

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

**Contribuição ao estudo do Ecodesign na Seleção de Materiais
para Construção de Residências Unifamiliares em Ambientes Urbanos**

Norma Mercedes Caballero Rödel

Dissertação para obtenção do título de Mestre
em Engenharia

Porto Alegre, 2005

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

**Contribuição ao estudo do Ecodesign na Seleção de Materiais
para Construção de Residências Unifamiliares em Ambientes Urbanos**

Norma Mercedes Caballero Rödel

Orientador: Professor Dr. Wilson Kindlein Júnior

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Angela Masuero

Prof. Dr. Fernando Fuão

Prof. Ney Francisco Ferreira

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial para à obtenção do título de Mestre em Engenharia - modalidade Profissionalizante - Ênfase Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

Porto Alegre, 2005

Este trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Orientador
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira

Coordenador
Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dra. Carin Maria Schmitt

Coordenadora
Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Angela Masuero
NORIE/UFRGS

Prof. Dr. Fernando Fuão
ARQUITETURA/UFRGS

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira
(ENGENHARIA MECÂNICA/UFRGS)

***À memória do meu Pai
Aos meus Filhos.***

AGRADECIMENTOS

- } Ao professor orientador Wilson Kindlein Júnior, pela orientação e incentivo dado a este trabalho;
- } A banca examinadora, formada pelos profs. Drs. Angela Masuero, Fernando Fuão e Ney Francisco Ferreira, pelos comentários, críticas e sugestões que enriqueceram este estudo;
- } Ao professor Tadeu Busko, pelo apoio dado e pelas contribuições feitas a esta pesquisa;
- } Aos profissionais que participaram da pesquisa, tornando possível alcançar os objetivos desta dissertação;
- } A minha mãe e a minha família toda, pelo amor, incentivo e apoio dado ao longo de todo o curso de mestrado;
- } Ao Everton, meu esposo, pelo companheirismo, paciência e compreensão, fundamentais durante todo este tempo;
- } Aos meus filhos, pelo carinho e compreensão durante o curso de mestrado;
- } A equipe do Laboratório de Design e Seleção de Materiais pela colaboração e companheirismo proporcionados durante a elaboração deste trabalho;
- } Aos colegas do PPGEM, pela colaboração proporcionada no decorrer do curso.

RESUMO

A construção civil é, hoje, uma das atividades da sociedade que mais interfere diretamente com o meio ambiente. Matérias-primas são extraídas, energia é consumida durante a construção e utilização, resíduos são devolvidos ao ambiente natural, e emissões tóxicas são geradas e expelidas na atmosfera. A maneira como esta atividade vem sendo exercida atualmente resulta em uma destruição cada vez mais acelerada dos recursos naturais disponíveis. Este quadro só poderá se modificar à medida que houver maior conscientização de todos os agentes envolvidos nesta atividade, e que a pesquisa constante indicar novos caminhos para o desenvolvimento de novos métodos e materiais de construção. Considerando-se este contexto, esta dissertação busca, como objetivo geral, contribuir na seleção de materiais para uma residência sustentável e, por consequência, na diminuição dos impactos dos resíduos gerados atualmente na construção civil. Para tanto, se propõe a analisar os materiais de construção com maior frequência de utilização no mercado, em termos de impactos ambientais, para as principais etapas de uma residência unifamiliar. Entenda-se como etapas as fundações e/ou estruturas, revestimentos de pisos, elementos de vedação, revestimentos de paredes, esquadrias, forros e revestimentos de telhados. A partir dessa análise, este trabalho se propõe apresentar uma proposta de "guia", relacionando os materiais de acordo com os impactos ambientais causados ao meio ambiente, principalmente pela geração de CO₂, hoje em dia, principal responsável pelo efeito estufa, além do consumo de energia despendida e percentagem de reciclagem, dados obtidos através do software CES 4.2 Granta Design, tendo como base as propriedades dos referidos materiais. Uma ampla revisão bibliográfica foi realizada, além de pesquisas quanto aos métodos existentes para seleção de materiais e análise dos impactos ambientais causados, bem como a consulta com profissionais da área para identificação dos materiais a serem estudados. Com a obtenção destes dados, pode-se classificar os materiais que foram selecionados para este estudo em cada etapa de uma residência unifamiliar. Nesta classificação, tomando como base a emissão de CO₂, a madeira sobressai-se em primeiro lugar, posição deslocada se a classificação é baseada no consumo de energia ou ainda na reciclagem dos materiais.

ABSTRACT

The civil construction is today one of the activities of society that more directly interfere in the environment. Raw materials are extracted, energy is consumed during construction and use, residues are returned to the natural environment and toxic emissions are generated and expelled in the atmosphere. The way these activities are being held nowadays result in the destruction more and more accelerated of the available natural resources. This framing can only be changed with the corresponding growing of awareness from all the involved agents in this activity and the constant research indicates new ways for the development of new methods and construction materials. Considering this context this dissertation has as general objective to contribute in the material selection for a sustainable residence and as a consequence in the reduction of the impacts of residues generated currently in the civil construction. For that it's proposed to analyze the construction materials more frequently used in the market, considering the ambient impacts, for the main stages of an *unifamiliar* residence, like foundations and/or structures, floor covering, sealing elements, wall covering, door and window frames, inner lining and roof covering. With this analysis can be proposed a "guide", relating the materials in an increasing order according to the ambient impacts caused to the environment, mainly for the CO₂ generation, nowadays the main responsible for the greenhouse effect, besides the consumption of expended energy and the percentage of recycling, data obtained through the software CES 4.2 of Granta Design, having as basis the properties of the refereed materials. An ample bibliographic review was accomplished, including researches regarding the existing methods for the material selection and analysis of the environmental impacts caused, as well as the consultation with professionals of the area for the identification of materials to be studied. With the attainment of these data, the materials selected for this study can be classified in each stage of an unifamiliar residence. In this classification, taking as reference the emission of CO₂, the wood outstands in first place. This position is dislocated if the classification is based in the consumption of energy or in the recycling of materials.

CONTRIBUIÇÃO DO ECODESIGN PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES EM AMBIENTES URBANOS

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	X
Lista de Figuras.....	XI
Lista de Quadros.....	XIII
Lista de Abreviaturas	XIV
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 METODOLOGIA DE ESTUDO.....	19
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 Construção Civil e Sustentabilidade.....	21
4.2 Conceito de Ecodesign.....	26
4.3 Análise do Ciclo de Vida do Material.....	27
4.4 Impactos da Construção Habitacional.....	31
4.5 Seleção de Materiais e Processos.....	39
4.6 Exemplos de Métodos de Análise de Impacto Ambiental em relação aos Materiais de Construção	40
4.7 Ecodesign para Seleção de Materiais.....	46
Método ASHBY de Seleção de Materiais.....	48
5 COMPARATIVO DOS MATERIAIS SELECIONADOS PARA CADA ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.....	56
5.1 Fundações e/ou estrutura.....	57
5.1.1 Materiais Utilizados para Fundações e/ou estrutura.....	58
5.1.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	68
5.2 Revestimentos de Pisos.....	70
5.2.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos.....	71
5.2.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	93
5.3 Elementos de Vedação para Paredes.....	95
5.3.1 Materiais Utilizados para Elementos de Vedação para Paredes.....	96
5.3.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	110
5.4 Revestimentos de Paredes.....	112
5.4.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Paredes.....	113
5.4.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	121
5.5 Esquadrias (Janelas e Portas).....	123
5.5.1 Materiais Utilizados para Esquadrias(Janelas e Portas).....	124
5.5.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	131
5.6 Forros.....	133

5.6.1	Materiais Utilizados para Forros.....	134
5.6.2	Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	138
5.7	Revestimentos de Telhados.....	139
5.7.1	Materiais Utilizados para Telhados.....	139
5.7.2	Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados.....	149
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	150
6.1	Exploração dos Recursos Naturais.....	150
6.2	Geração de Emissões Tóxicas.....	151
6.3	Energia Despendida.....	154
6.4	Reciclagem.....	156
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	158
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	160
9	APÊNDICES.....	176
9.1	Questionário elaborado especificamente para este Trabalho.....	177
9.2	Programa criado especificamente para este Trabalho	181
9.3	Listagem das Etapas de Construção que não foram abordados nesta Dissertação.....	185
10	GLOSSÁRIO.....	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Consumo Energético na etapa da construção de edificações.....	35
Tabela 02: Conteúdo energético de alguns materiais de construção em alguns países.....	36
Tabela 03: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Fundações e/o Estruturas.....	69
Tabela 04: Distribuição de Consumo Energético na indústria cerâmica.....	76
Tabela 05: Distribuição de Consumo Térmico na indústria cerâmica.....	76
Tabela 06: Distribuição de Consumo Elétrico na indústria cerâmica.....	77
Tabela 07: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Revestimentos de pisos.....	94
Tabela 08: Composição química incluindo a presença de metais pesados em gesso acartonado norte-americano.....	98
Tabela 09: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Elementos de Vedação.....	111
Tabela 10: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Revestimentos de Paredes.....	122
Tabela 11: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Esquadrias.....	132
Tabela 12: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Forros.....	138
Tabela 13: Parâmetros dos Materiais pela geração de CO ₂ para Revestimentos de Telhados.....	149
Tabela 14: Classificação dos Materiais pela Geração de CO ₂ para cada etapa da construção obtidos no software CES 4.2 Granta Design.....	153
Tabela 15: Classificação dos Materiais pela Energia Despendida para cada etapa da construção obtidos no software CES 4.2 Granta Design.....	155
Tabela 16: Classificação dos Materiais pela % de reciclagem para cada etapa da construção obtidos no software CES 4.2 Granta Design.....	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Conceito de Construção Sustentável da Agenda 21.....	24
Figura 02: Processos Produtivos no Ciclo de Vida de um Produto.....	31
Figura 03: Mapa de seleção: Densidade X Preço.....	48
Figura 04: Definição dos Atributos Ambientais.....	50
Figura 05: Apresentação de Aplicações e definições específicas.....	51
Figura 06: Apresentação precisa de valores de atributos.....	52
Figura 07: Definição de atributos de durabilidade.....	53
Figura 08: Mapa de seleção de Materiais.....	54
Figura 09: Preferência de utilização no mercado X materiais para Fundações e/ou estruturas.....	58
Figura 10: Fundação em Concreto Armado Convencional.....	61
Figura 11: Fundação em Pedra Natural (Granito).....	63
Figura 12: Estrutura Metálica.....	64
Figura 13: Estrutura em Madeira.....	66
Figura 14: Concreto Reciclado.....	67
Figura 15: Preferência de utilização no mercado X materiais para Revestimentos de Pisos.....	70
Figura 16: Revestimento de piso cerâmico.....	78
Figura 17: Revestimento de piso em madeira.....	81
Figura 18: Revestimento de piso em laminado melamínico.....	84
Figura 19: Revestimento de piso em pedra natural (granito).....	87
Figura 20: Revestimento de piso em vinílico.....	90
Figura 21: Revestimento de piso em carpete	92
Figura 22: Preferência de utilização no mercado X materiais para Elementos de Vedação.....	95
Figura 23: Parede de alvenaria de tijolos.....	97
Figura 24: Parede de gesso acartonado.....	101
Figura 25: Parede de bloco de concreto.....	104
Figura 26: Parede de painéis de madeira.....	105
Figura 27: Parede de placas cimentícias.....	107
Figura 28: Parede de bloco concreto celular autoclavado.....	109
Figura 29: Preferência de utilização no mercado X materiais para Revestimentos de Paredes.....	113
Figura 30: Revestimento de parede com chapisco, emboço e/ou reboco.....	115
Figura 31: Detalhe do revestimento de parede com chapisco, emboço e/ou reboco.....	115

Figura 32: Fluxograma do processo de execução de revestimento de argamassa.	116
Figura 33: Revestimento de parede com cerâmica.....	117
Figura 34: Revestimento de parede com gesso.....	119
Figura 35: Revestimento de parede com madeira.....	120
Figura 36: Revestimento de parede com pedra natural.....	121
Figura 37: Preferência de utilização no mercado X materiais para Esquadrias.....	123
Figura 38: Esquadria de janela em madeira.....	126
Figura 39: Esquadria de janela e porta em alumínio (anodizada).....	129
Figura 40: Esquadria de janela em PVC.....	130
Figura 41: Esquadria de janela em aço.....	131
Figura 42: Preferência de utilização no mercado X materiais para Forros.....	133
Figura 43: Forro de placas de gesso.....	134
Figura 44: Forro de Madeira.....	136
Figura 45: Forro de PVC.....	137
Figura 46: Detalhes de forro de PVC.....	137
Figura 47: Preferência de utilização no mercado X materiais para Revestimentos de Telhados.....	139
Figura 48: Insumos e perdas na produção de telhas cerâmicas, tijolos e blocos....	140
Figura 49: Revestimento de Telhado com telha cerâmica.....	142
Figura 50: Revestimento de Telhado com telha fibrocimento.....	144
Figura 51: Revestimento de Telhado com telha de concreto.....	145
Figura 52: Revestimento de Telhado com telha asfáltica.....	148
Figura 53: Detalhe da telha asfáltica.....	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Algumas Matérias-Primas da Indústria da Construção e a Avaliação da sua Abundância.....	33
Quadro 02: Segmentos do meio ambiente e possíveis alterações.....	35
Quadro 03: Impactos ambientais de alguns materiais cerâmicos.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

EF	- Environmentally Friendly
ACV	- Análise do Ciclo de Vida
EBN	- Environmental Building News
LCA	- Life Cycle Assessment
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
CA	- Concreto Armado
ASTM	- American Society for Testing and Materials
RCD	- Resíduos de Construção e Demolição
SMA	- Secretaria do Meio Ambiente
IBS	- Instituto Brasileiro da Siderurgia
PNUMA	- Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente
CCA	- Concreto Celular Autoclavado
INDI	- Instituto de Desenvolvimento Industrial

1 INTRODUÇÃO

A seleção de materiais na indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor e reduzindo os custos. O processo de P&D de novos materiais precisa ser feito de forma cautelosa e criteriosa para garantir que a escolha seja compatível com o desenvolvimento sustentável.

Na escolha de um produto, os usuários vêm demonstrando cada vez mais interesse por comprar produtos que são "*environmentally friendly*" (EF), levando em consideração o Ciclo de Vida do produto; ou seja, o impacto que ele ocasiona ao meio ambiente desde sua extração (para produtos naturais), passando pela fase de produção, fase de utilização até a fase de decomposição (BILLET, 2000; DIETER, 1998). Isto leva os produtores a projetarem e comercializarem produtos "EF" (ou *green products*) para obterem vantagens comerciais frente aos concorrentes (Marketing Verde).

Os resíduos são sempre gerados para bens de consumo duráveis (edifícios, pontes e estradas) ou não duráveis (embalagens descartáveis). Neste processo, a produção quase sempre utiliza matérias-primas não renováveis. Este modelo não apresentava problemas até recentemente, em razão da abundância de recursos naturais e menor quantidade de pessoas incorporadas à sociedade de consumo, quando comparada aos dias atuais (JONH, 2000; GÜNTHER, 2000; JOHN, 1999; CURWELL, 1998; COOPER, 1998). Hoje, porém, com o crescimento populacional global e com o aumento do impacto ambiental "per/capita", ações voltadas à preservação do meio ambiente são necessárias ao longo de toda a cadeia produtiva,

ou seja, de todas as empresas e agentes envolvidos ao longo do tempo. Neste sentido, este trabalho visa contribuir com o desenvolvimento sustentável, focando-se especificamente nos principais impactos causados pelos materiais utilizados na construção de edificações habitacionais. Portanto, busca, por meio de uma análise detalhada, determinar e selecionar os materiais ecologicamente mais corretos existentes no mercado, a fim de diminuir o impacto ao meio ambiente. Esta seleção leva em consideração a falta ou escassez de materiais naturais, o consumo de energia, o consumo de água, poluição sonora e gasosa, os aspectos de saúde, riscos de desastres, reusabilidade e resíduo.

O *Ecodesign* foi considerado, neste trabalho, como meio de otimização projetual. Segundo KINDLEIN JUNIOR (2002), o Ecodesign tende a minimizar o impacto ambiental, reduzir custos de produção e possibilitar às empresas um diferencial competitivo dentro de um mercado que, a cada dia, dá maior ênfase ao desenvolvimento sustentável, assumindo, assim, um papel fundamental no contexto mundial, visto que a capacidade de se extrair matérias-primas da natureza vem se esgotando em um ritmo acelerado. Assim, a utilização de técnicas de desenvolvimento de produtos deve conter em sua base itens que possibilitem a geração de produtos ao Ecodesign, garantindo, então, o mínimo de impacto ambiental. Essa base da materialização do conceito de desenvolvimento sustentável está na passagem gradual e a longo prazo das atuais estruturas lineares de projeção e produção mais cíclicas e que assentam às estratégias de Ecodesign e produção mais limpa.

Com isso, são apresentadas, no presente estudo, as alternativas de seleção de materiais usados, no mercado atual, em residências unifamiliares de classe média na área metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, dependendo do grau do impacto ambiental quando aplicado à construção habitacional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa contribuir na seleção de materiais para uma residência sustentável e, por conseqüência, na diminuição do impacto de resíduos gerados atualmente pela indústria da Construção Civil. Para tanto, se propõe em analisar os materiais de construção existentes no mercado mais utilizados, em termos de impactos ambientais. Com isto, apresentar uma proposta de "guia", relacionando os materiais mais ou menos favoráveis ecologicamente nas etapas da construção civil, no caso específico de residências unifamiliares em ambientes urbanos.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos pretende-se:

- através da revisão bibliografia, apresentar alguns dos métodos existentes para seleção de materiais e análise dos impactos ambientais causados, assim como as definições de sustentabilidade, ciclo de vida e ecodesign;
- apresentar, para cada material selecionado, os principais impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima, processamento, transporte e utilização de materiais até a disposição final destes materiais.

- apresentar dados quantitativos relacionados quanto ao impacto ambiental, causados pelos materiais em análise, baseados na aplicação do software de Seleção de Materiais CES 4.2 Granta Design.

3 METODOLOGIA DE ESTUDO

A metodologia deste estudo foi desenvolvida em três fases descritas a seguir.

A primeira fase teve a finalidade de estudar apenas os materiais mais utilizados para as principais etapas de construção de uma edificação. Para isto, além da pesquisa bibliográfica, foram visitados escritórios de engenharia e/ou arquitetura, nos quais foi aplicado questionário, onde se lista a maioria dos materiais existentes no mercado. Logo a seguir, foi solicitado o preenchimento da planilha em ordem crescente, de acordo com o uso de cada material por estes profissionais.

Após tabulação dos dados, obteve-se a listagem dos materiais de uso mais freqüente e ainda os menos utilizados em cada etapa da construção civil. Logo a seguir, já com os materiais selecionados para análise, procedeu-se às visitas em obras nos municípios de Viamão e Porto Alegre, localizados no estado do Rio Grande do Sul), com a finalidade de obter material fotográfico para elaboração do "guia".

Na segunda fase, procedeu-se ao estudo destes materiais, de acordo com a análise do ciclo de vida respectivamente, ou seja, desde a extração da matéria-prima, processamento da fabricação do produto, transporte e consumo de energia até a disposição final do mesmo, classificando-os entre materiais mais e menos favoráveis ambientalmente.

Na terceira fase, com o auxílio do software de Seleção de Materiais CES 4.2 Granta Design, foram analisados os materiais sob uma análise quantitativa onde se compara os números dos impactos ambientais. Entenda-se isto como geração de CO₂, consumo de energia, percentagem de reciclagem, entre outros dados que são

fornecidos pelo programa, com a introdução inicialmente das propriedades dos materiais a serem estudados, sendo possível, assim, a comparação entre os mesmos.

Por último, obtidos os dados tanto qualitativos quanto quantitativos, procedeu-se à confecção da proposta de "Guia" de materiais ecologicamente corretos. Neste "Guia" consta os materiais, classificados na ordem crescente, principalmente pela quantidade de geração de CO₂. É idéia deste estudo oportunizar a atualização deste guia através da inclusão de dados e fotos via internet. Para isso, elaborou-se um banco de dados em linguagem PHP que pode ser acrescido de informações a qualquer tempo via rede (vide Apêndices).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Construção Civil e Sustentabilidade

O termo sustentabilidade vem sendo exaustivamente utilizado na atualidade, muitas vezes sem que se tenha uma clara noção do que ele realmente significa. O conceito de desenvolvimento sustentável gera muita confusão porque, nas análises econômicas tradicionais, a ênfase recai sobre os serviços e os materiais, sendo necessário também pensar em termos de estoque de recursos naturais. Assim, o desenvolvimento sustentável pode ser definido como um aumento na quantidade de serviços ao se aumentar a eficiência das relações serviço-estoque e estoque-material (DEMANBORO *et. al.*, 2004).

Para BRANDON (1998), a definição de desenvolvimento sustentável mais largamente divulgada atualmente é aquela definida pela "*United Nations World commission on environment*", em 1987, através do documento intitulado "*Our Common Future*", também conhecido como "*The Brundtland Report*". Este documento define desenvolvimento sustentável como aquele que permite o suprimento das necessidades humanas atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações. O documento coloca, ainda, que o desenvolvimento sustentável representa um processo de mudança onde a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional devem estar em harmonia e aumentar o potencial de suprimento das necessidades e aspirações humanas. Porém, o autor salienta que existem incertezas sobre os limites estabelecidos para as palavras "necessidades" e "harmonia", utilizadas anteriormente, não se sabendo exatamente o

que elas significam. Além disso, acrescenta que o termo sustentabilidade abrange toda a existência humana e a complexidade das inter-relações que formam o universo, já que as milhares de combinações entre fatos resultam em modificações das conclusões possíveis de serem alcançadas. Isso demonstra as dificuldades para se definir sustentabilidade. Esse conceito é também possível de questionamentos, uma vez que é cômodo para a presente geração dizer que não se deve comprometer as necessidades das futuras gerações sem questionar as ações da presente geração que já comprometem as próprias necessidades atuais. Hoje já não temos a possibilidade de nos banhar em vários rios, nosso ar nas grandes cidades é de má qualidade, temos grandes problemas de disposição de lixo, etc..

STAHEL et al. apud CURWELL et al. (1997), por sua vez, apresentam uma terceira definição de sustentabilidade, onde abordam o termo "desenvolvimento sustentável", demonstrando grandes preocupações em reduzir os processos de produção, buscando minimizar o consumo de recursos naturais, assim como a geração de resíduos. Esta abordagem prioriza os processos cíclicos através da maximização do tempo de vida útil dos produtos, da sua reutilização, reciclagem, adaptação a novas demandas da sociedade ao longo do tempo, dentre outros. Desta forma, processos naturais cíclicos podem ser definidos, em resumo, como aqueles onde os resíduos gerados tornam-se novamente recursos, fechando-se um ciclo produtivo.

Entende-se ainda que o Desenvolvimento Sustentável é um conceito muito mais amplo do que o de proteção do meio ambiente. O conceito de Desenvolvimento Sustentável inclui preocupações em nível da qualidade de vida (e não apenas do crescimento econômico), da equidade entre as pessoas no presente, incluindo a prevenção da pobreza, da equidade entre as gerações (as futuras gerações têm o direito de usufruir, pelo menos, de um ambiente igual ao atual) e das problemáticas sociais, sanitárias e éticas do bem-estar humano.

Resumindo, o Desenvolvimento Sustentável assenta na convivência harmoniosa e no equilíbrio de três dimensões: econômica, social e ambiental. Neste sentido, o setor da Construção apresenta uma elevada interligação com as três dimensões do "Desenvolvimento Sustentável", anteriormente referidas. Enquanto o setor da

Construção representa cerca de 6% do PIB (dimensão econômica), assegura cerca de 250000 postos de trabalho (cerca de 10% da população ativa) e está intimamente relacionado com a qualidade de vida dos cidadãos (dimensão social), a Indústria da Construção é responsável por uma elevada produção de resíduos e por um elevado consumo de recursos, (ALMEIDA, 2005).

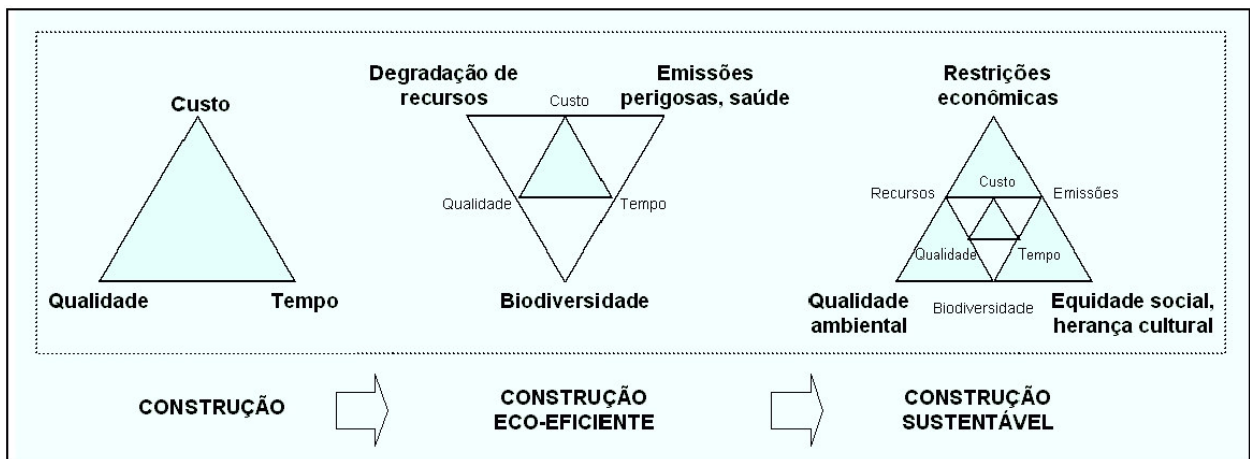
Essa abrangência da construção civil resultou em diversas medidas, visando reduzir os impactos ambientais das edificações. Introduzidas ao longo da última década, essas medidas culminaram em uma releitura da Agenda 21, específica para a construção civil que contempla, entre outros aspectos, medidas para redução de impactos através de alterações na forma como as edificações são projetadas, construídas e gerenciadas ao longo do tempo (SILVA, 2000).

A International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) formulou, então, a Agenda 21 para a Construção Sustentável (CIB, 1999), que pretende ser a intermediária global entre as Agendas existentes, como o Relatório de Brundtland e a Agenda Habitat, as Agendas nacionais/regionais requeridas e o setor de construção civil. Ela se propõe a ser a estrutura conceitual que define as conexões entre o conceito global de desenvolvimento sustentável e o setor de construção civil, capacitando outras Agendas de níveis local ou sub-setorial a serem comparadas e definindo medidas detalhadas apropriadas ao contexto local.

Os objetivos principais da Agenda 21 para a Construção Sustentável são:

- criar uma estrutura global e uma terminologia que irão adicionar valor para todas as Agendas, em nível nacional, regional ou sub-setorial;
- criar uma Agenda para as atividades de campo do CIB e para a coordenação do CIB, com suas organizações parceiras especializadas;
- fornecer um documento base para definir as atividades de pesquisa e desenvolvimento.

HUOVILA (1999) apresenta o conceito de construção sustentável, contido na Agenda 21 para a Construção Sustentável (Figura 01). O autor coloca que, tradicionalmente, os fatores de competitividade em construção eram custo, qualidade e tempo. Hoje estas palavras têm uma interpretação diferente do que elas costumavam ter. A qualidade das edificações já pode incluir aspectos de qualidade ambiental que é, freqüentemente, entendida na forma de consumo de energia, mas, em alguns casos, também como minimização da exaustão de recursos, de emissões perigosas e da manutenção da biodiversidade. Contrastes econômicos, justiça social e herança cultural são usualmente tidos como outras dimensões de sustentabilidade em conjunto



com as questões ambientais, trazendo, assim, um aspecto adicional no que diz respeito às implicações do conceito de tempo.

Figura 01: Conceito de Construção Sustentável da Agenda 21. Fonte: adaptado de CIB, 1999.

Os elementos principais nas abordagens de construção sustentável de diversas nações são, entre outros:

- a) a redução do uso de fontes energéticas e a exaustão dos recursos naturais;
- b) a conservação de áreas naturais e biodiversidade;
- c) a manutenção da qualidade do ambiente construído e um ambiente interno saudável.

ARAÚJO (2002), por sua vez, define Construção sustentável como um sistema construtivo que promove intervenções sobre o meio ambiente, adaptando-o para as necessidades de uso, produção e consumo humano, sem esgotar os recursos naturais, preservando-os para as gerações futuras. A construção sustentável faz uso de materiais ecologicamente mais corretos e de soluções tecnológicas e inteligentes para promover o bom uso e a economia de recursos finitos (materiais, água e energia não renovável), a redução da poluição e a melhoria da qualidade do ar no ambiente interno e o conforto de seus moradores e usuários. Segundo o autor, entre as linhas-mestras da construção sustentável pode-se citar:

- a gestão da obra, onde se inclui o estudo de impacto ambiental, a análise do Ciclo de Vida dos materiais, planejamento sustentável e aplicação de critérios de sustentabilidade, estudos de consumo de materiais e energia para manutenção e reforma;
- a eficiência energética: racionalização no uso de energia pública fornecida e, quando possível, aproveitamento de fontes de energia renováveis, como eólica e solar; uso de dispositivos para conservação de energia;
- a gestão dos resíduos gerados pelos usuários, com a existência de área(s) para coleta seletiva do lixo, destinação e reciclagem;
- o uso de produtos ecológicos e tecnologias sustentáveis para todas as instâncias da obra;
- o não uso ou redução no uso de materiais condenados na construção sustentável, como PVC, amianto e chumbo, dentre outros; ou seja, uma seleção de materiais mais adequados ecologicamente;
- a utilização de projetos modulados, ou seja, executar o projeto arquitetônico concomitantemente com a seleção de materiais pré-determinados para cada etapa da edificação; por exemplo, no caso do azulejo, pode-se dimensionar a parede em função do tamanho do azulejo a ser utilizado, evitando ou reduzindo o volume de resíduos gerado atualmente por recortes.

4.2 Conceito de Ecodesign

Ecodesign, *Green Design* ou *Design for Environment* são apenas nomes diferentes para o mesmo tema. O termo *Design for Environment* (DfE) é baseado no conceito de *Design for X* (DfX, em que X é a variável de design com as características desejáveis do produto). Neste caso, a variável ambiental é considerada como alta prioridade de projeto. Porém, o conceito de Ecodesign é muito mais que uma simples variável de projeto.

Devido à influência de design no nascimento/desenvolvimento do produto, faz-se necessário que esta atividade tenha responsabilidade social e ambiental com o surgimento de novos produtos e o desenvolvimento sustentável. Os próprios profissionais de projeto devem entender que há uma mudança em curso, do antigo paradigma de extração de recursos naturais para outro mais evoluído e sustentável.

O Ecodesign propõe, então, uma nova estratégia para o desenvolvimento de produtos, associando o sistema de gestão ambiental aos materiais e processos de fabricação. Alguns autores colocam o Ecodesign como uma técnica. Porém, esta visão reducionista dá a ele um caráter limitado e muito aquém de suas possibilidades, pois o Ecodesign tem seu campo de atuação na concepção de novos conceitos e no surgimento de novos padrões de consumo. O Ecodesign compreende uma visão holística. A partir do momento que conhecemos os problemas ambientais e suas causas, passamos a influir na concepção, escolha dos materiais, fabricação, uso, reuso, reciclagem e disposição final dos produtos industriais.

O Ecodesign tem seu campo de atuação na concepção de novos conceitos e no surgimento de novos padrões de consumo. Integra as questões ambientais no design industrial, relacionando o que é tecnicamente possível com o que é ecologicamente necessário e socialmente aceitável, em face da percepção crescente das necessidades de salvaguardar o ambiente num contexto de desenvolvimento sustentável, ou seja, que atenda as necessidades sem comprometer a atual e a futura geração (ANNES, 2003).

Segundo PEREIRA (2002), a introdução da abordagem ambiental no universo produtivo tornou-se um novo desafio, cujo objetivo é responder às exigências legislativas e normativas, mas também à opinião pública. Desta forma, a concepção de novos produtos de consumo deve também ser adaptada a esta nova realidade, introduzindo metodologias que permitam auxiliar a tomada de decisões a favor do meio ambiente, sempre respeitando as especificações de cada produto e as necessidades dos usuários.

Para que o papel do Ecodesign seja melhor compreendido, é importante analisar as características desejáveis dos chamados produtos "verdes", tais como o uso reduzido de matéria-prima virgem; pouco consumo de energia durante a produção, uso e descarte; não gerar resíduos desnecessários, devido ao excesso de embalagens ou a curta vida útil; poder ser reusado; ter longa vida útil; possibilidade de reciclagem; capacidade de remanufatura.

4.3 Análise do Ciclo de Vida do Material

A Avaliação de Ciclo de Vida - ACV é uma estratégia utilizada para a avaliação do potencial impacto ambiental associado a um produto, processo ou atividade ao longo de todo o seu ciclo de vida. Talvez a definição mais difundida para a ACV seja aquela proposta pela SETAC – Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental, que a define como um processo para:

- a) avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação de energia e materiais usados e resíduos liberados;
- b) avaliar o impacto da energia e materiais lançados no meio ambiente;
- c) identificar e avaliar as oportunidades que afetam o melhoramento ambiental durante todo o ciclo-de-vida do produto, processo ou atividade, envolvendo a

extração e o processamento de matérias-primas brutas, manufatura, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e destinação final.

A Avaliação do Ciclo de Vida promove uma estrutura para identificar e analisar cargas ambientais associadas com o ciclo de vida de materiais e serviços, numa abordagem “do berço-ao-túmulo” (ou “do berço-ao-berço”, considerando a reciclagem de materiais). A ACV é um processo, uma estrutura, um procedimento sistematizado para melhor compreensão da interação do produto com o meio ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida, com um caráter dinâmico e processual.

Um dos resultados apontados para a ACV, conforme indicado no item (b), é a avaliação de impactos ambientais. Entretanto, um fator que deve ser levado em consideração é que a ACV determina os aspectos ambientais associados às matérias-primas, energia e resíduos do produto. Ao avaliar todo o seu ciclo de vida, ela não particulariza o entorno ambiental da etapa em estudo, caracterizando os impactos ambientais de natureza global (como o aquecimento do planeta, por exemplo), assim como os impactos locais.

A norma ISO 14040 descreve as seguintes situações onde a utilização da ACV pode ser útil:

- na identificação de oportunidades de melhorias de aspectos ambientais de produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- na orientação de tomada de decisões na indústria e em organizações governamentais e não-governamentais (ex.: planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeto de produtos e processos);
- no marketing (ex.: numa afirmação ambiental, projetos de ecorotulagem ou declarações ambientais de produtos).

Enquanto orientação para a tomada de decisões, a ACV tem sido muito utilizada na comparação de produtos diferentes com a mesma funcionalidade (comparações ou afirmações de que um produto é ambientalmente melhor), como “toalha de papel” e

“secador elétrico”, por exemplo. No entanto, tais comparações só devem ser feitas dentro de critérios bastante específicos, não sendo possível extrapolar o resultado encontrado para outros cenários. Cada análise feita carrega consigo uma série de limitações, cortes e suposições que podem eventualmente conduzir a um resultado tendencioso. Mais importante que apontar produtos “vencedores” e “perdedores” é a identificação dos pontos frágeis em cada ciclo de vida, onde se buscam potenciais melhorias.

O conhecimento das implicações ambientais de um produto na definição das matérias-primas que o comporão leva à busca de materiais renováveis, traz considerações com relação ao transporte (distância entre extração da matéria-prima e seu beneficiamento, modal utilizado no transporte de produtos perigosos, embalagens mais adequadas para sua estocagem, etc.).

Na produção, usualmente, estão os cuidados já levados em consideração no processo regulatório, mas, desta vez, buscando a incorporação de aspectos das tecnologias limpas, como a prevenção da poluição, a redução da geração de resíduos, a redução de riscos no processo e redução de desperdícios com embalagens.

No uso, passa-se a incorporar a preocupação com a redução do consumo energético e com a geração de emissões e resíduos. Na disposição final, além dos aspectos já normalmente considerados na regulação de um ponto de disposição final, adicionam-se preocupações com a reciclagem do material, a sua degradabilidade e suas características intrínsecas, como sua combustibilidade, toxicidade, etc.

Se a ACV é conduzida na etapa de projeto (*design*) de um produto, pode-se levar em consideração os requisitos para todas as etapas, além da redução do uso de produtos tóxicos ou agressivos e da inclusão de considerações típicas do final de vida do produto, como facilidade para desmontagem, facilitando a sua reciclagem (no todo ou partes), uso de materiais biodegradáveis, construção de equipamentos em blocos (permitindo o seu aproveitamento em partes separadas), uso de materiais mais duráveis, etc.

Na construção, existe uma variedade muito grande de opções em termos de materiais. Só entre tijolos, cimentos, concreto, tintas, madeiras e acabamentos, o leque de escolha abrange dezenas, se não centenas, de possibilidades. Até recentemente, critérios de economia, performance ou gosto pessoal eram os únicos a presidir à escolha. A Análise de Ciclo de Vida, porém, está começando a influenciar nas escolhas de construtores particulares ou profissionais, por ela ser uma metodologia desenvolvida para garantir que os materiais utilizados tenham o menor impacto ambiental e energético. Nascida da preocupação de racionalizar o gasto energético das edificações, a Análise de Ciclo de Vida evoluiu já para um conceito mais abrangente que integra todos os impactos ambientais. A maioria dos produtos existentes no mercado requer um conjunto variado de processos de produção, distribuição, utilização e rejeição, durante o seu ciclo de vida. Cada um destes processos produz uma diversidade de "emissões". E cada uma destas "emissões" tem o seu efeito específico sobre o ambiente. A Análise de Ciclo de Vida - ACV, ou LCA, na terminologia original anglo-saxônica (Life Cycle Assessment) - pretende inventariar e avaliar cada um destes "impactos" para permitir uma escolha racional do ponto de vista do impacto ambiental. Ou seja: escolhe-se a telha que em sua fabricação tenha sido despendida menor quantidade de energia, liberada menor percentagem de gases poluentes, ou que seja revestida com o verniz que inclua menos componentes tóxicos. O resultado é uma construção que respeita as regras do "desenvolvimento sustentável". O ponto de partida da Análise de Ciclo de Vida é simples: "pensar de um ponto de vista global, estudar as interações entre as peças", (PINHEIRO, 1999).

