o arquiteto Siegbert Zanettini autor do projeto CENPES II

A etapa de definição de resultados consistiu em:

- estabelecer subsídios para orientar os agentes da construção civil na tomada de decisões em busca de edifícios mais sustentáveis estruturados em aço.

1.7. Estrutura da dissertação

Além deste capítulo introdutório, este trabalho compreende mais sete capítulos, descritos a seguir.

No Segundo Capítulo apresenta-se uma ampla e contextualizada revisão da temática Sustentabilidade na Construção Civil, abordando seus aspectos e principais impactos. Fez-se também uma revisão bibliográfica sobre a Agenda 21 para Construções Sustentáveis e algumas considerações sobre Arquitetura Sustentável. Também foram estudadas as possíveis metodologias de avaliação da Sustentabilidade de uma construção.

O Terceiro Capítulo trata dos mais representativos referenciais metodológicos sobre Sustentabilidade na Construção Civil brasileira. Foram estudados os critérios de seleção dos materiais das seguintes metodologias de avaliação: Referencial Técnico Brasileiro AQUA, Selo SustentaX, Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e a metodologia norte-americana LEED-NC.

O Quarto Capítulo reúne informações relativas à seleção de materiais sob a ótica da sustentabilidade. Apresenta-se um preâmbulo dos principais parâmetros adotados pelas certificações e metodologias analisadas no Capítulo 3.

No Quinto Capítulo investigou-se a história do uso do aço na Construção e a situação das Construções Metálicas no país. Abordaram-se os sistemas de sustentação do tipo *Light Steel Framing* e *Drywall*. As vantagens e desvantagens da utilização do aço na Construção foram identificadas, principalmente nos aspectos ambientais e seu processo de produção e reciclagem no Brasil foi analisado.

O Sexto Capítulo apresenta os resultados da investigação dos processos produtivos e das características dos painéis de fechamento analisados. Foram levantadas as informações consideradas mais importantes no processo de seleção de materiais para edificações mais sustentáveis. As características e vantagens e desvantagens do emprego de cada tipo de painel foram apresentadas em quadros resumos no final do capítulo.

No capítulo Sete, apresenta-se o estudo de caso sobre a seleção de materiais de fechamentos verticais para a construção do CENPES II, descrevendo sobre os principais documentos elaborados durante as fases de desenvolvimento do projeto e execução da obra. Algumas informações relevantes relativas ao projeto e ao uso do aço na arquitetura foram descritas na entrevista com o arquiteto Siegbert Zanettini, autor do projeto. Propõe-se, ao final do capítulo algumas recomendações para agentes envolvidos no projeto, execução e manutenção de edificações estruturadas em aço.

No Capítulo Oito, apresentam-se as conclusões e limitações do estudo, bem como, sugestões para futuros trabalhos afins.

2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1. O impacto da Construção Civil – Cenário brasileiro

O ambiente urbano, principalmente as edificações, são grandes contribuintes do aumento de degradações ambientais ocorridas nas últimas décadas. Entre os principais fatores desses impactos negativos destacam-se: o excessivo consumo energético do setor da construção, o uso indiscriminado e exacerbado de recursos naturais para a produção de materiais de construção e a geração de resíduos e emissão de poluentes para a natureza.

O *construbusiness*⁹ provoca impactos econômicos e ambientais bastante expressivos. Para se ter uma idéia, a indústria da construção e seus produtos consomem aproximadamente 40% da energia e dos recursos naturais e gera 40% dos resíduos produzidos por todo o conjunto de atividades humanas, variando a porcentagem de acordo com o país (SJÖSTROM¹⁰, 2000, apud JOHN; SILVA; AGOPYAN, 2001). No caso dos EUA essa porcentagem chega a atingir até 75% (JOHN, 2000).

O principal gás do efeito estufa é o CO₂ e a principal fonte dele, segundo Roaf (2006), as edificações são grandes responsáveis das emissões feitas pelo homem. Segundo o Escritório Meteorológico dos EUA (apud ROAF, 2006), as previsões para 2080, mantendo-se as taxas atuais de crescimento dos gases do efeito estufa, indicam impactos substanciais, tais como: aumento de 3° C na temperatura padrão global em relação às médias registradas entre as décadas de 60 e 90; morte de florestas tropicais e de pastagens; reduções substanciais dos índices pluviométricos de alguns países; aumento do nível do mar em 40 cm; impactos à saúde gerais e diversos, entre outros.

Um relatório feito pela Comissão sobre Poluição Ambiental no Reino Unido afirma que para estabilizar as mudanças climáticas serão necessários cortes de cerca de 60% em todas as emissões de CO₂. Isso significa usar 60% menos de energia para se manter uma edificação inglesa (ROAF, 2006).

Já Druszcz (2002) afirma que o impacto da construção civil ocorre em toda a sua cadeia produtiva, desde a concepção dos edifícios até a sua demolição. Dentre os impactos podem-se citar os próprios insumos da construção civil como grandes consumidores de recursos naturais e de energia e os diversos tipos de resíduos gerados durante a execução da construção e o seu volume, o que afeta, e muito, a vida nas grandes áreas urbanas.

⁹ Termo criado pela indústria da construção brasileira para auxiliar a sua organização política. Corresponde ao macrocomplexo da construção civil, que inclui indústria de construção em si e todos os segmentos indiretamente ligados.

¹⁰ SJÖSTROM, C. **Durability of Building Materials and Components**. In: CIB Symposium on Construction and Environment: theory into practice. 23-24 de novembro de 2000. São Paulo, 2000.

O Brasil possui uma cultura construtiva, caracterizada pelo uso do concreto armado como sistema estrutural e da alvenaria tradicional como fechamento vertical, que facilita a acumulação de resíduos na construção e desperdícios no canteiro de obras (RIBAS, 2006; KRÜGER; SOUZA; FREITAS, 2001).

O êxito do concreto armado no Brasil explica-se por várias razões. Até o final da década de 70 a Construção Civil teve grande parte dos investimentos financiados pelo Estado, que não possuía programas de qualidade para o Setor e desestimulava o interesse de investimentos em tecnologia. O fato de que grande parte da mão-de-obra era composta por profissionais despreparados e desqualificados também dificultava o processo de transformação e inovação da construção. Além disso, a preparação do concreto no próprio canteiro de obras e a construção de paredes em alvenaria não exigia operários qualificados, fato importante num país onde eles são escassos, mas que em compensação, conta com abundante mão-de-obra não qualificada (CAMPARI, 2006)

As razões econômicas também tiveram papel decisivo para estabelecer o modo de construção tradicional no país. Os componentes básicos do concreto, areia e cascalho, eram encontrados em qualquer lugar e a preços muito baixos. Independente de suas qualidades técnicas e plásticas, o concreto armado era o material mais barato para uso estrutural e precisava de trabalho artesanal e mão-de-obra barata para se estabelecer, qualidades que se adaptaram às necessidades de um país em desenvolvimento (CAMPARI, 2006).

Em um país como o Brasil, pela sua magnitude e pelo nível de desenvolvimento e de recursos que aqui se encontram, parece imprescindível uma mudança de valores dentro da arquitetura que enfoque esse pensamento acerca da sustentabilidade, pois não há desenvolvimento sustentável sem construção sustentável. Segundo John; Silva e Agopyan (2001), qualquer sociedade que procure atingir um desenvolvimento mais sustentável precisa necessariamente passar pelo estabelecimento de políticas ambientais específicas para a construção civil.

O Balanço Energético Nacional (BEN) indica o consumo de energia elétrica no Brasil dividido por setor, tanto em termos de porcentagem participativa, quanto em valores absolutos. A figura 2.1 apresenta a participação dos setores no consumo final energético relativo a 2007.

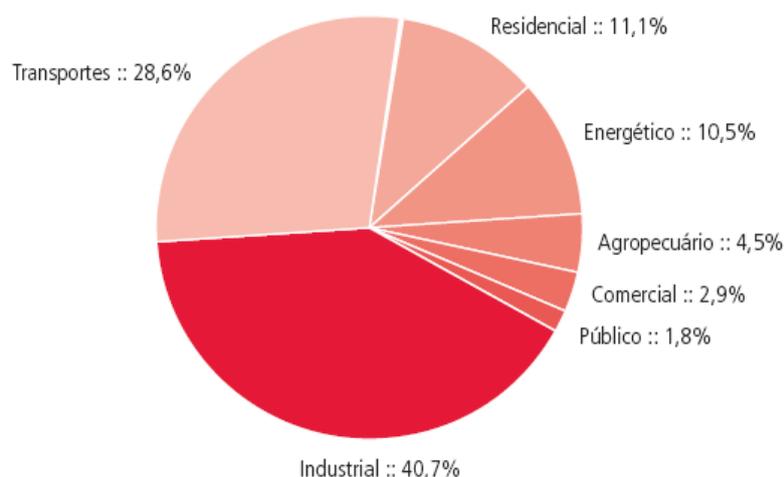


Figura 2.1- Participação dos setores no consumo final energético no Brasil, 2007.
Fonte: BRASIL, 2008.

Conforme mostra a figura 2.1, o consumo deu-se em 40,7% para o setor industrial; 11,1% para o setor residencial; 2,9% para o setor comercial e 1,8% para o setor público, o que mostra que um dos maiores esforços na procura de uma arquitetura mais sustentável nas edificações deve estar concentrado nos setores industrial, residencial e comercial (BRASIL, 2008). Além disso, na tabela 2.1 observa-se, pelos dados apresentados, que houve um aumento de 6,8% no consumo final energético comparando os índices relativos a 2006 com os dados de 2007.

Tabela 2.1- Índices comparativos de consumo final energético

Setor	2007	2006	Δ %
Industrial	81.915	76.757	6,7%
Transportes	57.621	53.270	8,2%
Residencial	22.271	22.090	0,8%
Energético	21.049	18.823	11,8%
Agropecuário	9.062	8.550	6,0%
Comercial	5.935	5.631	5,4%
Público	3.557	3.453	3,0%
Total	201.409	188.574	6,8%

Fonte: BRASIL, 2008.

2.2. Agenda 21 para a Construção Sustentável

Na década de 80 começaram os movimentos para a definição de metas ambientais que passaram a ser discutidos em convenções globais. Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida por ECO 92, foi realizada no Rio de Janeiro. Nessa ocasião a meta do Desenvolvimento Sustentável

ganhou comprometimento e reconhecimento global com a publicação da chamada “Agenda 21”, concluída após a colaboração e o envolvimento de 179 países durante o período de dois anos (MONTES, 2005).

A Agenda 21 é uma estratégia contendo um programa de ação global para o século seguinte, que constitui na tentativa de promover um novo padrão de desenvolvimento, estabelecendo uma tentativa de equilibrar as necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais do planeta, bem como a elaboração, em cada país, de políticas públicas para o Desenvolvimento Sustentável, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (ONU¹¹, 1992 apud MARTINS, 2010).

No Setor da Construção Civil, as interpretações da Agenda 21 mais relevantes são: a Agenda Habitat II, assinada na Conferência das Nações Unidas realizada em Istambul, em 1996; a *Agenda 21 on Sustainable Construction*, que contempla, entre outros, medidas para redução de impactos por meio de alterações na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo; e a Agenda 21 para construção sustentável em países em desenvolvimento (*Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*) (SILVA, 2003).

Em 2002, a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional (CPDS) lançou a Agenda 21 Brasileira que apresenta os desafios emergenciais a serem enfrentados pela sociedade brasileira rumo a um novo desenvolvimento. As propostas foram organizadas por meio de 21 objetivos desdobrados em ações e recomendações que se emolduram sob temas como: a economia da poupança na sociedade do conhecimento; a inclusão social por uma sociedade solidária; a estratégia para a sustentabilidade urbana e rural; os recursos naturais estratégicos - água, biodiversidade e florestas; e a governança e ética para a promoção da sustentabilidade (BRASIL, 2002).

John; Silva e Agopyan (2001) analisaram a Agenda 21 para a Construção Sustentável e apresentaram algumas discussões para propor uma Agenda 21 para a Construção Brasileira, onde seriam consideradas as demandas nacionais em relação aos aspectos econômicos sociais e ambientais. Dessa forma, a estrutura da Agenda 21 proposta pelo CIB¹², foi organizada em três grandes temáticas: (1) qualidade ambiental de edifícios e produtos de construção; (2) consumo de recursos e (3) gerenciamento e organização de processos.

¹¹ ONU. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992. 351p.

¹² INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB). *Agenda 21 on Sustainable Construction*. **CIB Report Publication 237**. Rotterdam, CIB, 1999.

No aspecto “qualidade ambiental de edifícios e produtos de construção” abordam-se os itens: qualidade do ar interno, avaliação ambiental de edifícios e de produtos para construção com base em seu ciclo de vida, seleção de materiais ambientalmente saudáveis e poluição em canteiro e indústrias.

O tema “consumo de recursos” trata fundamentalmente da redução de consumo de recursos naturais. Entre os itens desse tema destacam-se: redução de desperdício e gestão de resíduos, reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e aumento no uso de reciclados como materiais de construção, uso racional de água, uso racional de energia e aumento da eficiência energética do setor, demanda por tecnologias de conservação de energia, aumento da durabilidade, planejamento da manutenção e melhoria da qualidade da construção.

Sobre o tema “gerenciamento e organização de processos”, os autores estabelecem itens a serem observados para a viabilização dos aspectos ambientais da Agenda 21 para a Construção Civil, ressaltando que será necessária uma radical transformação organizacional e gerencial do setor. Os itens abordados foram: definição de padrões e melhoria da qualidade ambiental das construções (projeto, processo e produto), intensificação do caráter multidisciplinar do processo de projeto, re-engenharia do processo construtivo, capacitação de recursos humanos e melhoria da segurança no ambiente de trabalho, desenvolvimento de normalização orientada à qualidade ambiental de edifícios e produtos para construção e educação, informação e conscientização pública.

2.3. Aspectos da sustentabilidade na Construção Civil Européia

Gervásio e Silva (2005) relatam que a União Européia tem desenvolvido grandes esforços no sentido de desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela atividade da indústria da construção e pelo ambiente construído. No documento “Competitividade da Indústria da Construção”¹³, a Comissão Européia identificou as principais metas para a indústria da construção alcançar em relação à sustentabilidade: uso de materiais de construção “amigos do ambiente”¹⁴; eficiência energética em edifícios e gestão de desperdícios da construção e/ou demolição.

Quanto à primeira meta, a indústria da construção deve incentivar o uso de materiais de construção “amigos do ambiente”, pois aproximadamente 50% de todos os materiais

¹³ *THE COMPETITIVENESS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY. Communication from the European Commission. COM (97)539, 1997.*

¹⁴ Considerados os materiais que impactam menos o ambiente como: os obtidos a partir de resíduos, os mais duráveis, os obtidos a partir de fontes naturais, os recicláveis e os de baixa energia incorporada.

extraídos da crosta terrestre são transformados em materiais e produtos para a construção e quando instalados em edifícios, incluindo a energia durante a sua utilização, representam 40% de toda a energia utilizada. Além do mais, esses mesmos materiais quando transformados em resíduos sólidos, contabilizam cerca de 50% de todos os resíduos produzidos antes da reciclagem ou reutilização (THE COMPETITIVINESS¹³..., 1997 apud, 1997 GERVÁSIO; SILVA, 2005).

A eficiência energética em edifícios é uma das metas estabelecidas porque os processos de construção, operação e conseqüente demolição de edifícios contabilizam aproximadamente 40% de toda a produção de energia e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa. O potencial para a redução da emissão desses gases no Setor de edificações é maior do que em qualquer outro setor, representando conseqüentemente uma fatia considerável na redução de emissões de forma a atingirem-se os objetivos definidos no Protocolo de Kyoto (THE COMPETITIVINESS¹³..., 1997 apud, 1997 GERVÁSIO; SILVA, 2005).

A meta “gestão de desperdícios da construção e/ou demolição” foi estabelecida porque os desperdícios da construção e demolição constituem a maior fonte de resíduos sólidos por peso na Europa e o armazenamento destes resíduos representa cada vez mais dificuldades. Por isso, torna-se necessário reforçar a idéia da minimização dos resíduos sólidos e da reciclagem (THE COMPETITIVINESS¹³..., 1997 apud, 1997 GERVÁSIO; SILVA, 2005).

No Brasil, embora grande parte dos resíduos da construção civil seja gerada por demolições e por construções novas, como no exemplo europeu, as obras em processo de renovação e reforma também são grandes responsáveis por esses desperdícios, em razão da característica artesanal da construção. No país, cerca de 98% das obras utilizam métodos tradicionais. O entulho típico retirado da obra é constituído majoritariamente de perdas de argamassa, algo em torno de 64%. Os componentes de fechamento correspondem a 30% do total de entulho e os 6% restantes são compostos de outros materiais como: concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos (CAMPARI, 2006).

Esses resíduos acabam sendo, em grande parte, depositos sem o devido cuidado. Segundo Campari (2006) dos 4.425 municípios brasileiros, 88% lançam os resíduos a céu aberto e 12% depositam em aterros. Os aterros controlados somam 86%, enquanto apenas 10% são aterros sanitários e 4% são aterros especiais. Apenas 1% dos municípios possuem usinas de compostagem, reciclagem e incineração.

O fato de ainda se construir com métodos artesanais e poluentes pode indicar que grande parte dos profissionais brasileiros ligados à construção civil desconhece as vantagens da construção industrializada e, portanto, não contribuem para o sucesso de tecnologias construtivas voltadas para evitar desperdícios energéticos e poluição no solo com resíduos.

2.3. Qualidade ambiental na Construção Civil

As questões ambientais relacionadas às atividades da indústria e do comércio assumiram uma importância crescente a partir da última década com o surgimento de sistemas de gestão que fornecem normas para os processos internos de forma que a qualidade dos produtos e serviços seja melhorada. A ISO (*International Organization for Standardization*) é a maior desenvolvedora mundial de normas técnicas voluntárias e que procuram dar um marco de referência ou uma linguagem técnica comum entre fornecedores e usuários, para facilitar o comércio e a transferência de tecnologia.

Dentre as principais normas relativas ao assunto abordado nesta dissertação destacam-se a NBR ISO 9001: 2008 - Sistema de Gestão da Qualidade e a NBR ISO 14001: 2004 - Sistemas de Gestão Ambiental- Especificação e Diretrizes para Uso. A NBR ISO 9001: 2008 fornece os requisitos para a aplicação de um sistema de gestão da qualidade, focando no compromisso com a satisfação do cliente e na melhoria da qualidade da construção (no caso do setor civil). A NBR ISO 14001:2004 objetiva auxiliar as organizações a minimizarem os efeitos nocivos causados ao meio ambiente pelas suas atividades, indicando as especificações e diretrizes para um compromisso com as operações ambientalmente seguras, garantindo um sistema de gestão ambiental (ABNT, 2008; ABNT, 2004).

Como essas normas são ferramentas metodológicas, podem ser aplicadas tanto na obtenção de um produto, quanto de um serviço.

A aplicação do sistema de gestão da qualidade no processo de projeto não garante a certificação de sustentabilidade de um edifício, nem soluções eficientes do ponto de vista ambiental. Porém, como esse sistema auxilia no gerenciamento de um processo complexo (caso de um projeto sustentável) e quando aplicado no setor de construção pode melhorar a sua qualidade, evitando desperdícios e proporcionando economia de recursos, a adoção desse sistema pode contribuir para a obtenção da certificação.

Os resultados de uma melhor qualidade ambiental das construções por meio da aplicação dos sistemas de gestão contribuem para o controle de peças e materiais na execução da obra e na gestão de resíduos de forma a causar menores impactos ambientais. Portanto, a aplicação dos sistemas de gestão da qualidade e gestão ambiental durante o processo de

projeto e na etapa da construção, pode facilitar a integração e a eficiência da qualidade ambiental das edificações e da gestão sustentável da construção.

2.4. Arquitetura Sustentável

A arquitetura sempre esteve refletindo o contexto histórico, cultural, ambiental, social, político e de avanços tecnológicos de cada povo em um determinado tempo. Assim, os movimentos arquitetônicos surgem, entre outros, como resposta a interesses, necessidades, avanços construtivos, tecnológicos e materiais disponíveis de cada época. Nas últimas décadas, as mudanças ambientais ocorridas no mundo vêm indicar aos projetistas a necessidade de tornar a incorporar novos critérios e condicionantes de concepção baseados na sua relação com a Natureza.

Desde a década de 70, quando ocorreu a Crise do Petróleo, até o presente momento, a visão sobre o que denominamos Construção Sustentável vem se modificando e aprofundando. No início, a discussão era sobre edifícios energeticamente mais eficientes. O desafio era superar a Crise do Petróleo construindo prédios que consumissem menos energia, que incorporassem, por exemplo, a energia solar passiva. Depois, a preocupação passou a ser seu impacto nas mudanças climáticas, com as emissões de CO₂ e os gases responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a preocupação com os impactos da construção civil encontrou problemas objetivos: o entulho gerado pela obra; a água tratada potável desperdiçada; o lixo na fase de operação, entre outros.

De acordo com Araújo (2005), a construção sustentável não é um modelo para resolver problemas pontuais, mas uma nova forma de pensar a própria construção e tudo que a envolve. A Arquitetura Sustentável deve seguir um enfoque integrado com a própria atividade, uma abordagem sistêmica em busca de um novo paradigma: o de intervir no meio ambiente, preservando-o e, em escala evolutiva, recuperando-o e gerando harmonia no entorno.

O conceito de moderna Construção Sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que enfrente e proponha soluções aos principais problemas ambientais de sua época, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários. Trata-se de uma visão multidisciplinar e complexa, que integra diferentes áreas do conhecimento a fim de reproduzir a diversidade que compõe o mundo [...] Em seu arcabouço teórico encontram-se conhecimentos de arquitetura, engenharia, paisagismo, saneamento, química, elétrica, eletrônica, mas também de antropologia, biologia, medicina, sociologia, psicologia, filosofia, história e espiritualidade (ARAÚJO, 2005, p.1).

A obra sustentável¹⁵ deve ser mais responsável pelo que consome, gera, processa e elimina, buscando conseguir o máximo de auto-suficiência. Uma das características mais marcante deve ser a sua capacidade de planejar e prever todos os impactos que possa provocar, antes, durante e depois do fim de sua vida útil, já no processo de demolição.

A Construção Sustentável se difere da ecológica¹⁶ por ser produto da moderna sociedade tecnológica, podendo utilizar tanto materiais naturais e produtos provenientes da reciclagem, quanto outros materiais distintivos, porém que ofereçam benefícios considerados sustentáveis para a edificação como um todo. Portanto, esse tipo de edificação não precisa necessariamente utilizar recursos naturais locais de maneira integrada ao meio, característica das chamadas “Construções Ecológicas”. Segundo Araújo (2005), a “habitação Ecológica” é praticamente impraticável nos modernos centros urbanos, onde a heterogeneidade de povos e culturas e o estilo de vida e produção exigem materiais oriundos de lugares distantes e uma construção civil executada por profissionais da área.

Segundo Campari (2006), a Construção Sustentável faz uso de eco-materiais e de soluções tecnológicas e inteligentes para promover o bom uso e a economia de recursos finitos (água e recursos não renováveis), a redução da poluição e a melhoria da qualidade do ar no ambiente interno e o conforto de seus usuários. Tanto as Construções Sustentáveis quanto as Ecológicas geram edificações que preservam o meio ambiente e buscam soluções locais para problemas por elas mesmas criados, além de atenderem aos requisitos para os quais foram idealizadas, ou seja, dos usuários e suas especificidades.

As edificações consideradas sustentáveis ambientalmente podem vir a requerer projetos complexos, dos quais dependem uma série de variáveis, como clima, entorno, uso etc. Essa complexidade implica em novos procedimentos de gerenciamento de informações durante todo o processo para garantir: projetos multidisciplinares e integrados; aplicação de inovações, soluções e tecnologias sustentáveis; mão-de-obra especializada e profissionais capacitados; reciclagem de resíduos; além de assegurar o desempenho energético das edificações e a qualidade ambiental dos projetos. Ou seja, os projetos serão tanto mais complexos quanto maiores forem os desafios dos impasses e necessidades internas e externas.

Roaf (2006) e Wines (2008) acreditam que ainda existe um longo caminho para catalogar diretrizes de responsabilidades ambientais quanto à construção, mas que, em breve, a maioria dessas responsabilidades deve ser transformada em regulamentos pela ciência e

¹⁵ Definida aqui como a etapa de operações no canteiro de obras.

¹⁶ Um dos termos surgidos nos anos 90 na busca por uma arquitetura mais sustentável.

pelos governos e deverão ser emitidas permissões para as construções dependendo da subordinação aos princípios estabelecidos.

Em algum momento de um futuro não tão distante os projetistas serão forçados a levar em consideração suas responsabilidades ambientais globais. Isso será feito através de regulamentação de edificações, aumentos de preço de combustíveis e das taxas de carbono. O quanto antes começarmos a mudar a arquitetura de um processo de arte guiada pela aparência a um processo de arte guiada pelo desempenho, melhor preparados estaremos para lançar as fundações da edificação era pós-combustível fóssil (ROAF, 2006, p.19).

Wines (2008) apresenta medidas ambientais, algumas polêmicas, para obter edificações mais sustentáveis:

- edifícios menores: preferência por edifícios com menos de 6 pavimentos;
- uso de materiais recicláveis e renováveis: propõe uma atenção maior à seleção dos materiais de construção, escolhendo preferencialmente os de potencial reciclável como resultado da produção tecnológica e assegurando o potencial de ser reutilizado;
- uso de materiais de baixa energia incorporada: atenção para a biografia inteira do produto;
- uso de madeira certificada e evitar o uso madeiras exóticas;
- uso de sistemas de captação de água de chuva e também de reciclagem de águas cinzas;
- uso de materiais e tecnologias de baixa manutenção;
- reciclagem de edificações e aproveitamento de estruturas existentes para adaptação e re-uso;
- redução do uso de substâncias químicas que reduzem a camada de ozônio;
- preservação do meio-ambiente natural e
- eficiência energética: utilizar diversos recursos de energia como a solar passiva, força do vento e da água, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e projetar de acordo com o clima local.

Analisando as medidas ecológicas para edificações recomendadas por Wines (2008) conclui-se que a indicação de edifícios menores, de no máximo seis pavimentos, seria inviável em uma grande metrópole com grandes centros urbanos. Da mesma forma, contrariando a opinião de diversos autores que recomendam a utilização apenas de materiais locais e renováveis para a construção sustentável (como a madeira e a terra), a construção de uma edificação de grande porte ou em regiões muito urbanas utilizando grande quantidade de materiais naturais e não processados industrialmente pode ser até mais impactante

ambientalmente e menos eficiente do ponto de vista estrutural e da possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem no fim da vida útil.

Para Yeang¹⁷ (2006, apud OLIVEIRA, 2009), o alto desenvolvimento tecnológico, gerando novos materiais e sistemas prediais podem diminuir impactos e promover um aumento de bem-estar humano e incremento no ecossistema local. Exemplo disso são as edificações que integram materiais orgânicos e inorgânicos, utilizam coberturas verdes e minimizam os impactos ambientais sem abrir mão do emprego de alta tecnologia, como apresentado nas figuras 2.2 e 2.3. Nos projetos de edifícios que utilizam desse recurso para maior integração com a natureza deve-se considerar a sua altura e as espécies orgânicas utilizadas, pois à medida que ficam mais alto, mais alterações podem sofrer o micro-clima e algumas espécies podem não se desenvolver adequadamente.

Outro exemplo de construção mais sustentável que não implica necessariamente em emprego de materiais naturais são as edificações construídas com materiais pré-fabricados. Na maioria das vezes os materiais pré-fabricados podem ser montados, desmontados, transportados e mesmo reciclados ou reaproveitados facilmente. Essas construções geralmente são projetadas de forma modular e apresentam planta flexível, podendo incorporar mais ambientes, se necessário, sem desperdício de materiais.



Figura 2.2: Human Research Institute- Proposta de edificação sustentável do arquiteto Ken Yeang.
Fonte: YEANG, 2007.

¹⁷ YEANG, Ken. *Ecodesign: a manual for ecological design*. Londres: Willey Academy, 2006.



Figura 2.3: ACROS Building, Fukuoka, Japão, 1989-95. Edificação sustentável projetada pelo arquiteto Emílio Ambasz. Fonte: AMBASZ, 2007.

Portanto, pode-se concluir que não existem regras absolutas quando se trata de Construções Sustentáveis. A seleção de materiais e componentes para a construção pode acontecer de forma variada, dependendo de fatores econômicos, sociais, ambientais e culturais do local onde a construção estará inserida. Definir o que vem a ser correto em Arquitetura Sustentável é um desafio hoje ainda complexo, que depende de uma variedade de fatores locais e globais que devem ser considerados e de conhecimento necessário em várias áreas.

Uma obra sustentável nunca pode ser reproduzida sem deixar de ser fiel a si mesma, pois é um sistema ‘vivo’, que obedece ao princípio de que ‘cada organismo tem sua própria necessidade de interação com o meio’. Não existe, portanto, uma ‘receita de bolo’ para uma obra sustentável, mas pontos que devem ser buscados, atendendo sempre a máxima da Rio-92: “Pensar global e agir local”. É a partir do local de implantação e de todas suas interações (ecológicas, sociais e econômicas), do perfil do cliente e das necessidades do projeto, que se define uma obra sustentável (ARAÚJO, 2005, p.4).

Para Araújo (2005), as diretrizes gerais para edificações sustentáveis podem ser resumidas em nove passos principais¹⁸: (1) planejamento Sustentável da obra; (2) aproveitamento passivo dos recursos naturais; (3) eficiência energética; (4) gestão e

¹⁸ Compatíveis com as recomendações de alguns dos principais sistemas de avaliação e certificação de obras no mundo.

economia da água; (5) gestão dos resíduos na edificação; (6) qualidade do ar e do ambiente interior; (7) conforto termo-acústico; (8) uso racional de materiais e (9) uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

Já existem vários sistemas que qualificam e certificam as edificações quanto ao grau de sustentabilidade e desempenho energético. A maioria desses sistemas de avaliação, além de classificarem empreendimentos que os construtores têm interesse que sejam autenticados como “sustentáveis”, também podem servir como uma ferramenta de auxílio ao projeto visto que a grande maioria apresenta referenciais com uma lista de itens que devem ser levados em consideração durante a concepção arquitetônica.

Assim, arquiteto é colocado frente a novos desafios, tornando-se imprescindível conhecer quais são os critérios ou diretrizes que seu projeto deve considerar, a fim de buscar uma arquitetura mais sustentável, coerente com seu contexto.

Uma redução considerável dos impactos ambientais na construção civil pode ser obtida pela implementação de políticas consistentes e especificamente orientadas para o setor. Entre estas políticas, a adoção de sistemas de avaliação e classificação do desempenho ambiental e da sustentabilidade de edifícios representa um papel fundamental.

A avaliação da sustentabilidade de edifícios requer uma análise de suas interferências nos meios social, ambiental e econômico. Atualmente, a avaliação da sustentabilidade de uma construção pode ser realizada com base em duas metodologias básicas: Análise de Ciclo de Vida ou Sistemas de Avaliação e de Certificação Ambiental.

2.5. Análise do Ciclo de vida

Segundo Silva (2003), estudos e métodos para avaliação ambiental de edifícios têm sido especialmente derivados dos procedimentos de avaliação dos impactos ambientais de processos ou produtos industrializados e a metodologia mais aceita internacionalmente para esta finalidade é a Análise do Ciclo de Vida (LCA¹⁹).

A LCA foi originalmente definida pela SETAC²⁰ (1991, apud SILVA, 2003) como sendo um processo que tem a finalidade de:

[...] avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacto ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar

¹⁹ Acrônimo da expressão *Life-Cycle Analysis*

²⁰ *SOCIETY FOR TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC* (eds: FAVA, J. et al.). *A technical framework for Life-Cycle Assessments*. Washington, D.C. SETAC, 1991. 134 pp. *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*.

melhorias ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, abrangendo a extração e o processamento de matérias-primas; manufatura, transporte e distribuição; uso, reuso, manutenção; reciclagem e disposição final (SETAC, 1991, apud SILVA, 2003, p.17).

A série de normas NBR ISO 14040:2009, que estabelece os princípios e estrutura para a avaliação do ciclo de vida, e NBR ISO 14044:2009, que estabelece requisitos e orientações para a avaliação do ciclo de vida, incorporaram e consolidaram essa definição de LCA.

O conceito de análise do ciclo de vida tem sido aplicado na construção civil, direta ou indiretamente, especificamente em: avaliação de materiais de construção, para fins de melhorias de processos e produtos ou informação a projetistas. Por meio da inserção de dados ambientais sistematizados nos catálogos, rotulagem ambiental de produtos, ferramentas computacionais de suporte a decisão e auxílio ao projeto especializadas no uso de LCA, é possível medir ou comparar o desempenho ambiental de materiais e componentes de construção civil (SILVA, 2003).

Uma LCA pode servir como um instrumento para avaliar o desempenho ambiental de um sistema construtivo, permitindo verificar a complexa interação de uma construção com o meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida, que envolve desde a sua produção até a sua disposição final. Essa ferramenta de avaliação analisa os fluxos (entradas e saídas) e os potenciais impactos ambientais ao longo da vida do sistema construtivo, incluindo a aquisição de matéria-prima, construção, utilização, manutenção e demolição final conforme pode ser observado nas Figuras 2.4 e 2.5.

A LCA é considerada por Gervásio (2008) uma análise mais completa do que as outras metodologias de avaliação da sustentabilidade porque permite levar em conta os balanços ambientais existentes entre as diversas fases do ciclo de vida da construção, permitindo, por exemplo, considerar a alocação da reciclagem do aço no fim de vida de uma estrutura.

Assim, a LCA torna-se uma ferramenta valiosa para orientar a tomada de decisões sobre seleção de materiais, sistemas, tecnologias e posturas estratégicas empresariais, após considerar as opções disponíveis e racionalizar os dados coletados. Esses dados devem ser confirmados por evidência científica suficiente para mostrar que uma determinada solução é, sob a perspectiva ambiental, a mais indicada para um contexto específico (SILVA, 2003).

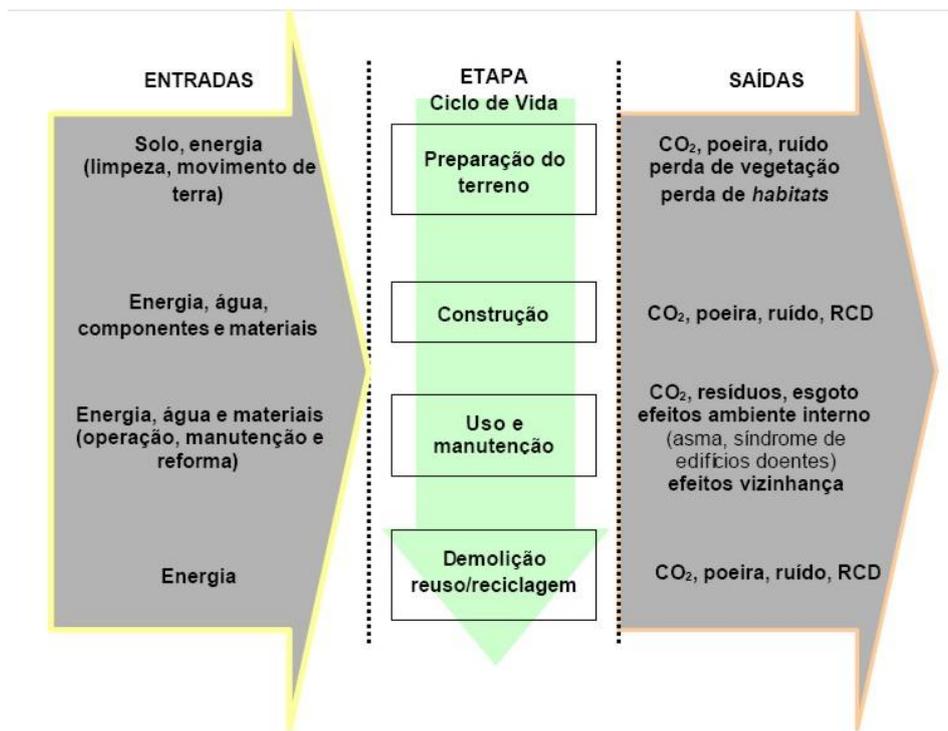


Figura 2.4: Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício. Nota: RDC: Resíduo de construção e demolição. Fonte: SILVA, 2003.

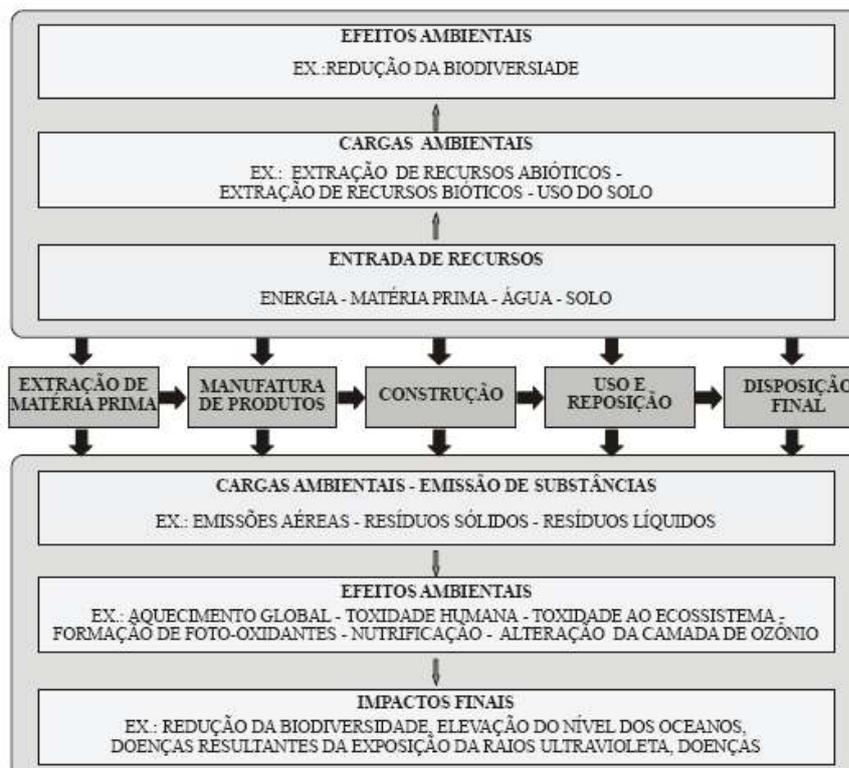


Figura 2.5: Ciclo de vida de uma edificação e os diferentes níveis de alteração no meio ambiente. Fonte: OLIVEIRA et al. (2004, apud MARQUES, 2007).

Apesar de ser, consensualmente, a forma mais adequada para reunir sistematicamente informações sobre o ciclo de vida de um produto ou sistema, no estado atual de conhecimento da metodologia, a aplicação da LCA apresenta algumas restrições e obstáculos intrínsecos destacando-se os seguintes aspectos:

- por se tratar de uma avaliação de profundidade e abrangência, a quantificação de todos os impactos envolvidos em um sistema pode facilmente tornar-se complexa, cara e muito extensa, o que vem se mostrando como a principal limitação do emprego dessa metodologia em sua forma mais pura (BAUMANN; RYDBERG, 1994²¹; BEETSTRA, 1996²²; JAQUES, 1998²³; apud SILVA, 2003);
- o inventário de cargas ambientais é realizado dentro de limites pré-definidos do sistema sem levar em conta as cargas geradas fora desse limite, o que reduz a precisão da avaliação e pode introduzir erros de truncagem, em alguns casos se tem demonstrado até 50% de erros (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007);
- o analista pode se deparar freqüentemente com qualidade e quantidade insuficiente de dados que o impedem de chegar a uma resposta clara e irrefutável. Como resultados, podem ocorrer super simplificações que empalidecem o rigor científico da análise e, muitas vezes, a destituem de significado (SILVA, 2003).
- poucos países desenvolvidos e, provavelmente, nenhum em desenvolvimento têm um banco de dados da LCA abrangente e confiável para materiais de construção e a tendência de usar dados gerados em países estrangeiros irá, quase certamente, gerar erros (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007);
- a interpretação de uma LCA requer ponderação de diferentes impactos, reduzindo o número de critérios para buscar um índice único que permita decisões objetivas e na prática o peso de cada categoria varia de acordo com a agenda ambiental da região, país ou instituição. Como conseqüência, há grande variabilidade nos pesos relativos mesmo em um mesmo país tornando difícil a comparação de resultados (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007);
- a vida útil de um material pode sofrer variações em função de detalhes de projeto e do clima da região e esse problema tem sido subestimado nas LCAs voltadas para a construção civil. Outro problema relativo é que as diferenças de cargas ambientais entre

²¹ BAUMANN, H.; RYDBERG, T. Life Cycle Assessment – A comparison of three methods for impact analysis and evaluation. **Journal of Cleaner Production**, n.1, v.2, 1994, p. 13- 20.

²² BEETSTRA, F. *Building related environmental diagnoses*. HERON, n.3, v.41, 1996, p. 35- 39.

²³ JAQUES, R. Cradle to the grave – LCA tools for sustainable development. **In:** 32nd Annual Conference of the Australia and New Zealand Architectural Science Association. **Proceedings**. Wellington: BRANZ. 1998. 6 pp.

fornecedores de um mesmo material também são ignoradas (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007);

- a categoria relativa à qualidade do ambiente interno é ignorada e quando se trata da LCA aplicada na avaliação de edificações esse quesito é essencial (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007) e
- a LCA limita-se a aspectos que possam ser quantificados e a contabilidade analítica de um produto (ou processo) feita em uma LCA acaba representando, em certos casos, apenas uma descrição parcial dos impactos ambientais do sistema (SILVA, 2003).

Para Silva (2003), neste momento, a aplicação direta de LCA à avaliação de edifícios no Brasil mostra-se, na realidade, complexa, impraticável e insuficiente. Complexa, porque os edifícios são compostos por inúmeros produtos, o que não inviabiliza o seu emprego, mas aumenta expressivamente a quantidade de informações envolvida e a dificuldade em obtê-las. Impraticável, porque ainda não existem dados confiáveis de LCA de materiais de construção nacionais, os recursos disponíveis são dados estrangeiros. E insuficiente, porque apenas uma parte do desempenho ambiental do edifício pode ser descrita estritamente pelos fluxos de matéria e a etapa de utilização do edifício inclui aspectos particulares, como qualidade do ambiente interno, cuja avaliação compreende efeitos sobre os ocupantes e suas percepções; e as avaliações, especialmente em países em desenvolvimento, devem abranger também os impactos sociais e econômicos (SILVA, 2003).

2.6. Sistemas de Avaliação e de Certificação Ambiental de edifícios

A partir da década de 90, o Setor da Construção Civil começou a lançar uma série de iniciativas no sentido de melhorar o desempenho do ambiente construído, visando atender ao novo paradigma da Sustentabilidade que surgia. Segundo Zambrano (2008), tanto no âmbito acadêmico como no mercado, começaram a proliferar pesquisas para o desenvolvimento da qualidade ambiental e, posteriormente, da sustentabilidade das edificações. Observa-se também neste período, o desenvolvimento de instrumentos capazes de apoiar e avaliar o projeto e de medir e avaliar a qualidade final das edificações, bem como atestar este desempenho através de selos verdes, certificações ambientais entre outros (ZAMBRANO, 2008).

Zambrano (2008) divide esses novos métodos e ferramentas de acordo com sua finalidade: a) ferramentas de auxílio ao projeto, como instrumentos de cálculo e simuladores térmicos, acústicos, etc.; b) sistemas de avaliação de edificações e c) sistemas que conferem selos e certificações ambientais.

No Brasil, Silva (2003) analisou alguns sistemas de avaliação ambiental e os identificou segundo duas categorias: os sistemas orientados para a pesquisa e os sistemas para orientados o mercado. Segundo a autora, fazem parte do primeiro grupo os instrumentos que visam criar bases de conhecimento e estabelecer referenciais de desempenho, tais como BEPAC - *Building Environmental Performance Assessment Criteria* (Canadá) e GBTool – *Green Building Tool* (pertencente ao consórcio internacional GBC – *Green Building Challenge*, iniciado no Canadá e do qual o Brasil faz parte). Do segundo grupo fazem parte instrumentos de avaliação e certificação tais como BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (Reino Unido), o LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design* (USA) e o CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (Japão), entre outros.

A metodologia pioneira de avaliação ambiental de edifícios foi desenvolvida em 1990 no Reino Unido, com o lançamento do BREEAM. O sistema destina-se a atribuir certificação de desempenho aplicado ao *marketing* do edifício e pode ser aplicado tanto na fase de projeto como durante a utilização ou reformas de edificações comerciais (MARQUES, 2007).

Outros sistemas de avaliação foram lançados logo depois, seguindo a mesma linha do BREEAM e, atualmente, praticamente cada país europeu, além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão, Hong Kong e mais recentemente Brasil, possuem seus próprios sistemas de avaliação.

2.7. Situação do Brasil

Nas Américas Central e do Sul, ainda não existem sistemas próprios de avaliação para edificações verdes, exceto pelo Brasil que lançou, em 2007, a metodologia AQUA (Alta Qualidade Ambiental), uma adaptação da metodologia francesa HQE (*Haute Qualité Environnemental*) para as especificidades do país.

Em 2007, a Fundação Vanzolini tornou público o “Referencial Técnico de Certificação de Edifícios do Setor de Serviços: Escritórios e edifícios escolares”, metodologia do Processo AQUA. Em 2008, a versão provisória do “Referencial Técnico de certificação de Edifícios do setor de serviços: Hospedagem e serviços” foi disponibilizada. Em fevereiro de 2010, a primeira versão do “Referencial Técnico de Certificação: Edifícios habitacionais” também foi lançada (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2010).

Segundo Cabreira (2010), o referencial para bairros ainda está em teste junto aos primeiros clientes potenciais para desenvolvimento conjunto, sem previsão de publicação e os referenciais para estradas e reformas estão em fase de estudos iniciais, em busca de clientes

piloto para desenvolvimento conjunto, também sem previsão de publicação. Em 2007, já havia quatro empreendimentos no Brasil que ao final da fase de programa seriam submetidos ao processo de certificação.

No Brasil, estão sendo feitos avanços na área por meio de pesquisas em áreas relacionadas com a Sustentabilidade nas edificações em várias universidades, como: a Universidade Federal de Santa Catarina, a Universidade Estadual de Campinas a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal do Rio de Janeiro, entre outras.

Outros sistemas de avaliação ambiental e certificações nacionais também se encontram em desenvolvimento. Dentre as iniciativas mais importantes destacam-se: o projeto BRAiE²⁴ em desenvolvimento na UNICAMP; o GBC (*Green Building Challenge*); o Regulamento Técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos e o Selo SustentaX.

O BRAiE contempla a formação de uma rede nacional de pesquisa que, após o delineamento inicial da metodologia no estado de São Paulo, será gradualmente implementada para validação em outras regiões do país. A pesquisa base do Programa BRAiE iniciou suas atividades em novembro de 2000 na UNICAMP (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2001).

O GBC constitui-se de um consórcio internacional reunido com o objetivo de desenvolver um novo método para avaliar o desempenho ambiental de edifícios: um protocolo de avaliação com uma base comum, porém, capaz de respeitar diversidades técnicas e regionais. O GBC diferencia-se dos demais por ser uma nova geração de sistemas de avaliação, desenvolvida especificamente para refletir as diferentes prioridades, tecnologias, tradições construtivas e até mesmo valores culturais de diferentes países ou regiões em um mesmo país. O Brasil formalizou a sua integração ao projeto durante a conferência *Sustainable Buildings 2000*, com a apresentação de suas intenções e estratégias (SILVA, SILVA e AGOPYAN, 2001).

Segundo Lamberts et al. (2007), em consequência da crise de energia de 2001, foi sancionada a Lei Nº 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei proporcionou uma série de iniciativas que visam estabelecer parâmetros de eficiência energética em edificações. Uma delas é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Procel – Eletrobrás, que encaminhou diversos processos de

²⁴ BRAiE- Programa Nacional de Avaliação de Impactos Ambientais de Edifícios, coordenado pela UNICAMP com recursos da FAPESP.

racionalização do uso da energia. Dentre as iniciativas desse programa está o desenvolvimento da regulamentação da eficiência energética nas edificações do Brasil. Os pesquisadores de várias universidades, em parceria com a PROCEL – Eletrobrás, concluíram, em 2007, a regulamentação para etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, públicos e de serviços e em fevereiro de 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos obteve a aprovação pelo INMETRO (BRASIL, 2009a).

Em 2006, a empresa SustentaX Engenharia de Sustentabilidade entrou no negócio de sustentabilidade. A empresa se especializou em Certificação de Sustentabilidade de Empreendimentos, iniciando o trabalho junto ao ABN AMRO Banco Real. O objetivo da SustentaX é ajudar as empresas a projetar, implantar e operar empreendimentos sustentáveis. A empresa também é responsável por analisar produtos, materiais, equipamentos e serviços segundo os critérios estabelecidos e de acordo com o resultado da análise, o objeto analisado pode ser certificado com o Selo SustentaX (SUSTENTAX, 2009a).

Além desses sistemas de avaliações, alguns modelos estrangeiros vêm ganhando espaço junto às construtoras brasileiras, entre eles a metodologia Norte Americana LEED, bastante utilizada e reconhecida. Porém o LEED ainda não foi adaptado para as especificidades nacionais. Em 2007, foram criados no Brasil: o GBC Brasil (*Green Building Council* Brasil), conselho responsável pelo LEED e o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável).

2.8. Implicações da importação de sistemas de avaliação internacionais

A adoção indiscriminada de sistemas de avaliação pode até comprometer a qualidade do empreendimento que busca a certificação. Isso pode ocorrer porque na ambição de conseguir uma certificação de empreendimento sustentável, algumas construtoras podem tender a priorizar práticas indutoras de melhor pontuação final, em detrimento de outras práticas mais significativas ao empreendimento em termos de sustentabilidade, pois alguns métodos de avaliação possuem critérios que se sobrepõem e/ou que se contrapõem, influenciando no resultado final.

Os críticos acusam o LEED de *greenwash*, por se fundamentar prioritariamente na utilização de novas tecnologias e produtos, pela orientação ao consumo e ao mercado, pela pouca ênfase no projeto e pela ausência de uma contextualização local. Esse tipo de certificação, segundo os críticos, aborda apenas um dos aspectos da sustentabilidade (o ambiental), e ignora os outros pilares que deveriam fundamentar o conceito: cultural, social e econômico.[...] Em qualquer situação, deve-se reconhecer

os limites das certificações e reconhecer que os selos devem ser utilizados como um meio e não como o fim. Na prática, porém, o que se tem observado é que a obtenção de selos tem se tornado uma meta projetual e como consequência o projeto tem sido conduzido segundo roteiros pré-estabelecidos e globais de “cartilhas ambientais”, independente de sua pertinência e contextualização local. Essa prática tem levado a dois caminhos questionáveis: de um lado, a importação de modelos projetuais, tecnologias e materiais pouco adaptados à realidade local, porém considerados de “alto desempenho” de acordo com os padrões internacionais (geralmente associados a países com alto nível de industrialização). Do outro, a falta de reconhecimento a soluções arquitetônicas que são sustentáveis por natureza, mas que não se encaixam nos procedimentos definidos pelas cartilhas internacionais (SOBREIRA, 2009, p.1).

Um dos problemas em se importar sistemas de avaliação de edificações é que geralmente eles foram criados em países desenvolvidos, onde as questões sociais e de distribuição de riquezas já estão mais resolvidas e as legislações precedentes básicas são mais rígidas. Serrador (2008) ressalta que a adoção de certificados e selos, como o sistema LEED confere, têm sido as ferramentas mais acessíveis adotadas e divulgadas entre algumas iniciativas, mas que tais formas de certificação parecem não ser as mais adequadas para o contexto brasileiro, uma vez que partem de *checklists* e não da avaliação do desempenho do edifício propriamente.

Algumas dificuldades são encontradas ao se tentar aplicar os sistemas de avaliação ambiental importados ao contexto brasileiro, devido à grande diferença de cultura entre os diferentes países de onde essas certificações foram desenvolvidas. Existem diferenças significativas de legislação precedente básica, clima, técnica construtiva, forma de gestão e, sobretudo cultura social, que não são adaptadas ao contexto nacional de forma imediata. Além disso, a aplicação dessas metodologias geralmente são muito caras de serem obtidas e implementadas.

“Não é possível copiar, traduzir ou simplesmente aplicar um método estrangeiro no contexto brasileiro ou em qualquer outro país, pois mesmo a ferramenta mais flexível apresenta dificuldades práticas para emprego no Brasil” (FOSSATI; ROMAN; SILVA²⁵, 2005, apud MARQUES, 2007, p.28).

Portanto, uma obra sustentável deve utilizar soluções arquitetônicas compatíveis com a sua localização e seu contexto, independente do sistema de avaliação adotado para certificar

²⁵ FOSSATI, Michele; ROMAN, Humberto R.; SILVA, Vanessa G. **Metodologias para avaliação ambiental de edifícios**: uma revisão bibliográfica. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. 4., 2005, Porto Alegre. Artigo Técnico.

o empreendimento. Além disso, deve haver seriedade e confiabilidade no órgão certificador e em seus critérios.

2.9. Sistemas que conferem Selos e Certificações Ambientais

Nos últimos anos, começou a aumentar no país o interesse pelos sistemas e metodologias voluntárias de avaliações de edificações, principalmente nos ramos: habitacional, devido ao grande apelo mercadológico e valorização dos imóveis, e institucional, por associar as marcas de empresas à questão da Sustentabilidade. Contudo, a adoção de sistemas, como o LEED e o AQUA, tem servido também como base educativa para o desenvolvimento do Setor e do mercado da Construção Civil, que vêm utilizando seus requisitos e “*checklists*” como ferramentas de auxílio aos profissionais que almejam seguir preceitos mais sustentáveis em suas obras.

De acordo com Montes (2005), esses sistemas de avaliações ambientais de edificações classificam e certificam o seu desempenho com relação a uma maior ou menor incorporação de critérios de sustentabilidade, qualitativos e/ou quantitativos. Em geral, cada critério é avaliado e medido por meio de pontuação, cujos pesos e critérios considerados são específicos para cada sistema de avaliação. Os pontos são somados e ao final conferem um resultado que corresponde a um nível de certificado ambiental que também varia de acordo com cada sistema.

Marques (2007) afirma que a maioria dos sistemas existentes é voltada para o resultado de desempenho do produto final, o edifício, e focam no aspecto ambiental da sustentabilidade, muitas vezes desconsiderando os aspectos sociais e econômicos, pois não avaliam o processo como um todo. Contudo, algumas certificações, como HQE e AQUA, de forma mais responsável, consideram o processo de concepção e uso na sua avaliação e também criam “perfis ambientais” iniciais representando as reais necessidades do trinômio “construção- ambiente- usuário”, o que evita inúteis desempenhos e realçam os verdadeiros alvos a serem otimizados (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

Silva (2003) afirma que a implementação de sistemas de avaliação em edifícios tem sido uma estratégia bem sucedida, por permitir que os consumidores tenham um papel mais ativo na responsabilidade de reduzir o impacto ambiental da sociedade e por ajudar a criar uma visão compartilhada do significado prático de ser “ambientalmente amigável”.

O impacto ambiental de um edifício durante seu longo ciclo de vida consiste em uma série de fatores que os clientes não esperam ser conhecedores: soluções de projeto, produtos e materiais usados na sua construção, e também a forma como o edifício é utilizado e mantido. Extrair as

características ambientais de um edifício e apresentá-las em um pacote atraente e conciso é uma necessidade mercadológica fundamental, e também um dos maiores desafios (SILVA, 2003, p.6).

Dessa forma, por meio desse mecanismo simples e de fácil interpretação (a etiqueta ou a certificação ambiental), a população passa a interagir com o tema, na medida em que pode facilmente optar por edificações de maior rendimento e menor dano ambiental e naturalmente vai pondo à margem do mercado as empresas que não se adequem à nova realidade. Esse mesmo mecanismo permite às empresas demonstrarem seu diferencial umas frente às outras, o que passa a ser aproveitado como oportunidade de marketing.

Nessa Dissertação, optou-se por estudar os sistemas de avaliação e certificação que conferem selos ou certificações ambientais para identificar as principais questões a serem consideradas na etapa de especificação de materiais que contribuam para a sustentabilidade ambiental da edificação. Na ausência de dados confiáveis sobre a Análise do Ciclo de Vida dos materiais, os sistemas de avaliação baseados em critérios múltiplos e *checklists* se apresentam como uma opção alternativa para definir critérios para a seleção dos materiais. No capítulo 3, foram analisadas quatro metodologias de avaliação e certificação: a metodologia AQUA, o Selo SustentaX, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ_C) e a certificação LEED.

3. PARÂMETROS PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

3.1. Metodologias avaliadas

Nesse capítulo foram estudadas as principais metodologias de avaliação e certificação empregadas no país para estabelecer os critérios que devem ser considerados na escolha de materiais. Os sistemas estudados foram escolhidos priorizando a questão da nacionalidade, pelos motivos de compatibilidade com o contexto brasileiro. Com base nesse critério, foram analisadas duas metodologias de certificação nacionais: o certificação AQUA e o Selo SustentaX. Pelo mesmo motivo, também se optou por estudar os aspectos relevantes relativos aos materiais no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ_C). Apesar de não ser uma metodologia de certificação da sustentabilidade da edificação, o RTQ_C foi estudado por se tratar de um regulamento nacional pioneiro que confere uma etiqueta de acordo com o desempenho energético das edificações.

A certificação LEED foi outra metodologia abordada nesse estudo porque, apesar de ser uma metodologia importada, é um dos sistemas mais reconhecidos e almejados pelas construtoras e profissionais da área de construção civil nacional para certificar seus empreendimentos.

Na avaliação dessas metodologias, buscou-se identificar as questões ligadas apenas aos critérios de escolha de materiais sob a ótica da sustentabilidade ambiental a fim de estabelecer uma referência para a pesquisa sobre os painéis verticais industrializados e as vantagens ambientais de seu uso no capítulo 6.

3.2. Certificação AQUA

Em 2007, a Fundação Vanzolini (instituição privada, sem fins lucrativos), criada e gerida pelos professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) apresentou o AQUA, o primeiro selo de certificação de construções sustentáveis adaptado à realidade brasileira.

O AQUA é uma certificação inspirada na metodologia de certificação Francesa HQE (*Haute Qualité Environnemental*). Na França, em 2002, foi criado o HQE, conceituado pela ADEME²⁶ (2004 apud MARQUES, 2007) como uma abordagem de gerenciamento de projetos visando diminuir os impactos ambientais, da construção ou da reabilitação de

²⁶ ADEME. *Bâtiment et démarche HQE*. 2004. Disponível em <www.ademe.fr>. Acessado em 04/09/2006.

edifícios, levando em consideração também as condições de saúde e conforto no interior da edificação.

O referencial técnico francês, assim como o AQUA, é um dos poucos sistemas a integrar ao desenvolvimento sustentável os aspectos: ambiental, social e econômico. No aspecto ambiental aborda itens como: meio ambiente exterior, emissões ao ar e água, canteiro de obra com poucas interferências. No social os itens relacionados são: conforto e saúde, meio ambiente interior. E no aspecto econômico trata-se da gestão de recursos.

Zambrano (2008) diferencia a metodologia francesa das demais ressaltando que o referencial técnico francês apresenta como objetivo principal o auxílio às diferentes etapas da concepção projetual. Segundo Hetzel²⁷ (2003 apud ZAMBRANO, 2008), seu objetivo principal não é a certificação de edificações, mas sim a promoção de ações voluntárias e o envolvimento de todos os agentes do setor e a certificação é uma opção voluntária. Na metodologia em questão, considera-se todo o processo de concepção e uso e, não apenas o saldo final dos impactos gerados. Dessa forma, essa metodologia possibilita uma avaliação mais criteriosa e subjetiva, pois considera, prioritariamente, o usuário como elemento central na edificação avaliada.

Tal como o selo francês, a metodologia se difere das outras porque avalia o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor, além de também avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da construção. Segundo Cabreira (2010), a certificação AQUA se baseia no estabelecimento de um perfil ambiental determinado em função das estratégias adotadas para as fases de programa, concepção e realização da obra. O Referencial Técnico de Certificação apresenta as estratégias em que se podem basear: proteção do meio ambiente (preservação de recursos, redução da poluição e dos resíduos), gestão patrimonial (durabilidade, adaptabilidade, conservação, manutenção, custos de uso e operação), conforto e saúde (dos usuários, da vizinhança e do pessoal da obra). A hierarquização das categorias se dá em função dos desafios ambientais estabelecidos segundo a relação existente entre elas e as estratégias determinadas para o empreendimento (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

Comparando-se o referencial HQE com o AQUA percebe-se que algumas recomendações francesas consideradas desfavoráveis não foram incluídas no referencial brasileiro. Nos casos onde se detectou a ausência de regulamentação brasileira sobre um determinado aspecto adotou-se o parâmetro francês ou europeu conforme indicado no referencial francês original, porém alguns itens já contemplados no referencial francês estão

²⁷ HETZEL, J. **Haute Qualité Environnementale du cadre bâti. Enjeux et pratiques**. Saint-Denis de La Plaine: AFNOR, 2003.

fora de questão no contexto brasileiro por conta da ausência de dados confiáveis para estabelecimento de estimativas ou por conta de baixos índices de incidência, como é o caso das chuvas ácidas e dos resíduos radioativos, respectivamente (CABREIRA, 2010).

A estrutura de avaliação AQUA fundamenta-se em 14 categorias de preocupações ambientais, (apresentadas no Anexo 1) que agrupam-se em 2 domínios e 4 famílias: (1) controle dos impactos sobre o ambiente exterior, cujas famílias são Eco-construção e Ecogestão e (2) criação de um ambiente interior satisfatório, cujas famílias são Conforto e Saúde. O procedimento inicia-se com a compreensão das especificidades do empreendimento e a criação de seu perfil ambiental através da implementação do Sistema de Gestão do Empreendimento. Esse permite definir a Qualidade Ambiental visada para o edifício onde são elencadas, priorizadas e hierarquizadas as categorias mais e menos impactantes a serem trabalhadas. A partir dessa definição pode-se organizar o empreendimento para atingir os objetivos estabelecidos. Nas etapas posteriores, até a construção e a ocupação da edificação, esse perfil ainda é objeto de controle.

Diferente do LEED, a metodologia AQUA não se baseia num sistema de pontuação. No AQUA, as categorias e subcategorias a elas associadas são analisadas segundo um critério de avaliação relacionado a um indicador ou atendimento do critério de avaliação. No primeiro caso resulta em uma categorização em B (Bom), S (Superior) ou E (Excelente); no segundo caso a preocupação é qualificada pelo nível Atende (A) ou Não Atende (NA) (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

O referencial técnico de certificação AQUA analisado nesse trabalho foi de Edifícios do Setor de Serviços- Escritórios e edifícios escolares. As categorias do referencial da Qualidade Ambiental do edifício, conhecidas também como alvos ou conjunto de preocupações ambientais, foram avaliadas. Nesse estudo foram selecionadas as que estavam diretamente ou indiretamente relacionadas às considerações necessárias durante o processo de especificação dos materiais. O Quadro 3.1 apresenta as principais categorias AQUA e suas subcategorias e preocupações diretamente relacionadas aos critérios de escolha de materiais para construções de alto desempenho.

Quadro 3.1. Categorias AQUA diretamente relacionados à seleção de materiais

Categoria	Subcategorias e/ou Preocupações
Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos	Escolhas construtivas para a durabilidade e a adaptabilidade da construção- considerar vida útil, adaptabilidade, desmontabilidade, redução de resíduos, escolha de produtos ou sistemas cujas características são verificadas
	Escolhas construtivas para a facilidade de conservação da construção- manutenção e fácil conservação.

	Escolha dos produtos de construção a fim de limitar os impactos socioambientais da construção- preferir materiais regionais (raio de 300 km do empreendimento), madeira certificada, materiais com reuso ou recicláveis no fim da vida útil.
	Escolha dos produtos de construção a fim de limitar os impactos da construção à saúde humana- produtos de fontes não tóxicas.
Canteiro de obras com baixo impacto ambiental	Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras- minimizar a produção de resíduos, beneficiá-los e assegurar a correta destinação. Redução dos incômodos, poluição e consumo de recursos causados pelo canteiro de obras.
Gestão da energia	Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica- melhorar a aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia, avaliar desempenho energético dos produtos e limitar o consumo de energia no canteiro de obras.
Gestão da água	Redução do consumo de água potável- limitar o consumo de água no canteiro de obras.
Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício	Otimização da valorização dos resíduos gerados pelas atividades de uso e operação do edifício.
Manutenção – permanência do desempenho ambiental	Escolha de produtos de fácil conservação e escolha de produtos de baixo impacto ambiental e sanitário durante sua fase de uso e operação
Conforto higrotérmico	Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico. Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos: desempenhos higrotérmicos dos produtos.
Conforto acústico	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos: desempenhos acústicos dos produtos. Criação de uma qualidade do meio acústico adaptado aos diferentes ambientes- controlar a acústica interna dos ambientes.
Conforto olfativo	Controle das fontes de odores desagradáveis- limitar fontes de odores (Não exigido nesta versão- exigência da versão francesa). Escolhas de produtos com baixas emissões de odores.
Qualidade sanitária dos ambientes	Criação de condições de higiene específicas- escolher produtos que restrinjam o crescimento fúngico e bacteriano e que favoreçam as boas condições de higiene (Não exigido nesta versão- exigência da versão francesa).
Qualidade sanitária do ar	Limitar fontes de poluição- escolha de produtos com baixas emissões de poluentes para o ar. Emissões químicas (COV e formaldeído) dos produtos /materiais de construção (Não exigido nesta versão- exigência da versão francesa, exceto pelo uso de tintas e adesivos somente à base de água).
Qualidade sanitária da água	Escolha dos produtos de construção cujas características são verificadas e em função de critérios de durabilidade e de impactos sanitários. Qualidade e durabilidade dos materiais empregados em redes internas.

Fonte: FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007.

3.3. Selo SustentaX

O Grupo SustentaX iniciou suas atividades em 1996, com a criação da empresa Ally Brasil e, a seguir, da NewmarEnergia. Em 2006, a Ally Brasil entrou no negócio de sustentabilidade, alterando seu nome para SustentaX Engenharia de Sustentabilidade. A

empresa se especializou em Certificação de Sustentabilidade de Empreendimentos e, no começo, seu objetivo era auxiliar as outras empresas a projetar, implantar e operar empreendimentos sustentáveis, principalmente orientados para a obtenção de certificações como o LEED. Dessa forma, a SustentaX iniciou seus trabalhos prestando consultorias e assessorando empresas a implantar práticas sustentáveis em seus empreendimentos (SUSTENTAX, 2009a).

Já em 2006, a SustentaX iniciou um trabalho junto ao Banco Real e, em 2007, a agência Granja Viana do Banco Real recebeu a certificação LEED-NC (Novas Construções) nível Prata, tornando-se a primeira edificação certificada na América do Sul. No mesmo ano, a SustentaX pré-certificou o primeiro empreendimento residencial na América do Sul, o Ecolife Independência em São Paulo e posteriormente, o Ecolife Freguesia no Rio de Janeiro (SUSTENTAX, 2009a).

Em 2008, a SustentaX começou a emitir seus próprios selos: Selos SustentaX de Sustentabilidade, que garantem a qualidade e a responsabilidade socioambiental de produtos para aplicação em *Green Buildings*. No mesmo ano o empreendimento Rochaverá, cujo projeto de sustentabilidade foi desenvolvido pela SustentaX, recebeu o Prêmio Prix d' Excellence pela FIABCI como o projeto mais sustentável. Posteriormente o Grupo também passou a oferecer a seus clientes a garantia de que estarão no estado-da-arte no que se refere à sustentabilidade corporativa competitiva (SUSTENTAX, 2009a).

Atualmente o Grupo SustentaX analisa produtos, materiais, equipamentos e serviços segundo seus critérios estabelecidos e de acordo com o resultado da análise pode ser certificado com o Selo SustentaX.

O Selo SustentaX para produtos sustentáveis tem por objetivo facilitar a identificação, pelos consumidores, de materiais, produtos e equipamentos sustentáveis confirmando seu atendimento a critérios de salubridade, qualidade, economia e responsabilidades social e ambiental, dentre outros. O produto é analisado pelos seguintes critérios: sustentabilidade socioambiental do produto, contribuição para os critérios LEED e AQUA, qualidade do produto atestada e responsabilidade socioambiental da empresa (SUSTENTAX, 2009b).

Os critérios de análise da SustentaX (SUSTENTAX, 2009b) para certificação de produtos sustentáveis são:

- atendimento às normas vigentes de qualidade e especificações de produtos;
- baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs);
- baixo consumo de água;

- comprometimento do fabricante em orientar os consumidores quanto ao uso adequado do produto e descarte correto de embalagens;
- eficiência de equipamentos;
- eficiência e baixo impacto ambiental de equipamentos de limpeza;
- emprego de materiais classificados como regionais;
- isolamento térmico;
- uso de fontes não tóxicas para composição de produtos (exemplo: metais pesados);
- regularidade de licença ambiental do fabricante;
- responsabilidade ambiental do fabricante;
- responsabilidade social do fabricante;
- reutilização de matéria-prima;
- salubridade de produtos;
- uso de componentes reciclados;
- uso de madeira certificada e
- uso de materiais classificados como rapidamente renováveis.

O Selo SustentaX também atesta a conformidade no procedimentos de desenvolvimento de projeto, seleção de materiais e controle de qualidade de serviços com os requisitos para uma possível certificação de empresas de Arquitetura. Para isso a empresa é avaliada seguindo os itens de sustentabilidade elaborados pela SustentaX (Anexo 2). Os critérios de sustentabilidade em arquitetura a serem avaliados para a obtenção do Selo SustentaX que possuem relação mais direta com a escolha de materiais são:

- critério para armazenamento e coleta seletiva de resíduos;
- critério para reutilização de móveis e outros componentes;
- critério para priorização de emprego de materiais reciclados;
- critério para emprego de materiais regionais;
- critério para emprego de materiais rapidamente renováveis;
- critério para emprego de madeira certificada e
- critério para seleção de tintas, vernizes, colas, selantes, carpetes, laminados e compensados.

3.4. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ_C)

Os Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio criaram em 1985 o PROCEL, sendo esse gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobrás. Em 1991 o PROCEL foi transformado em Programa de Governo, o que aumentou sua abrangência. O objetivo principal desse programa é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica no país, eliminando desperdícios e reduzindo os custos (SERRADOR, 2008).

Em 1993, o PROCEL desenvolveu a certificação de equipamentos e aparelhos elétricos através do Selo Procel de economia de energia. Os objetivos dessa certificação eram: orientar consumidores, informando os produtos que apresentam melhores níveis de eficiência energética e também estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes.

O potencial de redução do consumo de energia no setor de edificações estimulou a reavaliação dos principais focos de atuação do PROCEL e, em 2003, foi instituído um núcleo especialmente voltado à eficiência energética das edificações, o PROCEL EDIFICA²⁸, pela ELETROBRÁS/PROCEL. Esse núcleo atua de forma conjunta com os Ministérios de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e as entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento.

Os pesquisadores de várias universidades, em parceria com o PROCEL, concluíram, em 2007, a regulamentação para etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, públicos e de serviços e em fevereiro de 2009 foi aprovado o Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos obteve a aprovação pela Portaria n.º 53 (BRASIL, 2009a). A Portaria n.º 163 aprovou, em junho de 2009, a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009b).

Atualmente estão disponíveis quatro volumes que apresentam os principais conteúdos referentes à etiquetagem. O volume 1 contém um texto de apresentação do processo, o volume 2 apresenta o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ_C), o volume 3, o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de

²⁸ Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações.

Serviços e Públicos (RAC_C) e o volume 4 apresenta um manual referente ao RTQ_C e RAC_C.

O RTC_C contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética do edifício. Já o RAC_C apresenta o processo de avaliação das características do edifício para obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) junto ao Laboratório de Inspeção acreditado pelo Inmetro. O procedimento para a etiquetagem é formado por duas etapas de avaliação: etapa de projeto e etapa de inspeção do edifício construído, onde se obtém a autorização para uso da etiqueta do Inmetro.

A Etiquetagem é obtida através de avaliação dos requisitos contidos no RTQ-C para o edifício usando o método descrito no RAC-C. A avaliação do edifício é aplicável a edifícios a edifícios com área total útil mínima de 500 m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV. Essa avaliação é de caráter voluntário para edificações novas e existentes e passará a ter caráter obrigatório para edificações novas em prazo a definir (BRASIL, 2009b).

Iniciando o processo de etiquetagem, o proprietário deverá encaminhar ao laboratório de inspeção o pedido de avaliação, juntamente com os documentos exigidos, como projetos e memoriais. Esta etapa é obrigatória mesmo para edifícios já construídos, pois é na etapa de avaliação de projeto que é identificado o nível de eficiência energética através dos métodos prescritivos ou de simulação.

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios atende aos requisitos técnicos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento do ar. Além destes, há uma opção alternativa de classificação através da simulação computacional do desempenho termo-energético de um modelo do edifício proposto para ser etiquetado. A Etiqueta é dita parcial quando referente à envoltória ou combinando a envoltória com um dos outros dois sistemas – iluminação ou condicionamento de ar.

Para obter a classificação geral do edifício, cada requisito é avaliado separadamente e recebe uma classificação do nível de eficiência. O nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes. A classificação final é calculada de acordo com a distribuição de pesos por requisito através de uma equação presente no regulamento. As classificações parciais e a final da edificação podem variar de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais está em fase de desenvolvimento, enquadrada em parâmetros mais adequados a esse perfil.

Para o desenvolvimento dessa dissertação foi avaliado o requisito relativo à envoltória que possui duas categorias que se relacionam com as características dos materiais de construção. Na classificação do nível de eficiência da envoltória devem ser atendidos os requisitos relativos à transmitância térmica, às cores e absortâncias de superfícies e à iluminação zenital, observando os valores estabelecidos para cada zona bioclimática²⁹ estabelecidas na NBR 15220:2005- Parte 3 (ABNT, 2005), conforme a figura 3.1.

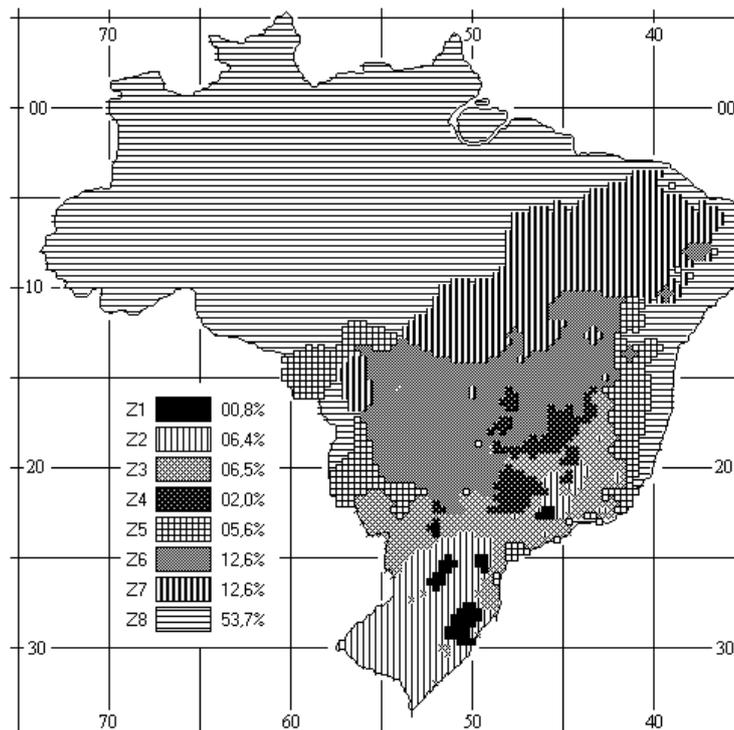


Figura 3.1: Zoneamento bioclimático brasileiro.
Fonte: ABNT, 2005.

O Quadro 3.2 apresenta os valores para a transmitância térmica e para as cores e absortâncias de superfícies apresentadas no regulamento, relativas à cobertura, paredes externas e revestimentos externos. Além desses itens, o regulamento também apresenta valores básicos relativos à iluminação zenital, que não estão apresentados no Quadro 3.4 por se tratar de valores relativos à existência de aberturas zenitais na cobertura e ao fator solar do vidro.

²⁹ A NBR 15220: 2005 subdivide o Brasil em 8 zonas bioclimáticas, considerando as condições climáticas brasileiras para projeto. As zonas bioclimáticas podem ser definidas como regiões geográficas homogêneas de características climáticas e necessidades humanas de conforto semelhantes.

Quadro 3.2: Valores estabelecidos para classificação da envoltória

NÍVEL A	
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA - ambientes condicionados artificialmente	
Qualquer Zona bioclimática	Não deve ultrapassar de 1,0 W/m ² K
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA - ambientes não condicionados	
Qualquer Zona bioclimática	Não deve ultrapassar de 2,0 W/m ² K
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS	
Zonas bioclimáticas 1 a 6	máxima de 3,7 W/m ² K
Zona bioclimáticas 7 e 8	máxima de 2,5 W/m ² K para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K e de 3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K.
CORES E ABSORTÂNCIA DE SUPERFÍCIES	
Zonas bioclimáticas 2 a 8	Pré-requisito obrigatório: utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (cores claras)
	Pré-requisito obrigatório: em coberturas não aparentes, a utilização de cor de absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (telas cerâmicas não esmaltadas ou teto jardim)
NÍVEL B	
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA - ambientes condicionados artificialmente	
Qualquer Zona bioclimática	Não deve ultrapassar de 1,5 W/m ² K
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA - ambientes não condicionados	
Qualquer Zona bioclimática	Não deve ultrapassar de 2,0 W/m ² K
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS	
Zonas bioclimáticas 1 a 6	máxima de 3,7 W/m ² K
Zona bioclimáticas 7 e 8	máxima de 2,5 W/m ² K para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K e de 3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K.
CORES E ABSORTÂNCIA DE SUPERFÍCIES	
Zonas bioclimáticas 2 a 8	pré-requisito obrigatório: utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (cores claras)
	Pré-requisito obrigatório: em coberturas não aparentes, a utilização de cor de absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (telas cerâmicas não esmaltadas ou teto jardim)
NÍVEL C e D	
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA	
Qualquer Zona bioclimática	Não deve ultrapassar de 2,0 W/m ² K
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS	
Zonas bioclimáticas 1 a 6	máxima de 3,7 W/m ² K
Zona bioclimáticas 7 e 8	máxima de 2,5 W/m ² K para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K e de 3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K.
Notas: A transmitância térmica a ser considerada é a média ponderada das transmitâncias de cada parcela da cobertura pelas áreas que ocupam e no caso das coberturas é a média ponderada das transmitâncias de cada parcela de paredes externas pelas áreas que ocupam. Exceção: transmitância térmica em superfícies opacas (paredes vazadas, pórticos ou placas perfuradas) à frente de aberturas envidraçadas nas fachadas (paralelas aos planos de vidro), formando elementos de sombreamento. Estas superfícies devem estar fisicamente conectadas ao edifício e a uma distância até o plano envidraçado	

inferior a uma vez a altura de seu maior vão. Este afastamento entre os planos deve possuir proteção solar horizontal como beiral ou marquise.

A absorptância solar a ser considerada é a média das absorptâncias de cada parcela da fachada (ou cobertura) ponderadas pela área que ocupam.

Fonte: BRASIL, 2009b.

3.5. Sistema LEED

O sistema LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) é o modelo norte-americano de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios, desenvolvido, em 1996, pela entidade não-governamental USGBC (*United States Green Building Council*). O LEED é uma metodologia, aceita e reconhecida mundialmente, que confere uma classificação ambiental voluntária para edificações, apesar de alguns edifícios certificados estarem sendo questionados sob o ponto de vista da eficiência energética

Segundo Marques (2007), ao se analisar o LEED, através de seus pré-requisitos e créditos, percebe-se, que ele foi realizado para ter sua aplicação nos Estados Unidos, uma vez que quase todos os seus requerimentos estão baseados nos padrões e normas norte-americanas. As adaptações no sistema para que este possa ser aplicado no Brasil já são previstas, porém ainda não foram concluídas. Segundo GBC Brasil (2010), o Comitê de Adaptação do LEED Brasil reúne especialistas em construção e meio ambiente, professores e pesquisadores universitários, empresários e fabricantes de matéria-prima e de equipamentos e associações de classe. A reformulação do sistema para a adaptação no Brasil inclui questões referentes ao sistema métrico, medidas de desempenho, como as do sistema ASHRAE, e da regulamentação brasileira. Além disso, o LEED Brasil levará em consideração as peculiaridades do setor de construção nacional e haverá uma reavaliação de seus temas centrais e possível redimensionamento do sistema de pontos (GBC BRASIL, 2010).

Enquanto essas adaptações não são criadas e aprovadas no Brasil, o sistema LEED na versão americana original continua sendo utilizado como sistema de avaliação de edificações sustentáveis e também como ferramenta de auxílio e lista de verificação para projetos no país.

A verificação de adequação às exigências LEED é avaliada através de um *Checklist* (Anexo 3) padronizado, dividido por áreas. Cada uma destas áreas é subdividida em pré-requisitos e créditos estabelecidos pela metodologia e cada um destes deve ser avaliado individualmente. Os pré-requisitos são requisitos mínimos a serem atendidos pelo projeto, para que o mesmo tenha direito a acumulação de pontos para certificação, caso não sejam atendidos o projeto não poderá ser certificado. A pontuação pode variar de acordo com as

categorias (créditos) a serem atendidas, a partir de um número mínimo de pontos a construção poderá ser certificada.

Para obter a certificação LEED, primeiramente o projeto da edificação deve ser registrado junto a USGBC. Depois o projetista deve preparar as informações, memoriais e plantas e enviar o projeto para aprovação pelo GBC americano. No registro devem ser indicados os pré-requisitos e os créditos atendidos. Depois da construção, deve ser enviada para análise uma segunda fase de documentos. A certificação só é efetivada após a construção do edifício, quando confirmado todos os requisitos e créditos que deveriam atender. No site USGBC (2010) apresenta-se uma listagem com as edificações certificadas, porém a muitos dos empreendimentos não apresentam o estudo de caso detalhando os créditos obtidos e as informações específicas do projeto. Na lista de edifícios brasileiros certificados, nenhum apresenta o detalhamento do estudo de caso, só há indicações dos níveis de certificação.

As pontuações e pré-requisitos de uma certificação LEED dependem do tipo de empreendimento, das características e das finalidades, conforme a lista a seguir: LEED® NC -“*New Construction*” para novas construções e grandes projetos de renovação; LEED® EB -“*Existing Buildings*”) para edifícios existentes; LEED® CI -“*Commercial Interiors*”- para projetos de interiores e edifícios comerciais; LEED® CS -“*Core and Shell*” para projetos da envoltória e parte central do edifício (geralmente a certificação é realizada para o terreno e para as áreas comuns da edificação); LEED® -“*Homes*”- para residências; LEED® ND -“*Neighborhood Development*”- para desenvolvimento de bairro (Desenvolvimento urbano, a certificação é realizada para a parte urbanística) e LEED® -“*Schools*”- para escolas (GBC BRASIL, 2010).

Segundo Marques (2007), o sistema mais comumente utilizado e o pioneiro dos sistemas LEED é o LEED®NC. Esse sistema teve sua primeira versão piloto testada em 1998, tendo os primeiros 12 projetos certificados, na versão 1.0. Já em 2000 foi lançada ao público a versão 2.0 baseada em modificações feitas durante esse primeiro período. Em 2002, acrescentando melhorias, é lançada versão 2.1. O LEED versão 2.2 entrou em vigor em novembro de 2005 e em 2009 foi lançada a atual versão 3.

A atual versão lançada em 2009: Rating Systems LEED 2009 for New Construction and Major Renovations, distribui o total de créditos em sete áreas de atuação: Espaço sustentável (*Sustainable Sites*); Eficiência do uso da água (*Water Efficiency*); Energia e Atmosfera (*Energy and Atmosphere*); Materiais e Recursos (*Materials and Resources*);

Qualidade ambiental interna (*Indoor Environmental Quality*); Inovação no Design (*Innovation in Design*); Prioridade Regional (*Regional Priority*).

A cada item avaliado são atribuídos pontos que, somados, dão total de 110 pontos. Os pontos devem atingir patamares pré-determinados para obtenção da certificação em diferentes graus. Quanto maior o cumprimento dos requisitos maior o número de pontos atingidos, o que resulta em um selo de maior valor. São quatro as categorias de certificação a serem atingidas, descritos a seguir: Certificada (de 40 a 49 pontos), Prata (de 50 a 59 pontos), Ouro (de 60 a 79 pontos) ou Platina (de 80 pontos acima) (USGBC, 2009).

Segundo GBC Brasil (2010), atualmente existem 54 empreendimentos buscando certificação no LEED®-CS no Brasil. Seis já estão pré-certificados, sendo um residencial. Em geral, os empreendimentos residenciais buscam o LEED®-NC, que não tem a fase de pré-certificação. Existem 10 empreendimentos certificados no Brasil: Ag. Granja Viana Banco Real – Cotia – LEED NC 2.2 Silver; Laboratório Delboni Auriemo – São Paulo – LEED NC 2.2 Silver; Edifício Cidade Nova – Rio de Janeiro – LEED CS 2.0 Certified; Eldorado Business Tower – São Paulo – LEED CS 2.0 Platinum; Morgan Stanley Bank – São Paulo – LEED CI Silver; Rochavera Corporate Towers Torre B – São Paulo – LEED CS 2.0 Gold; Ventura Corporate Towers Torre Leste– Rio de Janeiro – LEED CS 2.0 LEED Gold; WT Nações Unidas 1 e 2 – São Paulo – LEED CS 2.0 Silver; Centro de Distribuição BOMI – Itapevi – SP – LEED Silver e RIV – Bertioga – SP – LEED Certified (GBC BRASIL, 2010).

A representatividade do LEED no Brasil e no mundo é comparada no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Representatividade do LEED no Brasil e no mundo

	Total no mundo	Total no Brasil
Empreendimento certificados	2271	4
Profissionais credenciados	75000	36
Empreendimentos registrados	19836	114

Fonte: www.usgbc.org - fev. 2009 apud GBC BRASIL, 2010.

O GBC Brasil (2010) apresenta um gráfico atualizado com os empreendimentos registrados no Brasil por ano e a quantidade de registros acumulados, figura 3.2.

Para este trabalho são analisados os requisitos que o método disponibiliza e que serve de auxílio às decisões de escolha de materiais para edificações sustentáveis. Por meio da avaliação do Sistema LEED-NC (novas construções) da versão 3, foram destacados os principais créditos relacionados aos materiais utilizados na construção e apresentados no Quadro 3.4 com as respectivas considerações a respeito.

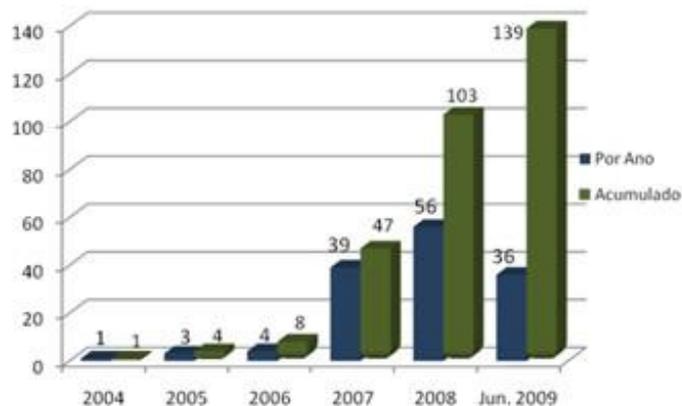


Figura 3.2: Registros LEED no Brasil.
Fonte: GBC BRASIL, 2010.

Quadro 3.4. Critérios LEED diretamente relacionados à seleção de Materiais

Área	Créditos
Energia e Atmosfera	Crédito 1 - Otimização do desempenho energético: o projeto deve ser pensado de forma a minimizar os gastos de energia. Segundo Marques (2007), isso deve ser feito através do próprio formato do edifício, suas aberturas, materiais, entre outros, que devem ser pensados de forma a diminuir a necessidade de utilização de iluminação artificial, ar condicionados, aquecedores e qualquer outra forma de gasto excessivo de energia.
Materiais e Recursos	<p>Pré-requisito: Depósito e coleta de materiais recicláveis.</p> <p>Crédito 1.1- Reuso do edifício: manutenção de paredes, pisos e coberturas existentes. Quando possível, o edifício já existente deve ser reaproveitado, evitando a necessidade de demolições e geração de entulhos. Objetivos: reduzir recursos, geração de resíduos e impactos ambientais e conservar o patrimônio cultural.</p> <p>1 – Reuso de 55% do edifício 2 – Reuso de 75% do edifício 3 – Reuso de 95% do edifício</p> <p>Crédito 1.2- Reuso do edifício: manutenção de 50% dos elementos internos não-estruturais</p> <p>Crédito 2 – Gestão dos resíduos da construção: administração do entulho da obra. Os resíduos resultantes da construção devem ser tratados de forma adequada e seu destino e tratamento devem ser definidos ainda na etapa de projeto. Objetivo: desviar resíduos de construção, demolição e embalagens do aterro sanitário e/ou depósito de lixo; redirecionar recursos recuperados recicláveis ao processo de fabricação e redirecionar materiais com reuso para sítios apropriados.</p> <p>1 – Reciclar ou recuperar 50% 2 – Reciclar ou recuperar 75%</p> <p>Crédito 3 – Reuso dos materiais. Materiais e produtos devem ser reutilizados na construção do edifício, reduzindo a demanda por matérias-primas e a geração de resíduos e reduzindo os impactos associados à extração e processo de recursos naturais virgens. Neste caso a soma do valor dos materiais reciclados utilizados deve ser o mínimo indicado (5% e 10%) do valor total de materiais previstos no projeto para conseguir pontuação.</p> <p>1- reuso de 5% dos materiais 2- reuso de 10% dos materiais</p>

	<p>Crédito 4 – Conteúdo Reciclado: promover a utilização de materiais que incorporam conteúdo reciclado na sua composição, reduzindo assim, os impactos resultantes da extração e processamento de recursos naturais. Neste caso a porcentagem é referente ao custo total do valor dos materiais no projeto (pós-consumo* e ½ pré-consumo**).</p> <p>1 - Conteúdo Reciclado 10%</p> <p>2 - Conteúdo Reciclado 20%</p>
	<p>Crédito 5 – Materiais Regionais: aumentar a demanda de materiais para a construção do empreendimento que sejam extraídos e processados regionalmente, estimulando, assim, o desenvolvimento regional e reduzindo os impactos ambientais gerados com o transporte de longa distância. Raio máximo de até 500 milhas de distancia do empreendimento (aproximadamente 800 km). Porcentagem baseada no custo do valor total dos materiais empregados.</p> <p>1- Materiais regionais 10%</p> <p>2- Materiais regionais 20%</p>
	<p>Crédito 6 – Materiais rapidamente renováveis: estimular o uso de materiais renováveis. Objetivos: reduzir o uso e o descarte de matéria bruta finita e materiais de longo ciclo de reuso ou de difícil renovação, repondo os mesmos por materiais de rápida renovação. Para a obtenção de créditos, a porcentagem dos materiais rapidamente renováveis deve ser de pelo menos 2,5% do custo total de materiais usados no projeto.</p>
	<p>Crédito 7 – Madeira Certificada. No mínimo 50% (baseado no custo) de materiais e produtos em madeira devem ser feitos de madeira certificada.</p>
Qualidade Ambiental Interna	<p>Crédito 4 – Materiais com baixa emissão de compostos voláteis: devem ser especificados os materiais que não liberem grandes quantidades de compostos voláteis. Esses compostos são liberados por muitos materiais usados no interior das casas (como tintas, vernizes, materiais de isolamento, revestimentos, etc.) e podem apresentar desconforto e riscos a saúde humana. Preferir as tintas à base de água, vernizes sem amônia, e materiais sem substâncias químicas.</p>

Fonte: USGBC, 2009.

*resíduos gerados pelos utilizadores finais do produto.

** material desviado do fluxo de resíduos durante o processo de fabricação. Reciclagem pré-consumo: o resíduo gerado que pode ser recuperado dentro do mesmo processo que o gerou.

Pode-se observar no Quadro 3.4 que além dos requisitos da área de materiais e recursos, existem outros requisitos que também devem ser considerados no momento da especificação de materiais para o edifício. É o caso do crédito 4, da área de Qualidade do Ambiente Interno, que sugere a seleção de materiais com baixa emissão de componentes voláteis.

3.6. Critérios selecionados

Para estabelecer os critérios mais importantes que devem ser considerados na escolha de materiais foram analisados os três modelos de certificação mais utilizados no país e o RTQ_C. A partir dessas análises foram elencados os critérios e requisitos de maiores destaques relativos aos materiais de construção. Os critérios definidos foram: (1) atendimento às normas vigentes de qualidade e especificações de produtos; (2) responsabilidade ambiental do fabricante; (3) diminuição dos impactos socioambientais da construção, redução dos

incômodos, poluição e consumo de recursos no canteiro de obras (4) uso de fontes não tóxicas para composição de produtos; (5) baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs); (6) baixo consumo de água; (7) reutilização de recursos e matéria-prima; (8) uso de componentes reciclados e potencial reciclável pós-consumo; (9) emprego de materiais classificados como regionais; (10) uso de materiais classificados como rapidamente renováveis; (11) uso de madeira certificada; (12) materiais com propriedades adequadas de isolamento térmico e acústico; (13) alta durabilidade, adaptabilidade, possibilidade de desmontagem e reutilização; (14) manutenção e conservação fácil e (15) otimização da gestão dos resíduos da construção (minimizar a produção de resíduos e encaminhar para reciclagem ou reutilização).

Para analisar os principais painéis de fechamentos verticais industrializados a partir dos critérios elencados, foram investigados, no Capítulo 6, os seguintes aspectos que fornecerão as informações necessárias para uma especificação mais consciente:

- características gerais e composição;
- matéria-prima e demais componentes (local de extração da principal matéria-prima, distância da fábrica e origem dos demais componentes);
- processos de produção;
- impactos ambientais e gestão de resíduos da produção;
- energia e água utilizada na produção e emissão de CO₂;
- programas de gestão da qualidade, gestão ambiental, normas para a produção;
- conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo;
- toxicidade do material;
- sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamentos;
- montagem;
- vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização;
- propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas e
- transporte até a obra

4. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS- CONSIDERAÇÕES

4.1. Materiais Sustentáveis

Dentre os critérios para avaliar a sustentabilidade de uma edificação existem várias áreas temáticas, das quais algumas se destacam: energia, água, transporte, uso do solo, ecologia e materiais.

Druszcz (2002) e Marques (2007) afirmam que um dos grandes desafios enfrentados pelos profissionais da construção civil, que trabalham com os conceitos de desenvolvimento sustentável, é escolher correta e conscientemente os materiais de construção.

A especificação dos materiais representa uma grande parcela de responsabilidade no resultado positivo de um projeto devido à grande quantidade de sua utilização durante a construção e aos grandes impactos que sua produção e aplicação podem gerar ao meio-ambiente e até ao próprio edifício no que diz respeito ao seu conforto.

Segundo Roaf (2006), todos os materiais de construção afetam o impacto ambiental de uma edificação, pois são processados de alguma maneira antes de serem incorporados à construção. Dessa forma, é importante evitar ou minimizar o uso de materiais sobre os quais parem suspeitas ou que reconhecidamente acarretem problemas ambientais mais significativos.

Os produtos utilizados na indústria da construção civil podem ser analisados, quanto à sustentabilidade, por vários ângulos, porém apenas uma visão global dos processos que estão relacionados desde a extração, produção, transporte, aplicação, manutenção, reutilização, reciclagem e decomposição, dentre outros aspectos, é que pode permitir sua classificação como sustentáveis e auxiliar os profissionais da construção a especificar aqueles que penalizem menos o ambiente local, regional e global e elevam o padrão da obra.

Portanto, para ponderar sobre a escolha dos materiais alguns de suas características e aspectos de todo o seu ciclo de vida devem ser analisados.

Na tomada de decisões, com a especificação de materiais e sistemas construtivos, deveria ser considerado todo o ciclo de vida dos componentes empregados na construção: qual o impacto sobre as reservas de agregados primários, qual a possibilidade de reciclagem futura e qual o nível de geração de resíduos no processo construtivo são exemplos da extensão das decisões projetuais. Assim, conhecer o funcionamento da indústria da construção, suas condicionantes, seus impactos e seus braços de atuação, torna-se necessário para que as decisões na fase de projeto não sejam tomadas com base em informações parciais ou idéias pré-concebidas que costumam ser divulgadas sem o respaldo esperado (SERRADOR, 2008, p.105).

Para Araújo (2005), essa seleção também deve atender parâmetros de inserção, estando de acordo com a geografia circundante, história, tipologias, ecossistema, condições climáticas, responsabilidade social, dentre outras abordagens e leituras do ambiente de implantação da obra.

Dessa forma, os conhecimentos aprofundados em relação aos materiais de construção que serão especificados em uma obra considerada sustentável é imprescindível na etapa de seleção. Assim sendo, este capítulo apresenta um preâmbulo dos parâmetros mais relevantes que devem ser considerados durante a etapa de especificação, conforme o resultado da metodologia de análise dos principais sistemas de avaliação no Brasil apresentadas no Capítulo 3.

4.2. Composição

Ao se analisar a composição de um produto descobre-se quais matérias-primas foram utilizadas na sua fabricação e abre espaço para as investigações seguintes, que também são importantes na avaliação do material quanto à sustentabilidade, como: de onde é extraída cada matéria-prima, se a extração é legalizada, se passa por algum processamento antes de ser utilizada na fabricação do produto, quais são os impactos ambientais que a extração e o transporte da matéria-prima até a fábrica provocam, etc.

Roaf (2006) aconselha o uso de recursos naturais renováveis, de preferência os rapidamente renováveis. O uso de matérias-primas não renováveis justifica-se quando existe grande possibilidade de reciclagem, reuso ou reaproveitamento e a vida útil do produto torna-se maior com o emprego dessa matéria-prima. Também se justifica o emprego desses quando, para uma mesma finalidade, utiliza-se menor quantidade de matéria-prima, gerando a economia de recursos e quando outros materiais naturais não estão disponíveis num raio viável de distância da obra.

Nessa análise, a disponibilidade das matérias-prima também deve ser considerada. Quando for mais conveniente utilizar produtos compostos de recursos não renováveis é preciso avaliar também sua disponibilidade na natureza, priorizando o emprego daqueles presentes em grande quantidade

4.3. Localização: extração das matérias-primas, da fábrica e dos demais componentes do produto

Serrador (2008) destaca algumas das vantagens decorrentes do uso de materiais locais: relação do custo do material devido à proximidade da produção, redução do consumo

de combustíveis no trajeto que os materiais percorrem até chegar à obra, redução das emissões aéreas geradas pela queima de combustíveis no transporte e estímulo à produção local de materiais de construção, gerando empregos e desenvolvendo a economia local.

A distância entre o local de fabricação dos materiais e a obra pode influir de forma significativa na energia demandada e no aumento do impacto ambiental devido à poluição no transporte e crescendo os gastos com esse serviço. Acrescenta-se também maiores gastos com o serviço de deslocamento (MARQUES, 2007).

Da mesma forma, a distância entre o local de extração da matéria-prima e a fábrica influi diretamente na energia incorporada do material e no impacto ambiental. Na maioria das vezes o processo de extração da matéria-prima é um método invasivo que causa degradação ambiental da região, portanto, talvez fosse mais adequado que o processamento dessa matéria-prima traga benefícios econômicos e sociais para a região, o que não acontece quando a fábrica está localizada muito afastada do local de extração.

Por isso, para escolher os materiais utilizados em uma obra sustentável, é necessário saber a localização da fábrica do produto final, o local de extração das matérias-primas e a origem dos demais componentes do produto. Assim, pode-se analisar se o impacto ambiental causado no transporte compensa e quais são as alternativas de materiais mais próximos ao local da obra.

Pode haver situações em que o melhor material para determinada construção, devido ao contexto, será um produto localizado distante da obra. Nesses casos, é necessário analisar cada situação, quais são as demandas do projeto, e confrontar os custos ambientais e econômicos com outros benefícios oferecidos pelo produto.

Até mesmo a utilização de materiais considerados alternativas sustentáveis como o bambu, a madeira e a terra, podem só ser viáveis quando retirados do próprio terreno ou de locais muito próximos à obra, pois os materiais que percorrem longas distâncias causam os impactos ambientais decorrentes do transporte. Nestes casos, também é importante considerar o impacto negativo causado ao meio em que forem extraídos.

4.4. Processo de produção

Segundo Roaf (2006), os processos de produção dos materiais, sendo mínimos ou extensivos, requerem, inevitavelmente, o uso de energia e resultam na geração de resíduos. Geralmente, quanto maior o número de processos pelos quais um material ou conjunto de componentes tiver que passar, maior será a energia incorporada e o número de resíduos associados.

Para a avaliação da sustentabilidade de um material a sua fabricação deve ser analisada, pois todo o processo de produção deve ser limpo, de forma que se evite o desperdício de recursos (como água, energia e matérias-primas) e que gere pouca poluição e o mínimo de resíduos possíveis. Além disso, a gestão dos resíduos e dos efluentes líquidos deve ser feita de forma consciente e adequada, evitando assim a contaminação ambiental.

4.5. Impactos ambientais

A necessidade de investigar todos os possíveis impactos decorrentes de cada etapa da fabricação dos materiais é importante. Para isso, todo o ciclo de vida do produto deve ser considerado, desde a extração da matéria-prima bruta até a fabricação, entrega e descarte final, incluindo os impactos causados pelo transporte. Ao longo desse processo, podem ocorrer vários impactos, tais como: destruição de habitat naturais, poluição do ar e água, problemas com resíduos de produção, além do uso exagerado de energia e água.

Para Marques (2007), quando se trata da fabricação de materiais deve existir uma preocupação em reduzir os impactos causados pela produção por meio da maximização do uso de recursos renováveis, reciclagem, reutilização e redução de gastos com transporte.

4.6. Resíduos de produção

O Ambiente Brasil³⁰ (2005, apud MARQUES, 2007, p.90) conceitua os resíduos como “os resultados da sobra de atividades da comunidade em geral, sejam industriais, domésticas, hospitalares, comerciais ou agrícolas e podem se apresentar nos estados: sólido, semi-sólido e líquido”.

Os resíduos gerados durante o ciclo de vida da edificação devem receber atenção especial. A maioria deles é considerada inerte, que não é solúvel em água. Além disso, muitos dos resíduos são recicláveis e não se degradam, ou se degradam muito lentamente (MARQUES, 2007).

A questão da gestão do entulho das obras é de grande importância em uma obra que pretende ser sustentável e é função do projetista considerar a geração do resíduo ainda na etapa de projeto, durante a especificação dos materiais, priorizando os que geram menos rejeitos e que esses não sejam danosos ao meio ambiente e à saúde da população.

³⁰ AMBIENTE-BRASIL. Portal da Internet. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em: 04 ago. 2006.

Durante o projeto deve-se pensar sobre quais serão as formas mais adequadas de descarte dos resíduos durante a construção e quais as possibilidades de reaproveitamento e reciclagem após a vida útil da edificação.

4.7. Programas de gestão da qualidade e gestão ambiental e normas de produção

Algumas certificações podem garantir a qualidade dos produtos, atestando que a gestão da produção é feita de forma eficiente e garantindo diminuição de perdas e de recursos consumidos no processo. Quando se trata de um programa de gestão ambiental, geralmente a produção gera menores impactos ambientais e os resíduos são tratados de forma mais adequada.

Os materiais fabricados com certificação de programas de gestão da qualidade e de gestão ambiental, como por exemplo, as NBR ISO 9001:2008 e NBR ISO 14001:2004, melhoram a imagem da empresa e de seus produtos ou atividade junto aos consumidores.

De forma semelhante aos programas de qualidade, os produtos fabricados de acordo com normas técnicas de produção garantem uma qualidade superior aos produtos, pois são mais fáceis de serem controlados e terem seu comportamento analisado.

O monitoramento dos padrões de qualidade e o cumprimento de normas técnicas de produção dos materiais de construção têm implicações sobre a sustentabilidade geral do ambiente construído na medida em que ajuda a reduzir o desperdício de matéria-prima causada por materiais de baixa qualidade (OLIVEIRA, 2009, p. 89).

Os fabricantes que seguem as normas de produção podem atestar que a fabricação é controlada de acordo com as normas específicas para o tipo de produto e que são feitos testes no material para assegurar sua qualidade e verificar se atende às características a que se propõe.

Alguns materiais não tradicionais, que são produzidos industrialmente e existem há pouco tempo, podem não possuir normas de fabricação ou especificações regulamentadas. Marques (2007) afirma que, nesses casos, é importante que a qualidade do produto seja atestada por um certificado de qualidade, fornecido por órgãos certificadores, ou por um selo de conformidade, fornecido pelo próprio fabricante, contendo as especificações do produto, as normas de inspeção e as normas de autocontrole da fabricação.

4.8. Propriedades termo-acústicas

Os materiais utilizados na construção de uma edificação, principalmente os de fechamento, são os grandes responsáveis pela regulação do seu desempenho térmico e

acústico e influenciam o conforto de seus usuários. Para determinar quais são os materiais mais apropriados para manter uma situação de conforto em um edifício, é necessário avaliar o local de implantação, suas condições bioclimáticas e levantar uma série de variáveis do entorno, tais como: fontes de ruído, direção predominante do vento, sombreamento e vegetação existentes, entre outras que podem influenciar nesse conforto (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Durante a escolha dos fechamentos de uma construção é importante que se faça uma avaliação prévia das propriedades termofísicas dos materiais, tais com a condutividade térmica, o calor específico e a massa específica³¹. Essas propriedades definem a capacidade do elemento de fechamento de transmitir e/ou armazenar calor, parâmetro importante na avaliação do desempenho térmico da edificação (INCROPERA et al., 2008).

Algumas estratégias bioclimáticas podem ser utilizadas durante a concepção do projeto para proporcionar melhores condições de conforto térmico e redução do consumo de energia. Uma das estratégias bioclimáticas relacionadas ao desempenho térmico dos materiais de fechamento é a utilização da inércia térmica para resfriamento. A utilização de componentes construtivos com capacidade térmica superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação à exterior. Nesse caso, os picos de temperatura verificados externamente não são percebidos internamente. Componentes construtivos de elevada capacidade térmica são indicados para clima quente e seco onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite. A capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno no período da noite, quando existe necessidade de aquecimento (LAMBERTS; BATISTA, 2007; ABNT, 2005).

O conforto acústico dos ambientes de uma edificação possui relação direta com os materiais de fechamento utilizados. A inserção de uma edificação no meio interfere e sofre interferência das características acústicas do entorno. A questão da acústica urbana é um grande problema atual, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior e as conseqüências para o homem são cada vez mais prejudiciais (SOUZA; ALMEIDA, BRAGANÇA, 2006).

Ocorre problema de ruído (som que incomoda) quando esse interfere nas atividades humanas que estão sendo exercidas. O ruído existente em um ambiente interno pode ser

³¹ Condutividade térmica: propriedade física dos materiais que é descrita como a habilidade dos mesmos de conduzir calor. Calor específico: grandeza física que define a variação térmica de determinada substância ao receber determinada quantidade de calor. Massa específica: razão entre determinada massa da substância e seu volume correspondente.

decorrente de atividades externas ou internas à edificação. A implementação de estratégias de controle de ruído em novas edificações é mais fácil do que em construções já existentes (BIES; HANSEN, 2003; BISTAFSA, 2006).

A energia sonora pode ser transmitida via aérea (som carregado pelo ar) e/ou via sólido (som carregado por estrutura). Uma fonte sonora operando em um ambiente produz ondas sonoras que se propagam em todas as direções, talvez com intensidades diferentes. A energia sonora incidente no fechamento interno depende da potência sonora da fonte e da absorção sonora total do ambiente. Essa energia incidente será em parte refletida e, em parte, absorvida pelo fechamento, dependendo do coeficiente de absorção do material. Da energia absorvida pelo fechamento, parte é dissipada em calor, e o resto se propaga através desse. O efeito total é que o fechamento como um todo entra em vibração, causada pela flutuação de pressão das ondas sonoras incidentes. A parede vibrando age do mesmo modo que um alto-falante, ou seja, irradiando energia acústica para o ambiente adjacente.

A quantidade da radiação sonora advinda da parede, e, portanto, a capacidade de isolamento dessa parede, depende da frequência do som, do sistema construtivo e do tipo de material que a compõe. Quanto mais massa possuir o fechamento, mais dificuldade encontra a onda sonora para fazê-lo vibrar. Nas diversas faixas de frequência existem parâmetros variáveis, que permitem determinar o nível de ruído transmitido. A característica de isolamento sonoro de uma parede é normalmente expressa em termos da Perda na Transmissão (PT),

$$PT = 10 \log \frac{1}{\alpha_t} = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \text{ (dB)}$$

onde α_t é o coeficiente de transmissão acústica, dado pela razão entre a energia transmitida e a energia incidente, W_i é a energia sonora incidente e W_t é a energia sonora transmitida (GERGES, 1992).

O isolamento de ruído fornecido por paredes, pisos, divisórias ou partições, é apenas uma maneira de atenuar a transmissão da energia sonora de um ambiente para outro. O som incidente numa parede faz a mesma vibrar e essa irradia novo som para o outro lado. O som chega ao outro lado com uma intensidade sonora inferior ao original e também com um timbre (espectro sonoro) alterado, uma vez que as altas frequências são mais atenuadas do que as baixas.

O conforto acústico para os usuários num ambiente é obtido reduzindo-se o ruído no interior de uma edificação a um nível aceitável. Pode-se dizer que a necessidade ou não da redução de ruído é determinada estabelecendo-se valores de referência e o atendimento a

esses valores proporciona ao ambiente um isolamento sonoro adequado para a atividade ali desenvolvida. Esse conforto pode ser alcançado por meio do isolamento acústico adequado do sistema de fechamento externo que evita ruídos aéreos vindos do exterior e do isolamento acústico adequado entre ambientes e de ruídos causados por impacto e equipamentos.

Para controlar o ruído proveniente da reverberação, definida pelo tempo necessário para que o nível de pressão sonora decaia em 60 dB, num ambiente é necessário conhecer a capacidade de isolamento sonora dos sistemas de fechamento e a capacidade dos materiais aplicados no interior da edificação em absorver o ruído interno. Isso ocorre porque quanto maior a absorção total do recinto, menor é a energia sonora do campo reverberante. A absorção sonora é uma característica inerente a cada material, ocorrendo em graus variados, e é determinada por meio de seu coeficiente de absorção sonora (α), que representa a capacidade do material em absorver a energia sonora (KINSLER et al, 1982; CITHERLET; HAND, 2002; STÉPHANE, C.; IAIN, 2003).

Num projeto é interessante, em função do entorno, que em fachadas expostas a ruídos intensos as paredes sejam pesadas e com revestimentos porosos e que não tenham muitas aberturas, como janelas. Quando são empregados materiais leves e de baixo isolamento acústico, pode-se utilizar o conceito de multicamadas e empregar material isolante acústico acoplado, o que é compatível com a construção estruturada em aço.

4.9. Dimensões fornecidas

Os componentes fabricados de forma industrial geralmente são fornecidos em algumas dimensões específicas, pois isso viabiliza uma produção sequencial. O projetista deve conhecer e considerar essas dimensões para que possa trabalhar com a coordenação modular³².

O processo de modulação deve começar já no início do desenvolvimento do projeto, permitindo assim a composição de diferentes componentes formando um sistema, cujas partes podem ser intercambiáveis.

No caso do uso da coordenação modular, deve-se adotar a unidade de módulo (medida) compatível com as dimensões fornecidas do material industrializado que se pretende empregar, atentando para os princípios de racionalização da construção: modulação, padronização, precisão e repetibilidade.

³²Técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência (ABNT, 1977)

A adoção da racionalidade nos projetos arquitetônicos, ajuda na diminuição do desperdício e da geração de resíduos na obra, diminui o tempo de execução, cria um canteiro de obra mais limpo e organizado e facilita reformas e substituição de componentes (na etapa posterior de uso).

4.10. Possibilidades de acabamentos

A radiação solar é um parâmetro muito relevante nas trocas térmicas através do envelope construtivo. Os materiais de construção se comportam diferentemente em relação ao fenômeno da radiação, por isso é conveniente distinguir os fechamentos opacos e os semi-transparentes. A diferença entre estes dois tipos de fechamentos está na sua capacidade de transmitir (semi-transparentes) ou de não transmitir (opacos) radiação solar para o ambiente interno.

A irradiância solar sobre uma dada superfície depende do local (latitude, longitude), orientação e inclinação da superfícies, do estado da atmosfera (do céu claro, encoberto, etc), das condições de poluição do ar e do ângulo de incidência sobre a superfície, e compreende uma faixa dentro do espectro eletromagnético que vai desde a região ultravioleta (com comprimentos de onda de 290 a 380 nm), passando pelo espectro visível (380 nm a 780 nm) até o infravermelho (com comprimentos de onda de 780 a 2500 nm).

Numa edificação é desejável a penetração da radiação visível para o bom aproveitamento da iluminação natural e para suprir as necessidades humanas de contato visual com o exterior. Já a radiação ultravioleta pode ter efeito prejudicial a tecidos naturais, a produtos sintéticos ou vernizes. Desse modo não é desejável que as superfícies semi-transparentes tenham um alto coeficiente de transmissão nesta região do espectro (INCROPERA et al, 2008).

Da radiação incidente no fechamento opaco parte é refletida e parte é absorvida, dependendo do coeficiente de reflexão (ρ) e de absorção do material (α). Além das parcelas de radiação refletida e absorvida, tem a parcela emitida pelos materiais da envoltória. Esta parcela depende do coeficiente de emissão da superfície (ϵ). Outra característica importante do fechamento opaco é a sua inércia térmica, associada a sua capacidade de amortecer e retardar a troca de calor.

Nos fechamentos semi-transparentes a maior parte da radiação incidente é transmitida em função da transmitância do elemento (τ). Os vidros e alguns plásticos semi-transparentes apresentam seleção da radiação, em função do comprimento de onda, isto é, transmitem

somente a radiação com comprimentos de onda entre 300 nm e 2500 nm, o que corresponde aproximadamente à região do espectro solar que atinge a superfície terrestre.

Em geral, as propriedades dos fechamentos associadas à radiação dependem do material do fechamento e de seu acabamento (cor e textura), da temperatura superficial, do comprimento de onda e da direção da radiação incidente. Numa edificação, os principais parâmetros intervenientes na troca de calor pelas aberturas são: orientação e tamanho da abertura; tipo de vidro; uso de proteções solares internas e externas.

4.11. Conteúdo reciclado na fabricação e no pós-consumo

Existem diferentes níveis de aproveitamento dos materiais, são eles: (1) reuso- quando o material está em bom estado de conservação e pode ser utilizado novamente sem que seja necessária uma atividade sobre esse, ou seja, pode ser aplicado da maneira que foi retirado; (2) reaproveitamento- quando a utilização é viável, mas necessita de alterações, tais como adição ou retirada de componente, alterações nas dimensões, etc.; e (3) reciclagem- que ocorre quando o material serve de matéria-prima na elaboração de novos materiais (MONTEIRO³³, 2002 apud MARQUES, 2007).

A reutilização ou reciclagem de materiais evita o descarte de materiais no meio ambiente, diminui extração de recursos naturais e reduz a geração de impactos do processo de manufatura de novos materiais (MARQUES, 2007).

Os materiais de construção podem apresentar conteúdos reciclados pré e pós-consumo. O conteúdo reciclado pré-consumo é referente ao material proveniente do próprio processo de fabricação. O termo pós-consumo se refere ao material gerado pelo uso final, na reincorporação dos resíduos gerados por usuários finais domésticos, comerciais e industriais, ou seja, é o conteúdo reciclável após o fim da vida útil do material.

Monteiro³³ (2002, apud MARQUES, 2007) ressalta que só o fato de o material ser reaproveitável e reciclável não é suficiente, tem que se ter disponível todo o aparato necessário para o devido tratamento deste material, além da conscientização dos envolvidos quanto à importância dessa ação. Esse fator é importante porque a aplicação de materiais considerados recicláveis em uma cidade que não possua a estrutura adequada implica em transporte até a cidade mais próxima apta a fazer essa reciclagem. Neste caso também devem ser contabilizados o impacto ambiental gerado pelo transporte até a outra cidade e os custos com esse serviço para avaliar a viabilidade da ação.

³³ MONTEIRO, Bárbara K. **Identificação das características relevantes para a sustentabilidade de sistemas construtivos**. In: NUTAU, 2002. Artigo Técnico.

Antes de se aproveitar resíduos (sejam industriais, domésticos ou provenientes da própria construção), recomenda-se que se investiguem alguns pontos a fim de avaliar se mesmo com os gastos e os impactos decorrentes da reciclagem compensa recorrer a esse processo. Alguns aspectos a serem considerados são: o risco de contaminação ambiental, potencial de reciclagem do material (% reciclável ou reusável), impactos do processo, custos do transporte e da reciclagem, consumo de combustíveis fósseis, energia e água, emissões decorrentes do transporte, lixiviação e emissões aéreas do produto reciclado, etc. (OLIVEIRA, 2009).

4.12. Toxicidade do material

Informações da Companhia de Saneamento Ambiental (CETESB), da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ASTDR), da *US Environmental Agency* (USEPA) e de outras fontes mostram que várias substâncias tóxicas estão presentes nos materiais de construção, como: Antimônio (baterias, pigmentos, cerâmica, ligas, plásticos, resinas, etc.); Arsênio (ligas, vidro, têxteis, tintas, etc.); Cádmiio (pilhas, tintas, pigmentos, biocidas, plásticos, etc.); Chumbo (soldas, lâmpadas, plásticos, vidro, tintas, etc.); Cianeto (madeira tratada, plásticos, biocidas, etc.); Mercúrio (lâmpadas, tintas, plásticos, biocidas, etc.); Formaldeído (colas, papel, têxteis, espumas, etc.); Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (plásticos, alvejantes, asfalto, madeira tratada, etc.); outros. Várias destas substâncias podem poluir e contaminar o meio ambiente de diversas formas. As fibras de amianto, por exemplo, são emitidas para o ar e em suspensão, inaladas. Os metais pesados podem ser lixiviados e contaminar solo e corpos d'água. As dioxinas também são emitidas para o ar e sua inalação acarreta riscos à saúde (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

Os materiais indicados para uso em obras sustentáveis devem conter o mínimo de componentes tóxicos possíveis, diminuindo possíveis impactos causados na saúde humana, não só durante o uso, mas também durante a sua produção. Porém, segundo John; Oliveira; Lima (2001), a simples identificação de substâncias tóxicas não é necessariamente um indicador eficiente de riscos, mas constitui um primeiro passo para a eliminação de tais riscos.

Recomenda-se o uso de materiais de acabamento como pinturas, seladores, carpetes, produtos de madeira composta etc. que contenham baixo COVs (Compostos orgânicos Voláteis), a fim de reduzir a quantidade de contaminantes do ar interno que tenham cheiro, ou seja, potencialmente prejudiciais à saúde e conforto dos ocupantes.

4.13. Energia gasta na produção

Um fator importante que também deve ser considerado na especificação dos materiais é a quantidade de energia gasta durante a produção desses. Roaf (2006) considera que talvez a medida mais importante do impacto de um material é fornecida pela energia incorporada. A energia incorporada é a energia consumida durante todo o ciclo de vida do material. O uso de energia não renovável é a principal razão para a degradação ambiental. Essa degradação é causada, geralmente, por emissões atmosféricas, principalmente o CO₂, contribuindo para o aquecimento global e efeitos que outras transmissões têm sobre a atmosfera, como por exemplo, a chuva ácida.

O cálculo da energia incorporada de um material deve envolver todos os estágios nos quais a energia é utilizada. Deve-se considerar a energia usada para a extração de materiais brutos, transporte, processamento, energia usada na fabricação, transporte ao sítio e energia usada in loco para instalar o produto.

Como é difícil encontrar números precisos publicados para a energia incorporada dos materiais e a maioria dos valores disponíveis é referente à produção europeia, que não serve como base de dados para o Brasil por diferenciar-se quanto aos processos de produção, energia utilizada, meios de transporte, entre outros aspectos. Esse dado deveria ser fornecido pelas indústrias, pelo menos quanto ao tipo de energia e a quantidade usada na fabricação por produto.

Alguns materiais, como metais e plásticos, necessitam de grande quantidade de energia por unidade de peso para a produção, mas podem trazer benefícios gerais, como aumento de vãos, aumento da vida útil e melhoramentos estéticos à construção, portanto esses aspectos devem ser pesados durante a especificação no projeto.

4.14. Quantidade de água e emissão de CO₂

O referencial AQUA destaca o consumo de água, a poluição do ar, a poluição da água e a mudança climática, dentre os dez principais indicadores da contribuição dos produtos de construção para os impactos ambientais de uma edificação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2001).

Para preservar a qualidade sanitária da água deve-se dar prioridade aos materiais de construção duráveis e com baixos impactos sanitários durante a vida útil (que não liberem poluentes na água). Atualmente, grande parte das empresas se preocupa com a economia de recursos, principalmente com a água, pois se trata de um fator econômico. Algumas questões

sobre a água utilizada na fabricação do material são de grande importância para a avaliação da sustentabilidade de um produto e para a gestão ambiental da própria empresa. No processo de produção devem ser avaliadas: a quantidade de água gasta durante a produção e como ela é tratada após o uso, se é reaproveitada no próprio processo ou se simplesmente é descartada contaminando rios com efluentes líquidos que resultam da fabricação.

A quantidade de emissão de CO₂ e de outros gases resultantes da fabricação de cada material devem ser avaliadas, pois alguns processos de produção liberam grandes quantidades de gases poluentes e prejudiciais à saúde e ao meio ambiente.

Vários gases contribuem para o fenômeno do efeito estufa: gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), etc. O impacto destes gases sobre o clima é medido pelo seu poder de aquecimento global. Durante a escolha de materiais também é importante priorizar aqueles que contribuam para a diminuição da emissão de gases do efeito estufa (mudança climática) ou que os produtos cujo CO₂ emitido durante sua fase de produção tenha sido neutralizado por programas ambientais (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2001).

Os programas de neutralização de carbono compensam a emissão do CO₂ liberado nas atividades de determinada empresa que quer neutralizar o carbono emitido em suas atividades, por meio de investimentos em projetos ambientais. Esses projetos podem estar ligados: 1) reflorestamento de áreas nativas devastadas; 2) conservação de áreas de florestas existentes nos principais biomas nacionais; ou 3) geração de energia limpa, pela substituição de equipamentos movidos a óleo e outros combustíveis fósseis por equipamentos geradores de energia renovável (eólica, fotovoltaica e outras). Esses programas de neutralização variam de acordo com cálculos sobre a sua emissão total de CO₂ da empresa, e devem ser suficientes para a neutralização de todo o carbono produzido por ela (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2001).

4.15. Flexibilidade e potencial de reutilização

O uso de materiais reaproveitados, sejam reutilizados ou com conteúdo reciclado, proporciona benefícios ambientais ao reduzir: (a) o consumo de recursos virgens; (b) os impactos decorrentes da extração destes recursos e (c) a quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

Por isso, os materiais especificados para uma construção também devem ser avaliados quanto ao seu potencial de flexibilidade e de reutilização. As possibilidades de recuperação e reutilização de componentes que possam ser desmontados de forma viável, sem gerar resíduos, devem ser consideradas ainda na etapa de projeto. Dependendo dos materiais ou

sistemas construtivos, a possibilidade de desmontagem parcial ou total da construção civil pode ser facilitada, permitindo que a mesma se adapte às novas exigências dos usuários e às mudanças de usos ao longo dos anos por meio de renovações e reformas, sem desperdício de materiais e recursos.

4.16. Vida útil

A durabilidade de um material é um aspecto imprescindível que deve ser considerado durante a etapa de escolha dos materiais construtivos. Para isso, é necessário levar em conta a vida útil esperada, a necessidade de manutenção dos vários elementos construtivos (no caso da edificação) e seu estado no final da vida útil, se poderá ser reciclado ou reutilizado de alguma forma.

Quanto mais tempo um material durar, quanto maior a vida útil, mais baixo será o impacto de energia e poluição resultantes da fabricação. Segundo Roaf (2006, p.56), “um modo simples de pensar sobre isso é considerar a energia incorporada inicial de uma edificação inteira e dividir esse número por sua vida útil, considerando as manutenções”.

4.17. Montagem

Sobre a montagem, deve-se considerar o seu grau de dificuldade por meio de uma avaliação dos seguintes aspectos: quais serão os equipamentos necessários, o peso dos materiais, a mão-de-obra utilizada (se é qualificada) e o desperdício de recursos (tais como água e energia) e do próprio material durante o processo.

4.18. Manutenção

Na escolha adequada de materiais para uma construção devem-se priorizar aqueles produtos de fácil conservação e com baixos impactos ambientais e sanitários durante a vida útil, fase do ciclo de vida que inclui conservação e a manutenção. Uma “boa” manutenção, sob o ponto de vista ambiental, apresenta as seguintes qualidades: necessidades de manutenção otimizadas; baixo impacto ambiental e sanitário dos produtos e procedimentos utilizados; execução garantida em todas as situações; meios de acompanhamento que permitem a manutenção do desempenho; acesso a equipamentos e sistemas (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2001).

Na avaliação da manutenção dos materiais devem-se analisar os fatores determinados pelas qualidades inerentes ao produto e os fatores afetados pelo modo como esses são incorporados ao projeto. Durante a escolha, devem ser consideradas algumas informações

para avaliar a sua viabilidade da operação, tais como: facilidade e periodicidade de manutenção, produtos, água e energia necessários, emissões tóxicas dos produtos, custos do material reposto e custos de mão-de-obra.

Na maioria das vezes, quanto maior a tecnologia empregada, mais difícil é encontrar mão-de-obra específica para a conservação e, por isso geralmente o serviço torna-se mais caro. Devido a essas questões, torna-se de suma importância a avaliação prévia das condições de manutenção de um material construtivo.

4.19. Transporte até a obra

O transporte rodoviário, principal meio de transporte utilizado no país, acarreta sérios impactos na saúde do ser humano, além dos impactos causados nos ecossistemas como: o aumento do uso de recursos energéticos não renováveis, uso de recursos para a construção de vias e rodovias e uso de materiais na manufatura dos veículos.

O transporte está diretamente ligado à emissão de CO₂ oriunda do diesel, combustível mais comum utilizado para transporte de grandes cargas. Segundo Roaf (2006), quanto mais longe um material tiver que viajar, maior será a emissão de poluentes no seu transporte. Questões como: distância percorrida, peso do material e meio de transporte utilizado também influenciam no grau de poluição e no gasto financeiro decorrentes do processo.

Até mesmo materiais naturais podem viajar grandes distâncias para receber acabamentos antes da entrega ao ponto de vendas. O custo com esse transporte e a poluição causada pelo deslocamento pode tornar tal produto inviável do ponto de vista sustentável, pois pouco adianta especificar um material de baixo impacto ambiental, se a energia embutida e os custos ambientais com o transporte forem maiores.

A questão da logística está diretamente relacionada com a sustentabilidade porque no transporte de mercadoria é queimada uma grande quantidade de combustíveis fósseis com conseqüente geração de dióxido de carbono e óxidos de hidrogênio (causador da chuva ácida) [...] O percurso traçado por cada material da construção deve ser gerenciado e monitorado, não apenas por questões econômicas, mas em termos ecológicos por toda sua vida útil. O transporte de mercadorias não só está emitindo CO₂, como também contribui pelo aumento do tráfego nas rodovias e o desgaste destas (OLIVEIRA, 2009, p. 43).

Informações sobre a origem dos materiais nem sempre estão disponíveis, mas perguntar aos fornecedores sobre a distância da fábrica até a obra pode ajudar a tomar a decisão. Em algumas situações o transporte deverá ser pesado contra a durabilidade e outras características do material.

Ainda não há um consenso entre os estudiosos e as certificações ambientais de construções com relação à quantificação da distância máxima da obra para que o material seja considerado regional. Roaf (2006) considera que o raio máximo de distância da fábrica até o local do empreendimento deve ser de 200 km. A certificação brasileira AQUA considera o raio máximo de 300 km do empreendimento para que um material seja considerado regional (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007). Já a certificação LEED considera que esse raio máximo seja de até 500 milhas de distância do empreendimento, aproximadamente 800 km (USGBC, 2009).

4.20. Análise dos painéis de fechamentos

Conhecidos os aspectos mais relevantes para avaliação dos materiais sob a ótica da sustentabilidade ambiental e o aporte de informações necessárias para tal, prossegue-se no Capítulo 6 o detalhamento das características dos painéis: painel de gesso acartonado- Knauf, painel cimentício- Brasilit, painel OSB- LP Brasil e painéis de concreto armado das empresas Premo e Precon.

5. CONSTRUÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO

5.1. História do uso do aço na construção

No século XIX o ferro passou a ser empregado em diversas finalidades, dentre elas a construção de edifícios. Foi quando o ferro fundido começou a ser produzido em escala industrial, em grande quantidade, barateando o custo de sua produção, tornando-se um material com grandes potencialidades. Os produtores passaram a tentar provar a viabilidade do novo produto, impondo o uso deste material para inspirar uma revolução gradual dos métodos construtivos, contrapondo-se a todo um processo de construção até então desenvolvido. O aperfeiçoamento das técnicas industriais aplicadas ao ferro permitiu a criação de uma infinidade de sistemas construtivos ao longo do século. Com o aumento da produção do ferro fundido, seu conseqüente barateamento e a constatação de seu poder de resistência aos esforços de compressão, houve um aumento da sua utilização na produção de edifícios.

Silva (1988) relata que enquanto os países da América Latina e Ásia eram apenas o mercado consumidor da Europa, os Estados Unidos possuíam uma crescente produção de ferro que era quase totalmente absorvida pelo mercado interno, possibilitando o crescimento de sua própria indústria siderúrgica.

No Brasil, as importações dos sistemas construtivos em ferro para edificações ocorreram principalmente nas cidades ao norte do país que, no final do século XIX e princípio do século XX, que enriqueceram com o comércio da borracha, permitindo que as administrações públicas destas cidades e as classes mais abastadas comprassem da Europa prédios e residências pré-fabricadas (HERMSDORFF, 2005).