Para a ACV, "uma telha não é só uma telha, uma janela não é só uma janela", ou seja, cada elemento incorpora tudo aquilo que foi preciso para o produzir, para a sua manutenção e ainda o "custo" ambiental do seu destino final, uma vez chegado o fim da sua utilização normal. "Pela análise de ciclo de vida pode-se saber onde se produzem os maiores impactos na cadeia de fabricação de um certo produto".

Junta-se a tudo isso uma filosofia de aproveitamento dos recursos naturais locais. A madeira, a pedra e outros materiais são, na medida do possível, oriundos da

região. Assim se poupa também em transportes e, desta forma, no consumo de combustíveis fósseis.

A ACV pode ser aplicada a diferentes materiais, desde filtros para cafeteiras até flocos de cereais, tendo um campo de aplicação muito especial no setor dos materiais de construção e agrupando e sintetizando a informação sobre os diversos "impactos ambientais" dos componentes de uma edificação. A ACV, se for levada até o fim, permite comparar a "sustentabilidade" dos produtos sobre os quais incide. Um exemplo: através da ACV pode se saber que a produção de 1 kg de vidro tem maiores impactos do que a produção de igual quantidade de polietileno em termos de emissão de um dos poluentes tradicionais, o óxido nítrico. Porém, no que diz respeito a dois outros compostos poluentes, o enxofre e o monóxido de carbono, a produção de 1 kg de polietileno é bastante mais danosa para o ambiente, (PINHEIRO, 2001). A figura 02 apresenta o processo produtivo no Ciclo de Vida de um produto.

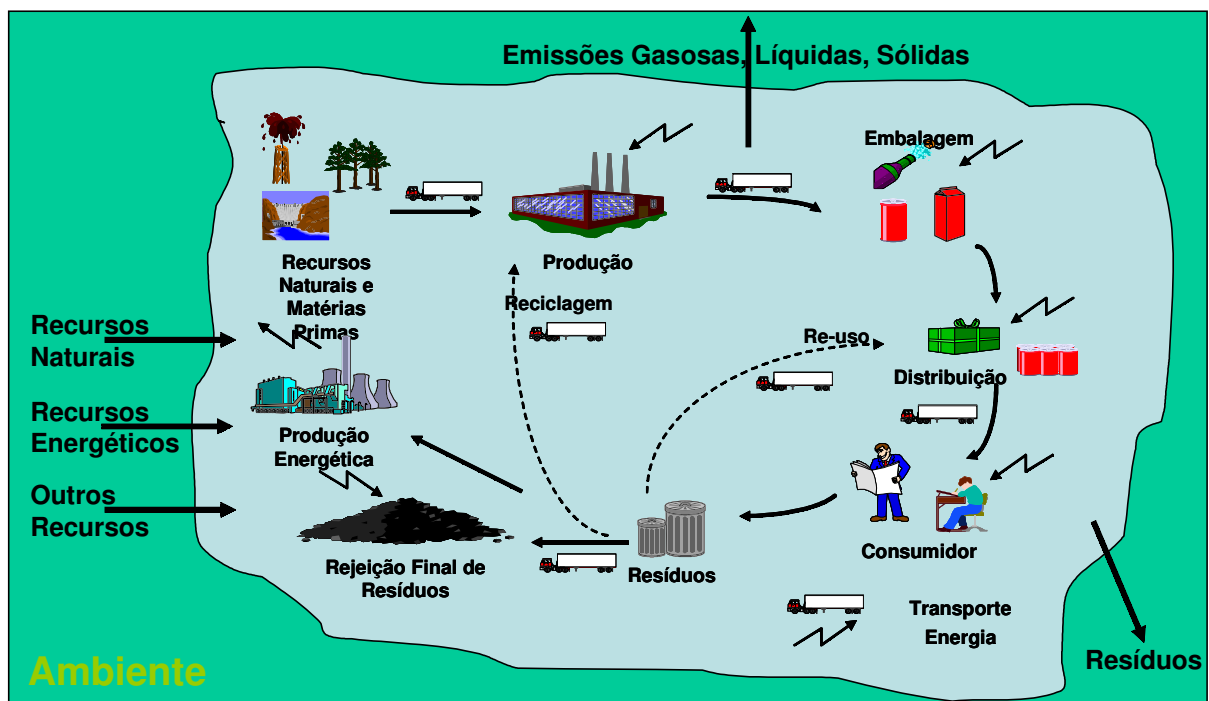


Figura 02: Processos Produtivos no Ciclo de Vida de um Produto.
Fonte: adaptado de SILVA & SILVA.

4.4 Impactos da Construção Habitacional

De maneira geral, o impacto ambiental da construção habitacional é proporcional a sua tarefa social, ou seja, quanto maior a demanda por este tipo de atividade, maior serão os impactos no meio ambiente (SMIRNE e SOUZA, 2003).

As alterações que a construção habitacional provoca na natureza se iniciam com a extração de matérias-primas. Insumos como cimento, cal, vidro, aço, alumínio, blocos cerâmicos, entre outros, além de envolverem um elevado consumo de energia no seu processo de produção, envolvem a extração de jazidas, o desmatamento de florestas, matas, etc.

Os materiais usados pelo homem têm sido tradicionalmente orgânicos (madeira, fibras vegetais) e inorgânicos (pedra, cerâmica, metais). A partir do século XX, foram adicionados os materiais sintéticos, obtidos a partir de recursos fósseis, tais como os plásticos. Os materiais orgânicos são produtos da biosfera e são renováveis por si mesmos. Os materiais inorgânicos são oriundos de processos extremamente lentos na litosfera e não são renováveis na escala temporal humana. Porém, a necessidade crescente de tais materiais, sobretudo pedra, metais e cimento, é uma característica importante da sociedade atual (BROWN, 1975).

O crescimento da população e da economia levam ao crescimento do consumo de recursos naturais que servem de base para a fabricação dos bens de consumo necessários à sociedade (JOHN, 2000). O uso desses recursos naturais levam ao esgotamento das fontes dos mesmos, conforme aponta LIPPIATT (1998). Este valor revela a importância de se considerar os impactos relativos ao uso de matéria-prima no setor da construção civil. Segundo SMIRNE e SOUZA (2003), estima-se que a construção civil, como um todo, consome 50% dos recursos naturais extraídos do planeta. Estes impactos dizem respeito a degradação das áreas de extração, ao esgotamento do recurso, se o mesmo não for renovável, e a geração de resíduos (rejeitos) que são lançados ao solo, causando a perda de áreas para manutenção da biodiversidade e produção de alimentos, entre outros.

O Quadro 01, a seguir, mostra alguns materiais usados na construção civil e seus respectivos consumos anuais e anos de disponibilidade na natureza.

Quadro 01: Algumas Matérias-Primas da Indústria da Construção e a Avaliação de sua Abundância

Matéria- Prima	Composição Básica	Disponibilidade (em anos)*	Avaliação
AÇO	Minério de ferro/carbono	231	Não abundante
ALUMINIO	Bauxita	225	Não abundante**
AREIA	Silica		Abundante
ARGILA	Silica/alumina/óxidos de ferro/outros		Abundante
BRITA	Aluminossilicatos/silicatos de ferro e magnésio/outros		Abundante
CAL	Calcário		Abundante
CIMENTO	Calcário/argila/gipsita		Abundante
CIMENTO-AMIANTO	Calcário/argila/gipsita/silicato de magnésio e ferro		Abundante
COBRE	Cobre	62	Em processo de esgotamento
ESTANHO	Estanho	56	Em processo de esgotamento
FERRO	Ferro	231	Não abundante
POLICLORETO DE VINILA (PVC)	Petróleo/cloreto de sódio	75	Em processo de esgotamento
ZINCO	Zinco	47	Em processo de esgotamento

* As células em branco indicam valores não encontrados na bibliografia pesquisada.

** A bauxita pode ser considerada como não abundante na superfície terrestre, porém representa um recurso menos escasso que o cobre, petróleo, chumbo, zinco, estanho, dentre outros.

Fonte: Adaptado de SPERB, (2000), LIPPIAT (1998), PETRUCCI (1982) e DASMACENO & STOROLLI (1994).

Os aspectos relacionados à degradação da área podem ser reduzidos através do emprego de técnicas adequadas de extração (estudos prévios das áreas, volume e formas de extração, entre outros). Quando do esgotamento das jazidas de extração, novamente o emprego de técnicas adequadas garantirão a recuperação e reabilitação da área (KOPEZINSKY, 2000). Uma forma de reduzir o consumo de recursos naturais

e impactos na extração da matéria-prima é incorporar, a mesma, resíduos de outras indústrias.

Além disso, no Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada é caracterizada pelo uso intensivo de mão-de-obra de baixa remuneração, pela baixa mecanização, pela baixa padronização dos produtos e processos, resultando numa alta variabilidade, pela falta de planejamento e alta fragmentação das atividades. Cada pessoa ou equipe focalizada somente no seu trabalho, não tendo uma visão sistêmica e integrada do processo como um todo (KOSKELA, 2000) – favorece o desperdício, aumentando o consumo de matérias-primas e, principalmente, os custos de produção. Uma pesquisa encomendada pela Associação Brasileira do Cimento Portland revelou que, entre os insumos, o que mais se perde é o cimento (56%), seguido pela areia (44%), pedra (38%), cal (36%), gesso (30%), cerâmica (14%), blocos de tijolo (13%), aço (10%) e concreto (9%), (SMIRNE e SOUZA, 2003).

A perda desses materiais acaba gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos, que muitas vezes são dispostos de forma irregular e acabam numa conjunção de efeitos deteriorantes do ambiente local, como o comprometimento da paisagem, do tráfego de pedestres e de veículos, da drenagem urbana, entre outros (PINTO, 1999, *apud* FUKUROZAKI *et al*, 2003).

Além dos impactos resultantes relacionados à forma de extração e emprego das matérias-primas, outros fatores da construção são relevantes e causam efeitos negativos ao meio ambiente, tais como a emissão de CO₂ das maquinarias usadas na extração e transporte, a perda da biodiversidade devido à degradação da área, consumo de energia, entre outros. Com base na abordagem integrada (ou holística), proposta por Freitas *et al.* (2001), pode-se dizer que o meio ambiente consiste em um determinado espaço que apresenta um equilíbrio dinâmico entre as forças concorrentes dos meios físico, biótico e antrópico, as quais se organizam em um sistema de relações extremamente complexas e sensíveis às modificações de seus elementos constituintes.

O Quadro 02 apresenta alguns exemplos de alterações dos processos ambientais em decorrência da construção de um edifício habitacional.

Quadro 02: Segmentos do Meio Ambiente e Possíveis Alterações

Segmentos do Meio Ambiente	Alteração de Processos
Meio Físico	<ul style="list-style-type: none"> - aceleração do processo erosivo; - ocorrência de escorregamento (solo e rocha); - aumento de áreas inundáveis ou de alagamento; - diminuição da infiltração de água no solo; - aumento da propagação de ondas sonoras; etc.
Meio Biótico	<ul style="list-style-type: none"> - supressão da vegetação; - danos à fauna; etc.
Meio Antrópico	<ul style="list-style-type: none"> - aumento pela demanda de serviços públicos (coleta de lixo, etc); - aumento do consumo de água e energia; - aumento do tráfego; - alterações na percepção ambiental; - modificações de referências culturais; etc.

Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2001).

O consumo energético presente na produção dos materiais de construção, chamado de conteúdo energético ou energia incorporada, tem parcela significativa na etapa de construção das edificações, conforme ilustra a Tabela 01, apresentado a seguir.

Tabela 01: Consumo Energético na Etapa de Construção de Edificações

Etapa do processo produtivo	Consumo de energia (10³kcal/m²)	Porcentagem
Produção dos materiais de construção	698	96,41
Transporte dos materiais para a obra	10	1,38
Escavações e terraplenagem	7	0,57
Construção propriamente dita	9	1,24
Total	724	100,00

*Consumo de energia na construção de edifício habitacional padrão.

Fonte: MASCARÓ (1998).

A produção da maioria dos materiais de construção está apoiada em fontes energéticas não renováveis, tais como combustíveis fósseis, termoelectricidade e hidroelectricidade, gás natural, entre outros, (GULISANO et al.,1998).

De acordo com MASCARÓ (1988, 1981), os materiais altamente industrializados (como PVC, cimento amianto, etc.) apresentam maior consumo de energia em relação aos materiais tradicionais (madeira, pedras, etc). Como a industrialização traz uma substituição progressiva dos materiais tradicionais pelos industrializados, os níveis de consumo energético no setor de materiais de construção tende a aumentar cada vez mais. A Tabela 02 mostra o conteúdo energético de alguns materiais de construção. Nota-se, observando esta tabela, que existe uma grande disparidade entre os valores. Isto pode acontecer devido ao método utilizado para encontrar o conteúdo energético dos materiais ou pelas próprias características de produção de cada país.

Tabela 02: Conteúdo Energético de Alguns Materiais de Construção em Alguns Países

País	Conteúdo Energético dos materiais de construção em MJ/kg*					
	<i>Brasil</i>	<i>Austrália</i>	<i>Canadá</i>	<i>Suíça</i>	<i>N. Zelândia</i>	<i>Holanda</i>
Policloreto de vinila (PVC)	74,3	288,0				
Alumínio	98,8	201,6	236,3	261,7	166,0	250,0
Cobre	87,7	57,6			70,6	100,0
Zinco		54,0	64,1	68,4		25,0
Aço	25,6	36,0	25,7	27,7	32,0	60,0
Madeira Compensada		24,1				
Madeira Aglomerada	5,2	8,0				
Madeira Serrada	3,3	3,2			2,5	5,0
Fibrocimento	3,6	7,6			13,1	
Blocos de concreto	0,6	1,4			0,9	3,5
Bloco cerâmico	3,1	4,3	4,9	3,1	2,5	7,0

*As células em branco indicam valores não encontrados na bibliografia pesquisada

Fonte: Adaptado de SPERB (2000).

Já quanto aos resíduos, gerados na produção de materiais de construção, pode-se dizer que aumentam o impacto ambiental, pois implicam num consumo de recursos naturais além do necessário, na necessidade de ocupação do solo para deposição desses resíduos, que poderia ser ocupado para outras atividades, e no aumento dos custos de produção. Os efeitos negativos para a saúde, devido à exposição de alguns resíduos da indústria da construção, seja na fase de produção ou na fase de construção ou demolição, tais como asbestos e madeira tratada com resíduos tóxicos, não podem ser negligenciados quando da disposição final destes resíduos que são considerados, em geral, como inertes (LUND, 1993).

Essas perdas são verificadas principalmente nas indústrias com baixo nível de automação. Nas indústrias altamente industrializadas, estas perdas são mínimas e inerentes ao processo. Isto porque as empresas vêm na redução de perdas uma forma de reduzir seus custos de produção, tornando-se mais competitivas. Quanto aos resíduos remanescentes, estes podem ser encaminhados para outras indústrias, servindo de matéria-prima.

A produção de materiais de construção se constitui em uma importante fonte de poluição aérea (JOHN, 2000, LIPPIATT, 1998, GREEN BUILDING DIGEST, 1995). Na produção dos mais diferentes materiais de construção, são emitidos poluentes que geram diversos impactos, tais como aquecimento global ou efeito estufa, destruição da camada de ozônio, poluição do ar por particulados e chuva ácida (LIPPIATT, 1998).

O aquecimento global ou efeito estufa é causado pelo CO_2 , CH_4 , O_3 e CFC (cloro-fluorcarbono) (LIPPIATT, 1998). Alguns desses gases são emitidos na combustão dos combustíveis fósseis. O efeito estufa causa um aumento na temperatura terrestre e oceânica, trazendo, como conseqüências, mudanças no clima, aumento do nível médio dos mares e descongelamento das calotas polares. Ou seja, uma mudança drástica nas condições que sustentam a vida atual do planeta.

A redução da camada de ozônio é causada principalmente pela liberação para a atmosfera dos CFC's. Este gás tem a função de proteger a superfície terrestre da

radiação ultravioleta cujos efeitos nocivos são o câncer de pele e danos à visão, podendo causar cegueira permanente (EPA, 1995; JOHNSON, 1993).

No que diz respeito aos recursos humanos, a Agenda 21 (BRASIL, 1997), numa visão global, focando os assentamentos humanos, e o CIB (1999), tratando especificamente do setor da construção civil, deixam explícito a importância das questões econômicas, culturais e sociais relativas à sustentabilidade. Dentre as diversas diretrizes apontadas na *Agenda 21*, está o fortalecimento das economias locais e, em consequência, a geração de empregos e melhor distribuição de renda.

O CIB (1999), interpretando e aplicando as diretrizes apontadas, pela Agenda 21, lança algumas questões sobre a indústria da construção e aspectos que podem propiciar a geração de empregos, melhor distribuição de renda e conseqüente melhora das condições de vida de forma geral. Entre outras questões, estão a descentralização da produção, a integração da empresa com a população local, a geração de postos de trabalho, qualidade do ambiente de trabalho, acessibilidade ao trabalho, estabilidade no emprego, possibilidades de aperfeiçoamento.

Cada um dos itens acima citados exprime um aspecto da relação entre empresa e empregado, que abrange desde o ambiente de trabalho propriamente dito até os impactos que a empresa causa na localidade onde está inserida, que é o lugar de viver de seus empregados e a motivação que ela induz nos mesmos para a busca de aperfeiçoamento e educação. Esses aspectos são fundamentais para a determinação dos impactos sociais da indústria de materiais de construção sobre o ambiente humano no qual ela está inserida.

Assim, percebe-se que os impactos da construção habitacional não terminam com o fim da obra, mas se estendem ao longo de todo o ciclo de vida do “produto habitação” (KLEIN e SELL, 2003). Dessa forma, os esgotos, lixos, ruídos, etc., que fazem parte do “morar”, resultam em novas e constantes alterações no meio ambiente. Do mesmo modo, ao final da vida de uma habitação, ou seja, na demolição de uma edificação, novas alterações ambientais ocorrerão.

4.5 Seleção de Materiais e Processos

Na pré-história o homem já usava materiais associados a processos criativos, quando fizeram seus primeiros artefatos e abrigos ("morar"). Durante milhares de anos foi apenas a experiência empírica e a tradição que governaram a seleção de materiais e processos de fabricação. Ainda hoje, grande parte dessa seleção é feita baseada em tentativas e erros ou em experiências passadas. Conforme DIETER (1998), aquilo que funcionou uma vez é sempre uma solução, mas não necessariamente a melhor solução. Atualmente, estamos iniciando uma mudança de abordagem para esse problema através da aplicação de métodos científicos para seleção de materiais.

Um destes métodos utilizados, para uma seleção de materiais ecologicamente mais corretos, analisa as propriedades de cada material através do software CES 4.2 Granta Design (2005). Neste caso, é possível se realizar um comparativo destas propriedades, aplicado à construção civil. É possível ainda dividir o processo construtivo em etapas da construção e analisar separadamente cada fase. Uma parede interna pode ser feita de alvenaria de tijolos cerâmicos tradicionais, madeira, gesso, etc., ou seja, analisa-se cada um destes materiais através das propriedades e se faz uma comparação entre eles, chegando a uma preferência tecnologicamente viável e ambientalmente favorável. Assim, avaliam-se os elementos que compõem o projeto.

Segundo DIETER (1998), essa escolha está intimamente ligada ao processamento do material antes, durante e após a concepção, realização e até após o descarte do produto. Até porque as propriedades dos materiais podem ser mudadas pelo processamento, que altera também a performance do objeto projetado e construído. Assim, a seleção de materiais deve ser baseada tanto nas propriedades quanto nos processamentos dos materiais e ainda no custo/benefício. Isto torna o número de possibilidades de escolha praticamente inumerável para o projetista.

Em muitas aplicações avançadas, como na engenharia aeroespacial, por exemplo, os materiais estão sujeitos aos limites de suas propriedades. No caso da construção civil, os materiais em serviço, em sua maioria, são submetidos a esforços constantes, tais como a carga do telhado sobre a estrutura e/ou ainda a variações de

temperatura. Dependendo do material selecionado, o impacto ambiental pode se tornar significativo, devido ao uso dado ao mesmo, bem como pelo tamanho e quantidade utilizados.

Este processo de seleção de materiais, adotado neste trabalho, baseia-se na avaliação de cada material utilizado, podendo ser considerado como uma combinação da análise ambiental global e análise do problema específico da construção civil. O que significa que aspectos relevantes estão sendo considerados, baseados em informações disponíveis e atualizadas. Também nesse processo, procurou-se selecionar materiais disponíveis no mercado, além de materiais adaptáveis a nossa realidade (no âmbito social, econômico e geográfico).

4.6 Exemplos de Métodos de Análise de Impacto Ambiental em Relação aos Materiais de Construção

Numa revisão do que foi publicado, pode-se observar uma grande preocupação com relação aos impactos ambientais que podem ser ligados ao setor da construção civil e, mais especificamente, aos materiais de construção utilizados. Contudo, a grande maioria destas referências abordam o tema de forma genérica, não discriminando os impactos ambientais para cada classe de material. Reconhece-se que, por este ser um assunto novo, existe ainda muitas lacunas a serem pesquisadas. Dentro da bibliografia analisada, pode-se citar cinco autores (LIPPIATT, 2002; WILSON, 2000; ANINK et al., 1996; LAWSON, 1996; GREEN BUILDIND DIGEST, 1995), que especificam mais detalhadamente os impactos ambientais relacionados diretamente aos materiais de construção.

LIPPIATT (2002; 1998) é responsável pela criação da versão 1.0 e, atualmente, das versões 2.0 e 3.0 do *software* denominado BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), cujo projeto teve início no ano de 1994, implementando uma técnica sistemática e racional para seleção de produtos freqüentemente utilizados na construção civil dos Estados Unidos da América, através de uma análise ambiental e

econômica de todo o ciclo de vida. A técnica é baseada em procedimentos padronizados e transparentes para o usuário do software. Foram utilizadas as normas internacionais da série ISO 14040, oferecendo as bases para análise de ciclo de vida em termos ambientais.

É apresentado por LIPPIATT (2002) uma análise de duzentos produtos onde estão incluídos, entre eles, a comparação do concreto com três variações de adição de cinza volante, de quatro tipos de isolamento térmico, de dois tipos de revestimento interno com variações para parede e teto, de seis tipos de revestimento exterior, de três tipos de cobertura, três tipos de acabamento interno, dois tipos de aberturas, dois tipos de divisórias e ainda de dezessete tipos de revestimentos para piso. Salienta-se que estas informações exigem um estudo profundo e detalhado de cada classe de material que compõe cada parte de uma edificação. Observa-se, contudo, que os produtos para isolamento térmico e revestimento interno de paredes e tetos com chapas de madeira são característicos da realidade norte americana, sendo que os demais produtos são mais adaptáveis à realidade brasileira.

A performance ambiental de cada produto, no software BEES, é obtida através da associação dos resíduos sólidos, das emissões aéreas e dos efluentes líquidos poluentes, causando seis impactos ambientais: o aquecimento global, chuva ácida, nutrificação do solo e água, exploração de recursos naturais, geração de resíduos sólidos e qualidade do ar no interior de edificações. Entende-se com nutrificação a adição de nutrientes minerais ao solo ou água, sendo que a adição de elevadas quantidades de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode resultar em indesejáveis modificações no número de espécies do ecossistema local e redução da biodiversidade. Os gastos energéticos, ao longo do ciclo de vida de cada produto, também são avaliados.

Ressalta-se, então, que os resultados de impacto ambiental total de cada um dos produtos analisados por LIPPIATT não representam danos ambientais absolutos, mas sim danos relativos entre os produtos alternativos comparados. Conseqüentemente, a performance ambiental de determinado material ou produto poderá se modificar a partir da inserção ou remoção de uma ou mais alternativas sob

consideração. Desde que os produtos exerçam a mesma função dentro da edificação, ou seja, desde que um possa ser substituído pelo outro, pode-se realizar uma comparação da performance ambiental entre eles. A performance econômica de cada produto é obtida utilizando-se a norma americana ASTM E 917 (1994), que abrange os custos envolvidos em investimentos iniciais, substituição, operação, manutenção e disposição final. As performances ambiental e econômica são então combinadas em uma performance total utilizando-se a norma americana ASTM E 1765 (1995).

WILSON (2000), por sua vez, a partir da verificação das dificuldades encontradas nos métodos que utilizam a análise do Ciclo de vida, apresenta um método elaborado pelo *Environmental Building News - (EBN)*, que se baseia na orientação do processo de escolha de materiais de construção mais adequados ambientalmente, através de critérios qualitativos, atualizados por uma revisão periódica. O EBN produziu uma lista denominada *GreenSpec*, de produtos ambientalmente corretos, a partir desses critérios.

Os critérios adotados pelo EBN, criados de forma a serem atualizados periodicamente, são também baseados no ciclo de vida dos materiais e apresentava os seguintes itens:

- produtos feitos de materiais ambientalmente corretos:
 - produtos que reduzem o consumo de materiais;
 - produtos reutilizados;
 - produtos como conteúdo de material consumido reciclado;
 - produtos de madeira certificada;
 - produtos feitos a partir de resíduos da agricultura;
 - produtos naturais ou minimamente processados;
- produtos que são ambientalmente corretos pelo que não contém:
 - substâncias alternativas à destruição da camada de ozônio;
 - alternativos aos produtos feitos a partir do PVC e policarbonato;
 - alternativos à madeira tratada com preservativos convencionais;
 - alternativos a outros componentes considerados perigoso;

- produtos que reduzem os impactos ambientais durante a construção, reforma ou demolição:
 - produtos que reduzem os impactos da nova construção;
 - produtos que reduzem os impactos das reformas;
 - produtos que reduzem os impactos da demolição;
- produtos que reduzem os impactos ambientais durante o uso da edificação:
 - componentes da edificação que reduzem as cargas de aquecimento e resfriamento;
 - equipamentos que conservam energia;
 - equipamentos à base de energia renovável e células de energia;
 - acessórios e equipamentos que armazenam água;
 - produtos com durabilidade excepcional ou com baixa necessidade de manutenção;
 - produtos que previnem a poluição ou reduzem a quantidade de resíduos;
 - produtos que reduzem ou eliminam os tratamentos pesticidas;
- produtos que contribuem para um ambiente interno seguro e saudável:
 - produtos que não liberam poluentes significativos dentro da edificação;
 - produtos que bloqueiam o desenvolvimento e proliferação de contaminantes no interior;
 - produtos que removem poluentes do ambiente interno;
 - produtos que alertam os ocupantes dos perigos à saúde na edificação;
 - produtos que melhoram a qualidade da iluminação.

O autor diz que um determinado produto pode ser considerado ambientalmente correto por mais de uma razão. Um produto com múltiplos benefícios pode estar apto para ser incluído no *GreenSpec*, baseado no seu desempenho ambiental global, mesmo que não atenda a um ponto em qualquer uma das categorias isoladamente.

Entretanto, há dificuldade de análise, devido aos critérios não terem o mesmo grau de definição, podendo ser superficiais em uns pontos e aprofundados noutros, em

diferentes etapas do processo produtivo de qualquer material. O próprio autor cita a existência dessas diferenças, comentando que há dificuldade de estabelecer pontos de partida para comparação. Muitos critérios são ainda vagos, sendo necessários julgamentos para cada caso (WILSON, 2000).

ANINK et al. (1996) apresentam uma análise de ciclo de vida simplificada de materiais freqüentemente usados na construção de edificações na Holanda, introduzindo um método de preferências, onde materiais que exercem a mesma função numa edificação, possam ser substituídos dentro de quatro níveis de preferência com base em critérios ambientais do maior ao menor impacto ambiental. Após o levantamento dos impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de cada material estudado, estes impactos são agrupados nos seguintes cinco grupos: recursos, energia, emissões aéreas e líquidas, danos ao ecossistema e resíduos sólidos. Salienta-se que, além destes cinco grupos, também são considerados aspectos ambientais como o potencial de reutilização, a facilidade de manutenção e a durabilidade proporcionada pelos materiais. Desta forma, as alternativas de materiais são comparadas através da construção de uma matriz, onde os grupos e os aspectos são analisados em conjunto. Esta matriz representa a base para a determinação das preferências ambientais entre as alternativas de materiais.

Por sua vez, LAWSON (1996) realiza uma análise de ciclo de vida de vários materiais utilizados na construção civil da Austrália, apresentando informações qualitativas para cada material isoladamente, sem realizar comparações entre materiais diferentes. São levantados alguns impactos ambientais relativos aos materiais apresentados. Porém, não existe nenhuma sistematização para análise de todo o ciclo de vida, sendo somente salientadas algumas emissões ou resíduos que possam vir a gerar impactos ambientais. LAWSON não estuda cada etapa do ciclo de vida de cada material separadamente, realizando uma análise um tanto superficial. O autor divide os materiais em três grandes categorias: orgânicos, cerâmicos e metálicos. Para cada material salienta alguns aspectos ambientais dentro das características gerais. Não associa os resíduos sólidos, as emissões gasosas e os efluentes líquidos gerados ao longo do ciclo de vida de materiais de construção com outros impactos ambientais,

como, por exemplo, o aquecimento global, somente fornecendo informações gerais dos resíduos produzidos.

O trabalho do GREEN BUILDING DIGEST (1995) caracteriza-se por levantar impactos ambientais relevantes ao longo de todo o ciclo de vida de cada material, sendo este representado por duas grandes etapas: produção e utilização. A etapa de produção inclui as fases de extração, processamento, produção e distribuição de um material, e a etapa de utilização aborda as fases de instalação, uso e disposição final do material. Portanto, o trabalho procura analisar todas as etapas durante a vida dos materiais de construção.

Nesse método, as questões ambientais levantadas durante o ciclo de vida de cada material são associadas a impactos ambientais tanto globais quanto locais. Os impactos relacionados à etapa de produção envolvem gastos energéticos, exploração de recursos naturais, aquecimento global, chuva ácida, redução de camada de ozônio, emissão de substâncias tóxicas, também é salientado alguns aspectos sobre a saúde dos operários. Já os impactos relacionados à etapa de utilização referem-se à durabilidade e manutenção, aos riscos à saúde dos ocupantes da edificação, à reciclabilidade, ao potencial de reutilização e ao tipo de disposição final de cada material. Deve ser ressaltada, assim, que a análise dos impactos ambientais é composta por argumentos qualitativos. Estes impactos alcançados são classificados dentro de uma escala com cinco níveis, representados por um máximo impacto ambiental (nível 4), um grande impacto ambiental (nível 3), um pequeno impacto ambiental (nível 2), um mínimo impacto ambiental (nível 1) e, por fim, nenhuma evidência de impacto ambiental significativo (nível 0).

A partir da análise desse conjunto de métodos, observa-se que, pelas questões ambientais envolvidas nos métodos serem similares em países com diferentes graus de desenvolvimento, há possibilidade de aplicação dos mesmos a contextos de países em desenvolvimento, com algumas adaptações relativas à tradição construtiva e hábitos de uso, determinados pelo clima local. No entanto, é verificado que não estão presentes, nesses tipos de métodos, os aspectos sociais ou econômicos anteriormente mencionados, considerados importantes na adequação dos materiais à

sustentabilidade nos países em desenvolvimento (ou subdesenvolvidos), o que indica a necessidade de desenvolvimento de procedimentos que permitam a inclusão desses outros.

A grande maioria dos pesquisadores deste assunto busca analisar um produto do "berço ao túmulo" (*cradle to grave*), ou seja, desde a extração de matéria-prima, manufatura, transporte, instalação, utilização manutenção, recuperação, até a disposição final dos materiais de construção, pois todos os estágios de vida de um produto geram impactos ambientais e devem, portanto, ser analisados.

4.7 Ecodesign para Seleção de Materiais

Segundo TURRA, ECHEPARE e KINDLEIN (2002) o Ecodesign é uma forma ecológica de desenvolvimento de produtos, que se pode traduzir em projeto para o Meio Ambiente. Esta metodologia vem se tornando uma aliada fundamental para a inovação tecnológica de responsabilidade ambiental, suas possibilidades estão sendo consideradas vitais para a garantia do desenvolvimento sustentável e para a redução do impacto ambiental de novos produtos. Os autores indicam que à partir do momento em que se conhece os problemas ambientais e suas causas, pode-se estabelecer a escolha de materiais, a fabricação, o uso, o reuso, a reciclagem e disposição final dos produtos industriais.

A ACV (Avaliação do Ciclo de Vida do Produto), a qual é normalizada pela ISO 14040, tem relação direta com o Ecodesign por ser uma metodologia que permite a comparação e escolha entre duas ou mais opções que ofereçam o menor impacto.

Conforme mencionado anteriormente, para DIETER (1998), selecionar o material mais adequado envolve mais do que escolher um material cujas propriedades provêm a performance requerida pelo design. Deverá ser considerado, em conjunto, o processamento do material durante todo seu ciclo, sendo que as propriedades podem ser alteradas, modificando com isto a performance do objeto projetado. O autor relata que a seleção de materiais se dá por uma combinação entre design, materiais e

processos (com um número quase infinito de opções). Quando ocorre erro na seleção de materiais, também ocorre falha no design.

Ainda segundo DIETER (1998), escolher materiais apenas folhando catálogos de empresas, após a definição do design básico, é um procedimento arriscadíssimo, uma vez que os catálogos, não raras vezes, são tendenciosos e tem por função a divulgação das qualidades do produto do fabricante, não tendo, na maioria das vezes, a responsabilidade da comparação com os concorrentes. DIETER (1998) organiza o processo de seleção de materiais da seguinte forma:

- *análise dos requerimentos de design quanto à seleção de materiais*, determinando-se quais são as condições em serviço, inclusive do ambiente, e traduzindo essa informação em termos de propriedades necessárias requeridas dos materiais;
- *eliminação de materiais e processos candidatos*, comparando as propriedades necessárias com a maior base de dados de materiais possíveis e selecionando os materiais mais prováveis de atender aos requerimentos por faixas de propriedades genéricas das famílias de materiais. O importante, nesta fase, como no método ASHBY, é diminuir o número de possibilidades, independente da definição do design, passando para a fase seguinte apenas os materiais que mereçam ser melhor analisados;
- *seleção de materiais candidatos*, analisados em termos das relações performance x custos x aplicabilidade x disponibilidade. Na comparação de materiais, verifica-se a possibilidade de alterar o projeto para aceitar materiais diferentes. No final dessa fase, deve-se ter alguns bons "casamentos" de materiais ligados a conceitos de design. Ou seja, selecionar materiais é uma questão de compromisso entre engenharia e design;
- *desenvolvimento das informações de design já ligados aos materiais*. Determina-se as propriedades chave dos materiais candidatos e compara-se com as alternativas de design (estimando as performances). Nesta fase,

determina-se o melhor conceito de design já relacionado com o melhor material através do melhor processamento em cada fase. As alternativas persistem enquanto se procede a melhoramentos no design, mas pode ser necessário retomar os critérios de seleção, se o projeto sofrer modificações em seu desenvolvimento (mesmo na fabricação, instalação, modificação, etc.). Pode-se, também, desenvolver análises específicas: custos *versus* performance; classificação de índices especiais (design x materiais); análise de valor; análise de falha; análise custo/benefício; etc.

Método ASHBY de Seleção de Materiais

Procurando evoluir as técnicas de seleção de materiais, ASHBY (2003) e seus colaboradores aprimoraram uma metodologia de seleção, através da compilação de um banco de dados com propriedades de inúmeros materiais, contemplando ainda a constante exploração de uma otimização multi-objetivada, através do software de Seleção de Materiais, nomeado de Cambridge Materials Selector ® - CMS 2.0, conforme observado na figura 03. Com o apoio da Granta Design®, é utilizado como ferramenta para balançar a performance exigida contra os aspectos de custo das decisões entre materiais e processos.

através de elipses que, determinando áreas de ocupação, apontam seu posicionamento diante de outros materiais através do cruzamento de suas propriedades.

A construção de mapas de propriedades permite ao Designer ou Engenheiro a observação da situação de cada classe de materiais ou cada material dentro de uma classe, no que diz respeito às suas características específicas, confrontadas duas a duas, estabelecendo-se comparativos seqüenciais na busca de definições da escolha dos materiais.

No decorrer de sua utilização, os criadores do software agregaram novas tarefas ao programa, com base nas necessidades percebidas pela constante evolução no desenvolvimento de produtos. Onde a influência da forma aliada à funcionalidade, explorada através dos projetistas, passou a se tornar requisito de projeto e interagir na atividade de seleção de materiais. Conseqüentemente, o programa adquiriu nova versão, sendo chamado de Cambridge Engineering Selector® -CES EduPack 2005. Este programa foi utilizado, nesta dissertação, de forma que a variável processos de fabricação, "*processability*", entre outras, pode entrar no cruzamento de necessidades, para a seleção de materiais, principalmente pela sensibilização com os fenômenos ambientais, definidos pelo impacto da produção industrial que influenciou no aspecto de seleção de materiais deste software. Possibilita, também, a identificação de parâmetros relacionados a propriedades ecológicas (*eco properties*), visualizadas na figura 04, onde destacam-se atributos como, recursos de fonte renovável, biodegradabilidade, produção de gás carbônico, ciclo de vida, incineração, disposição em aterro, custo energético e reciclabilidade do material, contribuindo cada vez mais na inclusão das variáveis do Ecodesign, julgando-se importante esta etapa do processo criativo, que deve ser vinculada ao período inicial de projeção.