No século XIX a importação de técnicas construtivas industrializadas no âmbito nacional não ocorreu em uma região específica, nem em larga escala, mas apenas em algumas regiões de grande e rápido desenvolvimento econômico. As novas técnicas construtivas não foram absorvidas pela cultura construtiva do país, portanto não representaram uma mudança de mentalidade similar a ocorrida nos países da Europa e os Estados Unidos (KRÜGER, 2000).

Segundo Gervásio e Silva (2005) em 1856 aconteceu a invenção do aço, geralmente atribuída a um inventor inglês, Henry Bessemer. Henry Bessemer fundou a Bessemer Steel Company em Sheffield, Inglaterra, sendo o aço produzido por meio da passagem de um caudal de ar (volume de fluido que atravessa uma dada área por unidade de tempo) através de uma carga de ferro fundido, de forma a oxidar o material e separar as impurezas, o qual ficou

conhecido como o processo Bessemer. Ainda hoje o aço é produzido com tecnologia baseada neste processo, sendo é constituído por uma liga de ferro e carbono, com menos de 2% de carbono e 1% de manganésio e pequenas percentagens de silício, fósforo, enxofre e oxigénio.

Silva (1988) afirma que a siderurgia nacional, depois de passar por dificuldades para se firmar século XIX, começou a se consolidar na década de 20 do século passado. No entanto, a Primeira Guerra Mundial e o êxito do concreto armado como material de construção contribuíram para diminuir sensivelmente a utilização do ferro como material autônomo.

A partir da década de 30 do século passado, se iniciou o intenso desenvolvimento e a propagação do concreto armado no país, impulsionado pelo crescimento e a verticalização das grandes cidades, além do desenvolvimento da indústria pesada (cimentícia, siderurgia...). Soma-se ainda outro fator que contribuiu para a consolidação do concreto armado no Brasil: a eclosão da Segunda Guerra Mundial, que trouxe como consequência a interrupção de informação e da importação de materiais entre o país e os Estados Unidos, propiciando um acelerado desenvolvimento nacional da tecnologia do concreto armado (HERMSDORFF, 2005).

Segundo Campari (2006), a década de 40 foi o marco do início da nova arquitetura, porém os produtos importados eram extremamente caros e o aço não era uma solução econômica que pudesse concorrer com o concreto armado. Esse fato ainda acontece hoje, ao menos em relação aos grandes edifícios, apesar das importantes usinas siderúrgicas criadas no pós-guerra. Nessa época seu uso limitou-se às construções utilitárias, onde podia ser rentável, em função de programas específicos.

No Brasil, a partir da década de 80 do século passado, o aço deixou de ser utilizado apenas em galpões e indústrias, sendo exploradas suas amplas possibilidades e potencialidades inclusive em edificações comerciais e residenciais (CASTRO, 2000; KRÜGER, 2000; SALES; SOUZA; NEVES, 2002).

5.2. Construções metálicas

A tendência da industrialização da construção mundial indica o crescente desenvolvimento de edificações em aço, porém sua introdução ainda é recente no Brasil. Atualmente, no cenário nacional, o concreto armado ainda é o principal modelo estrutural adotado na maioria das construções.

Enquanto outros países utilizam chapas de fechamento e restos de metais e polímeros (os plásticos recicláveis) com construtoras planejando a obra

como se fossem montadoras, agrupando fornecedores de peças (coberturas, estruturas e painéis de fechamento) dentro do canteiro de obra, a construção civil brasileira discute o tema sustentabilidade através da reutilização do concreto de demolição, separando agregados maiores para a produção de concreto, pavimento intertravado e os menores para cimento e argamassas. A obra “seca”, montada, sem resíduos é ainda inviável comercialmente para a maioria dos prédios no Brasil (CAMPARI, 2006, p.1).

Dentre as principais razões que dificultam a aplicação da filosofia construtiva do aço no país estão: a “cultura do concreto” (ainda muito difundida), a crença de que seu custo é elevado se comparado ao do concreto e a falta de conhecimento técnico do sistema construtivo quanto aos procedimentos específicos de sua utilização como componente estrutural e dos componentes que o acompanham. O fato de o aço estrutural possuir natureza e características bastante diferenciadas das do concreto armado aumentam ainda mais a resistência à sua aplicação (RIBAS, 2006; KRÜGER, 2000).

A construção industrializada nacional necessita do domínio da metodologia construtiva apropriada para o seu uso. Por exemplo, os novos sistemas de fechamentos disponíveis enfrentam problemas referentes à carência de desenvolvimento tecnológico, do conhecimento de suas características e de mão de obra especializada, o que ocasiona na resistência quanto à sua utilização entre os profissionais da construção e no mercado consumidor (BASTOS; SOUZA, 2007).

Esses componentes construtivos deveriam estar devidamente associados ao processo de produção da edificação industrializada, porém os sistemas de fechamento tradicionais em alvenaria ainda são aplicados, como mostrado na figura 5.1. Tal procedimento leva a uma semi-industrialização da construção, utilizando o sistema de forma desfavorável, pois os sistemas industrializados e o convencional demandam velocidades de execução diferentes e a compatibilização das interfaces construtivas, de solução não tão simples, pode comprometer a qualidade final e o desempenho da edificação (RIBAS, 2006; BASTOS; SOUZA, 2010).

A construção metálica deve ter como característica principal trabalhar com materiais industrializados (como os perfis utilizados na estrutura) e pré-fabricados (como a utilização de painéis para o fechamento vertical), que são apenas montados no canteiro de obras. Os perfis da estrutura, pelo fato de serem elementos industrializados, apresentam alto grau de precisão em suas dimensões, com tolerâncias mínimas de fabricação e exigem que os demais elementos apresentem também certo grau de precisão. Durante a montagem não existe espaço para reformulação e improvisação, sendo necessário um projeto cuidadoso e um detalhamento muito apurado dos elementos que compõe o sistema (COSTA; ARAÚJO;

SOUZA, 2006). Campari (2006) reforça essa opinião, ressaltando a importância da utilização de componentes pré-fabricados aliados à estrutura em aço:

A utilização maciça do aço implica uma análise não somente da estrutura e sim de todos os sistemas que compõe a obra, pois, quando se parte para a utilização da estrutura metálica, o nível de tolerância passa a ser o milímetro; os equipamentos para sua execução são guias pesadas, portanto é fundamental transformar a construção em montagem, acrescentar fachadas pré-fabricadas, banheiros prontos e demais sistemas construtivos em *pallets* para otimizar o uso de equipamentos. Seria possível desta forma atingir até 70% em fornecimento dos componentes para a montagem de uma obra (CAMPARI, 2006, p.1).



Figura 5.1- Edificação estruturada em aço com fechamento em alvenaria tradicional em Viçosa/MG, dez. 2009.

A utilização de alvenaria tradicional, como os blocos de concreto ou tijolos cerâmicos vazados ou maciços, para o fechamento vertical implica em um processo de assentamento artesanal (figura 5.2) e lento e abre espaço para improvisações, além de geralmente gerar desperdício de recursos e poluição no canteiro de obras (pelo acúmulo e perda de materiais como areia, brita e cimento).



Figura 5.2- Assentamento de blocos para alvenaria:
processo artesanal e lento.
Fonte: NASCIMENTO, 2004.

Segundo Nascimento (2004), apesar dos avanços no cenário mundial, as estruturas metálicas com fechamentos em painéis, ou mesmo com alvenaria ainda tem sido pouco explorada no Brasil, mas esse cenário está mudando:

O conservadorismo dos agentes envolvidos com a construção civil, a falta de conhecimento das alternativas e a escassez de informações resultam em um círculo vicioso, responsável em grande parte pela não exploração da potencialidade destes sistemas. No entanto, os investimentos destinados a este setor estão cada vez mais presentes e volumosos. As “conclusões” do tipo “eu acho que isso vai dar problema”, grandes demonstrações de incompetência tecnológica, devem ser completamente abolidas da engenharia e substituídas por estudos que vão certificar a eficiência do sistema (NASCIMENTO, 2004, p.6).

Atualmente, o aço está sendo redescoberto pelos projetistas e empreendedores da construção nacional, pois é um sistema que apresenta grandes vantagens construtivas e que torna a construção mais sustentável ambientalmente por meio da promoção de práticas e técnicas mais industrializadas e da gestão de recursos e resíduos de forma eficiente. Com frequência cada vez maior, são incorporadas ao cenário brasileiro construções que adotam o aço como sistema construtivo, onde se pode notar sua aplicação principalmente em empreendimentos que priorizam rapidez na execução das obras, como Indústrias, *shopping centers*, supermercados e escolas.

5.2.1. Sistemas Light Steel Framing e Drywall

Além das tradicionais estruturas formadas por perfis metálicos existem sistemas de construção, cada vez mais utilizados, que utilizam perfis de aço galvanizado para o

fechamento vertical de edificações em conjunto com painéis industrializados. Esses sistemas podem ser usados de forma isolada (*Light Steel Framing*, já existem prédios de até quatro andares no Brasil) ou em conjunto com as estruturas tradicionais (*Light Steel Framing* ou *Drywall*), com função de fechamento.

O sistema *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema construtivo de concepção racional, que vem passando por processo de aceitação e desenvolvimento no mercado da construção civil nacional. O LSF caracteriza-se pelo uso de perfis leves de aço galvanizado formados a frio, bastante esbeltos e que compõem sua estrutura, sendo utilizado para a composição de painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes.

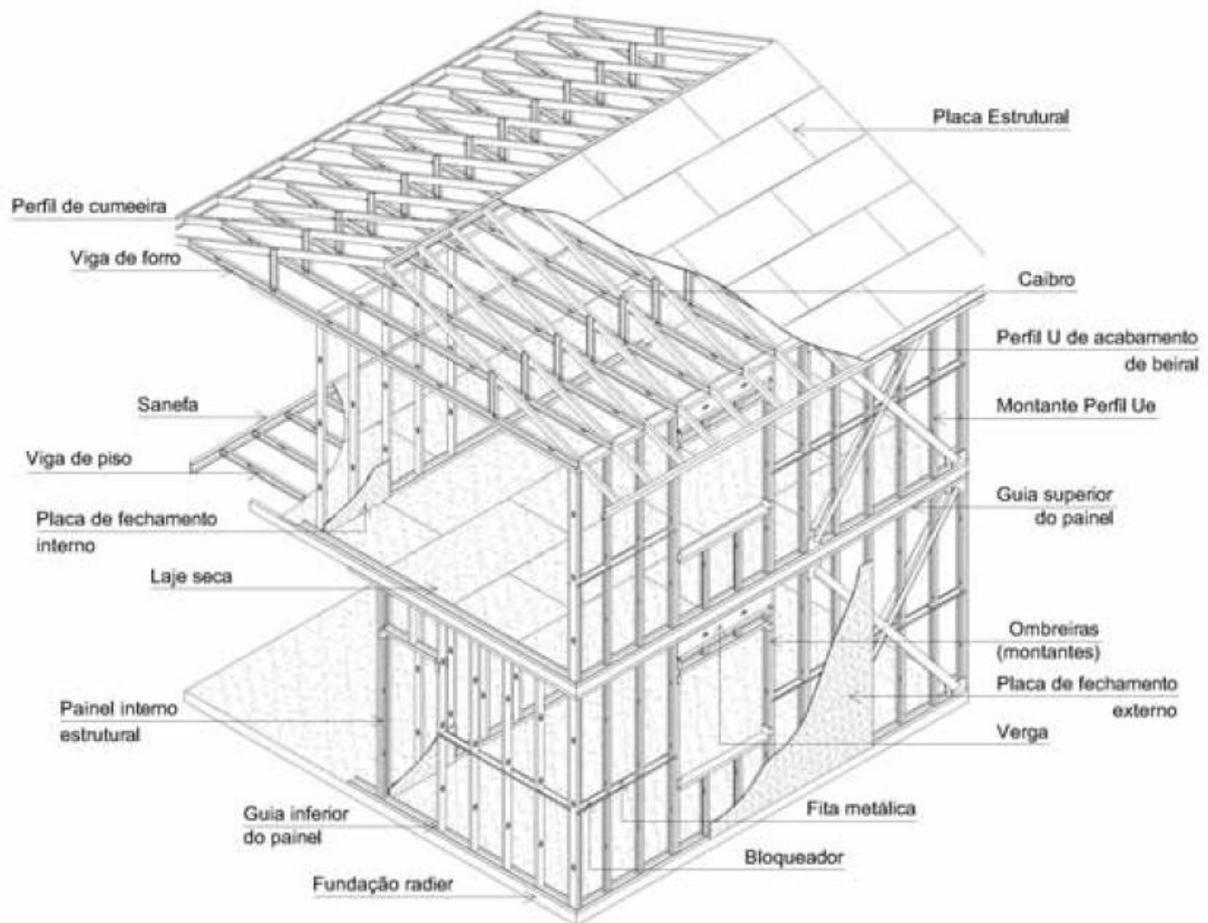
Essa tecnologia remonta ao início do século XIX, quando foi necessário empregar métodos mais rápidos de construção, utilizando primeiro a madeira, no sistema Wood Frame e com o desenvolvimento da indústria do aço, já no século seguinte, foi lançado o primeiro protótipo de residência em LSF, utilizando o aço como substituto para a madeira (FREITAS; CRASTO, 2006).

Esse sistema trabalha em conjunto com subsistemas racionalizados, como apresentado na figura 5.3, proporcionando uma construção industrializada, com grande rapidez de execução e a seco. O LSF compõe-se de um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação. Os subsistemas que compõem o LSF são, além do estrutural, de fundação, isolamento termo-acústico, fechamentos interno e externo e instalações elétricas e hidráulicas.

Segundo Corbioli (2008), a principal vantagem do sistema é a rapidez de execução da obra. Por ser um sistema de montagem, o projeto demora mais, porém a construção é mais rápida, “uma construção de cem metros quadrados fica pronta em um mês” (CORBIOLI, 2008, p.1). Outra grande vantagem do sistema é a ausência de entulho. O pouco resíduo que sobra é geralmente reciclável e pode ser vendido.

Segundo Corbioli (2008), o aço usado na fabricação dos perfis é fornecido somente pela Usiminas ou pela CSN e já vem galvanizado. O aço galvanizado, fornecido em bobinas pelas siderúrgicas, é a matéria-prima com que as perfiladoras (beneficiadoras do aço) produzem os perfis, no comprimento exigido pelo projeto e já perfurado para permitir a passagem das instalações. A galvanização cria uma camada superficial que protege o aço do contato com agentes agressivos, como maresia, poluição, geada e vapores industriais. Existem três opções de galvanização, com camadas de zinco de 180, 275 ou 320 gramas por

centímetro quadrado. A mais espessa destina-se a perfis que serão empregados em atmosferas mais agressivas, como construções litorâneas ou áreas industriais e as demais são indicadas para ambientes não marinhos.



Figuras 5.3. Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*.
Fonte: FREITAS; CRASTO, 2006, p. 14.

Apesar dos Sistemas LSF e *Drywall* serem visualmente semelhantes, conceitualmente apresentam características bem distintas. O sistema *Drywall* é um sistema de fechamento não estrutural, amplamente utilizado em fechamentos internos que, apesar de utilizar o aço galvanizado em sua sustentação para compor o esqueleto onde são fixadas os painéis para fechamento, necessita de uma estrutura externa ao sistema para suportar as cargas da edificação. Já o LSF é um sistema mais amplo, que pode ter função estrutural ou não e é capaz de integrar todos os componentes necessários à construção de uma edificação (FREITAS; CRASTO 2006).

Os perfis do sistema LSF não são os mesmos usados nos sistemas *Drywall*. Pelas normas, os perfis de *Drywall* têm espessura de 0,55 milímetros e não servem para fins

estruturais. Já os perfis de LSF, possuem espessuras entre 0,95 e 1,25 milímetros e larguras de 90, 140 e 200 milímetros (CORBIOLI, 2008).

Após a montagem da estrutura, pode-se aplicar a membrana permeável, em versões específicas para vedações verticais (para paredes externas) ou subcoberturas, dependendo da necessidade. Essa membrana é instalada pelo lado externo do perfil e será recoberta pelo material de fechamento (painéis) ou ainda pelas telhas. A finalidade desse elemento de poros minúsculos é bloquear a entrada de água e, ao mesmo tempo, possibilitar a saída de vapores e umidade, evitando a condensação no interior da construção.

O espaçamento de eixo a eixo entre os montantes (perfis galvanizados) variam entre 400 ou 600 mm para ambos os sistemas. Os sistemas implicam dois planos de fechamento, o que deixa um vazio entre paredes que pode ser preenchido com material isolante. O primeiro a ser instalado é o plano de fechamento externo, implantado junto da membrana permeável (no caso de paredes externas). Os painéis devem ser fixados aos perfis com parafusos de aço inoxidável ou galvanizados autobrocante, que furam e aparafusam ao mesmo tempo, evitam reações químicas com a estrutura e ainda facilitam a desmontagem para reaproveitamento do aço no caso de a construção vir a ser demolida.

Há opções bastante diversificadas para esse procedimento, o que torna a escolha para o arquiteto mais flexível. Entre os painéis mais comuns utilizados para fechamentos em LSF ou Drywall destacam-se: placa cimentícia, painéis de gesso acartonado e painéis de OSB.

Os sistemas LSF e *Drywall* oferecem vantagens construtivas em relação à alvenaria tradicional. No capítulo 6- Painéis de fechamento, as vantagens e desvantagem da aplicação desses sistemas, juntamente com os painéis, foram analisadas.

5.3. Potencial do Brasil

Segundo Zanettini (2002), no Japão 85% das obras são feitas em aço e nos EUA mais de 65% das edificações são estruturadas em aço. Nesses países os sistemas de fechamento também são industrializados para obter maior proveito das vantagens do uso desse tipo de estrutura.

O aço revela grande potencial no Brasil e segundo os dados relatados por Inaba (2000), diretor da Associação Brasileira da Construção Metálica (Abcem), existe uma extrema desproporção do consumo.

No Japão, a construção civil utiliza anualmente cerca de 18 milhões de toneladas de aço; nos EUA, o consumo fica em torno de 11 milhões de toneladas... No Brasil, a produção destinada à construção civil é de cerca de

500 mil toneladas, das quais apenas metade é usada na fabricação de estruturas metálicas (INABA, 2000, p.1).

Um dos motivos do grande consumo de aço em países como o Japão, a Coréia do Sul e os Estados Unidos, que utilizam em grande quantidade o Sistema *Light Steel Framing* na construção de edifícios residenciais principalmente, está no fato de se localizarem em zonas do planeta onde ocorrem freqüentes abalos sísmicos. O sistema *Light Steel Framing* utiliza materiais leves (perfis de aço e painéis fechamentos leves) se comparado ao peso do concreto armado e da alvenaria tradicionalmente usada no Brasil, tornando a casa uma estrutura flexível e adaptando-se às mínimas variações do terreno. Isso contribui para não abrir fissuras nas paredes e apresentar menores riscos de queda de pilares ou de paredes pesadas na eventualidade de um sismo violento.

A utilização do aço no Brasil tem ainda um caminho a percorrer. Comparando-se os valores relativos ao consumo do aço, per capita, no Brasil e na Europa, o consumo na Europa é cerca de 4 vezes superior ao do Brasil.

Em termos de construção, o “share” relativo a construção de edifícios no Reino Unido é de 70% aproximadamente. Este valor não corresponde evidentemente a média européia, no entanto, o Brasil com um “share” de 4 a 5% indica igualmente algum defasamento relativo à média dos países europeus. No entanto, o potencial de crescimento das estruturas metálicas no Brasil é muito grande. A implementação de estratégias que conduzam à sustentabilidade da construção irá colocar novos desafios ao setor. Neste aspecto, as estruturas metálicas desempenham um papel preponderante e são extremamente competitivas, pois o futuro das estruturas metálicas no Brasil é bastante promissor (SUSTENTABILIDADE..., 2008, p.8).

5.4. Vantagens da utilização do aço na construção civil

O aço tem características que fazem dele um dos materiais com maior potencialidade no que diz respeito à Construção Sustentável. Normalmente identificado como um material “amigo do ambiente”, a utilização do aço na construção civil pode trazer benefícios sociais, ambientais e até mesmo econômicos, que contribuem com as metas de construções sustentáveis, conforme mostrado no Quadro 5.1.

Quadro 5.1. (a) Vantagens da construção em aço – Benefícios sociais

Menor nível de poluição e ruído	A pré-fabricação minimiza os níveis de poluição e de ruído no canteiro de obras por diminuir a emissão de material particulado e a poluição sonora geradas por serras e outros equipamentos.
Material com baixos níveis de emissão	A construção em aço leve é constituída por materiais com baixos níveis de emissões.

Fonte: GERVÁSIO, 2008b.

Quadro 5.1. (b) Vantagens da construção em aço – Benefícios ambientais

Maior limpeza da obra	Devido à ausência de entulhos, como escoramento e fôrmas, a pré-fabricação das estruturas contribui para um ambiente de trabalho mais limpo e com maior segurança, contribuindo para uma melhor organização do canteiro, evitando depósito de materiais e reduzindo o desperdício de materiais. As componentes das estruturas metálicas são entregues na obra na altura da sua montagem, minimizando a área de armazenamento (CONTRUÇÕES...,2009).
Preserva a natureza no fim da vida útil	Os problemas com demolição após a vida útil de um edifício, tais como ruídos, poeira e poluição são evitados com a utilização de edificações em aço por serem facilmente desmontáveis, de maneira segura e limpa, permitindo despojo seletivo. O baixo peso das estruturas previne a deterioração do solo (LEMOINE, 2002).
Apresenta um balanço ecológico positivo	A análise do ciclo vital de uma edificação feita em aço comparada à de uma feita em concreto revela uma redução de 41% no consumo de água durante a construção. A construção em aço faz cair pela metade o movimento de caminhões na locação e resulta em menos 57% de detritos inertes. Ao longo da vida útil da edificação, devido a valiosas técnicas de isolamento externo, o aço possibilita economia significativa de energia, facilidade de manutenção e adaptabilidade. Ao final de sua vida útil, é facilmente reciclável. No total, a economia gerada durante a vida útil de uma contribui para um balanço ecológico altamente favorável ao aço (LEMOINE, 2008).

Fonte: CONTRUÇÕES...,2009; LEMOINE, 2002; LEMOINE, 2008.

Quadro 5.1. (c) Vantagens da construção em aço – Benefícios econômicos

Menor prazo de execução	A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.
Antecipação do ganho	Em função da maior velocidade de execução da obra, pode haver um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.
Racionalização de materiais e mão-de-obra	Numa obra convencional o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura em aço possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que os resíduos gerados durante a construção sejam reduzidos ao mínimo, e sendo, na sua maior parte, recicláveis
Alívio de carga nas fundações	A maior leveza das estruturas metálicas reduz o impacto das estruturas no solo de fundação e permite reduzir as dimensões das fundações, podendo reduzir em até 30% no seu custo.

Fonte: CONTRUÇÕES...,2009.

A utilização de estruturas em aço em uma edificação pode garantir a qualidade de uma obra. As estruturas em aço, por passarem necessariamente por um processo de industrialização, apresentam alto grau de precisão, o que contribui para construções mais precisas quando utilizadas em obras racionalizadas que não permitem reformulações no canteiro. As vantagens da aplicação do aço no aspecto da qualidade da obra são apresentadas no Quadro 5.2.

Quadro 5.2. Vantagens da construção em aço - Qualidade

Maior confiabilidade do material	O material é único e homogêneo, com limites de escoamento e ruptura e módulo de elasticidade bem definidos (VANTAGENS..., 2009).
Garantia de qualidade da obra	A fabricação de uma estrutura em aço ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial (CONTRUÇÕES..., 2009).
A pré-fabricação garante uma maior precisão	Numa estrutura em aço a unidade de precisão empregada é o milímetro. A fabricação obedece a rigorosas especificações dimensionais. Isso garante uma estrutura perfeitamente apurada e nivelada (CONTRUÇÕES..., 2009).

Fonte: VANTAGENS..., 2009; CONTRUÇÕES..., 2009.

As vantagens da utilização da estrutura em aço também podem ser observadas durante o processo de concepção do projeto e construção, como forma de possibilidade maior de aproveitamento dos espaços, flexibilidade e facilidades construtivas, em alguns aspectos, conforme se apresenta no Quadro 5.3.

Quadro 5.3. Vantagens da construção em aço - Projeto

Liberdade no projeto de arquitetura	A tecnologia do aço confere aos arquitetos total liberdade criadora, permitindo a elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante, possibilitando grande impacto visual através de estruturas leves e transparência visual que promove luz natural (CONTRUÇÕES...,2009).
Flexibilidade	A estrutura em aço mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. A expansão pode ser executada sem interferir nas outras atividades: isto só é possível devido à precisão e menores dimensões das peças e à fabricação fora do local da obra. Além disso, torna mais fácil a instalação e a passagem de infra-estrutura (CONTRUÇÕES...,2009).
Maior área útil	As seções dos pilares e vigas de aço são mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil (CONTRUÇÕES...,2009).
Facilidade de vencer grandes vãos	A maior resistência do aço proporciona condições para vencer grandes vãos, com menores dimensões das peças e menores pesos (VANTAGENS..., 2009).
Permite criar sistemas de fechamentos de elevado isolamento	O isolamento térmico e acústico pode ser adaptado a qualquer local ou requisito funcional contribuindo para um comportamento energético mais eficiente (GERVÁSIO, 2008b).
Fácil adaptação a novas funções	As estruturas metálicas podem ser facilmente adaptadas a novos requisitos funcionais durante o ciclo de vida de um edifício (GERVÁSIO, 2008b).
Reabilitação de edifícios existentes	Torna-se mais fácil a reabilitação de edifícios existentes com estruturas metálicas, conduzindo à preservação dos valores culturais e históricos (GERVÁSIO, 2008b).

Fonte: CONTRUÇÕES..., 2009; VANTAGENS..., 2009; GERVÁSIO, 2008b.

Nas construções estruturadas em aço a montagem pode ser facilitada pelas próprias características do material e de seu processo construtivo, como apresentado no Quadro 5.4.

Quadro 5.4. Vantagens da construção em aço – Construção e montagem

Maior facilidade de transporte e manuseio	Em função da maior resistência do material, as peças de aço são menores, com menor peso relativo, facilitando assim o carregamento, transporte e manipulação (VANTAGENS..., 2009).
Maior facilidade de montagem	A equipe montadora recebe as peças nos tamanhos definidos, com as extremidades preparadas para soldagem ou aparafusamento durante a montagem; esta é rápida e eficiente, feita com mão de obra qualificada e equipamentos leves (VANTAGENS..., 2009).
Compatibilidade com outros materiais	O sistema construtivo em aço é compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas in loco) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc) (CONSTRUÇÕES...,2009).

Fonte: VANTAGENS..., 2009; CONTRUÇÕES...,2009.

Nas etapas de manutenção e fim da vida útil da edificação esse tipo de estrutura também apresenta algumas vantagens, conforme mostrado no Quadro 5.5.

Quadro 5.5. Vantagens da construção em aço – Manutenção, vida útil e possibilidade de reciclagem

Resistência à corrosão	O aço apresenta excelente resistência à corrosão atmosférica desde que determinados cuidados sejam tomados. Deve-se proteger a estrutura com pintura e/ou galvanização; pode-se ainda trabalhar com aços de alta resistência à corrosão atmosférica, capazes de durar quatro vezes mais que os aços comuns. No ambiente rural são necessários de 40 a 100 anos para a perda de 1mm de camada de aço-carbono comum e nos ambientes marítimo e industrial de 20 a 40 anos (VANTAGENS..., 2009).
Material seco e inorgânico	Os materiais utilizados são secos e inorgânicos prevenindo problemas de umidade e contribuindo para a minimização da manutenção dos edifícios (GERVÁSIO, 2008b).
Tem uma vida útil longa	Quando submetido à manutenção, o aço dura por muito tempo. Esse fator permite amortizar facilmente os impactos ambientais devidos à sua fase de produção (GERVÁSIO, 2008b).
Facilidade de desmontagem e reaproveitamento	Quando as edificações em aço não são mais necessárias em sua locação, elas podem ser desmontadas e reconstruídas em outro lugar. Os custos para desmontagem e reconstrução são normalmente mais baixos que aqueles de uma nova construção. As estruturas podem ser reaproveitadas com menor geração de rejeitos, através da reutilização dos componentes sem necessidade de qualquer reprocessamento (GERVÁSIO, 2008b).
O aço é 100% reciclável	O aço pode ser indefinidamente reciclado em sua totalidade sem perder nenhuma de suas qualidades. Mais da metade do aço produzido na França e na União Européia e 40% da produção mundial de aço é obtida do aço reciclado. Este índice vem aumentando ano após ano, preservando recursos e o meio-ambiente (LEMOINE, 2002). Na maior parte dos setores, incluindo o da construção, as taxas de reciclagem variam entre 80 e 100%. A produção de aço a partir de aço reciclado reduz as emissões de CO ₂ – em 2006 foram poupadas aproximadamente 894 milhões de ton. de CO ₂ . Os resíduos gerados durante a construção são reduzidos e em sua maior parte são recicláveis (GERVÁSIO, 2008b).

Fonte: VANTAGENS..., 2009; GERVÁSIO, 2008b; LEMOINE, 2008.

5.5. Desvantagens da utilização do aço na construção

Apesar de todas as vantagens destacadas anteriormente, a utilização do aço na construção civil também apresenta algumas desvantagens. Dentre essas desvantagens podem-se destacar os custos elevados dos materiais industrializados, se comparados aos materiais tradicionais e a necessidade de mão-de-obra qualificada, pois a grande maioria dos profissionais ligados ao setor é acostumada com os processos tradicionais de construção.

Esses fatores tornam-se um problema e podem inviabilizar a utilização de construções em aço na grande maioria das novas edificações. Por exemplo, em cidades de interior, menos desenvolvidas, um construtor que deseja utilizar a construção industrializada precisará treinar a mão-de-obra ou pagar mais caro pelo serviço de profissionais que vêm de outras cidades. Além disso, qualquer reparo posterior nos fechamentos, por exemplo, nas juntas de dilatação, implicarão em novo problema relacionado à falta de mão-de-obra.

Além dos problemas de ordem econômica e operacional, existe ainda a questão da produção do aço que, de uma forma geral, é ainda muito poluente e causadora de impactos ambientais. Gervásio (2008a) afirma que existem dois fatores que contribuem particularmente para esta situação: a emissão de gases geradores do efeito estufa (especialmente CO₂), conforme apresentado na figura 5.4 a porcentagem das emissões diretas de CO₂ na indústria de ferro e aço e o consumo de energia, cuja porcentagem consumida de energia pela indústria do aço está apresentada na figura 5.5.

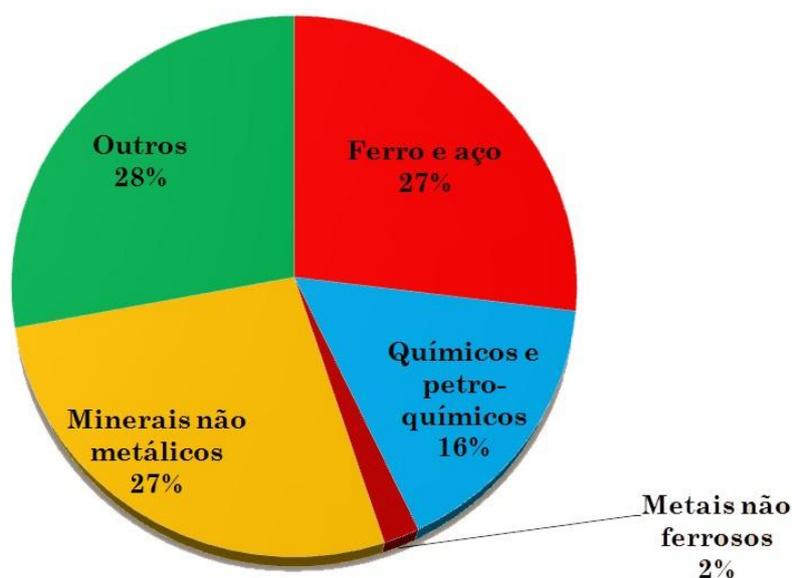


Figura 5.4: Emissões diretas de CO₂ no setor da indústria em 2004.
Fonte: IEA³⁴, 2007 apud GERVÁSIO, 2008b.

³⁴ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions*. 2007. Paris, 2007.

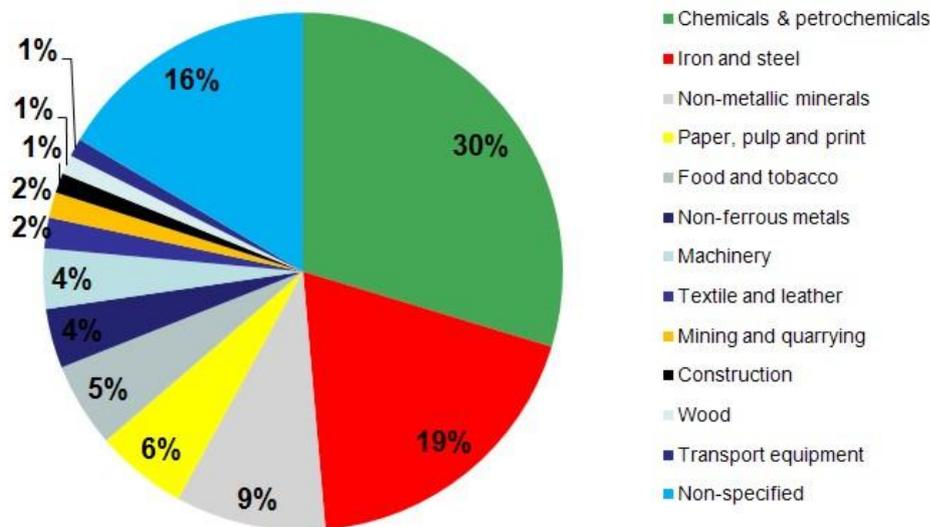


Figura 5.5: Utilização da energia final na indústria em 2004.
 Fonte: IEA³⁴, 2007 apud GERVÁSIO, 2008b.

No entanto, existe uma grande variabilidade nos valores de consumo e poluição, a nível mundial, entre as várias indústrias produtoras de aço. Na Europa, por exemplo, a produção do aço é feita com recurso às melhores tecnologias e em países como: Rússia, Ucrânia, China e a Índia, a maior parte do aço continua a ser produzido com base em tecnologias ultrapassadas e com matérias-primas de pouca qualidade. Estes países produzem cerca de 40% do aço no mundo (SUSTENTABILIDADE..., 2008).

De acordo com Gervásio (2008a) a indústria do ferro e do aço contribui para: 27% de emissões diretas de CO₂; aproximadamente de 3 a 4% das emissões globais de gases com efeito de estufa e 1.7 ton. de CO₂ é emitida por cada tonelada de aço produzido.

Além dos impactos causados pela fabricação do aço, ainda existem os impactos decorrente do processo de exploração das matérias-primas, principalmente dos minérios de ferro, que são extraídos por meio de mineração a céu aberto. Quando o minério de ferro bruto é encontrado de forma compacta e dura, perfurações e explosões podem ser necessárias. Em seguida, as rochas brutas são submetidas a sucessivos estágios de peneiramento e de britagem até serem reduzidas à faixa de granularidade e composição especificada.

Para a avaliação da sustentabilidade da estrutura metálica, é de fundamental importância o conhecimento do processo de produção do aço e de seu processo de reciclagem.

5.6. Processo de produção do aço

Siderurgia é a indústria produtora de aço, a qual engloba os processos de obtenção de produtos à base de ferro (gusa, ferro-esponja, semi-acabados e laminados de aços). O aço é apresentado em grande diversidade de formas e especificações, objetivando atender à demanda de variados setores, como a indústria automobilística, construção civil, bens de capital, máquinas e equipamentos, eletrodomésticos, utilidades domésticas, embalagens, recipientes, entre outros.

O consumo de energia e a porcentagem de material reciclado utilizado na produção de aço dependem do respectivo processo de produção. Atualmente o aço é produzido por meio de dois processos básicos, a produção em alto-forno (*Basic Oxygen Furnace*), também chamado de processo Integrado e a produção em forno de arco elétrico (*Electric Arc Furnace*) ou processo Semi-integrado.

Por exemplo, para a produção de 1 kg de aço a energia primária total no processo integrado (produção em alto-forno) é de 28,97 MJ, enquanto no processo semi-integrado (produção em forno de arco elétrico) a energia necessária é 9,50 MJ (GERVÁSIO, 2008b).

Segundo Gervásio e Silva (2005) cerca de 60% do aço produzido atualmente é feito pelo processo integrado a partir de matérias-primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno. A produção do aço em alto-forno utiliza entre 25% a 35% de aço reciclado, enquanto na produção do aço em forno de arco elétrico essa porcentagem é aproximadamente de 95%.

5.6.1. Processo integrado

No processo integrado, o aço é produzido, basicamente, a partir de minério de ferro, carvão e cal. A fabricação pode ser dividida em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação.

A primeira parte da produção, denominada preparação da carga, tem lugar na instalação de sinterização, onde os minérios de ferro são recebidos sob a forma de rochas e preparados para a produção de sinter, um aglomerado de partículas sólidas. O oxigênio presente nos minérios de ferro deve ser retirado junto às outras impurezas por meio de um processo chamado redução. Nesta etapa, o sinter é conduzido ao alto-forno, onde é adicionado ao coque (substância combustível que resulta da destilação de carvão no forno de coque) em camadas alternativas. Em fornos menores utiliza-se o carvão vegetal ao invés do

coque. Ainda durante a redução outras matérias-primas são acrescentadas, tais como o minério de manganês, o carvão mineral e o calcário (USIMINAS, 2009).

O coque é basicamente um combustível composto de altos teores de carbono, com elevada resistência mecânica e alto ponto de fusão que, uma vez no alto-forno, fornece os gases necessários para a fundição dos minérios de ferro, funcionando como agente redutor. Assim, no alto-forno o ferro é extraído dos minérios de ferro. Enquanto que os minérios sólidos e o coque são introduzidos no forno pelo topo, uma corrente de ar muito quente (1200°C) é introduzida pela parte de baixo provocando a combustão do coque. Desta combustão resulta o óxido de carbono, o qual reduz o óxido de ferro, separando o ferro e libertando dióxido de carbono. O calor criado pela combustão funde o ferro e os minérios, dando origem a um material líquido designado “ferro gusa”. Deste processo resulta um resíduo, a escória (GERDAU, 2010).

Após o processo de redução, o ferro gusa é levado a uma panela de transporte e até o misturador. O misturador é um equipamento intermediário com função de estocar e levar o ferro-gusa até o conversor sem permitir que ele esfrie. O conversor é responsável pelo refino do ferro-gusa e sua transformação em aço. Nesta etapa, o ferro-gusa líquido misturado a ligas metálicas específicas, recebe uma injeção de oxigênio, que funciona como catalizador na elaboração do aço. Posteriormente o aço passa por uma etapa de refino secundário realizada em forno panela para ajustar sua composição química e temperatura. O processo integrado está esquematizado na figura 5.6 até a etapa de refino (GERDAU, 2009).

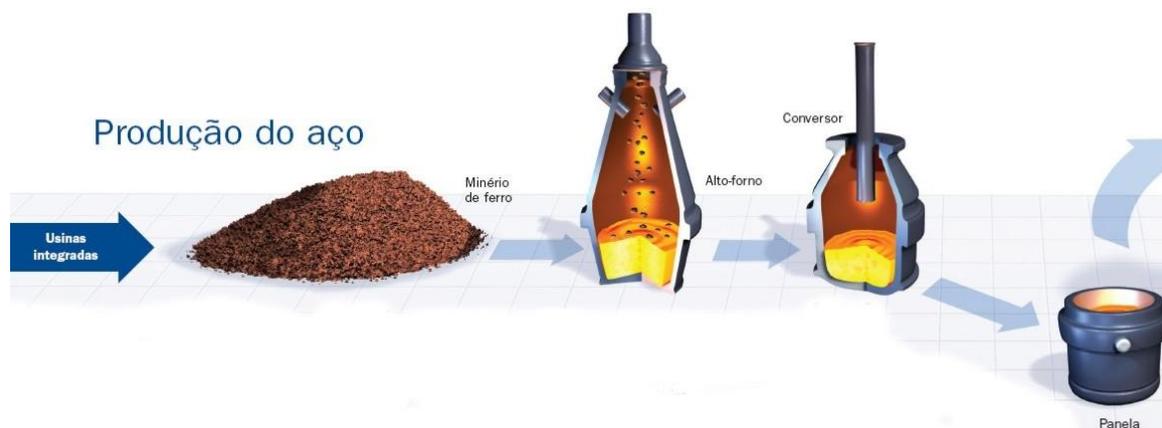


Figura 5.6: Esquema do processo integrado de fabricação do aço.
Fonte: GERDAU, 2009.

O aço refinado é transportado ao lingotamento contínuo e ali vazado em um distribuidor com diversos veios. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados, lingotes e blocos. Em cada veio o aço líquido passa por moldes de resfriamento para solidificar-se no formato conveniente para a

laminação. Os semi-acabados, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química (USIMINAS, 2009). As etapas de lingotamento e laminação são apresentadas na figura 5.7.

As usinas de aço que utilizam o processo integrado são chamadas de Usinas Integradas e produzem os produtos Semi-acabados, oriundos de processo de lingotamento contínuo ou de laminação de desbaste, destinados a posterior processamento de laminação ou forjamento a quente (Placas, Blocos e Tarugos), Laminados longos (barras, perfis, fio-máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura) e Laminados planos (chapas e bobinas).



Figura 5.7: Esquema das etapas de laminação.
Fonte: GERDAU, 2009.

5.6.2. Processo semi-integrado

No caso da produção de aço pelo processo semi-integrado (processo em forno elétrico de arco) o principal insumo é a sucata proveniente de desperdícios de aço, materiais de construção, maquinaria, veículos ou aço recuperado do processo de produção. As usinas semi-integradas operam em duas fases do processo: refino e laminação. O aço é obtido a partir da fusão de metálicos (sucata, gusa e/ ou ferro-esponja) e refinado em forno elétrico.

A sucata, após ser prensada, cortada e triturada, é fundida no forno elétrico para ser utilizada como matéria-prima no processo de fusão e refinamento do aço. Neste forno a fundição da matéria-prima é obtida pelo calor fornecido pelo arco voltaico que se forma entre

os três elétrodos verticais, geralmente de grafite. Durante este processo é comum a injeção de oxigênio de forma a acelerar a fundição e a queimar o carbono. O aço líquido assim produzido passa posteriormente pelas mesmas fases de refinação e lingotamento e laminação que o processo anterior (GERDAU, 2009). O esquema do processo semi-integrado está indicado na figura 5.8.

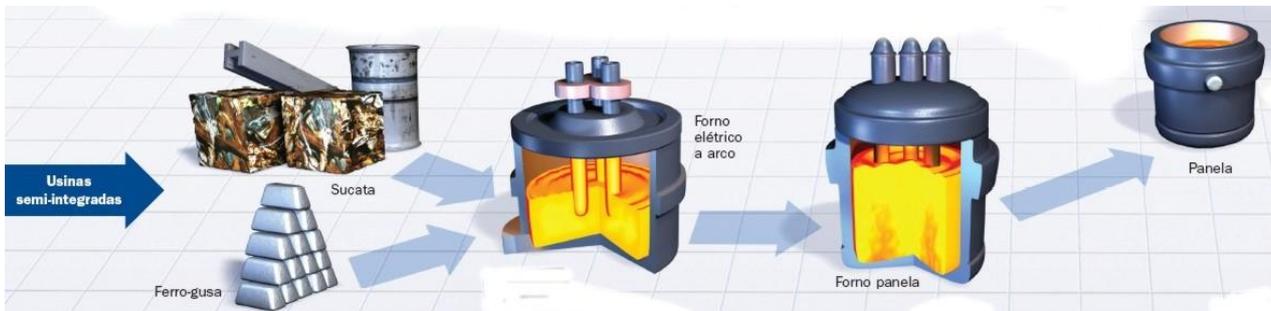


Figura 5.8: Esquema do processo semi-integrado de fabricação do aço.
Fonte: GERDAU, 2009.

As usinas semi-integradas produzem apenas produtos semi-acabados e laminados longos (barras, perfis, fio-máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura).

Além das Usinas integradas e semi-integradas, existem ainda as Unidades produtoras não-integradas, que não produzem o aço, operando apenas uma fase do processo: processamento (laminação ou trefilas) ou redução. Neste caso, entre as unidades não-integradas que trabalham a fase de laminação, estão os relaminadores de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucata. As trefilarias são as unidades que dispõem apenas de trefilas, em que produtores de arames e barras utilizam o fio-máquina como matéria-prima. As unidades que trabalham apenas a fase de redução são as produtoras de ferro-gusa, também chamados de guseiros, que têm como característica comum o emprego de carvão vegetal em altos fornos para redução do minério (IAB, 2009b).

5.6.3. Comparação dos processos

De acordo com SPOT³⁵ (2002, apud GERVÁSIO; SILVA, 2005), em cada tonelada de aço reciclado são poupadas 1,25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário. O processo Semi-integrado requer menos energia, conforme apresentado na figura 5.9, cria menos resíduos e emite menores quantidades de partículas poluentes do que a produção da mesma quantidade de aço a partir de matérias-primas.

³⁵ SPOT, M. de. *The application of structural steel to single-family residential construction*. Node Engineering Corp., Surrey, B.C., 2002.

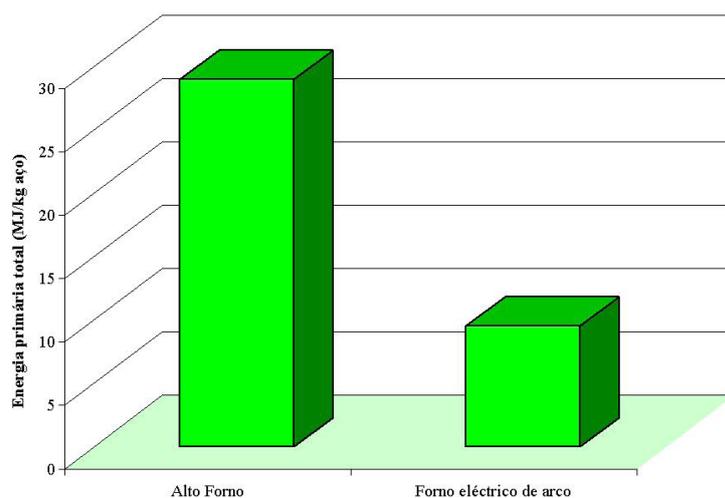


Figura 5.9: Energia consumida por processo de produção de aço.
 Fonte: IISI³⁶, 2002 apud GERVÁSIO, 2008a.

Além disso, comparando-se o consumo de materiais e de energia dos dois processos, como apresentada a figura 5.10, conclui-se que o processo que envolve maior gasto de recursos é o Integrado.

USINAS INTEGRADAS

1500 kg minério de ferro
 610 kg coque
 200 kg fundente
 175 kg sucata
 20-24 GJ energia



1 t de aço bruto



100-200 m³ água

USINAS COM ACIARIAS ELÉTRICAS

1130 kg sucata
 10 kg elementos de liga
 40 kg fundente
 6 GJ energia elétrica
 1,3-1,8 GJ gás natural



1 t de aço bruto



50-100 m³ água

Figura 5.10: Consumo de materiais e energia consumida por processo de produção de aço.
 Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

Na figura 5.11 apresentam-se os impactos ambientais associados à produção de aço. Comparam-se alguns dos principais impactos ambientais provocados pela produção de uma tonelada de aço de acordo com cada um dos processos descritos anteriormente. Observa-se pela análise dos dados, o melhor desempenho ambiental do processo semi-integrado.

³⁶ INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE (IISI). *World Steel Life Cycle Inventory*: Methodology Report 1999/2000. Committee on Environmental Affairs, 2002.

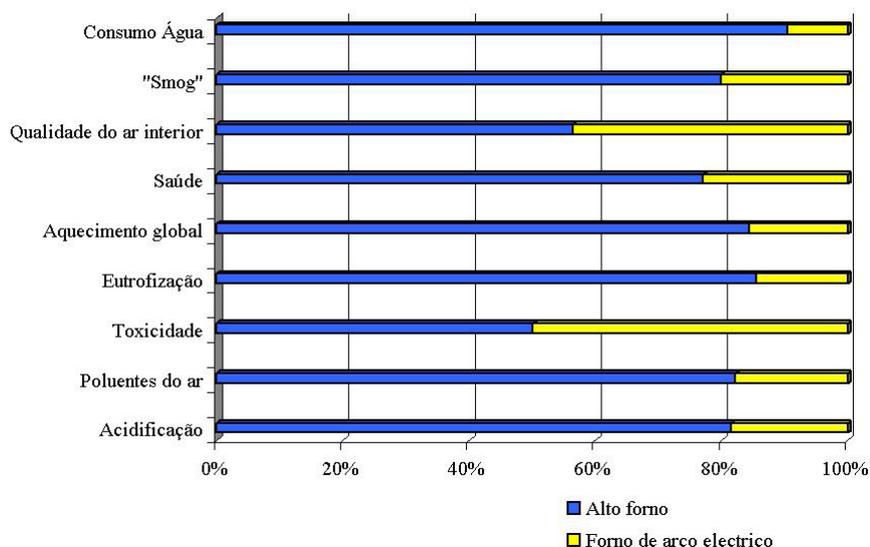


Figura 5.11: Impactos ambientais correspondentes aos dois processos de produção de aço.

Fonte: IISI³⁶, 2002 apud GERVÁSIO; SILVA, 2005.

Em consequência das diferentes percentagens de aço reciclado utilizadas nos processos de produção de aço descritos anteriormente, facilmente se pode constatar que as correspondentes emissões de carbono e de outras partículas são também consideravelmente inferiores para o processo semi-integrado, tornando este um processo mais eficiente em termos ambientais.

No caso das emissões de partículas poluentes, destaca-se a comparação da emissão de CO₂: a produção de 1 kg de aço no processo semi-integrado produz cerca de 460 g de equivalentes de CO₂, enquanto que no processo integrado a produção de igual quantidade de aço produz cerca de 2490 g de equivalentes de CO₂ (IISI³⁶, 2002 apud GERVÁSIO, SILVA, 2005).

5.7. Parque produtor de aço

As siderurgias no Brasil utilizam as reservas de minério de ferro explorado na região do Pará e de Minas Gerais, conforme apresentado na figura 5.12.

O parque siderúrgico brasileiro compõe-se hoje de 26 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, conforme apresenta o mapa mostrado na figura 5.13 e no quadro 5.6. A indústria do aço no Brasil foi responsável pela produção, em 2008, de 33,7 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 9ª posição no ranking da produção mundial (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).



Figura 5.12: Mapa das Minas da Vale do Rio Doce.
 Fonte: VENDA..., 1997.

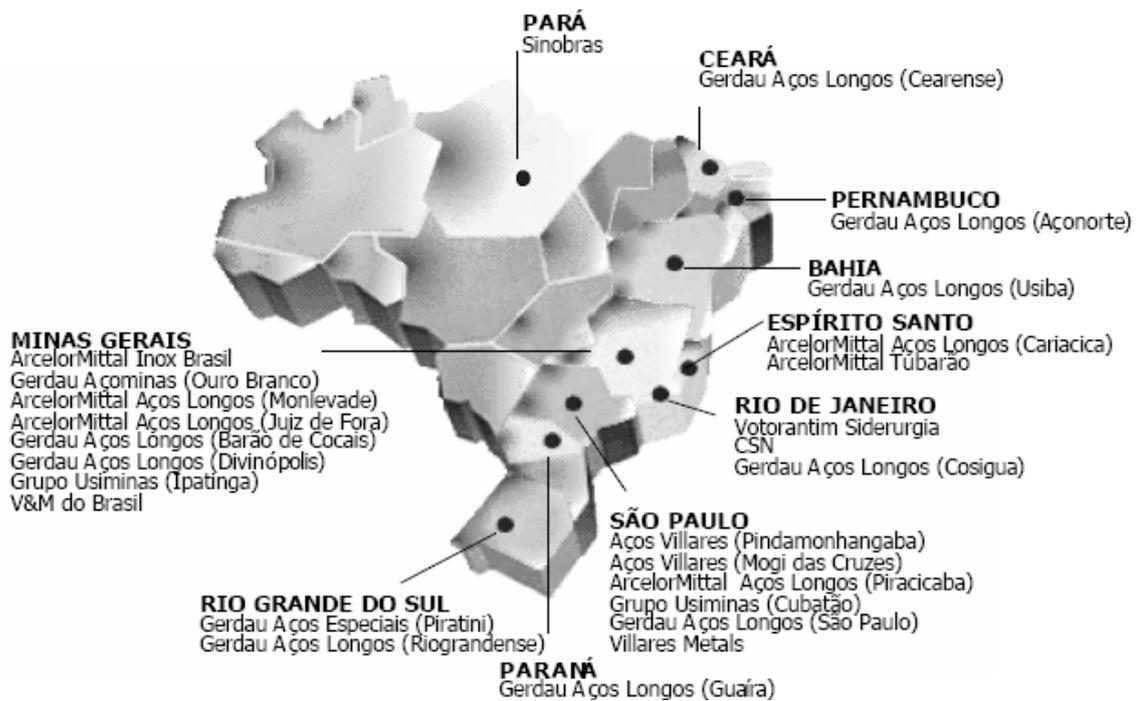


Figura 5.13: Parque produtor de aço no Brasil.
 Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

Quadro 5.6. Usinas Integradas e Semi-Integradas no Brasil

TIPO	PRODUTO	USINAS SIDERÚRGICAS
USINAS INTEGRADAS	LAMINADOS PLANOS	ArcelorMittal Inox Brasil (MG), ArcelorMittal Tubarão (ES), CSN (RJ), Usiminas (MG e SP)
	LAMINADOS LONGOS	ArcelorMittal Aços Longos (Monlevade)/MG, Gerdau Açominas (Ouro Branco/MG), Gerdau Aços Longos(Barão de Cocais/MG, Divinópolis/MG, Usiba/BA), V&M do Brasil (MG)
USINAS SEMI-INTEGRADAS	LAMINADOS LONGOS	Aços Villares (Pindamonhangaba/SP, Mogi das Cruzes/SP), Votorantim Siderurgia (Barra Mansa/RJ), ArcelorMittal Aços Longos (Piracicaba/SP, Cariacica/ES, Juiz de Fora/MG), Gerdau Aços Longos (Açonorte/PE, Cearense/CE, Cosigua/RJ, Guaíra/PR, São Paulo/SP, Riograndense/RS), Gerdau Aços Especiais (Piratini/RS), Villares Metals (SP), Sinobrás (Marabá/PA)

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

5.8. Estratégias Sustentáveis adotadas na produção do aço

O processo de fabricação do aço sempre gerou efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos industriais, causando diversos impactos ambientais. No século XIX, com o avanço tecnológico dos fornos e a crescente demanda por produtos feitos de ferro e aço, as indústrias siderúrgicas aumentaram a produção e conseqüentemente a poluição.

A partir do século XX, as siderúrgicas começaram a aumentar os investimentos em tecnologias mais limpas de forma a reduzir o impacto da produção no meio ambiente, reforçar a segurança dos funcionários e da comunidade, assim como produzir cada vez mais aço com menos insumos e matérias-primas. A implementação de novas técnicas e processos estão permitindo a redução e o aproveitamento de resíduos e efluentes gerados nos processos de fabricação do aço.

Segundo Gervásio e Silva (2005), as grandes siderurgias mundiais estão implementando medidas no sentido de maior preservação ambiental visando reduzir a emissão de gases e desenvolvendo diversos programas para tornar mais eficientes os seus processos de produção em todo o mundo. Um desses programas é o programa europeu ULCOS (*Ultra Low CO2 Steelmaking*), que tem como objetivo principal o desenvolvimento de novas formas de produção de aço com reduzidas emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa. Outras medidas têm sido investigadas, tais como tecnologias com recurso a

porcentagens mínimas de carbono (*carbon-light*) combinadas com a captação e armazenamento de CO₂ e recurso a energias alternativas tais como gás natural, hidrogénio, biomassa e eletricidade (GERVÁSIO; SILVA, 2005).

Na figura 5.14 apresenta-se os resultados visíveis da diminuição no gasto de energia e na emissão de CO₂ por tonelada de aço produzida alcançados pela indústria de produção do aço na União Européia, entre 1970 e 2000.

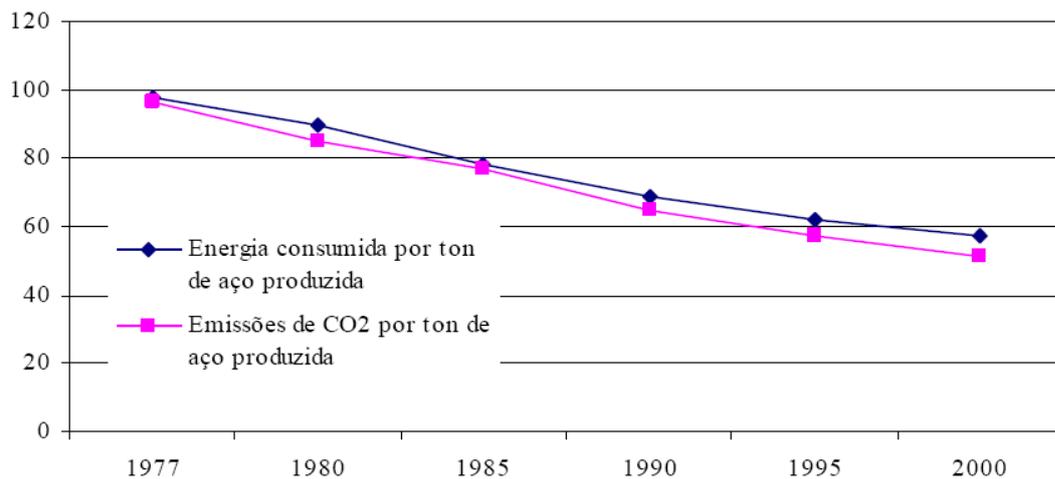


Figura 5.14: Resultados da diminuição de energia e emissão de CO₂ da indústria europeia do aço. Fonte: EUROFER, EUROSTAT apud GERVÁSIO; SILVA, 2005.

Segundo o Relatório de sustentabilidade publicado pelo Instituto Aço Brasil (2009c), o setor no Brasil também desenvolve inúmeras iniciativas para reduzir ou mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa. Dentre essas iniciativas destaca-se: a utilização de biomassa (carvão vegetal) e a reciclagem da sucata para a produção do aço, o aumento da eficiência energética e a recuperação de gases de processo, a reciclagem e uso de resíduos e coprodutos, bem como a utilização de biocombustíveis nas frotas das empresas, conforme apresenta o esquema mostrado na figura 5.15.

Quando os efluentes e resíduos não podem ser reaproveitados ou reciclados, são descartados de forma ambientalmente correta. Todas as usinas siderúrgicas brasileiras possuem sistemas de gestão ambiental implantados ou em fase final de implantação. Cerca de 73% das empresas do setor obtiveram a certificação dos sistemas de gestão ambiental, segundo a NBR ISO14001:2004, de todas as suas plantas, enquanto 26% possuem algumas de suas unidades certificadas e 0,12% ainda não estão com seus sistemas de gestão certificados (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c).



Figura 5.15: Esquema do desenvolvimento sustentável no processo de produção da siderurgia.
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009a.

Com o objetivo de otimizar a utilização de matérias-primas, insumos e coprodutos, algumas iniciativas foram adotadas em 2008 pelas usinas integradas: a reciclagem da sucata gerada internamente, a injeção de finos de carvão nos alto-fornos, utilização de escória em substituição à cal cálcica, briquetagem de resíduos e utilização dos mesmos nos fornos elétricos de redução, reaproveitamento dos gases do alto-forno, aciaria e coqueria para geração de energia, utilização de carepa gerada nos processos internos como matéria-prima ou agente dessiliciante, além da orientação e capacitação de colaboradores para melhorar a eficiência na gestão de processos e evitar o desperdício de materiais.

Da mesma forma, em 2008, as principais iniciativas das usinas semi-integradas foram: tratamento prévio da sucata visando à melhoria da qualidade da matéria-prima e maior eficiência na produção, instalação de silos de adição de cal visando à redução de perdas do material, reforma e implantação de melhorias tecnológicas no forno elétrico visando diminuir o consumo de insumos, aumento da eficiência no uso de lubrificantes e óleos diversos, em especial nas laminações e a criação de grupos internos para identificação e solução de problemas relacionados a níveis de consumo muito elevados e potenciais de melhoria (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c).

No Brasil, a estrutura produtiva da siderurgia predominante é a rota tecnológica integrada à base de carvão mineral, representando cerca de 72% da produção total de aço do País, como apresentado na figura 5.16. O relatório de sustentabilidade 2009 do IAB destaca que cerca de 10% do aço produzido no Brasil usa o carvão vegetal em substituição ao mineral no seu processo de produção. O uso de biomassa, um recurso natural renovável, proveniente

de florestas plantadas, representa uma alternativa ao equacionamento do problema de emissão de gases de efeito estufa pelo setor.

Além disso, a implantação de centrais termoelétricas e de sistemas de recuperação energética que aproveitam gases gerados no processo produtivo proporciona um aumento da capacidade de geração própria de energia elétrica pelas empresas.

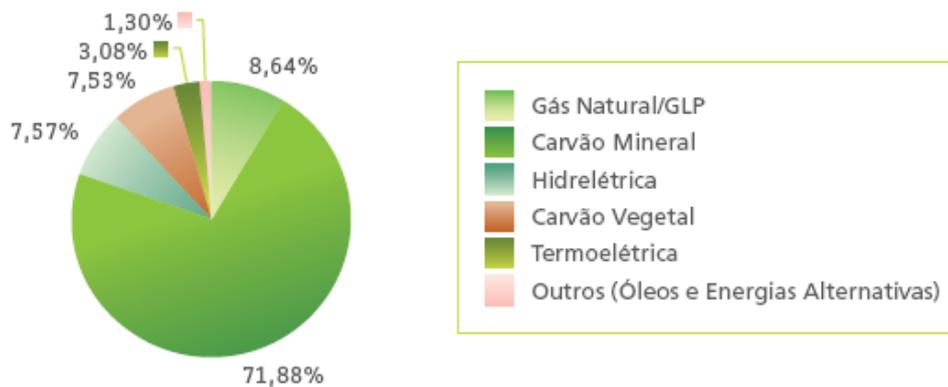


Figura 5.16: Matriz energética em 2008.
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c.

O processo de produção de aço demanda grandes volumes de água, principalmente nos sistemas de refrigeração, para resfriamento de máquinas, equipamentos e produtos. Várias medidas já foram adotadas pelas associadas para otimizar a recirculação ou reuso das águas de processo, reduzindo-se, ao máximo, o seu descarte e diminuindo a demanda por captação da água dos rios. A principal delas é o aumento do índice de recirculação interna, atualmente da ordem de 94% e de água captada de 6% – doce, salgada ou salobra. A diminuição do total de água doce captada ao longo dos anos é apresentada na figura 5.17.



Figura 5.17 – Total de água doce captada ao longo dos anos (m³).
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c.

Além do aumento do índice de recirculação, atualmente, mais de 90% das plantas siderúrgicas associadas ao IABr reutilizam seus efluentes nos processos industriais. As siderúrgicas também têm investido em tratamentos de água cinza, como esquematizada na figura 5.18, e da água industrial.

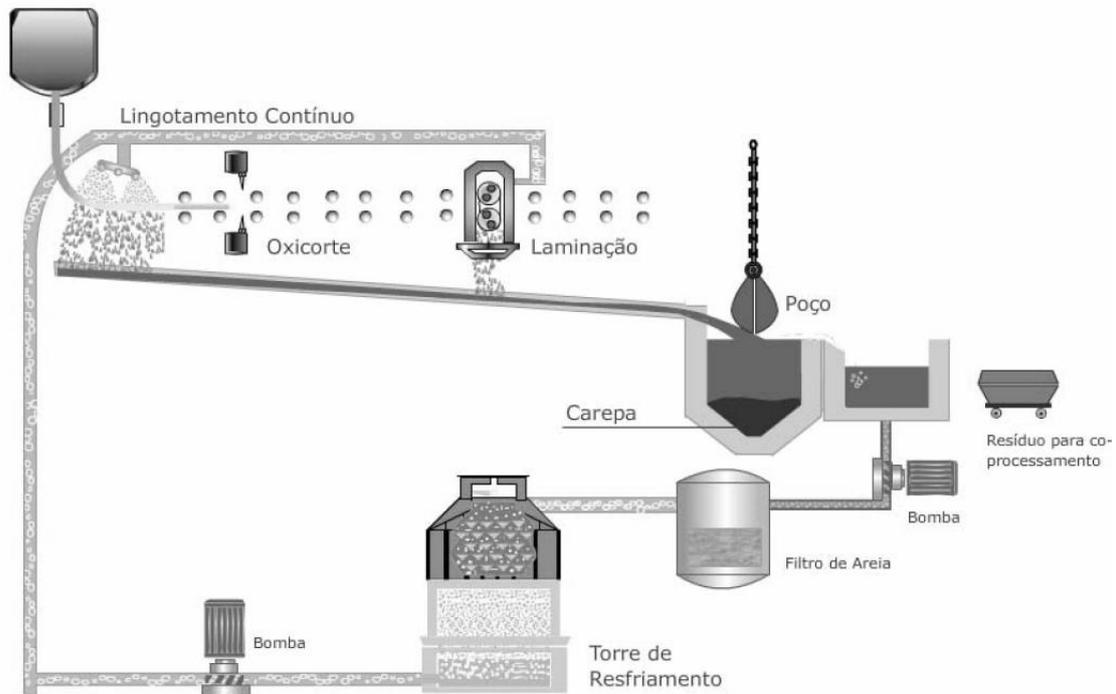


Figura 5.18: Sistema de tratamento de efluentes líquidos.
 Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

Segundo o Instituto Aço Brasil (2009c), o reaproveitamento de resíduos para reciclagem, reutilização, co-processamento e compostagem, aumentou em 2008, conforme apresentado na figura 5.19.