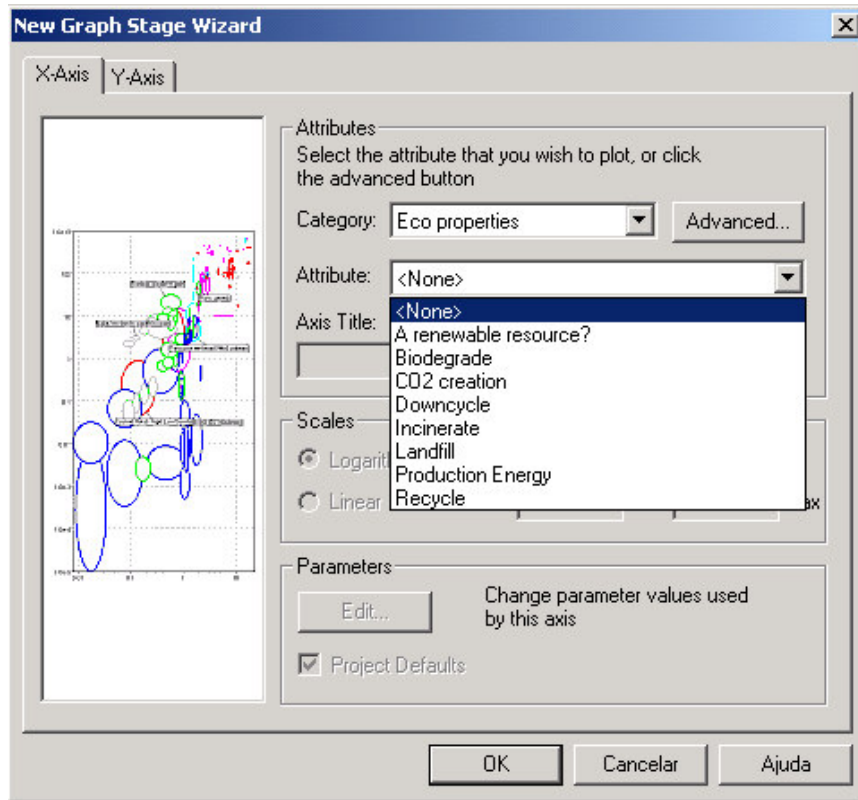


Figura 04: Definição de atributos ambientais
 Fonte: CES 4.2 (Software - Granta Design – Edupack 2005).

As demais especificações técnicas dos materiais quanto a impacto ambiental e possíveis identificações previstas no código internacional para materiais recicláveis, ou seja, a sinalização que identifica o material, viabilizando sua correta separação após descarte, bem como observações relacionadas as usuais aplicações de determinado material, são também listadas, conforme observado na figura 05.

Para todos os atributos, a visualização resultante ocorre, também, através dos mapas de seleção graficamente representados, onde se pode eleger uma área de abrangência em que os valores importantes ao projeto sejam eleitos pelo usuário. No entanto, para realizar um projeto em que a escolha de parâmetros tenha definições precisas entre uma escala de valores mínima e máxima, é necessário estabelecer uma busca detalhada através do software, identificada na figura 06, podendo-se

comprometer ainda mais com os requisitos apontados pelo Engenheiro em qualquer um dos atributos disponíveis.

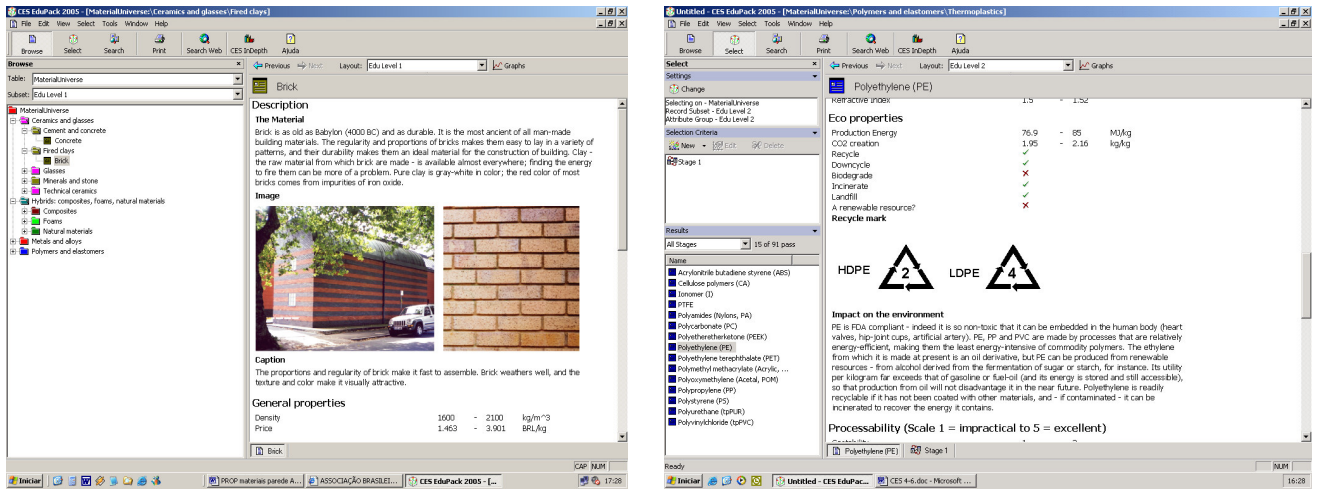


Figura 05: Apresentação de aplicações e definições específicas.
Fonte: CES 4.2 (Software - Granta Design – Edupack 2005)

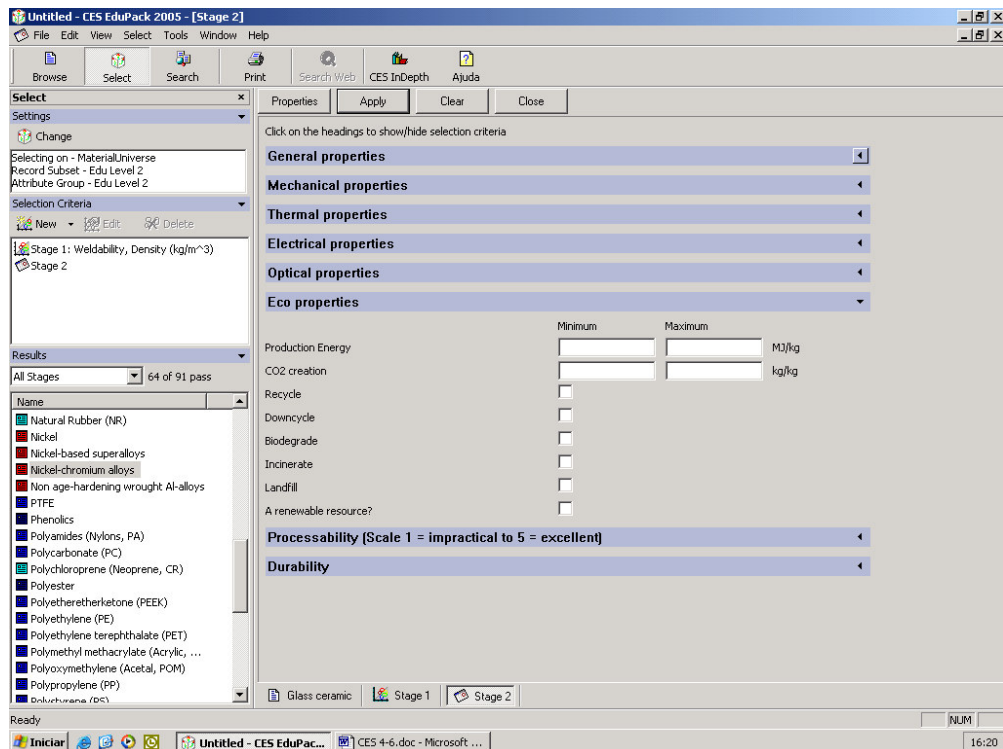


Figura 06: Definição precisa de valores dos atributos.
Fonte: CES 4.2 (Software - Granta Design – Edupack 2005)

A intervenção do consumidor ou usuário do produto, no sentido de passar a exigir melhor qualidade, custo e competitividade na venda ou aquisição de seus produtos, refletiu significativamente neste processo de seleção dos materiais, impondo aos fabricantes, dos mesmos, a busca no atendimento destes quesitos, possibilitando a expansão e aceitação dos produtos no mercado. Neste sentido, observações, quanto a quesitos de durabilidade, foram também aperfeiçoadas no programa, caracterizando bons recursos para a melhor compatibilização dos materiais avaliados diante das ações das intempéries, promovendo, assim, uma análise qualitativa quanto a flamabilidade do material, comportamentos frente à água doce e salgada, solventes orgânicos, raios ultravioleta, entre outros, conforme identificado na figura 07.

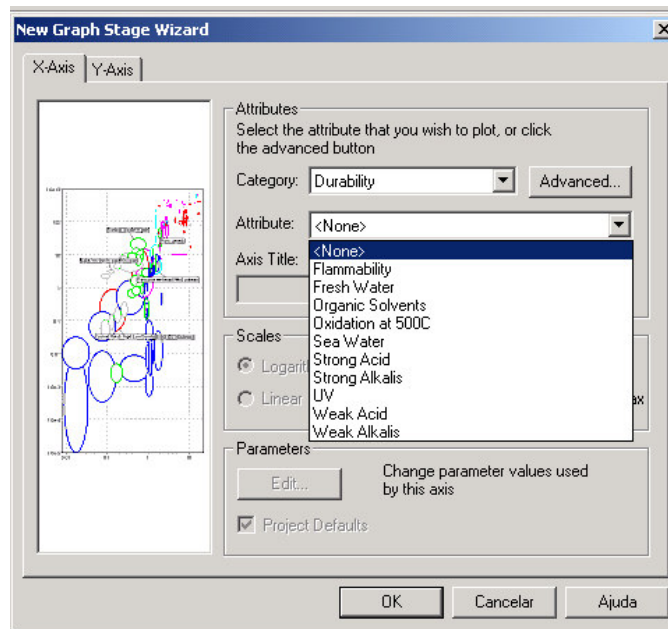


Figura: 07: Definição de atributos de durabilidade
Fonte: CES 4.2 (Software - Granta Design – Edupack 2005)

Observando-se ainda a evolução dos materiais nas últimas décadas, constata-se a influência dela no banco de dados da versão anterior, apresentada pelo CMS 2.0, de tal forma que a visualização global dos materiais, através dos tradicionais mapas de seleção, passaram a ser mais completos e complexos ao mesmo tempo, podendo-se realizar filtragens prévias para iniciar a pesquisa em bases pré-selecionadas, estabelecendo-se níveis de pesquisa em grau 1, 2, e 3, representando seu nível de

detalhamento e abrangência da base de dados dos materiais. A figura 08 apresenta um exemplo do cruzamento das famílias de materiais quanto às propriedades selecionada para análise dentro da ampla variedade de materiais, numa determinada etapa, neste caso da dissertação, de uma residência unifamiliar.

Em termos de preços, no método de seleção de materiais estudados, as comparações de custo específico, entre os vários materiais candidatos, são feitas numa base equalizada (média) do custo daquele material em cada parte componente do produto inteiro. O preço dos materiais é cotado por massa unitária (do componente), e o volume da parte em questão é determinado a partir de suas dimensões (geometria, peso, etc.). Assim, para efeito de comparação, a partir do volume, os materiais são convertidos em massa, usando-se a densidade específica do material em questão. Basicamente, os sistemas computadorizados de seleção de materiais se utilizam de uma conversão direta de um valor mundial (em dólares) por tonelada do material (obtido de bancos de dados nem sempre padronizados). Obtém-se, assim, um preço genérico do principal componente material por quilograma. Isto pode parecer muito básico e muito genérico, mas é muito útil nas etapas iniciais da seleção de materiais. Os custos deverão ser devidamente bem verificados, conforme as circunstâncias específicas (localização, disponibilidades, fornecedores, processos possíveis, etc.).

Com os dados coletados, o método ASHBY nos fornece um mapa em escalas logarítmicas, onde se cruzam as famílias de materiais quanto às propriedades selecionadas para análise, fornecendo, assim, uma série de materiais com as mesmas características solicitadas. A seguir, a figura 08 é um exemplo deste mapa.

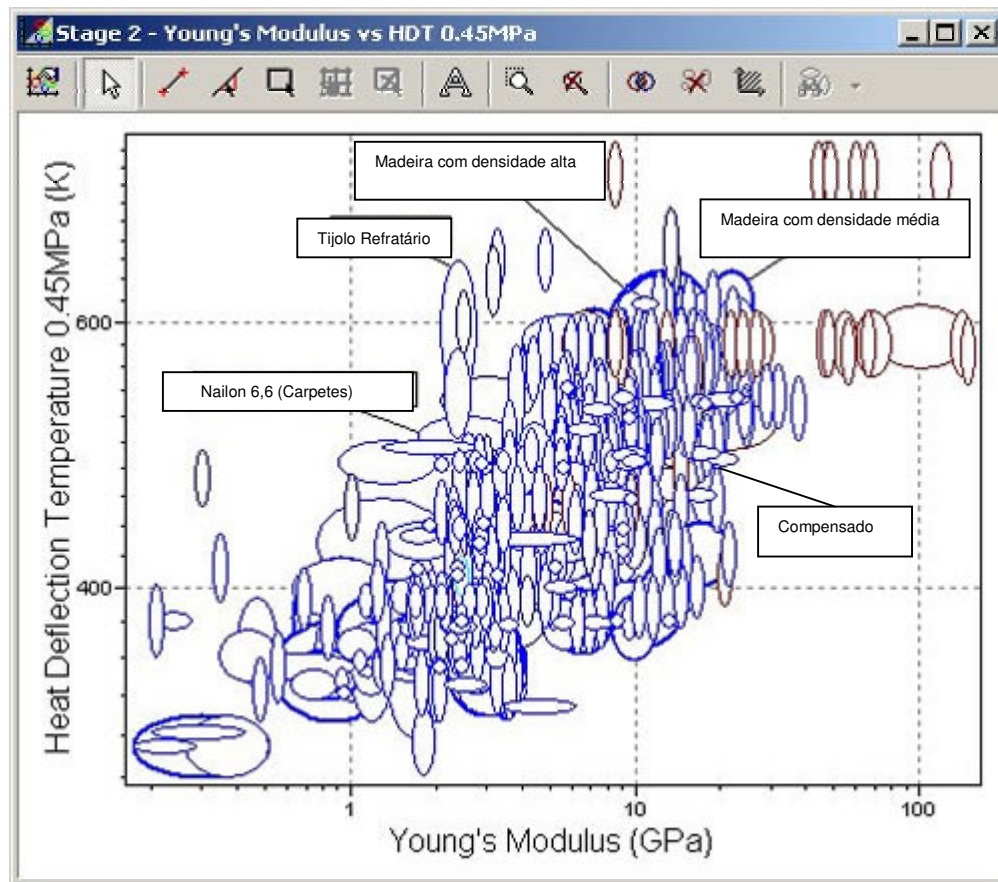


Figura 08: Mapa de seleção de materiais – CES 4.2
 Fonte: CES 4.2 (Software - Granta Design)

De acordo com as pesquisas realizadas, há outros métodos para a seleção de materiais, mas eles não diferem muito do método ASHBY. É necessário dizer que os métodos de seleção de materiais do tipo ASHBY são genéricos e normalmente são mais adequados a produtos de consumo. Para a construção civil é muito importante um enfoque nas diferentes etapas de construção, a fim de se poder classificar as diferentes possibilidades e analisar separadamente as disponibilidades de seleção.

Posto este cenário, apresenta-se a seguir uma relação das etapas da construção, sendo que, dentro delas, incluem-se os materiais com preferências "ambientalmente mais corretos", ou seja, relacionam-se os materiais e as preferências ambientais entre as alternativas apresentadas.

5 COMPARATIVO DOS MATERIAIS SELECIONADOS PARA CADA ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM AMBIENTE URBANO

Inserido no amplo contexto dos impactos ambientais relacionados a edificações em geral, pode-se salientar a preocupação específica com os materiais de construção selecionados para este estudo. Neste sentido, HALLIDAY (1994) afirma que a indústria da construção consome grandes quantidades de materiais e produz uma quantidade significativa de resíduos de construção e demolição (RCD). A extração de algumas matérias-primas causa danos à paisagem, aos habitats naturais e ecossistemas, quase sempre constituindo danos irreversíveis. Adicionalmente, materiais de construção necessitam de gastos energéticos para a sua produção e podem gerar poluição para o ar, água ou terra, durante sua extração, manufatura, utilização e disposição final. Ainda, segundo HALLIDAY (1994), deve-se então adotar uma estratégia para maximizar o uso de recursos renováveis, a reciclagem e reutilização dos materiais utilizados, priorizando também a sua origem local para reduzir os gastos em transporte.

Considerando-se o conceito de análise de ciclo de vida, a avaliação dos principais impactos ambientais, relacionados a materiais de construção, pode ser dividida em cinco fases de estudo: primeira, uma análise detalhada dos impactos referentes à aquisição das matérias-primas; segunda, os impactos durante a manufatura dos materiais de construção; terceira, os impactos devido ao transporte destes materiais; quarta, os impactos durante a utilização destes materiais em edificações; e por fim, os impactos referentes à disposição final dos mesmos. Além destas fases, leva-se em consideração os recursos humanos envolvidos nos sistemas de produção. Deve-se salientar que cada uma destas etapas básicas está diretamente relacionada a determinados *inputs* e *outputs*, responsáveis pela geração de impactos

ambientais. Enquanto os *inputs* podem representar os recursos materiais, energéticos, entre outros, os *outputs* podem abranger as emissões aéreas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, etc., (SPERB, 2000). Posto este cenário, apresenta-se a seguir as etapas da construção de uma residência unifamiliar típica, constituída em ambiente urbano com as respectivas alternativas de materiais, as quais foram selecionadas em função de pesquisa bibliográfica e com profissionais da área (engenheiro e/ou arquitetos), tendo como base um questionário elaborado pela autora, onde os mesmos classificaram os materiais listados de acordo com a freqüência de utilização em construções de residências unifamiliares. Salienta-se ainda que os materiais, aqui estudados para cada etapa, são analisados isoladamente, ou seja, no caso do revestimento de parede ou piso com cerâmica, não se levou em consideração a argamassa de assentamento deste material, sendo avaliada apenas a cerâmica.

5.1 Fundações e/ou Estruturas

Para a execução da fundação e/ou estrutura de uma construção de residência unifamiliar, pode-se citar, como materiais utilizados com maior freqüência no mercado atual, conforme figura 09, o concreto armado convencional (para fundações e/ou estruturas) e pedra natural (fundações). Apesar de pouco utilizados, pode-se acrescentar também estruturas em aço, madeira e ainda as fundações em concreto armado com agregado reciclado, este, por sua vez, ainda em estudo, e, por conseqüência, muito pouco utilizado no estado. Estes materiais podem ainda ser combinados, como, por exemplo, pedra natural e viga de concreto armado ou estacas de madeira com blocos de concreto armado.

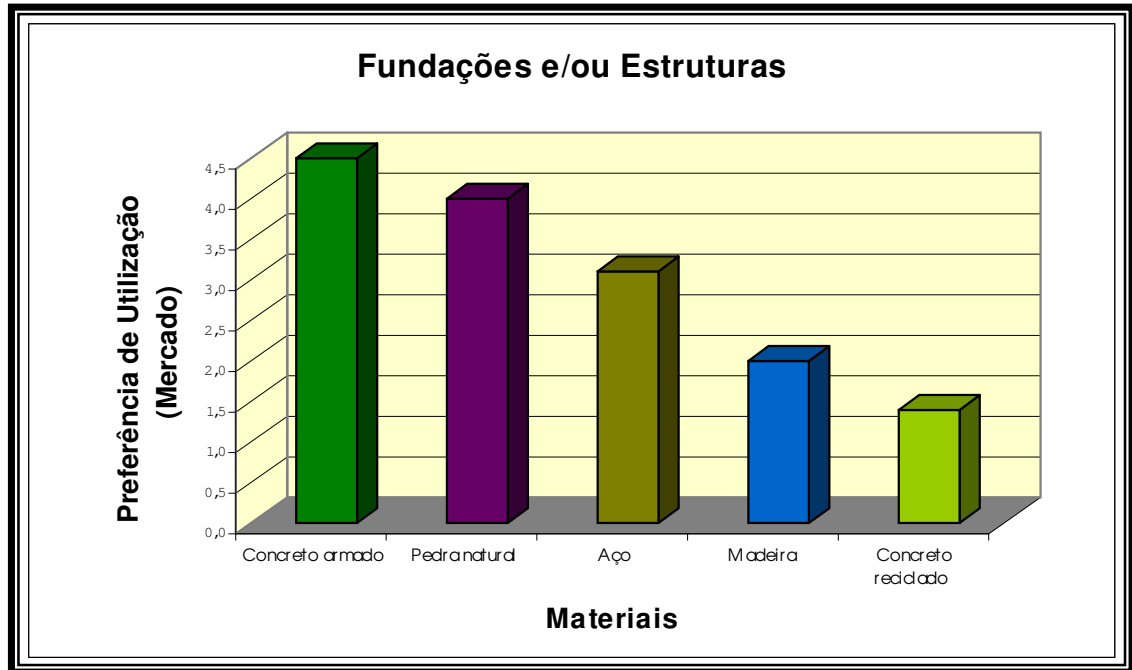


Figura 09: Preferência de Utilização no Mercado X Materiais para Fundações/ Estruturas.

5.1.1 Materiais Utilizados para Fundações e/ou Estruturas

As fundações em **concreto armado** convencional (figura 10) podem ser do tipo direta ou profunda. Ambos os tipos utilizam insumos similares, tais como cimento, areia, brita e aço. A variação é dada pela forma de sua utilização e execução nas fundações diretas em sapatas e blocos de fundação e nas fundações tipo profundas como estacas escavadas, Franki, pré-fabricadas, entre outros. Os principais impactos, advindos da utilização do concreto armado, dizem respeito à extração no meio ambiente dos compostos do cimento (calcário, argila, etc.), de seus agregados (brita e areia), bem como o minério de ferro e carvão, para fabricação dos componentes do aço. Este material é amplamente utilizado em estruturas, ou seja, pilares, vigas e fundações.

Analisando os componentes do concreto armado (cimento, areia, brita e aço), percebe-se que a extração de areia pode se configurar em atividade danosa ao ambiente se não tomadas as medidas de resguardo adequadas, como, por exemplo, a concentração da extração no centro do curso d' água e somente no pacote de areia de

assoreamento, a fim de não ser alterado o seu leito, monitoramento do equilíbrio do canal, entre outros, (SMA, 1997). Os principais danos são a retirada de cobertura vegetal, erosão/assoreamento e alteração paisagística (ocasionado pelas cavas de extração ao ar livre). Além disso, sabe-se que a camada de areia funciona como filtro físico e biológico para as águas subterrâneas e que, portanto, sua retirada representa a diminuição destas importantes funções no ecossistema local. Acresce-se também o alto consumo de energia gasta com este material na extração e no transporte da fonte até o local da obra. Em minerações regulamentadas, a extração tem baixo impacto, pois esta se dá com a retirada da areia do fundo do leito de rios através da dragagem. Desta forma, apesar de modificar a evolução natural dos rios, a extração ameniza o efeito de enchentes, não permitindo o assoreamento dos rios.

No caso do cimento, composto essencialmente por argila, calcário, alumina e óxido de ferro, a sua produção gera um volume imenso de dióxido de carbono, ou seja, para cada tonelada de cimento que emerge dos fornos, cerca de uma tonelada de CO_2 é disponibilizada para a atmosfera (CONPET, 2005). A produção de cimento é responsável por cerca de 7% a 10% das emissões artificiais totais de dióxido de carbono no mundo (CONPET, 2005). Isso se deve, em parte, à grande quantidade de energia necessária para elevar as temperaturas dentro dos fornos de cimento aos 1450°C , indispensáveis para calcinar o carbonato de cálcio. Nos fornos, os combustíveis mais utilizados são coque de petróleo, resultante do processo de craqueamento de resíduos pesados, essencialmente constituído de carbono (90 a 95%) e que queima sem deixar cinzas; ou carvão mineral, combustível fóssil extraído da terra por mineração, composto primeiramente por átomos de carbono e hidrocarbonetos, além de outros elementos, inclusive enxofre; ou ainda carvão vegetal, obtido através da queima de madeira de acácia-negra, em fornos de tijolos com barro, provocando grande poluição atmosférica pela utilização de qualquer um dos combustíveis mencionados (ENCARNAÇÃO, 2001). Junto a isto, ainda se tem a contaminação do ar por pós provenientes da produção propriamente dita do cimento, ou seja, na mistura de clínquer e do gesso, que são os componentes básicos do cimento.

Já no caso do terceiro componente do concreto armado, ou seja, a brita, os principais impactos ambientais causados pela extração destes materiais são o pó proveniente na detonação da pedreira, e a desfiguração da paisagem natural. Esta área explorada pode ser recuperada com o plano de recuperação ambiental o qual pode incluir a colocação de terra vegetal, a sementeira e plantação de vegetação da região.

Além destes materiais expostos, o aço, utilizado na forma de vergalhões, entra como quarto componente no concreto armado, dando a armadura necessária para fundação. Por sua vez, o aço é produzido, basicamente, a partir de minério de ferro e carvão. A fabricação do aço pode ser dividida em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação (IBS - Instituto Brasileiro da Siderúrgica, 2005). Na preparação de carga, onde o minério de ferro é aglomerado, utiliza-se cal e finos de coque, resultando num produto chamado *sínter*. O carvão por sua vez é processado na coqueria e transformado em coque. Na redução, essas matérias-primas são carregadas no alto-forno em temperaturas acima de 1000° C, onde o carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa (ferro-gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado). No refino, utilizando aciarias a oxigênio ou elétricas, transforma-se o gusa líquido ou sólido e sucata de ferro em aço líquido. Nessa etapa, parte do carbono, contido no gusa, é removido juntamente com impurezas. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados, lingotes e blocos, passando pelos laminadores que transformaram estes semi-acabados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos cuja nomenclatura depende da sua forma e/ou composição química (IBS, 2005).

Na siderurgia, o que antes era resíduo hoje é produto. Pós, lamas e escórias, gerados no processo de produção, são utilizados na fabricação de cimento, onde as escória de alto-forno são quimicamente parecidas com o clínquer Portland, pois contém uma quantidade considerável de silicato dicálcico e, por vezes, silicato tricálcico (GEORGE & SORRENTINO, 1980), podendo ser substituído. A substituição parcial do

clínquer, obtido a partir de calcinação da argila e calcário por escória de alto-forno, tem como vantagens uma economia de energia, devido à redução do calor de formação do clínquer e a diminuição da formação de gases, especialmente o CO_2 , nocivo à atmosfera (SERSALE et al., 1986), além de reduzir a exploração de reservas naturais de calcário e argila, matérias-primas do clínquer. Estes resíduos também podem ser utilizados na pavimentação de estradas, como base ou como agregados e no concreto.

Ao mesmo tempo, a siderurgia gera 28% da energia elétrica que consome (15,0 milhões de Mwh), aproveitando os gases gerados em seu processo produtivo. Nos últimos anos, alterou sua matriz de consumo energético, aumentando o consumo de gás natural (combustível mais limpo) para cerca de 800 milhões de Nm^3 . E, ao recircular 85% das águas usadas em seus processos, deixa de captar 26,5 milhões m^3/dia de água dos rios (IBS, 2005). Entre as características desfavoráveis na produção do aço está a alta geração de emissões tóxicas, tais como dióxido de carbono (CO_2), provocado principalmente pela queima de carvão mineral, utilizado nos fornos da produção do aço, além do elevado custo por m^2 .



Figura 10: Fundação em Concreto Armado Convencional.

Pedra natural (figura 11), neste caso, destaca seu uso principalmente nas fundações. Esta modalidade requer adaptação das cargas, da concepção arquitetônica e do tipo de solo para o uso de fundações diretas em pedra natural. O uso de pedras do tipo grés (arenito), granito e basalto possuem praticamente os mesmos prós e contras estabelecidos na utilização destes materiais como elementos de pavimentação, que são a extração destes materiais naturais, causando impactos na paisagem do local, vibrações do terreno, arremesso de fragmentos e poeiras. Estes são alguns dos impactos percebidos pela população durante a exploração. Cavas abandonadas, inundadas e desmoronamentos (estes menos freqüentes) são problemas que a população percebe após a exaustão dos recursos econômicos da pedreira. Paralelamente, a pedreira, impelida a se deslocar para regiões cada vez mais distantes dos centros consumidores, devido às interferências negativas elencadas, gera um impacto adicional, com intensificação do transporte de seus produtos por maiores distâncias e aumentando o preço final do produto.

Os impactos gerados são decorrentes das atividades de perfuração, detonação, processamento e abertura da cava da pedreira. Se tais atividades forem minimizadas ou complementadas, o mesmo ocorrerá com todos os impactos gerados por estas, com conseqüente aumento da vida útil da pedreira. Isto é conseguido, utilizando-se os equipamentos e instalações da pedreira como meio de redução de impacto ambiental de outras atividades e agregando estas às atividades da pedreira. Trata-se da atividade de reciclagem e disposição de entulhos de demolição e construção, que utiliza a cava já explorada a custo zero (COELHO, 1999). Ou ainda, com a recuperação paisagística da pedreira que inclui a definição da configuração final da área, com colocação de terra vegetal, sementeira e plantação de vegetação da região e por último a recuperação final de toda a área, que inclui as zonas ocupadas com as instalações de apoio à pedreira, que pode ser feito simultaneamente enquanto ocorre a exploração, ou seja, enquanto uma área está sendo explorada, a área anteriormente explorada tem sua recuperação iniciada. Isto classifica o material entre os favoráveis ambientalmente.

Como exemplo de recuperação de áreas degradadas, cita-se o Rincão Gaia, localizado no município de Pantano Grande, a 120 km da cidade de Porto Alegre/RS.

Onde hoje funciona a sede rural e social da Fundação Gaia, situado sobre uma antiga jazida de basalto. No lugar dos antigos buracos das pedreiras, existem hoje lagos e no seu entorno grande variedade de plantas típicas de ambientes áridos, que junto às rochas, formam jardins de rara beleza. Além disso, o local é um centro de educação ambiental e de divulgação da agricultura regenerativa. E ainda estruturado para receber grupos de pessoas fornecendo hospedagem e alimentação, o Rincão Gaia cedia cursos e seminários direcionados à promoção de desenvolvimento sustentável.



Figura 11: Fundação em Pedra Natural (Granito).

O aço (perfil metálico), que recebe a sua nomenclatura em função do formato e aplicação, é utilizado como fundação e/ou estrutura, como pode ser visto na figura 12. Conforme foi exposto nos componentes do concreto, no que se refere à fabricação do aço, o material é quase 100% reciclável. Quando utilizado isoladamente e quando usado em conjunto com outros materiais, devido às suas propriedades magnéticas, o aço é facilmente separado de detritos e refulgos domésticos, (CBCA, 2005). Além disso, a coleta seletiva de sucata possibilita sua incorporação ao processo produtivo de modo otimizado. Tal vantagem faz com que o aço seja o material mais reciclado no mundo

(ANINK, 1996). O processamento da escória dos alto-fornos em cimento evita a extração de 4,5 milhões de toneladas de calcário por ano, economiza 350.000 toneladas de carvão e reduz as emissões de CO₂ em 2 milhões de toneladas (CBCA, 2005). Contudo, o aço no seu processo produtivo é um dos materiais mais poluentes, apesar dos esforços para reduzir as emissões de gases nocivos empreendidos nas últimas décadas (50% nos últimos 40 anos) Gera 2 toneladas de CO₂ para cada tonelada de aço fabricado, (FOLHA DE SÃO PAULO, 2005).



Figura 12: Estrutura Metálica.

A **madeira**, utilizada como estrutura ou ainda em raros casos como fundação, no passado com casos clássicos, como boa parte da cidade de Veneza, apresenta aspectos importantes que a distingue de outros materiais, tais como a renovabilidade, consubstanciada na possibilidade crescente de viabilização técnico-econômica da produção sustentada de florestas nativas (manejo florestal) e nas modernas técnicas silviculturais empregadas nos plantios florestais, as quais permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado. Do ponto de vista de consumo de energia, a madeira apresenta um balanço positivo em relação a outros materiais de construção (ZENID, 2001). A madeira, como um material renovável e de baixo

consumo energético, não sofre as limitações de outros materiais cuja disponibilidade é determinada pela extração ou produção, que são balizadas por jazidas finitas ou pela existência de recursos energéticos para a sua obtenção. Sob o ponto de vista de seu emprego como um material de construção, ela traz a vantagem de ser mais simples de produzir que o concreto ou o aço. Consequentemente, as demandas de investimentos industriais e de controle de poluentes são muito menos onerosas e a qualificação da mão-de-obra a ser empregada é menos exigente.

A madeira é um material que pode ser usado para estruturas, conforme figura 13. Entre as mais usadas estão o eucalipto, ipê, itaúba, jatobá entre outras. Ela apresenta ,ainda, uma série de vantagens em relação a outros materiais tais como cimento e o aço. Estas vantagens se devem ao fato da madeira possuir, em geral, ótima resistência mecânica em relação ao seu peso, (a madeira pesa apenas 1/3 do concreto e 1/8 do aço, FUSCO, 1989), facilidade de usinagem, bom isolamento térmico, versatilidade na utilização, podendo ser serrada, laminada, cortada em partículas, desfeita em fibras, além de ser um bem renovável (FREITAS et al., 1998).

Usando a madeira para construção, economiza-se a quantidade de energia em duas etapas: uma, na formação da matéria-prima que se faz através da absorção de energia solar (fotossíntese) e a outra, em relação ao consumo de energia, para o processamento e montagem da construção, pela possibilidade de aproveitamento de seus resíduos como energia calorífica (WINTER, 1998 apud BARBOSA & INO, 2001). O consumo energético para produção de madeira é 70 vezes menor que o consumido na produção de alumínio, 17 vezes menor que na do aço e 3 vezes menor que na produção do concreto. Outro aspecto relevante é que a madeira se destaca pelo fato de ter uma emissão negativa, pois retém parte do carbono na atmosfera. O tijolo, por exemplo, emite 149 kg carbono/ton e o concreto 46 kg carbono/ton. (ABIMCI, 2004).



Figura 13: Estrutura em Madeira. Fonte: ORBITAL, 2005

Outro material ainda pouco utilizado, no Brasil, é o **concreto reciclado**, da figura 14, ou seja concreto com agregado reciclado, proveniente de demolições e/ou resíduos da construção civil (entulho). No processo de reciclagem, envolve, inicialmente, a remoção dos componentes não minerais do entulho, como madeira, plásticos, metais, papelão, etc., e a conseqüente britagem de sua fração mineral (geralmente processada por usinas de reciclagem em britadores de impacto). O material britado é então utilizado como agregado podendo ser graúdo usado no concreto em substituição do agregado natural, dependendo da resistência desejada, ou ainda como agregado miúdo substituindo a areia na argamassa. A mistura é a tradicional, com cimento e água, esta em quantidade bastante superior, devido à grande absorção dos resíduos de construção e demolição (RCD) (ZORDAN, 1997).



Figura 14: Concreto Reciclado. Fonte: ZORDAN, 1997.

A utilização deste concreto ainda apresenta algumas limitações, como a presença de faces polidas em materiais cerâmicos (pisos, azulejos, etc.) que interferem negativamente na resistência à compressão do concreto produzido. Algumas das vantagens desta reciclagem de resíduos de demolição e construção (RCD) podem ser citadas:

- utilização de todos os componentes minerais do RCD (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- economia de energia no processo de moagem do RCD (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas;
- possibilidade de utilização de uma maior parcela do RCD produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem ou de britagem;

No caso de concreto estrutural, é preciso maior acuidade para dosar e especificar o material reciclado. Vale lembrar que o módulo de elasticidade do material produzido poderá ser menor do que aquele verificado para concretos convencionais, enquanto poderá haver aumento da relação água cimento em função da maior absorção de água dos agregados cerâmicos. No entanto, a mistura entre o agregado reciclado e o agregado normal traz bons resultados. Uma adição de até 25% de agregado reciclado no agregado normal tem baixa influência na qualidade do produto (ANINK, 1996; ZORDAN, 1997). Mas esta alternativa, hoje em dia, ainda está em estudo, além de ser economicamente inviável, visto as despesas necessárias para o processamento de separação e moagem dos resíduos (instalação de britadores).

5.1.2 Seleção por Ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

Com o exposto acima, após uma análise qualitativa, observando os impactos ambientais causados pelos processos de produção de cada material, assim como a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se à análise quantitativa através dos dados fornecidos pelo software CES 4.2 Granta Design. Para isto, introduz-se dados referentes às propriedades dos materiais escolhidos, obtendo-se uma série de parâmetros, onde destacam-se as emissões de CO₂, percentagem de reciclagem, energia despendida e ainda o custo dos materiais. Estes dados são de fundamental relevância para o meio ambiente e foram dispostos na tabela 03, onde é possível fazer um comparativo entre os diversos materiais para o mesmo fim; neste caso, apenas das emissões gasosas, como CO₂.

Tabela 03: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Fundações e/ou Estruturas

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/m ³)
Madeira	700 a 1350	-1,10 a -1,05	(-) 735
Pedra natural (pedra grés, granito, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108
Concreto armado	2200 a 2600	0,16 a 0,18	468
Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170
Concreto reciclado (com agregado reciclado)	não existem dados no software CES 4.2 Granta		

Com isto, os materiais são classificados do ponto de vista ambiental para a etapa da construção "fundações e/ou estruturas" da seguinte maneira: em primeiro lugar, a madeira, apesar de atualmente ser pouco utilizada em fundações especificamente, mas de uso freqüente, tratando-se de estruturas, por exemplo, em residências no meio rural e de lazer. Este material apresenta uma geração de CO₂ negativa, ou seja, ao invés de gerar emissões tóxicas, a madeira absorve CO₂ do meio ambiente; em seqüência, na classificação, está a pedra natural, tendo como justificativa a reduzida geração de CO₂ e a pouca energia despendida para a extração e utilização da mesma; em terceiro lugar está o concreto armado convencional, apresentando, por sua vez, uma geração de CO₂ elevada, causada principalmente na fabricação do cimento, componente do concreto, além da energia despendida pela extração dos outros componentes do mesmo (brita e areia); em quarto lugar, o aço que, apesar de ter um alto índice de reciclagem dos resíduos durante e após a produção do mesmo, causa maior impacto ao meio ambiente, pela quantidade de emissões tóxicas geradas. Por sua vez, o aço tem a tendência de se tornar o primeiro da classificação, com a utilização de carvão vegetal ao invés do carvão mineral, já que, de acordo com o estudo comparativo entre ambos, indica que o coque libera 1,65t de CO₂ e fixa 1,536 t de O₂ por tonelada de aço produzido, ao passo que o carvão vegetal absorve 16,336 t de CO₂ e regenera 1,536 t de O₂ por tonelada de aço produzido no ciclo completo, desde a plantação do eucalipto até a produção do aço, (MCT, 2005). A substituição do carvão mineral pelo carvão vegetal traz ainda benefícios sociais (geração de emprego e condições de saúde e trabalho), ambientais (biodiversidade, qualidade do ar) e econômicos, sendo, com isto, muito provável que atenda à qualificação dos critérios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) do Protocolo de Kyoto, conseqüentemente, um desenvolvimento sustentável. Por último, na classificação, cita-se o concreto reciclado, utilizando materiais recicláveis. Este, por sua vez, foi classificado nesta posição, tendo em vista que o software utilizado para este estudo não disponibiliza dados quanto aos parâmetros ambientais em análise, entenda-se emissões tóxicas geradas, consumo de energia, entre outros. Este material está ainda em estudo e a sua execução ainda é economicamente inviável.

5.2 Revestimento de Pisos

Para revestimentos de pisos de uma residência unifamiliar, cita-se, como materiais de maior freqüência de uso no mercado atual, de acordo com resultado da pesquisa realizada para este trabalho, apresentado na figura 15, a cerâmica, a madeira (tacos, assoalhos, parkês, etc.) e os laminados melamínicos. Apresenta-se, ainda, materiais um pouco menos utilizados, como revestimentos em pedra natural (granito, mármore, etc.), vinílicos e carpetes têxteis. A seguir, descreve-se os materiais propriamente ditos, desde a extração, passando pelo período de utilização, até o seu reuso/reciclagem ou descarte dos mesmos, expondo assim, os impactos por eles causados.

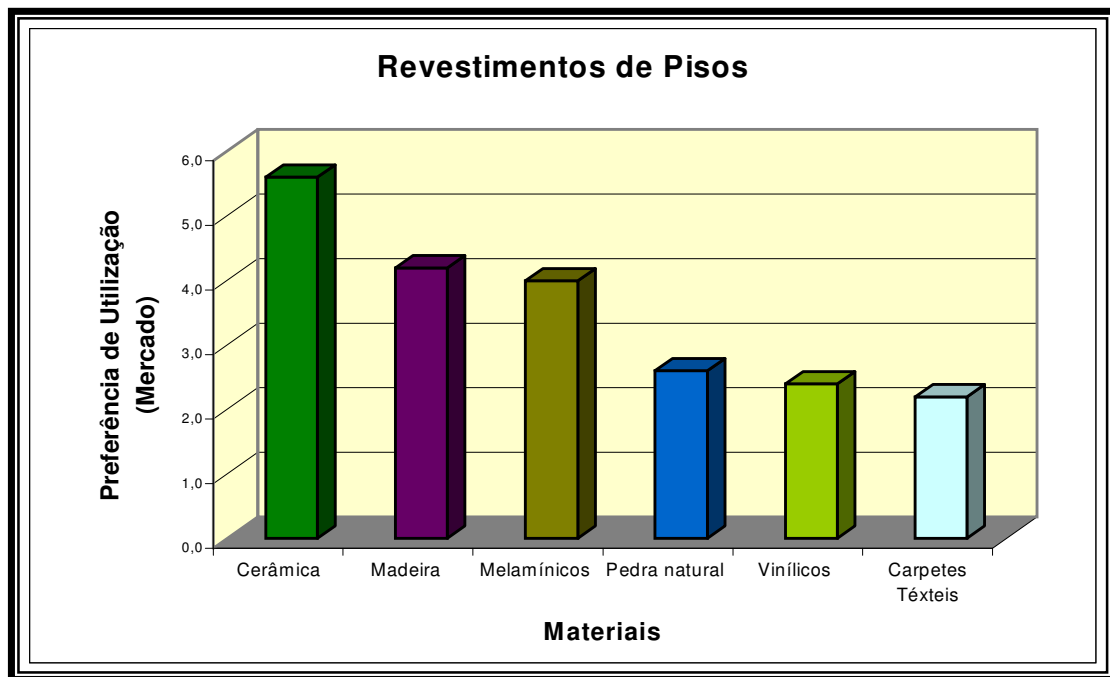


Figura 15: Preferência de Utilização no Mercado X Materiais para Revestimentos de Pisos.

5.2.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos

A **cerâmica**, como revestimento, como mostra a figura 16, de acordo com MITIDIARI & CAVALHEIRO (1988) é um dos materiais mais utilizados na indústria da construção civil. O Brasil ocupa o 4º lugar no ranking mundial de produção de cerâmica vermelha. Porém, o setor enfrenta uma série de problemas ambientais, econômicos e de qualidade dos produtos fabricados. Entre eles, pouca inovação das técnicas de produção de material cerâmico; concorrência predatória baseada na diminuição das dimensões como forma de diminuição de custo; dificuldade de obtenção de mão-de-obra qualificada para colocação; irregularidade na atividade extrativa da lenha e argila usadas para a produção do produto; dificuldade de gerenciamento da produção; desperdício de matéria-prima pela exploração não planejada de argilas; desperdício de energia e inexistência de controle de qualidade efetivo e constante, (ROMAN & GLEIZE, 1998).

Segundo VILLAR (1988), os produtos cerâmicos são silicatos que, pelo aquecimento a elevadas temperaturas (queima), reagem, adquirindo propriedades específicas de resistência e rigidez. São compostos, tradicionalmente, por três tipos básicos de matérias primas: argila, feldspato e areia.

Conforme MOTTA *et al.* (2001), do ponto de vista da matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza, basicamente, argila comum, em que a massa é do tipo monocomponente (só argila) e pode ser denominada de simples ou natural. Possui baixo teor de matéria orgânica e outras impurezas, principalmente fundentes minerais de ferro que lhe conferem tendências de sinterizar, adquirir resistência mecânica a temperaturas entre 900º C e 1100º C.

O processo produtivo da cerâmica está composta pelas seguintes etapas: extração da matéria-prima, preparo, moldagem, secagem, esmaltação, queima e o produto final. A seguir, apresenta-se o processo industrial de produção de revestimentos cerâmicos esmaltados, seguido de um breve resumo de cada etapa. Onde, aplicando-se a ACV ao processo produtivo de matérias de cerâmica, identificou-se os impactos ambientais gerados em cada fase do processo produtivo, observando

os itens: recursos humanos (RH), energia (E), recursos naturais (RN) , resíduos (R) e emissões gasosas (EG), ou seja, geração de CO₂ através de sua origem e sua possível assimilação.

- *Extração da Argila:* A matéria-prima básica para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha é a argila, considerada um recurso abundante na natureza (PETRUCCI, 1980; VERÇOZA, 1987), porém a sua extração provoca danos ao meio ambiente. Os principais impactos relacionados ao uso de recursos naturais dizem respeito à degradação das áreas de extração da matéria-prima, ao esgotamento do recurso, se o mesmo não for renovável, e à geração de rejeitos lançados ao solo, contaminando-o ou degradando-o. A princípio, todas as áreas de extração de argila devem seguir o processo de licenciamento junto aos órgãos estaduais e federais responsáveis, onde é exigido um planejamento para a recuperação das áreas degradadas. Para reduzir tais impactos, devem ser empregadas técnicas de extração adequadas (retirada da cobertura vegetal, técnicas de escavação, encaminhamento dos rejeitos, etc.), incorporar à matéria-prima outros recursos, tais como resíduos provenientes de outras indústrias, quando possível, e usar recursos locais, para evitar consumo de energia e emissões aéreas devido ao transporte dos mesmos, além da recuperação das áreas degradadas. Em pesquisa elaborada por MANFREDINI, 2001 em 40 indústrias do ramo, obteve-se dados das empresas questionadas a respeito de como haviam sido recuperadas as jazidas já esgotadas e como o processo se daria futuramente nas jazidas em atividade. As indústrias deram respostas variadas como: recuperação da mata nativa, reflorestamento (em alguns casos para gerar lenha para a própria indústria), aterramento do local e açudes para criação de peixes, inclusive recuperação da área de extração, com a implantação de uma área de lazer para os funcionários da indústria, com açudes, churrasqueiras e quiosques.

- *Preparação de Matérias-Primas:* O processo de preparação da argila para produção de pisos e revestimentos cerâmicos pode ser realizado por via seca ou úmida. No processo de via seca, os torrões de argila são reduzidos, através de destorroamento, que consiste na passagem de roletes metálicos puxados por tratores sobre a argila. Este procedimento pode ser realizado tanto no local da extração quanto nos pátios das

indústrias onde a argila é armazenada ao ar livre. A argila é desidratada em condições naturais e, em seguida, é encaminhada para a moagem. Em cada fase de moagem é realizada a classificação granulométrica da argila. O material classificado é encaminhado para um umidificador/granulador que, por meio de um ciclone e pulverização com água, faz com que as partículas colidam entre si, aderindo umas as outras e formando grânulos arredondados que são, então, estocados em um silo, para as etapas posteriores do processo produtivo.

O processo de via úmida consiste na moagem da argila com água. Inicialmente, uma composição de diferentes tipos de argila é introduzida em um moinho rotativo (de bolas ou roletes), a fim de se obter uma mistura com características pré-determinadas. Em seguida, adiciona-se uma determinada quantidade de água à mistura, para a realização da moagem, gerando um fluido viscoso, conhecido como *barbotina*. Este processo pode ser realizado em batelada ou de forma contínua. A barbotina é estocada em um tanque subterrâneo e mantida com agitação constante até ser bombeada para a parte superior do atomizador, onde é pulverizada para seu interior. Um fluxo de ar quente é injetado na parte inferior do atomizador sobre a barbotina aspergida, promovendo a colisão e a desidratação das gotículas de barbotina até a formação de pequenos grânulos de argila que são recolhidos na parte inferior do equipamento e transportadas para o silo de armazenagem, onde permanecem por um determinado período de tempo para homogeneização.

- *Moldagem*: Esta etapa é responsável pela conformação da peça, efetuada com auxílio de prensas mecânicas ou hidráulicas. Esta etapa está estritamente relacionada com o teor de água da pasta de argila. Quanto maior a quantidade de água, maior a plasticidade e mais fácil a moldagem, causando uma redução no consumo de energia. No entanto, na etapa da secagem das peças, haverá um elevado consumo energético e possível deformação das peças (PETRUCCI, 1982), bem como maior retração, o que causa trincas, deformações e quebra de peças (SANTOS & SILVA, 1995)

- *Secagem*: A secagem é necessária para que a peça atinja a umidade e resistência adequadas para as etapas subseqüentes de esmaltação e queima. Em geral, as peças apresentam 8% de umidade ao entrar no secador e saem com aproximadamente 1%.

Em relação à geração de resíduos sólidos, os principais são decorrentes das perdas de produto acabado. Embora nas fases de moldagem e secagem haja perdas significativas, os resíduos em si podem ser incorporados ao processo, não causando impactos ao ambiente. No entanto, o produto, após a queima, não pode ser aproveitado como matéria-prima sem antes sofrer um processo prolongado de decomposição. Portanto, deve ser encaminhado corretamente. É importante reduzir as perdas de produto acabado através do desenvolvimento de programas de qualidade e aperfeiçoamento da mão-de-obra.

- *Esmaltação*: Esta etapa pode compreender várias diferentes operações. Dentre estas, destacam-se: limpeza da peça por meio de escovação; aplicação de engobe ou esmalte de base; aplicação de vapor de água e cola, que antecede a decoração ou serigrafia; aplicação de esmalte, etc. A escolha das operações a serem realizadas e o tipo de esmalte e decoração requeridos dependem do tipo do produto final desejado (por exemplo, piso ou revestimentos em diversos tamanhos e diferentes padrões estéticos).

- *Queima*: A queima é a etapa final de fabricação de peças esmaltadas. Este processo é o que dá resistência mecânica, resistência à água, às intempéries e aos agentes químicos (SANTOS & SILVA, 1995). Para tanto, são utilizados fornos horizontais de comprimentos variados (cerca de 100m), providos de roletes de material refratário que transportam as peças recém esmaltadas por toda a extensão do forno. As peças são submetidas a um gradiente de temperatura e pressão atmosférica rigorosamente controlados. As temperaturas podem atingir 1120° C, fundindo o material vítreo dos esmaltes sobre a superfície das peças que, após resfriamento até a temperatura ambiente, se transforma em uma camada protetora, conferindo às peças brilho, impermeabilidade, dureza e resistência à abrasão.

As emissões, geradas no processo, são devidas à queima do energético: lenha, refil, óleo BPF, entre outros. Também existem emissões associadas ao transporte dos insumos e transporte do produto acabado até o consumidor. Em relação à queima da lenha e do refil, o CO₂, gerado na combustão, é absorvido pela própria biomassa cultivada, para produzir a madeira, fazendo parte de um ciclo. Neste sentido, o uso da

lenha como energético, apresenta um melhor desempenho do ponto de vista ambiental. Já o óleo, além das emissões de CO₂, também emite SO₂, responsáveis pela chuva ácida.

- *Seção de Classificação e Embalagem:* A classificação é realizada para a separação dos pisos de acordo com sua qualidade. Tanto a classificação como o condicionamento das peças, podem ser feitos de forma manual ou automática. A seleção e embalagem podem ser realizadas através de linha automatizada, acionada por motores elétricos, desta maneira implicando em consumo de energia elétrica.

LAWSON (1996) apresenta um estudo de alguns materiais cerâmicos, segundo critérios ambientais. Estes critérios são: disponibilidade de matéria-prima, impacto ambiental na extração, conteúdo energético, durabilidade, manutenção e possibilidade de reutilização e reciclagem.

O Quadro 02 mostra o desempenho ambiental de revestimentos cerâmicos, segundo os critérios de LAWSON (1996).

Quadro 03: Impactos Ambientais de Alguns Materiais Cerâmicos

Critérios	Revestimento Cerâmico
Disponibilidade de matéria-prima	Muito boa
Impactos ambientais na extração	Boa
Eficiência na energia incorporada	Boa
Durabilidade	Excelente
Manutenção	Excelente
Reutilização	Péssima
Reciclabilidade	Boa

Fonte: Adaptado de LAWSON (1996).

Segundo as informações do quadro 02, os revestimentos cerâmicos apresentam um desempenho satisfatório em praticamente todos os critérios adotados. Mas apresentam um desempenho abaixo do desejado no que diz respeito à reutilização ao final de sua vida útil.

Por outro lado, em relação ao consumo de energia, deve-se considerar a renovabilidade da fonte energética, os impactos gerados na sua produção, distribuição e consumo do energético, bem como o conteúdo energético dos materiais, ou seja, a energia gasta no processo de produção dos mesmos. Portanto, é importante o uso de fontes renováveis de energia cuja produção seja local, para reduzir impactos com distribuição, e buscar fontes energéticas em cuja produção a degradação ambiental seja minimizada.

Segundo BELTRAN e MARTINEZ (1999), a energia utilizada pela indústria cerâmica é de dois tipos: energia elétrica, principalmente para moagem, movimentação e queima e energia térmica, para preparação de matérias-primas, secagem e queima das peças (tabela 04). A etapa central do processo cerâmico, a queima, é a principal consumidora de energia térmica, com aproximadamente 50% do total. A secagem por atomização da matéria-prima, nos processos via úmida, apresenta um consumo próximo a 40% do global. Finalmente, a energia térmica é utilizada para secagem das peças, numa etapa posterior à prensagem (tabela 05). O consumo elétrico encontra-se muito repartido entre as diferentes unidades produtivas, sendo, os principais consumidores, os moinhos, as prensas e os fornos (tabela 06).

Tabela 04: Distribuição de Consumo Energético na Indústria Cerâmica

Consumo Específico	kcal/kg	Total (%)
Térmico	900-1200	85-90
Elétrico	110-150	10-15
Total	1000- 1400	100

Fonte: Beltran e Martinez (1999).

Tabela 05: Distribuição De Consumo Térmico Na Indústria Cerâmica

	Kcal/kg	Total (%)
Atomização	390 - 500	35-45
Secagem	80 - 130	10-15
Queima	460 - 720	45-55
Total	900 - 1200	100

Fonte: Beltran e Martinez (1999).

Tabela 06: Distribuição de Consumo Elétrico na Indústria Cerâmica

	Kcal/kg	Total (%)
Moagem	17-28	12-16
Atomização	22-33	14-18
Prensagem	17-22	12-15
Secagem	11-16	5-8
Esmaltação	17-28	12-16
Queima	20-41	18-23
Vários*	15-30	15-18
Total	130-180	100

* Classificação, embalagens e auxiliares.

Fonte: Beltran e Martinez (1999).

Um dos aspectos ambientais mais importantes do setor cerâmico diz respeito às emissões gasosas resultantes dos processos térmicos a alta temperatura, a queima. Na indústria cerâmica de revestimento, a gama de poluentes e de processos emissores é bem maior que na indústria da cerâmica vermelha (tijolos), principalmente devido às etapas de preparação de esmaltes e esmaltação, onde há utilização de componentes químicos, como os óxidos, por exemplo, que durante a queima liberam diversos poluentes.

Nas diversas emissões gasosas do processo cerâmico, exercem influência sobre as características das emissões os seguintes aspectos: tipo de combustível, matérias primas utilizadas (com suas impurezas) e o modo de operação dos equipamentos. As emissões são constituídas, principalmente, por partículas sólidas, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxidos de enxofre, óxidos de enxofre, fluoretos e metais pesados.

Na indústria de revestimentos cerâmicos, quando se utiliza gás natural como combustível, a maior parte das emissões de dióxido de carbono provém do processo de combustão, e somente nos revestimentos é significativa a emissão de dióxido de carbono gerado nas reações de decomposição, fundamentalmente do carbonato de cálcio, que ocorre durante a etapa de queima.



Figura 16: Revestimento de Piso em Cerâmica.

A **madeira** é um recurso natural que proporcionou ao homem, desde os primórdios, combustível, ferramentas, alimentos e proteção (JONHSON, 1994). Apresenta boa resistência e rigidez em relação ao peso e uma facilidade de modelagem, pois exige ferramentas simples (MADEIRA, 2001). A madeira é um material heterogêneo de estrutura anisotrópica (GONÇALVES, 2000), sendo constituída de células ou elementos que passaram por várias fases de desenvolvimento.

Conforme já citado na etapa de fundações e/ou estruturas, a madeira apresenta um balanço ambiental positivo em relação a outros materiais de construção (ZENID,2001). Ela, como um material renovável e de baixo consumo energético, não sofre as limitações de outros materiais cuja disponibilidade é determinada pela extração ou produção, que são balizadas por jazidas finitas ou pela existência de recursos energéticos para a sua obtenção (no caso da argila para a produção da cerâmica). Além disso, absorve as emissões tóxicas do ambiente, como CO₂.

Os pisos de madeira utilizados incluem os carpetes de madeira, os assoalhos, tacos e parquê (figura 17). Estes são feitos, via de regra, com madeiras nobres, na maioria das vezes, com a peroba-rosa (RIPPER, 1995) e, ainda, ipê, jatobá entre outras. Estes por sua vez, devem ter um controle rigoroso contra umidade, evitando, assim, os empenamentos.

No caso dos assoalhos, são feitos de réguas de madeira maciça que podem ter comprimento, espessura e largura conforme a necessidade e a geometria, sendo elas aplicadas diretamente sobre contrapiso (piso em acabamento) e barroteamento (pequenos pedaços de madeira embutidos na argamassa ao nível do piso, nos quais serão aparafusadas ou pregadas). Lateralmente, as peças são encaixadas de modo a não deixar qualquer espaço vazio, com sistema de encaixe macho-fêmea. A colocação pode ser feita também em diagonal e até mesmo de maneira mista. Já o parquê, que é composto por pequenos grupos de placas de madeira coladas lateralmente, formando uma espécie de mosaico, pode ser colado com cola específica, diretamente no contrapiso. Para obtenção de um bom acabamento são necessárias as seguintes etapas:

- Raspagem e nivelamento: depois que estiverem bem nivelados e assentados os barrotes no contrapiso e colocado o assoalho, faz-se o lixamento com máquina apropriada;
- calafetação: é colocado entre as juntas e falhas da colocação dos assoalhos uma massa feita do pó da própria madeira raspada, misturada com a cola branca e o verniz e espalhada em todo o piso;
- primeira demão (seladora) depois que estiver a superfície limpa, coloca-se verniz ou resina, diluídos em álcool ou thinner, para preparar a superfície. Depois, a madeira seca é lixada;
- segunda demão (base): já com o piso limpo, passa-se a o verniz ou a resina menos diluídos;
- demão final: passa-se o verniz ou a resina puros. O trabalho deve ser feito na contraluz, para um resultado mais uniforme.

Os impactos ao meio ambiente pela utilização da madeira, provém, principalmente, do verniz utilizado no acabamento dos assoalhos ou tacos, visto a composição do mesmo que, entre outros componentes, estão aguarrás, metil etil cetoxima, polímero vinílico entre outros. Os efeitos adversos à saúde humana são devido à inalação. Podem causar irritação das vias respiratórias, além de dores de cabeça. Na pele podem causar ressecamento e/ou irritações e nos olhos podem causar conjuntivite química. Por ser insolúvel, o produto permanece nos rios, etc., podendo afetar o ecossistema (CORAL, 2005).

Existem, basicamente, quatro alternativas de aproveitamento dos resíduos (sobras) do processamento de madeira por serrarias: geração de energia, compostagem agrícola, celulose e a produção de chapas ou painéis compostos de madeira. Esta última alternativa amplia o percentual de utilização da tora de madeira e traz um impacto ambiental positivo. A vantagem da produção de chapas ou painéis não se deve somente à geração de poucos resíduos e do alto índice de aproveitamento das toras no processo, mas também porque a utilização de resíduos de madeira, como matéria-prima das fábricas de painéis ou chapas, podem gerar benefícios ecológicos importantes como a fixação de CO₂, por parte da madeira e dos produtos de madeira (FAGUNDES, 2003). A utilização de resíduos e sobras unicamente como combustível, ainda que seja uma alternativa mais correta que a deposição inadequada ou simples queima, incrementa a emissão de CO₂ e pode contribuir para o agravamento da escassez de matéria-prima ao setor. Considera-se ainda o fato de que a compostagem agrícola também libera CO₂, já que a compostagem é um processo biológico onde ocorre à desintegração dos resíduos como consequência da decomposição aeróbica. Os resíduos são decompostos nas suas unidades mais simples e absorvidos e oxidados pelos microrganismos decompositores (bactérias, fungos e outros), transformando-se em biomassa microbiana. Há grande desprendimento de CO₂ e vapor de água, e grande parte da energia liberada pelo metabolismo dos microrganismos é desprendida na forma de calor. Para isso, o material utilizado pode incluir diversos resíduos vegetais (palha, cascas, podas e aparas, etc.) e também alguns resíduos de origem animal (restos de abatedouro, penas e escamas) misturados ao esterco (EMBRAPA, 2004).



Figura 17: Revestimento de Piso em Madeira (Parquê).

O **piso laminado melamínico** (figura 18) é um revestimento produzido a partir de uma aglutinação de fibras de madeira de média densidade com resina sintética e ação conjunta de temperatura e pressão. Para a obtenção das fibras, a madeira é cortada em pequenos cavacos que, em seguida, são triturados por equipamentos denominados desfibradores, ou, ainda, com a utilização de resíduos, conforme exposto para revestimento de pisos em madeira. Algumas características mecânicas deste tipo de revestimento aproximam-se a das de madeira maciça, caracterizando-se, também, por possuir boa estabilidade dimensional e grande capacidade de usinagem.

As chapas de revestimento com laminado de baixa pressão são produzidas através da sobreposição de uma folha de papel especial, impregnada com resina melamínica, que é fundida através de pressão e temperatura ao painel de fibras, resultando em uma chapa já acabada.

A principal matéria-prima utilizada é a madeira (fibras), e no Brasil esta é obtida de reflorestamento, utilizando-se espécies selecionadas de pinus, em função do melhor

rendimento agro-industrial. Além desse aspecto, as fibras de pinus proporcionam uma chapa de cor clara, mais valorizada pelo mercado (REMADE, 2001).

O piso laminado melamínico está composto por quatro capas que são prensadas sob altas temperaturas e altas pressões.

- Primeira camada: composta por um filme cristalino de celulose com partículas de óxido de alumínio, impregnado com resina melamínica, que garante ao piso laminado alta resistência a riscos e à abrasão. Sua baixa porosidade evita a absorção de líquidos e facilita a limpeza do piso laminado;
- segunda camada: composta pelo laminado, ou seja, o revestimento decorativo de celulose, impregnado com resina melamínica, que determina o padrão visual do piso laminado;
- terceira camada: é o substrato composto de um painel de madeira de média a alta densidade, produzido, normalmente, com partículas de eucalipto, no formato alongado e agulhado, entrelaçadas e coladas com resina melamínica em processo contínuo com alta temperatura e pressão. Esta metodologia proporciona uma camada lisa e compacta, a fim de receber o revestimento do piso laminado;
- quarta camada: é o balanceador, sendo uma camada constituída por lâmina de celulose, impregnada com resina melamínica, que garante a estabilidade dimensional do piso, além de protegê-lo contra a umidade proveniente do contrapiso.

Vantagens deste material: o piso não se arranha facilmente, nem é fortemente afetado com a luz do sol, aumentando a durabilidade do material. Além disso, é de baixa manutenção, (REMADE, 2001).

Importante para o reaproveitamento do material, a instalação no local, é feita na forma de macho e fêmea, permitindo o encaixe e não precisando, com isto, colagem entre as peças, permitindo o reparo, caso necessário, apenas do material com defeito,

evitando, assim, o desperdício. É hipoalergênico, sua instalação é rápida e, além disso, seu substrato é fabricado de madeiras provenientes de reflorestamento e resíduos (EDO, 2002).

As matérias-primas das chapas de fibras são: as fibras que são obtidas da madeira natural e resíduos de madeira, numa proporção de 90% e 10%, respectivamente; os aditivos que se incorporam para melhorar as propriedades; o combustível para o transporte das matérias-primas até a fábrica; o consumo energético e combustível necessários na maquinária utilizada nas operações de fabricação; resinas do tipo termoendurecedor de ureia-formaldeído, numa proporção aproximada de 10% de resina uréia e 90% de fibras, sendo que o uso do formaldeído traz prejuízo ambiental e provoca conseqüências para a saúde humana (problemas respiratórios e cancerígenos), (EDO, 2002). Segundo USEPA (2001), qualitativamente as emissões, durante a produção da chapa, deve-se às fibras durante o processo de geração das mesmas, a compostos orgânicos voláteis (COV), gases da combustão (CO, CO₂ e NO₂), se utilizado caldeira para a geração de calor, formaldeído e outros COV's, durante o processo de pressão e esfriamento da chapa e partículas durante a lixação final da chapa.

Os consumos energéticos correspondem ao combustível para a caldeira que proporciona o calor necessário para iniciar a reação química de polimerização, energia elétrica e combustível para o transporte de todas as matérias-primas até o local de fabricação da resina (EDO, 2002).

No caso da resina, as principais matérias-primas utilizadas na sua fabricação são: aldeídos (formaldeído) e grupos amidas (uréia e melamina); os endurecedores, com a finalidade de conseguir um endurecimento mais rápido no processo de fabricação das chapas de revestimentos; água, utilizada como veículo para poder obter misturas de viscosidade adequada. Esta, por sua vez, evapora-se com introdução de calor no processo de fabricação das chapas.



Figura 18: Revestimento de Piso em Laminado Melamínico.

Na seqüência de revestimento de piso, apresenta-se as **pedras naturais** (basalto, granito, mármore, caxambú, ardósia, etc.), as quais são utilizadas em grande escala. Seus benefícios são decorrentes da relativa abundância, sendo encontradas em todo o território nacional. A durabilidade dos pisos em pedras naturais é muito maior que qualquer outro material.

Este tipo de revestimento (figura 19) é obtido através da transformação de blocos de rocha provenientes de desmonte em pedreiras, em placas ou chapas polidas. Chapas dimensionadas e polidas comportam as seguintes operações: corte, polimento e operações de acabamento, (BRODKOM, 2000). O autor descreve, a seguir, cada operação.

- *Serragem*: esta operação pressupõe que os blocos chegam ao local de serragem, já com a forma mais ou menos paralelepípedica que lhe foi dada junto à extração com o auxílio de monolâminas ou máquinas de monofio. Consiste na divisão dos blocos em chapas normalizadas em espessura, por máquinas de grande porte, denominadas

engenhos, que serram a rocha com lâminas dotadas de movimento retilíneo, pendular ou misto, nas quais são soldados segmentos diamantados de corte, para calcários e mármore, ou lâminas de ferro às quais são adicionadas uma mistura de granalha abrasiva e cal, para os granitos. A zona de transmissão constituída pelas bielas e correias terá de ser protegida para isolar os trabalhadores de possíveis contatos. O corte das chapas deverá ser acompanhado de injeção de água para evitar as poeiras, assim como uma cortina transparente para evitar a projeção da água utilizada. Uma vez efetuado o corte de um bloco, as chapas seguem para o respectivo local de armazenamento, aguardando a operação seguinte.

- *Corte*: para corte de blocos de dimensões reduzidas, utiliza-se, em lugar do engenho, uma máquina de corte que pode operar em dois planos ortogonais. O corte é realizado por meio de disco de grande diâmetro (1,0 a 1,2 metros), não dispensando a injeção de água e a sua cortina de proteção. O disco deve ser convenientemente protegido.

- *Polimento*: o polimento das chapas é conseguido por um conjunto de cabeças horizontais com movimento de rotação, os quais estão munidos de grãos de diferentes calibres de carboneto de silício.

- *Operações de acabamento*: são operações realizadas por um conjunto de máquinas de corte, de calibração e de polimento, que exigem minimização de emissão de poeiras e ruídos.

As operações nas instalações de beneficiamento de pedras naturais implicam alguns riscos para o ambiente, de maior ou menor significado, que podem passar desde a forte contaminação de aquíferos e linhas de água até a ferida na paisagem de um pequeno aterro de resíduos sólidos. Os principais fatores de risco, provenientes das operações de beneficiação sobre o ambiente, são as poeiras, os ruídos, os resíduos sólidos e fluidos, que se distribuem de diversos modos pelas suas componentes: ar, água, solo, paisagem, biodiversidade, homem e suas comunidades.

De acordo com BRODKOM (2000), no caso do ar, os principais riscos identificados nestes tipos de instalações são, sem dúvida, as poeiras e os ruídos. Para

evitar que os perigos, que eles originam no interior das instalações, extravasem para o ambiente que as rodeia, o mais adequado é o seu isolamento por meio de cobertura total, devendo, ao mesmo tempo, instalar-se sistema de ventilação e aspiração central por meio de ciclone ou qualquer outro sistema. Cortinas arbóreas em volta das instalações, se possível, favorecem igualmente o amortecimento dos impactos das poeiras e ruídos.

No caso da água, no local de transformação de pedras naturais, em que as operações são sempre efetuadas por via úmida e forte desprendimento de material fino, os efluentes são mais lodosos, constituindo o que se costuma designar por "natas". Para amortizar este impacto, adota-se o depósito dos efluentes em bacias emparedadas de decantação.

Já no solo, nas instalações mais antigas, mas em atividade, tem de haver o maior cuidado quanto à sua contaminação, preservando-o de lançamentos de óleos queimados ou efluentes, contendo substâncias tóxicas.

Ao contrário do setor extrativo que pode, efetivamente, ferir a paisagem, as instalações de beneficiação de minerais não são um fator de risco para o ambiente paisagístico, exceção que apenas pode ter lugar se houver forte concentração destas instalações, em área relativamente pequena.

A área de exploração da pedreira, com plano adequado de recuperação, pode ser recuperada, conforme foi exposto na etapa "Fundações e/ou Estruturas"; exemplo disto, a Fundação Gaia, (RINCÃO, 2005).



Figura 19: Revestimento de Piso em Pedra Natural (Granito).

Outro material para revestimento de piso é o **vinílico** (figura 20), que possui cadeia produtiva bem elaborada. Por ser impermeável e praticamente sem juntas, a manutenção é fácil e permite boa higienização, oferece boa aderência ao escorregamento, tem boas características térmicas, proporcionando agradável sensação ao contato direto com a pele, e ainda diminui o ruído do ambiente, amortizando o som provocado pelo trânsito de pessoas, além da durabilidade em função da sua resistência ao desgaste.

O piso vinílico, composto principalmente por PVC (policloreto de vinila), apresenta as características ambientais desfavoráveis, visto que a produção e o processamento do resíduo do PVC causam problemas, principalmente, devido às substâncias prejudiciais, tais como asbesto e mercúrio, assim como a estocagem e transporte de cloreto, envolve risco de acidentes (ex. vazamentos), (ANINK, 1996).

O PVC, devido à sua estrutura molecular, é obtido a partir de 57% de insumos provenientes do sal marinho ou da terra (salgema) e 43% de insumos provenientes de

fontes não renováveis, como o petróleo e o gás natural (RODOLFO Jr. et al., 2002). O cloro presente na estrutura molecular deste material é proveniente do sal marinho ou cloreto de sódio. Portanto, para a sua fabricação, igualmente a outros processos industriais que utilizam cloro, implica na formação e emissões ao meio ambiente de substâncias organocloradas tóxicas, persistentes e bioacumulativas. Os gases, águas residuais e resíduos emitidos e vertidos pelas fabricas deste tipo de plástico contém cloreto de vinil, hexaclorobenzeno, dioxinas e muitas outras substâncias extremamente tóxicas, (ROMANO, 1997).

A fabricação deste plástico requer ainda um elevado índice de energia, necessária para separar o cloro do sódio, ao que se encontra forte e estavelmente unido, formando o sal comum. Os produtos de PVC podem conter ainda até 60% de aditivos que lhe conferem estabilidade, plasticidade ou rigidez, cor, etc., convertendo-o em um coquetel de compostos químicos, muitos dos quais são tóxicos (ROMANO, 1997). O autor ainda salienta que os produtos flexíveis, no caso do piso vinílico, contém plastificantes, e as substâncias que são utilizadas, como tal, são os "*ftalatos*", que tem apresentado resultados cancerígenos em animais de laboratório. Além disso, são estrogênicos, isto é, podem alterar o sistema hormonal (ROMANO, 1997).

Após o fim do ciclo de vida, o PVC, aqui no Brasil, pode ser reciclado de três formas distintas (RODOLFO JR, 2002):

- Reciclagem mecânica: consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para aproveitamento do material descartado, transformando-o em material apto para a fabricação de novos produtos;
- reciclagem química: consiste em processos tecnológicos de conversão do resíduo do PVC em matérias-primas petroquímicas básicas. Alguns processos encontram-se disponíveis para reciclagem química do PVC, consistindo, basicamente, nas seguintes rotas: pirólise • ácido clorídrico, carvão coque e hidrocarbonetos; incineração • ácido clorídrico, monóxido de carbono e água; entre outros;

- reciclagem energética: consiste na compactação dos resíduos e subsequente incineração, convertendo a energia química contida nos mesmos, em energia calorífica ou eletricidade. Este, por sua vez, gera gases tóxicos com impactos para a atmosfera, e ainda as cinzas resultantes deste processo são dispostas em aterros.

Contudo, segundo apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1996 a), as emissões tóxicas inviabilizam a incineração de PVC, devido à geração de dióxinas, organoclorados e gás clorídrico, altamente corrosivo, que podem corroer a camada superficial de cromo da maquinaria, além de transformar 90% da massa original do plástico em resíduos de sais sem nenhuma utilidade. Além disso, em GREEN BUILDING DIGEST (1997) observa-se que outro grave problema para a reciclagem de PVC refere-se à dificuldade de distinção entre ele e o polietileno teraftalato (PET), durante a separação dos mesmos nos entulhos. O PVC funde a uma temperatura muito menor que o PET. Começa a queimar quando o PET inicia a sua fusão, criando marcas pretas no PET, inviabilizando o mesmo para muitas aplicações. WILSON (1998) acrescenta que pode existir a emissão de dioxinas, que são substâncias altamente cancerígenas, durante a manufatura e queimas acidentais do PVC.

Porém, mesmo com todas estas dificuldades que, praticamente inviabilizam a reciclagem de PVC, observa-se a existência de pesquisas que estimulam a reciclagem do mesmo. Por exemplo, BURGAUD (1995) afirma que o processo de reciclagem do PVC é praticamente isento de complicações, sendo que a etapa mais difícil refere-se à coleta do PVC inserido no entulho. Coleta esta que, como já foi visto anteriormente, pode inviabilizar totalmente a reciclagem do PVC e do PET. Neste sentido, MALIN e WILSON (1994) colocaram o tema em discussão, questionando a eliminação ou não do PVC do mercado. MALIN e WILSON (1994) comentam que, por um lado, a indústria do PVC afirma que o PVC refere-se a um material isento de quaisquer problemas e que, por outro, grupos de defesa ambiental afirmam que o PVC é relacionado a inúmeros problemas, devendo-se banir totalmente este material. Pode-se observar que não existe nada em comum entre ambos os lados. Somente para fins de exemplificação, PIVA e WIEBECK (1999), representando os produtores de PVC, afirmam que o PVC é

um material reciclável e que, uma vez recuperado, pode ser reprocessado com a própria resina virgem ou com outras, para produzir uma grande variedade de produtos.

Sob outro ponto de vista, MALIN e WILSON (1994) afirmam que a reciclagem de produtos de PVC, pós-consumo, é difícil, devido à ampla variedade de aditivos e formulações químicas inseridas nestes produtos. Dentre os aditivos mais utilizados, pode-se citar os plastificantes, usados com a finalidade de proporcionar uma maior flexibilidade aos produtos de PVC, e os estabilizantes, usados com a finalidade de reduzir a tendência de degradação sob variadas circunstâncias.

Deve-se salientar que, além da dificuldade inerente ao processo de reciclagem de PVC, este também tem a capacidade de complicar a reciclagem de outros plásticos, por exemplo, o PET, já salientado anteriormente. Além disso, o ácido clorídrico, gerado durante a fusão do PVC, causa graves problemas nos incineradores, destruindo as superfícies metálicas e de alvenaria dos mesmos, exigindo maiores gastos para manutenção e troca de peças. Por outro lado, com exceção do espaço ocupado, a disposição de materiais de PVC em locais específicos dos centros urbanos não causam maiores problemas.