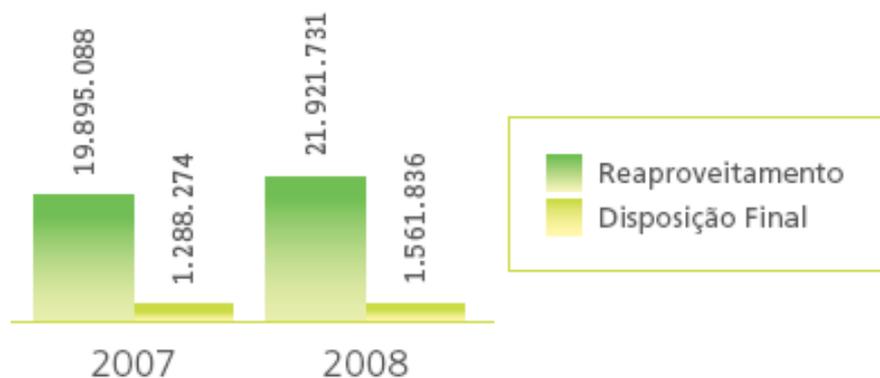


Figura 5.19: Destinação anual de resíduos e co-produtos (t).
 Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c.

A maior parte da escória resultante do processo de produção, em 2008, foi destinada para a produção de cimento, seguido de bases e sub-bases de estrada, somando 81% da destinação total dos agregados no período, como apresenta a figura 5.20.

Os resíduos de pós e lamas coletados nos sistemas de controle e de poluição são reciclados no processo substituindo parte das matérias-primas e, portanto, diminuindo o consumo de recursos naturais não renováveis.

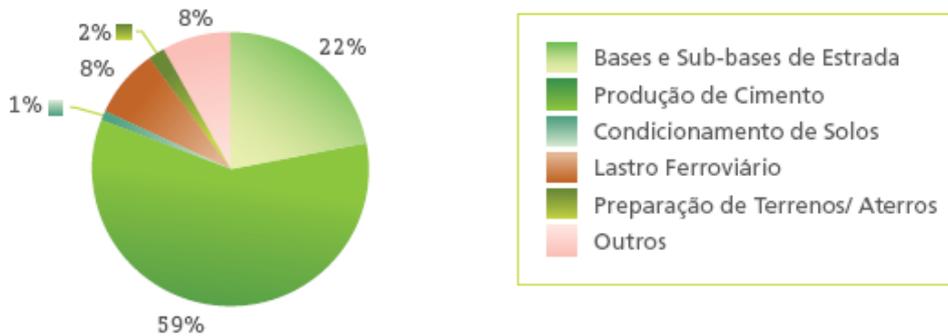


Figura 5.20: Principais destinações dos agregados siderúrgicos em 2008 (t).
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c.

As usinas também têm investido em modernos sistemas de despoejamento, que captam com alta eficiência as partículas geradas durante o processo de produção do aço, como demonstra o esquema mostrado na figura 5.21. Posteriormente, esse material filtrado torna-se um co-produto aplicável em outros setores da economia.

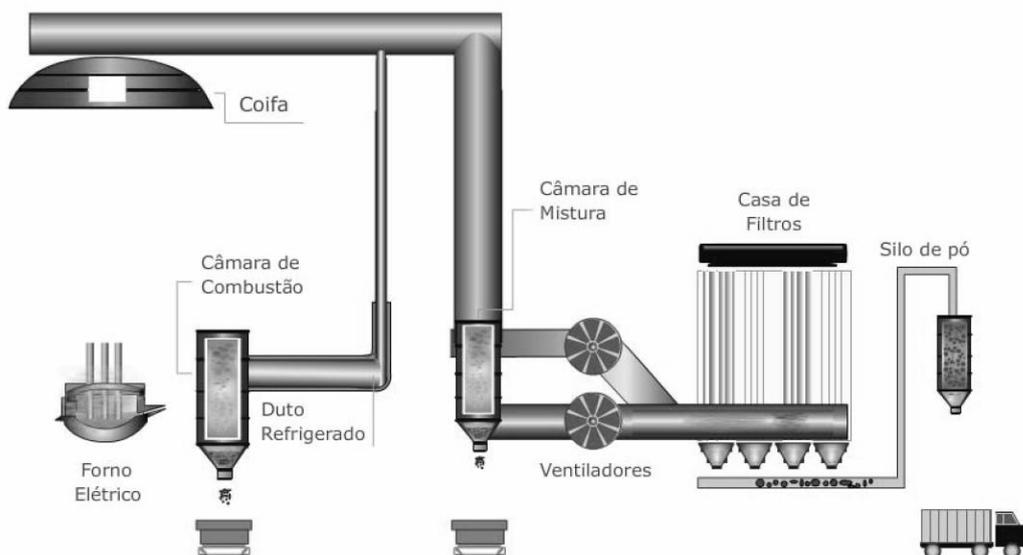


Figura 5.21: Sistema de tratamento de emissões atmosféricas.
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

5.9. Reciclagem do aço

Outro aspecto positivo a ser ressaltado na siderurgia é a reciclagem do aço. O aço figura entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo, podendo ser reciclado infinitas vezes sem perder suas propriedades. Segundo o Instituto Aço Brasil (2009a), em torno de 6,4 milhões de toneladas de sucata de aço são recicladas a cada ano pelas usinas siderúrgicas brasileiras.

Na contra-mão da realidade do tratamento de resíduos gerados no país, a indústria da sucata de aço alcança volumes expressivos de reciclagem. Diferentemente dos demais resíduos, o aço não é depositado, em sua maioria, em aterros sanitários. Grande parte do descarte é encaminhada aos ferros-velhos, facilitando o fluxo reverso do material.

No Brasil, a questão da reciclagem desempenha um importante papel. Os altos índices de desemprego e a tendência natural das empresas buscarem mais lucros através de uma atuação responsável para com o meio ambiente, gerou um grande mercado em torno da sucata de aço, representado por sucateiros de pequeno, médio e grande porte, catadores de ruas e membros de cooperativas, formando uma imensa rede, porém descentralizada, de pontos de recepção e encaminhamento de sucatas.

Além da sucata proveniente de ferros-velhos, ainda principal fonte, algumas empresas siderúrgicas apostam em projetos de capacitação de sucateiros que organiza cooperativas. Segundo Naiditch (2008), os programas de reciclagem estruturados com o apoio de cooperativas começaram em 2006.

A Gerdau possui uma extensa rede de usinas e unidades de coleta e processamento de sucata no Brasil, os pontos de recolhimento, que recebem a sucata de fornecedores de todo o Brasil, estão espalhados em cidades nos estados de Minas Gerais (Barão de Cocais, Bernardo Monteiro, Contagem, Divinópolis, Ouro Branco); Bahia (Simões Filho); Ceará (Maracanaú); Paraná (Araucária, Curitiba); Pernambuco (Recife); Rio de Janeiro (Rio de Janeiro); Rio Grande do Sul (Charqueadas e Sapucaia do Sul); Santa Catarina (Joinville) e São Paulo (Jundiaí, Araçariguama, Araraquara, Bauru, São Caetano do Sul, São José dos Campos) (GERDAU, 2010).

No país há um número significativo de empresas sucateiras estruturadas para captar, beneficiar e destinar os resíduos metálicos que provem das fontes geradoras. Só em 2004 as empresas que trabalhavam com sucata já somavam mais 2500 unidades, espalhadas por todo o território nacional. Essas empresas geralmente são de pequeno e médio porte e de origem familiar (SIMEÃO, 2004).

A sucata utilizada nos processos de reciclagem pode ser classificada em três categorias distintas, de acordo com sua procedência: 1) Sucata de Retorno, originada na usina siderúrgica durante o processo de fabricação dos mais variados tipos de aço; 2) Sucata de Processamento, proveniente das sobras e aparas geradas pelos segmentos consumidores de aço (indústria automobilística, naval, de embalagens, construção civil) e 3) Sucata de Obsolescência, que se origina da coleta de produtos colocados em desuso (automóveis, embalagens, máquinas, geladeiras) (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c).

A maior parte da sucata reciclada são materiais que deixam de ser úteis à sociedade, como fogões, geladeiras e carros velhos. Esses materiais obsoletos e o aço resultante do processo de indústrias são separados e tratados. Através dos pontos de recebimento e de sua rede de transporte, a empresa de reciclagem coleta o material obsoleto e as sobras do processo produtivos das indústrias. Assim, a sucata é coletada nas fontes geradoras, é beneficiada e encaminhada para a reciclagem para a fabricação de novos aços, como apresentado na figura 5.22.

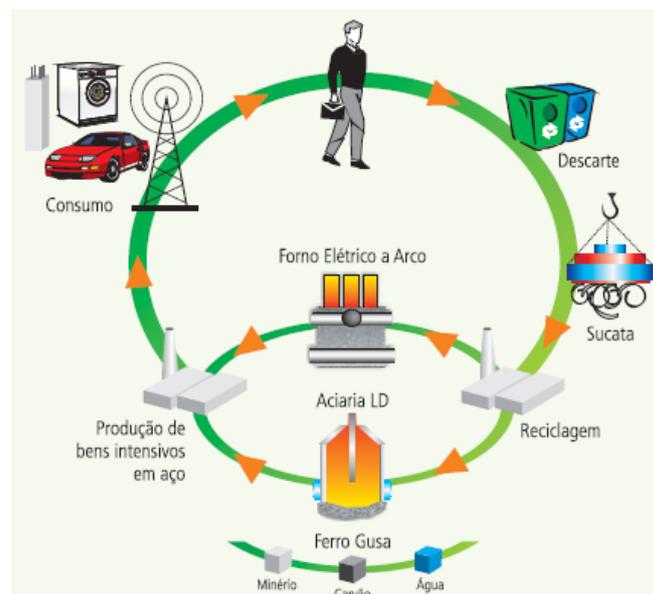


Figura 5.22: Fluxo da sucata.
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009a.

Toda a sucata que chega às unidades de reciclagem é classificada, separada e processada. Após essa operação ela pode ser processada novamente e transformada em aço. A maioria da sucata tem como destino as usinas semi-integradas, que utilizam grande parte da sucata no processo de produção, cerca de 1130 kg por tonelada de aço bruto, produzindo os aços longos, como vergalhão, arame, prego, fio-máquina e perfis. As usinas integradas,

que fabricam aços planos, também utilizam a sucata no processo de produção, porém em menor escala, apenas 175 kg por tonelada de aço bruto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b).

Nas usinas, a sucata é fundida junto a outros elementos e transformada em aço líquido. Posteriormente os novos produtos de aço são consumidos pela sociedade e quando chegam ao fim da vida útil podem ser reciclados novamente, dando início a um novo ciclo, como apresenta o fluxograma esquematizado na figura 5.23.

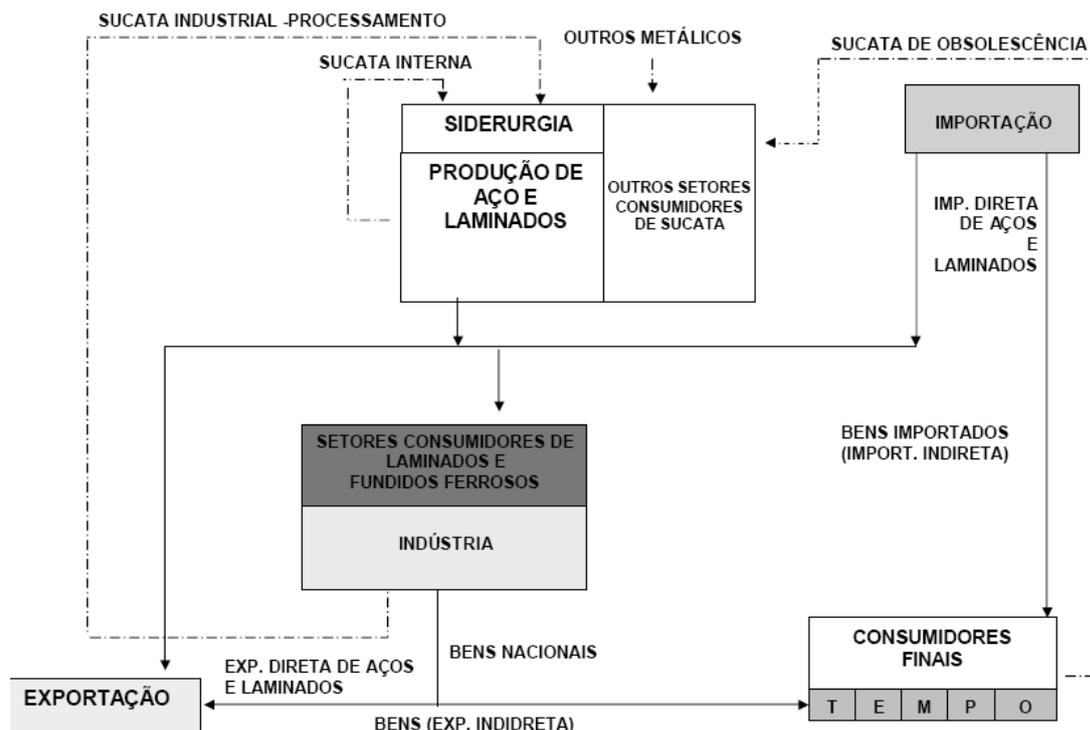


Figura 5.23: Fluxo da sucata.
Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009b.

Em 2008, a produção de aço, a partir da reciclagem, correspondeu a 24% do total do aço produzido no Brasil (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009c).

Dentre os benefícios ambientais gerados com a reciclagem destacam-se: destinação correta dos resíduos, que evita a necessidade de ocupação de áreas para o descarte de produtos em obsolescência e o descarte em aterros ou lixões de materiais intensivos em aço; redução das emissões de gases de efeito estufa no processo de produção, contribuindo para a melhoria do balanço de emissões de CO₂ do setor; economia de energia elétrica e do consumo de água na fabricação do aço e diminuição dos impactos decorrentes da atividade de mineração e do consumo de matérias-primas não renováveis.

Além disso, o fortalecimento da rede de coleta de sucata resulta em empregos e renda para milhares de cidadãos e a otimização dos processos de produção e a diminuição dos

gastos com recursos no geral, permitem a obtenção de custos mais competitivos do aço e o aumento da produtividade.

Apesar do esforço das siderurgias, o Brasil ainda tem uma restrição ao aumento da reciclagem: a disponibilidade de sucata. Em países desenvolvidos os ciclos acelerados de consumo e descarte de produtos permitem índices maiores de reciclagem.

Nos Estados Unidos, por exemplo, onde o consumo per capita é superior a 420 quilos de aço por ano, 60% da produção é feita com sucata. No Brasil, segundo dados do IBS, o consumo está em torno de 130 quilos por habitante por ano. Por isso, apenas 24% dos 33,7 milhões de toneladas de aço produzidos no país no ano passado foram fabricados à base de sucata (NAIDITCH, 2008, p.1).

Caso não seja encaminhado à reciclagem, o aço se degrada na natureza com o tempo, dependendo das condições climáticas e geográficas do ambiente, sem causar maiores danos, pois enferrujam em poucos anos e são absorvidas como óxido de ferro, enriquecendo o solo.

Com relação à construção civil, a reciclagem tem sido amplamente utilizada para construções de grande porte nos EUA e Europa, principalmente com o uso de sistemas industrializados e da estrutura metálica. Ao contrário do que ocorre no Brasil, onde os resíduos da construção são pouco reciclados e acabam sendo descartados em lixões e em aterros sanitários.

Segundo Oliveira (2009), a geração de entulho nas construções está diretamente ligada à mão-de-obra não qualificada, falta de gestão no canteiro e uso de materiais de construção não conformes às normas técnicas e, no Brasil, a maioria das construções apresentam essas características.

Os resíduos da construção civil nacional são gerados por demolições, obras em processo de renovação ou por edificações novas, em razão do desperdício de materiais resultantes da característica artesanal da construção que adota principalmente o concreto armado para a estrutura e alvenaria tradicional nos fechamentos verticais. Segundo Campari (2006), 98% das obras utilizam métodos tradicionais e o entulho que sai dos canteiros de obras brasileiros é composto basicamente por: 64% de argamassa; 30% de componentes de vedação e 6% de outros materiais (concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos).

A reciclagem transforma montanhas desordenadas de material de construção em pilhas de matérias-primas que servem tanto para obras prediais como para obras públicas. Os rejeitos da construção sofrem destinos diferentes: o aço é muitas vezes comercializado; já as madeiras são vendidas ou viram “entulho leve”. O entulho típico, material pesado retirado de obra, é constituído majoritariamente, algo em torno de 60%, de perdas de argamassa (CAMPARI, 2006, p.1).

6. PAINÉIS DE FECHAMENTO

6.1. Características dos painéis industrializados

Segundo Serrador (2008), em países desenvolvidos, a alta tecnologia já está incorporada ao setor da construção civil. Nesses países os processos pré-fabricados e racionalizados são uma forma de construção aceita de forma geral desde a década de 50 e 60.

Os sistemas industrializados têm como características a aplicação de componentes construtivos industrializados e normatizados, geralmente para encaixe e intercâmbio com demais componentes, passando pelo controle de qualidade por todas as etapas de produção e utilizando mão-de-obra qualificada para a montagem.

Na utilização do aço como sistema estrutural de uma obra recomenda-se que também sejam utilizados componentes padronizados e modulados para uma industrialização completa da construção, o que inclui os painéis e elementos de fechamento industrializados tornando a obra mais limpa e rápida de ser feita. Nesse caso, as construtoras planejam a obra como se fossem montadoras, agrupando os fornecedores de peças dentro do canteiro de obra e minimizando os impactos ambientais com a geração de entulhos e resíduos. O processo de montagem desses componentes industrializados geralmente não envolve desperdício de materiais e recursos, sendo por isso também conhecida como obra seca. A promoção de práticas e técnicas mais industrializadas e da gestão de recursos e resíduos de forma mais eficiente torna a construção mais sustentável ambientalmente.

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”, na qual a versatilidade destes materiais proporciona uma redução de até 30% do tempo de obra (CAMPARI, 2006, p.1).

Quando se opta pela utilização de um sistema de fechamento industrializado em uma obra, essa decisão deve ser tomada logo no início do desenvolvimento do projeto arquitetônico, pois só assim consegue-se o aproveitamento máximo dos seus benefícios, entre eles a agilidade na montagem e colocação das paredes 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 sistema.

A leveza de alguns dos sistemas de fechamentos resulta na redução da sobrecarga dos pavimentos e, conseqüentemente, em uma estrutura mais esbelta, com fundação mais econômica. Os painéis mais leves também permitem uma maior precisão da prumada, pois

quaisquer desvios durante a colocação podem ser corrigidos com um simples reposicionamento das placas, o que em uma vedação tradicional seria mais dispendioso.

A industrialização dos sistemas construtivos deu um salto a partir dos anos 90, porém este tem sido percebido por poucos, em função ainda da pouca demanda de mercado e pelo desconhecimento geral dos novos processos. Embora as questões de sustentabilidade já estejam sendo muito discutidas no país, ainda não existe um resultado destes debates diretamente na construção civil. A grande maioria das obras continua utilizando os métodos tradicionais de construção, contribuindo para os desperdícios e poluição no solo com resíduos (BASTOS; SOUZA, 2007; CAMPARI, 2006).

Quando se trata da interface entre a estrutura metálica e os subsistemas de fechamentos é importante salientar alguns aspectos referentes às suas características.

O aço apresenta alta condutibilidade térmica, o que provoca grande movimentação da estrutura e essa movimentação é maior quando a diferença de temperatura entre o dia e a noite é acentuada. Os materiais utilizados para fechamento apresentam diferentes propriedades de absorção e transmissão de calor e umidade, causando dilatação e problemas de estanquidade. Essa dilatação térmica deve ser prevista com a utilização de juntas adequadas a cada sistema construtivo adotado.

Em países como o Brasil, deve-se analisar além dos movimentos causados pela dilatação, contração térmica e a absorção de umidade da estrutura, os movimentos causados pela oscilação dos ventos e o assentamento das fundações, para que os elementos de fixação e juntas possam absorver todas essas oscilações. Essas informações devem ser levantadas diretamente com os fabricantes já na etapa de projeto (COSTA; SOUZA; ARAÚJO, 2009).

6.2. Análise dos painéis verticais industrializados utilizados no Brasil

Atualmente, no Brasil, existem vários tipos de sistemas de fechamentos industrializados, alguns há muito tempo no mercado e outros mais recentes, que ainda não são utilizados e estão em fase de testes.

Os painéis podem ser divididos em duas categorias quanto à forma de fixação; os painéis inteiros e os constituídos por placas. Os painéis inteiros são os que possuem dimensões suficientes para atingir grandes vãos e serem fixados diretamente na estrutura suporte da edificação. Nesta categoria estão incluídos os painéis de concreto, os painéis de concreto celular e os painéis GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*). A segunda categoria abrange os painéis constituídos por placas, que são compostos por elementos de pequena espessura que necessitam de uma estrutura própria para a sua fixação, como o *Light Steel*

Framing e o *Drywall*. Nesta categoria estão incluídos os painéis constituídos por placas cimentícias, os painéis de gesso acartonado, os painéis de OSB (*Oriented Strand Board* - Painéis de partículas orientadas) e os painéis metálicos.

Sabendo-se das diversas preocupações que o projetista deve ter ao especificar os materiais de construção a serem aplicados em seu projeto, avaliam-se, nesse estudo, algumas características dos principais painéis de fechamento verticais industrializados no que tange a sustentabilidade desses produtos. A avaliação do desempenho ambiental de determinado painel de fechamento é obtida por meio da resposta dos mesmos quanto aos requisitos e critérios que foram abordados no capítulo 4.

Para analisar os painéis de fechamento, fez-se um levantamento genérico dos tipos existentes no comércio brasileiro e foi necessário escolher os que seriam avaliados. Nessa dissertação optou-se pela análise de quatro painéis: painel de gesso acartonado da empresa Knauf, painel cimentício da empresa Brasilit, painel OSB da empresa LP Brasil e painéis de concreto armado das empresas Premo e Precon. Além desses, existem outros tipos de painéis que também já vem sendo utilizados nas construções brasileiras, porém que não foram objetos de análise nesse trabalho, como: os painéis GFRC, composto por uma argamassa de cimento de alta resistência, areia siliciosa, água, aditivos e fibras de vidro (PAVI DO BRASIL, 2010) e, mais recentemente, os painéis Easy Socket, que pode ser produzidos com núcleo de isolamento térmico em Poliestireno Expandido (EPS), ou Poliuretano (PUR), com seu revestimento em aço carbono galvanizado, pré-pintado na cor branca, em aço inox ou alumínio (TERMKCAL DO BRASIL, 2010).

Nessa etapa do trabalho fez-se uma investigação dos processos de produção e aplicação dos painéis selecionados. Para a caracterização desses componentes de fechamento foram realizadas descrições detalhadas de cada um dos painéis, analisando a cadeia produtiva e os impactos gerados ao longo do ciclo de vida do material. Os dados levantados são relativos a todos os estágios, desde o processo de extração de matéria-prima, até as fases de processamento (fabricação, consumo de recursos, montagem e acabamento), operação (instalação, manutenção e reparos) e pós-uso (deposição, reciclagem e reuso).

Os itens investigados foram: (1) características gerais e composição; (2) matéria-prima e demais componentes - local de extração da principal matéria-prima, distância da fábrica e origem dos demais componentes; (3) processos de produção; (4) impactos ambientais e gestão de resíduos da produção; (5) energia e água utilizada na produção e emissão de CO₂; (6) programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas para a produção (7) conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo; (8) toxicidade do material; (9)

sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamentos; (10) montagem; (11) vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização; (12) propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas e (13) transporte até a obra. Além desses dados, foram apresentados, ao final do capítulo, quadros comparativos com as principais características dos painéis, as vantagens e desvantagens específicas da utilização de cada tipo e com as vantagens e desvantagens da utilização de painéis industrializados para fechamento no geral.

As informações foram levantadas por meio de pesquisas bibliográficas, visitas técnicas às fábricas, entrevistas com fornecedores e manuais dos fabricantes. A maioria dos dados foram fornecidos pelas próprias empresas, devido à falta de bibliografia existente sobre o tema.

Não se pretende, aqui, fornecer informações aprofundadas ou definitivas sobre os materiais. Com o estudo pretende-se demonstrar algumas características básicas de alguns painéis de forma que o projetista tenha idéia do desempenho, dos impactos ambientais e das vantagens e desvantagem que sua utilização implicará em uma construção.

Os dados coletados ainda não são suficientes para uma análise completa do ciclo de vida dos produtos, mas já reúnem informações pouco divulgadas e importantes para orientar a seleção dos fechamentos verticais e traçar as estratégias para aumentar a sustentabilidade da edificação.

6.3. Painéis de gesso acartonado- Knauf

6.3.1. Características gerais e composição

As chapas de gesso acartonadas são fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de sulfato de cálcio (gipsita), água e aditivos (liquificante, amido, espumante etc.). Essa mistura é revestida em ambos os lados com lâminas de papel cartão (que confere ao gesso resistência à tração e à flexão).

A matéria-prima básica para a fabricação das chapas de gesso é a gipsita. O minério de gesso (gipsita) é uma rocha não-tóxica e natural, que ocorre em grande parte da superfície terrestre, formada a partir de sulfato de cálcio entre 100 e 200 milhões de anos atrás.

Os painéis em gesso acartonado são utilizados como integrante do sistema *Drywall*, composto por uma estrutura rígida geralmente formada por perfis de estrutura metálica em aço galvanizado, onde são parafusadas uma ou mais chapas de gesso de ambos os lados. A estrutura metálica é fixada aos elementos construtivos existentes em todo o seu perímetro, como apresentado na figura 6.1. Os painéis são colocados após a instalação dos dutos de

energia, telefonia, água e esgoto. Segundo Krüger (2000), para a fixação dos painéis também podem ser usadas guias e montantes em madeira.

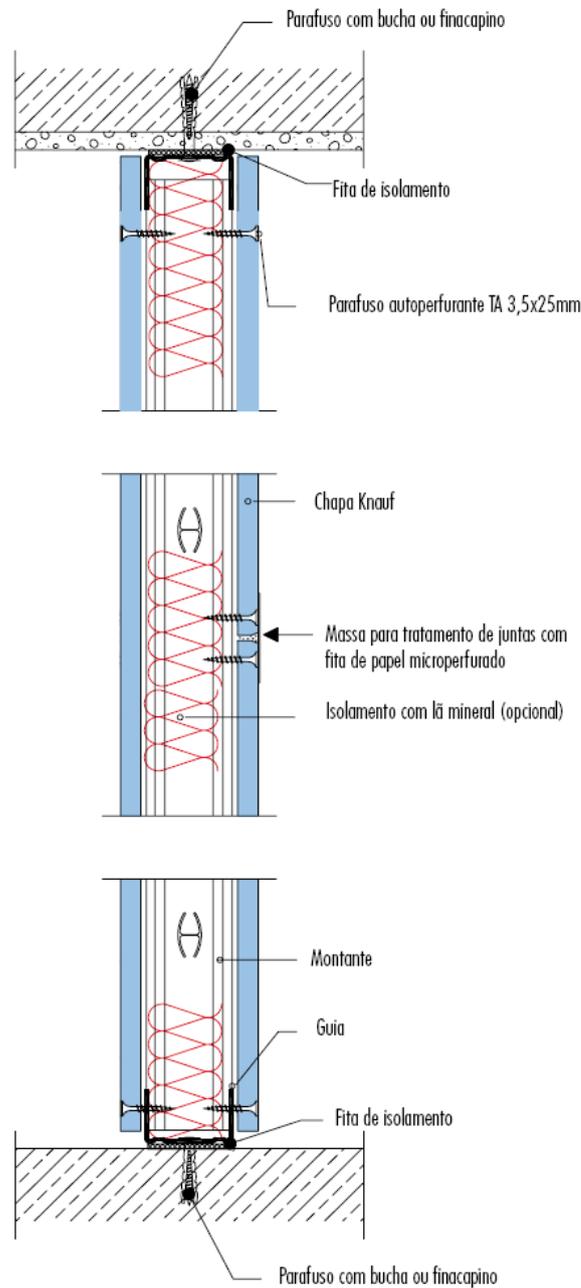


Figura 6.1- Detalhes técnicos da parede *Drywall*- Corte.
Fonte: KNAUF, 2009b.

O sistema *Drywall* composto por painéis de gesso pode ser utilizado como fechamento vertical, na compartimentação e separação de espaços internos de uma edificação. Esse sistema é um tipo de fechamento leve, sem função estrutural, e que permite variações de acordo com as necessidades de isolamento acústico, fixação em grandes vãos e resistência a fogo e umidade, porém são utilizados em áreas não úmidas

Conforme os aditivos utilizados na produção, são obtidas chapas com diferentes características: para uso geral; resistentes à umidade; resistentes ao fogo; com alta dureza e flexíveis. No mercado nacional estão disponíveis três tipos de chapas para fechamentos verticais: Standard (ST), Resistentes à Umidade (RU) e Resistentes ao Fogo (RF).

As chapas Standard (ST) são indicadas para uso geral, sendo normalmente utilizadas em paredes, tetos e revestimentos de áreas secas. As chapas Resistentes à Umidade (RU) são indicadas para uso em áreas úmidas ou sujeitas à ação da umidade como banheiros, cozinhas e áreas de serviço. Essas são diferenciadas das chapas de uso comum pela cor verde da superfície do papel cartão e pela composição, pois contêm elementos hidrofugantes. Mesmo sendo indicados para áreas molháveis, os painéis RU não devem ser empregados em áreas sujeitas a uma taxa de umidade relativa superior a 95%. Temperaturas superiores a 50°C podem modificar as características desse tipo de chapa, comprometendo o seu desempenho (KNAUF, 2009d).

As chapas Resistentes ao Fogo (RF) possuem a superfície do papel cartão na cor rosa e contêm retardantes de chama em sua fórmula da camada de gesso, sendo comum o uso de vermiculitas³⁷ e fibras de vidros, que melhoram a resistência à tração e reduzem a absorção de água, além de conferir maior resistência ao fogo. Essas chapas são indicadas para uso em áreas secas com exigências especiais de resistência ao fogo (saídas de emergência, escadas enclausuradas, etc.) (KNAUF, 2009d).

Além das chapas de gesso e da estrutura (perfis metálicos), são necessários: parafusos e buchas para a fixação nos elementos construtivos, dos perfis metálicos entre si e das chapas sobre os perfis; massa, para as juntas e fitas apropriadas para o acabamento desse sistema (DRYWALL, 2006).

6.3.2. Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica

Os painéis de Gesso acartonado Knauf são produzidos na fábrica do Distrito Industrial de Queimados/RJ, às margens da Rodovia Presidente Dutra Km 198,6, aproximadamente 85km do centro do Rio. A implantação do parque industrial em Queimados aconteceu em 1999 e é hoje uma das fábricas mais avançadas nessa especialidade, considerada a mais moderna do grupo Knauf. A fábrica destinada à produção de gesso estuque foi inaugurada em 2000, ao lado da indústria produtora de chapas.

³⁷ Mineral semelhante à mica, formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio. Quando submetida a um aquecimento adequado, a água contida entre suas lâminas se transforma em vapor fazendo com que as partículas explodam e se transformem em flocos sanfonados.

A gipsita utilizada pela fábrica provém, em sua maior parte, de minas próprias. No Brasil, as principais minas de exploração estão localizadas nos municípios de Araripina, em Pernambuco a aproximadamente 2500 km da fábrica (conforme apresenta o mapa mostrado na figura 6.2) e no município de Camamu, na Bahia a aproximadamente 1500 km da fábrica. Essa matéria-prima é transportada em caminhões até a fábrica em Queimados (DIAS, 2009).



Figura 6.2- Localização do parque industrial em Queimados e da mina de extração em Araripina.
Fonte: KNAUF, 2009b.

Outro componente importante da chapa de gesso é o papel cartão, que faz a laminação do gesso nas duas faces. O papel utilizado é um material feito à base de celulose, formado por três camadas sobrepostas intercalando nas direções das fibras. Os fabricantes do sistema Drywall em gesso acartonado importam esse papel de diferentes lugares da Europa, pois não há fabricação no Brasil. No caso da fábrica visitada o material é importado da Alemanha, pois não existem produtores nacionais (DIAS, 2009). Esse componente, apesar de ser considerado ecológico porque é produzido por meio da reciclagem de papel jornal, contribui para aumentar o impacto ambiental do produto devido às implicações decorrentes do transporte.

Segundo Dias (2009), no edifício de depósito está instalada também uma unidade de produção de perfis aço galvanizado para utilização no sistema Drywall. Nessa unidade as

chapas de aço galvanizado não são fabricadas, são compradas prontas e passam pelo processo de fabricação que consiste na dobra e no corte.

Os outros componentes utilizados na fabricação das chapas de gesso knauf e suas respectivas origens são: amido, fornecido por empresa localizada no Estado de Minas Gerais e liquidificante, fornecido por empresa situada no Estado de São Paulo.

6.3.3. Processo de produção

A descrição do processo de fabricação da chapa de gesso acartonado foi baseada na visita técnica realizada na fábrica Knauf. O procedimento é altamente automatizado e durante todas as etapas os técnicos verificam as características dos materiais perante a norma por meio de medições e avaliações via computador e testes com amostras.

Inicialmente, a gipsita é extraída das minas (figura 6.3) e transportada por caminhões até fabrica, onde é estocada ao ar livre. A segunda etapa do processo industrial é a britagem da gipsita. Esse mineral é lançado no britador de impacto, que reduz a sua granulometria, e depois é triturado e levado por uma correia transportadora (como apresentado na figura 6.4) até o silo, seguindo, então, para a unidade de moagem e calcinação. Nesse processo, a gipsita, que contém em sua fórmula a água cristalizada, perde 75% de água, tornando-se o pó conhecido como gesso estuque.



Figura 6.3- Extração da gipsita em minas.
Fonte: DRYWALL, 2008.

O processo de fabricação propriamente dito, esquematizado na figura 6.5, começa com a mistura de água e aditivos ao gesso estuque, produzido pela própria fábrica. A quantidade de aditivos é determinada pelo tipo de chapa a ser fabricada. A pasta resultante é lançada em um processo de laminação contínua entre duas folhas de papel cartão de 1,20 m

de largura. O papel cartão que está na parte posterior possui uma cor que serve para diferenciar os diversos tipos de chapas.



Figura 6.4- Correia transportadora que leva a gipsita para a fábrica.

Fonte: KNAUF, 2009d.

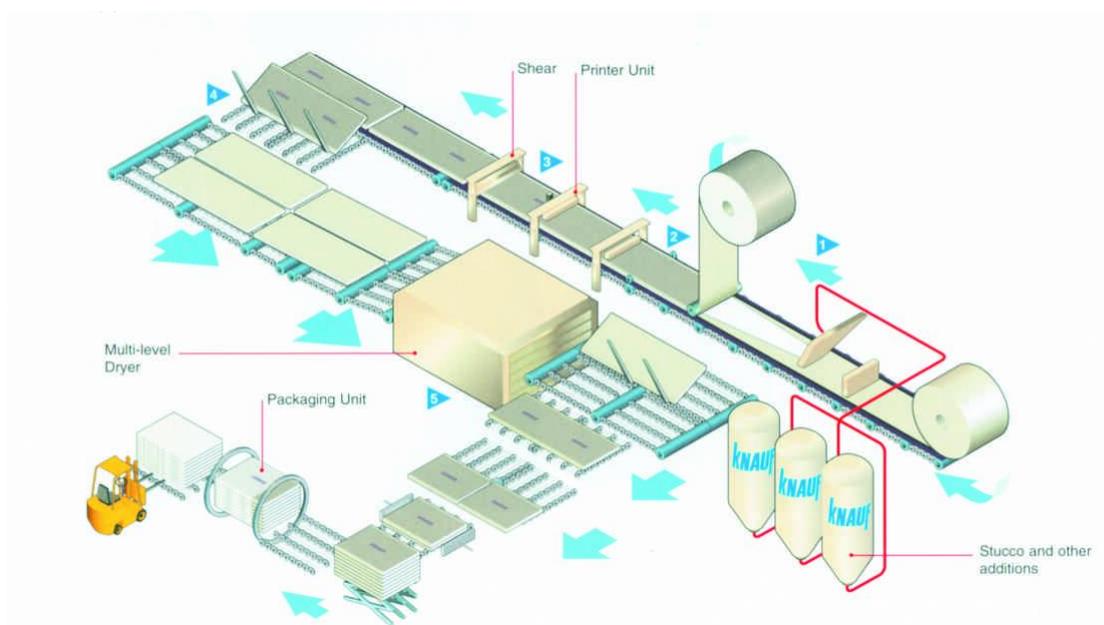


Figura 6.5- Esquema do processo de produção dos painéis de gesso.

Fonte: KNAUF, 2009c.

Esses dois materiais passam pelo cilindro de calandragem aderindo mecanicamente entre si e formando longas chapas estruturadas. O cilindro de calandragem possui um tamanho que possibilita, quase que por completo, a reação química de secagem do gesso, permitindo que no seu término, o painel possa ser trabalhado.

Enquanto o painel está nessa etapa, são impressos, na parte posterior, os locais onde a chapa será aparafusada, que vão depender da especificação do projeto. Na parte superior, a impressão deve conter as seguintes informações: fabricante, tipo da chapa, país de origem, espessura da chapa, comprimento, cata e hora. Após a impressão, essas chapas, de largura padrão de 1,20 m, são cortadas em comprimentos pré-programados que variam de 1,80 m a 3,60 m, para que o manuseio seja facilitado e a resistência não seja comprometida.

Depois de cortados, os painéis de gesso são virados para que a parte posterior sofra o processo de secagem (assim como a parte superior) e submetidos à secagem e cura no interior de um longo secador. Esse processo ocorre no secador contínuo, onde as moléculas do gesso se reagrupam em cristais, readquirindo sua formação rochosa original, porém, com um nível de pureza elevado.

Assim que saem do secador contínuo, os painéis de gesso são agrupados em dois e face a face com cor, permitindo que as informações do painel fiquem visíveis. Em seguida, o local onde a chapa foi cortada é lixada, deixando-a lisa e perfeita.

Por fim, os painéis são agrupados na paletização em grupos de 50 unidades (pallets), onde são armazenados e depois transportados até o seu destino.

6.3.4. Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção

A extração da gipsita extração não gera resíduos tóxicos, porém provoca muita interferência na superfície de extração, como pode ser observado na figura 6.6. A Associação Drywall (DRYWALL, 2008) reconhece a importância da prática responsável em relação à comunidade e ao meio ambiente e incentiva continuamente, entre as empresas associadas, a troca e o desenvolvimento das melhores ações de políticas ambientais que minimizem os efeitos da extração de matérias-primas, bem como das operações de industrialização, distribuição e aplicação de seus produtos.

Especialistas em meio ambiente têm trabalhado com êxito na recuperação do equilíbrio natural das áreas mineradas, dando-lhes condições de reconstituição da flora e da fauna ou de reaproveitamento agrícola. Na Europa, as empresas de fabricação de chapas e mineração já obtiveram pleno êxito na recuperação do equilíbrio das áreas mineradas, como mostrado na figura 6.7 (DRYWALL, 2008).

A fábrica de painéis de gesso visitada é uma instalação limpa e totalmente industrializada, que somente liberam vapor d'água na atmosfera resultante do processo de secagem dos produtos.



Figura 6.6- Exploração da Gipsita: degradação ambiental.
Fonte: KNAUF, 2009d.



Figura 6.7- Exemplo europeu: área minerada em fase de recuperação e área recuperada.
Fonte: DRYWALL, 2008.

Uma quantidade mínima de resíduos é produzida durante a fabricação. Desses resíduos, boa parte pode ser reciclada como o papel cartão residual, a chapa de gesso residual que é redirecionada ao catalizador e o gesso residual que é direcionado para cimenteiras, que o aproveitam na fabricação de cimento. Depois de prontas e montadas na obra, os pedaços de chapas residuais também podem ser encaminhados para a reciclagem.

A tecnologia *Drywall*, causa baixíssimo impacto no meio ambiente, em comparação com os sistemas construtivos tradicionais, notadamente a alvenaria. Em primeiro lugar, gera uma quantidade de entulho muito menor, de cerca de 5% de seu peso, o que facilita sua coleta e seu transporte. Além disso, seus resíduos, especialmente os restos de chapas e de perfis estruturais de aço, podem ser totalmente reciclados. Os restos de perfis de aço galvanizado já têm soluções de reciclagem consagradas no mercado, a exemplo do que ocorre com a maioria dos metais, que podem ser facilmente reaproveitados pela indústria metalúrgica.

A água utilizada para criar a pasta de gesso no processo é reciclada internamente e reutilizada, de modo que não é descarregada. No caso específico da produção de painéis de

gesso, o processo poderia ainda incluir o reaproveitamento do vapor de água que é liberado na atmosfera.

Segundo dados da filial empresa Australiana da Lafarge (outra fabricante de gesso), as chapas de gesso possuem baixa energia incorporada por metro quadrado e são fabricadas a partir de recursos naturais, porém o principal recurso (a gipsita) não é renovável. O papel cartão utilizado é feito 100% de papel reciclado pós-consumo (LAFARGE, 2009).

A constante melhoria do processo de fabricação buscam reduzir o impacto ambiental da produção das chapas de gesso. Algumas fábricas têm tomado muitas iniciativas para reduzir o impacto ambiental, como a coleta de águas pluviais, minimizando o consumo de água, reciclagem de resíduos da produção de gesso e utilização de sistemas de recuperação de calor (LAFARGE, 2009).

A fábrica da Knauf do Reino Unido já está lançando um novo tipo de placa de gesso acartonando que reduz o CO₂ incorporado em $\frac{1}{3}$, chamado *Futurepanel carbon neutral Plasterboard*. Esse painel está sendo fabricado com pelo menos 10% de gesso reciclado e o resto das fontes mais sustentáveis possíveis. O papel cartão utilizado também é 100% reciclado. A redução de $\frac{1}{3}$ da emissão de CO₂ na fabricação é possível por meio da redução do uso de energia na fábrica e de investimentos em tecnologias e fontes de energia renováveis, como a energia eólica. O programa de compensação de carbono do *Futurepanel* envolve investimentos em projetos externos que removem o carbono, fornecendo fontes de energia renováveis, como hidrelétricas, usinas elétricas e caldeiras de biomassa para as comunidades (KNAUF DRYWALL UK, 2008).

O *Futurepanel carbon neutral Plasterboard* é uma tentativa de produzir os painéis de gesso de forma mais sustentável e com certificação de quantidade de material reciclado e desempenho ambiental. A falta dessa certificação é uma das grandes dificuldades encontradas no Brasil por quem deseja empregar materiais mais sustentáveis nas construções. Por exemplo, a fabricação de painéis de gesso no país já inclui gesso reciclado pré-consumo no processo, mas não fornece aos clientes qual é essa porcentagem, portanto dificulta a utilização para fins de certificação ambiental.

A fábrica da Knauf já fornece aos clientes que pretendem obter alguma certificação ambiental uma declaração ambiental do produto. No Anexo 4 está um exemplo dessa declaração para a chapa de gesso ST fornecida a uma empresa (cujo nome foi suprimido) que almeja o selo de certificação LEED em sua construção. O documento apresenta: os dados quantitativos de COVs presente no produto; a composição básica; se foi produzido com conteúdo reciclado e a massa dos materiais reciclados utilizados por unidade; se foi fabricado

ou se a extração da matéria-prima está dentro de um raio de 800 Km do empreendimento; o local de extração de cada matéria-prima utilizada e sua distância até o empreendimento.

6.3.5. Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO₂

A fábrica visitada já investe em um sistema de produção que economiza parte da energia utilizada e é totalmente automatizada. Segundo Dias (2009), o maior gasto de energia está incorporado ao produto no processo de extração, fabricação e transporte das matérias-primas. Como relatado no item 6.3.4., a água utilizada no processo é reciclada internamente.

Não foram fornecidos dados quantitativos referentes à produção dos painéis gesso quanto ao gasto de energia e água no processo e nem sobre a emissão de CO₂ decorrente da fabricação.

6.3.6. Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção

A Associação *Drywall* aderiu ao PSQ-Drywall (Programa Setorial da Qualidade do *Drywall*), subordinado ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Hábitat (PBQP-H). Esse programa, lançado pelo governo federal, representa hoje o principal sistema de qualificação de materiais e sistemas construtivos utilizados no país, juntamente com o QUALIHAB, em São Paulo (DRYWALL, 2008).

As chapas de gesso devem ser produzidas de acordo com as seguintes Normas ABNT: NBR 14715:2001 - Chapas de gesso acartonado- requisitos, NBR 14716:2001 - Chapas de gesso acartonado- Verificação das características geométricas e NBR 14717: 2001 - Chapas de gesso acartonado- Determinação das características físicas.

A Empresa Knauf *Drywall* do Brasil foi a primeira e continua sendo a única, no segmento de produção de chapas de gesso, a obter a certificação segundo a norma ISO 9001:2000, tal reconhecimento foi renovado em 2003 (KNAUF, 2009d).

6.3.7. Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo

O papel cartão que reveste as placas de gesso é reciclado e esse conteúdo reciclado possui 0,5% do peso total do produto (KNAUF, 2008).

No fim de vida a chapa de gesso é 100% reciclável, se desmontada de maneira que deixe o produto livre de contaminantes, tais como faixas de aço, parafusos, adesivos e pinturas. Na construção civil, os resíduos do gesso devem ser separados dos outros materiais e armazenados em local específico no canteiro de obras para encaminhar para a reciclagem. O ambiente de armazenamento deve ser seco, protegido da chuva e de outros possíveis

contatos com a água. O gesso residual da obra deve ser encaminhado às Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs), que são especializadas neste segmento. As ATTs recebem e preparam os resíduos para o reaproveitamento industrial, que geralmente é vendido para as indústrias de cimento, uma vez que para a fabricação do cimento faz-se necessário a adição de 3 % a 7 % de gesso. O gesso limpo, após a separação de material, pode ser utilizado novamente na cadeia reprodutiva por meio de pelo menos três formas de reaproveitamento e reciclagem do material (DRYWALL, 2009):

1. Na indústria cimenteira: o gesso é um material útil e necessário que atua como retardante de pega do cimento. Testes efetuados em indústrias de cimento comprovaram que são 100% aproveitáveis no processo de produção do cimento, pois este requer certa quantidade de gesso, que, quando originário das chapas para drywall, apresenta um grau de pureza superior ao de outros componentes desse material utilizados no mercado, em razão do apuro tecnológico que cerca sua produção industrial.
2. No setor agrícola: o gesso é utilizado como corretivo da acidez do solo e na melhoria das características deste.
3. Na indústria de transformação do gesso: o processo de produção do gesso pode reincorporar seus resíduos, em certa proporção, opção pouco utilizada na prática.

As Unidades de recebimento de resíduos de gesso (ATTs) disponíveis no Brasil estão localizadas nos seguintes endereços (DRYWALL, 2009):

- ATT Pari- Luiz Antonio de Toledo Rua Joaquim Carlos, 870 – Pari 03015-900 - São Paulo – SP. Tel.: (11) 6618-1384.
- Aterro Sete Praias- José Rubens de Paiva Gomes Rua Josephina Gianini Elias, 499 - Sete Praias 04476-000 - São Paulo – SP Tel.: (11) 5674-0833.
- Engessul- Rua Lorival Ramos, s/n – Vila Nova Imbituba, SC Tel.: (48) 3255-0550
Gramadus- Julio Alves Rios Av. Centauro, 645 - Distrito Industrial Riacho das Pedras 32242-000 - Contagem – MG Tel.: (31) 3396-1511.
- Morelix- Antonio Moreira Rua Clodomiro de Oliveira, 800 - Jd Andrade 057350-120 - São Paulo SP. Tel.: (11) 5844-9130.

6.3.8. Toxidade do material

As placas de gesso acartonado são produtos inodoros e livres de gases tóxicos. O gesso não tem efeito cumulativo no organismo, pois é eliminado na urina (DRYWALL, 2008).

Segundo a Declaração Ambiental do produto, os painéis são uma opção saudável de material de construção, pois não liberam no ambiente compostos orgânicos voláteis (COVs) (KNAUF, 2008).

6.3.9. Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento

Os painéis de gesso acartonado, compondo o sistema *Drywall* na utilização como fechamentos verticais são compatíveis com outros sistemas estruturais, como o concreto armado e estruturas em aço, porém não apresentam nenhuma função estrutural.

As paredes *Drywall* só podem ser usadas em áreas internas e as chapas de gesso aceitam vários tipos de acabamentos, desde pinturas comuns (com tinta não diluída) até azulejos, pastilhas, mármore, granito, lambris de madeira, papel de parede, etc.. Segundo Krüger (2000), em alguns casos deve-se utilizar argamassa colante especial com teores mais elevados de resina.

6.3.10. Montagem

A montagem do sistema *Drywall* é simples, porém exige mão-de-obra especializada e necessita de algumas ferramentas de pequeno porte, tais como: trena, serrote, parafusadeira, furadeira, tesoura, espátula, etc. (DRYWALL, 2004).

As paredes são montadas com perfis de aço galvanizado fabricados pelo mesmo processo de conformação dos perfis para *light steel frame*, porém a espessura das chapas é menor porque não tem função estrutural na edificação. As divisórias são compostas por guias superiores e inferiores (perfis U) e montantes verticais, como apresentado na figura 6.8, a fim de possibilitar uma estrutura para fixação das chapas (FREITAS; CRASTO, 2006).



Figura 6.8- Esquema de colocação de montantes.
Fonte: DRYWALL, 2004.

O sistema deve adotar espaçamento entre os montantes de 400 ou 600 mm de acordo com as solicitações exercidas pelas placas de fechamento, revestimento e peças suspensas fixadas ao painel. Antes do início da montagem dos sistemas é importante verificar as seguintes condições (FREITAS; CRASTO, 2006; DRYWALL, 2004):

- Verificar a compatibilização dos projetos entre si (estrutura, vedações, instalações, etc.).
- As aberturas horizontais (janelas, portas externas, etc.) e verticais (cobertura, shafts, etc.) da obra devem estar protegidas e impedir a entrada de chuva e umidade excessiva.
- As vedações verticais externas (fachadas) e internas (poço de elevador, escadas, etc.), que não forem em sistema Drywall, devem estar acabadas e devidamente impermeabilizadas conforme o projeto.
- Os períodos de cura devem estar vencidos, como no caso das lajes úmidas e fundações tipo radier.
- As lajes de piso devem estar niveladas e preferencialmente acabadas, assim como os telhados.
- As atividades que utilizam água devem ter sido finalizadas.
- As saídas das instalações hidráulicas, elétricas, de telefonia e de esgoto, devem estar posicionadas de acordo com o projeto antes da fixação das chapas, evitando grandes rasgos nos perfis metálicos, conforme apresentado na figura 6.9.

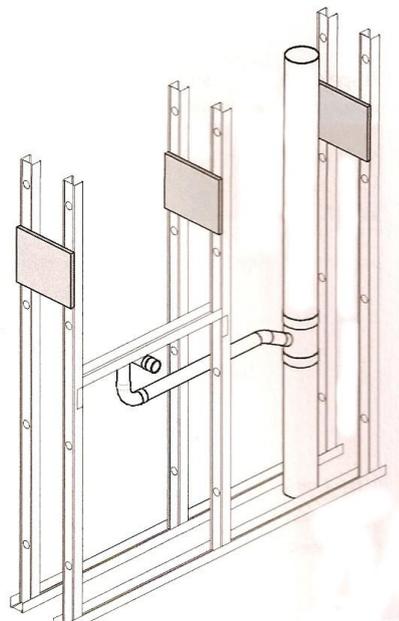


Figura 6.9- Colocação das instalações sanitárias antes das chapas.

Fonte: DRYWALL, 2006.

- Para a fixação dos perfilados, verificar se o elemento de fixação (tiro, bucha e parafuso, etc.) é compatível com o suporte (laje, concreto, alvenarias, etc.).
- Os painéis só devem ser fixados encontrando-se nas juntas conforme indicado na figura 6.10.

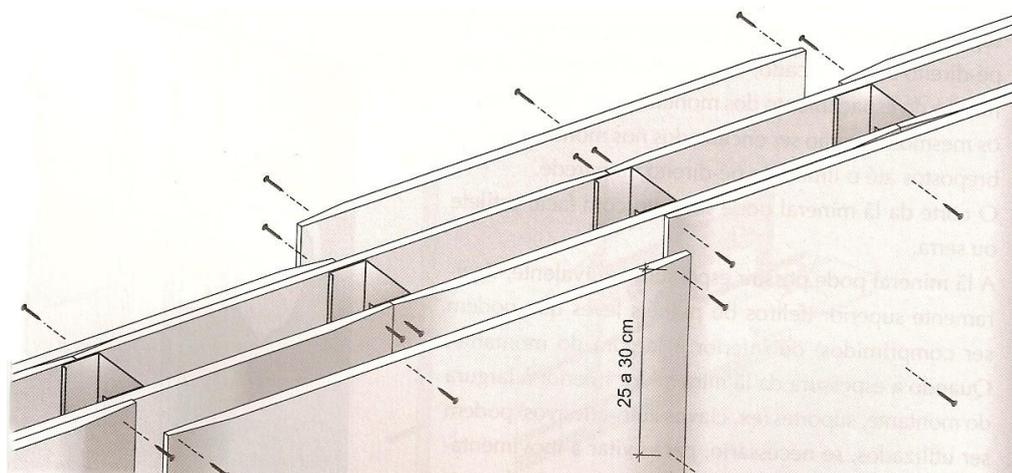


Figura 6.10- Esquema de fixação das chapas de gesso.
Fonte: DRYWALL, 2004.

6.3.11. Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização

A vida útil do produto dependerá dos cuidados de manuseio, uso e manutenção correta dos painéis. Segundo informações do fabricante Knauf pode-se considerar no mínimo 30 anos com as manutenções e utilizações adequadas (DIAS, 2009).

A manutenção das paredes Drywall é simples e consiste basicamente em limpeza e pequenos reparos. A limpeza pode ser feita com uma esponja e os detergentes ou demais produtos existentes no mercado, com um cuidado básico: evitar o uso de grande quantidade de água. Pequenos reparos na superfície podem ser feitos com massa para tratamento de juntas ou com massa corrida (da mesma forma que nas paredes de alvenaria).

Os painéis em gesso e o sistema *Drywall* podem ser facilmente desmontados e totalmente reutilizados, devido ao baixo peso e facilidade no manuseio, porém exige mão-de-obra qualificada para o trabalho.

6.3.12. Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas

As dimensões nominais e tolerâncias são especificadas por normas, de forma geral os painéis são comercializados com largura de 1,20 m e comprimentos que variam de 1,80 m a 3,6 m, de acordo com o fabricante. As espessuras normalmente fornecidas são de 9,5 mm, 12,5 mm, e 15 mm (FREITAS; CRASTO, 2006). Nos Quadros 6.1, 6.2 e 6.3 estão

disponíveis as dimensões fornecidas e o coeficiente de condutividade térmica de cada tipo de chapa de gesso acartonado.

Quadro 6.1. Dimensões e densidade de chapas Standard

Espessura (mm)	9,5	12,5	15
Massa específica superficial (km/m ²)	6,5 a 8,5	8 a 12	10 a 14
Massa específica (kg/m ³)	685 a 895	640 a 960	667 a 934
Coeficiente de condutividade térmica (kcal/h.m ² .°C)	0,16		
Largura (mm)	600 mm ou 1.200 mm		
Comprimento (mm)	As medidas padrão são: 1800, 2000, 2400, 2500, 2700 e 2800.		

Fonte: KNAUF, 2009d.

Quadro 6.2. Dimensões e densidade de chapas RF

Espessura (mm)	12,5	15
Massa específica superficial (km/m ²)	8 a 12	10 a 14
Massa específica (kg/m ³)	640 a 960	667 a 934
Coeficiente de condutividade térmica (kcal/h.m ² .°C)	0,16	
Largura (mm)	1.200	
Comprimento (mm)	As medidas padrão são: 1800, 2000, 2400, 2500, 2700 e 2800.	

Fonte: KNAUF, 2009d.

Quadro 6.3. Dimensões e densidade de chapas RU

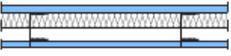
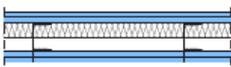
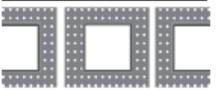
Espessura (mm)	9,5	12,5	15
Massa específica superficial (km/m ²)	6,5 a 8,5	8 a 12	10 a 14
Massa específica (kg/m ³)	685 a 895	640 a 960	667 a 934
Coeficiente de condutividade térmica (kcal/h.m ² .°C)	0,16		
Largura (mm)	1.200		
Comprimento (mm)	As medidas padrão são: 1800, 2000, 2400, 2500, 2700 e 2800.		

Fonte: KNAUF, 2009d.

As paredes mais simples construídas segundo essa tecnologia *Drywall*, utilizando estrutura com perfis de 48 mm e uma chapa com 12,5 mm de cada lado, perfazendo cerca de

75 mm de espessura, já oferecem isolamento equivalente ao de uma parede de tijolos maciços com 90 mm de espessura, ou seja, cerca de 35 a 37 dB, conforme apresentado no Quadro 6.4.

Quadro 6.4. Comparação do desempenho acústico do sistema *Drywall* com alvenaria

Chapas de drywall	Isolamento acústico		Peso	Alvenaria convencional	Isolamento acústico	Peso
	SLM	CLM				
W111 (12,5+70+12,5) = 95mm 	35-37 dB (A)	42-44 dB (A)	23-25 Kg/ m ²	Tijolo maciço (15+60+15) = 90mm 	36-38 dB (A)	155- 165 Kg/m ²
W112 (12,5+12,5+70+12,5+12,5) = 120mm 	44-46 dB (A)	50-52 dB (A)	41-43 Kg/m ²	Tijolo "baiano" - 6 furos (15+90+15) = 120mm 	35-38 dB (A)	155- 165 Kg/m ²
W115 (12,5+12,5+48+48+12,5+12,5) = 146mm 	> 62 dB (A)	44-46 Kg/ m ²	Tijolo "baiano" - 6 furos (15+160+15) = 190mm 	38-40 dB (A)	250- 260 Kg/m ²	
			Bloco de silício - calcário (15+110+15) = 140mm 	35 dB (A)	300 Kg/m ²	
			Bloco de concreto celular (15+110+15) = 140mm 	35 dB(A)	130 Kg/m ²	
			Bloco de concreto (15+110+15) = 140mm 	35 dB (A)	240 Kg/m ²	

Fonte: KNAUF, 2009b. *Peso = massa específica superficial.

Conforme apresentado no quadro 6.4, a tecnologia do sistema *Drywall* permite que sejam colocados mais de um painel de cada lado e que se utilize algum material isolante em

seu interior, como por exemplo, a lã mineral. Pode-se observar que no sistema W112 as paredes com maior espessura e que são compostas por mais de uma chapa de gesso de cada lado apresentam desempenho acústico muito superior, com isolamento superando os 44 dB. Quando se utiliza também o material isolante o desempenho acústico sobe de forma expressiva para 52 dB.

6.3.13. Transporte e entrega na obra

Tanto a matéria-prima, quanto o produto final é transportado por meio de transporte rodoviário. O sistema drywall é composto por materiais leves, o que reduz custos de transporte e as emissões de poluentes decorrentes do deslocamento. Os profissionais da construção civil devem utilizar o manual de transporte fornecido por cada painel para melhor aproveitamento e integridade do material. As chapas, quando chegam à obra, podem ser transportadas manualmente ou por empilhadeira e devem ser colocadas em locais protegidos das chuvas e umidade (DRYWALL, 2004).

6.4. Painéis cimentícios- Brasilit

6.4.1. Características gerais e composição

As Placas cimentícias reforçada com fios sintéticos Brasiplac Plus da empresa Brasilit geralmente são utilizadas em situações onde se requer maior resistência a impactos e à ação das águas, como o requerido para as fachadas. Podem, no entanto, ser utilizadas para fechamento de ambientes internos (cozinhas, banheiros, saunas, etc.) conforme requisitos de projeto.

O sistema mais comum que dá suporte às placas cimentícias é o *Light Steel Framing*, que pode ter finalidade estrutural ou apenas servir de fechamento. Neste caso, além das placas cimentícias, os componentes do sistema são: elementos de fixação, massas, fitas para tratamento de juntas e a estrutura de perfis de aço galvanizado. As placas também podem ser usadas junto ao sistema *Drywall* e *Wood Framing*.

Toda chapa delgada que contém cimento na composição é chamada de cimentícia. No mercado brasileiro atual encontram-se as seguintes placas de cimento:

- chapas delgadas de concreto leve, reforçada por uma camada de telas de fibra de vidro em cada face (GRC- *Glassfibre Reinforced Cement*);
- chapas de Fibrocimento, que foram desenvolvidas a partir de matrizes de cimento que contêm amianto, mas com as restrições legais a respeito do uso do mesmo, esse

componente foi substituído por celulose e fibras sintéticas (álcool polivinílico, polipropileno, etc...), fabricados em processo contínuo e

- outras, fabricadas em fôrma com espessura um pouco maior e também com fibras na composição.

Os painéis cimentícios analisados da Brasilit são de fibrocimento e foram desenvolvidos com a tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos), sem amianto. São produzidos a partir de uma mistura homogênea de cimento Portland, agregados naturais de celulose, reforçado com fios sintéticos de polipropileno. Na fabricação, esses painéis, recebem ainda tratamento adicional que confere maior resistência superficial à abrasão, maior impermeabilidade e dispensa o uso de primer no preparo para aplicação de revestimentos (BRASILIT, 2009).

6.4.2. Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica

As chapas cimentícias da Brasilit são produzidas na fábrica situada no município de Capivari-SP, próxima à Rodovia Campinas – Tietê.

A principal matéria-prima para a fabricação desses painéis é o cimento Portland CPV, que vem processado da fábrica Holcim, em Sorocaba, a aproximadamente 75 km da Brasilit. Na fabricação de cimento utilizam-se matérias-primas da região do estado de São Paulo.

O relatório de sustentabilidade de 2007 da Holcim enumera os materiais usados na produção de cimento: calcário, argila (matérias-primas); areia e outros corretivos (corretivos); combustíveis e insumos como o minério de ferro, escória, gesso, sacaria e outros. Na produção de cimento pela Holcim os combustíveis tradicionais (coque de petróleo e carvão mineral) são parcialmente substituídos por fontes alternativas de energia, entre elas resíduos industriais (co-processamento) e biomassa, como a moinha de carvão vegetal (HOLCIM, 2007).

As outras matérias-primas e suas origens são: fios de polipropileno, provenientes de uma fábrica em Jacareí, e celulose, que vem da região do Paraná com origem controlada e certificada.

6.4.3. Processo de produção

O processo de produção dos painéis é o mesmo de telhas placas e caixas d'água em fibrocimento. Cerca de 85% dos produtos em fibrocimento comercializados no mundo são produzidos via processo Hatschek, figura 6.11.

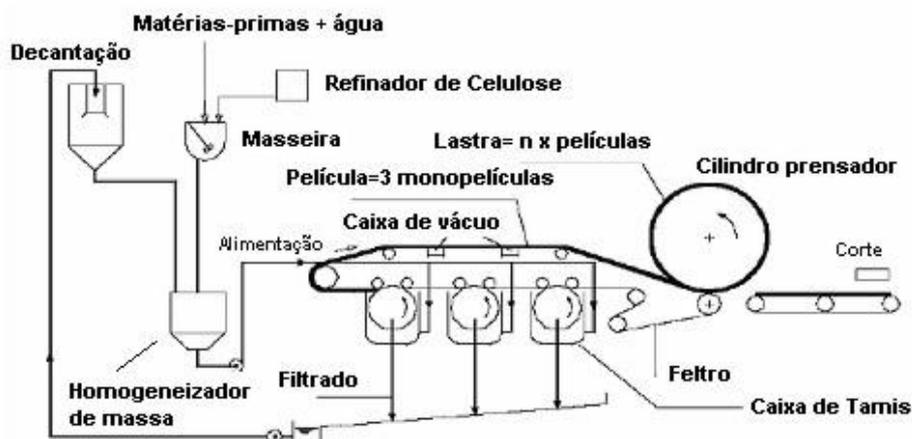


Figura 6.11- Desenho esquemático da máquina Hatschek.
Fonte: BRASILIT, 2009b.