Figura 20: Revestimento de Piso em Vinílico. Fonte: FEDEMAC, 2005

O **carpete** (figura 21), geralmente apreciado por seu valor estético e por suas propriedades de isolamento térmico e acústico, constitui também uma das superfícies mais seguras, resistentes, econômicas e fáceis de instalar (MELLER, 2005).

Na atualidade, as fibras mais usadas são poliamida (náilon), lã ou polipropileno, sendo que cada fibra tem características próprias que as distinguem umas das outras. Por exemplo, para melhorar a limpeza e reduzir a acumulação de sujeira, o náilon incorpora aditivos que repelem a sujeira, tratando-se de um tratamento permanente já incorporado à matéria-prima que lhe confere à superfície dos filamentos (pêlos do carpete) propriedades anti-aderentes e anti-umidificantes. O náilon possui, ainda, propriedades interessantes nesta aplicação, como dureza, resistência à compressão, ao desprendimento de penugem e excelente retenção da textura do pelo. Um carpete tecido com fiado de náilon pode adquirir tingimentos diferenciados, um carpete tecido com lã tem características de suavidade e conforto e os de polipropileno são de fácil limpeza e os mais econômicos do mercado (MELLER, 2005).

Por outro lado, o processo industrial atualmente em uso, emprega ácido nítrico para oxidação de cicloexanol, através do qual são produzidas anualmente cerca de 2,2 milhões de toneladas de ácido adípico, matéria-prima na fabricação da poliamida (náilon-6.6). Um dos subprodutos desta reação é o N_2O , um dos gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio e também pela chuva ácida (SATO et al., 1998)

Os carpetes sintéticos são fabricados a partir de acrílico, poliéster e poliamida (náilon), com vários compostos derivados de formaldeídos (formol) e os carpetes de lã recebem um tratamento contra mofo com uma variedade de pesticidas. As substâncias exaladas por estes carpetes novos incluem etilbenzeno, formaldeído, ácido metacrílico, tolueno, benzeno, ciclopentadieno-etil-2-etileno, entre outros. Para citar os efeitos tóxicos de apenas algumas destas substâncias: o formaldeído pode causar irritação do trato respiratório, dor no peito, dor de cabeça e fadiga; o benzeno pode causar vários tipos de cânceres, incluindo câncer nas vias respiratórias e de pulmão e leucemia; o xileno pode causar náusea, dores de cabeça e vertigem; o dodecilsulfato de sódio é conhecidamente causador de irritação de olho e pele, desconfortos respiratórios

severos e dores de cabeça; o estireno pode causar leucemia; o tolueno pode causar vários cânceres gastrointestinais (NUTRIVEG, 2005).

Em pesquisa pela EPA (Agência de Proteção Ambiental), 1987, foi determinado que alguns usuários apresentaram sintomas, tais como irritação dos olhos, febres, irritação de garganta, tontura, entre outros, após reforma, na qual o carpete tinha sido trocado. Este estudo apontou o composto químico 4-fenilciclohexeno (4-PC), que apresenta-se como uma combinação de estireno e butadieno, necessária para a fabricação do látex, utilizado na face inferior do carpete. Esta substância é a responsável pelo aroma característico de carpete novo, permanecendo por vários meses os vapores expelidos (NUTRIVEG, 2005).

Estes impactos, por sua vez, podem ser diminuídos com a substituição da fibra de náilon, elaborada com derivados do petróleo, pelas fibras feitas a partir do milho, sendo este um material biodegradável, ainda em estudo (ANDERSON, 2005).



Figura 21: Revestimento de Piso com Carpete.

5.2.2 Seleção por Ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

Com este cenário, após uma análise qualitativa, observando os impactos ambientais causados pelos processos de produção de cada material utilizado para revestimento de piso, assim como reciclagem, reutilização ou disposição dos mesmos, procedeu-se à análise quantitativa pelo software CES 4.2 Granta Design. Conforme foi aplicado na etapa de Fundações e/ou Estruturas, introduziu-se as propriedades dos materiais em estudo, obtendo-se uma série de parâmetros ambientais, onde se pode destacar as emissões de CO₂, percentagem de reciclagem e energia despendida.

Com isto, os materiais são classificados do ponto de vista ambiental, pela geração do CO₂, conforme exposto na tabela 07, para a etapa da construção "Revestimentos de Pisos" da seguinte maneira: em primeiro lugar está a madeira, sendo que este material apresenta uma geração de CO₂ negativa. Ou seja, ao invés de gerar emissões tóxicas, a madeira absorve CO₂ do meio ambiente que, por sua vez, esta absorção, é maior que a dos revestimentos melamínicos, que consta em segundo lugar. Mesmo sendo madeira a matéria-prima deste material, a fabricação deste tipo de revestimento depende um consumo de energia maior, além de utilizar resinas, provocando, com isto, impactos ao meio ambiente. Em terceiro lugar, estão as pedras naturais (granito, mármore, etc.), tendo como motivo, entre os materiais restantes analisados, a menor geração de CO₂ e pouca energia despendida para sua obtenção. Em quarto lugar, estão os revestimentos de pisos com vinílicos. Mesmo apresentando as boas características térmicas e sonoras (absorção de ruído) este revestimento é fabricado, basicamente, a base de policloreto de vinila que, na sua produção e processamento de resíduo, causa vários problemas ambientais, tais como asbesto e mercúrio. A fabricação deste plástico requer, ainda, um elevado índice de energia, necessária para separar o cloro do sódio, ao que se encontra forte e estavelmente unido. Em quinto lugar, cita-se a cerâmica que, apesar de ser a mais utilizada, conforme referências bibliográficas e pesquisa realizada neste trabalho, apresenta um alto índice de geração de CO₂ para cada kg de cerâmica produzida (em torno de 2 kg/kg, CES 4.2, Granta Design). E por último, nesta classificação, cita-se o revestimento com carpete têxtil, no qual as fibras mais usadas são poliamida (náilon),

lã ou polipropileno, sendo a poliamida a matéria-prima mais prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana, visto as emissões tóxicas expelidas, tais como etilbenzeno, formaldeído, entre outras.

Tabela 07: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Revestimentos de Pisos.

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m³)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735
Melamínicos	600 a 900	-0,90 a -0,80	(-) 480
Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108
Vinílicos	1000 a 1250	1,90 a 2,10	2625
Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200
Carpetes Têxteis	1000 a 1200	4,00 a 4,50	5400

5.3 Elementos de Vedação para Paredes

Para as paredes, neste caso, se tratando dos Elementos de Vedação de uma residência unifamiliar, cita-se, como materiais de maior frequência de uso no mercado atual, a alvenaria de tijolos e blocos cerâmicos, o gesso acartonado, os blocos de concreto e a madeira. Pode-se ainda apresentar materiais um pouco menos utilizados, como as placas cimentícias, o concreto celular autoclavado e o concreto reciclado. A seguir, descreve-se os materiais propriamente ditos, na ordem, conforme resultado da pesquisa de preferência de utilização (mercado), apresentada na figura 22, desde a extração, a utilização até a sua reutilização, reciclagem ou descarte, expondo, assim, os impactos por eles causados.

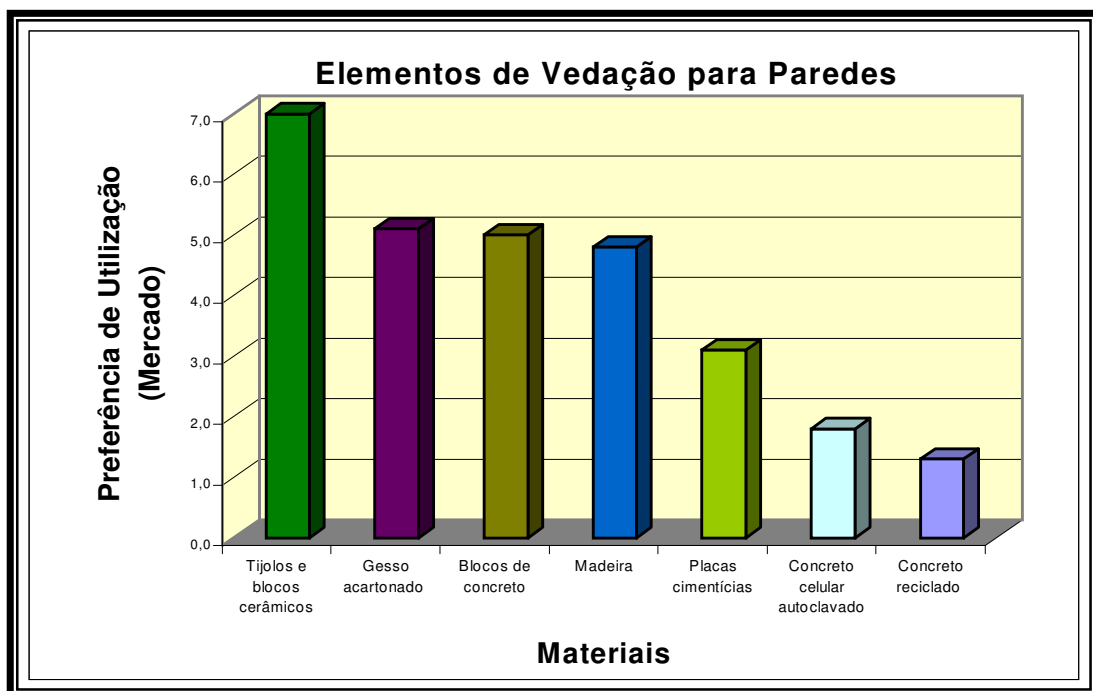


Figura 22: Preferência de Utilização no Mercado X Materiais para Elementos de Vedação para Paredes.

5.3.1 Materiais Utilizados para Elementos de Vedação de Paredes

Alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos (figura 23) composta por argamassa, além dos tijolos ou blocos, que é elaborada a partir do cimento, areia e cal nos seus respectivos traços (quantidades). Trata-se, a seguir, cada componente deste elemento de vedação.

Analisando o processo produtivo do tijolo ou bloco cerâmico, pode-se dizer que está composto pelas seguintes etapas: extração, preparo da matéria-prima, moldagem, secagem, queima e o acabamento (produto final). Conforme foi exposto na etapa de Revestimento de Pisos (Cerâmica), cada uma das fases do processo produtivo do bloco cerâmico gera impactos ao meio ambiente. No entanto, a diferença na cadeia produtiva de um revestimento cerâmico para um bloco cerâmico está na esmaltação, que, para este caso, não se faz necessário, diminuindo os impactos gerados no consumo de energia, além do que este material, sem a camada de esmalte (tijolo), pode ser reaproveitado ou ainda reciclado. Exemplo disto é a sua utilização no concreto reciclado.

As emissões geradas no processo, conforme foi apresentado no capítulo Revestimentos de Pisos, são devidas à queima do energético: lenha, refil ou óleo BPF, além das emissões resultantes do transporte.

Os componentes da argamassa, cimento, areia e cal, são detalhados a seguir. Como já exposto anteriormente na etapa de Fundações e/ou estruturas, o cimento é o maior causador de impactos ambientais, pela geração elevada de CO₂, cerca de 1 tonelada, para cada tonelada de cimento produzido (CONPET, 2005). No caso da areia, os impactos são a erosão/assoreamento, retirada da cobertura vegetal e a alteração paisagística, além da energia gasta na extração, bem como no transporte da fonte até a obra.

No caso da cal, é uma substância proveniente da calcinação de minerais normalmente obtidos em grandes pedreiras de rochas calcárias. Na indústria dos minerais calcinados, a extração e a fragmentação ocorrem como processos integrados,

com efeitos ambientais bastante diferentes dos do processo de calcinação, (CEMBUREAU 1998). A disponibilidade deste recurso favoreceu a instalação de indústria de beneficiamento e transformação do calcário, provocando poluição atmosférica, derivado do pó do calcário, ruído e vibrações, o impacto visual, o tráfego proveniente de caminhões de transporte de material, biodiversidade e da combustão de lenha usados na transformação da cal, liberando gases tóxicos (ALBUQUERQUE, 2005).



Figura 23: Parede de alvenaria de tijolos.

Elementos de vedação de **gesso acartonado** são painéis compostos, principalmente, de gipsita (gesso natural hidratado), papel (entre 4 a 12%), fibras de vidro, vermiculita, argilas (até 8%), amido, hidróxido de potássio (KOH), agentes espumantes (sabões), dispersantes, hidro-repelentes nas placas resistente à água, (JOHN, 2003). Não existe dados disponíveis sobre a composição dos gessos acartonados nacionais. A bibliografia reporta que algumas jazidas de vermiculita podem conter amianto (ADDISON,1995). A bibliografia também registra a presença de metais pesados, conforme exemplo da Tabela 08.

Tabela 08: Composição Química Incluindo a Presença de Metais Pesados em Gesso Acartonado Norte-Americano.

Caracterização Química	Quantidade (%)	Caracterização Química	Quantidade (ppm)
Material Seco	96,19	Sódio	161,20
Cinzas	82,89	Manganês	114,40
Nitrogênio	0,15	Fósforo	85,50
Enxofre	17,60	Boro	48,10
Cálcio	2,00	Zinco	40,20
Magnésio	7,40	Cromo	21,70
Potássio	0,10	Cobre	10,30
		Chumbo	3,60
		Mercúrio	1,20

Os valores apresentados são a média de quatro réplicas de amostras de gesso acartonado.

Fonte: Carr & Munn, 1997.

A gipsita é um mineral abundante na natureza e, como tal, existem jazidas espalhadas pelo território nacional. Quimicamente é um sulfato de cálcio hidratado cuja fórmula é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e tem a composição estequiométrica média de 32,5% de CaO , 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O . Dentre as suas propriedades físicas vale destacar a dureza 2 na escala de Mohs, a densidade $2,35 \text{ g/cm}^3$, o índice de refração 1,53%, a elevada solubilidade e a cor que, a depender das impurezas contidas nos cristais, varia entre incolor, branca, cinza e amarronzada, (SINDUSGESSO, 2003). A sua extração gera os mesmos impactos causados pela pedra e calcário, mencionados nas etapas anteriores, ou seja, poeira, ruído e vibrações, deformação de paisagens entre outros. Quando calcinada, com a temperatura na ordem de 160°C , a gipsita desidrata-se parcialmente, originando um hemi-hidrato conhecido comercialmente como gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso” são freqüentemente usados como sinônimos. Todavia, a denominação gipsita é reconhecidamente a mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto gesso é o termo mais apropriado para designar o produto calcinado, (SINDUSGESSO, 2003).

O processo de calcinação varia de acordo com o tipo de forno utilizado. Destes, existem, basicamente, quatro tipos: panela, marmita, rotativo tubular e marmita rotativo. O tipo de combustível utilizado nestes fornos pode ser a lenha ou óleo BPF.

A fabricação do painel do gesso acartonado é feito a partir da gipsita (gesso mineral), que é estocada ao ar livre, passando por um britador de impacto, que reduz a sua granulometria. Em seguida, é triturada e levada por uma correia transportadora até um silo, seguindo, então, para a fase de moagem e calcinação, onde perde cerca de 75% de água, tornando-se o pó que conhecemos como gesso. Por sua vez, o gesso é misturado à água e aditivos, formando uma pasta lançada num processo de laminação contínua entre duas folhas do cartão (papelão em espessura maior), que aderem química e mecanicamente ao gesso, formando painéis estruturados. Em seguida, passam pelo processo de secagem e cura, durante o qual as moléculas do gesso se reagrupam em cristais, readquirindo sua formação rochosa original, porém com um nível de pureza elevado.

Pelas suas propriedades físico-químicas, o gesso não é inflamável, é inodoro, não agride a pele, não forma fibras e não libera poeira depois de instalado (CURSI, 2004).

As placas de gesso acartonado são parafusadas sobre uma estrutura metálica de aço galvanizado, conforme representado na figura 24, ou ainda em madeira, permitindo, com isto, a construção das paredes internas de edificações residenciais, substituindo o uso de blocos ou tijolos cerâmicos, com vantagens como: execução rápida, leveza, montagem com redução de entulho ou desperdício de material, facilidade nas instalações hidráulicas e elétricas, resistência, desde que trabalhado com fios de algodão ou sisal que garantam essa característica, recebendo bem, ainda, todos os tipos de pintura e acabamento. A sua manutenção é simples.

Os componentes básicos do sistema de montagem são: os parafusos para fixação das chapas de gesso acartonadas à estrutura; a fita de papel reforçada, empregada nas juntas entre chapas ou em reforços ou em acabamentos de canto; a massa especial para rejuntamento à base de gesso e aditivos, inclusive resinas que conferem maior trabalhabilidade e plasticidade; cantoneiras metálicas para acabamento

e proteção das chapas em cantos e em bordas cortadas; e, por fim, lã de vidro para enchimento das paredes, visando melhor desempenho acústico, sendo que a inclusão deste material depende da solicitação ou não no projeto (MITIDIÉRI FILHO, 1997). E ainda, de acabamento podem receber diversos tipos de revestimentos: pintura, texturas e até mesmo revestimento em azulejos e cerâmicas. Áreas sujeitas à umidade (banheiros, cozinhas, etc.) exigem placas próprias para esta finalidade, (LAFARGE, 2005).

O aço, no entanto, utilizado como estrutura, é um material altamente reciclável, mas, entre as características desfavoráveis, conforme foi exposto na etapa de Fundações e/ou Estruturas deste trabalho, o aço apresenta uma quantidade elevada de geração de CO₂, em torno de 2 toneladas de CO₂ para cada tonelada de aço produzido (FOLHA DE SÃO PAULO, 2005).

Quanto a contaminação dos resíduos de gesso, pode-se dizer que, além das matérias-primas, tipicamente incluem contaminantes diversos, oriundos do processo de construção, gestão dos resíduos em canteiro e de uso. Os resíduos de gesso acartonado, no caso de reforma ou desmontagem, podem estar contaminados com metais (pregos, perfis), madeira, tinta. A ausência de procedimentos adequados de gestão dos resíduos de gesso no canteiro ou durante a fase de demolição podem introduzir outros contaminantes. As perdas na construção são significativas, devido às atividades de corte. Elas dependem muito da modulação da obra. Estima-se que 5% do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a construção (JOHN, 2000).

O gesso em contato com umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, condições presentes em muitos aterros sanitários e lixões, pode formar gás sulfídrico (H₂S), que possui odor característico de ovo podre, tóxico e inflamável (Environment Agency, 2002; CIWMB, 2003).

A reciclagem dos resíduos de gesso acartonado que contém outros compostos, segundo experiência internacional, é tecnicamente possível, produzindo aglomerantes, desde que sejam removidos contaminantes incorporados no processo de geração de resíduos. Mas a viabilização da reciclagem em escala comercial depende de vários

fatores, inclusive de características regionais. No entanto, o processo de reciclagem é mais complexo que o de produção a partir de matéria virgem e consome mais energia e requer mais mão-de-obra. A necessidade de sistemas complexos de coleta e diferentes processamentos, visando a remoção de contaminantes, não estão presentes quando se usa matéria-prima natural (MARVIN, 2000; CAMPBELL, 2003). O consumo de mão-de-obra e o investimento em equipamentos, certamente, tornam o processamento industrial da reciclagem do gesso mais caro que o processamento da matéria-prima natural.

A resolução CONAMA 307 (2002) classificou o gesso como o único material do tipo C que "são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem/recuperação", ou seja, o produto não poderá ser misturado aos outros resíduos, nem poderá ser confinado em áreas de aterros sanitários. Hoje em dia, ainda não existem empresas que façam triagem para reciclagem do produto.

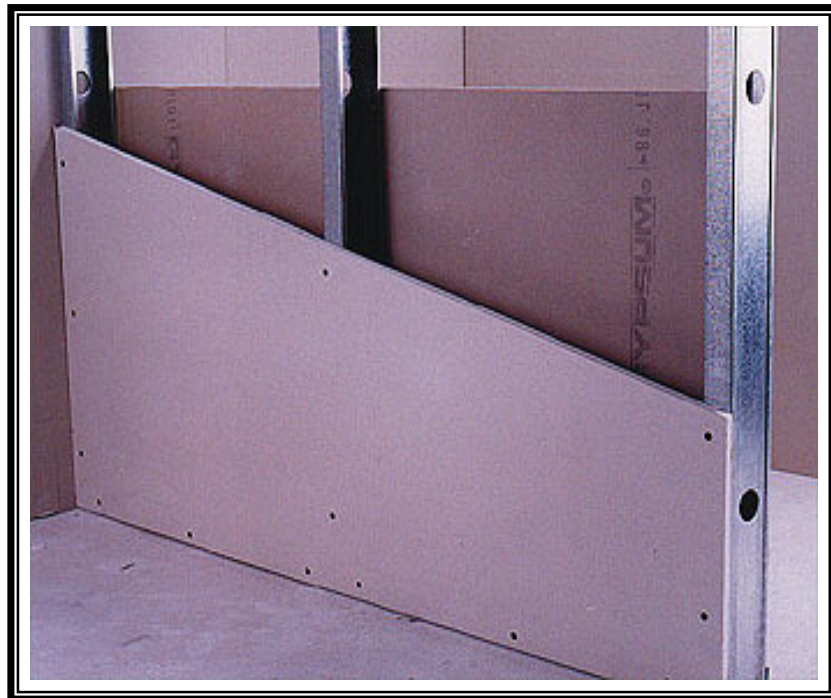


Figura 24: Parede de Gesso Acartonado. Fonte: DBGRAUS, 2005.

O **Bloco de Concreto** (figura, 25) é composto por cimento, agregados (areia, pedra, argila expandida etc.) e água, sendo ainda permitido o uso de aditivos, desde que não acarretem prejuízo às características do produto (SINAPROCIM, 2005). De acordo com o que foi exposto no item 5.1.1 - Fundações e/ou Estruturas de concreto, constata-se que o maior poluidor ambiental deste material é proveniente também da fabricação do cimento, visto que, apesar de provar-se barato de fabricar e imensamente versátil (a cada ano, cerca de 1,7 bilhão de toneladas de cimento Portland são produzidas no mundo, num total de cerca de 250 quilos por habitante do planeta), gera um volume imenso de dióxido de carbono (cerca de 1 tonelada para cada tonelada de cimento produzido), que escapa para atmosfera (CONPET, 2005). Isso se deve em parte à grande quantidade de energia necessária para elevar as temperaturas dentro dos fornos de cimento aos 1.450°C necessários para calcinar o carbonato de cálcio (oriundo do calcário), além do processo de conversão em si gerar dióxido de carbono.

A produção de cimento é responsável por cerca de 7% a 10% das emissões artificiais totais de dióxido de carbono no mundo (CONPET, 2005).

Quanto aos agregados utilizados para produção do concreto, os principais impactos causados ao meio ambiente, pela extração destes da natureza, são a poeira proveniente da detonação da pedra e a desfiguração da paisagem. Já no que diz respeito a areia, os impactos são a retirada da cobertura vegetal, erosão/assoreamento e alteração paisagística (ocasionado pelas cavas de extração ao ar livre).

A produção do bloco de concreto se dá, principalmente, através de quatro etapas, sendo estas: a preparação do concreto (mistura das matérias-primas), vibração e prensagem do bloco. Ou seja, a massa de concreto é vibrada e prensada nas formas específicas, logo após a retirada dos blocos da matriz, onde os blocos são desmoldados e conduzidos a uma área coberta para a primeira cura e, finalmente, transportados para a secagem final ao relento, sofrendo sempre aspersões de água até a sua cura completa. Após 48 horas, o material pode ser utilizado.

O equipamento utilizado no processo de produção dos blocos depende, principalmente, da energia elétrica, reduzindo com isto os impactos ao meio ambiente.

O bloco de concreto, se comparado ao tijolo comum ou ao de solo-cimento, rende mais, em função do tamanho ser maior. Por conseqüência, a mão-de-obra executa a alvenaria mais rapidamente, é mais resistente de todos e o desperdício causado pelas quebras do material é muito inferior ao tijolo. Além disso, é preciso menos argamassa de assentamento e camadas mais finas de reboco, principalmente nas paredes internas. No entanto, oferece menor conforto térmico (INDI, 2005).

Apesar de causar problemas, o entulho deve ser visto como fonte de materiais de grande utilidade para a construção civil. Seu uso mais tradicional - em aterros - nem sempre é o mais racional, pois ele serve também para substituir materiais normalmente extraídos de jazidas ou pode se transformar em matéria-prima para componentes de construção, de qualidade comparável aos materiais tradicionais, neste caso, o próprio bloco de concreto vazado.

É possível produzir agregados - areia e brita para uso em pavimentação, contenção de encostas, canalização de córregos e uso em argamassas e concreto. Da mesma maneira, pode-se fabricar componentes de construção - blocos, briquetes, tubos para drenagem, placas, etc.

A reciclagem de entulho pode ser realizada com instalações e equipamentos de baixo custo, apesar de existirem opções mais sofisticadas tecnologicamente. Havendo condições, pode ser realizado na própria obra que gera o resíduo, eliminando os custos de transporte. É possível contar com diversas opções tecnológicas, mas todas elas exigem áreas e equipamentos destinados à seleção, trituração e classificação de materiais. As opções mais sofisticadas permitem produzir a um custo mais baixo, empregando menos mão-de-obra e com qualidade superior.



Figura 25: Parede de Alvenaria de Bloco de Concreto.

No caso da **madeira** (Figura 26), conforme foi citado na etapa de Fundações e/ou estruturas e na etapa de Revestimentos de Pisos, esta apresenta um balanço positivo em relação a outros materiais de construção (ZENID,2001). A madeira, como um material renovável, é de baixo consumo energético, visto que o processo de produção dos elementos de vedação em madeira necessita de pouca energia, se comparado a métodos usados para obtenção de outros materiais. Além disto, não sofre as limitações de outros materiais, cuja disponibilidade é determinada pela extração ou produção, que são balizadas por jazidas finitas ou pela existência de recursos energéticos para a sua obtenção (no caso da argila para a produção da cerâmica).

As paredes em madeira permitem que a residência se torne mais adequada às variáveis de umidade e temperatura, já que a madeira absorve e expulsa a umidade e desta forma ajuda a regularizar a umidade interior. Com isto, contribui, por exemplo, na prevenção de doenças, como reumatismo e problemas respiratórios. As propriedades acústicas são ótimas, levando em conta que a madeira absorve ondas sonoras que recebe, proporcionando um ambiente com menos barulho.

As madeiras utilizadas, para este fim, são as madeiras duras e pesadas, ou seja, com densidade acima de 750 kg/m^3 , tais como angico preto, itaúba, maçaranduba, jatobá, tatajuba, ipê, cumaru, sucupira preta e outras de características similares.



Figura 26: Parede de Painéis de Madeira.

As **placas cimentícias** (figura 27) pertencem a uma nova geração de placas sem amianto e utilizam cimento reforçado com fios sintéticos. São produzidas a partir de uma mistura balanceada de cimento Portland, celulose e agregados naturais reforçados com fios sintéticos de polipropileno. Este, por sua vez, veio na substituição da utilização do amianto, comprovadamente cancerígeno, evitando com isso os impactos gerados pelo mesmo (ALDE, 2005).

Entre as vantagens deste material estão a velocidade na execução das paredes em fechamentos externos ou internos, tendo, como conseqüência, aumento de produtividade. As placas são leves e de fácil manuseio, ganho de área útil, em função da menor espessura das paredes, pequena geração de entulho, elevada resistência a impactos e ação da umidade, redução de cargas nas estruturas e fundações, devido ao

menor peso por m² de parede acabada, são incombustíveis e podem receber os revestimentos finais, tais como: azulejos, granito, mármore, etc., (PEZENTE, 2005).

Estas placas são fixadas em guias, podendo ser de aço ou madeira, previamente aderidas ao piso e no teto com parafuso e bucha, pregos ou pinos de aço, espaçados entre elas. O sistema de montagem segue o mesmo procedimento dos elementos de vedação com gesso acartonado, ou seja, podem ser instalados, ainda, com ou sem isolante térmico, dependendo da exigência ou não em projeto, sendo este em lã mineral (lã de vidro ou lã de rocha).

No entanto, a placa cimentícia é composta principalmente por cimento. Este apresenta, como já referido nas etapas anteriores: Fundações e/ou estruturas, geração de emissões tóxicas, tais como CO₂, em torno de uma tonelada para cada tonelada de cimento produzido (CONPET, 2005). Quanto aos agregados naturais, refere-se a areia, da qual os impactos causados pela sua extração foram apresentados na mesma etapa da construção citada. A celulose, proveniente das árvores, é um material natural que para ser obtido (a matéria-prima são troncos ou talos herbáceos), deve ser limpo e descascado e depois submetido à trituração mecânica em máquinas de lâminas múltiplas. Posteriormente, o produto é lavado, depurado e embranquecido.

Quanto a reciclagem deste material, bem como dos resíduos por ele gerado, atuam na mesma direção dos blocos de concreto, ou seja, aproveitamento dos resíduos na elaboração de agregados para a produção de blocos de concreto, concreto reciclado, entre outros.

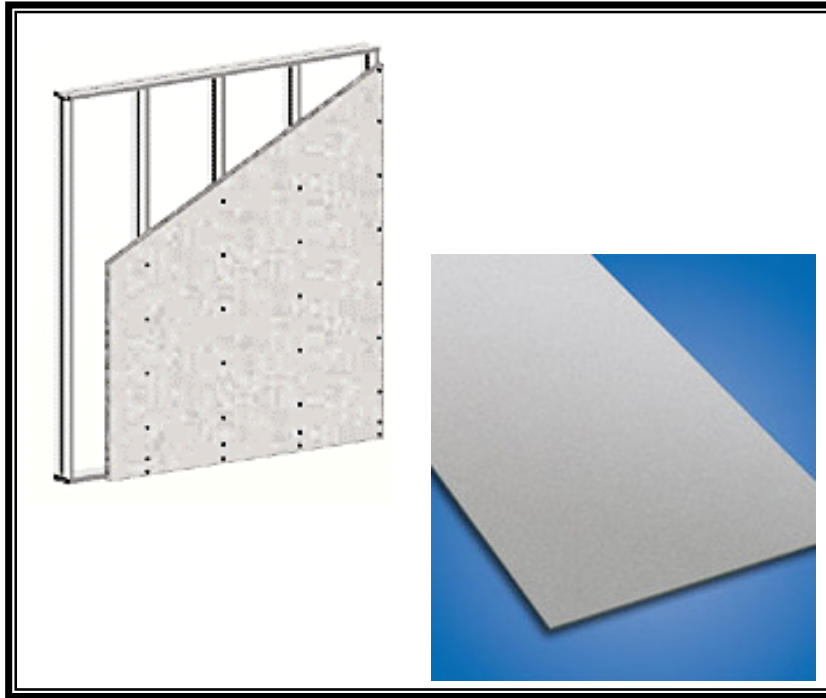


Figura 27: Parede de Placa Cimentícia e detalhe. Fonte: BRASILIT, 2005

A fabricação do bloco de **concreto celular autoclavado** (Bloco CCA), inicialmente chamado de concreto aerado autoclavado, (figura 28), acontece pela mistura de cimento Portland, areia, cal, pó de alumínio e água, colocando-se num molde, onde a reação do alumínio com o concreto causa a formação de pequenas bolhas de hidrogênio, resultando na expansão do concreto em aproximadamente cinco vezes o seu volume original. Após a evaporação do hidrogênio, corta-se o concreto já aerado em tamanhos e formas desejados e seca-se a vapor em uma câmara de pressão (um autoclave), obtendo-se, assim, um material não orgânico, não tóxico e hermético.

Entre os tipos de bloco estruturais disponíveis no Brasil, é um dos menos empregado. Mesmo sendo maciço, é utilizado apenas em obras de alvenaria não armada. A resistência à compressão do bloco de concreto celular autoclavado pode chegar até 6 MPa, o que inviabiliza a execução acima do quarto pavimento, (TÉCHNE,1998). Oferece bom isolamento acústico e resistência ao fogo.

Quanto aos elementos que compõem este bloco, analisa-se apenas o alumínio, visto que os demais componentes, entenda-se cimento, areia e a cal, já foram analisados em etapas anteriores deste trabalho, expondo as vantagens e desvantagens dos mesmos.

O pó de alumínio, componente do bloco de concreto autoclavado, é produzido a partir da atomização do alumínio (proveniente da bauxita) em estado líquido. Aspirado para uma câmara onde se introduz um jato de ar pressurizado, o alumínio líquido desintegra-se em pequenas partículas de formato semi-esférico que depois é peneirado e classificado de acordo com a sua granulação (ALCOA, 2005). O processo de fabricação deste material se dá através de energia elétrica, não gerando importantes impactos ao meio ambiente, no que diz respeito a geração de gases tóxicos. No entanto, a produção de alumínio gera em torno 11,3 toneladas de escórias primárias, o que representa o equivalente a 1% da produção de alumínio que, segundo a Associação Brasileira do Alumínio, em 2001 atingiu 1,13 milhão de toneladas. Estas escórias costumam ser descartadas de forma inapropriada, principalmente por recicladores secundários, ou seja, recicladores de escória primária ou de sucata de alumínio, como, por exemplo, o alumínio retirado de escórias de fundições que as jogam em lagos, rios e campos, causando graves prejuízos ao meio ambiente (ARAÚJO, 2002).

Outros impactos causados pelo pó de alumínio são os relativos à saúde humana. Após contato direto podem ocorrer irritação na pele e se inalado pode causar sintomas semelhantes aos da gripe, ou seja, febre, tosse e até danos ao pulmão por inalação de óxidos de metais (3D SYSTEM, 2005).

As grandes dimensões e leveza das peças permitem uma maior produtividade da mão-de-obra e menor consumo de argamassa de assentamento, comparativamente aos resultados obtidos com tijolo cerâmico e de concreto. A textura e a uniformidade dimensional do Bloco CCA possibilitam a eliminação dos revestimentos tradicionais, como chapisco e emboço para regularização de parede, obtendo-se, também, uma redução de aproximadamente 60% no peso das alvenarias.



Figura 28: Parede de Bloco de Concreto Autoclavado e detalhe.

Fonte: TOOLBASE, 2005.

Outro material ainda pouco utilizado no Brasil é o **Concreto reciclado** (ver figura 14), ou seja, concreto com agregado reciclado, proveniente de demolições e/ou resíduos da construção civil (entulho). No processo de reciclagem, envolve inicialmente a remoção dos componentes não minerais do entulho, como madeira, plásticos, metais, papelão, etc. e a conseqüente britagem de sua fração mineral (geralmente processada por usinas de reciclagem em britadores de impacto). O material britado é então utilizado como agregado no concreto em substituição do agregado natural, dependendo da resistência desejada ou ainda em substituição da areia, com granulometria menor. A mistura é a tradicional, com cimento e água, esta em quantidade bastante superior devido à grande absorção do entulho. A utilização deste concreto ainda apresenta algumas limitações como a presença de faces polidas em materiais cerâmicos (pisos, azulejos, etc.) que interferem negativamente na resistência à compressão do concreto produzido.

Este material, por sua vez, foi exposto na etapa "Fundações e/ou Estruturas", onde se apresentam as vantagens e desvantagens da utilização do mesmo.

5.3.2 Seleção por Ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

Com o que foi exposto no item 5.3.1, após uma análise qualitativa, observando os impactos ambientais causados pelos processos de produção de cada material utilizado para elementos de vedação para paredes, assim como os materiais utilizados para a sua produção e ainda a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se a análise quantitativa pelo software CES 4.2 Granta Design, conforme foi aplicado nas etapas anteriores, obtendo-se uma série de parâmetros ambientais, onde se pode destacar as emissões de CO₂ (em kg/m³), percentagem de reciclagem (%), energia despendida (MJ/m³) e ainda o custo destes materiais (R\$/kg).

Com isto, os materiais são classificados do ponto de vista ambiental, conforme tabela 09, principalmente pela geração ou absorção de CO₂ (kg/m³) para a etapa da construção "Elementos de Vedação para Paredes" da seguinte maneira: em primeiro lugar consta a madeira, visto que, ao invés de gerar emissões tóxicas, a madeira absorve CO₂ do meio ambiente. Em segundo lugar, está a alvenaria composta de blocos de concreto autoclavado, em função do reduzido peso específico do material resulta em menor produção de CO₂ em comparação aos materiais em estudo. Em terceiro lugar, a alvenaria composta por blocos de concreto vazado, que apresenta um pequeno acréscimo na geração de dióxido de carbono, em comparação do bloco CCA, assim como no caso das placas cimentícias e a alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos que classificou-se em quarto e quinto lugar, respectivamente.

Tendo em vista que o software utilizado para este estudo não disponibiliza dados quanto aos parâmetros ambientais, acima referidos, para os materiais de gesso acartonado e concreto reciclado, os mesmos foram apresentados nesta ordem no final da classificação, tendo em vista que o concreto reciclado está ainda em estudo, além do que a sua execução ainda é economicamente inviável.

Tabela 09: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Elementos De Vedação.

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m³)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735
Concreto celular autoclavado	400 a 900	0,16 a 0,18	162
Blocos de concreto	1400 a 1600	0,16 a 0,18	288
Placas cimentícias	1400 a 1700	0,16 a 0,18	306
Tijolos e blocos cerâmicos	1900 a 2100	0,14 a 0,16	336
Gesso acartonado	não existem dados no software CES 4.2 Granta		
Concreto Reciclado	não existem dados no software CES 4.2 Granta		

5.4 Revestimento de Paredes

Para revestimento de paredes, de uma residência unifamiliar, cita-se materiais de maior freqüência de uso no mercado atual: o emboço e/ou reboco, a cerâmica e a pasta ou argamassa de gesso. Pode-se, também, apresentar materiais menos utilizados, como madeira e a pedra natural (granito, mármore, etc.). Salienta-se porém que, a mão-de-obra pouco qualificada para aplicação da argamassa de gesso, que provoca um volume elevado de desperdício de material aumentando o custo final e a consulta com profissionais, para esta dissertação, ter sido em número reduzido (10), podem levar esta alternativa a ser classificada em ordem diferente de utilização no mercado. A seguir, descreve-se os materiais propriamente ditos, apresentados na ordem resultante da pesquisa realizada para este trabalho, conforme figura 29, onde destaca-se a preferência de utilização de mercado, desde a extração de materiais, a utilização até a sua reutilização, reciclagem ou disposição final dos mesmos, expondo, assim, os impactos por eles causados. Tem-se em vista, também, que os materiais a serem estudados nesta etapa possuem as mesmas matérias-primas dos materiais apresentados anteriormente, nos Materiais Utilizados para Fundações e/ou estruturas (item 5.1.1), bem como nos Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos (item 5.2.1) e nos Materiais Utilizados para Elementos de Vedação (item 5.3.1), onde a geração ou não de impactos por eles causados foram referenciados para cada material.

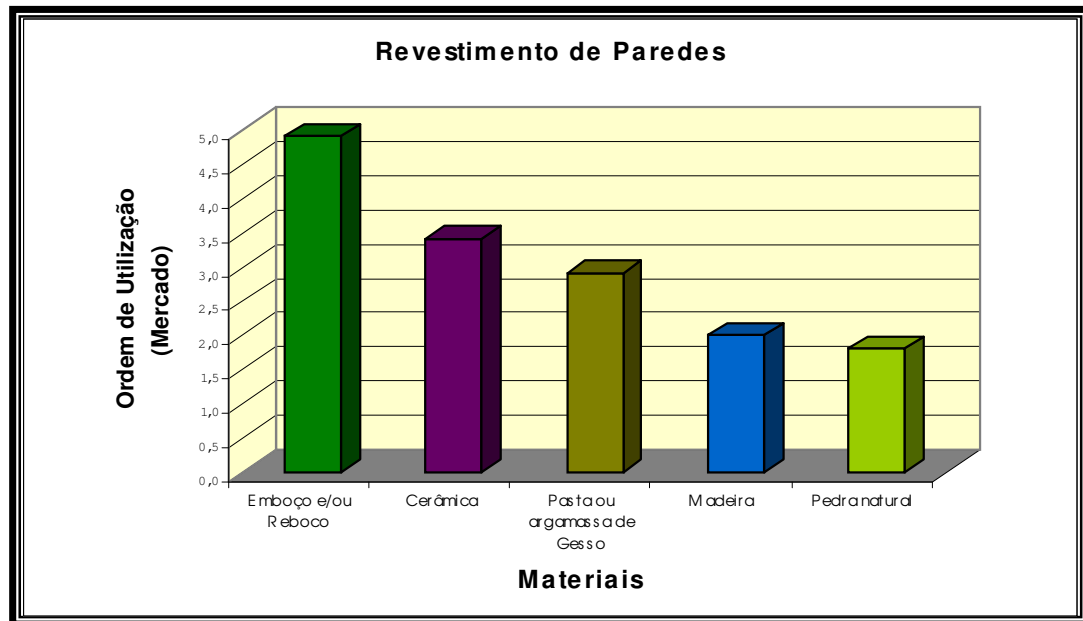


Figura 29: Preferência de Utilização (Mercado) X Materiais para Revestimentos de Paredes.

5.4.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Paredes

Revestimento de parede de argamassa, composto por cimento, cal hidratada e areia num traço em volume de 1:2:9, (figura 30), é a etapa da obra cuja principal finalidade é regularizar as superfícies da alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos e proteger das ações das intempéries.

Em uma construção convencional, o revestimento de uma parede é constituído por três camadas (**chapisco**, **emboço** e **reboco**), conforme figura 31. O chapisco (cimento e areia grossa lavada) é uma camada preparatória necessária utilizado apenas nas paredes externas, para promover a aderência do emboço. O emboço (cimento, cal e areia) é a camada de regularização da superfície, não devendo ser superior a 3cm. A sua aplicação se dá somente após o endurecimento total do chapisco e já com as tubulações de instalações elétricas, hidráulicas, de esgoto, de gás, etc., embutidas nas paredes. Já o reboco (cimento, cal e areia) tem pequena espessura (0,50 cm), sendo uma camada fina que serve para preparar a superfície para receber o acabamento final, como, por exemplo, a pintura.

As matérias-primas secas da argamassa para emboço e reboco são o cimento, a cal e a areia nos seus respectivos traços, misturadas a água. Neste caso, a análise dos impactos ambientais causados por estes materiais já foi apresentada no item 5.1.1 Fundações e/ou estruturas - Concreto Armado, relacionando-se, principalmente, o consumo elevado de energia na produção do cimento, assim como a geração de CO₂ proveniente da utilização de fornos para calcinação do carbonato de cálcio, onde os combustíveis mais utilizados são coque de petróleo, resultante do processo de craqueamento de resíduos pesados, essencialmente constituído de carbono (90 a 95%) ou carvão mineral, ou seja, combustível fóssil extraído da terra por mineração e ainda a contaminação do ar, por pós provenientes da produção propriamente dita. (ENCARNAÇÃO, 2001).

Quanto à cal, os impactos causados pela extração do calcário, assim como pela transformação, foram apresentados no item 5.3.1, Materiais Utilizados para Elementos de Vedação de Paredes - Alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos.

No que diz respeito a areia, os impactos gerados foram apresentados no item 5.2.1, o que envolve desde a extração em fonte natural até o transporte e consumo de energia até o local de utilização.

Dentro do canteiro de obras, o material passa por diversas etapas até o seu destino final, ou seja, ele é recebido, estocado, processado e, por fim, aplicado, sendo que, entre cada uma dessas etapas, se faz uso do transporte.

Na figura 32, apresenta-se o fluxograma do processo de execução de um revestimento em argamassa produzida na própria obra, adotando-se o procedimento de “descansar” a argamassa de cal antes de compor a argamassa final com cimento. Através dele, identificam-se as várias possibilidades de ocorrência de perda de material. Nesse exemplo específico, pode-se ter perda no recebimento devido a sacos rasgados, perda na dosagem dos materiais na produção da argamassa, perda durante o transporte e, por fim, perda na aplicação, que poderá resultar em entulho (argamassa que cai no chão e não é reaproveitada) ou ser incorporada na edificação (na forma de sobreespessura de revestimento). Segundo estudos de PINTO apud ZORDAN (1997),

esta ocorrência de resíduos pode chegar a mais de 70%, provocando, com isto, desnecessários recursos financeiros e consumo de energia em transporte e reciclagem. Este material como resíduo pode ser utilizado como agregado no concreto reciclado, conforme exposto no item 5.1.1 Fundações e/ou estruturas, deste trabalho.



Figura 30: Revestimento de Parede com emboço e/ou reboço

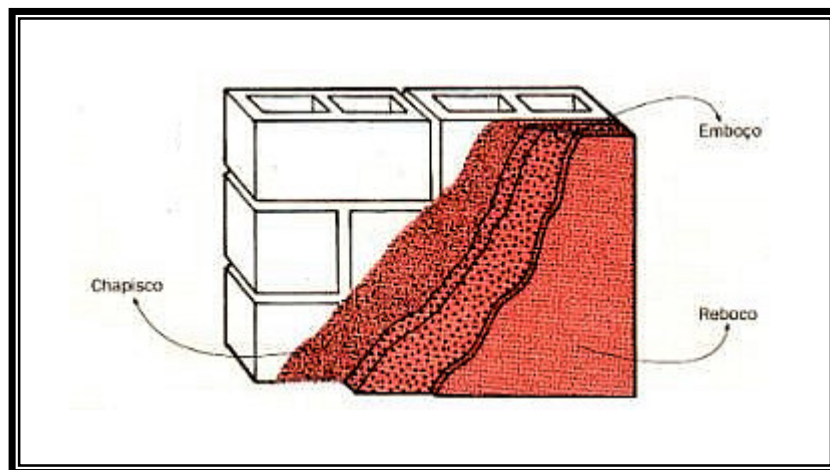


Figura 31: Detalhe do Revestimento de Parede com chapisco, emboço e/ou reboco.

Fonte: BANET, 2005

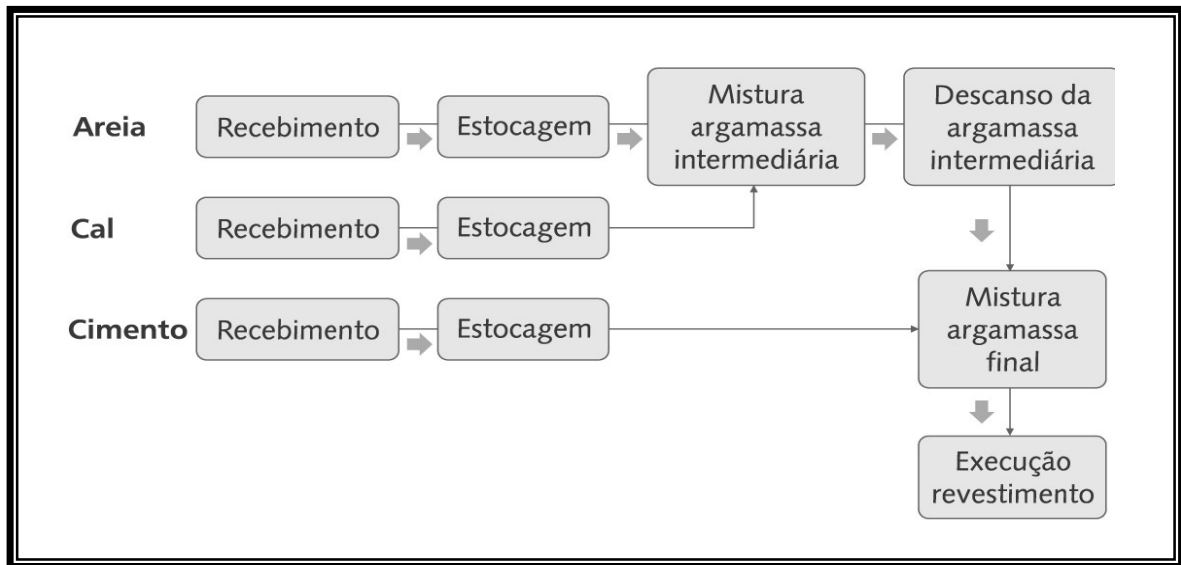


Figura 32: Fluxograma do processo de execução de argamassa. Fonte AGOPYAN, 1998.

Em segundo lugar, em ordem de utilização, de acordo com a pesquisa realizada com profissionais da área e revisão bibliográfica, está o **revestimento cerâmico** (figura 33), que, por sua vez, foi analisado no item 5.2.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos - cerâmica, onde analisa-se desde a extração da matéria-prima até a produção das placas.

A produção de placas de revestimento cerâmico gera impactos ambientais no que se refere à emissão na atmosfera de pó e gases, a descarga de águas residuais, rejeitos e resíduos de fabricação, (BUSANI et al., 1995; BLASCO et al., 1997).

Diferenciar o uso do revestimento cerâmico para piso ou parede significa, principalmente, diferenciar características de resistência à abrasão e resistência de ruptura. Para paredes é aceitável PEI 0, ou seja, resistência mínima ao desgaste: módulo, 18 N/mm² e carga de 400 N e cerâmica exclusiva para revestimentos de paredes. Um método de avaliação visual utilizado para classificar a resistência à abrasão é o chamado PEI (Porcelain Enamel Institute). Através da alteração de cor de uma peça cerâmica esmaltada submetida a um ensaio de abrasão, verifica-se o nível

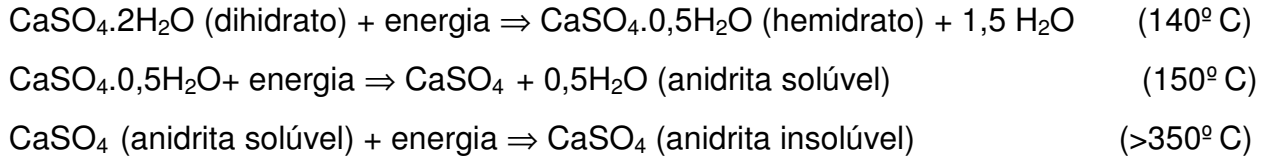
de resistência ao desgaste de tal peça. O PEI é classificado em números de zero a cinco e quanto maior o índice, mais resistente à abrasão, além de verificar a resistência física e química, onde PEI 5 inclui cerâmicas de uso em áreas públicas.

Para pisos, implica observar diversas características não exigidas para parede: o tráfego de pessoas define preocupações com a resistência à abrasão, o tipo de carga e a possibilidade de impacto no revestimento define a resistência à ruptura, o coeficiente de atrito é dado em função do escorregamento do chão, (ESCOLHA, 2003).

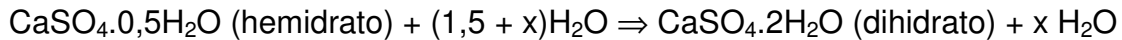


Figura 33: Revestimento de Parede com Cerâmica.

A **pasta ou argamassa de gesso** (figura 34) é composta, tradicionalmente, do gesso de construção que é um material em pó obtido pela calcinação da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - dihidrato) e é constituído, basicamente, por sulfato de cálcio hidratado, tendo como componente principal a bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) - hemidrato). Também são detectadas as presenças de anidrita, gipsita e impurezas de rocha (NOLHIER, 1986). As reações químicas para a obtenção do gesso são mostradas a seguir:



A mistura das frações hemidrato ou anidrita solúvel com a água à temperatura ambiente provoca o seu endurecimento através de um processo que envolve a dissolução do gesso em água, seguida de precipitação na forma de dihidrato, liberando calor:



A produção anual de gesso no país em 2002 foi de 595.000 toneladas (DNPM, 2002). Os principais fatores que interferem no custo do gesso são a distância entre a fonte produtora e consumidora (ANTUNES, 1999) e o tipo de combustível utilizado nos fornos de calcinação (LYRA, 2002).

Entre as vantagens da utilização do gesso para revestimento estão: a trabalhabilidade que possui possibilitando a fácil aplicação; a possibilidade de ser aplicada apenas uma camada com espessura máxima de 7 a 10 cm diretamente sobre as paredes de superfície; a secagem rápida (uma semana); o isolamento térmico e acústico em função da sua alta porosidade e resistência ao fogo pela sua incombustibilidade, (INGESEL, 2005).

O gesso aplicado como revestimento diretamente sobre alvenaria gera grande quantidade de resíduos, especialmente devido à grande velocidade de endurecimento (em torno de 30 minutos) do gesso de construção brasileiro, associada à aplicação manual por mão de obra, freqüentemente, com baixa qualificação. Estima-se que a perda típica medida pelo projeto FINEP HABITARE, que estimou o desperdício na construção civil, é de 45% (AGOPYAN, 1998), enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam perdas em torno de 30% da massa de gesso. Parte das perdas permanecem na parede como excesso de espessura e será incorporado aos resíduos de construção quando da demolição da edificação. Outra parte se torna resíduo de construção. A redução deste desperdício deve ser prioridade da indústria, pois o custo do material

perdido, somado ao da gestão dos resíduos, pode afetar a competitividade da solução. Ela depende de alterações da formulação do gesso, visando ampliar seu tempo útil, conforme proposto por ANTUNES (1999) e em treinamento de mão de obra. A ampliação do tempo útil também apresenta grandes vantagens em termos de produtividade da mão de obra (ANTUNES, 1999).

Quanto à reciclagem, a resolução (CONAMA 307) classificou os produtos de gesso como "são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação" (CONAMA, 2002), conforme foi apresentado no item 5.3.1 Elementos de vedação para parede.



Figura 34: Revestimento de Parede com gesso. Fonte: PALEGESSO, 2005

O revestimento de parede em **madeira** (figura 35) é composto por painéis elaborados a partir madeira de reflorestamento e a execução dos mesmos se dá da mesma forma que dos pisos laminados melamínicos. Portanto, as vantagens e

desvantagens, bem como a análise ambiental da utilização deste material, está exposto no item 5.2.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos, deste trabalho.



Figura 35: Revestimento de Parede com madeira.

No caso da **pedra natural** utilizada no revestimento de paredes (figura 36), apresenta impactos ao meio ambiente relacionados a sua extração e polimento, conforme foi exposto no item 5.2.1 Revestimento de Pisos - Pedras Naturais, onde cita-se o processamento de produção das placas de pedra.

Salienta-se, ainda, que a produção de rochas ornamentais, na maioria das empresas brasileiras, é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Na serragem, cerca de 25% a 30% dos blocos são transformados em pó, que é depositado nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240 mil toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados (CALMON, 1997), causando um grande problema para o meio ambiente. No entanto, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Centro de Tecnologia de Minerais (CETEM) desenvolveram um método para aproveitar o pó de

rocha em linhas de produção industriais. A partir disto, o poluente ambiental (pó) se transforma em matéria-prima que poderá ser usada na fabricação de argamassas para a construção civil. Segundo PEITER (2004), essa nova massa é similar às preparadas em canteiros de obra, sendo possível fazer uma mistura homogênea, substituindo a cal por esses resíduos. Obtém-se, assim, um produto final da mesma qualidade ou até superior e o custo para a fabricação da argamassa também é reduzido, pois o pó é adquirido a custos mínimos.



Figura 36: Revestimento de Parede com Pedra Natural

5.4.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

Com esta análise qualitativa do item 5.4.1, observando-se os impactos ambientais causados pelos processos de produção de cada material nesta etapa, assim como os materiais utilizados para a sua produção e ainda a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se à análise quantitativa pelo software CES 4.2 Granta Design, conforme foi aplicado nas etapas anteriores, obtendo-se uma série de parâmetros ambientais, onde pode-se destacar as emissões de CO₂ (em kg/m³), entre outros.

Com isto, os materiais são classificados do ponto de vista ambiental, principalmente pela geração ou absorção de CO₂ (kg/m³), de acordo a tabela 10, para a etapa da construção "Revestimentos de Paredes" da seguinte maneira: em primeiro lugar a madeira, visto que este material apresenta uma geração de CO₂ negativa, ou seja, ao invés de gerar emissões tóxicas, a madeira absorve CO₂ da atmosfera. Em segundo lugar, o revestimento com pedras naturais (granito, mármore, entre outros) devido a sua reduzida geração de CO₂. Em terceiro lugar, o revestimento com cerâmica, classificado nesta posição, pela alta geração de dióxido de carbono, um dos principais responsável pelo efeito estufa.

O software, utilizado para este estudo, não disponibiliza dados para os materiais de revestimento: a argamassa de gesso e a argamassa convencional (para esboço ou reboco), no que se refere aos parâmetros ambientais em estudo. Portanto, esses materiais foram apresentados nesta ordem no final da classificação, tendo em vista que, de acordo com o estudado até este momento, a produção do cimento é um dos materiais que mais provoca impactos ao meio ambiente, no que diz respeito à geração de CO₂.

Tabela 10: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Revestimentos de Paredes.

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m³)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735
Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108
Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200
Pasta ou argamassa de Gesso	não existem dados no software CES 4.2 Granta		
Emboço e/ou Reboco (argamassa convencional)	não existem dados no software CES 4.2 Granta		

5.5 Esquadrias (Portas e Janelas)

Tratando-se de esquadrias, entenda-se portas e janelas, de uma residência unifamiliar, as quais tem a finalidade de permitir a entrada ou saída de pessoas e de ventilação e iluminação natural, respectivamente, pode-se citar os materiais com maior frequência de utilização que são, segundo resultado da pesquisa realizada para este trabalho, representada na figura 37, as esquadrias de madeira em primeiro lugar, seguida pelas esquadrias de alumínio, as esquadrias de policloreto de vinila (PVC) e, por último, as esquadrias de aço. Salienta-se que os materiais aqui relacionados, com exceção do alumínio, foram previamente tratados nos itens anteriores a esta etapa, neste caso, a madeira e o aço no item 5.1.1 e o PVC no item 5.2.1. Portanto, apresenta-se, neste capítulo, as referências bibliográficas resumidas para estes materiais e de forma mais detalhada para o caso do alumínio.

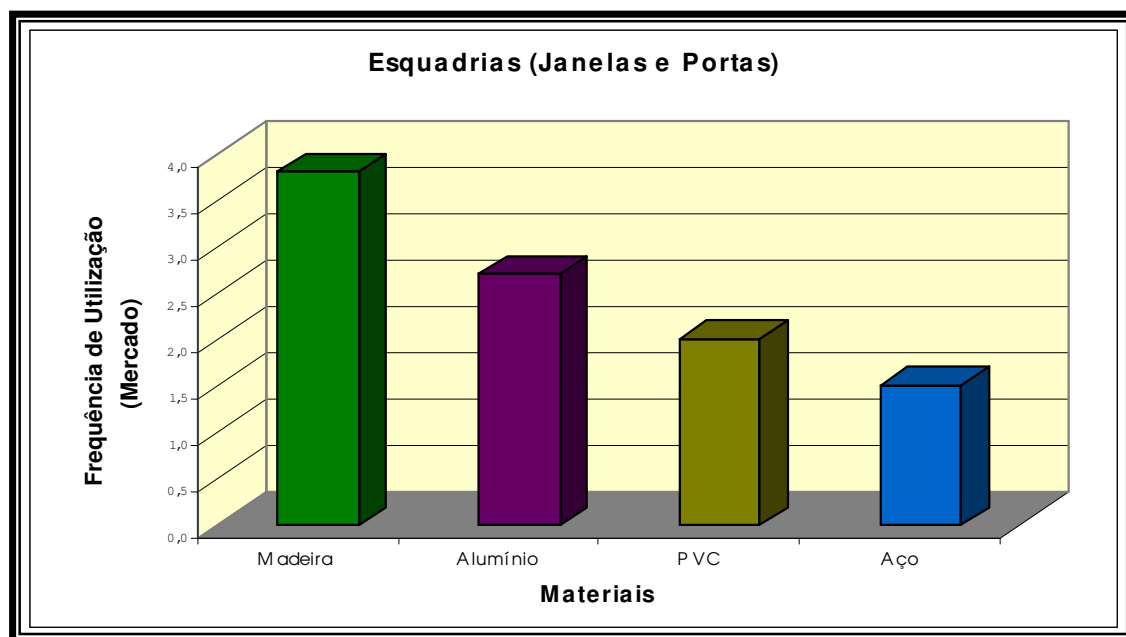


Figura 37: Preferência de Utilização (Mercado) X Materiais para Esquadrias.

5.5.1 Materiais Utilizados para Esquadria (Portas e Janelas)

As esquadrias de **madeira**, (figura 38), de acordo com pesquisa realizada para este trabalho, apresenta-se como o material mais utilizado. Em estudo realizado por FERNANDES (2004), os fabricantes demonstraram preferência, para a produção de qualquer componente das folhas e quadros das esquadrias, pela utilização de madeiras moderadamente pesadas, com densidade média, isto é, que varia entre 700 a 900 kg/m³.

A madeira por sua vez, conforme foi exposto nos capítulos anteriores, além de ser um material renovável e absorver emissões tóxicas, tais como CO₂, apresenta, na sua utilização, vantagens, como resistência mecânica tanto aos esforços de compressão como aos esforços de tração e flexão, resistência a substâncias químicas inorgânicas, ácidos, bases e sais que somente atacam quando fortemente concentrados e sob ação prolongada. Apresenta, ainda, boas características de isolamento térmico e absorção acústica, tem custo reduzido de produção e, em seu estado natural, apresenta uma infinidade de padrões estéticos e decorativos. Entre as desvantagens da sua utilização estão a degradação de suas propriedades e o surgimento de tensões internas, decorrente de alterações em sua umidade, a marcante heterioridade e anisotropia, próprias de sua constituição fibrosa orientada, limitação em suas dimensões e a deterioração ou alteração de sua durabilidade quando em ambientes que favoreçam a proliferação dos principais agentes de deterioração: fungos, insetos, (URIARTT, 1999).

A produção de esquadrias de madeiras inicia-se com o corte das árvores, em toras com dimensões adequadas ao transporte (URIARTT,1999). Nas serrarias, desenvolve-se a falqueadura e o desdobro, onde é retirado o alburno, localizado na região mais externa da tora, procurando o recorte de um prisma que melhor aproveite o cerne, indicado para utilização em esquadrias (ABCI, 1991). Estes procedimentos de manejo e processamento da madeira são precedidos de processos de beneficiamento, processos de preservação ou tratamento e a transformação do material.

O principal processo de beneficiamento da madeira, utilizado para manter sob controle os inconvenientes desse material, é a execução de secagem natural, onde o tempo de secagem é maior do que 4 meses para peças com espessura superiores a 25 mm, sendo que o processo é lento variando de acordo com a espécie, a densidade e condições de depósito. No entanto, é o processo mais adequado para fabricação de esquadria, segundo informações de fabricantes do estudo realizado por FERNANDES (2004). Na secagem artificial o tempo de secagem é de 18 a 21 dias para madeiras densas, ou 10 dias para madeiras de baixa densidade, (SECAGEM, 2001).

Quanto ao tratamento da madeira, segundo CAVALCANTE (1985), existem dois métodos de tratamento: o tratamento preventivo que é feito antes da utilização da madeira, prevenindo a deterioração em uso, e o tratamento curativo, que é feito para erradicar algumas deteriorações em andamento. A madeira tratada tem diversas vantagens (PROCESSO, 2001), apresentando algumas das características, tais como: aumento da durabilidade de 4 a 6 vezes; proteção contra ataque de fungos e insetos, como brocas e cupins; é altamente resistente à lixiviação (o produto não escorre para o solo). A madeira, quando tratada, adquire coloração esverdeada, aceitando, assim, acabamentos de pintura e proteção externa. Entre os produtos imunizantes, pode-se classificar os óleos preservativos (creosoto), soluções alcalinas hidrossolúveis (entre eles CCB - cobre, cromo e boro; CCA - cobre, cromo e arsênio; ACA - arsênio, cobre e solução amoniacal) e soluções salinas solúveis em óleo (pentaclorofenol), (URIARTT, 1999; DURABILIDADE, 2001). A utilização destes produtos, por exemplo, o CCA, além de terem custos elevados, podem trazer problemas ambientais.

O processo de produção da esquadria começa pelo desdobro em pranchas, seguido pela secagem da madeira, pré-corte, corte final, desempenamento, aplainamento, fresamento, furação, lixamento, pré-montagem, colocação de ferragens, montagem, travamento e inspeção.

Quanto as perdas com resíduos, na produção das esquadrias em madeira, variam de 40 a 50%, o que praticamente duplica o custo da matéria-prima adquirida em pranchas brutas. A geração de resíduos de material ocorre no corte e aplainamento das pranchas. A serragem é vendida para as olarias ou doada para produtores de

aves. Entretanto, os retalhos curtos, finos ou estreitos podem ser aproveitados como baguete, palheta de veneziana ou miolo para porta semioca.



Figura 38: Esquadria de Janela em Madeira

Em segundo lugar da classificação, conforme a sua utilização, destaca-se as esquadrias de **alumínio** (figura 39). Este, por sua vez, apresenta destaque quanto a evolução da sua produção do mundo. Segundo relatórios do Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), nos últimos 100 anos a produção mundial passou de 1000 toneladas em 1900 para 32 milhões de toneladas em 2000, sendo destes 24 milhões de alumínio primário e 8 milhões de metal reciclado, tornando-o o material mais utilizado em várias indústrias. No setor da construção este índice alcança os 20% da produção. A maior contribuição do alumínio para a sustentabilidade global está, principalmente, na redução do peso e a durabilidade deste material, por exemplo, em relação ao aço e a madeira, provocando a substituição dos mesmos.

Os problemas ambientais, relacionados a esta indústria, estão associados à mineração, que altera profundamente rios, solo e subsolo locais e produz rejeitos tóxicos, como a lama vermelha, emissão de gases (perfluorcarbonos ou PFCs) e alto consumo de energia para beneficiamento do minério primário. A energia gasta corresponde cerca de 25% do custo total do alumínio. Os maiores avanços na solução destes problemas ambientais, na última década, referem-se às emissões de PFCs. Embora a produção de alumínio tenha crescido 24% nos últimos 10 anos, as emissões foram reduzidas em 39%, segundo estimativas do PNUMA (JOHN, 2005).

O alumínio, em si, é proveniente do minério bruto da bauxita, que é uma mistura de argila rica em óxido e hidróxidos de alumínio. É o terceiro mineral mais presente na crosta terrestre, representando 8% da mesma. No entanto, só é economicamente viável desde que se possa contar com depósitos de grandes volumes e de boa concentração de minério, sendo a bauxita o principal, contendo no mínimo 30% de alumina, visto que são necessárias quatro toneladas de bauxita para produção de duas toneladas de alumina que geram uma tonelada de alumínio (BULLETIM, 1998). Esta tonelada de alumínio requer de energia entre 12 a 16 kWh por quilo de metal, o equivalente a, aproximadamente, 1,7 toneladas de petróleo. No entanto, o uso de material reciclado pode economizar até 95% de energia, sem se considerar, entretanto, aquela consumida na coleta e separação de material usado (BULLENTIM, 1998). Salienta-se ainda que mais de 90% da produção mundial de alumina se destina à fabricação de alumínio e o restante é utilizado pela indústria de papel, fabricação de vidros e outros (ALCOA, 2005).

A alumina, óxido de alumínio de alta pureza, é obtida do processamento da bauxita em operações químicas. Nesta etapa, conhecida como refinaria, onde acontece a transformação do minério em alumina, passando pela moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação, o minério é transformado em alumina calcinada, que será utilizada em seguida no processo eletrolítico, como o principal insumo para a produção de alumínio (ABAL, 2005).

Na etapa da digestão mencionada, no parágrafo anterior, é onde a produção de alumina resulta na geração de uma grande quantidade de resíduo de bauxita

conhecido como "lama vermelha", que é o resíduo gerado após a solubilização da alumina contida na bauxita, utilizando-se de uma solução de hidróxido de sódio a altas temperaturas e pressões (GÓIS, 2003). Esta etapa é altamente poluente.

Os resíduos gerados pela produção de alumínio, além da "lama vermelha" mencionada, estima-se que sejam geradas em torno de 11,3 toneladas de escória primária, sendo que esse valor equivale a 1% da produção de alumínio, que foi de 1,13 milhão de toneladas em 2001, segundo dados da Associação Brasileira de Alumínio. Estes resíduos costumam ser descartados de forma inapropriada, principalmente por recicladores secundários (reciclagem da escória primária ou de sucata de alumínio), como, por exemplo, aqueles que retiram o alumínio de escórias de fundições. A geração de CO₂ pode variar de 7 a 13 toneladas para cada tonelada de alumínio produzido (BULLETIM, 1998).

Em se tratando da reciclagem do alumínio, salienta-se que para reciclar uma tonelada deste material é necessário apenas 5% da energia necessária para produzir a mesma quantidade de alumínio pelo processo primário, economizando a extração de 5 toneladas de bauxita por tonelada reciclada, além da "lama vermelha" (resíduos de mineração) que é evitada, (RECICLAGEM, 2005). Qualquer produto feito em alumínio pode ser reciclado infinitas vezes, sem perder suas qualidades no processo de reaproveitamento, ao contrário de outros materiais. Isto confere ao alumínio uma combinação de vantagens em que se destacam a proteção ambiental, a economia de energia e o papel multiplicador na cadeia econômica, por meio da renda gerada pela coleta de sucata.

A reciclagem, além das vantagens mencionadas, traz outras como o favorecimento ao desenvolvimento da consciência ambiental, promovendo um comportamento responsável em relação ao meio ambiente por parte das empresas e dos cidadãos, incentiva a reciclagem de outros materiais, redução do volume de lixo gerado e a otimização do uso dos recursos ambientais.



Figura 39: Esquadria de Janela e Porta em Alumínio (anodizada).

Em terceiro lugar, na pesquisa deste estudo, constam as esquadrias de **policloreto de vinila (PVC)**, (figura 40), que, no mercado brasileiro, ainda é um produto novo. Essas esquadrias apresentam como vantagem o isolamento térmico, reduzindo, assim, a energia necessária dentro da residência, levando-se em consideração que um terço da energia gasta para condicionamento dos ambientes residenciais é inutilizada, devido à má vedação das janelas (ESQUADRIAS, 2005). Entre outras vantagens deste material estão a resistência à corrosão, a não necessidade de pintura, a facilidade de limpeza e manutenção, são autoextinguíveis, ou seja, não propagam chamas em caso de incêndio, capacidade de manutenção da temperatura interna dos ambientes, são resistentes aos agentes biológicos, não sendo atacadas por fungos, bactérias, brocas ou cupins. (PEZENTE, 2005).

Analisando propriamente a matéria-prima das esquadrias, ou seja, o PVC, este é um material plástico dentre os mais comuns, que não é 100% originário do petróleo (57% de cloro e 43% de petróleo). A sua produção, assim como o processamento do

resíduo, causam problemas ambientais, devido às substâncias prejudiciais, como asbesto, mercúrio, entre outros, (ANINK,1996).

Quanto ao índice de energia, a produção do PVC, é uma das mais econômicas em comparação ao alumínio ou ao aço, já no caso da madeira, esta necessita apenas um décimo desta energia para a sua produção.

Os principais impactos ambientais, bem como a possibilidade de reciclagem do PVC, foram tratados anteriormente no item 5.2.1 Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos, no que se refere aos revestimentos em vinílicos.



Figura 40: Esquadria de Janela em PVC.

Por último, as esquadrias de **aço** (figura 41) são ainda bastante utilizadas, seja pelo baixo custo em comparação aos materiais mencionados anteriormente ou pela facilidade de se adequar a todo tipo de projeto. Porém, oxida facilmente, perdendo a sua resistência. Para isto, é necessária a conservação com pintura adequada, para evitar o progresso da corrosão e, conseqüente, degradação do material.

A análise ambiental, no que diz respeito às vantagens e desvantagens, assim como aos impactos ambientais gerados pela produção do aço, foram apresentadas no item 5.1.1 Materiais Utilizados para Fundações e/ou estruturas, onde constata-se que, apesar da produção do aço gerar 2 toneladas de CO₂ para cada tonelada de aço, é um material 100% reciclável, atenuando com isto os impactos gerados ao meio ambiente.



Figura 41: Esquadria de Janela em Aço.

5.5.2 Seleção por Ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

Com esta análise qualitativa exposta no item 5.5.1, onde se observou os impactos ambientais gerados pelos extração e/ou processos de produção de cada material, assim como a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se a análise quantitativa através do software CES 4.2 Granta Design. Conforme foi elaborado nas etapas anteriores, constatou-se que a ordem ambiental destes materiais, pela geração de emissões tóxicas, tais como CO₂, conforme é apresentado na tabela 11, começa em

primeiro lugar pelas esquadrias de madeira, em função, principalmente, da geração negativa de emissões de CO₂. Ou seja, ao invés de gerar CO₂, a madeira absorve este gás da atmosfera. Em segundo lugar, vêm as esquadrias de PVC, também pela menor geração deste gás em comparação às esquadrias de aço. Estas, por sua vez, classificam-se em terceiro lugar. Em quarto lugar aparecem as esquadrias de alumínio, tendo em vista o alto índice de geração de CO₂. Nesta etapa, particularmente, tomando como base a energia despendida para a produção destes materiais, esta classificação se mantém na mesma ordem.

Tabela 11: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Esquadrias

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m³)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735
PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200
Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170
Alumínio	2500 a 2900	11,60 a 12,80	37120

5.6 Forros

Definindo-se a expressão forros, tem-se que o forro é constituído por tábuas com que se reveste interiormente o teto de uma residência, onde o teto é a face superior interna do aposento, portanto, o forro é o revestimento abaixo do teto. Para isto, existem vários tipos de revestimentos, sendo entre eles, segundo a pesquisa realizada para este estudo e apresentada na figura 42, os forros de gesso, madeira e de policloreto de vinila (PVC).

Da mesma maneira, como foi mencionado na etapa anterior, os materiais aqui relacionados, classificados de acordo com o resultado da pesquisa realizada para este estudo, foram tratados na sua extensão e, mais detalhadamente, no caso do gesso, no item 5.3.1 - Materiais Utilizados para Elementos de Vedação de Paredes, para a madeira, no item 5.1.1 - Materiais Utilizados para Fundações e/ou Estruturas e para o policloreto de vinila (PVC) no item 5.2.1 - Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos. Portanto, serão descritos, a seguir, apenas as vantagens e desvantagens de cada material, sendo que o processamento de fabricação, impactos ambientais e reciclagens foram abordados, conforme exposto, nos itens mencionados.

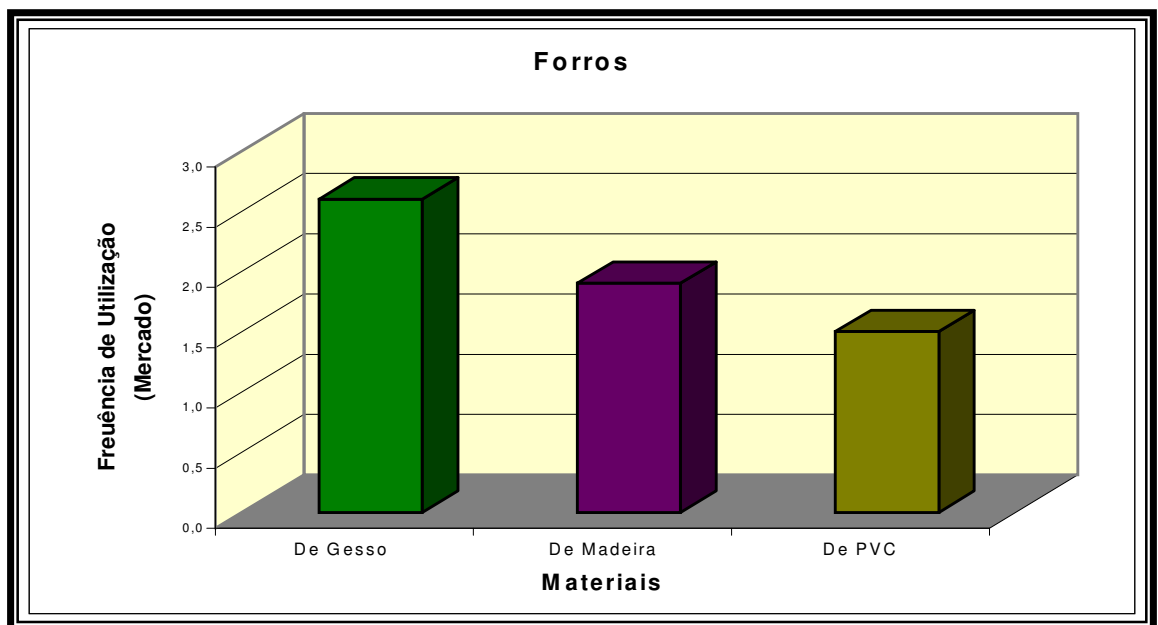


Figura 42: Preferência de Utilização (Mercado) X Materiais para Forros.