Com a descoberta dos riscos à saúde causados pelo amianto, inúmeros produtores iniciaram estudos visando buscar uma fibra alternativa que fosse compatível com o processo e com os requisitos técnicos de desempenho e durabilidade. A solução adotada pela Brasilit foi investir em pesquisas para desenvolver uma tecnologia própria para os produtos de fibrocimento sem amianto, desenvolvendo um fio de reforço de polipropileno, Brasifil, com características mecânicas e químicas adequadas à aplicação que tornam o fio de polipropileno compatível a matriz cimentícia.

Na primeira etapa do processo Hatschek, uma suspensão diluída de cimento, carga mineral e fibras é preparada em um misturador (masseira) e alimentada ao processo via um tanque homogeneizador. Nas caixas de tamis, ocorre a filtragem da suspensão e formação de uma película de massa, como apresentado a figura 6.12, que é transferida para um feltro.



Figura 6.12- Foto da vista superior da máquina Hatschek: formação de películas
Fonte: BRASILIT, 2009b.

Este feltro leva a película para o cilindro prensador, figura 6.13, onde ocorre o acúmulo de películas até a obtenção da espessura desejada. Ao se atingir a espessura desejada, o cilindro prensador libera uma lastra de fibrocimento que segue para uma mesa de corte e em seguida, para uma mesa de placas planas onde a lastra é conformada e encaminhada para a etapa de cura (SALUM, 2009).



Figura 6.13- Foto frontal do cilindro prensado da máquina Hatschek.
Fonte: BRASILIT, 2009b.

Após a cura inicial de aproximadamente 8 horas, o produto é retirado das formas e encaminhado para o pátio para complementação da etapa de cura 14 a 28 dias, como pode ser visto na figura 6.14. Nesse pátio a água utilizada na cura é constantemente reaproveitada, pois depois do uso é direcionada a para um reservatório que bombeia a água novamente.



Figura 6.14- Foto do processo de cura no pátio da Brasilit em Capivari-SP, jul. 2009.

Em fábricas mais automatizadas a mistura das matérias-primas e os equipamentos para a projeção automatizada reduzem consideravelmente o tempo e o número de operários e

também propiciam maior controle de uniformidade do compósito, da distribuição das fibras, da espessura dos painéis e da qualidade global do produto com superfície lisa e de alta resistência. Neste caso a automatização viabiliza a produção em série, porém fica mais restrita à produção de painéis com geometria simples.

6.4.4. Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção

O impacto ambiental causado na produção das placas cimentícias é pequeno, o maior problema vem da produção do cimento.

O processo de produção de cimento é intensivo no que se refere à extração de recursos naturais não-renováveis, especialmente: calcário, argila, gesso e outros. Estes, quando moídos e misturados, dão origem à chamada “farinha”, que é levada ao forno a temperaturas em torno de 1.500°C para a produção do clínquer, matéria-prima do cimento. Para garantir esse consumo térmico, a chama do forno é alimentada por combustíveis. Tal processo libera na atmosfera: CO₂, NO_x, SO₂, COVs e material particulado (HOLCIM, 2007).

Nos últimos anos, as indústrias de cimento adotaram algumas medidas para tentar diminuir os impactos negativos e aumentar a sustentabilidade do processo produtivo. Uma delas é a técnica de co-processamento, que utiliza resíduos de indústrias no processo de fabricação de cimento e reaproveita e elimina, de forma segura e definitiva, os resíduos que possivelmente seriam descartados na natureza por outras indústrias. A técnica consiste em aproveitar o poder calorífico desses materiais como combustível alternativo nos fornos de cimento substituindo, parcialmente, o combustível que alimenta a chama do forno que transforma calcário e argila em clínquer, matéria-prima do cimento. Isso reduz a utilização de recursos naturais não-renováveis na produção e contribui para baixar a emissão de gases causadores do efeito estufa (HOLCIM, 2007).

Até 2004, o uso de combustíveis alternativos (co-processamento e biomassa) representava 85% do mix de energia térmica utilizada nos fornos de clínquer. A moinha de carvão vegetal, derivada da indústria siderúrgica de ferro-gusa, era a principal fonte. Sua oferta era abundante e o custo competitivo. Nos últimos três anos o material, antes descartado pela indústria siderúrgica, passou a ser utilizado no próprio processo, tendo sua oferta reduzida para outras indústrias. Isso fez a empresa elevar o uso de combustíveis tradicionais, o que contribuiu para a piora na redução das emissões de CO₂. Atualmente, o co-processamento é a principal alternativa aos combustíveis fósseis (coque de petróleo e carvão mineral) da empresa. Em 2007, o consumo de combustível alternativo foi de 25,7%, enquanto o consumo de combustíveis tradicionais foi de 74,3% (HOLCIM, 2007)

Os impactos mais significativos causados pela produção do cimento são: os processos de mineração para extração das matérias-primas (calcário e argila, principalmente), o alto teor de consumo energético, a emissão de poeiras e ruídos e a emissão de CO₂ e outros gases causadores do efeito estufa.

Os impactos causados pela exploração das minas de argila são erosão, desmatamento e poeira gerada pela operação. Leva-se em conta também o monóxido de carbono eliminado pelos escapamentos dos veículos, assim como o aspecto visual. Nas minas de gipsita, os efeitos são semelhantes, porém com menor erosão. Já nas minas de calcário e granito, além dos impactos citados, a exploração também pode causar rebaixamento do lençol freático (HOLCIM, 2007).

Outra medida para diminuir o impacto ambiental das cimenteiras é a utilização da escória, subproduto da produção do aço, como insumo alternativo na composição do cimento. Dentre os benefícios dessa medida destaca-se: a diminuição do consumo de recursos naturais não-renováveis e o auxílio a outras indústrias a atender às rigorosas exigências das leis ambientais sobre a correta destinação de seus resíduos. Além da escória, as indústrias costumam comprar resíduos da fabricação do gesso e dos painéis para utilização como insumo.

Segundo Salum (2009), os resíduos dos painéis Brasilit geralmente são reintroduzidos no processo de fabricação e os insumos que não podem ser reaproveitados, como o óleo lubrificante, são destinados adequadamente por empresas contratadas. Além disso, na fábrica analisada, toda água utilizada na fabricação e cura dos painéis é tratada e reutilizada, como apresentado anteriormente na figura 6.14.

6.4.5. Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO₂

A energia gasta é fabricação dos painéis cimentícios é pequena, até no caso das fábricas mais automatizadas. O maior gasto de energia está incorporado ao produto no processo de extração, fabricação e transporte das matérias-primas.

A água utilizada é reutilizada, porém os fabricantes não souberam informar qual é a quantidade gasta por produção principalmente porque na planta industrial também são desenvolvidos outros produtos cimentícios e não há um controle da quantidade gasta por tipo de produto. Sobre a emissão de CO₂, o fabricante também não possui nenhum dado.

6.4.6. Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção

A fábrica de painéis de fibrocimento analisada ainda não possui certificação de ISO 9001:2008, porém a previsão de obtenção da certificação é para o final de 2009. Por enquanto, não há normas brasileiras específicas para os painéis cimentícios, o que obriga fabricantes e laboratórios de pesquisa a adotarem as normas americanas para a realização de ensaios. O painel de fibrocimento analisado atende aos requisitos da norma ISO 8336:2009 – “*Fibre - Cement Flat Sheets*” (SALUM, 2009).

6.4.7. Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo

O cimento utilizado pode conter, em parte da matéria-prima utilizada, resíduos provenientes de produtos outras indústrias, tal como o gesso e a escória.

A placa cimentícia Brasiplac pode conter até 2% de material reciclado pré-consumo através da reciclagem dos seus resíduos de produção e do próprio produto, quando não estão em condições de uso (por exemplo, os que quebram durante o processo). Essas placas podem ser recicladas no pós-consumo na fabricação das próprias placas respeitando o limite máximo de 2% da composição (SALUM, 2009).

Após a vida útil, os painéis feitos de concreto leve também podem ser moídos para serem utilizados como agregado ou na construção de pavimentos, dependendo do tipo de painel e da política de reciclagem da fábrica (USEPLAC, 2009).

6.4.8. Toxidade do material

Material não tóxico, sem amianto.

6.4.9. Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento

Os elementos que podem dar suporte às placas cimentícias são: perfis de aço galvanizado para *Drywall*, perfis de aço galvanizado para *Light Steel Framing* e perfis de madeira tratada para *Wood Framing*. Todos eles são compatíveis com outros sistemas estruturais, como o concreto armado e estruturas em aço.

Os perfis de aço galvanizado são os mais usados na composição das estruturas de suporte, pois são leves, padronizados e de fácil montagem. Os perfis *Drywall* são usualmente empregados em divisórias internas não estruturais, limitados ao pé-direito de 3m. Quando as estruturas de suporte são especificadas para ser de madeira, é aconselhável a utilização de madeira de reflorestamento (Pínus) tratada e seca, com garantia de resistência a fungos, térmita e apodrecimento. Os perfis do sistema *Light Steel Framing*, podem ter finalidade

estrutural ou apenas de suporte para o fechamento. No caso de utilização com função estrutural, os perfis devem ser estruturais, com espessura a partir de 80 mm. A estrutura metálica de sustentação deve atender ao cálculo estrutural e o espaçamento entre montantes depende do projeto estrutural, porém, não deve ultrapassar 40 cm. O contraventamento e reforços eventuais devem seguir as especificações e recomendações do projeto estrutural (BRASILIT, 2010).

A superfície das placas permite aplicação de vários tipos de acabamento, como pinturas, porcelanatos, mosaicos, argamassas, laminados, texturas, cerâmicas, pastilhas, pedras naturais, etc.. No caso do revestimento em granitos, mármore e outros materiais de alta densidade são utilizados aqueles de pequena espessura (por volta de 10 mm). É recomendado, antes da aplicação dos revestimentos, que se retire a poeira da superfície para evita que exista algum depósito de material que possa atuar como desmoldante (pó, gordura, etc.) (USEPLAC, 2009).

Freitas e Crasto (2006) recomendam revestimento da face exposta de paredes externas com uma demão de selador de base acrílica e em locais úmidos prever um sistema de impermeabilização nas junções de parede com piso evitando a infiltração de água para dentro do painel.

6.4.10. Montagem

As placas são mecanicamente fixadas nas estruturas com parafusos, bastando o uso da parafusadeira. A montagem desse sistema se caracteriza pela rapidez de execução, semelhante ao do gesso acartonado, no sistema *Drywall*, diferenciando-se apenas no material utilizado para o corte, no acabamento das juntas e nos parafusos utilizados, que são próprios para placas cimentícias. Os painéis são cortados com facilidade com ferramentas com superfície de ataque de metal duro. Além disso, os painéis possuem baixo peso próprio, de até 20,4 kg/m², o que facilita o transporte e manuseio, dispensando o uso de equipamentos de içamento.

A necessidade da utilização de barreira de água e vento deverá ser prevista pelo profissional responsável pelo projeto. Quando necessário, deverá ser utilizada manta de polietileno de alta densidade; fixando-a diretamente na estrutura com parafusos e utilizando fita adesiva própria para fixação nas emendas da proteção (BRASILIT, 2009).

Segundo Freitas e Crasto (2006), alguns cuidados especiais devem ser tomados na especificação do tipo de junta levando em consideração a variação dimensional das placas devido à temperatura e umidade do ambiente e a natureza do acabamento adotado. As juntas

podem ser aparentes ou invisíveis. No primeiro caso a aplicação de perfis ou selantes elastoméricos destacam visualmente a junta e são mais indicados para os casos de placas que possuem coeficiente de variação dimensional alto. As bordas devem ser planas para aplicação de juntas aparentes. No caso das juntas invisíveis a especificação varia de acordo com o fabricante, porém é sempre indicado um reforço sobre a junta de tela de fibra de vidro resistente a alcalinidade. Na aplicação de juntas invisíveis as bordas das placas devem ser rebaixadas para garantir o nivelamento do tratamento da junta.

6.4.11. Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização

A vida útil das placas de fibrocimento é muito elevada por ter natureza similar a um "micro-concreto armado". Segundo Salum (2009), como o produto em forma de painel é novo, pode-se avaliar sua durabilidade pela vida útil das telhas em fibrocimento (mesmo material) que podem durar mais de 70 anos.

Os painéis Brasiplac possuem alta resistência a impactos, resistem ao ataque de cupins e micro-organismos, apresentam elevada resistência ao fogo e são incombustíveis (BRASILIT, 2009).

Cada tipo de chapa cimentícia apresenta características diferentes. Para otimizar seu uso, deve ser feita uma pesquisa junto ao fabricante a fim de evitar riscos de patologias. As patologias podem ser ocasionadas pela baixa qualidade de alguns produtos e pela má instalação das chapas.

Segundo Silva; Silva (2004), as patologias mais comuns em painéis GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*), que também tem como componente o cimento, decorrem do envelhecimento do compósito que deixa de suportar as restrições impostas à sua livre movimentação. Podem ocorrer fissuras no corpo da chapa, trincas em juntas e destacamento na ligação da chapa à estrutura.

Para a correta especificação do material é necessário estabelecer o tipo de função que o painel exercerá. Se a chapa receber revestimento, é importante observar as características de absorção de água, variação dimensional em razão da umidade e efeito da temperatura. Diferenças notáveis entre o comportamento do revestimento e o painel em relação à retração, absorção de umidade e coeficiente de dilatação térmica resultarão em deformações ou tensões elevadas, que freqüentemente superam a resistência à tração do compósito envelhecido (SILVA; SILVA, 2004; KRÜGER, 2000).

Segundo Salum (2009), a manutenção geralmente ocorre no revestimento dos painéis tais como pintura, texturas, etc.. Para melhor utilização das placas cimentícias é essencial

pesquisar as características e recomendações próprias de cada tipo do produto junto ao fabricante a fim de evitar riscos de patologia.

Os painéis, assim como todo o sistema de fechamento LSF, podem ser montados e desmontados facilmente e são 100% reutilizáveis. Além disso, por serem pouco espessas, apresentam maleabilidade para compor superfícies curvas de raios maiores ou iguais a 3m (BRASILIT, 2009).

6.4.12. Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas

As propriedades termo-físicas e as dimensões fornecidas variam de acordo com o fabricante. As chapas de fibrocimento sem amianto apresentam baixa condutividade térmica frente a outros materiais e bom isolamento térmico. Na placa de fibrocimento analisada a condutividade térmica é de 0,35 W/mK e a massa específica 1,70 g/cm³ (BRASILIT, 2009).

Geralmente as placas cimentícias com tecnologia CRFS são comercializadas nas dimensões de largura fixa de 1,20 m e comprimentos que variam de 2,00 m, 2,40 m e 3,00 m. As espessuras também podem variar de 6, 8, 10 e 12 mm de acordo com a função de cada placa. No quadro 6.5 apresentam-se as dimensões padrões fornecidas e suas aplicações.

Quadro 6.5. Dimensões e aplicação de placas cimentícias CRFS Brasilit

Espessura (mm)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso Placa (kg)	Massa específica superficial (kg/ m ²)	Aplicações
6	2,00	1,20	24,4	10,2	Divisórias leves, forros, dutos de ar-condicionado
	2,40	1,20	29,4	10,2	
	3,00	1,20	36,7	10,2	
8*	2,00	1,20	32,6	13,6	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos
	2,40	1,20	39,2	13,6	
	3,00	1,20	49,0	13,6	
10*	2,00	1,20	40,8	17,0	Utilizadas para áreas secas e úmidas, internas e externas. Ideais no fechamento externo em sistemas Steel ou Wood framing, isolamentos termoacústicos
	2,40	1,20	49,0	17,0	
	3,00	1,20	61,2	17,0	
12*	2,00	1,20	48,9	20,4	Para uso interno na compatibilização com o Drywall ou em fechamentos internos ou externos que necessitem maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas
	2,40	1,20	58,8	20,4	
	3,00	1,20	73,5	20,4	

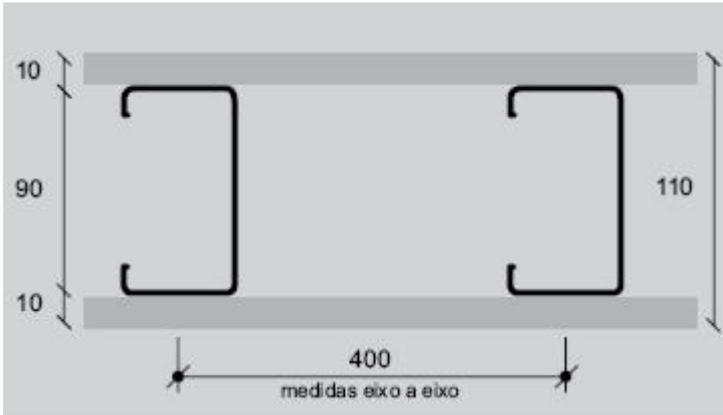
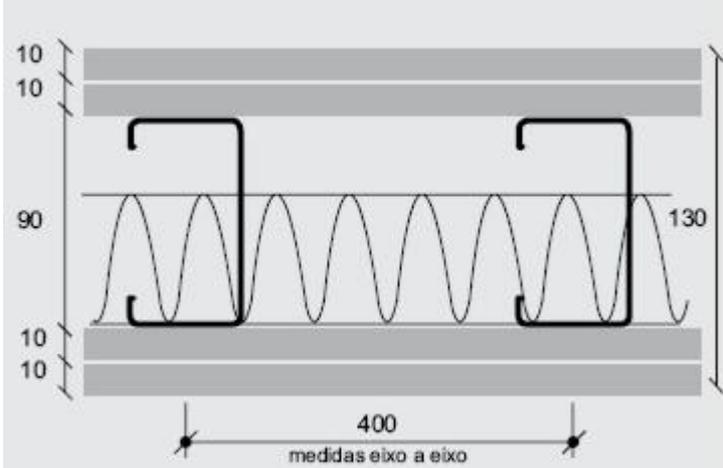
* Placas disponíveis com bordas longitudinais rebaixadas para junta invisível.

Obs.: placas com outras dimensões, cortes especiais, rebaixo nas quatro bordas e sem impermeabilização são produzidas sob encomenda.

Fonte: BRASILIT, 2009.

A densidade e microestrutura porosa dos painéis contribuem para a diminuição da transmissão e reverberação sonora proporcionando um bom isolamento acústico (BRASILIT, 2009). No quadro 6.6 apresentam-se os índices de redução sonora de dois tipos de paredes com placas cimentícias do tipo CRFS.

Quadro 6.6. Desempenho acústico de dois tipos de paredes com placas cimentícias CRFS Brasilit

Nomenclatura		Especificação	Rw
Parede de uma placa cimentícia em cada lado e sem lã mineral		Placa cimentícia 10 mm Estrutura 90 mm Placa cimentícia 10 mm	45 dB
Parede de duas placas cimentícias de cada lado e com 50 mm de lã mineral		Placa cimentícia 2 x 10 mm Estrutura 90 mm Lã mineral 50 mm Placa cimentícia 2 x 10 mm	57 dB

Rw- Índice de redução sonora, medido em decibéis

Fonte: BRASILIT, 2009.

6.4.13. Transporte e entrega na obra

O transporte é feito pelo cliente. Geralmente são contratados caminhões transportadores que são treinados para que a entrega ocorra de forma segura. As placas são armazenadas de forma especial e empilhadas e embaladas em um plástico que mantém a umidade para melhor cura do cimento. Como são produtos leves, os impactos causados pelo transporte, tais como a emissão de poluentes, são menores.

6.5. Painéis OSB – LP Brasil

6.5.1. Características gerais e composição

Os painéis OSB surgiram como alternativa ao uso de madeiras maciças, que entraram em regime de restrição na metade do século passado por esgotamento ou limitações ambientais. Esse produto pode ser usado para variadas aplicações. Geralmente, para a fabricação do OSB, são usadas madeiras de espécies de crescimento rápido como o pinus ou eucalipto, provenientes de florestas plantadas.

A única fabricante de OSB no Brasil era a empresa MASISA em Ponta Grossa no Paraná. Em novembro de 2008 entrou em operação a empresa LP Brasil, que comprou a parte da fábrica MASISA onde era produzido o painel de OSB. As máquinas e o processo continuaram os mesmos. A MASISA ainda existe, porém tem o foco em produtos para o mercado moveleiro. As instalações para a produção do OSB da LP Brasil funciona paralelamente a linha de MDF da MASISA, sendo independente na produção. As linhas de produção são separadas, porém dividem o mesmo parque industrial (LUCCHETTE, 2009).

No Brasil, o painel OSB fabricado para a utilização em fechamentos verticais é: OSB *Home Plus* Estrutural - painel estrutural indicado para fechamento e contraventamento de paredes (sistema construtivo *Light Steel framing*), pisos e telhados.

O OSB produzido no país possui as bordas seladas nas cores laranja e amarela, garantindo resistência à umidade e recebe aditivos a base de ciflutrina, inofensivo para o ser humano, e que protege contra o ataque de cupins. Os painéis são produzidos a partir das matérias-primas: madeira de Pinus e de resina MDI (difênol metano di-isocianato) e resina fenólica (liga de resina sintética- melamina fenol uréia formol). Nas camadas externas apresentam resinas fenólicas e nas internas, resina MDI, que garantem alta adesão interna das tiras e uma resistência adequada para aplicações em ambientes externos como construções.

6.5.2. Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica

As matérias-primas utilizadas na fabricação dos painéis são: madeira de Pinus, resina MDI e resina fenólica e aditivos a base de ciflutrina.

A matéria-prima principal é a madeira de Pinus provém de fazendas de reflorestamento e manejo sustentável localizadas num raio máximo de 150 km da planta Industrial em Ponta Grossa- PR. A origem dos demais componentes não foi informada pelo fabricante.

6.5.3. Processo de produção

O transporte das toras é feito por meio de rodovias e por transporte ferroviário próprio da fábrica, dependendo da procedência da origem da matéria prima (LUCCHETTE, 2009). O painel OSB da LP Brasil utiliza tiras de madeira 100% de pinus, orientadas em três camadas perpendiculares, o que aumenta sua resistência mecânica e rigidez. A descrição do processo foi feita com base nas referências da produção do OSB MASISA, disponível via *internet* (MASISA, 2009), visto que o processo e os equipamentos são os mesmos.

A primeira etapa de produção acontece quando as toras chegam à fábrica e passam por um processo de limpeza e descasca automatizada e depois são transformadas nas tiras que compõe o OSB em um equipamento chamado *strander*. A função do *strander* é fragmentar as toras de madeira em tiras de formato padronizado. O *strander* é um equipamento pesado, constituído de facas, extremamente afiadas e pesadas, que serram e estraçalham as toras. As tiras que compõe o OSB têm medidas aproximadas de 5 cm de largura por 25 cm de comprimento. Essas medidas são importantes para a qualidade final do produto.

As tiras seguem por esteiras até os secadores, onde são secadas de forma homogenia. Depois são peneiradas para separar o material na medida correta. Nessa fase, o resíduo mais fino é reaproveitado tanto para outras linhas da fábrica quanto para a geração de energia. As tiras maiores seguem para outro tambor, a encoladeira. Com um pulverizador de alto desempenho a resina é agregada uniformemente a cada uma das tiras garantindo uma colagem perfeita. As tiras provenientes da encoladeira seguem para a formadora onde são distribuídas em camadas nos sentidos longitudinais e transversais, formando um colchão que é prensado e por bandas de aço e rolos compressores a uma alta pressão e temperatura (até 250 °C). Na formadora existem sensores de metal altamente sensíveis que monitoram o colchão, evitando que qualquer objeto estranho seja prensado por engano. Quando detectada alguma anormalidade o material é descartado antes mesmo de entrar na prensa.

Após sair da formadora o OSB está em forma de uma grande placa contínua que é recortada. Nessa fase existem mais sensores que controlam a espessura e compactação da placa. Depois de cortados os painéis seguem para as estações de resfriamento, chamados resfriadores estrela. Dependendo do produto final as placas ainda passam por acabamentos diferenciados como lixamento, selagem de borda, corte em tábuas, usinagem macho e fêmea ou aplicação de filme fenólico (MASISA, 2009).

Existe também uma sala de comandos na planta industrial, onde técnicos controlam e monitoram toda a produção da fábrica por meio da utilização de câmeras espalhadas por todo o processo de produção e de sistemas computadorizados.

6.5.4. Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção

A madeira Pinus, matéria prima principal dos painéis, é um material natural que apresenta várias vantagens ambientais, pois é uma fonte renovável, proveniente de florestas plantadas e de manejo sustentável, possui baixo nível de energia embutida, além de promover o seqüestro de CO₂ da atmosfera (enquanto vivo) e contribuir para a redução do efeito estufa. Outro ponto relevante é que as fontes da madeira estão localizadas a um raio máximo de 150 km da fábrica, o que diminui os impactos causados pelo transporte.

Como desvantagem no processo de produção do OSB destaca-se que a madeira é tratada com produtos químicos, a cola utilizada como ligante é com base no formaldeído, que pode comprometer a qualidade do ar no interior da edificação. Segundo Oliveira (2009), as resinas fenólicas contêm COVs, que se desprendem durante todo o uso da edificação e o descarte do painel ao fim de seu ciclo de vida é bastante danoso.

Segundo Fornazari et al.(2009), as resinas fenólicas são produtos da policondensação de fenóis e aldeídos (principalmente o formaldeído). Essas resinas em si não apresentam risco à saúde ou ao meio ambiente. Por outro lado, o efluente característico deste tipo de produto tem como principais componentes o fenol e o formaldeído, ambas em baixa concentração. Devido a sua toxicidade, existem restrições em relação à concentração de fenol que pode ser descartada em recursos hídricos.

A exposição ao formaldeído pode causar em irritação de pele e, em alguns casos, dermatite alérgica de contato. Além disso, o formaldeído é uma substância suspeita de causar câncer, portanto os devidos cuidados devem ser tomados no seu manuseio. O fenol possui um alto grau de insalubridade, não é classificado como carcinogênico para o homem, porém é prontamente absorvido pelas vias cutâneas, digestivas respiratórias, esta última na forma de vapores. Os vapores de fenol são irritantes das vias respiratórias e corrosivos para os tecidos (FORNAZARI et al., 2009).

Segundo Oliveira (2009), em alguns países do mundo (como a Rússia, países da Ásia Central e da Europa e América do Norte) o uso do formaldeído já vem sendo controlado. As opções de MDF e OSB são coladas com materiais mais biocompatíveis, tornando o material mais sustentável.

Os resíduos perigosos e tóxicos (óleos e graxa, materiais impregnados com óleos e graxa, lâmpadas fluorescentes, solventes, resíduos de resinas de formaldeído, outros químicos, etc.) são retirados das fábricas da MASISA para tratamento e disposição final por fornecedores e empresas especializadas (MASISA, 2010). Não se sabe qual é a destinação dos resíduos tóxicos da fábrica LP Brasil.

Segundo dados fornecidos por Lucchette (2009), a pequena porcentagem de resíduos gerados durante a fabricação do OSB é utilizada no próprio processo de fabricação, como as cascas ou sobras das toras de madeira, que são depositadas numa área especial para posterior aproveitamento dos resíduos. Esses são utilizados como combustível alimentando as caldeiras para gerar energia e calor necessário para os processos produtivos da fábrica, portanto pode-se considerar 100% de aproveitamento da matéria prima utilizada.

Toda a água utilizada na fabricação do OSB era de origem pluvial, colhida em reservatórios da antiga MASISA. A fábrica MASISA possui grandes reservatórios que armazenam a água de chuva, que posteriormente é tratada e reaproveitada nos processos. Com a mudança de fabricante em 2008, as cisternas que armazenam água de chuva abastecem somente as linhas de produção MASISA (LUCCHETTE, 2009).

Porém, segundo Nakamura (2009), supervisor técnico da fábrica LP Brasil, o uso da água colhida nos reservatórios é compartilhada por ambas as fábricas. Existe uma grande incompatibilidade nas informações cedidas pelo supervisor técnico e pela gerente técnica da fábrica sobre o uso da água, o que indica grande despreparo da empresa na disponibilidade de informações que permitirão ao público avaliar a sustentabilidade do produto, pois nem os funcionários sabem informar corretamente sobre procedência da água utilizada no processo.

Segundo dados da Masisa (2010), o consumo de água sofreu uma redução de cerca de 60% durante o período de 2003 a 2007, como apresentado nas figuras 6.15 e 6.16. Mesmo considerando que o processo de fabricação da atual produtora de OSB, a LP Brasil continua o mesmo não se pode tomar como base esse consumo de água, visto que se refere a todas as fábricas Masisa, não só a do Brasil e não são referentes apenas à produção de OSB, mas de todos os produtos da Masisa.

As informações apresentadas sobre os produtos da Masisa servem apenas de referência para as outras fábricas, como as informações sobre consumo de água, emissão de CO₂, etc. deveriam ser disponibilizadas por meio de sites oficiais ou até mesmo nos próprios catálogos dos produtos. Ressalta-se que para a avaliação do produto, os dados devem ser referentes apenas à produção deste por tonelada ou por metro quadrado, e não à produção total, pois não há como avaliar o produto desta forma.

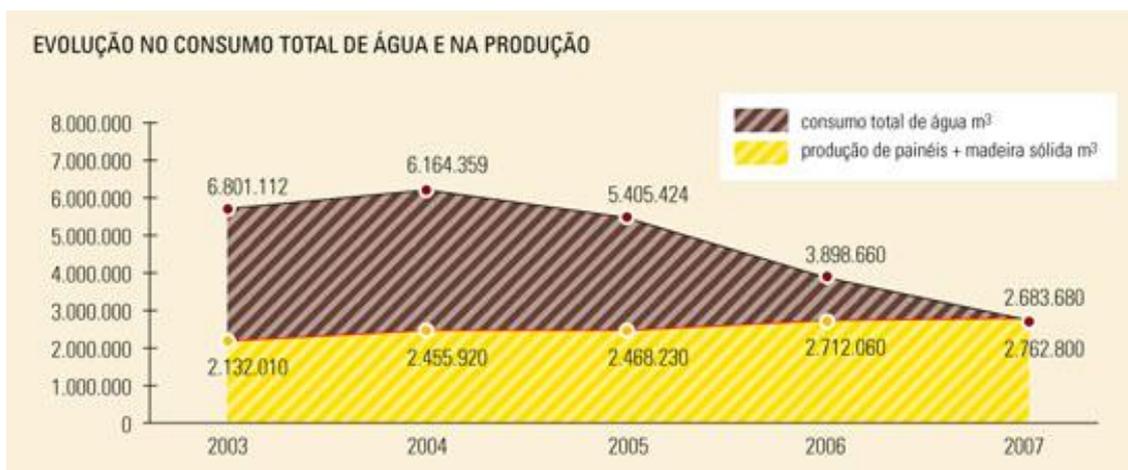


Figura 6.15 - Evolução no consumo total de água e na produção da Masisa. Dados referentes a todas as fábricas e a produção total, não somente de painéis OSB.
Fonte: MASISA, 2010.

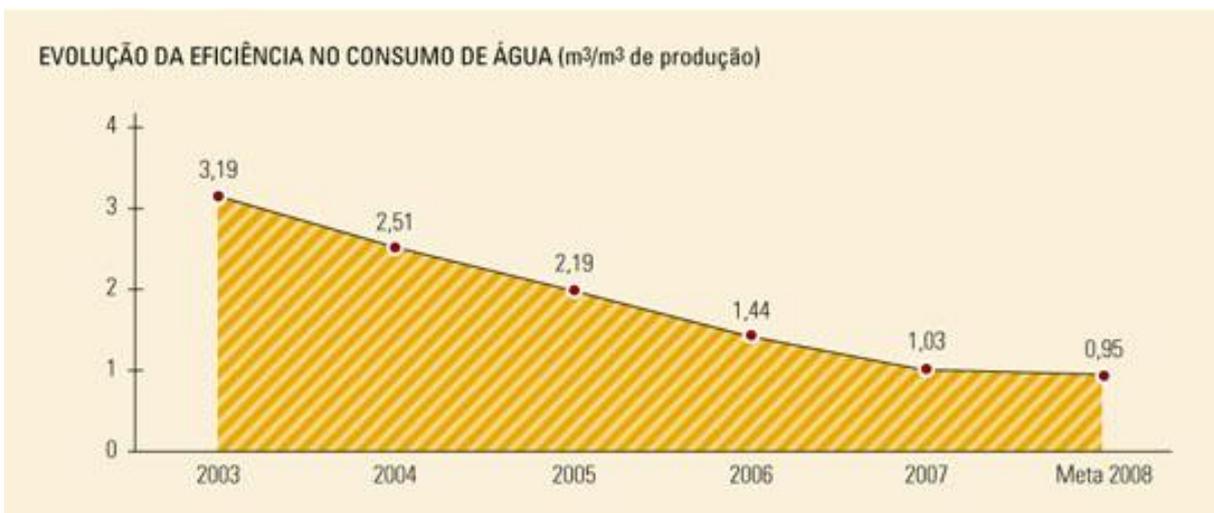


Figura 6.16 - Evolução da eficiência no consumo de água na produção Masisa. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB e todas as fábricas, não só a do Brasil.
Fonte: MASISA, 2010.

As fábricas da Masisa realizaram importantes esforços para fechar os circuitos de água de processo, e as novas unidades, como a do Brasil, foram desenhadas de modo a não gerar efluentes industriais. Não há saída de efluentes industriais em nenhuma das fábricas da Companhia, com exceção da fábrica de painéis de Cabrero, no Chile. Essa unidade conta com uma estação de tratamento de efluentes, que faz a descarga em um rio, seguindo os parâmetros legais (MASISA, 2010). Na Masisa Brasil os efluentes de águas servidas passam por uma Estação de Tratamento de Efluentes onde são tratados e a água é reciclada para ser utilizada novamente (MASISA, 2010).

Na empresa desenvolve-se controle de sistemas, processos de medição da emissão de CO₂ e cálculo da captura de CO₂, como apresentado nas figuras 6.17 e 6.18, e compartilhamento de melhores práticas (MASISA, 2010).

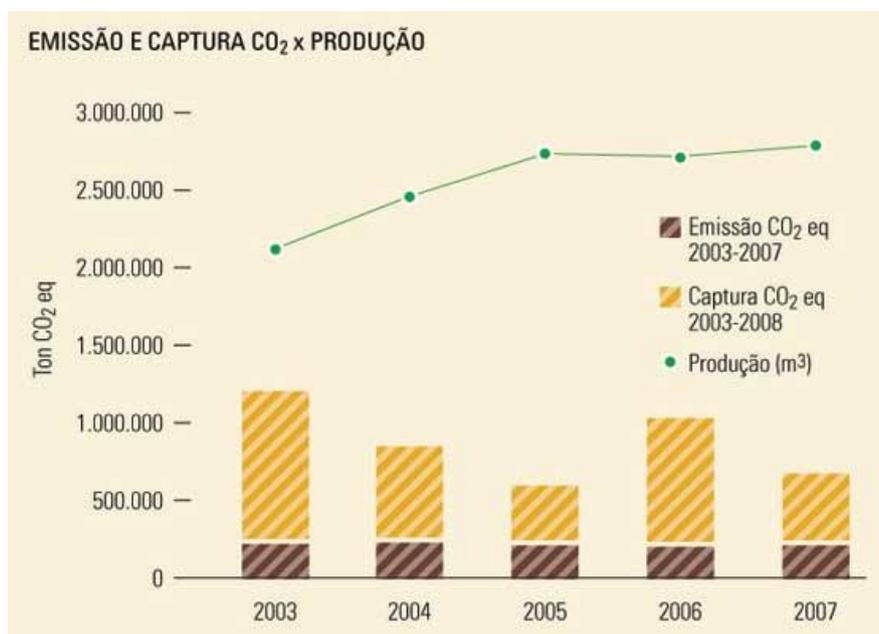


Figura 6.17 - Gráfico da emissão e captura de CO₂ por produção. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB e todas as fábricas, não só a do Brasil. Fonte: MASISA, 2010.

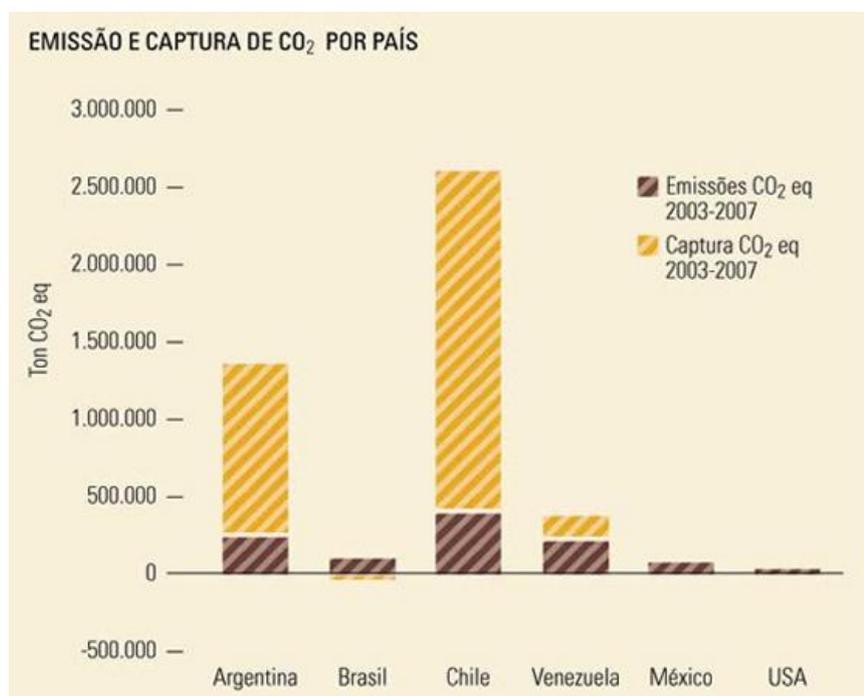


Figura 6.18 - Gráfico da emissão e captura de CO₂ por país. Obs: Considerando toda a produção da fábrica, não somente os painéis OSB. Fonte: MASISA, 2010.

As emissões atmosféricas geradas pela fábrica provêm de material particulado (matéria-prima que se acumula em áreas sem cobertura com alta incidência de tempestades) e da queima de combustíveis fósseis.

Além disso, todas as unidades industriais da Masisa medem mensalmente seus consumos de água, fibra de madeira, energia, geração de resíduos para destinação final e emissões de CO₂, e anualmente, definem suas metas com a Diretoria de Operações e Meio Ambiente, Quadro 6.7.

Quadro 6.7. Resultados ambientais de 2008 e metas para 2009 Masisa*

Indicador	Descrição	Unidade	Metas 2008	Cumplimiento 2008	Metas 2009
Destinação final de resíduos	Destinação final de resíduos kg/m ³ produção	Kg/m ³	18,72	94%	24,28
Consumo de Energia	Consumo total de energia em MWh/m ³ produção	MWh/m ³	0,97	92%	1,07
Consumo de Água	Consumo total de Água em m ³ /m ³ produção	m ³ /m ³	1,18	113%	1,07
Redução de emissões de CO ₂	Emissões diretas de CO ₂ de combustíveis fósseis	CO ₂ e (t)	4,5%	112%	5%
Fibra de origem conhecida	Percentual de fibra de origem conhecida	Percentual	80%	90%	85%

Fonte: MASISA, 2009.

* Referentes à produção total da fábrica, não somente os painéis OSB.

Os resultados de 2008 incluem apenas sete meses da linha de produção de OSB no Brasil enquanto a fábrica produtora era a Masisa. Os resultados apresentados referentes à empresa Masisa são só alguns exemplos de como os dados de produção poderiam e deveriam ser apresentados de forma clara aos clientes para que se possa avaliar de forma transparente os produtos fabricados. Talvez a Masisa apresente esses dados por ter ISO 14001:2004. Um dos objetivos das empresas que têm essa certificação é atingir um melhor desempenho ambiental em seus processos, o que implica, entre outras ações, no estabelecimento de metas e medições das emissões poluentes e do consumo de recursos.

6.5.5. Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO₂

Como dito no item anterior, há uma dúvida quanto à água utilizada na linha de produção, se a LP Brasil também utiliza as reservas de água pluvial do reservatório da Masisa. A fábrica é totalmente automatizada, mas não foram fornecidos dados quantitativos referentes à produção dos painéis OSB. Segundo Lucchette (2009), os fabricantes não possuem esses dados.

6.5.6. Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção

A fábrica analisada possuía as certificações: ISO 14001:2004, OHSAS 18001, ISO 9001: 2000 e o certificado E-1 da norma europeia (que identifica os produtos com baixa emissão de formaldeído), na unidade do Brasil quando ainda pertencia à empresa Masisa. A mesma entrou em operação como empresa LP Brasil no final de 2008, e os processos de certificações estão em desenvolvimento (LUCCHETTE, 2009). Não há normas de fabricação brasileiras específicas, por isso o produto é certificado de acordo com as normas americanas.

6.5.7. Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo

Segundo Lucchette (2009), não são utilizados materiais reciclados na produção do painel, pois utiliza-se apenas a madeira Pinus como matéria-prima e as resinas para a colagem. Além disso, os painéis OSB não produzem material reciclável no pós-consumo, porém podem ser desmontados e reutilizados.

6.5.8. Toxicidade do material

Os painéis são atóxicos e possuem classificação E-1 (norma europeia) quanto à emissão de formaldeídos.

6.5.9. Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento

Para a utilização dos painéis OSB como fechamento vertical utiliza-se os sistemas construtivos de estruturas de perfis de madeira ou de aço, como o *Light Steel Framing*. Estes sistemas são compatíveis com qualquer tipo de estrutura e podem ter função estrutural.

Os painéis OSB, quando utilizados para fechamentos externos, devem estar protegidos das intempéries, necessitando de um acabamento impermeável na face externa. Para proteger o OSB da umidade e da água geralmente utiliza-se uma manta ou membrana de polietileno de alta densidade, que reveste toda a área externa das placas, garantindo estanqueidade das paredes, porém permitindo a passagem de umidade da parte interna dos painéis para o exterior (FREITAS; CRASTO, 2006).

A membrana de polietileno ou manta é grampeada nas placas e sobrepostas nas áreas de juntas de 15 a 30 cm. Segundo Masisa (2003), a impermeabilização deve ser feita com argamassa polimérica e apenas no painel OSB que ficará externamente. Internamente a textura pode ser aplicada diretamente sobre o painel. Como acabamento final, podem ser adotados: o revestimento com argamassa, tijolo, textura e o “*siding*” vinílico, de madeira, de alumínio ou cimentício, como exemplificado nas figuras 6.19, 6.20 e 6.21.

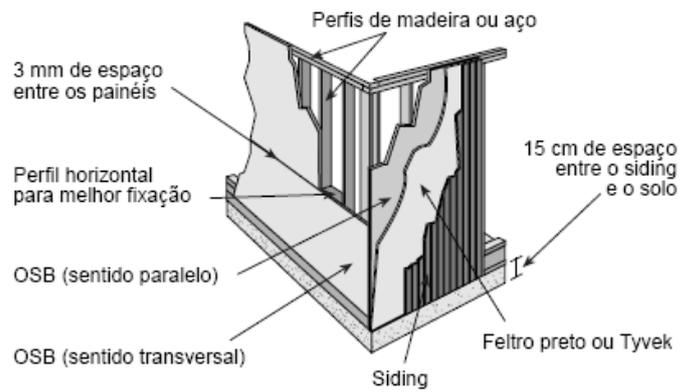


Figura 6.19 – Revestimento do painel OSB com *siding* vinílico, de alumínio, de PVC ou de madeira.
Fonte: MASISA, 2003.

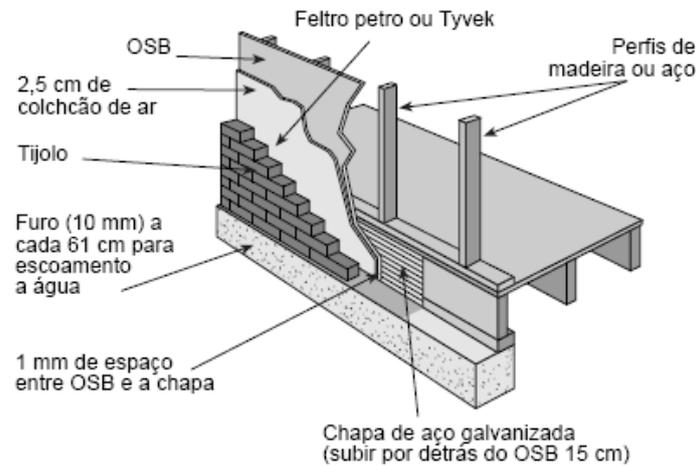


Figura 6.20 – Revestimento do painel OSB com tijolo à vista.
Fonte: MASISA, 2003.

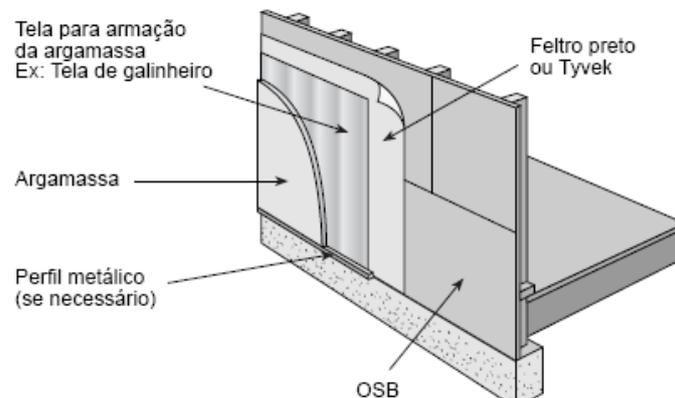


Figura 6.21 – Revestimento do painel OSB com argamassa.
Fonte: MASISA, 2003.

6.5.10. Montagem

O método de fixação e montagem é muito semelhante as do gesso acartonado no sistema *Drywall*. As placas são muito leves e podem ser transportadas manualmente sem a necessidade de outros equipamentos. Os painéis são fixados no sistema de estrutura de perfis de madeira ou de aço por meio de parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes (FREITAS; CRASTO, 2006).

O OSB é altamente trabalhável, sendo facilmente cortado, furado, pregado, aplainado, colado, pintado e lixado. Além do painel e da estrutura, são necessários parafusos e manta ou membrana de polietileno de alta densidade para a instalação.

Os painéis devem ser pregados ou parafusados com pregos ou parafusos, 6d (2") para painéis de 12,5 mm a 9,5 mm e 8d (2 1/2") para mais finos que 9 mm. Durante a instalação dos painéis, deve-se deixar um espaço de 3 mm entre os painéis nos 4 lados. Após a fixação dos painéis o próximo passo é cobrir o OSB com papel asfáltico ou feltro preto ou membrana de polietileno, para minimizar o período de exposição às intempéries. Depois de grampear a manta ou membrana nos painéis a etapa final é instalar o tipo de revestimento desejado de acordo com as recomendações do fabricante (MASISA, 2003).

6.5.11. Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização

O OSB, quando utilizado no sistema construtivo, possui 10 anos de garantia anticupim e 20 anos de garantia estrutural. Estas garantias estão diretamente relacionadas com os cuidados de manuseio, uso e manutenção dos painéis. Segundo Oliveira (2009), o descarte do painel ao fim de seu ciclo de vida é bastante danoso.

O painel OSB estrutural, não é um produto de acabamento, portanto, a manutenção será aplicada no produto utilizado como acabamento final (LUCCHETTE, 2009).

O OSB é um material que em conjunto com perfis metálicos, e outras tecnologias integradas já presentes no Brasil, possibilita a execução de um inovador sistema de construção leve e seco, que já é aplicado em todo o mundo, tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares, bem como para construções comerciais.

Os painéis OSB para fechamentos verticais são muito leves, podendo ser montado e desmontado facilmente com os sistemas de estrutura em perfis metálicos leves como o *Light Steel framing*. Dependendo do tipo de acabamento, a desmontagem dos painéis e posterior reutilização podem ser dificultadas. Os painéis, se bem conservados, podem ser desmontados e totalmente reutilizados.

6.5.12. Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas

As propriedades termo-acústicas dependem da composição da parede e da espessura do painel. Segundo Lucchette (2009), uma parede composta por uma camada de reboco de 10 mm, painel OSB de 11,1 mm, perfil metálico e painel de gesso acartonado interno de 12,5 mm permite uma redução de som de 47 dB. Este foi o único dado fornecido sobre as propriedades acústicas do painel OSB da LP Brasil, no site da empresa só existem estudos sobre as propriedades mecânicas do OSB e sobre ensaios de resistência ao fogo, estanqueidade a águas e resistência ao ataque de cupins. Não foram encontrados dados específicos das propriedades do índice de redução sonora por espessura de painel e nem sobre o seu desempenho térmico. As dimensões padrões fornecidas pela LP Brasil são apresentadas no Quadro 6.8.

Quadro 6.8. Dimensões e densidade de painéis OSB

Espessura Nominal/ Tolerância (mm)	Comprimento (m)	Largura (m)	Massa específica (kg/m ³)
9,5/ + - 0,8	2,44	1,22	650/ + -20
11,1/ + - 0,8	2,44	1,22	650/ + -30
15,1/ + - 0,8	2,44	1,22	600/ + -30
18,3/ + - 0,8	2,44	1,22	600/ + -30

Fonte: LP Brasil, 2009.

6.5.13. Transporte e entrega na obra

A matéria prima chega até a fábrica em toras pré cortadas através do transporte rodoviário ou ferroviário no terminal ferroviário próprio da empresa com 4,5 de extensão até a linha comercial, dependendo da procedência. Ao chegar à fábrica, as toras são retiradas dos vagões por uma ponte grua que pode movimentar até 7 toneladas de cada vez (MASISA, 2009).

O produto final chega até os revendedores por meio transporte rodoviário e por serem leves os impactos causados pelo transporte são menores. Porém a única fábrica no Brasil, a LP Brasil, localiza-se em Ponta Grossa- PR, o que implica em maiores impactos no transporte quando utilizados na região do Sudeste. Quando chegam à obra, os painéis podem ser transportados manualmente ao por empilhadeiras.

6.6. Painéis de concreto armado – PREMO e PRECON

6.6.1. Características gerais e composição

Os painéis de concreto armado foram introduzidos no mercado internacional nos anos 50, alcançaram o auge de utilização nos anos 60 e o declínio de seu emprego ocorreu após esse período devido a limitações estéticas e ao rigor imposto pela padronização. Nos últimos anos esses painéis foram revitalizados e ressurgiram no mercado com o revestimento incorporado ao produto (SILVA; SILVA, 2004; KRÜGER, 2000).

Os painéis de concreto armado, também chamados de painéis de concreto arquitetônico, são fechamentos verticais que podem ser produzidos industrialmente ou na própria obra, desde que haja espaço. Esses painéis possuem algumas características que os diferenciam dos demais pré-fabricados analisados, tais como: maior peso, impróprios como componentes de sistemas estruturais do tipo *Light Steel Framing*, ou *Drywall*, mas podem ser usados como elementos estruturais ou de fechamento, fabricados em variadas dimensões e acabamentos e estes últimos podem ser incorporados na fabricação, eliminando custos decorrentes da etapa de revestimento e evitando perda de recursos e poluição na obra.

Segundo Krüger (2000), existem três tipos básicos de painéis: painéis-cortina, painéis de vedação e painéis portantes. Os painéis-cortina são os fixados à estrutura e nas lajes da edificação, recobrimo externamente toda a estrutura. Os painéis de vedação se diferem do tipo cortina apenas pelo fato da estrutura ficar aparente. Já os painéis portantes são os que suportam, além do peso próprio, as cargas de laje e painéis superiores apoiados sobre as mesmas, dispensando vigas e pilares de sustentação.

Para esse trabalho foram estudados os painéis pré-fabricados em concreto armado de duas empresas: PREMO, localizada em Vespasiano- MG e PRECON, localizada em Pedro Leopoldo-MG.

Os painéis pré-moldados de concreto são compostos de cimento, areia, brita, água, aço, aditivos não tóxicos (reagentes químicos neutros), pedras (no caso de painéis externos com agregados expostos) e, em alguns casos, pigmentação.

Na fábrica da PRECON a areia utilizada é industrializada e artificial, para garantir maior homogeneidade no tamanho dos grãos, mais resistência e limpeza e conseqüentemente melhorar a qualidade do concreto.

6.6.2. Matéria-Prima e demais componentes - locais de extração e distância da fábrica

As matérias-primas utilizadas na fabricação dos painéis na fábrica da PRECON e sua origem são: água; areia industrializada artificial de quartzo proveniente do beneficiamento de pedra britada em Cachoeira da Prata e da pedra gnaisse de Betim; brita, que vem da região de Betim; a principal matéria-prima, o cimento Holcim que chega processado da fábrica localizada em Pedro Leopoldo (em alguns casos é utilizado o cimento branco que é importado do Egito); o aço de armadura frouxa vem da Belgo de Juiz de Fora e Contagem e os pigmentos vem da região de São Paulo.

Na fábrica da PREMO as matérias-primas e suas origens são: água (de um poço artesiano da própria empresa); aço, fornecido pela Belgo e montado na fábrica; brita e areia-fornecido pela própria região de um raio aproximado de 10km da fábrica e cimento, fornecido pela fábrica da Holcim em Pedro Leopoldo a aproximadamente 30km da fábrica.

6.6.3. Processo de produção

A produção dos painéis de concreto pode ser industrial ou na própria obra, nos casos em que há espaço.

Os agregados do concreto são misturados via dosagem experimental, sendo necessário avaliar as qualidades e propriedades dos materiais em função das características e desempenho do concreto especificado no projeto (SILVA; SILVA, 2004).

Os moldes utilizados na fabricação podem ser: de madeira, opção mais barata e de menor reaproveitamento; de aço, que conferem maior precisão e reaproveitamento e de GRP (poliéster reforçado com fibra de vidro), que apesar de oferecer boa precisão, são mais suscetíveis a danificações (SILVA; SILVA, 2004).

O que geralmente determina o tipo de fôrma utilizada é a possibilidade de reaproveitamento e as dimensões requeridas, que determinam a resistência necessária dos moldes.

O processo de produção começa com a determinação e confecção das formas ou moldes. Posteriormente inicia-se o posicionamento da armação de aço. No caso da utilização de revestimentos incorporados a camada de acabamento ou um filme texturizado é posicionado no fundo do molde, seguido de uma barreira de aderência e posterior colocação da armadura e concretagem. O acabamento também pode ser feito por meio de ataque ácido ou jateamento de água ou inibidores de pega do cimento, que disfarçam as irregularidades e expõe levemente o agregado. Os painéis também podem receber polimento ou incorporar

revestimentos como pedras ornamentais, textura, cores, nervuras ou falsas juntas (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

Após certo período, que depende dos aditivos químicos empregados para aceleração do processo, tipo de cimento, temperatura ambiente, etc., o concreto pode ser retirado da fôrma. Os painéis devem ser submetidos à cura úmida ou química por tempo determinado pelo fabricante antes de ser encaminhado para a obra. O tempo de cura médio dos painéis de concreto armado da PREMO é de aproximadamente 16 horas (BARBOSA, 2009).

Nos painéis da PRECON, para a cura referente à desforma dos painéis após concretagem, trabalha-se com um período entre 12 a 18 horas. Para casos específicos, pode-se ter o uso de concretos especiais e reduzir essa idade de cura. Outro caso que deve ser analisado é o tipo de acabamento que o painel vai receber para evitar patologias em função de cura indevida (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

6.6.4. Impacto ambiental e gestão de resíduos da produção

Os maiores impactos ambientais causados pela fabricação dos painéis estão incorporados no processo de extração, fabricação e transporte das matérias-primas, principalmente do cimento, como já foi relatado no item 6.4.4.

Para acelerar a produção de pré-moldados, o cimento utilizado é o CP V, pela sua velocidade de cura. Segundo Oliveira (2009), este cimento é menos sustentável, já que não reutiliza escórias ou subprodutos, como o CPIII e possui elevada energia embutida.

Segundo Santos e Hastenreiter (2009), o cimento a ser usado deve ser em função de todas as necessidades para o produto. Em casos de processos industriais normalmente é definido o cimento de classe V (ARI - alta resistência inicial).

A produção de concreto consome grandes quantidades de areia, agregados, água e cimento. Os agregados do cimento, para formar o concreto, são a areia e a brita, que se encontram praticamente prontos para o uso na natureza. Apesar de serem vistos como recursos abundantes, estes não são renováveis e em muitas localidades do Brasil, suas fontes já estão escassas. Segundo Oliveira (2009), a extração destes recursos, por vezes não licenciada, gera exaustão do solo, podendo causar erosões em grande escala.

Geralmente a areia natural é extraída do leito de rios, procedimento que agride sua calha natural, leva ao aumento da vazão de água e acelera o ritmo de erosão das margens (HOLCIM, 2007). Muitas vezes, as unidades de extração de agregados são localizadas próximas a centros urbanos e utilizam técnicas de extração nas minas, o que provoca ruídos, poeira e vibrações que são geradas pelo uso de explosivos. Entre os esforços da Holcim

(2007) para diminuir o impacto ambiental dessa operação está o uso de areia manufaturada, que serve como substituta da natural, fabricada a partir de pó de pedra. As técnicas de gestão ambiental incluem medidas para diminuir os ruídos e a poluição ambiental e esforços para recuperar áreas das minas após a exaustão da operação.

Durante a gestão de resíduos da produção dos painéis PRECON, tenta-se reaproveitá-los por meio da britagem e reutilização em algum outro processo da fábrica. Quando não reaproveitados, os resíduos são descartados e encaminhados para disposição conforme o tipo de resíduo em área licenciada onde ficam os rejeitos do processo. O reaproveitamento do resíduo ocorre na forma de lama e em sua forma seca. Na forma seca, o material é fragmentado e com o controle da granulometria pode ser reaproveitado em outro processo. Na forma de lama, a água da central de concreto é reutilizada. Na fábrica existe um tratamento mecânico da água que é reutilizada e o material decantado também é reaproveitado (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

Existe uma estação de tratamento da água, exigência ambiental que separa os efluentes da fabricação da água e a devolve para o rio. O entulho resultante da produção, que não é muito (peças que quebram ou ocorreu algum erro durante a produção), vão para um bota fora interno ou são recolhidas pela prefeitura. O metal das formas, quando não são reutilizados, é vendido para as usinas de reciclagem.

Na fábrica PREMO existe uma estação de tratamento da água que é uma das exigências ambientais. Essa estação de tratamento é responsável pela separação dos efluentes da produção da água utilizada no processo. Após essa separação a água é devolvida para o rio. O entulho resultante da produção, que não é muito (peças que quebram ou quando ocorre algum erro durante a produção), vão para um bota fora interno ou são recolhidas pela prefeitura (BARBOSA, 2009).

O metal das fôrmas também pode ser reutilizado ou refeito, mas geralmente é vendido para usinas de reciclagem porque não existe produção em série.

6.6.5. Energia e água utilizadas na fabricação e emissão de CO₂

A energia gasta na produção é praticamente desprezível, pois quando existe a demanda a fabricação é contínua e utilizam-se motores de baixa potência nos vibradores. A maior energia é gasta na movimentação dos painéis e existe também a energia embutida no processo de extração e transporte da matéria-prima (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

As empresas analisadas não possuem informações sobre as quantidades de energia e água utilizadas durante a fabricação, nem sobre a emissão de CO₂ resultante do processo.

6.6.6. Programas de gestão da qualidade, gestão ambiental e normas de produção

Ainda faltam normalizações vigentes para a produção dos painéis de concreto armado. A fábrica visitada PRECON possui certificação do Sistema de Gestão da Qualidade implantado pela norma ISO 9001:2000.

O Sistema de Gestão da Qualidade da segunda fábrica visitada, a PREMO, também é certificado desde 1999 e atualmente está em conformidade com a norma NBR ISO 9001:2000. Também possui certificado pelo PMQP-H (Programa Mineiro da Qualidade e Produtividade no Habitat) e Selo de Excelência da ABCIC pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade NE Habitat (PBQP-H).

6.6.7. Conteúdo de material reciclado pré e pós-consumo

Os painéis não possuem conteúdo de material reciclado, a não ser pelo cimento que pode conter parte da matéria-prima proveniente de resíduos de outras indústrias, tais como o gesso e a escória da siderurgia, e o aço utilizado na armação que também pode conter algum conteúdo reciclado. Mas, em ambos os casos, esse conteúdo não é comprovado.

Quanto à reciclagem pós-consumo, os painéis externos com acabamento podem ser reciclados utilizando-os, assim como os agregados de resíduos de construção, como base de pavimentação após a britagem dos painéis. O aço da armação também pode ser reciclado, mas não é usual (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

O procedimento para a reciclagem dos painéis consistiria no uso de um britador com capacidade para processar toneladas de concreto armado, transformando-os em agregados reciclados com características semelhantes à brita e ao pó de pedra.

Segundo Rocha (2009), já existem empresas que fazem o processo de reciclagem de resíduos da construção, inclusive do concreto armado, com um equipamento denominado reciclador móvel, como apresentada na figura 6.22, que consistem em britadores adaptados com “mandíbulas” e um separador eletromagnético na ponta do equipamento para separar o aço do concreto.

A utilização desse tipo de equipamento só compensa quando existe uma quantidade alta de resíduos para reciclagem, pois a mobilização do equipamento é muito cara e seu o transporte até o canteiro de obras é complicado devido ao peso.

Esse procedimento de reciclagem pode causar impactos socioambientais tais como: movimento de material particulado causando a poluição no entorno e poluição sonora

resultante dos ruídos provocados pela demolição da edificação e pelo funcionamento do equipamento.



Figura 6.22 – Equipamento para reciclagem de resíduos de obras
Fonte: ROCHA. 2009.

6.6.8. Toxicidade do material

Segundo Santos e Hastenreiter (2009), os painéis PRECON são atóxicos. A empresa faz estudos sobre a quantidade de material particulado lançado na atmosfera durante a fabricação de seus produtos.

Barbosa (2009) afirma que os painéis PREMO não são tóxicos, porém, durante a fabricação requer alguns cuidados são tomados, como o uso de luvas e máscaras para evitar o contato dos funcionários com o material particulado liberado no ar

6.6.9. Sistema estrutural compatível e possibilidades de acabamento

Os painéis autoportantes em concreto armado são utilizados como fechamento tanto em estrutura metálica quanto de concreto armado. Podem ser utilizados como elementos de função estrutural ou apenas como fechamentos. Em edifícios de estruturas metálicas são normalmente empregados com função de fechamento. Um fator que diferencia esse tipo de painel dos outros analisados é o peso, que pode ser até maior do que o peso da alvenaria com blocos cerâmicos, o que acarreta em aumento de carga nas fundações.

Os painéis em concreto armado são produzidos a partir de fôrmas metálicas, possibilitando a criação de diversos modelos. No processo de fabricação, a superfície externa dos painéis fica em contato com o fundo da fôrma para garantir a qualidade do acabamento do concreto aparente. Os acabamentos prévios podem ser dos mais diversos, podendo ocorrer antes do molde, após o molde com tratamento e após a cura do concreto.

Segundo Krüger (2000), o acabamento antes do molde é determinado antes da moldagem do concreto, ou seja, se o acabamento desejado for com seixo rolado, coloca-se o

mesmo no fundo do molde para posterior colocação da ferragem e concreto. Esse tipo de acabamento pode ser: completamente liso, com modulações de padrões geométricos, frisado, texturizado e revestido.

O acabamento tratado após o molde acontece durante a operação de pré-moldagem, sendo este feito no encontro do painel ao molde ou na face voltada para cima. Na obtenção de acabamento feito junto ao encontro do painel ao molde, utilizam-se retardadores químicos de cura para expor levemente o agregado nas faces de fundo e laterais do painel. Quando o acabamento acontece na face voltada para cima, vários efeitos decorativos podem ser feitos durante a fabricação, tais como: expor o agregado com uso de jato d'água antes da cura; acabamentos decorativos com uso de vassoura, colher de pedreiro, etc. e acabamento liso desempenado. Já os acabamentos após a cura do concreto pode ser: imersão do painel em um tanque com solução ácida (para obtenção de textura fina), esmerilhamento e polimento e pintura (KRÜGER, 2000).

Os acabamentos mais comuns são: concreto aparente, textura aplicada, agregado exposto lavado (figura 6.23), estampado. No painel lavado as diversas cores e texturas dependem da cor do cimento, da forma de lavagem, bem como da cor e granulometria dos agregados.

O uso de cores claras nos painéis de fachada é recomendado para evitar grande absorção de calor pela superfície e conseqüente formação de ponte térmica na estrutura metálica (COSTA; SOUZA; ARAÚJO, 2009).

O revestimento incorporado elimina custos diretos e indiretos decorrentes da posterior etapa de revestimento externo, permite maior variedade de soluções arquitetônicas e evita perda de recursos e poluição no canteiro de obras.



Figura 6.23 – Tipos de acabamentos: agregados expostos lavados e textura.
Fonte: PREMO, 2010.

6.6.10. Montagem

Os painéis geralmente têm peso elevado e grandes dimensões, por isso, em sua montagem são empregados equipamentos especiais como guindastes ou gruas, definidos em função do peso e característica da obra, por isso é necessário que o canteiro de obras possua espaço suficiente para a disposição desses equipamentos.

Devido às dificuldades de montagem, dependendo do peso dos painéis especificados, a viabilidade de seu uso só será justificada em obras de grande porte.

A montagem dos painéis consiste, basicamente, no içamento dos mesmos até o ponto de fixação junto à estrutura. Segundo Krüger (2000), para se ter o máximo de economia em uma obra com o uso de painéis em concreto armado é importante planejar um mínimo de tempo para manipulação e construção no local. Esse planejamento deve envolver uma investigação dos procedimentos de manipulação e construção para minimizar as dificuldade de construção e a correta escolha das conexões. Os painéis devem chegar ao canteiro em uma seqüência pré-determinada de montagem e devem ser erguidos diretamente do caminhão para a estrutura, otimizando o uso dos equipamentos.

Também é aconselhável se prever o detalhamento de conexões de forma que permita que os equipamentos de içamento sejam rapidamente liberados, pois o tempo da operação de montagem está diretamente relacionado com o custo da obra.

As peças de conexões devem ser encapsuladas em concreto ou protegidas contra a umidade e erosão através de proteções especiais, tais como: uma camada de tinta zincada, zincagem, galvanização ou uso do aço inoxidável. Krüger (2000) recomenda que as conexões sejam preferencialmente parafusadas e em caso de necessidade de solda, devem-se evitar as que precisam ser executadas antes do painel ser liberado do guindaste ou grua e posteriormente à solda deve-se limpar e recobrir a área com tinta rica em zinco.

Quanto maior é o painel, mais rápida é a operação de içamento e montagem do fechamento, no entanto, deve-se considerar que a sua fabricação e transporte pode ser dificultada pelo seu porte e os equipamentos de içamento devem possuir maior capacidade de carga.

A fixação dos painéis pode ser feita nas lajes, pilares e nas vigas através de inserts metálicos, utilizando parafusos, pinos e/ou soldas ou através de consolos de concreto (figura 6.24).

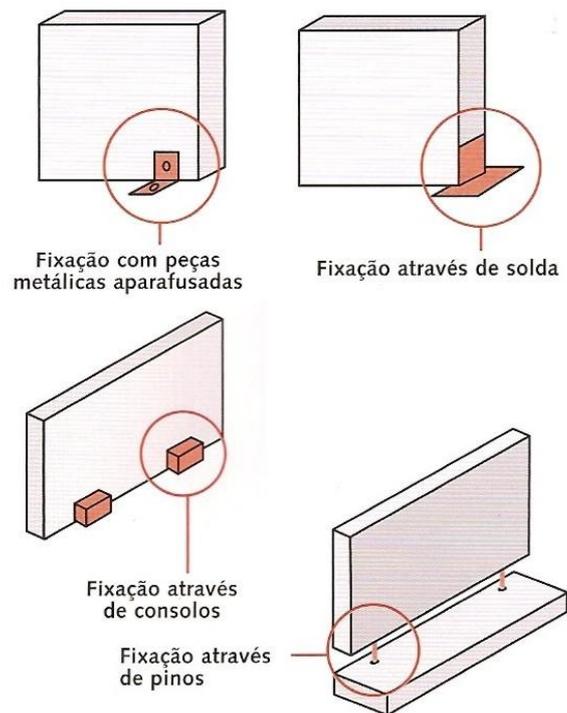


Figura 6.24 – Tipos de fixação.
Fonte: PREMO, 2009.

Os painéis podem e devem ser fixados sempre onde for o melhor para o funcionamento estrutural e estético da edificação. Sua fixação pode ocorrer na laje, viga e pilares, sendo nas faces da estrutura ou em seu eixo de trabalho (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

6.6.11. Vida útil, manutenção, flexibilidade e potencial de reutilização

A durabilidade dos painéis é compatível com vida útil de projeto, necessitando de poucas intervenções de manutenções. A garantia de duração dos painéis é de 50 anos, mas pode durar até mais.

Alguns problemas que podem dificultar a manutenção dos painéis são: a ação de agentes agressivos que provocam manchas no concreto; problemas de corrosão; degradação dos polímeros utilizados nos selantes das juntas devido a fatores resultantes de uma combinação de efeitos naturais como radiação solar, microorganismos, água, atmosfera, etc.; os selantes das juntas precisam ser repostos com o tempo, sendo a frequência determinada pelo ambiente e agentes agressivos atuantes (SILVA; SILVA, 2004; KRÜGER, 2000).

Segundo Krüger (2000), quando a sujeira atmosférica fica depositada na superfície do painel é a chuva a responsável por marcas e acentuação da diferença entre áreas mais ou menos sujas de uma fachada. Para evitar esse tipo de problema recomenda-se que o arquiteto

antecipe o fluxo de água sobre a parede de forma a desviar ou induzir caminhos para evitar manchas e diferença de tonalidades no concreto. Uma das soluções consiste em considerar detalhes como pingadeiras, parapeitos, vergas, juntas ou ranhuras para o direcionamento adequado do escoamento de água pluvial.

A principal manutenção nos painéis em concreto consiste nos tratamentos na superfície de limpeza dependendo do tipo de revestimento. As juntas merecem uma atenção especial e devem ser constantemente verificadas. Quando expostas, as ligações também têm de ser verificadas quanto ao desempenho e se há oxidação (SANTOS; HASTENREITER, 2009). A manutenção sempre vai depender do grau de exposição dos painéis às intempéries. Segundo Barbosa (2009), dependendo do ambiente atmosférico os painéis podem precisar de impermeabilização ou alguma manutenção especial, por exemplo, em ambientes perto do mar.

A flexibilidade desse tipo de painel está na maior possibilidade de variação das dimensões e acabamentos e na possibilidade de fabricação dos painéis na própria obra, o que elimina os custos referentes ao transporte do produtos, mas não da matéria-prima.

Quanto à flexibilidade no sentido de possíveis mudanças na posição dos painéis, reformas e ampliações futuras depois de instalados não é viável, pois exige grande movimentação e por serem muito pesados esse procedimento seria limitado por dificuldades práticas de transporte e manuseio. Não só a movimentação é complexa, mas também a abertura de novos vãos ou a colocação de novas esquadrias depois da fabricação e instalação dos painéis são mais complicadas. Os fabricantes recomendam que todos os detalhes da obra precisam ser previstos na fase de projeto porque, depois de prontos e instalados, qualquer mudança nos painéis é muito onerosa.

A possibilidade de desmontagem, desparafusamento e remontagem dos painéis para a reutilização existe, mas exige mão-de-obra especializada e não é um processo simples, principalmente devido ao peso dos painéis. Os painéis são fixados por inserts metálicos, a montagem é feita de forma especial por guindastes ou gruas, pois as peças são pesadas. Portanto, a reutilização pode ser feita, mas não é usual, pois a movimentação dos painéis é dispendiosa.

6.6.12. Propriedades termo-acústicas e dimensões fornecidas

As características de isolamento térmico e acústico dos painéis dependem da espessura e podem ser feitos de acordo com as necessidades de cada cliente, pois não são fabricados em série. O isolamento térmico do concreto não é muito bom, porém é possível

aplicar materiais isolantes no interior do painel, melhorando a sua qualidade. Os tipos de painéis da PREMO disponíveis são:

Sanduíche, que é executado com a interposição de isolante térmico no interior da peça para alívio de peso e melhor desempenho termoacústico (figura 6.25);

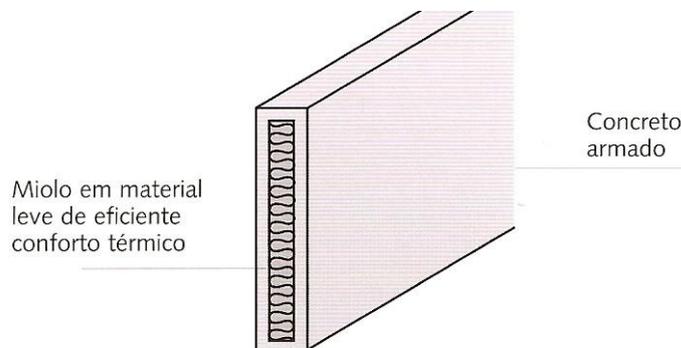


Figura 6.25 – Desenho do painel sanduíche com miolo geralmente em isopor.
Fonte: PREMO, 2009.

Bandeja, que são utilizados como recurso para aliviar o peso quando não há necessidade de tratamento termoacústico (figura 6.26);

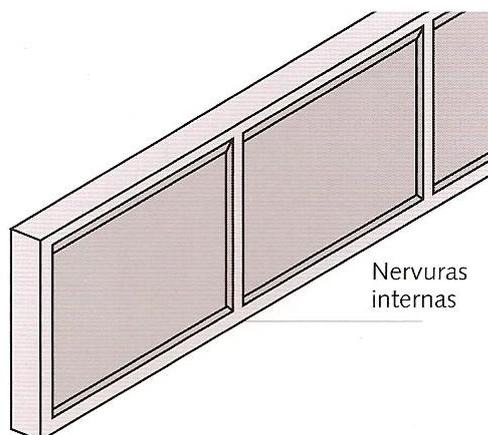


Figura 6.26 – Desenho do painel bandeja com nervuras internas.
Fonte: PREMO, 2009.

Alveolar, que possui alvéolos internos para aliviar o peso e melhorar o desempenho termoacústico (figura 6.27) e

Maciço, normalmente utilizado em painéis com grandes aberturas, onde não é necessário alívio de peso.

Apesar das possibilidades de melhoramento térmico e acústico dos painéis, nenhum dado referente a estudos do desempenho dos tipos de painéis foi fornecido pelas empresas fabricantes.

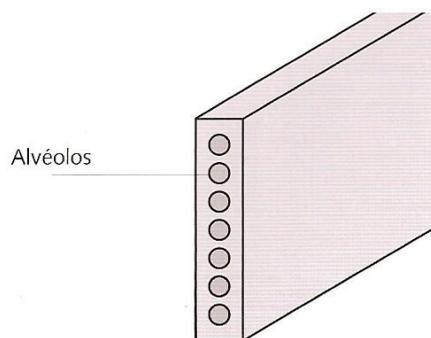


Figura 6.27 – Desenho do painel alveolar.
Fonte: PREMO, 2009.

O dimensionamento, a forma e a geometria dos painéis são determinados na fase de projeto, em função do tipo da obra, de suas necessidades e considerando fatores de produção e manuseio. Possuem dimensões e pesos limitados devido às dificuldades práticas de transporte e manuseio, mas permite variações plásticas significativas.

A altura dos painéis costuma variar entre 1,20 m a 3,0 m, enquanto o comprimento pode ser até três vezes maior. A espessura varia de acordo com o comprimento, como exemplificado no quadro 6.9.

Quadro 6.9. Dimensões típicas de painéis de concreto pré-moldados

Comprimento do painel (m)	Espessura (mm)
2,0	75 (para painéis reforçados com aço inoxidável)
3,0	90
4,0	100
5,5	125
6,0	140 - 160

Fonte: DAWSON, 1995; BROOKES, 1998; apud Silva; Silva, 2004.

As dimensões dos painéis Precon variam em até 12 m de comprimento e 3,5 m de altura. As espessuras variam de 10 a 18 cm e o peso pode variar entre 140 e 220 kg/m² (PRECON, 2009).

É importante que na fase de projeto tente reduzir o número de tipos de painéis a serem utilizados, garantindo maior padronização na produção. A padronização de formas reduz os custos de produção, aumentam a velocidade de fabricação e reduz os custos operacionais tais como: tempo de detalhamento e condição de moldes. Os moldes podem ser projetados para receber ajustes dimensionais e atender a um número maior de painéis.

6.6.13. Transporte e entrega na obra

O transporte é terceirizado e feito por via terrestre em caminhões ou carretas. O produto é transportado apoiado em suportes metálicos, que dão estabilidade e segurança à carga, permitindo que sejam alcançadas grandes distâncias.

No transporte dos painéis PRECON a empresa utiliza de apoios específicos para efeito de garantia da estrutura e também da segurança deste transporte. Estes apoios geralmente são de materiais de aço, madeira e sintético e todos são reaproveitados. Quando os painéis com o acabamento superficial são transportados é importante seguir algumas recomendações de proteção, podendo ser com lona plástica ou outro material reaproveitável (SANTOS; HASTENREITER, 2009).

No transporte dos painéis PREMO com acabamento exposto são utilizadas proteções especiais descartáveis, tais como plásticos bolha ou filme de pvc para a proteção (BARBOSA, 2009).

Na retirada dos painéis dos veículos e montagem na obra geralmente são utilizadas guias, guindastes ou outros equipamentos especiais escolhidos conforme o peso e dimensão do produto. O peso elevado do painel implica em maior custo e poluição decorrentes do deslocamento até a construção.

6.7. Comparações entre painéis e considerações

Ambos os painéis cimentício e de concreto armado utilizam o cimento CPV como principal matéria-prima. Como já estudado, o cimento é um material que causa diversos impactos ambientais significantes. A substituição do tipo de cimento utilizado para a produção pelo CPIII já contribuiria para a diminuição dos impactos ambientais causados. O cimento CPIII, que é composto por cerca de 60 a 70% de subprodutos de outras indústrias (como escória de alto forno), possui menor energia embutida, porém reduz altamente o início de resistência do cimento/concreto. O maior tempo de cura compensa o menor impacto ambiental. Com o tempo poder-se-ia investir em pesquisas para criação de um produto químico que acelere esse tempo de cura ou que substitua o cimento por outro componente menos impactante que não interfira na qualidade do produto.

A principal diferença entre os painéis analisados que utilizam cimento está na tecnologia adotada. A tecnologia de produção dos painéis cimentícios Brasilit é mais avançada e industrializada. Estes são mais delgados e utilizam menos matérias-primas, porém necessita de uma estrutura auxiliar, geralmente em aço, como o LSF, que apesar de ser

totalmente reutilizável e reciclável, possui alta energia incorporada. Algumas vezes o painel cimentício precisa ser cortado para abertura de vãos, o que ocasiona, invariavelmente, pequenas perdas do material. Já a tecnologia de produção dos painéis em concreto armado Precon é há muitos anos conhecida e o processo é industrializado em parte porque não é produzido de forma padronizada. A confecção de formas individualizadas para cada cliente e o processo de enchimento dessas não é automatizado. Além disso, a espessura dos painéis é maior e conseqüentemente necessitam de mais recursos e matéria-prima para a produção. No entanto, esse tipo de painel oferece acabamento incorporado de fábrica, permitem grande liberdade criativa e não precisa ser cortado na obra, chegam prontos para a instalação, resultando na perda quase nula de material.

A fábrica de OSB, quando era Masisa, foi a que apresentou melhores informações ao cliente, pois disponibilizava, via internet, alguns dados relevantes sobre a fabricação dos painéis, como o processo de produção e também algumas medidas da própria empresa para diminuir o consumo de recursos, como a captação de água pluvial. A atual produtora, LP Brasil, apesar de ser uma empresa nova, já poderia pensar em formas de aumentar o desempenho ambiental e investir em pesquisas para a substituição do formaldeído utilizado na fabricação.

As fábricas da Knauf também já estão enfrentando o desafio da sustentabilidade, mais por conta de pressão dos clientes. A unidade brasileira já emite Declarações Ambientais sobre seus painéis de gesso para aqueles que desejam. O acesso a essa informação deveria ser mais divulgado. Provavelmente por pressão do mercado consumidor do país, a fábrica da Knauf do Reino Unido desenvolveu um material mais adequado para edificações sustentáveis, o *Futurepanel carbon neutral plasterboard*, que possui mesma função e mesma matéria-prima, porém que compensa a emissão de CO₂, utiliza mais gesso reciclado e utiliza energia de fontes renováveis. Isso pode significar que em breve essa mesma forma de produzir a partir de reciclagem e as mesmas iniciativas para compensar o CO₂ emitido na produção pode chegar ao Brasil. Outro aspecto importante que deveria ser levado em consideração é a questão da importação do papel cartão. Poderia se investir na produção do papel cartão no Brasil para diminuir os impactos ambientais incorporados nessa importação.

Entre os aspectos investigados para avaliação da sustentabilidade foram levantadas informações relevantes sobre a composição e localização da matéria-prima e da fábrica para posterior avaliação do material como regional. Quando este estudo for utilizado para um empreendimento específico também se deve levantar a distância desses até a fábrica dos produtos.

Nos quadros 6.10 a 6.14 apresentam-se um resumo comparativo os dados coletados sobre os painéis analisados englobando alguns aspectos que devem ser avaliados para a seleção de materiais em uma obra sustentável. No quadro 15 apresentam-se as vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de painel e no quadro 16 apresentam-se as vantagens e as desvantagens da utilização dos painéis industrializados, de forma geral.

Quadro 6.10 - Painéis analisados: matéria-prima, composição e informações relevantes para avaliar se o material é considerado regional

PAINÉIS	GESSO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1- Composição	- água, - sulfato de cálcio (gipsita), - papel cartão e - aditivos (liquificante, amido, espumante, etc.)	- água, - cimento, - agregados naturais de celulose e - fios sintéticos de polipropileno	- madeira de Pinus, - resina MDI (difenil metano di-isocianato), - resina fenólica (liga de resina sintética) e - aditivos a base de ciflutrina.	- água, cimento CPV, areia, brita, aço, - aditivos não tóxicos (reagentes químicos neutros), - pedras (painéis com agregados expostos) e por vezes, pigmentos
2- Localização da fábrica	Distrito Industrial de Queimados- RJ	Capivari- SP	Ponta Grossa - PR	PREMO: Vespasiano - MG; PRECON: Pedro Leopoldo- MG
3- Principal matéria-prima	Gipsita	Cimento Portland processado	Madeira de Pinus	Cimento Holcim
4-Local de extração da principal matéria-prima	Araripina- PE	Sorocaba- SP	Fazendas de reflorestamento e manejo sustentável	Pedro Leopoldo - MG. Em alguns casos é utilizado o cimento branco- Egito
5-Distância entre principal matéria-prima e fábrica	2150 km	75 km	Raio máximo de 150 km	PREMO: 30 km PRECON: 10 km
6-Componentes e origem	- papel cartão: Alemanha (não existem produtores nacionais - o custo econômico e ambiental dessa importação deve ser considerado); - amido: Minas Gerais e - liquidificante: São Paulo	- fios de polipropileno: Jacareí- SP; - celulose - Estado do Paraná (origem controlada e certificada)	Origens dos demais componentes não informadas	PRECON: - areia industrializada artificial de quartzo: Cachoeira da Prata – MG, - pedra gnaiss e brita: Betim–MG, - aço de armadura: Empresa Belgo - Juiz de Fora – MG, -pigmentos: região de São Paulo. PREMO: - brita e areia: da região (raio aproximado de 10 km da fábrica), - aço de armadura: Empresa Belgo - Juiz de Fora - MG
7-Conteúdo reciclado pré-consumo	O papel cartão é reciclado, possui cerca de 0,5 % do peso total do produto.	Cimento: possui parte da matéria-prima proveniente de produtos reciclados, tal como o gesso e a escória. O painel pode conter até 2% de resíduos da própria fabricação no processo.	Não utiliza materiais reciclados	O cimento pode possuir parte da matéria-prima proveniente de produtos reciclados, tal como o gesso e a escória. O aço utilizado na armação pode ter origem reciclada.

Quadro 6.11 - Painéis analisados: fabricação, resíduos de produção, consumo de recursos, programas de qualidade e normas de produção

PAINÉIS	GESSO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1-Fabricação	Automatizada na fábrica	Automatizada na fábrica	Automatizada na fábrica	Automatizada na fábrica ou no próprio canteiro
2-Resíduos de produção	Poucos resíduos de fabricação: boa parte pode ser reciclada.	Poucos resíduos de fabricação: boa parte pode ser reciclada. Resíduos não reaproveitados: destinados corretamente por empresas terceirizadas	100% de aproveitamento da matéria-prima utilizada.	Poucos resíduos são gerados e a maioria é reutilizada no processo. Painéis com problema de fabricação: descarte em depósito próprio. O metal das fôrmas é vendido para reciclagem ou reaproveitado
3-Consumo de recursos *	Água utilizada: é reciclada na fábrica ou evapora no processo de secagem	Água utilizada: é reciclada na fábrica	Água utilizada na fábrica: é pluvial, colhida em reservatórios (dúvida na informação)	Possuem estação de tratamento de água
4-Programas de qualidade	PSQ-Drywall (Programa Setorial da Qualidade do Drywall), ISO 9001:2000	Previsão de obtenção da certificação ISO 9001:2008 para 2010	Fábrica nova, processos de certificação em desenvolvimento	ISO 9001:2000
5-Normas para produção	NBR 14715:2001 - Chapas de gesso acartonado- requisitos; NBR 14716:2001 - Chapas de gesso acartonado - Verificação das características geométricas e NBR 14717: 2001 - Chapas de gesso acartonado - Determinação das características físicas.	Não há normas brasileiras específicas (adotam normas americanas)	Não há normas brasileiras específicas (adotam as normas americanas)	Não existem normas vigentes no Brasil
* Nenhum fabricante soube responder qual a quantidade de água e de energia consumida para a fabricação de cada painel, muito menos sobre a quantidade de energia embutida em cada produto, que é um dado muito mais complexo. Outra informação que os fabricantes não souberam fornecer é a quantidade de emissão de CO2 por produto.				

Quadro 6.12- Painéis analisados: uso, estrutura auxiliar de apoio, dimensões e propriedades

PAINÉIS	GESSO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1-Uso	Em áreas internas, sem função estrutural	Em áreas internas e externas. Pode ter função estrutural	Em áreas internas e externas. Pode ter função estrutural	Mais utilizados externamente, devido ao peso. Podem ter função estrutural.
2-Estrutura auxiliar de apoio	<i>Drywall</i>	<i>Light Steel Framing</i> ou <i>Wood Framing</i>	<i>Light Steel Framing</i> ou <i>Wood Framing</i>	Não necessita
3-Dimensões padrão fornecidas	Padrão	Padrão	Padrão	Variam em: dimensionamento, forma e geometria
4-Largura (m)	1,20 e 0,60	1,20	1,22	Até 3,5
5-Comprimento (m)	Varia de 1,80 a 3,6	2,0; 2,4 e 3,0	2,44	Até 12,0
6-Espessura (mm)	9,5; 12,5 e 15,0	6,0; 8,0; 10,0 e 12,0	9,5; 11,0; 15,0 e 18,0	De 100 a 180
7-Isolamento térmico - condutividade térmica	0,19 W/m.K	0,35 W/m.K	Não fornecido	Não fornecido
8-Isolamento acústico	35 a 37 dB (estrutura com perfis de 48 mm e 2 chapas de 12,5 mm)	45 dB (estrutura com perfis de 90 mm e 2 chapas de 10 mm)	Não fornecido	Não fornecido
9-Toxicidade do material	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico, possui baixa emissão de formaldeído, o que assegura o bem estar e a saúde	Não tóxico

Quadro 6.13 - Painéis analisados: acabamento, flexibilidade, durabilidade, manutenção e montagem

PAINÉIS	GESSO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1-Acabamento	Aceita qualquer tipo de acabamento desde pinturas comuns (como tinta não diluída) até azulejos, pastilhas, mármore, granito, lambris de madeira, papel de parede, etc..	Permite aplicação de vários acabamentos como: pinturas, porcelanatos, mosaicos, argamassas, laminados, texturas, cerâmicas, pedras naturais, etc.	Fechamentos externos: geralmente utiliza-se uma membrana de polietileno de alta densidade. Acabamento final pode ser: revestimento com argamassa, tijolo, textura e <i>siding vinílico</i> , de madeira ou cimentício	Vários tipos de acabamentos podem ser incorporados ainda na etapa de fabricação. Os mais comuns são: concreto aparente, textura aplicada, agregado exposto lavado e estampado
2-Flexibilidade	Montado e desmontado facilmente com ferramentas simples	Montado e desmontado facilmente com ferramentas simples	Montado e desmontado facilmente com ferramentas simples, porém também deve ser feita a desinstalação da membrana de polietileno e do acabamento adotado	Movimentação limitada por dificuldades práticas de transporte e manuseio devido ao seu peso.
3-Durabilidade	Mínimo de 30 anos com manutenções e utilizações adequadas	Acima de 50 anos com as manutenções e utilizações adequadas	10 anos de garantia anti-cupim e 20 anos de garantia estrutural	Garantia de duração dos painéis é de 50 anos, mas podem durar mais
4-Manutenção	Pequenos reparos são feitos com massa para tratamento de juntas ou com massa corrida. Limpeza: feita com uma esponja e detergentes (evitar o uso de grande quantidade de água).	Geralmente ocorre no revestimento dos painéis	Geralmente ocorre no revestimento dos painéis	Tratamentos de limpeza na superfície dos painéis. As juntas devem ser constantemente verificadas e repostas, se necessário.
5-Montagem	Simple, utilizando ferramentas de pequeno porte	Simple, utilizando ferramentas de pequeno porte.	Simple, utilizando ferramentas de pequeno porte. Após a fixação dos painéis, o OSB usado externamente deve ser coberto pela membrana de polietileno e o revestimento deve ser instalado	Montagem com uso de guindastes ou guias (prever o espaço na obra), definidos em função do peso e da obra. A fixação pode ser feita nas lajes, pilares e vigas através de <i>inserts</i> metálicos, parafusos, pinos e/ou soldas ou através de consolos de concreto

Quadro 6.14- Painéis analisados: condições de pós-uso

PAINÉIS	GESO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1-Potencial de reutilização	Pode ser desmontado e reutilizado facilmente com mão-de-obra qualificada	Pode ser desmontado e reutilizado facilmente com mão-de-obra qualificada	Pode ser desmontado e reutilizado com mão-de-obra qualificada. A membrana de polietileno e o acabamento devem ser desinstalados	Reutilização possível, mas onerosa
2-Conteúdo reciclável Pós-consumo	O gesso é 100 % reciclável, desde que seja mantido em local seco	Os painéis podem ser encaminhados para a fábrica que os recicla no próprio processo (limite de 2% da composição)	Não possui conteúdo reciclado pós-consumo	Os painéis podem ser reciclados como base de pavimentação, após a britagem. Recurso oneroso.

Quadro 6.15- Painéis analisados: vantagens e desvantagens

PAINÉIS	GESSO ACARTONADO KNAUF	CIMENTÍCIO BRASILIT	OSB LP BRASIL	CONCRETO ARMADO PREMO E PRECON
1-Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - painéis e sistema auxiliar leves que diminui custos e poluição no transporte, - flexibilidade, - pode ser reutilizado, - gesso 100% reciclável, - pouco resíduo de produção 	<ul style="list-style-type: none"> - painéis e sistema auxiliar leves que diminui custos e poluição no transporte, - flexibilidade, - pode ser reutilizada, - longa vida útil, - energia embutida moderada, - pode reciclar, - extração da matéria-prima próximo da fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> - painéis e sistema auxiliar leves que diminui custos e poluição no transporte, - flexibilidade, - pode ser reutilizado, - baixa energia embutida, - 100% de aproveitamento de matéria-prima, - recurso renovável, - sequestro de CO2 pela matéria-prima natural, - extração da matéria-prima perto da fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> - longa vida útil, - energia embutida moderada, - menor desperdício, - acabamento de fábrica, - pode-se escolher o dimensionamento de acordo com a obra: liberdade de criação, - pode ser reciclado, porém é mais onerosa
2-Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - utilizado apenas em áreas internas, - matéria-prima não renovável, - papel cartão importado da Alemanha, - vida útil moderada, - as chapas Standard (ST) são passíveis de inchamento por umidade e mesmo as chapas Resistentes à Umidade (RU) não devem ser empregadas em áreas sujeitas a uma taxa de umidade relativa superior a 95%, - extração de matéria prima longe da fábrica, - energia embutida alta 	<ul style="list-style-type: none"> - matéria-prima não renovável, - alta emissão de poluentes na fabricação do cimento 	<ul style="list-style-type: none"> - vida útil moderada, - não pode ser reciclado: descarte danoso, - necessita de tratamento com preservantes, - utiliza resinas fenólicas fabricadas a partir de formaldeído, mesmo que em baixas quantidades 	<ul style="list-style-type: none"> - painéis pesados que resultam em maiores de custos e emissões de gases poluentes no transporte e montagem, - geralmente necessitam de equipamentos para a montagem, o que pode restringir o uso nas fachadas, - falta de flexibilidade, - matéria-prima não renovável, - alta emissão de poluentes na fabricação do cimento, - falta de padrão e desperdício de fôrmas - a desmontagem e reutilização geralmente são inviáveis (depende do porte da obra)

Quadro 6.16 - Vantagens e desvantagens gerais da utilização de painéis de fechamento verticais industrializados

<p>1-Vantagens</p>	<ul style="list-style-type: none"> - racionalização do sistema construtivo: obra limpa e economia de recursos como água e energia; - agilidade das linhas de montagem e redução no tempo de execução da obra; - praticidade na execução das diversas instalações; - diminuição de entulho no canteiro de obras; - precisão construtiva; - permitem o emprego conjunto de materiais isolantes aumentando-se o desempenho térmico e acústico dos fechamentos; - sistemas auxiliares de sustentação dos painéis leves como <i>Light Steel Framing</i> ou <i>Drywall</i> podem ser reciclados e os perfis de madeira tratada <i>Wood Framing</i> são fabricados a partir de fontes renováveis que têm baixo impacto ambiental pós-consumo
<p>2-Desvantagens</p>	<ul style="list-style-type: none"> - exige mão-de-obra qualificada; - são pouco conhecidos pelos profissionais da construção civil, falta de informações sobre os painéis; - causam certa desconfiança devido à cultura geral da população de resistência ao uso de sistemas construtivos não tradicionais; - ausência de algumas informações e propriedades dos painéis; - custo mais elevado comparativamente ao custo de execução de fechamentos em alvenaria tradicional; - o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e complementares são mais demorados e deve haver compatibilidade entre eles, toda a obra deve ser planejada antes da execução e os projetos devem ser seguidos à risca, pois os sistemas não permitem improvisos

7. EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO - SUBSÍDIOS

7.1. Edifícios Metálicos certificados pelo LEED

No mundo vários arquitetos já optaram por empregar estruturas metálicas em seus projetos devido às possíveis vantagens que o uso desse material oferece. Muitos edifícios em estrutura metálica já foram certificados pelo LEED. Gervásio (2008b) destaca os seguintes: a Sede do banco PNC em Pittsburgh - *PNC Firstside Center*, apresentado na figura 7.1, a edificação recebeu em 2000 o LEED *Silver Certification* da versão 2.0 e conseguiu pontos na categoria materiais e recursos devido ao conteúdo reciclado de 90% pós-consumo do aço e o Edifício de escritórios da firma Zimmer em Lenexa (EUA) que recebeu o LEED *Certification*, mostrado na figura 7.2.

Outro exemplo relevante de edificação em estrutura metálica que recebeu a certificação LEED é a Torre *Hearst*, em Nova York, EUA. Projetada pelo escritório *Foster & Partners* do renomado arquiteto Norman Foster, a obra recebeu em 2006, depois de três anos de construção, o selo Gold LEED, versão 2. O arranha-céu nova-iorquino apresenta um excelente exemplo da possibilidade de reciclagem do aço e da economia de materiais que esse tipo de estrutura pode proporcionar. A obra, apresentada na figura 7.3, consiste em uma torre de escritórios erguida sobre um antigo edifício de seis andares que foi convertido, após a reforma, num imenso átrio que funciona como uma zona comum da edificação, uma espécie de “praça urbana”.

O volume que se ergue acima do edifício de 1928 é uma torre em estrutura de aço inoxidável formada por diagonais que configuram volumes triangulares nas fachadas, maximizando a entrada de luz nos escritórios. A utilização dessa estrutura em aço inoxidável permitiu que o empreendimento conseguisse pontos no sistema LEED por ter 80% de conteúdo reciclado no aço utilizado e pela inovação tecnológica de sua forma proporcionar uma economia de 20 mil toneladas de aço estrutural, economizando cerca de 20% menos de aço que uma estrutura convencional. Além desses requisitos atendidos, o edifício ainda: consome cerca de 25% a menos de energia, se comparado a similares; coleta água de chuva na cobertura para irrigar jardins, abastecer fontes e o sistema de refrigeração e possui sensores nos escritórios que controlam a quantidade de luz artificial em função da natural (FOSTER&PARTNERS, 2010).

Na avaliação do LEED, a edificação conseguiu ganhar cinco pontos na categoria “materiais e recursos”. Os itens que receberam pontos nessa categoria foram: 2 créditos pela gestão dos resíduos da construção (50% e 75%), 1 crédito pelo conteúdo reciclado, 1 crédito

pelo uso de materiais regionais (20%) e 1 crédito pelo uso de madeira certificada (USGBC, 2010).



Figura 7.1 - Sede do banco PNC em Pittsburgh. Edifício em estrutura metálica que recebeu a certificação LEED *Silver*.
Fonte: GERVÁSIO, 2008b.



Figura 7.2 - Firma Zimmer em Lenexa- EUA. Edifício em estrutura metálica certificado pelo LEED.
Fonte: GERVÁSIO, 2008b.

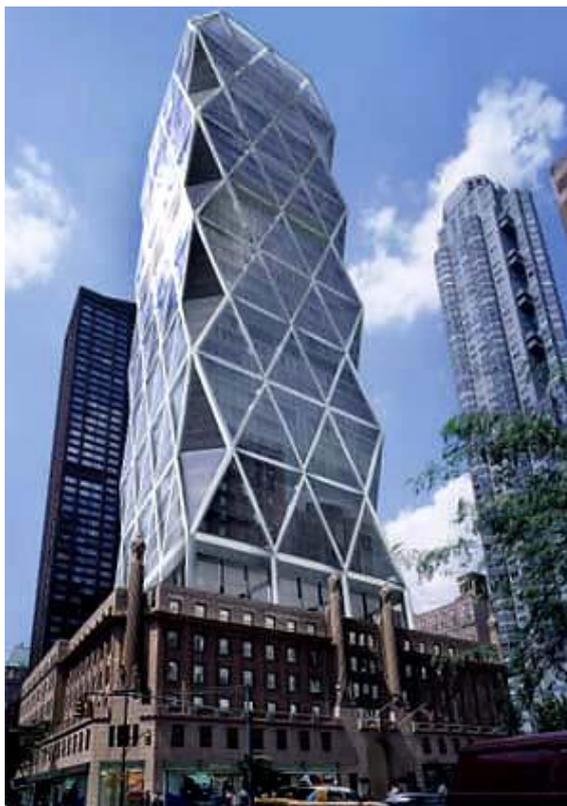


Figura 7.3 – *Hearst Tower*, em Nova York.
Fonte: FOSTER&PARTENERS, 2010.

7.2. CENPES II (Rio de Janeiro, Brasil) e processo de certificação

Dentre as construções no Brasil que buscam a certificação LEED Novas Construções (LEED-NC) e que já foram registradas, destaca-se o projeto de ampliação do CENPES (centro de pesquisas da Petrobrás) no Rio de Janeiro, o CENPES II, representado em perspectiva na figura 7.4, cuja conclusão da obra está prevista para 2010.



Figura 7.4: Perspectiva geral do projeto CENPES II.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

Na época do concurso para o projeto do CENPES II, a contratante PETROBRAS, sob assessoria de alguns Grupos de Universidades, como o - GPAS³⁸ e LabEEE³⁹, integrou os conceitos de sustentabilidade no edital do concurso fechado de projetos para o novo prédio de laboratórios CENPES II, em 2004.

Os conceitos norteadores a serem considerados na solução arquitetônica contemplaram exigências sobre questões de sustentabilidade, principalmente na área de eficiência energética, tais como: orientação solar adequada, forma arquitetônica adequada às condicionantes climáticas locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna, materiais construtivos termicamente eficientes para superfícies opacas e transparentes, superfícies envidraçadas: taxa de WWR (*window wall ratio*), proteções solares externas adequadas às fachadas, aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno, aproveitamento da luz natural, aproveitamento da vegetação, sistemas para uso racional e reuso de água e materiais de baixo impacto ambiental.

O escritório Zanettini Arquitetura ganhou a concorrência. O projeto de autoria do arquiteto Siegbert Zanettini e co-autoria do arquiteto José Wagner Garcia, contou com várias pesquisas para seu desenvolvimento e também envolveu as faculdades de arquitetura da USP, UFSC e UNICAMP, além de uma grande equipe de profissionais de apoio.

Posteriormente, o projeto arquitetônico do prédio do Datacenter (CIPD) foi realizado pela Engineering com consultoria em ecoeficiência pela GPAS, sob a coordenação do professor Leopoldo Bastos (GPAS, 2010).

O destaque para esse projeto está nas soluções construtivas adotadas que prevê o uso de soluções industrializadas pensado para todo o complexo. A obra do Cenpes II será uma nova referência em termos de sustentabilidade, tecnologia limpa, obra planejada e industrializada.

7.2.1. O projeto

O projeto para a extensão do Centro de Pesquisas Petrobrás teve como conceito e premissa de projeto a busca por uma arquitetura contemporânea, que integrasse ao mesmo tempo arquitetura, estrutura, instalações, eco-eficiência, paisagismo, planejamento e

³⁸ Grupo Projeto, Arquitetura e Sustentabilidade (GPAS), grupo de pesquisa e consultoria, cadastrado no CNPQ, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

³⁹ Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção (Departamento de Engenharia Civil) da Universidade Federal de Santa Catarina.

organização da obra. Iniciado em março de 2004 e finalizado em junho de 2006, o projeto do empreendimento se caracteriza por um partido horizontal composto por diversos edifícios com áreas cobertas e descobertas. O complexo é composto por 20 edifícios, como apresentado na figura 7.5, que incluem: prédio central, novos laboratórios, Centro de Convenções, Centro de Realidade Virtual (CRV), Empreiteirópolis, oficina, orquidário, restaurante, planta piloto, Centro Integrado de Processamento de Dados/Rio de Janeiro (CIPD-RIO) e Central de Utilidades.

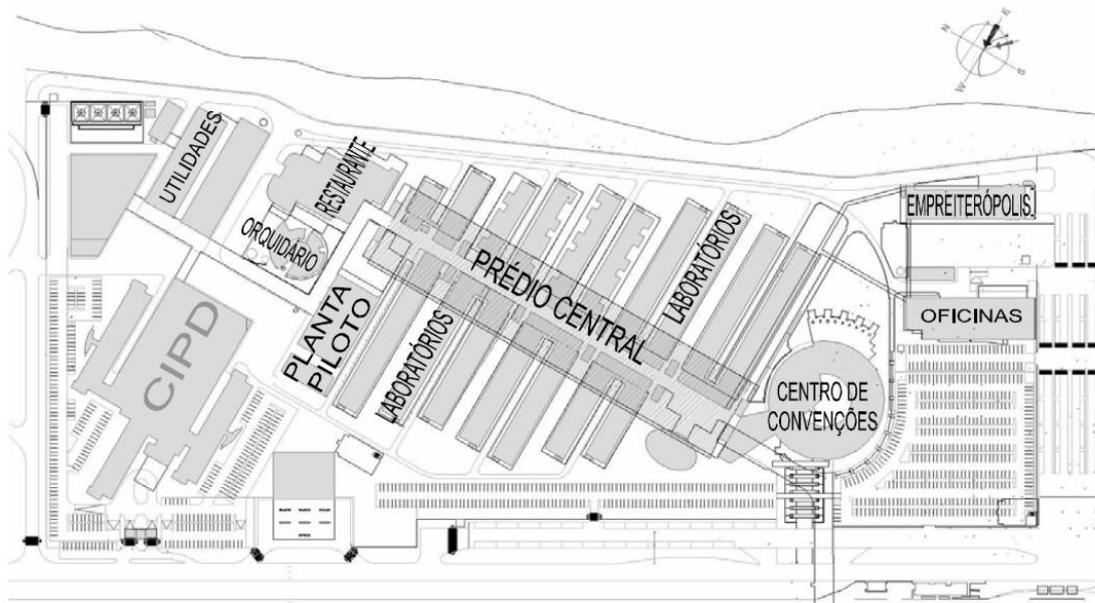


Figura 7.5: Implantação das edificações que compõe o CENPES II.
Fonte: PETROBRÁS, 2006a, p.23.

A implantação surgiu da vontade em articular a nova construção à edificação do Cenes já existente, como apresentada na figura 7.6. Essa articulação acontece através de uma galeria subterrânea de pedestres para a integração de atividades culturais, sociais, de produção científica e de apoio a todo o complexo. A circulação e estacionamentos de veículos e ônibus complementam essa simbiose entre o CENPES e sua ampliação.

Como decorrência do partido, o Centro de Convenções - com o Auditório do Cenes, salas de reuniões, lanchonete e área de eventos - se situa no local mais próximo possível do Cenes atual, na extremidade oposta da Passagem Subterrânea e constitui o portal de entrada do Cenes ampliado para o público que a ele se dirige, possibilitando seu uso para as mais diversas atividades culturais e educativas, sem que elas interfiram na vida científica deste novo Centro. Sua localização também foi definida em função da proximidade da vegetação da mata envoltória, possibilitada pelo espaço existente e complementação do plantio. Os

estacionamentos frontal e lateral foram locados de modo a ocupar os espaços vazios de vegetação da melhor forma possível (ZANETTINI; GARCIA, 2007).

Do Centro de Convenções parte o prédio central, num eixo principal direção Norte-Sul, que articula todas as atividades de produção científica, dos laboratórios e escritórios no pavimento térreo; dos escritórios nos dois pavimentos superiores; das salas de visualização do CRV, do Centro Integrado de Controle (CIC) e Biblioteca no 1º pavimento, e do bloco separado do CRV (Holospace e Cave), articulados por um eixo central de circulação de usuários internos e externos. Na extremidade norte deste eixo estão situados o Restaurante Central e o Orquidário, que finalizam este bloco central com o primeiro se voltando para o mar, ocupando uma posição privilegiada junto ao CIPD-RIO. Ao lado, encontra-se o espaço destinado ao Posto Eco-Tecnológico, completando esta trama espacial.



Figura 7.6 – Imagem em Corel Draw da implantação do CENPES II articulado com o CENPES existente (abaixo no canto direito).
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

Segundo Zanettini e Garcia (2007), este eixo articula também todo o sistema de energia, através de um Pipe-rack, originário da Central de Utilidades, de onde parte, em mesma cota, um Pipe-rack principal que ocupa o primeiro pavimento do Prédio Central, que se deriva ortogonalmente aos pipe-racks que atendem às Alas dos Laboratórios e Planta Piloto, conectando-se no extremo sul ao armário de instalações da Passagem Subterrânea até

o edifício atual do CENPES, aos edifícios de Empreiteirópolis, Almoxarifado e Oficinas, através de tubovia.

No partido, o sistema viário ficou determinado de modo que todos os espaços de trabalho sejam atendidos por circulações de serviço, permitindo a circulação de veículos necessários para a operação dos edifícios, bem como para alterações ou ampliações dos mesmos. Este sistema viário conecta também os vários blocos de apoio às áreas da Empreiteirópolis, Oficinas, Almoxarifado com suas docas de acesso voltadas para uma via secundária externa.

Os estacionamentos de veículos ocupam estrategicamente os espaços vazios, distribuídos em função de cada área de trabalho. O estacionamento de ônibus concentra-se de forma ordenada em área reservada na via lateral exterior, com acesso pela avenida, de forma a facilitar a entrada e saída dos veículos. Foi previsto também estacionamento para 150 bicicletas.

Segundo Zanettini (2009), o partido de ampliação do Cenpes reflete a condição de “obra aberta”, na qual o espaço relativizado no tempo em função da evolução das necessidades, imprimindo às soluções grande flexibilidade para ampliações e reformulações, de acordo com novos usos.

7.2.2. Aspectos de sustentabilidade ambiental do projeto

Dentre as estratégias sustentáveis ambientalmente adotadas durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico destacam-se:

- forma arquitetônica das edificações adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para minimização da carga térmica interna, aproveitamento da iluminação e ventilação natural;
- edifícios com dupla proteção de cobertura;
- definição das orientações a partir das simulações de insolação para solstício de verão, inverno e equinócio; dimensionamento de dispositivos de proteção solar de forma a proteger superfícies envidraçadas e evitar incidência direta do sol nas fachadas, como mostrado no exemplo da figura 7.7;
- criação de Microclima local e redução da ilha de calor, de ruídos e de impacto visual com a adoção de paisagismo adequado e recuperação da restinga;
- uso de Painéis fotovoltaicos;

- sistemas para uso racional e reuso da água (uso de água de chuva captada nos telhados para bacias e mictórios, uso de água de chuva captada dos pisos dos estacionamentos para irrigação de jardins e desenvolvimento de uma estação de tratamento de esgoto Estação de Tratamento, área de descarte de resíduos e compostagem - ETRA⁴⁰);
- controle da dispersão de gases dos laboratórios;
- estacionamento de bicicletas como possibilidade de transporte alternativo e
- utilização de tecnologias limpas, materiais industrializados e estrutura metálica como estratégia de construção seca, organizada, que evita desperdícios e economiza tempo.

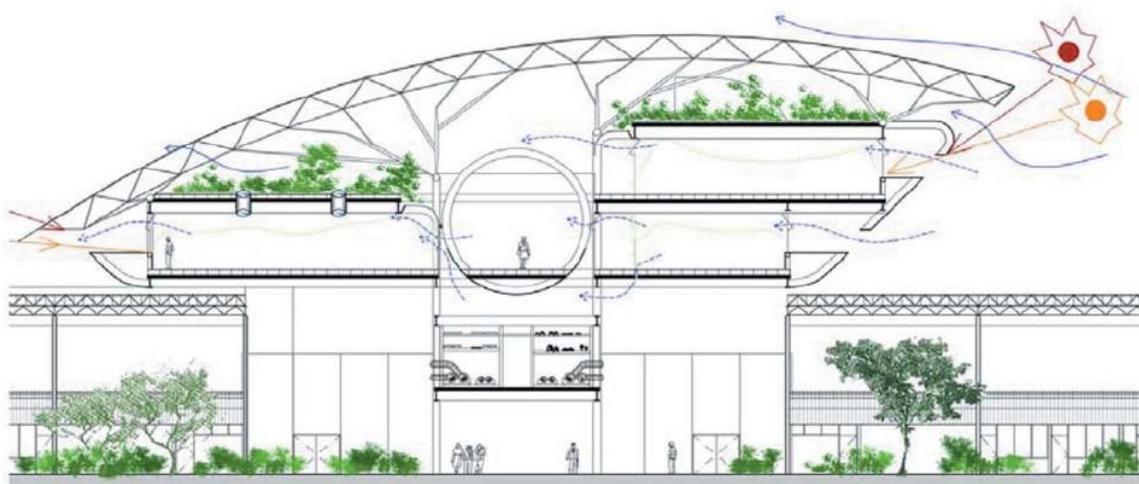


Figura 7.7: Uso de paisagismo e estratégias para promover ventilação natural e proteger o interior da incidência solar direta no Prédio Central- Corte esquemático.

Fonte: ZANETTINI, GARCIA, 2007, p.6.

Além destes tópicos destacam-se outros conceitos fundamentais como: a questão da flexibilidade, possibilidade de expansão e planejamento da obra em fases, aplicação conceitos inovadores do ponto de vista de instalações e criação de ambientes de trabalho que estimulem a criação científica

7.2.3. Investigação do Processo de certificação LEED – CENPES II

Posteriormente, os aspectos de sustentabilidade do projeto levaram a empresa investidora do novo complexo arquitetônico ao interesse pela certificação ambiental do empreendimento. Para obter tal certificação, durante o processo de projeto, procurou-se reunir as diretrizes e exigências do padrão LEED de certificação adotado. Sobre o projeto CENPES II e o processo de certificação, Gonçalves e Duarte (2005) observam:

⁴⁰ A ETRA II irá receber e tratar os esgotos químicos e biológicos, de tal forma que a água resultante deste tratamento possa ser reutilizada nos vasos sanitários, rega de jardim e para as torres de resfriamento. A área de descarte de resíduos tem a finalidade de coletar, selecionar e descartar os resíduos produzidos, o que resultará em um destino final correto para cada tipo de material ali depositado (PETROBRÁS, 2006b).

É sabido que as diferenças entre o contexto norte-americano e o brasileiro, no que tange às questões ambientais e climáticas, assim como do mercado nacional da construção civil e de suas normatizações, podem incorrer em incompatibilidades entre as exigências do LEED e o efetivo impacto ambiental na situação desse projeto. Contudo, a aplicação dessa metodologia de avaliação mostrou ser possível e válida como uma primeira abordagem quanto à avaliação das questões de eco-eficiência (GONÇALVES; DUARTE, 2005, p.9).

O projeto está passando pelo processo de análise para receber a certificação LEED após o término da obra e também ser avaliada pelo modelo francês HQE. A fase de preparação e análise de documentos de forma a confirmar a adequação do projeto às exigências do padrão LEED está sendo elaborada por uma equipe especializada responsável pelo acompanhamento da obra.

O objetivo deste estudo de caso foi investigar como se desenvolveu o processo de escolha dos materiais de fechamento e do sistema estrutural com base nos critérios LEED. Devido à complexidade do empreendimento não foi realizado um estudo de caso completo sobre todas as características do CENPES II, tampouco se aprofundou nas iniciativas sustentáveis adotadas. Como o tema dessa pesquisa envolve os fechamentos verticais industrializados e as edificações estruturadas em aço, propõe-se, nessa investigação, um recorte no estudo de caso sobre alguns aspectos relacionados à seleção dos materiais levados em consideração nesse projeto. O foco dessa etapa do trabalho será dado nos elementos estruturais e de fechamentos verticais industrializados que foram especificados para a maioria das edificações do empreendimento.

Como metodologia de estudo foi realizada uma visita ao empreendimento, um entrevista com o arquiteto Siegbert Zanettini (ZANETTINI, 2009; disponível no Anexo 5) e análises de alguns documentos elaborados durante todas as fases do empreendimento, desde o projeto até a etapa de execução da obra. Dentre os diversos documentos elaborados, analisam-se os:

- relatórios de Acompanhamento para Adequação ao Padrão LEED (PETROBRÁS, 2006b);
- relatórios de Parâmetros utilizados nos relatórios de Eco-eficiência (PETROBRÁS, 2006a);
- relatórios mensais de Eco-eficiência (PETROBRÁS, 2009c) e
- Declarações Ambientais dos produtos utilizados (PETROBRÁS, 2009b).

7.2.4. Relatórios de Acompanhamento para Adequação ao Padrão LEED

O relatório Acompanhamento para Adequação ao Padrão LEED III apresenta de forma simplificada uma previsão dos pontos possíveis de serem obtidos e daqueles não alcançados de acordo com os requerimentos LEED, com base nas informações referentes a diferentes aspectos do projeto fornecidas pela equipe de arquitetura (PETROBRAS, 2006b).

Apresenta-se nos Quadros 7.1 e 7.2, os pareceres e recomendações sobre a possibilidade de obtenção de cada ponto dos principais critérios do LEED relativos à escolha dos materiais que envolvem os itens: Materiais e Recursos, Quadro 7.1 (a), (b) e (c) e Qualidade do Ambiente Interno, Quadro 7.2 (a) e (b).

Quadro 7.1. (a) Projeto CENPES II - Pontos possíveis do LEED na seleção de materiais

ITEM: 4.4. MATERIAIS E RECURSOS - TOTAL DE PONTOS POSSÍVEIS: 13 PONTOS	
4.4.1. Pré-Requisito 1: Armazenagem e coleta de recicláveis	
Descrição	Visa a redução da geração de resíduos, por ocupantes do edifício, que são transportados e depositados em aterros sanitários.
Recomendação	prever uma área de fácil acesso, que sirva ao edifício inteiro e seja dedicada à separação, coleta e armazenamento de materiais recicláveis. [1] a área destinada à armazenagem e coleta de recicláveis deve ser adequadamente dimensionada para o prédio e situada em área conveniente; [2] identificar empresas locais de coleta de rejeitos e compradores para os materiais recicláveis coletados; [3] instruir os ocupantes do empreendimento quanto aos procedimentos para descarte de material reciclável; [4] considerar a instalação de equipamentos e tecnologias que proporcionem maior eficiência ao programa de reciclagem.
Projeto	prevista uma área de 2.000,00m ² para a ETRA II (Descarte de resíduos e compostagem) que irá receber e tratar os esgotos químicos e biológicos, de tal forma que a água resultante deste tratamento poderá ser reutilizada nos vasos sanitários, rega de jardim e para as torres de resfriamento. A área de descarte de resíduos tem a finalidade de coletar, selecionar e descartar os resíduos produzidos, o que resultará em um destino final correto para cada tipo de material ali depositado. O CENPES II deverá possuir áreas específicas para os resíduos classificados segundo a norma NBR 10004 (classe I - perigosos, classe II - inertes e classe III - não-inertes). Esta área será dividida da seguinte forma: [1] área para armazenamento de resíduos classe I CENPES (200m ²); [2] área de armazenamento de resíduos classe II e III (recicláveis ou não) com 400m ² ; [3] área de compostagem com 400m ² .
Consideração	Tanto a área atual como a área a ser construída gerarão resíduos e deverão ser consideradas as seguintes questões: [1] caso a área de resíduos esteja localizada em apenas uma das instalações, deverá haver um túnel ligando os dois CENPES para transporte interno de resíduos, permitindo o trânsito de empilhadeiras e carrinhos, sendo assim construído sob a rua principal da Cidade Universitária da UFRJ; [2] preferencialmente, estas áreas deverão ser construídas uma ao lado da outra, permitindo uma integração entre elas, e com a ETRA; [3] devido à necessidade de transporte de resíduos para empresas externas, é recomendável que as áreas se situem nos extremos, aonde existam ou sejam construídas, vias de acesso de caminhão, de modo a evitar a movimentação de veículos no interior da instalação reduzindo assim riscos de acidentes.
Possibilidade	O crédito poderá ser plenamente atendido.

Fonte: PETROBRÁS, 2006b.

Quadro 7.1. (b) Projeto CENPES II - Pontos possíveis do LEED na seleção de materiais

ITEM: 4.4. MATERIAIS E RECURSOS - TOTAL DE PONTOS POSSÍVEIS: 13 PONTOS	
4.4.2. Reutilização do edifício. Mantendo 75% da estrutura original	
4.4.3. Reutilização do edifício. Mantendo 100% da estrutura original	
4.4.4. Reutilização do edifício. Mantendo 100% da estrutura original e 50% do restante dos componentes	
Descrição	Estes créditos tratam de reutilização de estruturas e edifícios previamente existentes no terreno, caso que não se aplica ao empreendimento em análise.
Possibilidade	Os créditos não serão cumpridos e os pontos não serão obtidos.
4.4.5. Gestão de resíduos de obra. Redirecionamento de 50% do material destinado a aterro	
4.4.6. Gestão de resíduos de obra. Redirecionamento de 75% do material destinado a aterro	
Descrição	Estes dois créditos visam evitar o envio de restos de materiais de construção e terraplenagem para o aterro, através do redirecionamento de materiais recicláveis recolhidos de volta para o processo produtivo.
Recomendação	Devem-se estabelecer objetivos de redirecionamento de materiais e adotar um plano de gerenciamento de resíduos para atingir estes objetivos, designando – também – uma área específica no canteiro de obras para materiais recicláveis.
Projeto	Tentar atingir a meta de 50% de redirecionamento, lembrando que o redirecionamento inclui destinar material à doação, reciclagem e/ou reutilização.
Consideração	Ainda que se possa fazer o cálculo de redirecionamento, tanto por volume quanto por peso, acredita-se ser um grande desafio atingir qualquer uma das duas metas estabelecidas.
Possibilidade	Por esta razão consideram-se os créditos como não cumpridos e os pontos não obtidos.
4.4.7. Reuso de recursos. 5%	
4.4.8. Reuso de recursos. 10%	
Descrição	Estes dois créditos visam incentivar a reutilização de materiais de construção de modo a reduzir a demanda por materiais virgens.
Recomendação	Recomenda-se que se tente identificar, dentro dos limites impostos pela construção de um edifício novo, oportunidades de incorporação de materiais reciclados na construção.
Consideração	Como se trata justamente de um edifício novo, vê-se com algum ceticismo o uso de 10% de materiais reciclados,
Possibilidade	Estima-se que seja possível cumprir um dos créditos, obtendo um dos pontos disponíveis.
4.4.9. Conteúdo reciclado. 5% pós-consumo ou 10% pós-consumo+pós-industrial	
4.4.10. Conteúdo reciclado. 10% pós-consumo ou 20% pós-consumo+pós-industrial	
Descrição	Estes dois créditos visam um aumento no consumo de materiais de construção e produtos que incorporem material reciclado em sua composição.
Recomendação	Recomenda-se que se faça um esforço no sentido de identificar fornecedores cujos produtos se encaixem nas definições estabelecidas pelo <i>Federal Trade Commission document, Guide for the Use of Environmental Marketing Claims</i> , 16 CFR 260.7 (e), disponível em: < www.ftc.gov/bcp/grnrule/guides980427.htm >.
Consideração	Os componentes mecânicos e elétricos não serão incluídos no cálculo.
Possibilidade	Estima-se que seja possível cumprir um dos créditos, obtendo um dos pontos disponíveis.

Fonte: PETROBRÁS, 2006b.

Quadro 7.1. (c) Projeto CENPES II - Pontos possíveis do LEED na seleção de materiais

ITEM: 4.4. MATERIAIS E RECURSOS - TOTAL DE PONTOS POSSÍVEIS: 13 PONTOS	
4.4.11. Materiais regionais/locais. 20% manufaturados localmente	
4.4.12. Materiais regionais/locais. 50% colhidos na região	
Descrição	Estes dois créditos visam aumentar a demanda por produtos e materiais de construção extraídos e/ou manufaturados na região em que se encontra o empreendimento.
Recomendação	Recomenda-se que se faça, dentro do possível, esforço no sentido de buscar fornecedores locais para os materiais necessários.
Consideração	Estima-se que pode haver dificuldades no cumprimento deste crédito, posto que nem sempre haverá fornecedores locais dentre os quais se possa alcançar o trinômio conformidade / preço / disponibilidade.
Possibilidade	Consideram-se, assim, estes dois pontos como não obtidos.
4.4.13. Materiais rapidamente renováveis.	
Definição	Este crédito tem por objetivo reduzir o uso e a destruição de matérias-primas finitas e de longo ciclo de renovação, através de sua substituição por materiais rapidamente renováveis.
Possibilidade	Estima-se que este crédito possa ser cumprido e considera-se obtida a sua pontuação.
4.4.14. Madeira certificada.	
Descrição	O objetivo deste crédito é encorajar o gerenciamento ambientalmente responsável de florestas através do uso de um mínimo de 50% de materiais e produtos de madeira certificados de acordo com os <i>Forest Stewardship Council's Principles and Criteria</i> .
Recomendação	Recomenda-se identificar, para o processo de licitação, fornecedores que atendam aos critérios estabelecidos pelo FSC
Possibilidade	Estima-se que o crédito possa ser cumprido e a pontuação, obtida.

Fonte: PETROBRÁS, 2006b.

Quadro 7.2. (a) Projeto CENPES II - Pontos possíveis do LEED na seleção de materiais

ITEM: 4.5. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO - TOTAL DE PONTOS POSSÍVEIS - 15 PONTOS	
4.5.7. Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Adesivos e selantes	
Descrição	Requer que as emissões oriundas de adesivos e selantes sejam inferiores às especificadas pela <i>South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) Rule # 1168</i> , e que todos os selantes usados como enchimento estejam de acordo com, ou excedam, os requerimentos da <i>Bay Area Air Quality Management District Regulation 8, Rule 51</i> .
Recomendação	Especificar que os selantes e adesivos utilizados atendam às normas especificadas
Possibilidade	O crédito é possível de ser cumprido e a pontuação, obtida
4.5.8. Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Tintas e revestimentos	
Descrição	Requer que as emissões oriundas de tintas e revestimentos não excedam os limites estabelecidos pelo <i>Green Seal's Standard GS-11</i> .
Recomendação	Especificar tintas e revestimentos de baixa emissão
Possibilidade	O crédito é possível de ser cumprido e a pontuação, obtida

Fonte: PETROBRÁS, 2006b.

Quadro 7.2. (b) Projeto CENPES II - Pontos possíveis do LEED na seleção de materiais

ITEM: 4.5. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO - TOTAL DE PONTOS POSSÍVEIS - 15 PONTOS	
4.5.9. Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Carpetes	
Descrição	Requer o uso de carpetes que atendam ou excedam os requerimentos do <i>Carpet and Rug Institute's Green Label Indoor Air Quality Test Program</i> .
Recomendação	Especificar, em licitação, carpetes que atendam aos critérios especificados na norma
Possibilidade	O crédito é possível de ser cumprido e a pontuação, obtida
4.5.10. Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Madeiras compostas e fibras	
Descrição	Requer o uso de produtos feitos de madeiras compostas e fibras agrícolas que não contenham resinas com uréia / formaldeídos.
Recomendação	Especificar, na licitação, as limitações quanto ao uso de materiais contendo resinas com uréia / formaldeídos
Possibilidade	O crédito é possível de ser cumprido e a pontuação, obtida

Fonte: PETROBRÁS, 2006b.

Todos os materiais especificados pelo escritório de arquitetura ZANETTINI arquitetura foram selecionados de acordo com o compromisso com a sustentabilidade e o atendimento aos maiores padrões de desempenho possíveis. Dessa forma buscou-se atender o máximo de critérios sustentáveis do LEED, porém que estejam em conformidade com as necessidades do projeto.

Dessa forma, Zanettini (2009), optou por fazer do Cenpes um complexo coerente com à sua época, adotando, o que ele denomina de uma “Arquitetura Contemporânea”⁴¹. A utilização do aço como elemento estrutural (como exemplifica a estrutura do prédio central na figura 7.8), na maioria das edificações do complexo, é justificada por considerá-lo um material que sintetiza uma série de aspectos que outras tecnologias não conseguem alcançar, pois não confia no controle de desperdício e na gestão da qualidade em obras convencionais. E, segundo o arquiteto, a solução para uma obra limpa e sustentável deve começar pela especificação de materiais industrializados desde a etapa de projeto e na etapa da obra, o canteiro deve ser um lugar de montagem limpo, organizado e com segurança. O arquiteto também justificou a opção pelos painéis industrializados para os fechamentos verticais por considerar essa tecnologia construtiva mais apropriada para a estrutura em aço e compatível com o partido de tecnologia limpa e canteiro como lugar de montagem.

Essa medida permitiu a redução do tempo de execução e a diminuição de desperdícios da obra e possibilitou um canteiro de obras organizado que serve apenas como local de montagem, como pode ser observado na foto aérea mostrada na figura 7.9.

⁴¹ Ver entrevista no Anexo 5.



Figura 7.8: Prédio central do CENPES II em construção. (a) Detalhe da cobertura. (b) Detalhe do túnel.

Visita CENPES II, 6 out. 2009.



Figura 7.9: CENPES II em construção junho de 2009- Canteiro de obras limpo e organizado.
Fonte: ZANETTINI, 2009b.

Além disso, a predominância do aço em todo o complexo apresenta vantagens capazes de minimizar o impacto ambiental de sua energia incorporada. Segundo Zanettini e Garcia (2007) o uso da linguagem do aço justifica-se devido à: facilidade de transporte, padronização de usos, equalização de vãos e dimensões das peças, racionalização de materiais e mão-de-obra, reversibilidade com uma possível desmontagem futura, longa vida útil e alto potencial de reciclagem.

Os tipos de fechamentos verticais utilizados nas edificações do CENPES II variam de acordo com o ambiente, o uso e suas necessidades de desempenho térmico e acústico. O

Anexo 6 apresenta a relação de fechamentos especificados por ambiente. Todos os materiais foram especificados após simulações e estudos utilizados para avaliações de desempenho da edificação (PETROBRÁS, 2006a).

Para a maioria dos fechamentos verticais internos foram utilizadas painéis de gesso acartonado com estrutura metálica de sustentação, o sistema *Drywall*, como pode ser visto na figura 7.10.



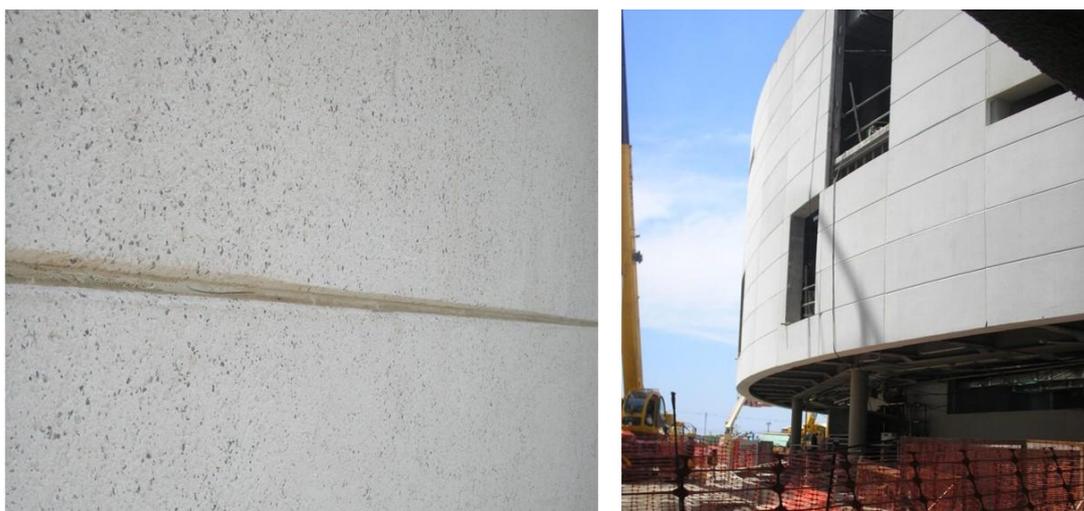
Figura 7.10: Fechamento interno CENPES II. (a) Estrutura em *Drywall* pronta para receber os painéis de fechamento. (b) Aplicação de painéis de gesso acartonado. Visita CENPES II, 6 out. 2009.