5.6.1 Materiais Utilizados para Forros

O sistema de forro com **gesso acartonado** ou **placas de gesso** (figura 43) é adaptado a todos os tipos de construções novas ou antigas para os mais variados usos. Entre as vantagens deste sistema pode-se mencionar a aparência do forro o qual apresenta-se sem juntas aparentes e pode receber todo tipo de acabamento. As variações de temperatura e de umidade relativa do ar não provocam variações dimensionais expressivas no gesso, é adaptável a toda forma de estrutura de arquitetura, onde forros horizontais ou inclinados, com sancas trabalhadas, forros em relevo, em arcos ou abobadados, artesanais e qualquer outra forma especial, fora de padrão, são realizáveis com o material, apresentam bom isolamento térmico e acústico.

Quanto as desvantagens, no caso do gesso acartonado, salienta-se que, em geral, aberturas são possíveis de serem executadas. Porém, no caso das luminárias, estas devem ser de peso reduzido ou instaladas do nível do forro. É indispensável que este equipamento tenha sua fixação própria efetuada na laje ou parede, visto que a estrutura do forro foi projetada apenas para sua própria sustentação. Além disso, as placas são higroscópicas (absorvem água), não sendo recomendadas em ambientes úmidos.



Figura 43: Forro de gesso em placas.

No caso dos **forros de madeira**, (figura 44), salienta-se que a madeira é um material muito usado em construções, apresentando uma série de vantagens em relação a outros materiais tais como: plásticos, gesso, cimento e metais. Estas vantagens se devem ao fato da madeira possuir, em geral, ótima resistência mecânica em relação ao seu peso, facilidade de usinagem, bom isolamento térmico, versatilidade na utilização, podendo ser serrada, laminada, cortada em partículas, desfeita em fibras, além de ser um bem renovável (HUNT & GARRAT, 1967 apud FREITAS et al., 1998).

O uso da madeira na construção gera economia na quantidade de energia em duas etapas: uma na formação da matéria-prima que se faz através da absorção de energia solar (fotossíntese) e a outra em relação ao consumo de energia, para o processamento e montagem da construção, pela possibilidade de aproveitamento de seus resíduos como energia calorífera (WINTER, 1998 apud BARBOSA & INO, 2001).

Entre as madeiras mais utilizadas para este fim, estão o angelim, cedrinho cerne e cedrinho misto, pinus, entre outras, sendo que a densidade destas madeiras varia entre 700 e 900 kg/m³. (MADEREIRA, 2005).

Uma vantagem adicional da utilização de madeira de reflorestamento, em comparação com madeiras nativas, reside na contribuição que as florestas plantadas podem trazer para o controle do efeito estufa causado pela queima de combustíveis fósseis. Levando em conta a composição química média da madeira (50% celulose, 25% hemicelulose), cada tonelada de madeira representa a retirada (por absorção) 1,8 toneladas de gás carbônico da atmosfera (pelo chamado efeito carbono aprisionado) e a reposição de 1,3 toneladas de oxigênio (consumo de gás carbônico e liberação de oxigênio). Para neutralizar 4,5 toneladas de CO₂, bastariam 0,2 hectares de um plantio de eucalipto com uma produtividade em torno de 35 metros cúbicos por hectare/ano, para compensar esta produção de CO₂, (FREITAS & NETO, 1993).

Além das vantagens da matéria-prima que este forro apresenta, o mesmo possui boa funcionalidade, visto que este material dispõe-se no mercado em peças de lambris do tipo macho e fêmea, não possuindo emendas notórias



Figura 44: Forro de madeira

Os **forros de PVC**, (figura 45 e 46), em terceiro lugar, de acordo com a pesquisa de trabalho, apresentam-se cada vez mais acessíveis e têm as seguintes vantagens: as peças de PVC se encaixam entre si, tipo macho e fêmea, sem emendas, facilitando o transporte e a instalação, apresentam boa resistência mecânica e superfície resistente a contaminações, possuem um bom isolamento elétrico, térmico e acústico, são auto-extinguíveis e não propagam chama, a superfície não apresenta porosidade, diminui a possibilidade de manchas e contaminações do material e ainda não necessita de pintura ou envernizamento. Entre as desvantagens deste material estão o custo em relação ao lambris de madeira, com o tempo perde a coloração original, não pode ser renovado como o de madeira natural e não pode ser escurecido ou mudar o acabamento através de tingidores ou vernizes. Além destas desvantagens técnicas no que se refere a instalação e acabamentos, existem, principalmente, as desvantagens ocasionadas ao meio ambiente com a produção do PVC, visto que, a mesma, causa problemas (ANINK, 1996). Ao mesmo tempo, a fabricação deste plástico requer ainda um elevado índice de energia, necessária para separar o cloro do sódio, ao que se

encontra forte e estavelmente unido formando o sal comum (ROMANO, 1997), conforme exposto no item 5.2.1.



Figura 45: Forro de PVC.

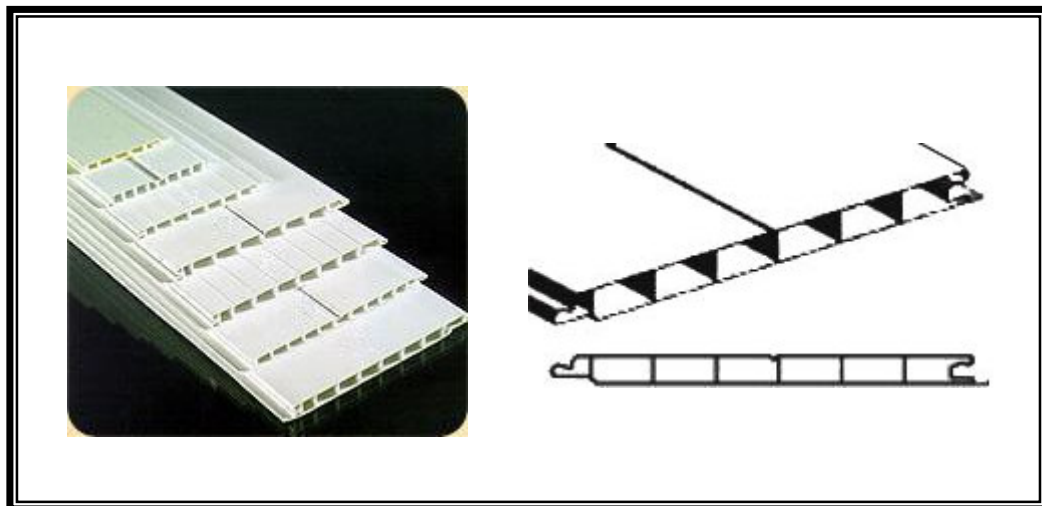


Figura 46: Detalhes de Forro de PVC. Fonte: ALGELFIRE, 2005.

5.6.2 Seleção por Ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

De acordo com o que foi exposto no item anterior, observando-se os impactos ambientais gerados pelos extração e/ou processos de produção de cada material, assim como a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se a análise quantitativa através do software CES 4.2 Granta Design. Conforme foi elaborado nas etapas anteriores constatou-se que a ordem ambiental destes materiais, pela geração de emissões tóxicas, tais como CO₂, conforme tabela 12, classifica-se ,em primeiro lugar, a madeira, visto a absorção de CO₂ da atmosfera, além das vantagens apresentadas em relação ao consumo reduzido de energia na sua produção, bem como ao aproveitamento dos resíduos por ela gerada. Em segundo lugar, ficou o forro de PVC. (Policloreto de Vinila), tendo em vista a elevada geração de emissões tóxicas, neste caso, de CO₂. Já o forro de gesso ficou em terceiro lugar, em função de que este material não possui dados ambientais no software mencionado.

Tabela 12: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Forros.

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
De Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735
De PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200
De Gesso	não existem dados no software CES 4.2 Granta		

5.7 Revestimentos de Telhados

Os telhados tem a função de receber as águas da chuva, proporcionar isolamento térmico e proteger de outros acontecimentos atmosféricos. Composto de telhas inclinadas, colocadas de maneira a canalizar as águas para o solo, tem também uma função estética. As telhas analisadas, para este estudo, seguem a ordem de utilização no mercado, conforme foi adotado nas etapas anteriores e apresentado na figura 47. Portanto, as telhas, aqui em estudo, são as telhas cerâmicas, as telhas de fibrocimento, as telhas de concreto e ainda as telhas asfálticas.

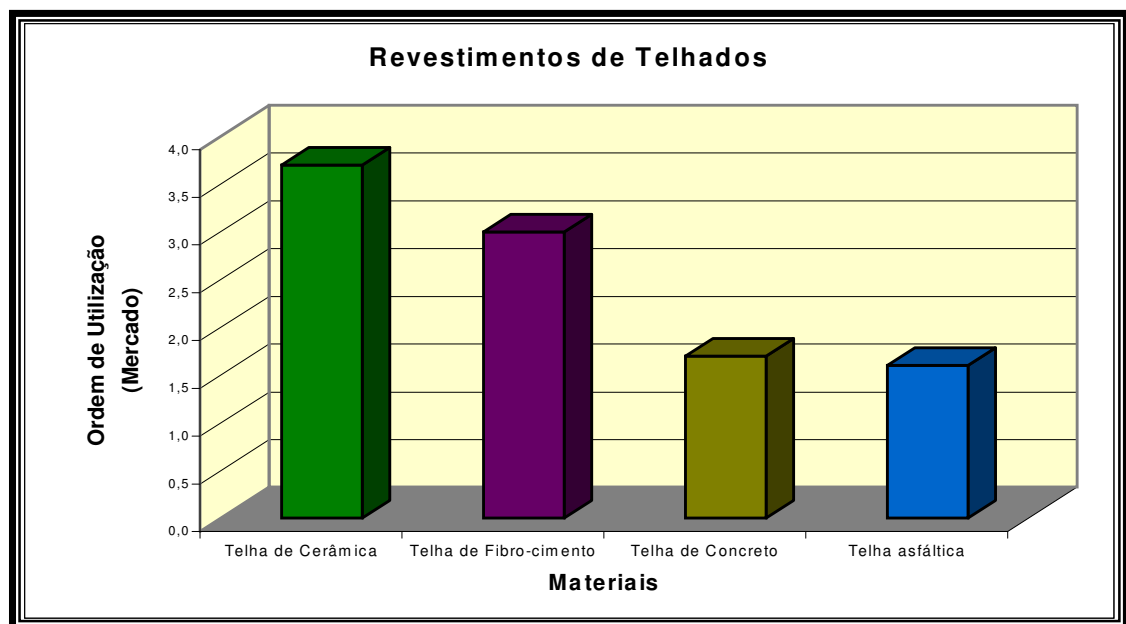


Figura 47: Preferência de Utilização (Mercado) X Materiais para Revestimentos de Telhados.

5.7.1 Materiais Utilizados para Revestimento de Telhados

A indústria de **telhas cerâmicas**, assim como tijolos, blocos ou qualquer outra indústria, busca produzir determinados produtos com certas características exigidas pelo mercado, utilizando insumos, como matérias-primas, recursos humanos e energia (IKEDA, 1980). Seu objetivo é produzir o máximo possível em quantidade e qualidade, reduzindo ao mínimo as perdas durante o processo, conforme esquematizado na figura 48, abaixo.

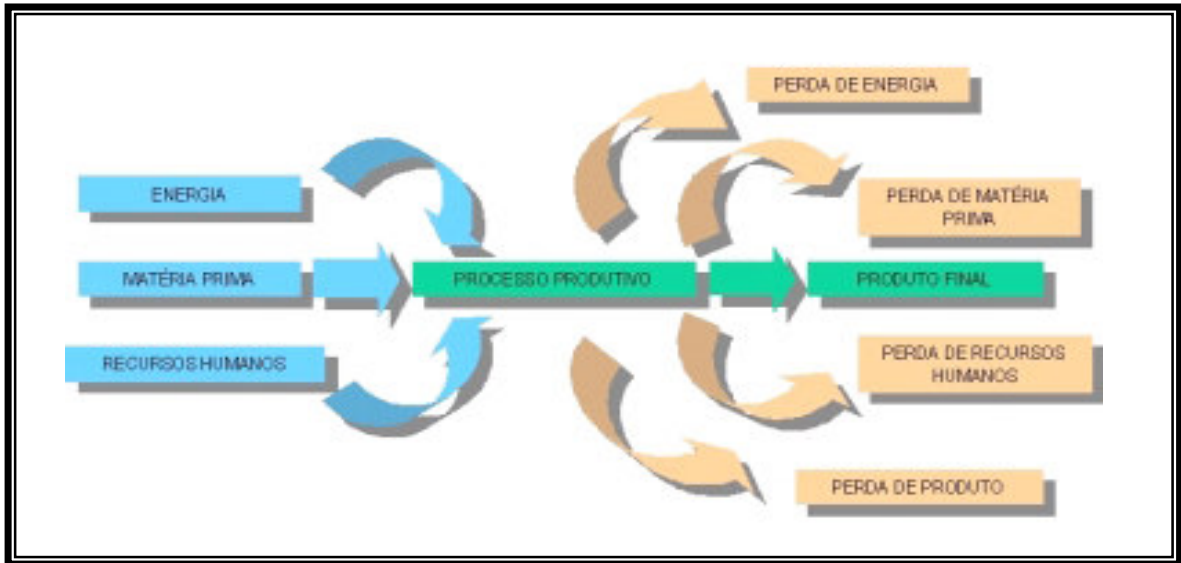


Figura 48: Insumos e perdas na produção telhas cerâmicas, tijolos e blocos.

Fonte: Adaptado de IKEDA (1980).

Na produção de **telhas cerâmicas** (figura 49), assim como dos tijolos e blocos, os processos são tão variados quanto os produtos, havendo desde os mais rudimentares até os automatizados. No entanto, para qualquer processo, as etapas fundamentais estão sempre presentes: extração das matérias-primas, preparação, moldagem, secagem, queima e o produto final. Estas etapas foram detalhadas sucintamente no item 5.2.1 - Materiais Utilizados para Revestimentos de Pisos, onde caracterizou-se os insumos de cada uma delas, bem como os principais equipamentos necessários para o processamento da matéria-prima nessas etapas, indicando ainda os impactos gerados, respectivamente.

Existem diferentes tipos de telhas que podem ou não receber tratamento vidrado (transparente) ou esmaltação (colorido). Os tipos de telhas mais comuns, conforme o seu formato são: capa e canal (colonial, plana, paulista, etc.), francesa, romana, portuguesa e germânica.

Em cada fase do processo de produção é fundamental o controle de qualidade. Segundo MITIDIARI & IOSHIMOTO (1988), nos últimos anos, a necessidade de uma racionalização do consumo de energia, a necessidade de mecanização dos processos

para reduzir custos com a mão-de-obra e a competitividade de outros setores (como telhas de fibrocimento), forçaram uma mudança de filosofia, de forma a aprimorar o processo produtivo e o controle de qualidade.

Em relação à geração de resíduos sólidos e líquidos, os principais resíduos gerados por este setor industrial são decorrentes das perdas de produto acabado. Embora nas fases de moldagem e secagem haja perdas significativas, os resíduos em si podem ser incorporados ao processo, reduzindo, com isto, os impactos ao meio ambiente. No entanto, o produto, após a queima, não pode ser aproveitado como matéria-prima sem antes sofrer um processo prolongado de decomposição. A indústria de cerâmica vermelha praticamente não usa água em seu processo, salvo no caso de hidratação da matéria-prima, ainda assim em pequenas quantidades que serão evaporadas na etapa de queima. Efluentes líquidos são gerados na limpeza das maquinarias, que é feita ocasionalmente, não representando impactos significativos.

Quanto à utilização destes resíduos, estes podem ser aproveitados para outros fins, tais como lastro de pavimentação, aterro para construção ou aproveitamento como agregado graúdo obtido através de britagem, este a ser utilizado no concreto reciclado, por exemplo. Para isso, deve haver um trabalho conjunto dos diferentes setores da construção para que este recurso desperdiçado seja utilizado, diminuindo, assim, o consumo de outras matérias-primas, como, por exemplo, a brita.



Figura 49: Revestimento de Telhado com telha cerâmica

As **telhas de fibrocimento** (figura 50), da mesma forma que as placas cimentícias, fazem parte de uma nova geração de telhas sem amianto, ou asbesto, que é uma fibra de origem mineral, derivada de rochas metamórficas eruptivas, que, por processo natural de recristalização, transforma-se em material fibroso, dividindo-se em dois grandes grupos: serpentinas (crisotila ou amianto branco) e anfibólios (tremolita, actinolita, antofilita, amosita e crocidolita, etc.).

Na atualidade, o amianto é ainda muito utilizado como matéria-prima na maioria das indústrias dos países de economia periférica, principalmente, na produção de artefatos de cimento-amianto para a indústria da construção civil (telhas, caixas d'água, divisórias, painéis acústicos, forros e pisos, etc.). É considerado uma substância de comprovado potencial cancerígeno em quaisquer das suas formas ou em qualquer estágio de produção, transformação e uso. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a crisotila está relacionada a diversas formas de doença pulmonar (asbestose, câncer pulmonar, entre outras), não havendo nenhum limite seguro de exposição para o risco cancerinogênico de acordo com o Critério 203, publicado pelo

IPCS (International Programme on Chemical Safety)/WHO (Organização Mundial da Saúde), (WHO, 1998).

No Brasil, o amianto tem sido usado em larga escala durante muitas décadas. Estima-se que a população brasileira direta e ocupacionalmente exposta ainda seja de 500.000 pessoas, das quais cerca de 20.000 são trabalhadores da indústria de exploração e transformação, ou seja, mineração, cimento-amianto, materiais de fricção e outros (ALGRANTI, 2001).

Desde setembro de 2004, é proibida a utilização de amianto no Estado do Rio Grande do Sul. A Lei Estadual de número 11643, sancionada em 21 de junho de 2001, deu três anos de prazo para as indústrias se adaptarem e substituírem a matéria-prima amianto em seus produtos. (REVISTA, 2004).

Atualmente estas telhas são produzidas a partir de uma mistura balanceada de cimento reforçado com fios sintéticos (CRFS), sendo que, para isto, a opção tem sido a utilização de fios de polivinílico álcool (PVA) ou polipropileno (PP), juntamente com fibras de celulose, em substituição do amianto. Estas telhas, depois das telhas cerâmicas, são, no mercado, as mais utilizadas pela sua versatilidade e ainda apresentam, como diferencial, a possibilidade de vencer vãos consideráveis sem uso de apoios intermediários. Com isso, obtém-se um ganho de espaço interno e redução de custos na estrutura do telhado. Estas telhas apresentam ainda resistência a atmosferas agressivas, não sofrendo, por exemplo, o efeito da corrosão, reduzindo, assim, o desperdício na substituição de telhas.

Por outro lado, as telhas fibrocimento são compostas, principalmente, por cimento, o qual, conforme exposto no item 5.1.1 - Materiais mais Utilizados no Mercado para Fundações e/ou Estruturas, apresenta uma geração de CO₂ bastante elevada, (CONPET, 2005).

Quanto aos resíduos, a indústria de fibrocimento com tecnologia CRFS, gera passivo ambiental baixo, uma vez que quase todo o rejeito pode ser reciclado e re-

incorporado no processo produtivo, reduzindo a produção de resíduos sólidos, (IDPN, 2004).



Figura 50: Revestimento de Telhado com telha de fibrocimento.

As **telhas de concreto** (figura 51) são compostas por cimento, areia, água, pigmento e, opcionalmente, aditivos plastificantes. Entre as vantagens deste material, pode-se citar a durabilidade e a alta resistência à maresia, além do melhor conforto térmico nas telhas de cores claras, provocado pela menor absorção de calor. Outra característica refere-se à alta resistência à flexão que estas telhas apresentam. Se elas forem apoiadas nos sarrafos, ao invés das ripas, podem receber uma carga pontual na parte central em toda a sua largura, em média, 250 kg (outros tipos de telhas, de boa qualidade, suportam apenas 150 kg). Em função do tamanho das telhas, a quantidade de peças necessárias, por metro quadrado, é de 10,5 telhas de concreto, enquanto que, no caso das telhas cerâmicas, são necessárias 17 telhas, em média, para a mesma área, dependendo do modelo utilizado. Esta telha tem uma baixa absorção de água (em torno de 10%) e possui rápida instalação, necessitando três vezes menos tempo que a montagem com outras telhas, devido aos seus encaixes, reduzindo, com isto, o custo da mão-de-obra, (MEDEIROS, 2005). O produto também apresenta uma

importante vantagem ambiental, em comparação à fabricação de telhas feitas com outros materiais, as quais requerem muita energia, liberando, em seus processos de produção, grande quantidade de CO₂, (CHAVES, 2005).

À semelhança dos blocos de concreto, as telhas de concreto são produzidas com máquinas extrusoras automatizadas à base da energia elétrica, reduzindo, com isto, o consumo de energia necessária para a sua produção. No entanto, estas telhas também, em semelhança aos blocos de concretos, têm, como principal matéria-prima, o cimento, o qual, na sua fabricação, gera um alto índice de gases tóxicos (CO₂) que variam em torno de uma tonelada, para cada tonelada de cimento produzido, (CONPET, 2005).

Os resíduos deste material são favoravelmente utilizados na confecção de concreto reciclado, conforme visto no item 5.1.1 Materiais Utilizados para Fundações e/ou Estruturas na forma de agregados, trazendo, como uma das vantagens, a economia de energia no processo de moagem, uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas.



Figura 51: Revestimento de Telhado com telha de concreto.

Telhas Asfálticas do tipo “shingle”, (figura 52 e 53) são constituídas, basicamente, por três componentes responsáveis e longa durabilidade das coberturas, o estruturante, o asfalto e os grânulos minerais.

O estruturante é o material básico do tipo véu de fibra de vidro que tem como objetivo incorporar os demais componentes e conferir à telha resistência para suportar o processo de produção, manuseio, instalação e as condições de desempenho exigidos na sua utilização. Este véu de fibra de vidro, por sua vez, proporciona vantagens como a facilidade na impregnação do asfalto, não ocorrendo o risco de delaminação entre o asfalto e o estruturante, melhora a resistência ao impacto, bem como ao envelhecimento natural além de permitir maior resistência ao fogo.

A massa asfáltica utilizada nos “shingles” são compostos de asfalto, do tipo oxidado ou modificado com polímeros, cargas minerais inertes e plastificantes, fornecendo resistência por longo prazo às variações térmicas e intempéries. Além do asfalto que compõe a telha propriamente dita, utiliza-se também uma faixa de asfalto adesivo, colocado ao longo de cada telha em seu sentido longitudinal, que tem por objetivo a aderência dos “shingles” sobrepostos, resistindo, desta forma, a incidência de ventos fortes e evitando o refluxo de água.

O asfalto destinado à fabricação de “shingles” deve ser ajustado de modo a desempenhar funções diferentes. No processo de fabricação do asfalto, este deve ser muito fluido nas temperaturas de processamento, de modo a permitir a perfeita impregnação do estruturante e permitir a ótima adesão dos grãos minerais que recobrem a superfície do “shingle”. O asfalto é o elemento fundamental na impermeabilidade do mesmo, devendo permitir a flexibilidade e maneabilidade das telhas, tanto na estocagem, como no manuseio, instalação e serviço. Dependendo das condições climáticas na região, a massa de asfalto utilizado nos “shingles” pode sofrer mudanças de formulação, podendo ter um ponto de amolecimento entre 205 a 245° C para climas quentes, ou 160 a 170° C para climas frios. Uma boa parte dos fabricantes incorporam polímeros de APP (polipropileno atático) na massa asfáltica, já que melhora sua estabilidade físico química, a temperatura e a resistência aos raios ultra violeta.

No entanto, a utilização do petróleo para fabricação do asfalto, traz grandes riscos para o meio ambiente desde o processo de extração, transporte, refino, até o consumo, como a produção de gases que poluem a atmosfera. Os piores danos podem acontecer durante o transporte de combustível, se houver vazamentos em grande escala de oleodutos e navios petroleiros. Na indústria do petróleo, a principal fonte de emissão de CO₂ é no processo de combustão, além das perdas de metano nas diversas etapas do processo, (SCHMOLL, 2005).

É nos processos de extração, separação, refino e transporte que se queima os combustíveis e emite-se os gases de efeito estufa. Uma das maiores refinarias do Brasil elaborou uma estequiometria (cálculo da proporção entre reagentes e produtos em uma reação química) de combustão para calcular a quantidade de CO₂ emitido nos processos de combustão, resultando, na época (1998), numa estimativa de emissão global de aproximadamente 25 mil toneladas por ano, para todas as operações da empresa, (MUDANÇAS, 2002).

Segundo SCHMOLL (2005), para o petróleo ser separado, há uma fase de destilação e outra de craqueamento, nas quais uma grande quantidade de energia é necessária, seja para gerar vapor ou para aquecer o óleo que será destilado. O vapor é usado para aquecimento durante todo o processo e armazenagem de óleos pesados (óleos combustíveis e asfaltos) e é produzido, em geral, com a queima de óleo combustível ou gás natural.

Para o acabamento das telhas são utilizados grânulos minerais, tipo ardósia, quartzo e cerâmica, que recebem um tratamento de coloração com corantes aglutinados com resinas termofixas. Estes grânulos minerais tem a finalidade de proteger a massa asfáltica contra a incidência dos raios ultravioleta, proteger a telha dos impactos de chuva de granizo, fornecer rugosidade superficial para permitir o trânsito dos instaladores, dar efeito estético, dar características de resistência ao fogo e à umidade, fungo e mofo.



Figura 52: Revestimento de Telhado com telha asfáltica. (ONDULINE, 2005)

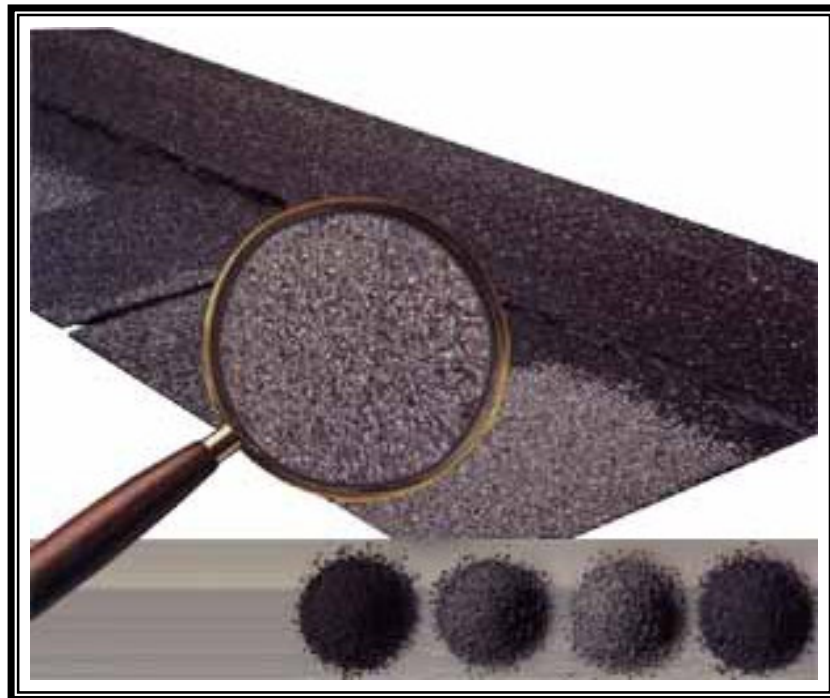


Figura 53: Detalhe da Telha Asfáltica. (ONDULINE, 2005)

5.7.2 Seleção por ordem Ambiental dos Materiais Utilizados

De acordo com o análise qualitativa no item 5.7.1, observando-se os impactos ambientais causados pelos processos de produção de cada material utilizado para revestimentos de telhados, assim como os materiais utilizados para a sua produção e ainda a reciclagem ou não dos mesmos, procedeu-se à análise quantitativa através da utilização do software CES 4.2 Granta Design, conforme foi aplicado nas etapas anteriores, obtendo-se a relação de parâmetros ambientais, onde se pode destacar as emissões de CO₂ (em kg/m³), percentagem de reciclagem (%), energia despendida (MJ/m³), além do custo atualizado (R\$).

Com isto, tomando-se como referência as emissões de CO₂, classificou-se os materiais para revestimento de telhados, conforme consta na tabela 13. Em primeiro lugar, vêm as telhas de concreto, visto que este material em comparação aos demais materiais analisados apresenta menor geração deste gás. Em segundo lugar, as telhas de cerâmica, tanto pela grande geração de CO₂, conforme mencionado, como pela energia despendida.

Porém, o software utilizado para este estudo, CES 4.2 Granta Design, no caso dos materiais estudados para esta etapa, não disponibiliza os parâmetros ambientais adotados na análise. Portanto, a classificação para estes materiais é isoladamente qualitativa, de acordo com as referências bibliográficas. Por isso, as telhas de fibrocimento, com tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético), posicionam-se em terceiro lugar, seguida das telhas asfálticas, em quarto lugar.

Tabela 13: Parâmetros dos Materiais, pela Geração de Co₂, para Revestimentos de Telhados

MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO₂ (kg/m³)
Telha de Concreto	1200 a 1600	0,16 a 0,18	288
Telha de Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200
Telha de Fibrocimento	não existem dados no software CES 4.2 Granta		
Telha Asfáltica	não existem dados no software CES 4.2 Granta		

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as avaliações dos resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados com profissionais da área de engenharia civil, material bibliográfico e, por último, dos dados obtidos através do software CES 4.2 Granta Design, com relação aos materiais selecionados para cada etapa de uma construção residencial em área urbana. Salienta-se, ainda, que a escolha de materiais de construção adequados é de fundamental importância para a sustentabilidade de todo o sistema, pois, segundo o CIB (1998) apud YUBA et al. (2001), estima-se que a construção consuma cerca de 40% do total de energia, seja responsável por 30% das emissões de CO₂ e gere aproximadamente 40% de todos os resíduos produzidos pelo homem.

6.1 Exploração de Recursos Naturais

Como apresentado no capítulo anterior, pôde-se identificar as matérias-primas básicas, necessárias para a produção de cada um dos materiais de construção selecionados para as fundações e/ou estruturas, revestimentos de pisos, elementos de vedação, revestimentos de paredes, esquadrias, forros e revestimentos de telhados, sendo estas as etapas de uma construção residencial urbana. Conseqüentemente, pôde-se também verificar o grau de disponibilidade destes recursos naturais, através dos dados discriminados anteriormente no Quadro 01.

De acordo com o resultado da pesquisa, representado na tabela 17, observa-se que, o material sempre presente em todas as etapas da construção é a madeira, nas suas diversas formas, tendo, como exceção, apenas os revestimentos dos telhados. Portanto, considera-se a madeira, para a construção civil, um bem indispensável.

Como a madeira é, a princípio um recurso natural renovável, ela foi considerada neste trabalho como uma matéria-prima abundante na face terrestre.

Quanto aos demais materiais de construção em estudo, observa-se que o aço e as placas cerâmicas necessitam de matérias-primas cujas reservas naturais já estão em escassez segundo LIPPIATT (1998). Salienta-se que, no caso da placa cerâmica, é considerada um material proveniente de recursos naturais não abundantes, devido, principalmente, à camada de acabamento final do mesmo, que normalmente exige a presença de chumbo e estanho, segundo PETRUCCI (1980), os quais representam recursos naturais não renováveis e já em escassez, de acordo com LIPPIATT (1998).

Neste sentido, deve-se buscar reduzir ou até eliminar a utilização destes materiais através da substituição dos mesmos por materiais alternativos, para fins de minimização dos impactos ambientais causados pela escassez de recursos naturais. Além disto, deve-se sempre ter em mente a necessidade de redução da exploração de recursos naturais em geral, visando reduzir os impactos ambientais relacionados a mesma.

A partir destes dados, buscou-se realizar uma análise qualitativa de todos os materiais envolvidos nas diferentes etapas da construção residencial, salientando os pontos mais relevantes relacionados à exploração de recursos naturais não renováveis, atualmente não abundantes. Esta análise qualitativa, no entanto, não tem a finalidade de esgotar o tema de pesquisa. Muito pelo contrário, simplesmente visa discutir melhor o tema em questão, proporcionando alguns subsídios para posteriores trabalhos nesta área de pesquisa.

6.2 Geração de Emissões Tóxicas

Os gases precursores do efeito estufa, como o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o vapor d' água (H_2O), são responsáveis pelo chamado "efeito estufa". Misturando-se à atmosfera, eles a fazem se comportar como uma estufa, retendo o calor solar próximo à superfície terrestre. Em excesso, entretanto, o

efeito estufa causa um superaquecimento que pode levar a conseqüências deletérias, como o derretimento de parte das calotas polares e a conseqüente elevação do nível dos oceanos.

A emissão de dióxido e monóxido de carbono (CO_2 e CO), cloro-fluor-carbono (CFC), gás metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre, amônia (NH_3) e hidrocarbonetos (HC) são responsáveis por desequilíbrios ambientais numa escala local, regional e mundial. Daí a preocupação em conter essas emissões.

O foco principal desta dissertação é contribuir na seleção de materiais para a construção de uma residência unifamiliar. Com isto, além de reduzir o volume de resíduos gerados pela obra, analisou-se os materiais de cada etapa, principalmente pela exploração dos recursos naturais e pela geração de CO_2 , sendo que, para este último, além da bibliografia encontrada, foi possível complementar com a aplicação do software CES 4.2 Granta Design, o qual forneceu as quantidades de emissões tóxicas geradas por cada material em estudo. Existem algumas carências de informações, por parte do software, destes dados para o concreto reciclado, gesso (argamassa ou acartonado), argamassa convencional, fibrocimento e ainda para as telhas asfálticas. Motivo pelo qual estes materiais foram classificados no final da ordem, nas suas respectivas etapas.

A tabela 14 apresenta a classificação por ordem ambiental dos materiais em estudo, de acordo com a geração de CO_2 , gerado pelos mesmos, para cada etapa da construção. Observa-se que, como já mencionado nos capítulos anteriores, a madeira apresenta geração de CO_2 negativa, ou seja ao invés de gerar emissões, esta absorve os gases existentes na atmosfera. Isto faz com que a madeira seja a primeira classificada em todas as etapas, com exceção dos revestimentos dos telhados (sem madeira entre os materiais). No entanto, esta classificação dos materiais modifica consideravelmente, mudando a ordem de classificação, se levada em consideração o consumo de energia necessário para a produção e transporte de cada material.

Tabela 14: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS, PELA GERAÇÃO DE CO₂, PARA CADA ETAPA DE CONSTRUÇÃO OBTIDOS DO SOFTWARE CES 4.2 GRANTA DESIGN 2005

ITEM	MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/m ³)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/kg)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/m ³)	RECI-CLAGEM	CUSTO (ver unidade em c/etapa)	
FUNDAÇÕES E/OU ESTRUTURA	Madeira	700 a 1.350	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 1200,00/m ³	
	Pedra natural (pedra grês, granito, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 384,00/m ³	
	Concreto armado	2200 a 2600	0,16 a 0,18	468	1,05 a 1,16	3016	0,05 a 0,10	R\$ 565,00/m ³	
	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	24,00 a 33,50	264650	0,70 a 0,90	R\$ 4,50/kg	
	Concreto reciclado (c/ agreg. reciclado)	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
REVESTIMENTOS DE PISOS	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 25,00/m ²	
	Melamínicos	600 a 900	-0,90 a -0,80	(-) 480	25,00 a 28,00	25200	0,10 a 0,20	R\$ 45,00/m ²	
	Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²	
	Vinílicos	1000 a 1250	1,90 a 2,10	2625	70,00 a 80,00	100000	0,02 a 0,04	R\$ 40,00/m ²	
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 25,00/m ²	
	Carpetes Têxteis	1000 a 1200	4,00 a 4,50	5400	100 ,00a 115,00	138000	0,40 a 0,60	R\$ 30,00/m ²	
ELEMENTOS DE VEDAÇÃO	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 50,00/m ²	
	Concreto celular autoclavado	400 a 900	0,16 a 0,18	162	1,05 a 1,16	1044	0,05 a 0,10	R\$ 40,00/m ²	
	Blocos de concreto	1400 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 25,00/m ²	
	Placas cimentícias	1400 a 1700	0,16 a 0,18	306	1,05 a 1,16	1972	0,05 a 0,10	R\$ 30,00/m ²	
	Tijolos e blocos cerâmicos	1900 a 2100	0,14 a 0,16	336	1,00 a 3,00	6300	0,00 a 0,50	R\$ 16,00/m ²	
	Gesso acartonado	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
	Concreto reciclado (c/ agreg. reciclado)	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
REVESTIMENTOS DE PAREDES	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 30,00/m ²	
	Pedra natural (granito, mármore, etc)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²	
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 25,00/m ²	
	Pasta ou argamassa de Gesso	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
	Emboço e/ou Reboco	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
ESQUADRIAS	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 615,00/(1,5x1,2)	
	PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 950,00/(1,5x1,2)	
	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	30,50 a 33,50	264650	0,70 a 0,80	R\$ 171,00/(1,5x1,2)	
	Alumínio	2500 a 2900	11,60 a 12,80	37120	184,00 a 203,00	588700	0,80 a 0,90	R\$ 254,00/(1,5x1,2)	
FORROS	De Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 10,50/m ²	
	De PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 14,50/m ²	
	De Gesso (acartonado ou gesso)	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
REVESTIMENTOS DE TELHADOS	Telha de Concreto	1200 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 12,60/m ²	
	Telha de Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 28,70/m ²	
	Telha de Fibro-cimento	não existem dados no software CES 4.2 Granta							
	Telha Asfáltica	não existem dados no software CES 4.2 Granta							

6.3 Energia Despendida

Os aspectos relacionados aos potenciais de poluição de cada fonte energética dão uma imagem dos impactos relacionados com seu uso e sua produção. Associados aos impactos da produção de energia, também há os impactos relativos à distribuição, tais como perda de áreas para manutenção da biodiversidade, fatores estéticos, riscos à saúde e acidentes (campos eletromagnéticos e explosões, por exemplo) (EPA, 1995).

De acordo com MASCARÓ (1988), para determinar o conteúdo energético de materiais de construção, deve-se levar em conta não somente a energia consumida no processo industrial propriamente dito, mas também a energia usada em todos os processos prévios, transporte, equipamentos, administração e gerenciamento. Os materiais altamente industrializados apresentam maior consumo de energia em relação aos materiais tradicionais e, tendo em vista que a industrialização traz uma substituição progressiva dos materiais tradicionais pelos industrializados, os níveis de consumo energético no setor de materiais de construção tende a aumentar cada vez mais.