Quando necessário e especificado no projeto, os fechamentos internos de alguns ambientes receberam placas duplas de gesso acartonado e material isolante térmico tipo lã de rocha no interior do sistema. Segundo Poço (2009), como alternativa ao uso de lã de rocha, começaram a ser aplicados como isolante um material fabricado com 50% de conteúdo reciclado de garrafas Pet, da marca AUSTEX, como mostrado na figura 7.11. Como revestimento dos fechamentos internos geralmente só é aplicado tinta. Quando necessário, como por exemplo, no caso dos laboratórios, os painéis foram revestidos com fórmica, por questão de praticidade na limpeza do ambiente e pelo tipo de uso. Em alguns ambientes foram especificados revestimento cerâmico e outros tipos de acabamento conforme o projeto.



Figuras 7.11: Fechamento interno CENPES II. (a) Material isolante térmico fabricado a partir de garrafa pet transparente aplicado entre a estrutura em *Drywall*. (b) Material isolante térmico fabricado com garrafa pet verde estocado.
Visita CENPES II, 6 out. 2009.

Segundo Poço (2009), para os fechamentos externos foram especificados painéis em concreto armado, com acabamento claro e agregados expostos incorporado de fábrica e com 15% de conteúdo reciclado, como apresentado na figura 7.12 (a). No prédio do Centro de Convenções os painéis adotados também foram os de concreto armado, só que em forma arredondada, figura 7.12 (b). Para melhorar o desempenho térmico e ambiental, em alguns ambientes os painéis externos receberam acabamento interno no sistema *Drywall*, juntamente com uma camada de ar e painel de gesso acartonado na superfície, como mostra a figura 7.13. Algumas vezes também é aplicado material isolante no interior do sistema.



Figuras 7.12: Painéis em concreto armado. (a) Detalhe do acabamento dos fechamentos externos das edificações do CENPES II. (b) Painéis arredondados para fechamento externo do prédio do Centro de Convenções.
Fonte: Autor, visita CENPES II, 6 out. 2009.



Figura 7.13: Pannel externo com acabamento de sistema Drywall no interior pronto para receber o fechamento em pannel acartonado.

Visita CENPES II, 6 out. 2009.

Durante a colocação dos painéis em concreto armado nas paredes externas de alguns ambientes ocorreram alguns problemas operacionais como, por exemplo: nas paredes externas das fachadas laterais dos laboratórios, faltava espaço para colocar os equipamentos de içamento necessários de acordo com o peso dos painéis. A solução encontrada foi mudar a especificação dos painéis para GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*), como mostrado na figura 7.14, por serem mais leves.



Figura 7.14: Pannel externo GFRC instalado. Detalhe para as fibras de vidro.

Visita CENPES II. 6 out. 2009.

Os painéis GFRC (mencionados no capítulo 6, não foram objeto de estudo nesse trabalho) são fabricados com a adição de fibras de vidro à matriz cimentícia com a intenção de diminuir o peso. São compostos por: cimento, areia, plastificantes, polímeros, fibras de vidro, água e estrutura metálica incorporada a ele durante a sua fabricação. Caracterizam-se por serem painéis mais leves e menos espessos do que os painéis em concreto armado, o que proporciona uma montagem mais prática e que utiliza equipamentos menores e mais baratos. O painel utilizado é da empresa PAVI localizado em Taubaté, a 300 km do empreendimento.

Os painéis GFRC foram colocados da mesma forma que o painel de concreto armado, com a estrutura de *Drywall* e o painel de gesso acartonado como acabamento interno.

Segundo Poço (2009), Zanettini optou pelos painéis em concreto armado devido à possibilidade de menor resíduos possível em obra, pois até mesmo outros fechamentos industrializados como painéis leves (cimentício, OSB, etc.) com *Light Steel Framing* podem precisar ser cortados em obra, por exemplo, para encaixe de esquadrias, e podem gerar alguns pequenos resíduos. A geração de resíduos, mesmo que em pequena quantidade, não é uma boa opção no Cenpes, visto que concorre à certificação LEED e um dos critérios é a gestão de resíduos na obra prevendo o redirecionamento desses. Portanto, quanto menos resíduos a obra tiver, melhor. Os painéis em concreto armado são feitos sob medida para o empreendimento, sem necessitar de reparos.

Para a fabricação dos painéis em concreto armado foi especificado em projeto que todos deveriam ser fabricados a partir do cimento CP III, por esse apresentar cerca de 60% de material reciclado em sua composição. Porém, os painéis utilizados foram fabricados com cimento CP V, para diminuir o tempo de cura (POÇO, 2009).

Durante a vista à obra não foi possível fazer um acompanhamento da montagem de um painel externo em concreto armado. Porém, a Petrobrás forneceu um documento que relata como foi feita a instalação de um painel externo no laboratório A, as dificuldades encontradas durante o procedimento e as recomendações para evitá-las. A seqüência de instalação do painel é (PETROBRÁS, 2009a):

- Retirada do estoque: içamento e acomodação no transporte (figura 7.15);
- Posicionamento do transporte na área de montagem (figura 7.16);
- Preparação das chapas para fixação: solda das chapas no local (figuras 7.17 e 7.18);
- Retirada do painel do transporte no local da montagem (figura 7.19);
- Posicionamento do painel no local (figura 7.20);
- Solda do painel nas chapas de apoio (figura 7.21) e

- Painel instalado com média de 1 hora e 40 minutos (figura 7.22).



Figura 7.15: Retirada do painel do estoque.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.16: Posicionamento do transporte.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.17: Solda das chapas no local de instalação.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.18: Solda pronta para instalação.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.19: Retirada do painel.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.20: Posicionamento do painel.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

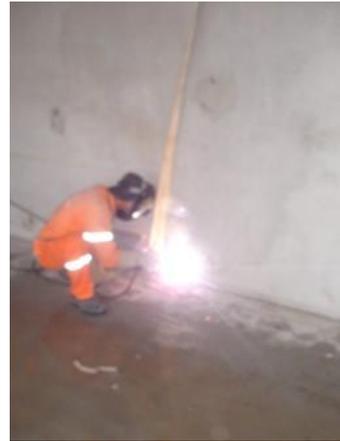


Figura 7.21: Solda do painel na chapa de fixação.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.22: Posicionamento do painel.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

Durante a instalação dos primeiros painéis ocorreram alguns imprevistos que dificultaram e atrasaram a montagem, em desacordo com o esperado:

- As chapas para a fixação não batiam com as chapas dos painéis, como apresentado na figura 7.23. A recomendada para evitar esse problema é: medir a posição das chapas no painel antes de soldar no local de montagem e conferir se os painéis estão de acordo com o projeto na hora do recebimento.
- O espaço para içamento do painel e locomoção até o local de montagem não era adequado, como pode ser observado na figura 7.24. A solução encontrada para as próximas instalações foi trabalhar com a cinta de içamento mais curta para permitir que o braço mecânico possa agir mais próximo do local.
- Dificuldade de remoção da cinta de içamento após a fixação dos painéis, como mostrado na figura 7.25. Para futuras instalações recomenda-se fixar provisoriamente o painel e

retirar as cintas antes da solda. Outra sugestão que deve ser tomada antes da fabricação é projetar um rebaixo no painel para facilitar a remoção da cinta.



Figura 7.23: Chapa de fixação no local não bate com o painel.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.24: Espaço não adequado para içamento.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.



Figura 7.25: Dificuldade na retirada da cinta.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

Assim como a estrutura e os fechamentos verticais, os demais materiais utilizados para a construção do CENPES II são, em grande maioria, industrializados e chegam à obra prontos para a montagem. Talvez esses problemas tenham acontecidos pela própria característica dos painéis em concreto armado, que conforme relatado no capítulo 6 (6.7), passam por um processo de fabricação semi-industrializado, portanto mais passível de erros.

7.2.5. Relatórios de Parâmetros utilizados nos relatórios de Eco-eficiência

Estes relatórios contêm os parâmetros de simulação e estudos realizados para as avaliações de desempenho térmico, luminoso e acústico do complexo do CENPES II. Com esses estudos foi possível testar a eficiência dos materiais e das estratégias projetuais de conforto ambiental, ainda durante a fase de projeto arquitetônico. Foram feitos estudos para o empreendimento geral, como no exemplo do estudo de insolação apresentado na figura 7.26 e no estudo da ventilação natural exposto na figura 7.27.

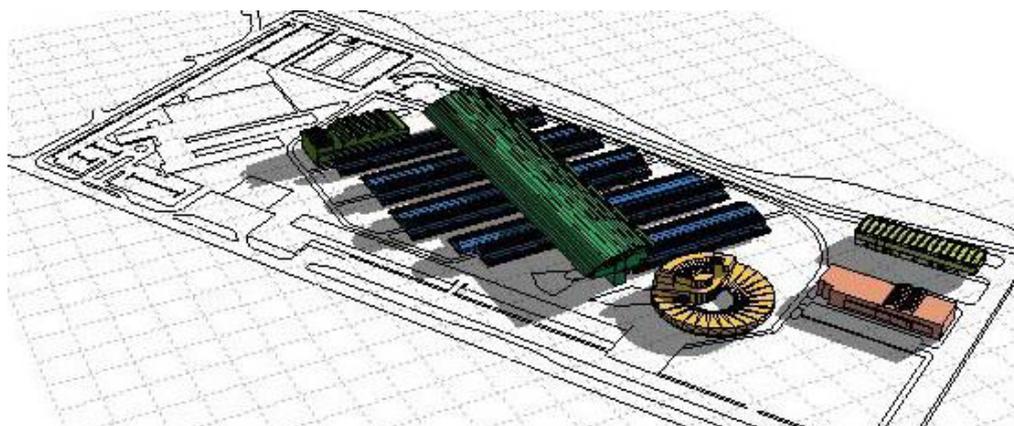
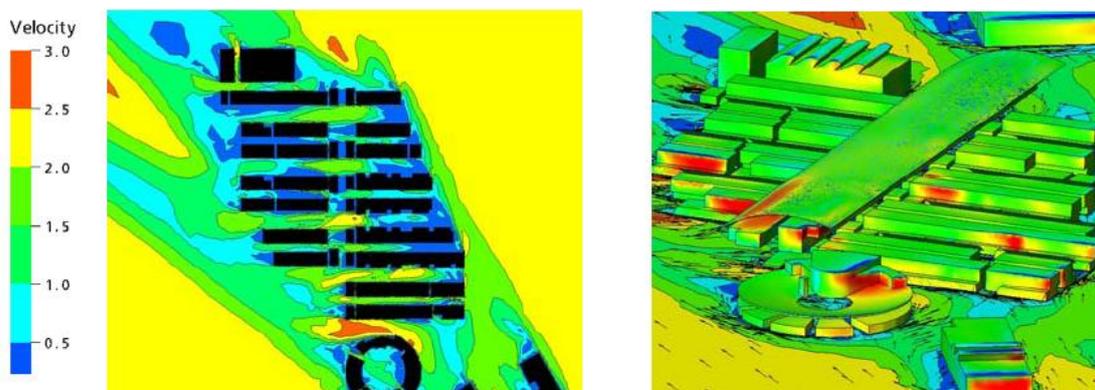


Figura 7.26: Estudo de insolação durante o solstício de verão no período da manhã (9h). Destaque para a extensão da sombra sobre os laboratórios.

Fonte: GOLÇALVES; DUARTE, 2007, p.5.



Figuras 7.27: Estudo de potencial de ventilação natural no empreendimento. (a) Distribuição da velocidade do vento no nível do pedestre, a 1,5m. (b) Distribuição de pressões de vento sobre as envoltórias.

Fonte: GOLÇALVES; DUARTE, 2007, p.6.

Para a simulação de ventilação utilizou-se um aplicativo de mecânica dos fluidos (ANSYS ICFMCFX1) e um banco de dados de vento construído sobre a base de dados do Galeão, bastante próxima ao local do CENPES II. Os estudos de desempenho térmico foram feitos por meio de simulação computacional, utilizando-se o aplicativo TAS (PETROBRÁS, 2006b).

Também foram feitas simulações e estudos individuais por edificação nos relatórios, como os estudos de velocidade para o Centro de Convenções e a modelagem para simulação de estratégias no programa TAS do edifício apresentado respectivamente nas figuras 7.28 e 7.29.

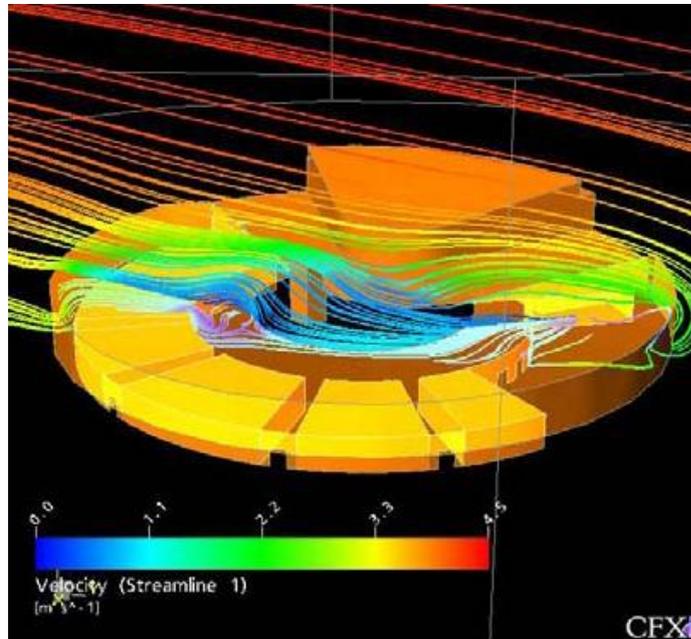


Figura 7.28: Simulação de potencial de ventilação natural no Centro de Convenções.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

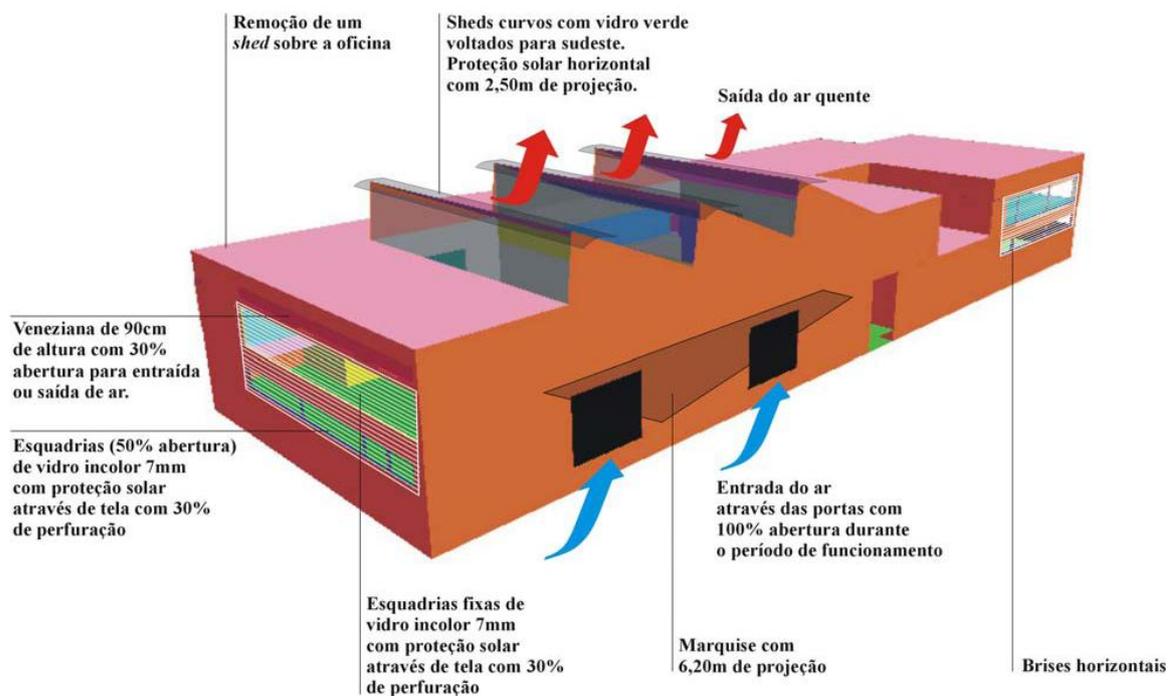


Figura 7.29: Modelagem no aplicativo de simulação TAS: Oficina.
Fonte: PETROBRÁS, 2009a.

7.2.6. Relatórios mensais de eco-eficiência

Os relatórios mensais de eco-eficiência descrevem as atividades realizadas pela Área de Eco-eficiência do Consórcio Novo CENPES para a garantia da sustentabilidade ambiental do empreendimento, a atuação na preservação ambiental, a melhoria contínua dos processos e produtos e o atendimento aos requisitos legais e contratuais.

Os princípios básicos de eco-eficiência que norteiam as atividades no CENPES abrangem medidas construtivas e procedimentos de forma a buscar o aumento da eficiência no uso de recursos, com foco na redução dos impactos socioambientais. As principais iniciativas são: redução do uso de matéria-prima, redução do consumo de energia e recursos naturais, redução de poluentes, reciclagem de materiais, eficiência energética, utilização de produtos mais duráveis e utilização intensiva dos materiais (PETROBRÁS, 2009c).

Dentre os planos e programas desenvolvidos para execução no CENPES II destacam-se (PETROBRÁS, 2009c):

- Plano de eco-eficiência: relaciona diretrizes gerais e apresenta ações a serem desenvolvidas;
- Programa de resíduos e efluentes: busca minimizar a geração de resíduos na fonte e o seu controle efetivo até a disposição final, promovendo a redução, reutilização e reciclagem;
- Programa de controle de desperdício: visa à otimização no uso racional dos materiais, energia e recursos hídricos;
- Programa de controle de erosão e sedimentação: contempla ações para controle de erosão e sedimentação, visando à contenção de sedimentos e evitando seu escoamento para fora dos limites do canteiro;
- Programa de procedência dos materiais: estabelecem diretrizes e procedimentos para controle da procedência de forma a garantir que esses tenham sido extraídos, beneficiados e manufaturados num raio de 800 km da obra. Como resultado espera-se garantir ações e responsabilidades com relação à aquisição de materiais, preferindo os compostos por conteúdos reciclados, com baixo teor de COV e madeiras certificadas;
- Programa de controle de qualidade do ar interno: objetiva garantir e controlar a qualidade do ar durante a construção, com a implantação de sistemas de minimização de exposição a vapores e particulados em suspensão.

- Programa do Projeto Bolsa de Resíduos: orienta para o gerenciamento adequado dos resíduos da construção, evitando o encaminhamento para aterros, promovendo práticas de responsabilidade social e ambiental e incentivando o sistema de doação e
- Programa do Projeto de Informativo e Comunicações: promove a divulgação dos conhecimentos, metodologias e boas práticas aplicadas.

Entre as ações de boas práticas descritas nos relatórios mensais destacam-se:

- Treinamento de funcionários, mestres e encarregados visando aumentar o nível de conscientização das frentes de trabalho na obra com relação a questões de qualidade, meio ambiente, responsabilidade social e eco-eficiência.
- Testes e estudos feitos com materiais residuais provenientes de demolição ou da obra para reaproveitamento, tais como: aproveitamento dos corpos de prova de concreto em canteiros e doação do material para a prefeitura da UFRJ para utilização em jardins; aproveitamento de resíduos de concreto como rachão⁴² para acerto de piso na área externa; confecção de quadros informativos e de caixas (para guarda e transporte de animais encontrados no canteiro) com madeira residual da obra e recolhimento de água proveniente de chuva para reaproveitamento na cura de concreto e na lavagem e umectação de pistas visando o controle de poeira em obra.

Para maior controle de qualidade da obra, todas as entradas e saídas de materiais têm de ser devidamente monitoradas, bem como a gestão do resíduo. Todos os resíduos devem ser reaproveitados quando possível ou encaminhados para a reciclagem ou para disposição final em local seguro.

Ao final do relatório apresentam-se as tabelas de gerenciamento dos resíduos contendo as seguintes informações: a identificação de cada tipo de resíduo gerado durante o mês, seu estado físico, sua classificação, as formas de acondicionamento, o transportador e o receptor do resíduo, o tratamento e a destinação final (geralmente feito por empresas), a quantidade de resíduo estocado temporariamente na obra em metros cúbicos (m³) e em kilograma (kg), o total de saída de resíduo destinado no mês (em m³ e kg) e o quantitativo total gerado no ano (em m³ e kg).

⁴² Material para aterro e drenagem proveniente da reciclagem de concreto e pedras britados.

7.2.7. Declarações Ambientais dos produtos utilizados

As Declarações Ambientais dos produtos são informações sobre os aspectos ambientais do material e seus compostos, fornecidas pelos fabricantes em forma de documento assinado e carimbado, visando garantir aos consumidores que aquelas informações são verdadeiras. Geralmente, é necessário apresentar as Declarações Ambientais dos materiais utilizados em uma construção que concorre a alguma certificação, no Brasil o LEED exige.

Dessa forma, também para fins de obtenção das certificações ambientais LEED e HQE e controle da sustentabilidade de cada material, todos os fornecedores devem informar de forma clara o conteúdo de material reciclado, se o material é considerado regional, se o produto emite COV (compostos orgânicos voláteis) e, no caso da madeira, se é certificada FSC (*Forest Stewardship Council* ou em português Conselho de Manejo Florestal)

Para facilitar o recebimento e organização dessas informações a PETROBRÁS elaborou um modelo de três tipos declaração ambiental do produto, que é enviado aos fabricantes para preenchimento e devolução, disponível no Anexo 7.

O primeiro modelo se refere às informações necessárias para classificar o produto com conteúdo reciclado e se o material é regional. Nesta declaração os fabricantes devem informar: 1) o custo total do produto no projeto – pois o LEED utiliza essa variável para calcular a porcentagem de produtos em vários critérios; 2) se o material foi produzido com conteúdo reciclado; 3) qual é a composição básica do produto final; 4) a especificação do conteúdo reciclado (em massa) de materiais reciclados que são incorporados ao produto no pré e pós-consumo; 5) se o produto é fabricado dentro de um raio de 800 km do Cenpes- informar o Município onde é produzido e a distância em linha reta ou raio do Cenpes; 6) se o local de extração das matérias-primas da natureza está dentro de um raio de 800 km do Cenpes e 7) indicação do local de extração de cada matéria-prima, sua porcentagem em massa do produto e distância até o empreendimento.

O segundo modelo de declaração se refere à informações para classificar a madeira utilizada. Nesta declaração os fabricantes devem informar: 1) o custo total do produto no projeto; 2) listagem dos produtos ou compósitos de madeira; 3) se utiliza resina a base de uréia-formaldéido para a fabricação ou montagem dos produtos de madeira listados- pois o uso dessa resina, apesar de não invalidar o ponto de madeira certificada, desqualifica o empreendimento no critério de materiais de baixa emissão de COV; 4) se utiliza essa resina deve-se anexar uma declaração de conformidade; 5) informar o número do certificado FSC e

anexá-lo juntamente com a nota fiscal dos produtos que serão utilizados; 6) informar o tipo de certificação, se é FSC 100% puro ou se é misto. Neste caso, informar a porcentagem e 7) informar a origem (local de extração) da madeira certificada, a porcentagem em massa, e a distancia do empreendimento.

A terceira declaração se refere às informações para classificar se o produto possui baixa emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Nesta declaração os fabricantes devem informar os dados quantitativos de COV em g/l (grama por litro): tipo de produto; utilização; local; fabricante e teor de COV (em g/l).

Durante a visita foi relatado pela funcionária Amanda Marques a dificuldade de obter essa declaração ambiental e reunir as informações sobre todos os materiais adquiridos para a construção do Cenpes II. Além dessas dificuldades, os materiais que têm em sua composição outros produtos processados têm de apresentar a declaração ambiental desse produto também. Vários fabricantes não preenchem por inteiro a declaração, demoram a enviar a declaração preenchida ou não sabem responder algumas informações necessárias para classificação do produto.

7.3. Subsídios para construções em estrutura em aço mais sustentáveis

Destaca-se, como resultado dessa pesquisa sobre construções em aço, alguns subsídios para os profissionais que desejam incorporar os conceitos de sustentabilidade ambiental em projetos de edificações estruturadas em aço.

Empreiteiros e fabricantes de componentes e governo também devem responder bem aos aspectos de sustentabilidade emergentes, cada um com as responsabilidades que lhe competem no processo de construção. Dessa forma também se destacam alguns subsídios para incorporar os conceitos de sustentabilidade durante a etapa da execução da obra e da fabricação de componentes.

7.3.1. Subsídios de projeto

Como resultados desse trabalho destacam-se alguns subsídios para incorporar os critérios de sustentabilidade no começo da concepção de uma edificação, ainda na etapa de projeto.

- **seleção do tipo de aço adequado para o uso desejado:** para que um material tenha um ótimo desempenho é necessário em primeiro lugar a seleção adequada do mesmo. Por exemplo, um aço inoxidável mal especificado, além de ser muito mais caro que um aço carbono, pode não apresentar desempenho adequado em um meio redutor;

- **expor a estrutura quando em ambiente não hostil:** reduzir os materiais aplicados no acabamento. Tradicionalmente pinturas e outros revestimentos são adotados para proteções contra incêndio e corrosão nas estruturas metálicas. Em condições apropriadas e dependendo do tipo de aço utilizado, a estrutura pode ser exposta com manutenção dos níveis de segurança e durabilidade;
- **escolha de revestimentos de proteção das estruturas contra corrosão e incêndio:** pesquisar revestimentos com menores impactos ambientais negativos, pensar se a aplicação de determinado revestimento irá limitar ou impedir a reciclagem do aço e escolher acabamentos corretos para cada tipo de aço e ambiente. Excetuando-se os aços estruturais, baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, alta resistência mecânica, que sob determinadas condições podem ser utilizados sem pintura, todos os demais aços estruturais para a construção requerem algum tipo de revestimento para proteção contra os efeitos da corrosão atmosférica. A estrutura também pode ser revestida, técnica que apesar de permitir uma redução nos custos dos itens pintura e proteção contra incêndio pode ser menos recomendada devido à perda das vantagens ambientais e estéticas. Existem várias formas de revestimento sendo as mais usuais: a utilização de painéis industrializados, projeção de argamassas, encapsulamento com alvenarias ou concreto;
- **utilizar componentes de fechamento industrializados:** as construções estruturadas em aço devem estar associadas ao emprego de demais componentes construtivos industrializados para potencializar as vantagens que o material oferece;
- **optar por componentes industrializados que atendam o máximo de requisitos de sustentabilidade:** pesquisar sobre o ciclo de vida dos materiais e selecionar os que atendem ao maior número de critérios sustentáveis, tais como: conteúdo reciclado, potencial para reciclagem após vida útil, possibilidade de reutilização, longa vida útil, etc., desde que em harmonia com as necessidades construtivas da edificação;
- **optar por componentes e estruturas disponíveis mais próximos da obra:** quanto mais próximos os materiais de construção dos empreendimentos, menores serão as implicações ambientais e econômicas decorrentes do transporte;
- **revestimentos dos painéis de fechamento:** especificar revestimentos de longa duração que se incorporem ao painel ou que possam ser facilmente desinstalados para posterior reutilização ou encaminhamento para a reciclagem;
- **padronização das peças:** as estruturas metálicas e os componentes de fechamento industrializados são resultados de processos industrializados, onde, repetitividade,

padronização e simplificação operacional são altamente desejáveis, pois barateia o processo e conseqüentemente o material;

- **projetar de forma modular:** nos projetos de construções industrializadas deve-se levar em consideração as dimensões dos componentes fornecidas pelos fabricantes. No caso dos painéis, a modulação pode evitar recortes nas placas e resíduos de construção e promover um melhor aproveitamento do material. No caso da aplicação de sistemas de fechamentos em *Light Steel Framing* ou *Drywall* pode-se trabalhar com a modulação de 120 cm de largura, porque os perfis geralmente são fixados com espaçamento de 40 ou 60 cm, conforme o projeto estrutural, e a maioria dos painéis leves possuem 120 cm de largura;
- **projetar para reciclagem e para a desconstrução e reuso futuro:** pesquisar formas de reutilização e reciclagem da edificação como um todo ainda na etapa de projeto. Essa questão deve ser considerada em obras sustentáveis para: elaboração de estratégias de projeto que facilitem o desmonte, reuso ou reciclagem dos materiais; orientação na especificação de materiais e acabamentos e contato com empresas que farão o trabalho de reciclagem e destinação final dos possíveis resíduos decorrentes da etapa de construção . O edifício que possui componentes fáceis de serem desmontados torna mais ágil e econômico os processos de separação dos materiais ao fim da vida útil, facilitando o reaproveitamento futuro de materiais e o encaminhamento para a reciclagem, diminuindo o impacto gerado e a energia necessária para a sua fabricação. Além disso, a separação das partes pode facilitar manutenções, reparos, atualizações e remanufatura dos produtos;
- **pensar na flexibilidade e adaptabilidade dos ambientes:** a flexibilidade de um projeto pode contemplar itens como: grandes vãos, lajes amplas e com poucos apoios, pé-direito pouco maior que os tradicionais e divisórias internas leves. Esse subsídio pode ser facilitado com a utilização de sistemas de fechamento do tipo *Light Steel Framing* ou *Drywall*, que permitem o desmonte e a reutilização de forma fácil e sem maiores desperdícios e oferecem bom acabamento;
- **considerar a compatibilidade de projetos, dimensionamento e detalhamento dos sistemas construtivos industrializados:** por se tratar de sistemas industrializados, quando se opta pela utilização de materiais que chegam praticamente prontos de fábrica, o improvisado durante a obra não é permitido. Recomenda-se que os componentes, como os painéis de fechamento, sejam montados somente após a elaboração de todos os projetos, tanto o arquitetônico quanto os complementares. Na entrega em obra todos os materiais

devem ser conferidos inclusive comparados com os projetos para evitar futuros problemas na montagem. Todos os projetos: arquitetônicos, juntamente com o projeto estrutural e de instalações prediais, devem ser coordenados e compatibilizados e, de preferência, elaborados simultaneamente após a aprovação do anteprojeto, a fim de se evitar interferências e não-conformidades que comprometam a qualidade do processo construtivo e do produto final que é a edificação. Todas as instalações, principalmente as hidráulicas e elétricas, devem ser previstas para a prévia abertura de passagens tanto nos painéis quanto nos possíveis montantes. Além disso, os esforços também devem ser previstos para a colocação de reforços nos pontos onde serão fixadas: estantes, tanques, bancadas, etc.. Detalhamento do projeto: Ao se projetar construções industrializadas o detalhamento do projeto arquitetônico é imprescindível. O projeto deve oferecer uma interpretação clara e precisa de todos os componentes e da estrutura. No projeto devem constar: tamanho, configuração, seções, detalhes de juntas, conexões, cantos do edifício, estrutura e acabamentos. Além do detalhamento, o uso de perspectivas pode facilitar o entendimento e interpretação do projeto. Um bom detalhamento do projeto de estruturas metálicas também é fundamental para se evitar o surgimento de processos corrosivos. Independentemente do tipo de aço e do esquema de pintura empregados, alguns cuidados básicos na etapa de projeto podem contribuir significativamente para melhorar a resistência à corrosão: evitar regiões de empoçamento de água e deposição de resíduos; prever furos de drenagem em quantidade e tamanho suficiente; permitir a circulação de ar por todas as faces dos perfis para facilitar a secagem; garantir espaço e acesso para realização de manutenção (pintura, etc.); impedir o contato direto de outros metais com o aço para evitar a formação de pares galvânicos e o surgimento de corrosão devido ao "efeito pilha" e evitar peças semi-enterradas ou semi-submersas;

- **modo de aplicação/ fixação** - As conexões podem ser fixadas com soldas ou aparafusadas. Para que se tenha um controle de qualidade adequado, as ligações soldadas devem ser executadas preferencialmente nas fábricas. Nas ligações a serem montadas no campo, deve-se optar pelas ligações aparafusadas que podem ser pré-montadas na fábrica, permitindo maior precisão e melhor qualidade na montagem. Sempre que possível o projetista deve evitar ou minimizar as operações de soldagem em uma obra porque, além de ser um método mais oneroso e exigir acesso fácil (lugares confinados dificultam a soldagem), as temperaturas elevadas deste processo podem provocar a expansão do metal, comprometendo as peças de fixação ou provocando trincas no concreto próximo às mesmas. Geralmente a solda de peças pesadas, que dependem de guindastes ou gruas para

a montagem, implica em execução do processo antes que as peças sejam liberadas dos equipamentos, o que aumenta o custo da obra, visto que o aluguel desses é oneroso. Outros problemas da solda: a soldagem na obra implica na necessidade de mão-de-obra especializada, inspeção e controle de qualidade mais rigorosos que o aparafusamento. Além disso, necessita do uso de energia elétrica e de equipamentos especiais. As conexões aparafusadas funcionam mesmo com folga e as soldadass não permitem qualquer movimento;

- **evitar patologias:** fazer todos os procedimentos necessários para evitar patologias tanto na estrutura quanto nos outros componentes industrializados, através da correta instalação e manutenção freqüente. Os componentes devem ser instalados de forma correta, com impermeabilização adequada, quando necessário, e juntas apropriadas;
- **Manutenção** - Um projeto deve prever meios de execução de manutenção preventiva (limpeza, pintura, inspeções, etc). Partes inacessíveis devem ser evitadas ou especialmente protegidas por ocasião da execução. Pinturas e acabamentos devem ser adequados ao meio que a estrutura estará exposta e refeitos com periodicidade regular;
- **Montagem** - as estruturas em aço devem ser especificadas corretamente, de acordo com sua função e detalhadas para a montagem correta. É importante planejar a montagem de forma que se tenha o máximo de economia na obra, pois algumas estruturas são pesadas e necessitam de aluguel de equipamentos para o içamento e montagem. Para isso deve-se planejar o processo de instalação e solicitar que as peças cheguem na seqüência pré-determinada de ordem de montagem. As conexões também devem ser planejadas para liberar os equipamentos de içamento o mais rápido possível. Os tamanhos das estruturas influirão no equipamento necessário e na forma de montagem. Por isso, quando, por motivos estéticos, houver necessidade de super dimensionar pilares ou vigas, as questões de uso operacional e de ordem econômica devem ser levadas em consideração e pesadas nas decisões projetuais;
- **em situações de construções em terrenos já ocupados, com estruturas previamente existentes:** tentar reutilizar o máximo de estruturas possíveis. Nesses casos, a solução de sistemas leves de fechamentos verticais como o *Light Steel Framing* e o *Drywall* podem e devem ser exploradas e
- **Adotar estratégias de projeto que aumentem o desempenho:** térmico, lumínico e acústico das edificações, de forma a aumentar o conforto ambiental da construção como um todo.

7.3.2. Subsídios de execução- responsabilidade dos empreiteiros

Os agentes da execução do projeto arquitetônico também podem contribuir para melhorar o desempenho ambiental de uma edificação em sua primeira etapa, a obra. Alguns subsídios para a etapa de execução:

- **responsabilidade sobre os resíduos gerados:** gestão dos resíduos da obra. Apesar das obras industrializadas gerarem menos desperdícios, os processos construtivos, invariavelmente, acabam gerando alguns restos de materiais. Todo resíduo gerado deve ser reaproveitado, reciclado ou encaminhado para empresas especializadas (principalmente no caso de resíduos tóxicos e perigosos) que oferecem destinação adequada. Essa destinação deve ser de responsabilidade do construtor e
- **adoção de iniciativas de gestão da qualidade, gestão ambiental e de segurança do trabalho na obra:** a fim de evitar desperdícios, orientar no gerenciamento de resíduos, garantir condições de trabalho dignas e seguras e diminuir os impactos ambientais.

7.3.3. Subsídios para a produção de componentes- responsabilidade dos fabricantes

No Brasil, ainda são necessários investimentos nas áreas de pesquisa e produção dos componentes de construção industrializados para desenvolver tecnologias mais eficientes e processos menos poluentes e causadores de impactos ambientais e mais econômicos. Os fabricantes têm um papel fundamental nesse aspecto. Alguns subsídios para que os fabricantes melhorem o desempenho ambiental de seus produtos:

- **aplicação de ações de comprometimento com a proteção do meio ambiente, da saúde e do bem-estar da humanidade:** elaborar metas de desempenho e desenvolver relatórios que divulguem as informações sobre iniciativas sustentáveis da empresa a fim de compensar os impactos gerados pela produção;
- **desenvolver o ciclo de vida de seus produtos:** e criar e divulgar manuais para orientar os clientes na especificação dos materiais. Devem divulgar as informações necessárias para avaliar os aspectos de sustentabilidade do produto;
- **informar os consumidores sobre possibilidades de reuso ou reciclagem do produto:** quando possível, também é necessário orientar sobre os locais de coleta de resíduos, beneficiamento ou encaminhamento para a reciclagem;
- **desenvolver produtos com inovação tecnológica adequados aos padrões sustentáveis** -produzir materiais que tenham possibilidade de reuso, reciclagem, instalação e manutenção facilitados;

- **sempre buscar novas tecnologias de eficiência no processo de produção e adaptar o próprio parque industrial:** com a implementação de estratégias arquitetônicas que promovam: o aproveitamento da luz solar e da ventilação natural e a captação de água de chuva para aproveitamento nos processos. Também se podem instalar painéis fotovoltaicos para aproveitamento da energia solar e painéis coletores solares para aquecimento da água e economia de energia. Dessa forma, além de promover melhor conforto dos funcionários e diminuir custos com instalação de ar-condicionado, energia elétrica e água, ainda tornar-se-á uma instalação modelo que refletirá as iniciativas sustentáveis da empresa;
- **atuar de acordo com os regulamentos, legislação e normas de fabricação locais:** para garantia da qualidade e padronização dos produtos;
- **adotar de sistemas de gestão da qualidade e sistemas de gestão ambiental para a produção:** para melhoramento do desempenho ambiental e da qualidade dos produtos;
- **encorajar e incentivar o uso dos componentes industrializados na construção:** com divulgação de informações e palestras das vantagens construtivas, principalmente direcionadas aos profissionais da construção civil a fim de atenuar a resistência ao uso de sistemas industrializados e diminuir a aplicação de métodos artesanais de construção. Com melhor aceitação no mercado, o consumo tende a aumentar e o seu custo tornará mais acessível.
- **estabelecer metas para o desenvolvimento sustentável da empresa e de seus produtos:** por meio da busca por melhorias contínuas do desempenho ambiental, utilização de energia e recursos naturais de maneira mais eficiente e minimização das emissões atmosféricas e da produção de resíduos líquidos e sólidos.

7.3.4. Subsídios para o governo na promoção da sustentabilidade no setor da construção

O governo também poderia incentivar práticas mais sustentáveis no Setor da Construção Civil por meio da promoção de políticas que incentivem à atividade de coleta seletiva e estimule investimentos no setor e de incentivos fiscais para a adoção de práticas sustentáveis na construção.

8. CONCLUSÕES

A sustentabilidade, assim como a inovação, é um tema amplo e não existe uma fórmula pronta. É preciso reconhecer a importância do desenvolvimento sustentável em todos os seus aspectos e fazer dele um tema central em todos os setores da sociedade. Nesse contexto, a indústria da construção é identificada como sendo particularmente importante devido à sua interferência nos aspectos econômicos, sociais e principalmente ambientais. Ao se considerar poluição ambiental, esgotamento dos recursos não renováveis e a desigualdade social, precisa-se compreender o impacto que as ações têm hoje nas oportunidades que as gerações futuras terão para desenvolver uma vida saudável e completa.

Dessa forma, é importante promover práticas e técnicas mais sustentáveis na construção civil e tornar mais eficiente a utilização e gestão dos recursos e dos resíduos. É preciso estar engajado na busca por alternativas que propiciem essas qualidades nos projetos arquitetônicos, e conseqüentemente, nos empreendimentos. Nos últimos anos as construtoras brasileiras fizeram progressos consideráveis, mas ainda será necessário mudar o paradigma: continuar tentando construir em curtos espaços de tempo e a custos baixos, porém aumentando a qualidade e o desempenho ambiental das edificações, acrescentando as reflexões necessárias durante a etapa de projeto para garantir a sustentabilidade.

Um dos maiores desafios à implantação de projetos mais sustentáveis é a racionalização da produção de componentes voltados para a construção dos edifícios. O aço na construção civil deve ser sinônimo de construção racionalizada sendo imprescindível seu uso aliado a componentes construtivos industrializados. No momento em que a sustentabilidade se tornou um imperativo na arquitetura, a construção em aço, por suas características, responde às necessidades dos empreendedores e dos usuários como um material eficiente.

O uso dos componentes pré-fabricados e industrializados nas construções, associados às novas técnicas de montagem, facilidades de transporte desses e decomposição do edifício em elementos de tamanho reduzido, representa uma redução considerável do trabalho no canteiro de obras, diminui o seu tempo de execução e por muitas vezes gera menores impactos ambientais, contribuindo para a promoção da sustentabilidade no setor e aliando essa característica à economia de tempo tanto almejada pelas construtoras.

Apesar de ser uma solução considerável para diminuição dos impactos da construção, os produtos industrializados e as estruturas metálicas podem vir a ter um custo muito alto, se

comparados aos métodos tradicionais, e exigem mão-de-obra mais qualificada para a montagem, o que ainda inviabiliza a aplicação em grande parte das construções brasileiras.

Acredita-se, no entanto, que nos próximos anos, em função da importância do aspecto ambiental, haverá um aumento na demanda por produtos e sistemas construtivos que otimizem a construção e aumentem a eficiência e o desempenho das edificações, o que resultará em produtos mais racionalizados e com menor custo.

O mercado de construções sustentáveis irá exigir cada vez mais por materiais de bom desempenho ambiental e pouca energia incorporada, se possível com possibilidade de reciclagem e baixa geração de resíduos. Conclui-se que os sistemas construtivos do futuro deverão propiciar: a gestão ecológica do edifício durante todas as etapas, desde a construção e uso até o fim da vida útil e a economia de recursos, não só durante a obra, mas também no seu processo de fabricação e descarte (possibilidade de reciclagem).

Percebeu-se com essa pesquisa a importância da seleção dos materiais em uma obra comprometida com as questões ambientais e as variáveis sobre todo o ciclo de vida do produto que devem ser conhecidos para orientar essa decisão. Os resultados levaram à constatação da complexidade e dispersão dos dados dos produtos analisados disponíveis sobre o tema.

O despreparo das indústrias nacionais com relação às questões de sustentabilidade envolvidas foi visível durante a análise dos painéis verticais. Constata-se que a maioria dos fabricantes não dispõe de todas as informações necessárias para avaliar o grau de sustentabilidade dos materiais oferecidos. Nenhum dos produtores avaliados soube informar, por exemplo, sobre as emissões de CO₂ resultante do processo e a quantidade de água e energia gasta na produção de cada painel. Alguns fabricantes não disponibilizam informações precisas sobre a origem de todos os componentes de fabricação e sobre as propriedades térmicas e acústicas do material.

O levantamento de informações sobre os materiais de construção utilizados são de extrema importância no desenvolvimento de um projeto sustentável. Por meio da análise de suas características e composição, consegue-se prever e antecipar possíveis problemas na manutenção durante a vida útil do edifício. Essas informações também são importantes nas etapas de construção e de demolição (já no fim da vida útil), pois vão orientar na busca por soluções de destinação adequadas e de menor impacto para materiais residuais (entulho). A declaração ambiental de produtos já tem sido fornecida por algumas empresas para os arquitetos e engenheiros que precisam comprovar as informações do material para órgãos certificadores, sendo um dos pontos vitais do processo de desenvolvimento de projetos de

edificações mais sustentáveis. Essas informações deveriam estar disponíveis nos sites dos fornecedores, de forma que o acesso seja facilitado e disponibilizado para todos os usuários, otimizando o tempo dos agentes envolvidos no setor da construção civil.

Nesse processo os fabricantes de componentes e as próprias empresas da siderurgia deveriam responder melhor às questões ambientais emergentes. Os fornecedores deveriam divulgar todas as informações sobre iniciativas ambientais, quantidade de recursos gastos na produção e propriedades térmicas e acústicas dos produtos industrializados a fim de facilitar a seleção e especificação dos materiais construtivos ideais para cada projeto, principalmente para os empreendimentos que estão concorrendo a alguma certificação ambiental.

Com o aumento do conhecimento do *statu quo*, seria possível a adoção de medidas objetivas para aumentar o desempenho ambiental dos produtos, tais como: promover iniciativas que compensem os impactos ambientais de produção, buscar matérias-primas que gerem menores impactos como, captar e utilizar água de chuva no processo de produção; investir em fontes de energia renovável, etc.

Os dados coletados ainda não foram suficientes para uma análise completa do ciclo de vida dos painéis e avaliação da sua sustentabilidade, mas já reúnem informações pouco divulgadas e importantes para orientar a seleção dos fechamentos verticais e implementar estratégias para aumentar a sustentabilidade da edificação.

Com base na comparação entre as vantagens e desvantagens da aplicação de cada tipo de painel, devido à ampla gama de critérios sustentáveis que devem ser considerados na escolha, pode-se concluir que não existe a melhor opção entre os tipos analisados e sim o melhor painel para determinada situação ou necessidade de uso.

Finalmente, conclui-se que dificilmente serão encontrados todos os aspectos sustentáveis em um mesmo elemento e em seu processo de existência e descarte, para qualquer aplicação. Por isso, deve-se priorizar desde o início, o conhecimento do lugar, as atividades e os requisitos e as necessidades do futuro empreendimento na elaboração da concepção arquitetônica, buscando as soluções específicas de menores impactos e adaptadas ao clima local, colaborando à Sustentabilidade global.

Com o desenvolvimento dessas investigações espera-se que os fabricantes atentem para a necessidade de desenvolvimento de materiais mais compatíveis com as exigências sustentáveis atuais. Sendo assim, outros trabalhos podem vir a pesquisar painéis de fechamentos verticais e outros componentes industrializados destinados à construção dentro dessa nova abordagem ambiental que reflete a tendência mundial.

Sugere-se para pesquisas que desejam continuar esse trabalho o estudo dos aspectos ambientais e econômicos de edificações completas estruturadas em aço que utilizam diferentes componentes industrializados. Nessa análise poder-se-ia investigar o total de gastos com matéria-prima por metro de parede e considerar não só os painéis, mas todo o seu sistema estrutural e a possível colocação de materiais isolantes. Da mesma forma os outros componentes industrializados disponíveis para aplicação em edificações também poderiam ser analisados.

Numa análise mais completa poderiam ser feitas avaliações do desempenho térmico e acústico dos materiais por meio de medições em ambientes construídos. Neste caso, os aspectos de manutenção e o levantamento de manifestações patológicas poderiam ser anotados, ao mesmo tempo. Ao final do trabalho poder-se-ia, apresentar os resultados e fazer estudos comparativos a respeito das vantagens e desvantagens da aplicação de cada tipo de componente entre si, focando não só os aspectos ambientais, mas também os econômicos e apresentando quantitativos de gastos de material, recursos e desempenho térmico e acústico, já que a maioria dos painéis analisados não apresentam esses dados.

Graças à dinâmica do mercado, outros painéis que estão em fase de teste e lançamento também poderiam ser contemplados na pesquisa, como complementação a esse trabalho.

REFERÊNCIAS

AMBASZ, Emílio. Fukuoka Prefectural International Hall. Disponível em: <<http://www.emilioambaszandassociates.com/portfolio/portfolio.cfm?Pid=7>>. Acesso em: 3 jan. 2010.

ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável. **IDHEA**, fev. 2005. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/artigos_entrevistas.asp>. Acesso em: 3 jan. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001:2008**- Sistema de gestão da qualidade- Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:2004**- Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**- Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009**- Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5706**: Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1977.

BARBOSA, Carlos Felipe de Oliveira. **Sustentabilidade dos painéis de concreto Premo**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, pelo engenheiro de planejamento da fábrica Premo, Vespasiano, Minas Gerais, 3 set.2009.

BASTOS, M. A. R. ; SOUZA, H. A. Da necessidade de informação e conhecimento para um consumo consciente: a visão crítica de usuários de edificações que incorporam técnicas e componentes construtivos inovadores. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC, 2007. v. 1. p. 181-190.

BIES, D.A.; HANSEN, C.H. **Engineering Noise Control**: Theory and Practice. 3a. ed. London e New York: Spon Press, 2003. 719p.

BISTAFA, S.R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo Edgard Blücher, 2006. 368 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2008**: Ano base 2007 Sumário executivo. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética EPE, 2008. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSumarioExec2008.aspx>> Acesso em: fev. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 Brasileira** – Ações Prioritárias. Brasília: IBAN/ISER/REDEH, 2002. 127p.

BRASIL. Portaria INMETRO nº 53, de 27 de fevereiro de 2009. **Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Brasília, 2009a.

BRASIL. Portaria INMETRO nº 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, 2009b.

BRASILIT. **Brasiplac Plus**- placa cimentícia impermeabilizada. 2009. (Catálogo de produtos).

- BRASILIT. **Guia de Reformas com placa cimentícia impermeabilizada e masterboard**. 2010. (Catálogo de produtos). Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/download/produtos/Guiadereformas.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2010.
- BRASILIT. **Processo Hatschek** [mensagem pessoal]. 2009b. Material cedido e enviado por e-mail. 21 dez.2009.
- BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Tradução Alexandre Salvaterra .2. ed. Porto Alegre : Bookman, 2004.
- BRUNDTLAND, G.H. **Our Common future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press. 398 p. 1987.
- CABREIRA, Cristiane Vieira. **Patrimônio Sustentável: A experiência francesa e a realidade brasileira. Reflexões para a preservação de edifícios históricos no Brasil segundo o referencial francês da Haute Qualité Environnementale - HQE®**. 2010. 218f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CAMPARI, Giovanni Di Prete. Nosso Brasil. A utopia dos arranha-céus sustentáveis. **Arquitextos**, São Paulo, n.072, Portal Vitruvius (online), 2006. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp367.asp>>. Acesso em: 1 dez. 2009.
- CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologias dos Edifícios em Estrutura Metálica**. 1999. 190f. Dissertação (Mestrado em Construções Metálicas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- CITHERLET, S.; HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and Environment**. v. 37, 2002, p. 845-856.
- CONSTRUÇÕES em aço: características. **CBCA-** Centro Brasileiro da Construção em Aço. Disponível em:<<http://www.cbca-ibs.org.br>> Acesso em: 10 jan. 2009.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos-** conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- CORBIOLI, Nanci. Steel Framing fez a diferença. **PROJETODESIGN**, edição 341, Jul. 2008. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/steel-framing-fez-a-diferenca-o-sistema-28-08-2008.html>> Acesso em: 05 out. 2009.
- COSTA, Regina Maria Xavier; ARAÚJO, Ernani Carlos de; SOUZA, H. A.. A interface entre perfis tubulares metálicos com o fechamento externo em painéis metálicos e em vidro. In: Congresso Internacional da Construção Metálica, 2006, Ouro Preto, MG. **Anais do III CICOM**, 2006. v. 1. p. 1-16.
- COSTA, Regina Maria Xavier; SOUZA, Henor Artur de; ARAÚJO, Hernani Carlos de. **A interface entre os perfis tubulares e o sistema de fechamento vertical externo**. São Paulo: Ed. Adonis, 2009.
- DEGANI, Clarisse Menezes; CARDOSO, Francisco Ferreira. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico**. In: NUTAU Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano, 2002. Anais... São Paulo: NUTAU, 2002.
- DIAS, Glória. **Sustentabilidade das chapas de gesso acartonado**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, pela engenheira química da fábrica da Knauf, Queimados, Rio de Janeiro, 16 jul.2009.
- DRUSZCZ, Mônica Tabor. **Avaliação dos Aspectos Ambientais dos Materiais de Construção Civil: uma Revisão de Bibliografia com Estudo de Caso do Bloco Cerâmico**. 2002. 154f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

DRYWALL- Associação Brasileira dos fabricantes de Chapas para Drywall. **Manual de montagem de sistemas Drywall**. São Paulo: Pini, 2004.

DRYWALL- Associação Brasileira dos fabricantes de Chapas para Drywall. **Manual de projeto de sistemas Drywall**: paredes, forros e revestimentos. São Paulo: Pini, 2006.

DRYWALL- Associação Brasileira dos fabricantes de Chapas para Drywall. **Resíduos de gesso na construção civil**: Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem. 2009.

DRYWALL. **Associação Brasileira dos fabricantes de Chapas para Drywall**. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/>> Acesso em: 20 dez. 2008.

ELETOBRÁS/PROCEL. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/eletobras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>> Acesso em 24. dez. 2007.

ETERNIT . **Eterplac-placa cimentícia**. Disponível em: <<http://www.etermit.com.br/produtos/eterplac>> Acesso em: 10. Jun. 2009.

FORNAZARI, A. L. T. et al. Aplicação da Degradação Eletroquímica de Efluentes Composto por Misturas de Fenol –Formaldeído. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>>. Acesso em: 21 jan. 2010.

FOSTER&PARTNERS. Hearst Tower. Disponível em: <<http://www.fosterandpartners.com/Projects/1124/Default.aspx>>. Acesso em: 3 jan. 2010.

FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes. **Steel Framing**: Arquitetura. Rio de Janeiro: CBCA – Centro brasileiro de construção em aço, 2006.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação Processo AQUA**. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/conteudo.asp?cod_site=0&id_menu=493>. Acesso em: jun. 2010.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial técnico de certificação- Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA- Escritórios e Edifícios escolares**. São Paulo: © FCAV, 2007. v. 0. Disponível em: <<http://www.vanzolini.org.br/>>. Acesso em: dez. 2009.

GBC BRASIL – GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. 2010. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br>>. Acesso em: 4 de janeiro de 2010.

GERDAU. **Processo de produção do aço**. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/port/pops/processo_aco/movies/home_flash.asp>. Acesso em: 9 jan. 2009.

GERDAU. **Unidades de Coleta e Processamento**. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/meio-ambiente-e-sociedade/reciclagem-unidades-de-coleta-e-processamento.aspx>>. Acesso em: 5 fev. 2010.

GERGES, S. N. Y. **Ruído**: Fundamentos e Controle, Ed. UFSC, 1992.

GERVÁSIO, Helena. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. In: CONSTRUMETAL, 2008a, São Paulo. **Anais...** Disponível em: <http://www.construmetal.com.br/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf> Acesso em: 10. Jan. 2009.

GERVÁSIO, Helena. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**. Trabalho apresentado no Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2008b. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>> Acesso em: 10. Jan. 2009.

GERVÁSIO, Helena; SILVA, Luís Simões da. A sustentabilidade do aço. In: V CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA E MISTA, 2005, Lisboa. **Anais...** Disponível em: <http://www.cmm.pt/gcom/publicacoes/conf_nac/cn_173.pdf> Acesso em: 10. Jan. 2009.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise. **Cenpes II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro**: uma atitude ambiental inovadora na arquitetura brasileira. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. ENCAC 2005 - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0258/Goncalves_&_Duarte-encac_2005.pdf> Acesso em 09 jan. 2009.

GPAS. Grupo Projeto, Arquitetura e Sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisa/gpas/>>. Acesso em: 25 jul. 2010.

HERMSDORFF, Mariana Martins de Carvalho. **A estrutura metálica como solução para a habitação de interesse social**: uma avaliação pós-ocupação do conjunto habitacional Oswaldo Barbosa Penna II, Nova Lima – MG. 2005. 181f. . Dissertação (Mestrado em Construções Metálicas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

HOLCIM. **Relatório de sustentabilidade 2007**. Disponível em: <<http://www.holcim.com.br/BR/PT/id/1610649449/mod/5/page/channel.html>>. Acesso em: 08 nov. 2009.

INABA, Roberto. Construção Metálica: A idade do aço. **ARCOweb**, n. 243, mai. 2000. Entrevista concedida à Revista ARCOweb. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/construcao-metalica-09-04-2008.html>> Acesso: em: 10 jan. 2009.

INCROPERA, F. P.; DEWIT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008. Tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. Original em inglês. Fundamentals of heat and mass transfer, 6 th ed. 644 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Indústria do aço e o meio ambiente**. 2009a. Folder. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br> > Acesso: em: 05 jan. 2010.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Parque Produtor do Aço** [mensagem pessoal]. Material cedido e enviado por e-mail. 10 dez. 2009. 2009b.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2009**. 2009c. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br> > Acesso: em: 05 jan. 2010.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Siderurgia no Brasil**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/siderurgia-no-brasil--desenvolvimento.asp>> Acesso: em: 05 jan. 2010.

JOHN, Vanderley. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (livre docência em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, Vanderley M.; OLIVEIRA, Daniel P.; LIMA, José A. R. **Levantamento do estado da arte**: Seleção de materiais. 2007. Projeto Finep Tecnologias para a Construção Habitacional mais Sustentável. Disponível em: <<http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 29 jan. 2010.

JOHN, Vanderley; SILVA, Vanessa Gomes; AGOPYAN, Vahan. Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2001, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2001.

KINSLER, L.E., FREY, A.R., CONPPENS, A.B., SANDERS, J.V. **Fundamentals of Acoustics**. 3 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1982. 480 p.

KNAUF. **Declaração ambiental do produto**- chapa de gesso Standard. Rio de Janeiro, 2008. Material cedido durante a visita técnica à fábrica Knauf, 16 jul.2009.

KNAUF DRYWALL UK. **Futurepanel Carbon Neutral Plasterboard** - The Future in Your Hands. Disponível em: < <http://www.knaufdrywall.co.uk/futurepanel/>> Acesso em: 20 dez. 2008.

KNAUF. **Durock placa de cimento**. 2009a. (Catálogo de produtos).

KNAUF. **Paredes Knauf**. 2009b. (Catálogo de produtos).

KNAUF. **Processo de produção** 2009c. Material cedido durante a visita técnica à fábrica Knauf, 16 jul.2009.

KNAUF. **Produtos**. 2009d. Site Oficial. Disponível em: < <http://www.knauf.com.br>>. Acesso em: 4 dez. 2009.

KRÜGER, Paulo Von. **Análise de Painéis de Vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 167f. Dissertação (Mestrado em Construções Metálicas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

KRÜGER, Paulo Gustavo Von ; SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho . Desempenho de painéis de vedação. **Téchne**. Revista de Tecnologia da Construção, São Paulo, n. 56, p. 78-81, 2001.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito?. **Proposta**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 71, p. 1-5, 1997.

LAFARGE. **Lafarge Plasterboard Austrália**. Disponível em: <<http://www.lafargeplasterboard.com.au/home/>> Acesso em: 26 jul. 2009.

LAMBERTS, Roberto. et al. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila da Disciplina ECV-5161. 5ª Edição. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ecv_5161.html> Acesso em 24. dez. 2007.

LEMOINE, Bertrand. **Aço, um material de construção ecológica para um desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <http://www.cbca-ibs.org.br/nsite/site/meio_ambiente.asp> Acesso em: 09.jan.2008.

LEMOINE, Bertrand. **Aço, um material que não prejudica o meio ambiente para o desenvolvimento sustentável**. In: CICOM, 2002. Disponível em: <http://www.cbcaibs.org.br/nsite/site/meio_ambiente.asp> Acesso em: 09.jan.2008.

LP BRASIL. **Produtos**. 2009. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/index.asp>>. Acesso em: 1 jul. 2009.

LUCCHETTE, Francieli Fernanda. **Sustentabilidade dos painéis OSB** [mensagem pessoal]. 2009. Mensagem recebida por <robertaqg@yahoo.com.br> em 11 ago. 2009. Informações concedidas a Roberta Carvalho Machado, pela gerente técnica da fábrica LP Brasil, Ponta Grossa, Paraná, 11 ago. 2009.

MANENTI, Leandro. Princípios de ordem projetual na obra de Vitruvius. **Arquiteturarevista**. UNISINOS, v. 6, p. 1-11, 2010.

MARQUES, Flávia Miranda. **A importância da seleção de materiais de construção para a sustentabilidade ambiental do edifício**. 2007. 148f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MARQUES, Flávia Miranda; SALGADO, Mônica. **Padrões de sustentabilidade aplicados ao processo de projeto**. 2007. In: Workshop brasileiro de gestão do processo de projetos na construção

de edifícios. 2007. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-16.pdf>>. Acessado em 17/07/2008.

MASISA. **Desenvolvimento sustentável.** 2010. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.masisa.com/bra/por/desenvolvimento-sustentavel/gestao-ambiental>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

MASISA. **Painel estrutural OSB Masisa.** Recomendações Práticas. 2003. Disponível em: <<http://www.masisa.com/bra/por/produto/recomendacoes-praticas-osb/aplicacoes-na-construcao-seca/paredes/1507/493/>>. Acesso em: 5 jul.2009.

MASISA. **Processo de fabricação.** 2009. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.masisa.com/bra/por/produto/processo-de-fabricacao/1481/456/>>. Acesso em: 4 out. 2009.

MARTINS, Tathiane Agra de Lemos. **O Referencial HQE® e o Projeto de Arquitetura:** Diretrizes para sustentabilidade ambiental no contexto do semi-árido alagoano. Reflexões sobre a cidade de Pão de Açúcar – AL. 2010. 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MET@LICA. **Painéis: painel cimentício.** Disponível em: <http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=537>. Acesso em: 10. Jun. 2009.

MONTES, Maria Andréa Triana. Diretrizes para Incorporar Conceitos de Sustentabilidade no Planejamento e Projeto de Arquitetura Residencial Multifamiliar e Comercial em Florianópolis. 2005. 187f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2005.

NAIDITCH, Suzana. Caçadores de sucata. **Exame**, São Paulo, 30 out. 2008. Disponível em: <<http://portalexame.abril.com.br/revista/exame/edicoes/0930A/especiais/cacadores-sucata-396050.html>>. Acesso em: 4 de janeiro de 2010.

NAKAMURA, Roberto Hiroyuki. **Sustentabilidade dos painéis OSB** [mensagem pessoal]. 2009. Mensagem recebida por <robertaqq@yahoo.com.br> em 16 dez. 2009. Informações concedidas a Roberta Carvalho Machado, pelo supervisor técnico da fábrica LP Brasil, Ponta Grossa, Paraná, 16 dez. 2009.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do. **Alvenarias.** Rio de Janeiro: IBS/ CBCA: 2004.

OLIVEIRA, Carine Nath de. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações.** 2009. 197f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, Daniel P.; LEITE, Fernanda L.; SCHMITT, Carin M.; BONIN, Luis C. **Considerações sobre a introdução de requisitos ambientais para projeto de edificações no contexto brasileiro.** In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. 4°. Rio de Janeiro, 2004. Artigo Técnico.

PAVI DO BRASIL. **Pré-fabricados em G.F.R.C.** Disponível em: <http://www.pavidobrasil.com.br/tec_gfrc_oqe.asp>. Acesso em: 10 mai. 2010.

PETROBRAS. **Implementação de Empreendimentos para o CENPES.** [Material cedido durante visita às instalações do Cenpes durante visita técnica os dias de 6 a 9 de outubro de 2009. out.2009]. Rio de Janeiro, 2009a.

PETROBRAS. **Modelos de Declaração ambiental de produtos.** [Material cedido durante visita às instalações do Cenpes durante visita técnica os dias de 6 a 9 de outubro de 2009. out.2009]. Rio de Janeiro, 2009b.

PETROBRÁS. **Relatório mensal de eco-eficiência**: agosto 2009. [Material cedido durante visita às instalações do Cenpes durante visita técnica os dias de 6 a 9 de outubro de 2009. out.2009]. Rio de Janeiro, ago., 2009c.

PETROBRÁS. **Parâmetros utilizados nos relatórios de eco-eficiência - RL-0250.00-8200-190-ZAF-112**. [Material cedido durante visita às instalações do Cenpes durante visita técnica os dias de 6 a 9 de outubro de 2009. out.2009]. Rio de Janeiro, mar., 2006a.

PETROBRÁS. **Relatório de Acompanhamento para Adequação ao Padrão LEED III RL-0250.00-8200-190-ZAF-111**. [Material cedido durante visita às instalações do Cenpes durante visita técnica os dias de 6 a 9 de outubro de 2009. out.2009]. Rio de Janeiro, jan. 2006b.

POÇO, Desirée de Jesus Vieira. **Apresentação do empreendimento CENPES II**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, pela técnica de projetos, construção e montagem da Petrobrás, Rio de Janeiro, 6 out..2009.

PRECON. **Painel arquitetural**. 2009. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.precon.com.br/Site/Novo/Paineis/Default.php>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

PREMO. **Painéis arquitetônicos de fachada**. 2009. (Catálogo de produtos).

PREMO. **Painéis industriais de vedação**. 2010. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.premo.com.br/solucoes.php>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

RIBAS, Rovadavia Aline de Jesus. **Avaliação das condições físico-construtivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço**. Estudo de caso: prédio da em da UFOP. 2006. 187f. Dissertação (Mestrado em Construções Metálicas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

ROAF, Susan. **Ecohouse**: a casa ambientalmente sustentável. Tradução Alexandre Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, Ana Paula. Peças de concreto viram agregado para a pavimentação interna em obra da TKCSA no Rio de Janeiro. **PINIweb**, 11 nov. 2009. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/pecas-de-concreto-viram-agregado-para-a-pavimentacao-interna-em-156035-1.asp>>. Acesso em: 5 dez. 2009.

SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, Francisco de Assis das. Construção Industrializada em aço: Estrutura metálica associada a fechamentos pré-fabricados. **Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia**, Vitória-ES, v. 05, n. 01, p. 11-17, 2002.

SALUM, Emerson. **Sustentabilidade dos painéis cimentícios**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, pelo Supervisor Técnico da fábrica da Brasilit, Capivari, São Paulo, 14 jul.2009.

SANTOS, Sílvio Xavier; HASTENREITER, José. **Sustentabilidade dos painéis de concreto Precon**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, pelo Diretor técnico e desenvolvimento e gerente de SMARI (Segurança, meio-ambiente e relações industriais) da fábrica Precon, Pedro Leopoldo, Minas Gerais, 4 set.2009.

SERRADOR, Marcos Eduardo. **Sustentabilidade em arquitetura**: referências para projeto. 2008. 267f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SILVA, Geraldo Gomes. **Arquitetura do ferro no Brasil**. São Paulo: Nobel, 1988.

SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da; AGOPYAN, Vahan. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: estágio atual e perspectivas para desenvolvimento no Brasil. **Revista de Engenharia Ciência e Tecnologia**, Vitória, p. 3-8, v. 4, n. 3, 2001.

SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da. **Painéis de vedação- Série Manual de Construção em aço**. Rio de Janeiro: IBS- Instituto Brasileiro de Siderurgia/ CBCA- Centro brasileiro de construção em aço, 2004.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica**. 2003. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SIMEÃO, Liliane. Situação alarmante. **Setor reciclagem**, 10 jul. 2004. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/>>. Acesso em: 3 out. 2009.

SOBREIRA, Fabiano. Concursos e sustentabilidade: os riscos da onda verde. **Arquitextos**, São Paulo, Portal Vitruvius (online), n. 107, 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp512.asp>> Acesso em: 1 dez. 2009.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luis. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos: EdUFSCar, 2006.

STÉPHANE, C.; IAIN, M. Integrated assessment of thermal performance and room acoustics. **Energy and buildings**. v. 35, 2003, p. 249-255.

SUSTENTABILIDADE: Estruturas Metálicas tem papel fundamental. **Construção metálica**, São Paulo: ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica, n. 90, 2008. Disponível em: <<http://www.abcem.com.br/midia-revista-online.php>> Acesso em: 10 jan. 2009.

SUSTENTAX- história. 2009a. Disponível em: <<http://www.gruposustentax.com.br/historia.html>>. Acesso em: 5 dez. 2009.

SUSTENTAX- Selos SustentaX. 2009b. Disponível em: <<http://www.selosustentax.com.br/Produtos/home.php>>. Acesso em: 5 dez. 2009.

TERMKCAL DO BRASIL. **Painel Easy Socket**. Disponível em: <<http://www.termkcal.com.br/ProdutoPaineis.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

USEPLAC. **Placas delgadas de concreto**. Disponível em: <<http://www.useplac.com.br/placas-cimenticias>> Acesso em: 10. Jun. 2009.

USGBC - US Green building council. **LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System**. 2009. v. 3. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1971>>. Acesso em: dez. 2009.

USGBC- US Green Building Council. LEED Projects & Case Studies Directory. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/LEED/Project/CertifiedProjectList.aspx?CMSPageID=247>>. Acesso: 16 mar. 2010.

USIMINAS. **Processo de fabricação**. Disponível em: <<http://www.usiminas.com/irj/portal?NavigationTarget=navurl://43b5d4f93667200385f48660e9e547cc>>. Acesso em: 9 jan. 2009.

VANTAGENS DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Met@lica**. Disponível em: <<http://www.metlica.com.br>> Acesso em: 10. Jan. 2009.

VENDA da Vale Abate US\$ 780 Milhões em Juros. **O Estado De São Paulo**. São Paulo, 27 abr. 1997. p. B1.

VILLAÇA, Lúcia V. Materiais de bem com o meio ambiente. **Arquitetura e Construção**, São Paulo, Nov. 2004, p.82- 85, 2004.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **A Avaliação do desempenho ambiental da edificação: Um instrumento de gestão ambiental - Estudo de caso em indústria farmacêutica**. 2004. 22f. Dissertação

(Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ZAMBRANO, Leticia Maria de Araújo. **Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura**. 2008. 380f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ZANETTINI, Siegbert. A arquitetura é o equilíbrio entre o racional e o sensível. **PROJETO DESIGN**, n. 274, dez. 2002. Entrevista concedida a Éride Moura e Adilson Melendez. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/entrevista/entrevista37.asp>> Acesso em: 9 jan. 2009.

ZANETTINI, Siegbert; GARCIA, José Wagner. Ampliação do Cenpes - Centro de Pesquisas da Petrobras. **REM**, Ouro Preto, jun. 2007.

ZANETTINI, Siegbert. **Projetos contemporâneos estruturados em aço**. 2009. Entrevista concedida a Roberta Carvalho Machado, São Paulo, 7 abr. 2009.

ZANETTINI, Siegbert. **Vista aérea CENPES II, Rio de Janeiro, RJ**. [Acervo pessoal: material cedido e enviado por e-mail] jun. 2009b. 7 fotografias.

WINES, James. **Green Architecture**. 2. ed. Los Angeles: Taschen, 2008.

YEANG, Ken: Exploring His Vision. **CNN**, Hong Kong. 20 jul. 2007. Disponível em: <<http://www.cnn.com/2007/TECH/science/07/18/yeang.vision/>>. Acesso em: 5 dez. 2009.

ANEXO 1: Categorias AQUA

Fonte: FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007.

Tabela guia para uso pelo empreendedor para a hierarquização das categorias de QAE em função dos desafios ambientais estabelecidos

Extraída da norma NF P01-020-1 "Qualidade ambiental dos edifícios - Parte 1: Orientação metodológica para a descrição e a caracterização dos desempenhos ambientais e sanitários dos edifícios" ("*Qualité environnementale des bâtiments - Partie 1: Cadre méthodologique pour la description et la caractérisation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments*")

PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS	OBJETIVOS DE CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EXTERIORES E INTERIORES DO EDIFÍCIO										
	PRESERVAR OS RECURSOS			REDUZIR A POLUIÇÃO			REDUZIR OS RESÍDUOS	REDUZIR OS INCOMODOS		MELHORAR O CONFORTO	PRESERVAR A SAÚDE
	Energia	Matérias primas	Água	Ar	Água	Solo		Ruídos	Odores		
Local e construção											
1 Relação do edifício com o seu entorno											
1.1 Consideração do contexto	SC						SC	SC	SC	SC	SC
1.2 Implantação no terreno	SC				SC	SC		SC	SC	SC	SC
2 Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos											
2.1 Adaptabilidade e durabilidade do edifício							X			X	
2.2 Escolhas de processos construtivos	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
2.3 Escolhas de produtos de construção	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
2.4 Fim de vida do edifício / desconstructibilidade / reciclabilidade		X		P		P	P	X			X
3 Canteiro de obras											
3.1 Produção de resíduos, identificação, gestão dos resíduos		X				X	P				
3.2 Incômodos e poluição				P	P	P	X	P	P		X
3.3 Recursos - consumo de água e energia	P		P		X						
Gestão											
4 Energia											
4.1 Energia primária não renovável	P										X
4.2 Incômodos e poluição	X			P			X	X	X		
5 Água											
5.1 Economia de água potável			P		X					X	X
5.2 Gestão de águas pluviais no terreno			X		X	X			X		
5.3 Esgotamento sanitário			X		X	SC			X		
6 Resíduos de uso e operação do edifício											
6.1 Controle da produção de resíduos						X	P			X	
6.2 Adequação entre coleta interna e externa							P	X			
6.3 Controle da seleção dos resíduos							X		X		X
6.4 Otimização do sistema de coleta interna							P		X	X	X
7 Conservação e manutenção											
7.1 Otimização das necessidades em manutenção	P	X	P	P	P		X			X	
7.2 Controle dos efeitos ambientais e sanitários da manutenção	X		X	X	P			X	X		P
7.3 Facilidade de acesso para manutenção	X		X		SC		X			X	X
7.4 Equipamentos para manter o desempenho em uso e operação	P	X	P	X	P		X	X	X	X	X

P	Relação forte existente entre preocupação e objetivo, devendo ser prioritariamente examinada pelo empreendedor, desafios ambientais importantes
X	Outra relação identificada entre preocupação e objetivo, ou relação induzida
SC	Relação podendo existir dependendo do contexto, a ser examinada caso a caso
	Uma célula em branco não significa necessariamente uma total ausência de relação (a ser analisada caso a caso)

PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS		OBJETIVOS DE CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EXTERIORES E INTERIORES DO EDIFÍCIO												
		PRESERVAR OS RECURSOS			REDUZIR A POLUIÇÃO			REDUZIR OS RESÍDUOS	REDUZIR OS INCÔMODOS		MELHORAR O CONFORTO	PRESERVAR A SAÚDE		
		Energia	Matérias primas	Água	Ar	Água	Solo		Ruídos	Odores				
Conforto														
8 Conforto higratérmico														
	8.1 No inverno e na meia-estação	P			X							P		
	8.2 No verão	P			X							P	X	
9 Conforto acústico														
	9.1 Disposições arquitetônicas espaciais											P	X	
	9.2 Isolamento acústico											P	X	
	9.3 Correção acústica dos ambientes (se necessária)											X	P	
	9.4 Efeitos dos ruídos na vizinhança											X	P	
10 Conforto visual														
	10.1 Consideração da iluminação natural												P	X
	10.2 Iluminação artificial	X											P	X
	10.3 Relação visual com o exterior												X	X
	10.4 Iluminação artificial das áreas exteriores	X											X	
11 Conforto olfativo														
	11.1 Fontes de odores desagradáveis					X		SC				P	X	X
	11.2 Sensações olfativas desagradáveis	X				X	X					P	X	
Saúde														
12 Qualidade sanitária dos ambientes														
	12.1 Tratamento do ambiente interior e das superfícies							X				X		P
	12.2 Condições específicas de higiene (equipamentos coletivos ou profissionais)							X				X		P
13 Qualidade sanitária do ar														
	13.1 Fontes de poluição							X				X		P
	13.2 Efeitos dos poluentes do ar na saúde	X					X					X		P
14 Qualidade sanitária da água														
	14.1 Manutenção da qualidade da água de consumo nas redes internas do edifício			X		P								P
	14.2 Controle de acessos às redes coletivas de distribuição													X
	14.3 Controle da qualidade da água proveniente de rede de água não potável			X		P						X		P

P	Relação forte existente entre preocupação e objetivo, devendo ser prioritariamente examinada pelo empreendedor, desafios ambientais importantes
X	Outra relação identificada entre preocupação e objetivo, ou relação induzida
SC	Relação podendo existir dependendo do contexto, a ser examinada caso a caso
	Uma célula em branco não significa necessariamente uma total ausência de relação (a ser analisada caso a caso)

ANEXO 2: Exemplos de itens de Sustentabilidade a serem avaliados para a obtenção do Selo SustentaX

Fonte: SUSTENTAX, 2009b.

Exemplos de itens de sustentabilidade a serem avaliados para a obtenção do Selo SustentaX.

1. Diagnóstico do local de implantação do projeto;
2. Critério para escolha de sistemas e componentes hidráulicos;
3. Critério para armazenamento e coleta seletiva de resíduos;
4. Critério para interferência na construção existente;
5. Critério para reutilização de móveis e outros componentes;
6. Critério para priorização de emprego de materiais reciclados;
7. Critério para emprego de materiais regionais;
8. Critério para emprego de materiais rapidamente renováveis;
9. Critério para emprego de madeira certificada;
10. Critério para seleção de tintas, vernizes, colas, selantes, carpetes, laminados e compensados;
11. Critério para projeto de local para armazenamento de materiais poluentes;
12. Critério para projeto de salas de impressão;
13. Critério para proporcionar iluminação natural adequada para ocupantes;
14. Critério para proporcionar visão externa para os ocupantes;
15. Instruções para sub-contratados e prestadores de serviços;
16. Critérios para atendimento de questões de Acessibilidade;
17. Critérios para atendimento de questões de Ergonomia;
18. Critérios para atendimento de questões de Acústica; e
19. Ter compromisso com questões socioambientais.

Fonte: SUSTENTAX, 2009b.

ANEXO 3: LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Project Checklist

USGBC - US Green building council. **LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Project Checklist**. 2009 v.3.. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1971>>. Acesso em jan. 2010.

			LEED 2009 for New Construction and Major Renovation		
			Project Checklist		
			Project Name		
			Date		
0	0	0	Sustainable Sites		Possible Points: 26
Y	N	?			
Y			Prereq 1	Construction Activity Pollution Prevention	
			Credit 1	Site Selection	1
			Credit 2	Development Density and Community Connectivity	5
			Credit 3	Brownfield Redevelopment	1
			Credit 4.1	Alternative Transportation—Public Transportation Access	6
			Credit 4.2	Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms	1
			Credit 4.3	Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles	3
			Credit 4.4	Alternative Transportation—Parking Capacity	2
			Credit 5.1	Site Development—Protect or Restore Habitat	1
			Credit 5.2	Site Development—Maximize Open Space	1
			Credit 6.1	Stormwater Design—Quantity Control	1
			Credit 6.2	Stormwater Design—Quality Control	1
			Credit 7.1	Heat Island Effect—Non-roof	1
			Credit 7.2	Heat Island Effect—Roof	1
			Credit 8	Light Pollution Reduction	1
0	0	0	Water Efficiency		Possible Points: 10
Y			Prereq 1	Water Use Reduction—20% Reduction	
			Credit 1	Water Efficient Landscaping	2 to 4
				Reduce by 50%	2
				No Potable Water Use or Irrigation	4
			Credit 2	Innovative Wastewater Technologies	2
			Credit 3	Water Use Reduction	2 to 4
				Reduce by 30%	2
				Reduce by 35%	3
				Reduce by 40%	4

0	0	0	Energy and Atmosphere		Possible Points:	35
Y			Prereq 1	Fundamental Commissioning of Building Energy Systems		
Y			Prereq 2	Minimum Energy Performance		
Y			Prereq 3	Fundamental Refrigerant Management		
			Credit 1	Optimize Energy Performance		1 to 19
				Improve by 12% for New Buildings or 8% for Existing Building Renovations		1
				Improve by 14% for New Buildings or 10% for Existing Building Renovations		2
				Improve by 16% for New Buildings or 12% for Existing Building Renovations		3
				Improve by 18% for New Buildings or 14% for Existing Building Renovations		4
				Improve by 20% for New Buildings or 16% for Existing Building Renovations		5
				Improve by 22% for New Buildings or 18% for Existing Building Renovations		6
				Improve by 24% for New Buildings or 20% for Existing Building Renovations		7
				Improve by 26% for New Buildings or 22% for Existing Building Renovations		8
				Improve by 28% for New Buildings or 24% for Existing Building Renovations		9
				Improve by 30% for New Buildings or 26% for Existing Building Renovations		10
				Improve by 32% for New Buildings or 28% for Existing Building Renovations		11
				Improve by 34% for New Buildings or 30% for Existing Building Renovations		12
				Improve by 36% for New Buildings or 32% for Existing Building Renovations		13
				Improve by 38% for New Buildings or 34% for Existing Building Renovations		14
				Improve by 40% for New Buildings or 36% for Existing Building Renovations		15
				Improve by 42% for New Buildings or 38% for Existing Building Renovations		16
				Improve by 44% for New Buildings or 40% for Existing Building Renovations		17
				Improve by 46% for New Buildings or 42% for Existing Building Renovations		18
				Improve by 48%+ for New Buildings or 44%+ for Existing Building Renovations		19

			Credit 2	On-Site Renewable Energy		1 to 7
				1% Renewable Energy		1
				3% Renewable Energy		2
				5% Renewable Energy		3
				7% Renewable Energy		4
				9% Renewable Energy		5
				11% Renewable Energy		6
				13% Renewable Energy		7
			Credit 3	Enhanced Commissioning		2
			Credit 4	Enhanced Refrigerant Management		2
			Credit 5	Measurement and Verification		3
			Credit 6	Green Power		2

Materials and Resources

Possible Points: 14

Prereq 1	Storage and Collection of Recyclables	
Credit 1.1	Building Reuse—Maintain Existing Walls, Floors, and Roof	1 to 3
	Reuse 55%	1
	Reuse 75%	2
	Reuse 95%	3
Credit 1.2	Building Reuse—Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements	1
Credit 2	Construction Waste Management	1 to 2
	50% Recycled or Salvaged	1
	75% Recycled or Salvaged	2
Credit 3	Materials Reuse	1 to 2
	Reuse 5%	1
	Reuse 10%	2
Credit 4	Recycled Content	1 to 2
	10% of Content	1
	20% of Content	2
Credit 5	Regional Materials	1 to 2
	10% of Materials	1
	20% of Materials	2
Credit 6	Rapidly Renewable Materials	1
Credit 7	Certified Wood	1

0	0	0	Indoor Environmental Quality	Possible Points: 15
Y			Prereq 1 Minimum Indoor Air Quality Performance	
Y			Prereq 2 Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control	
			Credit 1 Outdoor Air Delivery Monitoring	1
			Credit 2 Increased Ventilation	1
			Credit 3.1 Construction IAQ Management Plan—During Construction	1
			Credit 3.2 Construction IAQ Management Plan—Before Occupancy	1
			Credit 4.1 Low-Emitting Materials—Adhesives and Sealants	1
			Credit 4.2 Low-Emitting Materials—Paints and Coatings	1
			Credit 4.3 Low-Emitting Materials—Flooring Systems	1
			Credit 4.4 Low-Emitting Materials—Composite Wood and Agrifiber Products	1
			Credit 5 Indoor Chemical and Pollutant Source Control	1
			Credit 6.1 Controllability of Systems—Lighting	1
			Credit 6.2 Controllability of Systems—Thermal Comfort	1
			Credit 7.1 Thermal Comfort—Design	1
			Credit 7.2 Thermal Comfort—Verification	1
			Credit 8.1 Daylight and Views—Daylight	1
			Credit 8.2 Daylight and Views—Views	1

0	0	0	Innovation and Design Process	Possible Points: 6
			Credit 1.1 Innovation in Design: Specific Title	1
			Credit 1.2 Innovation in Design: Specific Title	1
			Credit 1.3 Innovation in Design: Specific Title	1
			Credit 1.4 Innovation in Design: Specific Title	1
			Credit 1.5 Innovation in Design: Specific Title	1
			Credit 2 LEED Accredited Professional	1
0	0	0	Regional Priority Credits	Possible Points: 4
			Credit 1.1 Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit 1.2 Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit 1.3 Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit 1.4 Regional Priority: Specific Credit	1
0	0	0	Total	Possible Points: 110
Certified 40 to 49 points Silver 50 to 59 points Gold 60 to 79 points Platinum 80 to 110				

ANEXO 4: Declaração ambiental do produto- chapa de gesso Standard KNAUF.

Rio de Janeiro, 2008. Material cedido durante a visita técnica à fábrica Knauf, 16 jul.2009.



 DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO - PRODUTOS COM VOC - Certificação Green Building LEED	
PROJETO:	
Chapa de Gesso ST <small>Nome do Material/Produto (especificar nome do produto ou material)</small>	Knauf do Brasil Ltda/ Knauf <small>Nome do Fornecedor/Fabricante (razão social fornecedor ou fabricante)</small>
Endereço: Rod. Presidente Dutra Km 198,5	
Contato: Omair Zorzi	Telefone: 21 2195-1166/ 21 9276-2143
PRODUTOS COM BAIXA EMISSÃO VOC	
O presente documento tem como objetivo a confirmação dos dados quantitativos de VOC (compostos orgânicos voláteis) em g/l dos produtos listados abaixo, a fim de colaborar para a certificação de empreendimentos, segundo a metodologia LEED. Especificar os limites de VOC (g/l) dos produtos que podem ser fornecidos ao	
Produtos	VOC (g/l)
/	
/	
/	
/	
/	
/	
/	
/	
/	

Declaro, para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação.

A Chapa de Gesso ST não possui VOC.

Local e data: 12/09/08

Assinatura e carimbo:  

KNAUF DO BRASIL LTDA
 Escritório Centro : Praça Floriano, 19 - 31º andar - CEP 20031-050 - Centro - RJ - Tel.: 55 21 2195-1161 - Fax: 55 21 2195-1191
 Fábrica: Rod. Pres. Dutra Km 198,5 - CEP 26360-720 - Queimados - RJ - Tel.: 55 21 2195-1101 - Fax: 55 21 2195-1191



DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO - CONTEÚDO RECICLADO E MATERIAL REGIONAL - Certificação Green Building LEED				
PROJETO:				
Chapa de Gesso ST Nome do Material/Produto <i>(especificar nome do produto ou material)</i>		Knauf do Brasil Ltda/ Knauf Nome do Fornecedor/Fabricante <i>(razão social fornecedor ou fabricante)</i>		
Endereço: Rod. Presidente Dutra Km 198,5				
Contato: Omair Zorzi		Telefone: 21 2195-1166/ 21 9276-2143		
CUSTO TOTAL DO PRODUTO DO PROJETO (R\$):				
CONTEÚDO RECICLADO				
1. Esse material/produto foi produzido com conteúdo reciclado?		<input checked="" type="radio"/> Sim		<input type="radio"/> Não
2. Especificar a composição básica do produto final (matéria-prima): Sulfato de Calcio, cartão, liquificante, amido, espumante etc...				
3. Especificar a massa de materiais reciclados que foram incorporados ao produto final:				
Conteúdo reciclado	% por peso	% por volume	Pré-consumo	Pós-consumo
Papel Jornal	0,5		<input type="checkbox"/>	X
MATERIAL REGIONAL (800KM)				
4. O material ou produto é fabricado dentro de um raio de 800 km do empreendimento (.....)? Informar o local/município: Rio de Janeiro/ Queimados Informar a distância (em linha reta ou raio): 1307 _____(km)		<input type="checkbox"/> SIM	X NÃO	
5. O local de extração das matérias-primas da natureza está situado dentro de um raio de 800 km do empreendimento (.....)?		<input type="checkbox"/> SIM	X NÃO	
6. Indicar o local de extração/origem de cada matéria-prima e distância (raio em linha reta) até o empreendimento (.....)?				
Matéria-prima	% massa	Local de extração/origem	Distância (km)	
Sulfato de Calcio	95	Pernambuco	2060	
Cartão	3	Alemanha	10000	
Amido	0,5	Minas Gerais	777	
Liquificante	0,5	São Paulo	394	

Declaro, para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação.

Local e data: 12/09/2008

Assinatura e carimbo: _____

KNAUF DO BRASIL LTDA
Escritório Centro : Praça Floriano, 19 31º andar – CEP 20031-050 – Centro – RJ – Tel.: 55 21 2195-1161 – 55 21 2195-1191
Fábrica: Rod. Pres. Dutra Km 198,5 – CEP 26360-720 – Queimados – RJ – Tel.: 55 21 2195-1101 – Fax: 55 21 2195-1191

ANEXO 5: Entrevista com arquiteto Siegbert Zanettini

No Brasil já se percebe um movimento em busca de uma arquitetura mais sustentável por parte dos profissionais ligados à construção civil. As questões de sustentabilidade, principalmente com foco ambiental, estão inseridas nos projetos de arquitetos mais sensíveis nesse aspecto. Este é o caso do escritório Zanettini Arquitetura, em São Paulo, coordenado pelo arquiteto e professor da FAU/USP Siegbert Zanettini, que já desenvolve há algum tempo uma arquitetura mais consciente.

O arquiteto Siegbert Zanettini ao longo de mais de 50 anos de carreira já trabalhou com vários materiais, produzindo diversos projetos com madeira, concreto e a partir da década de 70 começou a trabalhar também com o aço, até então um material pouco explorado no país. Pouco a pouco seus trabalhos foram modificando a história da arquitetura brasileira. Sempre em busca de novas tecnologias, esse profissional, encontrou no desafio de desenvolver o projeto de ampliação do Centro de Pesquisas da Petrobrás (Cenpes II), a chance de integrar todos os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos com as experiências de aplicação de diversos materiais durante toda a sua carreira.

O profissional entrevistado teve um papel fundamental para a consolidação do aço no Brasil e destaca-se pelo uso de tecnologias limpas em projetos racionalizados e construções industrializadas. O arquiteto considera que a ampliação do Cenpes ofereceu à equipe a oportunidade e as condições propícias para uma ocorrência global dos fundamentos que ele define como arquitetura contemporânea.

Em busca de mais informações sobre sua experiência profissional com o uso do aço e de tecnologias limpas e industrializadas e sobre os desafios de se desenvolver um projeto sustentável do porte do novo Cenpes, foi realizada, como parte da metodologia dessa dissertação, uma entrevista com o arquiteto em abril de 2009, no seu escritório localizado em São Paulo.

A entrevista foi iniciada com uma contextualização, feita pelo arquiteto, dos desafios que encontrou ao começar a utilizar o aço em seus projetos, por ser o pioneiro nessa área no Brasil.

O Cenpes é uma espécie de grande síntese de uma experiência em aço desde a década de 70 e houve uma evolução muito grande na maneira de conceber obras em aço, na qual eu criei uma teoria toda no Brasil. Praticamente eu fui o homem que deu grande impulso no aço no Brasil e isso foi muito importante [...] com os experimentos que eu fui fazendo, fui construindo uma teoria. Porque, você imagina, no fim da década de 60 falar em aço no Brasil era falar grego [...] Não existia escola, não existia curso, não existia disciplina, não existia nada. As escolas não tratavam de aço, não tinha

disciplina de aço, só se falava em concreto por causa da arquitetura moderna que marcou toda a Escola Paulista praticamente e a Carioca [...] E o aço ficou relegado a segundo plano, enquanto demais países todos do mundo desenvolveram tecnologias fantásticas e não só na década de 70, mas na década de 20. Mies van der Rohe fazia prédios excelentes em Chicago nas décadas de 20 e 30, com qualidade excepcional. E a grande maioria dos edifícios americanos são de aço [...] Ninguém trabalha com concreto. No Japão 87% das obras são em aço. Na Inglaterra, hoje, 65% das obras são em aço. A Europa inteira só faz construções em aço agora, construções de porte (ZANETTINI, 2009).

Zanettini defende o uso do aço no desenvolvimento da nova arquitetura, a contemporânea e critica o estilo moderno. Zanettini acredita numa mudança no paradigma de como projetar, onde o foco principal do projeto não é mais a estética.

Então, realmente é a matéria que caracteriza aquilo que eu chamo de arquitetura contemporânea [...] Por quê? Porque o aço, de uma certa maneira, sintetiza uma série de aspectos que as outras tecnologias não conseguiram alcançar e elas estavam sempre amarradas a uma visão unidimensional, onde a questão estética era a questão de referência [...] Eu acho que a partir do Centro Pompidou houve um começo de ruptura desse processo. Quer dizer, havia necessidade de se colocar a questão estética como uma questão e não “A” questão. Ela é uma questão importante, como sempre foi em arquitetura, mas não era ela que conduzia o processo da obra. Ela era um coadjuvante importante. Foi e sempre será. Então o que me levou a repensar, eu e vários arquitetos do mundo inteiro [...], quem trabalha nessa linha aqui no Brasil: eu e o Lelé, fora do Brasil: o Renzo Piano, o Richard Rogers, Norman Foster, Calatrava, essa turma faz arquitetura contemporânea, não faz arquitetura moderna há muito tempo já. E junto com eles eu aqui. Achava que a arquitetura moderna estava se esvaziando, estava perdendo o significado dela. O significado era a causa que ela defendia, que era a causa social que ela defendia, e que ela foi perdendo ao longo do tempo isso e se transformando mais em um estilo, o estilo da arquitetura moderna. Edifício cúbico e isotrópico em todas as direções e concreto aparente, o que se faz até hoje... Então nós estamos atrasados 40, 50 anos em relação à arquitetura contemporânea no mundo inteiro (ZANETTINI, 2009).

Para Zanettini é impossível fazer uma obra limpa sem o uso de componentes industrializados. Ele não confia no controle de desperdício e na gestão da qualidade em obras convencionais. A solução para uma obra limpa e sustentável, segundo Zanettini, deve começar pela especificação de materiais industrializados desde a etapa de projeto e essa opção fica clara no projeto do Cenpes II.

Venho evoluindo tanto no aspecto de industrialização da construção, que é a base fundamental da estruturação da tecnologia limpa. Você não consegue fazer uma tecnologia limpa em obras convencionais [...] Esse monte de terra que vai até o final, com caçambas pelas ruas, com resíduos para todo lado é um desperdício brutal. Então a arquitetura de base artesanal é sem controle e depende de operários não especializados e de mão-de-obra de baixa qualificação [...] Então, eu venho lutando há mais de 50 anos para fazer uma

arquitetura de base industrial com tecnologia limpa, todas as minhas obras são assim. O canteiro não é lugar de construção, é lugar de montagem. O Cenpes é o supra-sumo disso. Você vai lá e assiste uma obra sendo montada com velocidade brutal. Então falar do Cenpes, não é falar do Cenpes, é falar de uma existência toda de projeto que está ligada a uma visão sobre Arquitetura Contemporânea aqui no Brasil [...] então essa teorização passa por vários aspectos. Passa primeiro por uma relação com o meio-ambiente não como um corolário, como complemento, mas como estrutural da concepção arquitetônica. Hoje se você falar que uma obra é não sustentável, já é falar que é démodé, fora da época. Você hoje falar que numa obra não participam os intervenientes todos, que são multidisciplinares, também é uma visão superada. Para você ter uma idéia, no Cenpes trabalharam 250 especialidades, para você ver o nível de complexidade que têm os projetos hoje (ZANETTINI, 2009).

O arquiteto relembra sua trajetória profissional no desenvolvimento de obras sustentáveis e a opção por aplicar o aço em seus trabalhos.

Como era uma coisa que eu vinha fazendo há quase 40 anos, você vai ver obras minhas, todas elas ligadas à flora, usando madeira cultivada, usando tecnologia limpa e usando essa relação de profundo respeito com o meio-ambiente [...] Então esse respeito à paisagem, respeito ao lugar, respeito às heranças culturais e às suas tradições e respeito à sua época caracteriza a minha arquitetura. Fazer uma arquitetura retrógrada ou retro nostálgica eu não aceito fazer e são poucos que não fazem isso. Eu acho que colocado isso a gente volta ao ponto inicial. Por que eu desenvolvi o aço? Eu não desenvolvi só o aço, eu desenvolvi a madeira, desenvolvi o solo cimento, desenvolvi o concreto [...] Para mim não é a tecnologia que faz o projeto, e nem o material que faz a obra. Você se apropria das tecnologias, se apropria dos materiais para fazer a obra naquele significado que ela tem [...] E o Cenpes, de certa maneira, caracteriza a reunião exacerbada de tudo isso (ZANETTINI, 2009).

Zanettini afirma que a formação de uma equipe de profissionais multidisciplinares e a integração total dessa equipe é imprescindível para o sucesso de um projeto sustentável devido ao seu grau de abrangência, magnitude e complexidade. O projeto do Cenpes contou com o apoio de vários profissionais que participaram juntos das decisões projetuais.

Trabalharam ali: 30 disciplinas, 3 laboratórios, 258 técnicos, profissionais e consultores, para produzir talvez a obra mais complexa [...], de nível mundial e complexidades resolvidas integradamente, porque nasceu integradamente, foi feita multi-disciplinarmente. Os multidisciplinares não são complementares, mas estruturais. O resultado dela é um resultado harmônico [...] como forma, como avanço, como tecnologia, como forma de enfrentar a paisagem. Ele está sendo acompanhado por uma equipe dentro da Petrobrás que está preparando material para a certificação, tanto no LEED, quanto na certificação francesa HQE e vai ser platina tranquilamente. Então, não foi esse o fim, isso foi a decorrência. Uma decorrência porque o que eu queria era demonstrar um projeto de tal importância para um órgão, que hoje é a principal empresa do país, é que era possível fazer no país um projeto do século 21, que era possível desenvolver no país um projeto com brasileiros, com tecnologias brasileiras, com

cabeças brasileiras. E que essas cabeças não estivessem separadas, mas integradas num projeto comum. Desde o seu início. Então, desde o primeiro dia eu reuni aqui, com vinte, trinta pessoas, dos mais altos níveis, de laboratórios, e eu disse vamos fazer um projeto que realmente marque, que dê um novo marco para arquitetura no Brasil. Esse projeto vai ser um paradigma para a arquitetura no Brasil, ele vai mudar a maneira de focar a arquitetura (ZANETTINI, 2009).

Sobre a escolha do aço como elemento estrutural principal dos edifícios que compõe o complexo de ampliação do Cenpes, Zanettini explica:

Foi pelo que eu já disse. Se eu defendi um canteiro limpo, um canteiro organizado [...] No Cenpes o canteiro é uma coisa de louco, trabalham 2500 homens lá, cada firma com um uniforme específico, protegido, máxima segurança. Não tem um acidente. Não tem material espalhado para todo o lado [...], é um processo de montagem da obra. A obra não é um lugar de resolver coisas. O que resolve antes é todo o processo pensado, planejado e projetado até seus últimos detalhes. Com todas as disciplinas envolvidas [...] tudo que você pode imaginar de coisa nova tem ali [...]. Só esse projeto tem 100 mil desenhos. Entre desenhos e memoriais de especificações (ZANETTINI, 2009).

Sobre os fechamentos industrializados para edificações estruturadas em aço, Zanettini alerta sobre os problemas que podem surgir quando não são instalados de forma adequada. Zanettini relata as patologias que ocorreram no seu próprio escritório, uma construção em estrutura metálica, com fechamentos industrializados, construída em 1987. A partir desta obra, os resultados com o desempenho de alguns sistemas permitiram que o arquiteto conseguisse aperfeiçoar o grau de precisão de seus projetos e o uso de elementos telescópicos em esquadrias e painéis de fechamento para absorver sem patologias a movimentação da estrutura.

O aço é um material flexível e elástico, em confronto com todos os demais materiais. Porque obra não é aço. Aço é estrutura e obra é o resto. E como é esse resto? Como você põe um piso, um teto, uma parede, um caixilho? [...] A minha experiência ao longo desse tempo todo teve vários tropeços. Encostar uma alvenaria no aço, daqui a pouco dá uma fissura. Uma pilastra, quando o calor bate naquela face, dilata imediatamente no aço e na alvenaria ele retarda. Portanto têm coeficientes térmicos diferenciados, isso faz com que dê movimentações. Portanto, toda a tecnologia do aço é tecnologia de não escoramento, mas de separações, de juntas telescópicas, de juntas móveis. Eu desenvolvi uma tecnologia de que você não coloca nada preso a nada, ele é travado, mas não preso. Se você prende o vidro no aço, ele dilata e o vidro não dilata. Já estourou vários vidros aqui. Essa obra tem 20 e tantos anos então, foi uma espécie de experiência muito rica minha, que deu um monte de problemas por causa disso [...] Você vê um material como esse aqui, por exemplo, [...] Fibrocimento com madeira dentro, só que há 20 e tantos anos atrás não existia cupim. Hoje São Paulo está infestado de cupins. Então o cupim come a madeira e começa a dar todas as fissuras que você está vendo aqui. Então vira e mexe tem que trocar painel aqui [...]. Vai

mostrando claramente, que à medida que vai passando o tempo, há uma natural convergência de materiais que são mais apropriados àquela tecnologia. A tecnologia de aço é uma tecnologia para montagem, seja o painel de concreto, sejam painéis de vários tipos de aço que eu tenho usado [...], divisórias leves, *Drywall*. Materiais que você pode trabalhar da mesma forma industrializadamente e dando todas essas juntas possíveis para o aço trabalhar [...]. Então qual é a tendência? De você usar painéis presos, seja de concreto ou qualquer material, que tenha um bom conforto térmico. Uma obra em aço tem conforto térmico? Uma obra de aço não tem conforto térmico porque ela é tira, é linha, é perfil. Não é aí que passa o calor. O calor passa na parede [...]. O que tem que ser térmico são os painéis, fechamentos, coberturas, telhas, o que faz a capa do fechamento. E toda essa capa tem que estar integrada a esse processo movimentador, que é o processo elástico e flexível da estrutura metálica (ZANETTINI, 2009).

Sobre a questão das conexões das construções em aço, Zanettini defende o uso de estruturas para montagens totalmente aparafusadas e evita as conexões soldadas, destacando os problemas decorrentes desse procedimento.

É tudo aparafusado [...]. Essa obra (escritório) é totalmente aparafusada. [...] É a primeira obra que veio pronta da fábrica. Está vendo aí o parafuso preto? Isso é original, faz vinte e tantos anos que isso está aí. Vem pronta e você monta [...]. Quando você tem solda, a hora que você faz uma solda na obra você desmancha tudo que ela tem de proteção: o *primer*, a pintura intumescente. Tudo aquilo que você for por no aço para protegê-lo do fogo, você vai desmanchar porque a solda consome tudo. Então não pode ter solda na obra. Ou se tiver solda tem que ter uma série de cuidados especiais para controle desse ponto soldado. Mas eu evito muito nas obras minhas. Minhas obras são montagem. E se possível montagem já feita na fábrica. Vem com o parafuso porque fica aí há 25 anos e se você pega uma chave e isso desparafusa, não enferruja (ZANETTINI, 2009).

Quando perguntado sobre o reuso das estruturas após a vida útil, Zanettini apresenta o exemplo da desmontagem e reutilização do próprio escritório inteiro.

Esse escritório está com a tendência de ser desmontado. Como você está vendo estão comprando todas essas áreas aqui, estão loucos para comprar essa aqui. Já me ofereceram, como eles sabem que essa é uma obra de arte, é uma obra histórica no país em termos de aço, montar o escritório em outro lugar. Desmontam aqui e montam em outro lugar. Por coincidência está acontecendo isso aqui. Estão comprando todas as áreas aqui na Vila Olímpia. Dos lados só tem terreno. Eu estou aqui quase que sozinho já [...] Então vai acontecer isso ou não. Se eu ficar aqui eles dão um jeito de incorporar esse edifício no contexto novo de prédios (ZANETTINI, 2009).

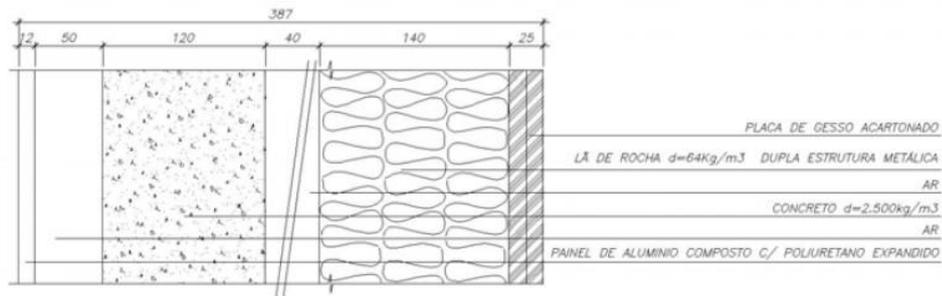
ANEXO 6: TIPOS DE FECHAMENTOS VERTICAIS INDUSTRIALIZADOS POR AMBIENTE

FONTE: PETROBRÁS, 2006a.

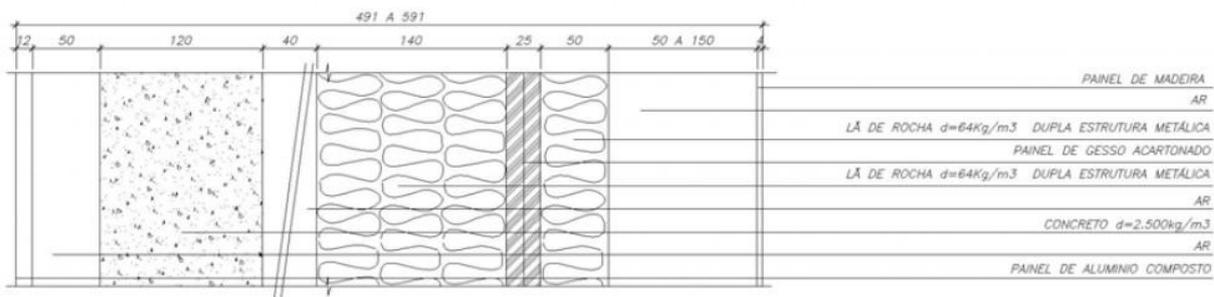
AMBIENTE	Materiais empregados por ambiente
CENTRO DE CONVENÇÕES	
Lanchonete	PAR 5 – Parede dupla de concreto
Foyer	PAR 27 – Parede interna do auditório com gesso PAR 28 – Parede interna do auditório com madeira PAR 31 – Parede externa do auditório com gesso PAR 10 – Parede externa com gesso (350 mm) PAR 20 – Parede interna isolada PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1
Salas de reunião multiuso	PAR 17 – Parede externa com isolamento acústico PAR 20 – Parede interna isolada
Área de eventos	PAR 17 – Parede externa com isolamento acústico PAR 5 – Parede dupla de concreto
Auditório	PAR 31 – Parede externa do auditório com gesso PAR 32 – Parede externa do auditório com madeira PAR 27 – Parede interna do auditório com gesso PAR 28 – Parede interna do auditório com madeira
LABORATÓRIOS	
Laboratórios	PAR 34 – Pannel de concreto com laminado PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm)
Gabinete	PAR 34 – Pannel de concreto com laminado PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm)
PRÉDIO CENTRAL	
Escritório leste 2º pavimento	PAR 18 – Parede externa de alumínio com gesso PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm) PAR 19 – Pannel de divisória interna
Escritório oeste 2º pavimento	PAR 18 – Parede externa de alumínio com gesso PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm) PAR 19 – Pannel de divisória interna
	PAR 18 – Parede externa de alumínio com gesso PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm) PAR 19 – Pannel de divisória interna
EMPREITEIRÓPOLIS	
Refeitório	PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1 ¹⁸ PAR 21 – Parede interna com gesso (150 mm) ¹⁹ PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1 ²⁰
Cozinha quente	PAR 9 – Parede externa com cerâmica (430 mm) PAR 9 – Parede externa com cerâmica (330 mm) PAR 25 – Parede interna isolada com cerâmica 1 ²¹ PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1 ²² PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2
Vestiário feminino (armários)	PAR 33 – Parede externa com laminado (430 mm) PAR 33 – Parede externa com laminado (330 mm) PAR 21 – Parede interna com gesso (150 mm) ²³ PAR 34 – Pannel de concreto com laminado
OFICINAS	
Oficinas	PAR 1 – Parede de concreto PAR 20 – Parede interna isolada PAR 21 – Parede interna com gesso (150 mm) PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1
Escritório Administração	PAR 14 – Parede externa isolada PAR 20 – Parede interna isolada
Escritório Oficina	PAR 14 – Parede externa isolada

	PAR 20 – Parede interna isolada
Escritório Administração	PAR 14 – Parede externa isolada PAR 20 – Parede interna isolada
PLANTA-PILOTO	
Desenvolvimento Sustentável e Abastecimento	PAR 1 – Parede de concreto PAR 10 – Parede externa com gesso (100mm)
RESTAURANTE	
Refeitório (mesas, <i>buffet</i> quente e frio)	ESQ 2 – Vidro laminado simples (verde)
Cozinha (quente e fria)	PAR 26 – Parede interna isolada com cerâmica 2 PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2
Padaria	PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2
Montagem de Refeições - lanches	PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2
Higienização	PAR 3 – Parede de concreto com cerâmica PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2
ORQUIDÁRIO	
Laboratório	PAR 15 – Parede isolada com cerâmica externa PAR 14 – Parede externa isolada PAR 25 – Parede interna isolada com cerâmica 1 PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1
Escritório	PAR 14 – Parede externa isolada PAR 20 – Parede interna isolada PAR 21 – Parede interna com gesso (150 mm)

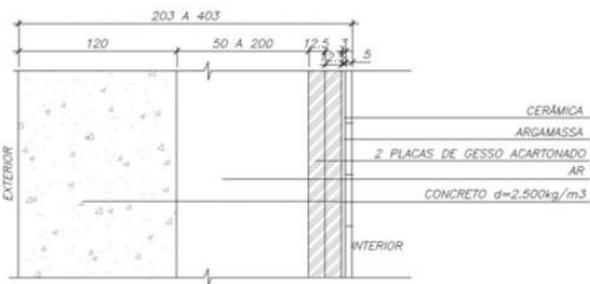
PAR 7 – Parede externa do auditório com gesso (alum)



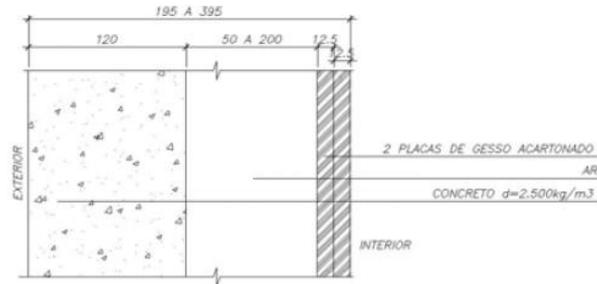
PAR 8 – Parede externa do auditório com madeira (alum)



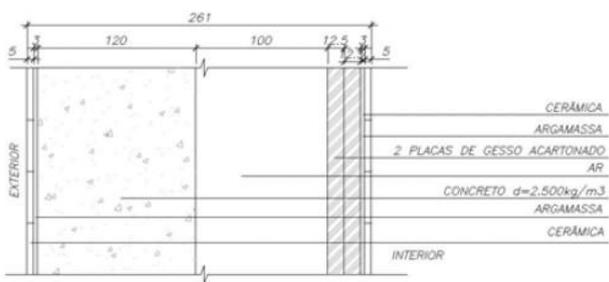
PAR 9 – Parede externa com cerâmica



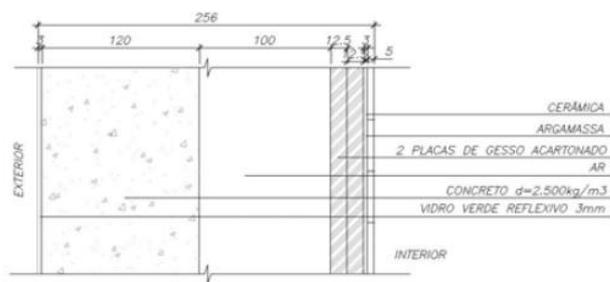
PAR 10 – Parede externa com gesso



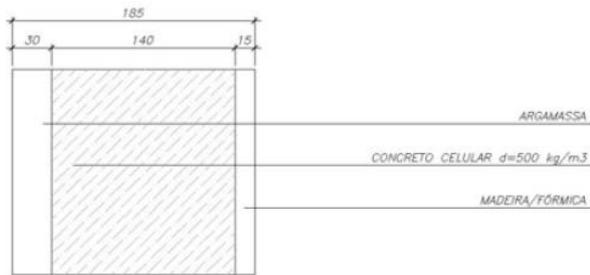
PAR 11 – Parede externa com cerâmica int e ext



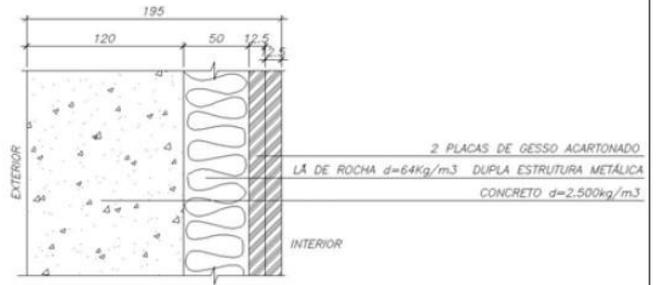
PAR 12 – Parede externa com cerâmica int e vidro



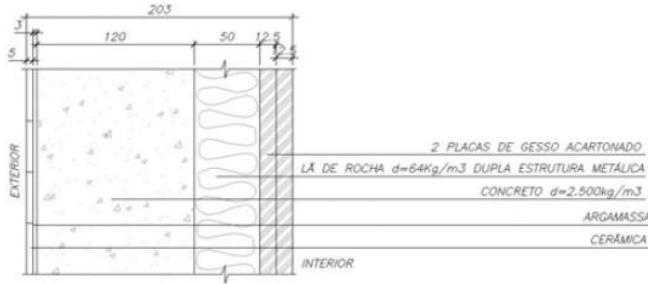
PAR 13 – Parede externa com concreto celular



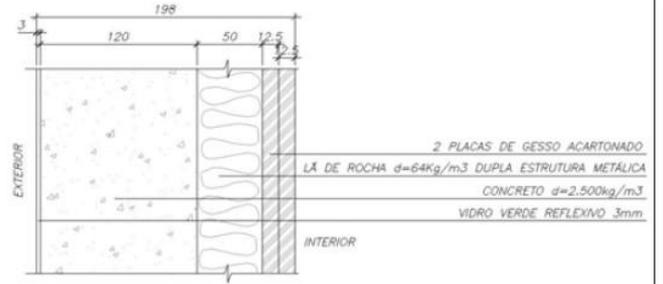
PAR 14 – Parede externa isolada



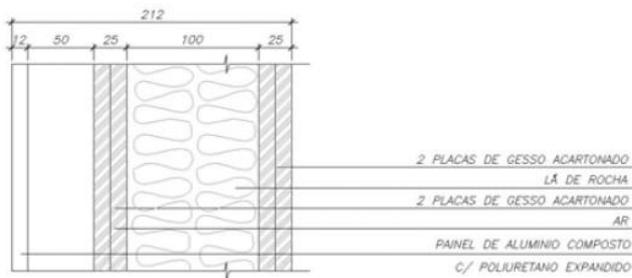
PAR 15 – Parede isolada com cerâmica externa



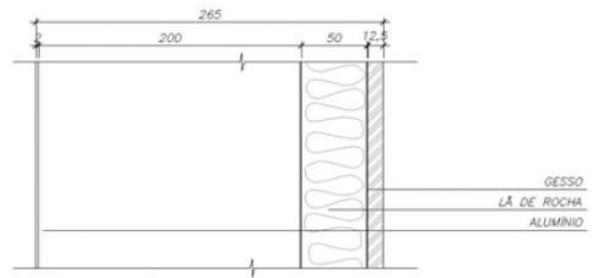
PAR 16 – Parede isolada com vidro externo



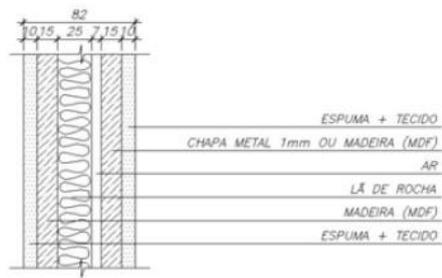
PAR 17 – Parede externa com isolamento acústico



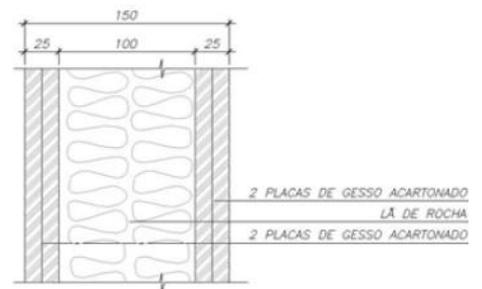
PAR 18 – Parede externa de alumínio com gesso



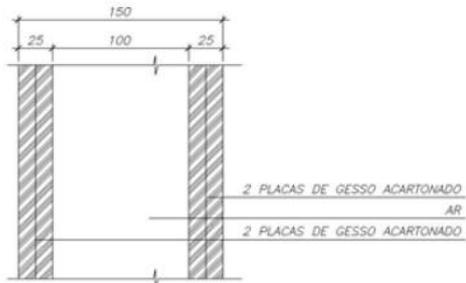
PAR 19 – Pannel de divisória interna



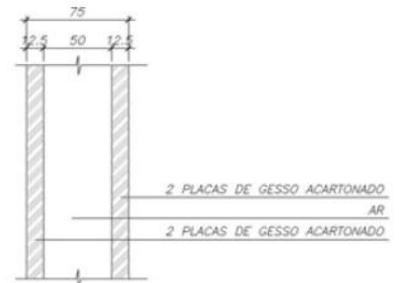
PAR 20 – Parede interna isolada



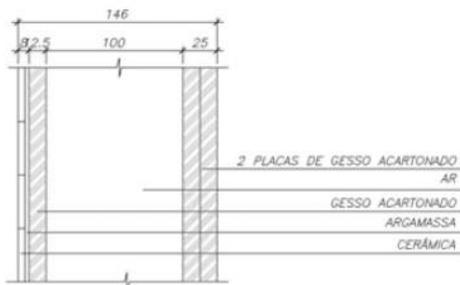
PAR 21 – Parede interna com gesso (150 mm)



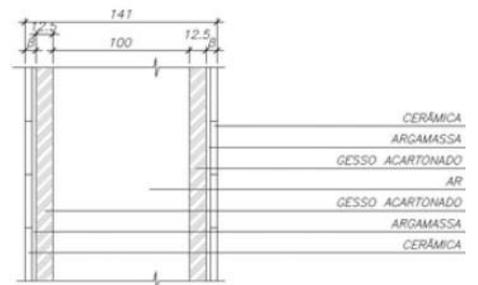
PAR 22 – Parede interna com gesso (75 mm)



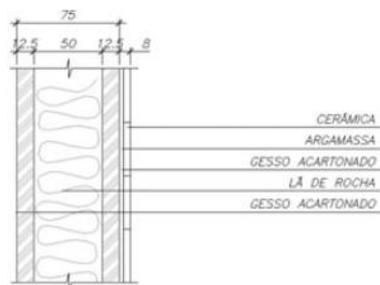
PAR 23 – Parede interna com cerâmica 1



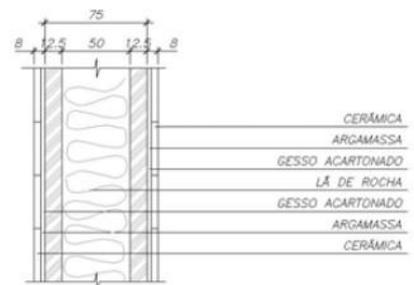
PAR 24 – Parede interna com cerâmica 2



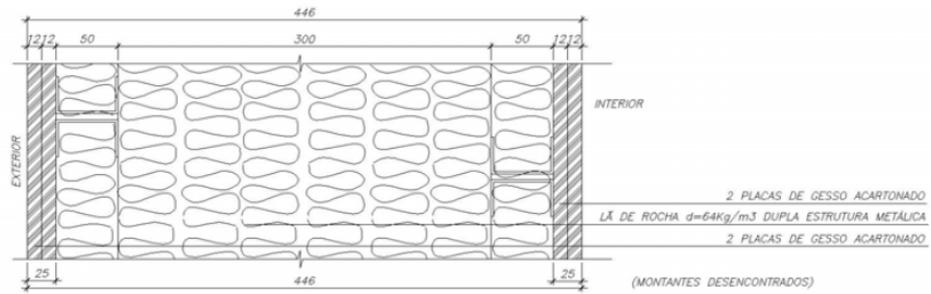
PAR 25 – Parede interna isolada com cerâmica 1



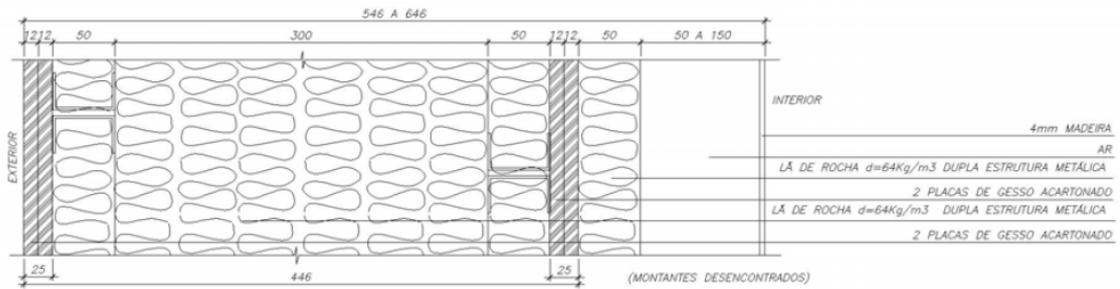
PAR 26 – Parede interna isolada com cerâmica 2



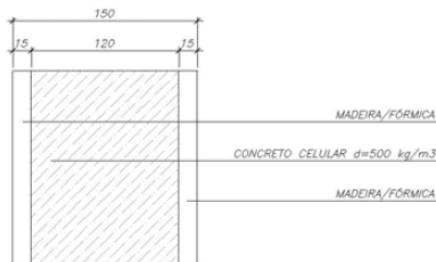
PAR 27 – Parede interna do auditório com gesso



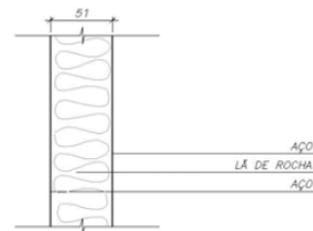
PAR 28 – Parede interna do auditório com madeira



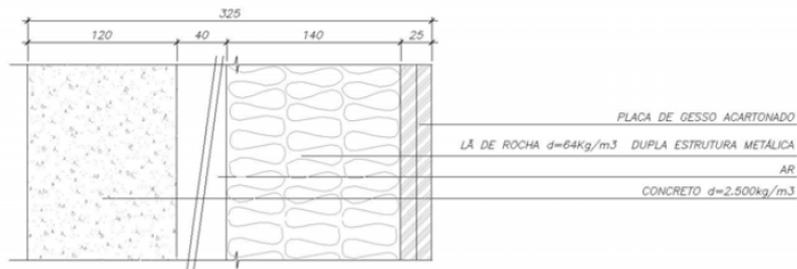
PAR 29 – Parede interna de concreto celular



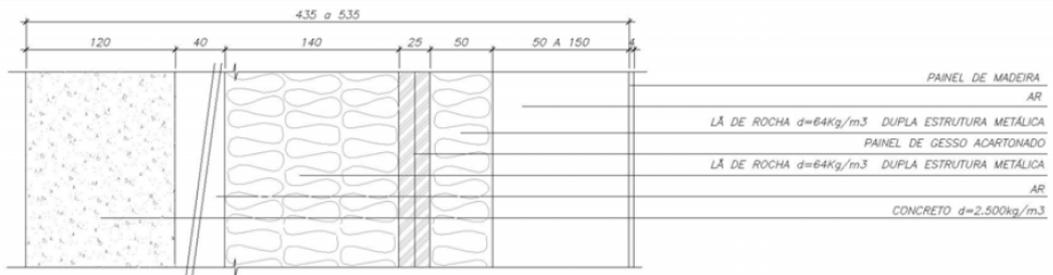
PAR 30 – Parede sanduiche



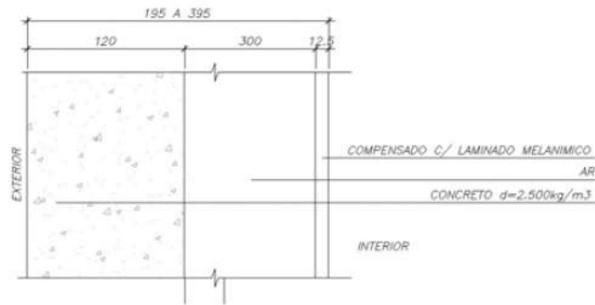
PAR 31 – Parede externa do auditório com gesso



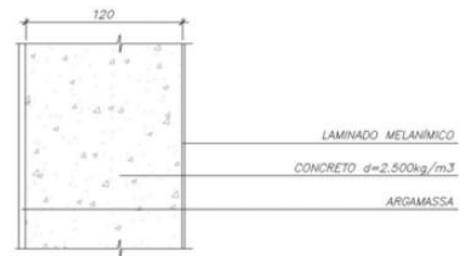
PAR 32 – Parede externa do auditório com madeira



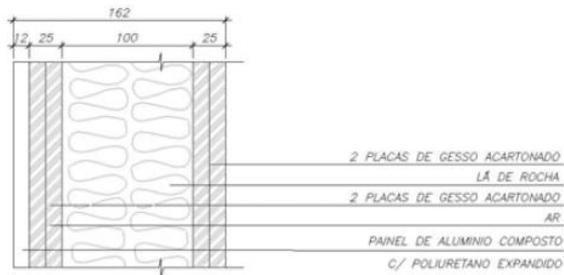
PAR 33 – Parede externa com laminado



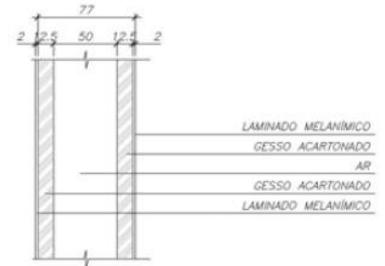
PAR 34 – Painei de concreto com laminado



PAR 35 – Parede acústica com alumínio sem ar



PAR 36 – Painei interna com gesso (50mm de ar)



ANEXO 7: Modelos de Declaração ambiental de produtos. PETROBRAS, 2009b.

	REGISTRO	Nº RG. 211	REV.: 0
	PROGRAMA: AMPLIAÇÃO DO CENPES	FOLHA: 1 DE 1	
	TÍTULO: DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO - CONTEÚDO RECICLADO E MATERIAL REGIONAL		

Logo empresa	DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO		
	CONTEÚDO RECICLADO E MATERIAL REGIONAL		
Projeto: Ampliação do CENPES - Petrobras, Rio de Janeiro, RJ			
Nome do material / produto (especificar nome do produto ou material)		Nome do fornecedor / fabricante (razão social fornecedor / fabricante)	
Endereço:			
Contato:		Telefone:	
CUSTO TOTAL DO PRODUTO DO PROJETO (R\$):			
CONTEÚDO RECICLADO			
1. Esse material / produto foi produzido com conteúdo reciclado?		SIM	NÃO
2. Especificar a composição básica do produto final (matéria-prima):			
3. Especificar a massa de materiais reciclados que foram incorporados ao produto final:			
Conteúdo reciclado	% em massa	Pré-consumo	Pós-consumo
MATERIAL REGIONAL (800Km)			
4. O material ou produto é fabricado dentro de um raio de 800Km do empreendimento (CENPES Petrobras, Rio de Janeiro, RJ)?		SIM	NÃO
Informar local / município:			
Informar a distância (em linha reta ou raio):			
5. O local de extração das matérias-primas da natureza está situado dentro de um raio de 800Km do empreendimento (CENPES Petrobras, Rio de Janeiro, RJ)?		SIM	NÃO
6. Indicar o local de extração / origem de cada matéria-prima e distância (raio em linha reta) até o empreendimento (CENPES Petrobras, Rio de Janeiro, RJ)?			
Matéria-prima	% massa	Local extração / origem	Distância (Km)

Declaro para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação.

Local e data: _____

Assinatura e carimbo _____

REGISTRO	Nº RG. 212	REV.: 0
PROGRAMA: AMPLIAÇÃO DO CENPES	FOLHA: 1 DE 1	
TÍTULO: DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO - MADEIRA CERTIFICADA FSC		

Logo empresa	DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO
	MADEIRA CERTIFICADA FSC

Projeto: Ampliação do CENPES - Petrobras, Rio de Janeiro, RJ

Nome do material / produto (especificar nome do produto ou material)	Nome do fornecedor / fabricante (razão social fornecedor / fabricante)
---	---

Endereço:

Contato: _____ Telefone: _____

CUSTO TOTAL DE MADEIRA NO PROJETO (R\$):

MADEIRA CERTIFICADA FSC
(Porta, batente, forro, piso, MDF, compensado naval, quadros, entre outros compósitos e derivados de madeira)

1. Listar os produtos ou compósitos de madeira:

2. Utiliza resina a base de ureia-formaldeído para fabricação / montagem dos produtos de madeira listados acima?	SIM	NÃO
--	-----	-----

3. É possível evitar a utilização de resina a base de ureia-formaldeído para fabricação / montagem dos produtos listados acima? Se SIM, anexar Declaração de conformidade. Obs.: O uso de resina a base de ureia-formaldeído, apesar de não invalidar o ponto de madeira certificada, automaticamente desqualifica o empreendimento à pontuação de Materiais de baixa emissão - adesivos de compensados e laminados.	SIM	NÃO
---	-----	-----

4. Informar o número do certificado FSC (nº COC) e anexar certificado FSC e Nota fiscal dos produtos a serem utilizados no empreendimento.

5. Especificar qual o tipo de certificação:	FSC (100% puro)	FSC (Misto)
		Informar a %

Informar a origem da madeira certificada:

Madeira certificada	% massa	Local extração / origem	Distância (Km)

Declaro para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação.

Local e data: _____
Assinatura e carimbo

REGISTRO	Nº RG. 213	REV.: 0
PROGRAMA: AMPLIAÇÃO DO CENPES	FOLHA: 1 DE 1	
TÍTULO: DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO - PRODUTOS COM COV		

Logo empresa	DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO
	PRODUTOS COM COV

Projeto: Ampliação do CENPES - Petrobras, Rio de Janeiro, RJ

Nome do material / produto (especificar nome do produto ou material)	Nome do fornecedor / fabricante (razão social fornecedor / fabricante)
---	---

Endereço:

Contato: _____ Telefone: _____

PRODUTOS COM BAIXA EMISSÃO COV

O presente documento tem por objetivo a confirmação dos dados quantitativos de COV (Compostos orgânicos voláteis) em g/l (gramas por litro) dos produtos listados abaixo, a fim de colaborar para a certificação do empreendimento.

Especificar os limites de COV (g/l) dos produtos que podem ser fornecidos ao CENPES Petrobras, Rio de Janeiro, RJ.

	Produto	Utilização	Local	Fabricante	Teor COV (g/l)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Declaro para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação.

Local e data: _____ Assinatura e carimbo _____