Para esta dissertação, a análise do consumo de energia foi inicialmente qualitativa, complementada posteriormente com os dados obtidos através do software CES 4.2 Granta Design, conforme tabela 15, onde se pode observar que a classificação, tendo como base a energia consumida, provoca uma variação bastante diferenciada em comparação à classificação pela geração de CO₂. Observa-se, também, que nenhum dos materiais em estudo é usado diretamente da natureza, ou seja, todos os itens estudados utilizam a energia desde o transporte da fonte natural ao local da obra até a transformação dos mesmos.

Tabela 15: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS, PELA ENERGIA DESPENDIDA, PARA CADA ETAPA DE CONSTRUÇÃO OBTIDO DO SOFTWARE CES 4.2 GRANTA DESIGN 2005

ITEM	MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/m ³)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/kg)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/m ³)	RECI-CLAGEM	CUSTO (ver unidade em c/etapa)
FUNDAÇÕES E/OU ESTRUTURA	Pedra natural (pedra grês, granito, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 384,00/m ³
	Concreto armado	2200 a 2600	0,16 a 0,18	468	1,05 a 1,16	3016	0,05 a 0,10	R\$ 565,00/m ³
	Madeira	700 a 1.350	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 1200,00/m ³
	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	24,00 a 33,50	264650	0,70 a 0,80	R\$ 4,50/kg
	Concreto reciclado (c/ agreg. Recicl.)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE PISOS	Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²
	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 25,00/m ²
	Melamínicos	600 a 900	-0,90 a -0,80	(-) 480	25,00 a 28,00	25200	0,10 a 0,20	R\$ 45,00/m ²
	Vinílicos	1000 a 1250	1,90 a 2,10	2625	70,00 a 80,00	100000	0,02 a 0,04	R\$ 40,00/m ²
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 25,00/m ²
	Carpetes Têxteis	1000 a 1200	4,00 a 4,50	5400	100,00 a 115,00	138000	0,40 a 0,60	R\$ 30,00/m ²
ELEMENTOS DE VEDAÇÃO PARA PAREDES	Concreto celular autoclavado	400 a 900	0,16 a 0,18	162	1,05 a 1,16	1044	0,05 a 0,10	R\$ 40,00/m ²
	Blocos de concreto	1400 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 25,00/m ²
	Placas cimentícias	1400 a 1700	0,16 a 0,18	306	1,05 a 1,16	1972	0,05 a 0,10	R\$ 30,00/m ²
	Tijolos e blocos cerâmicos	1900 a 2400	0,14 a 0,16	384	1,00 a 3,00	5700	0,00 a 0,50	R\$ 16,00/m ²
	Madeira	700 a 900	-1,10 a -0,90	(-) 630	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 50,00/m ²
	Gesso acartonado	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Concreto reciclado (c/ agreg. Recicl.)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE PAREDES	Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²
	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 30,00/m ²
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 25,00/m ²
	Pasta ou argamassa de Gesso	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Emboço e/ou Reboco	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
ESQUADRIAS	Madeira	700 a 900	-1,10 a -0,90	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 615,00/(1,5x1,2)
	PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 950,00/(1,5x1,2)
	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	30,50 a 33,50	264650	0,70 a 0,80	R\$ 171,00/(1,5x1,2)
	Alumínio	2500 a 2900	11,60 a 12,80	37120	184,00 a 203,00	588700	0,80 a 0,90	R\$ 254,00/(1,5x1,2)
FORROS	De Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 10,50/m ²
	De PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 14,50/m ²
	De Gesso (acartonado ou gesso)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE TELHADOS	Telha de Concreto	1200 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 12,60/m ²
	Telha de Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,00 a 0,50	R\$ 28,70/m ²
	Telha de Fibrocimento	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Telha Asfáltica	não existem dados no software CES 4.2 Granta						

6.4 Reciclagem

Através do que foi descrito no capítulo anterior, pode-se analisar o potencial de reciclabilidade dos materiais de construção selecionados para as principais etapas de construção de uma residência. Entre elas, estão fundações e/ou estruturas, revestimentos de pisos, elementos de vedação, revestimentos de paredes, esquadrias, forros e revestimentos de telhados. Onde, para cada uma destas etapas, foi avaliado, de uma forma genérica, o índice de reciclabilidade, através da abordagem ampla e geral.

A partir disto, após análise de todos os materiais, constatou-se que o fibrocimento, mesmo vetado no Brasil, continua sendo utilizado por algumas capitais dentro da construção civil, mesmo sendo este material o único que não é reciclável, devido ao componente amianto na sua composição. Não é o caso do estado do Rio Grande do Sul, onde a sua utilização é proibida, sendo substituído por fio sintético que, por sua vez, é reciclável, conforme estudo no capítulo anterior. Outro material ainda que pode ser considerado como não reciclável é a madeira tratada com produtos químicos tóxicos, dependendo do grau destes produtos.

Na tabela 16, é possível constatar que, conforme exposto anteriormente, todos os materiais apresentam uma taxa de reciclabilidade, podendo ser esta de 2% no caso dos vinílicos, até 90% no caso do aço e o alumínio. Além disso, constata-se que a ordem ambiental dos materiais, para cada etapa, difere da classificação apresentada tanto pela geração de CO₂ como pelo consumo de energia.

Tabela 16: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS, PELA % DE RECICLAGEM, PARA CADA ETAPA DE CONSTRUÇÃO OBTIDO DO SOFTWARE CES 4.2 GRANTA DESIGN 2005

ITEM	MATERIAIS	DENSIDADE (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/kg)	PRODUÇÃO DE CO ₂ (kg/m ³)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/kg)	ENERGIA DESPENDIDA (MJ/m ³)	RECI- CLAGEM	CUSTO (ver unidade em c/etapa)
FUNDAÇÕES E/OU ESTRUTURA	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	24,00 a 33,50	264650	0,70 a 0,90	R\$ 4,50/kg
	Madeira	700 a 1350	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 1200,00/m ³
	Pedra natural (grês, granito, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 384,00/m ³
	Concreto armado	2200 a 2600	0,16 a 0,18	468	1,05 a 1,16	3016	0,05 a 0,10	R\$ 565,00/m ³
	Concreto reciclado (c/ agreg. Recic.)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE PISOS	Carpetes Têxteis	1000 a 1200	4,00 a 4,50	5400	100,00a 115,00	138000	0,40 a 0,60	R\$ 30,00/m ²
	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 25,00/m ²
	Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²
	Melamínicos	600 a 900	-0,90 a -0,80	(-) 480	25,00 a 28,00	25200	0,10 a 0,20	R\$ 45,00/m ²
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,10 a 0,20	R\$ 25,00m ²
	Vinílicos	1000 a 1250	1,90 a 2,10	2625	70,00 a 80,00	100000	0,02 a 0,04	R\$ 40,00/m ²
ELEMENTOS DE VEDAÇÃO PARA PAREDES	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 50,00/m ²
	Tijolos e blocos cerâmicos	1200 a 1900	0,14 a 0,16	304	1,00 a 3,00	5700	0,10 a 0,20	R\$ 16,00/m ²
	Concreto celular autoclavado	400 a 900	0,16 a 0,18	162	1,05 a 1,16	1044	0,05 a 0,10	R\$ 40,00/m ²
	Blocos de concreto	1400 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 25,00/m ²
	Placas cimentícias	1400 a 1700	0,16 a 0,18	306	1,05 a 1,16	1972	0,05 a 0,10	R\$ 30,00/m ²
	Gesso acartonado	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Concreto reciclado (c/ agreg. Recic.)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE PAREDES	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,0 a 16,0	11200	0,40 a 0,50	R\$ 30,00/m ²
	Pedra natural (granito, mármore, etc.)	2500 a 2700	0,01 a 0,04	108	0,18 a 0,45	1215	0,40 a 0,50	R\$ 120,00/m ²
	Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,10 a 0,20	R\$ 25,00/m ²
	Pasta ou argamassa de Gesso	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Emboço e/ou Reboco	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
ESQUADRIAS	Alumínio	2500 a 2900	11,60 a 12,80	37120	184,00 a 203,00	588700	0,80 a 0,90	R\$ 254,00/(1,5x1,2)
	Aço	7800 a 7900	1,90 a 2,30	18170	30,50 a 33,50	264650	0,70 a 0,90	R\$ 171,00/(1,5x1,2)
	Madeira	700 a 900	-1,10 a -1,05	(-) 735	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 615,00/(1,5x1,2)
	PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 950,00/(1,5x1,2)
FORROS	De Madeira	700 a 900	-1,10 a -0,90	(-) 630	14,00 a 16,00	11200	0,40 a 0,50	R\$ 10,50/m ²
	De PVC	1200 a 1600	1,70 a 2,00	3200	64,0 a 79,0	126400	0,02 a 0,60	R\$ 14,50/m ²
	De Gesso (acartonado ou gesso)	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
REVESTIMENTOS DE TELHADOS	Telha de Cerâmica	2500 a 2600	1,80 a 2,00	5200	36,00 a 40,00	104000	0,10 a 0,20	R\$ 28,70/m ²
	Telha de Concreto	1200 a 1600	0,16 a 0,18	288	1,05 a 1,16	1856	0,05 a 0,10	R\$ 12,60/m ²
	Telha de Fibrocimento	não existem dados no software CES 4.2 Granta						
	Telha Asfáltica	não existem dados no software CES 4.2 Granta						

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como foi definido inicialmente, o objetivo principal da presente dissertação era contribuir na seleção de materiais para uma residência mais sustentável e, por consequência, na diminuição dos impactos dos resíduos gerados atualmente pela indústria da Construção Civil. Analisou-se, para isto, com base na geração de CO₂, os materiais mais utilizados no mercado, para cada etapa da construção aqui relacionadas, resultando em um "guia" onde constam os materiais ecologicamente mais ou menos favoráveis.

Para isto, a revisão bibliográfica realizada possibilitou a constatação da relevância que está sendo dada, atualmente, em nível mundial, aos impactos ambientais relacionados a edificações e, mais especificamente, relacionados aos materiais de construção selecionados para as mesmas. Neste sentido, destaca-se que a avaliação de comparação de alguns métodos de análise ambiental do ciclo de vida de materiais de construção pôde ampliar o conhecimento do tema de pesquisa, demonstrando, ao mesmo tempo, possibilidades variadas de comparação ambiental de alternativas de materiais. Verificou-se, ainda, a importância dada por estes métodos para análises do "berço ao túmulo" (*cradle-to-grave*), ou seja, desde a extração de matérias-primas, fabricação, transporte, utilização, até a disposição final dos materiais de construção, ou ainda do "berço ao berço" (*cradle-to-cradle*) quando inclui a reciclagem de materiais, não descartando etapas do ciclo de vida dos mesmos.

No entanto, pode-se destacar que somente alguns dos impactos ambientais envolvidos ao longo do ciclo de vida de materiais de construção, puderam ser detalhados a tal ponto de possibilitar uma classificação ambiental entre os mesmos. Isto aconteceu, principalmente, pelo fato de que muitos estudos de pesquisa sobre o

assunto apresentam resultados dispersos e a grande maioria das referências bibliográficas apresentam abordagem geral do impactos envolvidos nas etapas do ciclo de vida. Contudo, a classificação ambiental apresentada neste trabalho só foi possível com a aplicação do já mencionado software CES 4.2 da Granta Design, que possibilitou quantificar os parâmetros ambientais: entenda-se, geração de CO₂, consumo de energia e reciclagem, os quais nada mais ratificaram os dados encontrados na bibliografia.

Constatou-se, com isto, que, como já mencionado, a classificação ambiental de todos os materiais analisados, nas diferentes etapas de uma construção de uma residência unifamiliar, levam a madeira como sendo a melhor alternativa desde a fundação até o forro, pelo fato importante de absorver CO₂ da atmosfera, desde que seja classificado, tomando como base a geração de CO₂, visto que esta ordem é alterada, caso seja baseado no consumo de energia para a produção do material.

No entanto, salienta-se que o presente tema de pesquisa ainda se encontra em fase inicial de investigação, sendo de extrema relevância o desenvolvimento de outros trabalhos sobre impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de materiais de construção, assim como ao longo do ciclo de vida de edificações, para fins de uma caracterização abrangente e ao mesmo tempo minuciosa do tema.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se indicar as seguintes ações:

-)} Realizar análise quanto aos materiais nas etapas da construção, que não foram abordados nesta dissertação, devido ao grande número (ver apêndice 9.3).
-)} Caracterizar, em detalhe, outros impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de edificações, além dos impactos referentes aos materiais de construção utilizados;
-)} Realizar análise dos impactos ambientais dos materiais em conjunto com os sistema de sustentabilidade de uma residência.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCI - Associação Brasileira da Construção Industrializada. Manual Técnico de Caixilhos, janelas: aço, alumínio, vidros, PVC, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação. 1. Ed. São Paulo, ano 4, n. 39, jul. 2003.
2. ABAL - Associação Brasileiro do Alumínio. **Alumínio para futuras gerações**. 2005.
3. ABIMCI, Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Artigo Técnico: **Desenvolvimento de Tecnologia Permite uso da Madeira em Construções de Grande Porte**. 2004. on line] disponível via <http://www.abimci.com.br/port/04Not/04_041007.html> capturado em 06/08/05.
4. ADDISON, J. **Vermiculite: a Review of the Mineralogy and Health Effects of Vermiculite Exploitation Regulatory Toxicology and Pharmacology**. Volume 21, Issue 3.1995. pag. 397-405.
5. AGOPYAN, V. et al. **Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo, FINEP, ITQC, Escola Politécnica da USP, 1998.
6. ALBUQUERQUE, D. M. **As Questões Ambientais Decorrentes da Extração do Calcário: Caso de Vertente do Lério no Agreste de PE**. Departamento de Geografia e História - Universidade de Pernambuco/UPE. Disponível [on line] via internet <http://www.sne.org.br/congresso/resumos/impactos_ambientais/269.htm> Capturado em 30/09/05.
7. ALCOA Alumínio. **Pó de Alumínio**. 2005. Disponível [on line] via Internet <<http://www.alcoa.com.br>>. Capturado em 02/10/05.
8. ALCOA. **Projeto Juruti**. 2005. Disponível [on line] via Internet <http://www.alcoa.com/brazil/pt/juruti_info_page/14> Capturado em 03/10/05.
9. ALDE, L. Artigo Técnico da ECO: **O Amianto é Nosso**. Disponível [on line] via Internet <<http://arruda.rits.org.br>> capturado em 01/10/05.
10. ANGELFIRE. Catálogo Comercial disponível [on line] via internet <<http://www.angelfire.com/my/ruz/forrocap.htm>>. Capturado em 30/10/05.
11. ALGRANTI, E. 2001. Epidemiologia das doenças ocupacionais respiratórias no Brasil. *Epidemiologia das Doenças Respiratórias* 1(3):119-143.

12. ALMEIDA, M. Artigo Técnico: **Áreas Emergentes - Ecodesign**. Universidade de Minho. 2005. Disponível [on line] via Internet <<http://www.eng.uminho.pt>.> Capturado em 27/08/05.
13. ANDERSON, R. 2000. **Interface Introduces Corn Carpet Tiles**. Disponível [on line] via <<http://www.socialfunds.com/news>>capturado em 19/09/05.
14. ANNES, J. **Desenvolvimento de uma metodologia de manufatura consciente para micro, pequenas e médias empresas industriais**. Porto Alegre. 2003. 105p. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
15. ANNINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J. **Handbook of sustainable building: na environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment**. London, United Kingdom: James & James, 1996. 175p.
16. ANTUNES, R.P.N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. São Paulo, 1999. 145 p. Dissertação (Mestrado) (disponível no www.infohab.org.br)
17. ARAÚJO. 2002. Artigo Técnico: **A moderna Construção Sustentável**. IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica.
18. ARQUITEMA, Grupo de Pesquisa ArqTeMa - Arquitetura, Tecnologia e Materiais. Guia para Revestimentos Cerâmicos. Disponível via [on line] <http://www.eesc.sc.usp.br/sap/docentes/sichieri/ceramica/index.htm>. Capturado em 01/11/05.
19. ASHBY, M. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Pergamon Press, 1992.
20. BANET. **Argamassa**. Disponível [on line] via internet <http://www.banet.com.br/construcoes/materiais/argamassa/argamassas.htm>. capturado em 10/10/05.
21. BARBOSA, J.C.; INO, A. **Madeira, material de baixo impacto ambiental na construção - análise do ciclo de vida**. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2. Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2001. P. 139-146.
22. BAUER L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 5ª Ed. Revisada. 2000.
23. BELTRAN, J. V. L.; MARTINEZ, G. C. **Medidas para redução do consumo energético nos processos de produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos**. Cerâmica Informação nº 2/3 Janeiro / Abril 1999.
24. BILLET E. H. **The Interdisciplinary Journal of Design and Contextualy Studies. Brunel University**. [Brunel]. 2000. [on line] disponível via <<http://www.co-design.co.uk/ecodesign.htm>> capturado em 26/07/05.

25. BLASCO A. et al. **Tratamiento de emisiones gaseosas efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica.** Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, Univesitat Jaime - I, Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas - AICE. 1997. P. 1-191.
26. BONSSIEPE, G. **Teoria y Práctica del Diseño Industrial.** Barcelona: Gustavo Gili, 1978.
27. BRASIL. **Agenda 21:** Conferência da Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: 1992. 2a ed. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal, 1997. 558p.
28. BRANDON, P. S. Sustainability in mangement and organisation: the key issues? In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING. CONGRESS, June 7 -12, 1998, Gävle, Sweden. Proceedings....Symposium D. Gävle, Sweden: Kickan fahlstedt, 1998. 2358p. p. 1739-1747.
29. BRODKOM, F. - **As boas práticas ambientais na indústria extrativa: um guia de referência.** 2000. Ed. Instituto Geológico e Mineiro. Disponível [on line] via internet <http://www.igm.inet.pt/edicoes_on_line/diversos/praticas_ambientais/indice.htm> Capturado em 23/09/05.
30. BROWN, H. La producción humana de materiales como un proceso en la biosfera. In: SART, A. C. (Coord.) **El hombre y la biosfera.** Madrid: Blume, 1975. (Selecciones de Scientific American). p 122-131.
31. BULLENTIM, W. **Reciclagem do Alumínio.** World Resource Foundation. Junho/1998. Disponível [on line] via internet <http://www.resol.com.br/curiosidades2.asp?id=1670>.
32. BURGAUD, P. **Recyclage des polymères dans le bâtiment: l'exemple du PVC.** *CSTB Magazine* , n.90, p. 6-9, dec. 1995.
33. BUSANI, G. et al. **Piastrelle ceramiche e ambiente - emissioni gassose, acque, fanghi, rumore.** Sassuolo: p. 1 - 419, 1995.
34. CALMON, J.L., et al. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador, BA: ANTAC, 1997. p. 64-75.
35. CAMPBELL, S. **Lead by Example Walls and Cieling.** Disponível [on line] <<http://www.wconline.com/CDA/articleinformation/features/BNP>>. Capturado em 10/07/05.
36. CARR, J.; MUNN, D. A. **Agricultural disposal method of construction site gypsum wallboard waste.** ASC Proceedings of the 33rd Annual Conference. University of Washington - Seattle, Washington. 1997 p. 253-258.

37. CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. Artigo Técnico: **Aço, um material de construção ecológico para um desenvolvimento sustentável**. 2005 [on line] disponível em <<http://www.cbca-ibs.gov.br>> capturado em 01/08/05.
38. CEMBUREAU. 1998. BAT Reference Document - Chapter 2 & 3. Published by Cembureau - The European Cement Association, Brussels, 10pp.
39. CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, Netherlands: CIB, 1999. 120p. Report Publication 237.
40. CIWMB (California Integrated Waste Management Board) Drywall Recycling. Disponível [on line] via <<http://www.ciwmb.ca.gov/ConDemo/factsheets/Drywall.htm>>
41. COELHO. P. Artigo Técnico: **Pedreiras - Como ampliar os negócios, diminuir a ociosidade e ampliar a vida útil através da redução do impacto ambiental**. Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo e DEC/CCET Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
42. CONAMA **Resolução N.º 307, de 5 de julho de 2002**. Disponível [on line] via <<http://mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>> . Capturado em 24/09/05.
43. CONPET - Programa Nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural. Ministério de Minas e Energia.
44. CORAL TINTAS. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - Verniz**. 2005. Disponível [on line] <<http://www.tintascoral.com.br>> capturado em 16/09/05.
45. CURSI, R. **A versatilidade do Gesso**. Artigo. Gesso Nuevo Estilo. Edição 126. Março/2004. Disponível [on line] via <<http://www2.uol.com.br/viverbem/profissionais>> capturado em 20/09/05.
46. CURWEL, S.; HAMILTON, A .; COOPER, I. **Towards sustainable urban development: identifying the role for the development and construction industry professional: the work of BEQUEST**. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 18-21 nov., 1997, Canela, RS. Anais Porto Alegre : ANTAC, 1997. 353p.
47. CURWELL, S.; COOPER, I. **The implications of urban sustainability**. Building Research and Information. V. 26, nº 1, 1998. p.17-28.
48. DBGRAUS, Gesso Acartonado. Disponível [on line] via internet http://www.dbgraus.com.br/dB_arquivos_html/paredes.htm. capturado em 20/09/05.
49. DEMANBORO A C.; FERRÃO A. M.; MARIOTONI C. A. **Desafios Da Construção Sustentável Sob o Enfoque do Estoque de Recursos Naturais**. I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. 2004, São Paulo. Faculdade De Engenharia Civil, Arquitetura E Urbanismo Da Unicamp.

50. DAMASCENO, E. C., STOROLLI, F. A. P. Matérias primas minerais para refratários: revisão do potencial nacional. In: **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 38., 1994, Blumenau. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 1994, v. 1, p.348-353.
51. DIETER, George. **Materials selection and design**. New York: Mac-Graw Hill, 1998.
52. DURABILIDADE natural e preservação. **Eucalipto a madeira do futuro**, Curitiba: Lettech Editora, Revista da madeira, p. 82-83, set. 2001. Edição Especial.
53. EDO, M. D. **Valorización de Productos Ecológicos Aplicación al Diseño de Mobiliario de Oficina**. Teses de Doutorado em Engenharia Industrial. Universitat Jaume I. Departamento de Tecnologia. Castellón, Espanha. 2002. Pag. 58 - 90.
54. EMBRAPA, **Cultivo do Café Orgânico**. Anexo 02. **Compostagem**. Dez/2004. Disponível [on line] via internet <http://www.cnpab.embrapa.br/servicos/sistemasdeproducao/cafe/anexo02.htm>. capturado em 31/10/05.
55. ENCARNAÇÃO. F. Artigo Técnico: **Redução do impacto ambiental na produção de carvão vegetal e obtenção do ácido pirolenhoso como alternativa para proteção de plantas**. 2001. EMATER/RS.
56. ENVIRONMENT AGENCY. **Guidance on the Management of Landfill Gas**. Bristol. 2002. 172p.
57. EPA – Environmental Protection Agency. State of Environment report 95: mining & quarrying. [USA]: NSW Environment Protection Authority, 1995. Disponível em: <<http://www.epa.nsw.gov.au/soe/95/>>.
58. ESCOLHA de Produtos Cerâmicos. 2003. Artigo Internet disponível via <<http://www.eesc.usp.br/sap/docentes/sichieri/ceramica/principal6.htm>>. Capturado em 05/10/05.
59. ESQUADRIAS, **Muito mais que Molduras**. Artigo disponível [on line] via internet <http://www.flexeventos.com.br/construcao_esquadrias.asp>. Capturado em 16/10/05.
60. FAGUNDES, H. A. V. **Produção de Madeira Serrada e Geração de Resíduos do Processamento de Madeira de Florestas Plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p. 140.
61. FEDEMAC, http://www.artbella.com.br/prod05_1.htm. Capturado em 23/09/05.
62. FERNANDES, A. G. **Esquadrias Residenciais em Madeira: Contextualização de Variáveis para Otimização de Projetos**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p.53.

63. FOLHA DE SÃO PAULO ON LINE, CIÊNCIA. **Empresas estudam método de produção de aço mais ecológico.** Agência Lusa. Disponível em <<http://www.folha.oul.com.br>>. Capturado em 09 de set. de 2005.
64. FREITAS A. R.; NETO, O. B. **Os avanços tecnológicos no processamento e uso de produtos florestais: produção de madeira serrada de eucalipto.** In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., Curitiba. Anais... Curitiba: SBEF-SBBF, 1993. p. 293-295.
65. FREITAS, V. P.; SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M. **Durabilidade de mourões de *Eucalyptus grandis* preservados por substituição de seiva.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 6., Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 1998. P. 260-269.
66. FREITAS, C. G. L. de (coordenador), ... *et al.* **Habitação e Meio Ambiente: Abordagem Integrada em Empreendimentos de Interesse Social.** São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2001 - (Publicação IPT 2768).
67. FREY, M. et al. **Ambiente Igiene Sicurezza.** Sassuolo: Edi. Cer., c 1998. 190p.
68. FUKUROZAKI, Sandra H., SEO, Emilia S. M., RIBEIRO, Bianca S. **As áreas de transbordo e triagem e sua atuação no gerenciamento integrado de resíduos da construção civil.** In: Encontro Nacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA), São Paulo, 2003.
69. FUSCO, P. B. **Os caminhos da evolução da engenharia de madeiras.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 3., São Carlos. Anais... São Carlos: LaMEM/EESC-USP, 1989. P.7-18.
70. GEORGE, C. M.; SORRENTINO, F. P.; **"Valorization of basic oxygen steel slags".** In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 7. Paris, 1980. Anais. v. II, theme III, p. 46-50.
71. GLASSER. **Pisos, blocos e peças pré-moldadas.** Garulhos: GLASSER, 2002 (catálogo comercial e técnico, e jogo completo de folhetos - alvenaria e pavimentação).
72. GÓIS, C. C. et. al. **Sedimentação de resíduo Bayer utilizando floclulantes hidroxamatos e poliacrilamida.** Artigo Técnico da Revista Escola de Minas. vol.56 no.2 Ouro Preto Abr./Jun 2003.
73. GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da Madeira.** Bauru, SP: Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves, 2000,
74. GREEN BUILDING DIGEST. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Reserarch Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), 1995.

- 75.....Carpets & floor covering. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), 1995. n.9, Mar. 1996a 13p.
76.Mansory materials. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), 1995a. 13 p.
- 77.....Roofing materials. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), 1995. n. 11, June/July 1996b 27 p.
78.Window frame. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n.7, Nov.1995c. 13p.
- 79.GRIGOLETTI, G. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do RS**. 2001. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 80.GULISANO, G.; MARLETTA, L.; SAPIENZA, V. Energy cost of building materials and life-cycle assessment. In: **International Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA: Environmentally Friendly Cities**, 1998, Lisbon. Proceedings...Lisbon, Portugal: James & James Science Publishers, Jun. 1998. p. 521-524.
- 81.GUNTHER, W. M. R. **Minimização de resíduos e educação ambiental**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. Anais. Curitiba 2000.
- 82.HINCAPIÉ H. A. M. **Efeito de substâncias retardadoras de pega nas propriedades do gesso de construção**. São Paulo, 1997. 172 p. Dissertação (Mestrado) disponível [on line] via internet <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>> capturado em 02/09/05
- 83.HALLIDAY, S. P. **Environmental code of practice for buildings and their services**. Berkshire: The Building Services Research and Information Association (BSRIA), 1994. 130P
- 84.HUOVILA, P. **On the Way towards Sustainable Building**, 1999, disponível em <<http://www.iris.ba.cnr.it/sksb/PAPERS/key04.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2005.
- 85.IBS. Instituto Brasileiro da Siderurgia. Aço e Meio Ambiente.
- 86.IDHEA, Instituto para Desenvolvimento para a Habitação Ecológica. Artigo Técnico: **Blocos de concreto**. 2005.
- 87.IDPN, Instituto de Defesa do Patrimônio Nacional. **Parecer Técnico sobre a Proposta de Resolução do CONAMA para inclusão dos resíduos da construção civil contendo amianto na classe “D”**. 2004. Disponível [on line] via

<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EC4B05E7/2ParecerIDPN.doc>.

Capturado em 26/10/05.

88. IKEDA, S. (Coord.) **Conservação de energia na indústria cerâmica**: manual de recomendações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo (SEPLA), 1980. 214p.
89. INDI. Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais. Perfis Industriais. **Blocos de Concreto**, 2005
90. International Organization for Standardization (ISO), **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework**, International Standard -14040, 1997.
91. INGESEL. Mineração, Calcinação e Pré-moldados Ltda. Catálogo comercial. Disponível [on line] via Internet <<http://www.ingesel.com.br/Telas/gessos.htm>.> Capturado em 07/10/05.
92. JOHN, L. **Impacto ambiental de indústrias ainda é crescente**. Disponível [on line] via internet <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/jun/04/261.htm>> capturado em 13/10/05.
93. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102f. Tese (Livre Docência em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
94. JOHN, V. M.; A., CINCOTTO, M.A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. Professor Doutor EP-USP/ PCC. Contribuição apresentada a discussão da reformulação da Resolução CONAMA 307, relativa a gestão do gesso. Julho de 2003.
95. JOHN, V. M. J. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-45.
96. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
97. JONHSON, H. **La Madera**. Barcelona: Blume, 1994.
98. JOHNSON, S. **Greener building**: environmental impact of property. London, UK: Macmillan, 1993. 186p.
99. KINDLEIN JUNIOR, W.; PLATCHECK, E. R.; PEREIRA, C. A.; SILVA, E. A. - **Proposta de Implementação do Ecodesign na Incubadora Tecnológica de Design de Produto (Cientec/Ndsm)** - Brasília, Anais do 1º Congresso

Internacional de Pesquisa em Design e 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design - P&D 2002, outubro de 2002.

100. KLEIN, S. E. S., SELL, I. **Gestão ambiental na construção civil de edificações**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA), São Paulo, 2003.
101. KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Tese de Doutorado, Technical Research Centre of Finland, 2000.
102. KRONKA, R. **Arquitetura, sustentabilidade e meio ambiente**. In: ENCONTRO NACIONAL E ENTRO LATINO-AMERICXANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2001.
103. KOPEZINSKY, I. **Mineração x meio ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103p.
104. LAFARGE Gypsum. Catálogo Comercial.
105. LAMBERT, Mark. Agricultura e Meio Ambiente. Scipione, São Paulo, 1992.
106. LAWSON, B. **Building materials, energy and the environment: towards ecologically sustainable development**. Australia: The Royal Australian Institute of Architects, 1996. 135 p.
107. LIPPIATT, B. BEES 1.0 - **Building for environmental and economic sustainability: technical manual and user guide**. United States of America: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Apr. 1998. 84p.
108. LIPPIATT, B. BEES 3.0 - **Building for environmental and economic sustainability: technical manual and user guide**. United States of America: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Oct. 2002. 207p.
109. LIPPIATT, B.; MULLER, R.; HOFSTETTER, P.; OVERLY, J.; CURRAN, M. A. BEES 2.0 - **Building for environmental and economic sustainability: technical manual and user guide**. United States of America: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Apr. 2002. 43p.
110. LYRA, A. C. **O Mercado de gipsita e gesso no Brasil**. Vortal Cadeia Produtiva do Gesso, 2002. Disponível [on line] via internet <<http://www5.prossiga.br/gesso/indez.html>>
111. LUND, H. F. **The McGraw-Hill recycling handbook**. New York, USA: McGraw-Hill, 1993. I.65p.

112. MADEIRA de Eucalipto na construção. **Eucalipto a madeira do futuro**, Curitiba: Lettech Editora, Revista da madeira, p. 100-102, set. 2001. Edição especial.
113. MADEREIRA Guimarães. Catálogo Comercial. Disponível via internet [on line] www.madguimaraes.com.br . Capturado em 02/11/05.
114. MALIN , N.; WILSON, A. **Should we phase ou PVC?** *Environmental Building News*. v.3, n. 1, p. 1, 9-18, Jan/Feb. 1994.
115. MANFREDINI, C. **Impactos Ambientais causados pelas Indústrias de Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
116. MARVIN, E. Gypsum Wallboard Recycling and Reuse Opportunities in the State of Vermont. Vermont Agency of Natural Resources, 2000.
117. MASCARÓ, J. L. Consumo de energia e construção de edifícios. São Paulo: SECOVI, 1981. 77f.
114. MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. Porto Alegre: Sagra/Luzzatto, 1998. 180p.
115. MASCARÓ, L. E. **Análise prévia para caracterização de aspectos energéticos dos materiais de construção**. Relatório de Pesquisa. Porto Alegre: PROPAR/UFRGS, 1988. 76p.
118. MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissão de Gases de Efeito Estufa na Produção e no Uso do Carvão Vegetal na Siderurgia**. Disponível em <<http://ecen.com/eee20>> capturado em 04 de set. de 2005.
119. MELLER ALFOMBRAS. **O Melhor Mundo pode estar a seus Pés**. Catálogos Comerciais. 2005. Disponível [on line] via <<http://www.meller.com.ar>> capturado em 20/09/05.
120. MITIDIERI, C.V.; CAVALHEIRO, W. **Desenvolvimento de sistema construtivo em “painéis cerâmicos”**. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. Projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações, 1988. p.175-178.
121. MITIDIERI, FILHO, C. V. **Paredes em chapas de gesso acartonadas. Como construir**. Revista Técnica, n.º 30. São Paulo: EPUSP, 1997. 6 p.
122. MITIDIERI, C. V.; IOSHIMOTO, E. **Controle de qualidade de telhas e blocos cerâmicos**. In: Tecnologia de edificações. Projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações, 1988. p. 117-122

123. MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A. Z.; JUNIOR, M. C. **As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos.** Revista Cerâmica Industrial, (São Paulo), v. 6, n.2, p.28-39, 2001.
124. MUDANÇA Climáticas. Reportagem: **Atividades humanas promovem aumento do efeito estufa.** Disponível [on line] via internet <<http://www.comciencia.br/reportagem/clima/clima07.htm>>. Capturado em 28/10/05
125. NBR 7217/87 – **Agregados: Determinação da composição granulométrica.**
126. NOLHIER, M. **Construire em plâtre.** França, L´Harmattan 1986.
127. NOTÍCIAS, Supremo Tribunal Federal de 24/5/2002– 17: 57.
128. NUTRIVEG www.nutriveg.com.br/carpetes
129. OFFICEFLEX, Parede Sistema Dry Wall. Gesso Acartonado <http://www.officeflex.com.br/drywall.htm#tf>. Capturado em 10/11/05.
130. ONDULINE. Catálogos Comerciais. 2005
131. ORBITAL www.orbitalestruturas.com.br. Capturado em 01/10/05.
132. PADIN MARTIN MADEREIRA. **Agrupamento de Madeiras por massa específica.** Catálogo comercial. [on line] disponível via <<http://www.padin.com.br>> capturado em 20/05/05.
133. PALEGESSO, Catálogo comercial. Disponível [on line] via <http://www.palegessos.com/produtos/> Capturado em 12/10/05.
134. PEITER, C. C. Artigo Técnico: **Construção Civil: Pó de Rocha Reciclado.** Pesquisador ligado ao Instituto Nacional de Tecnologia e o Centro de Tecnologia de Minerais (Cetem). 2004. Disponível [on line] via internet <<http://setorreciclagem.com.br/modules.php>>. capturado em 09/10/05.
135. PEREIRA, A. F. **Compreensão e interpretação da sustentabilidade no âmbito do design do produto,** Nucleo de Madeira - Escola de Design - UEMG, trabalho apresentado no Congresso da ANPPAS, 13 p, 6 a 9 de nov. de 2002.
136. PERKINS, H. C. **Air pollution.** New York, US: McGraw-Hill, 1974. 407p.
137. PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção.** 5ed. Porto Alegre: Globo, 1980. 435p.
138. PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção.** 6ed. Porto Alegre: Globo, 1982. 435p.

139. PEZENTE, J.H. **Pavimentação com lajotas de concreto**. Artigo Técnico. Disponível [on line] via http://www.escolher_e_construir.eng.br capturado em 12/06/05.
140. PEZENTE, J.H. **Placas Cimentícias**. Artigo Técnico. Disponível [on line] via http://www.escolher_e_construir.eng.br capturado em 01/10/05.
141. PEZENTE, J.H. **Esquadrias de PVC**. Artigo Técnico. Disponível [on line] via http://www.escolher_e_construir.eng.br capturado em 16/10/05.
142. PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**,. Rio de Janeiro, RJ. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. 6ª edição. 2003.
143. PIERCE, F. Artigo Técnico: **Cimento ecológico pode reduzir efeito estufa** 12/10/2002 Da New Scientist.
144. PINHEIRO, Z. Artigo Técnico: **Um novo Passo para a Construção**. 1999. Disponível [on line] via <<http://www.climanet.pt>> capturado em 25/08/2005.
145. PINTO, T. de P. **Reciclagem e reutilização de resíduos da construção urbana no brasil: situação atual**. In: Workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. Anais...São Paulo: PCC/USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 1996. p. 159-170.
146. PIVA, A. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem mecânica do PVC**. São Paulo: Instituto do PVC, 1999.
147. PROCESSO valoriza madeira de eucalipto. Eucalipto a madeira do futuro, Curitiba: Lettech Editora, Revista da madeira, p.94-95, set. 2001. Edição especial.
148. **RECICLAGEM de Metal**. Artigo Técnico da Revista Ambiente Brasil. Disponível [on line] via internet <www.ambientebrasil.com.br/agenda/imprimir.php>. Capturado em 30/09/05.
149. RECH, C. **Estudo Sugere Uso de Serragem Como Insumo**. Revista da Madeira, Curitiba: n. 66, p. 30 - 34, 2002.
150. REMADE, Revista da Madeira. Utilização da madeira em construções rurais. Disponível [on line] via <http://www.remade.com.br/revista/materia.php>. Capturado em 09/09/2005.
151. RINCÃO. **O Rincão Gaia**. (2000). Disponível [on line] via internet <<http://www.fgaia.org.br/rincao.html>>. Capturado em 29/10/05.
152. RIPPER, E. Manual Prático de Materiais de Construção. Recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. 1ª edição. Porto Alegre. Pini, 1995.
153. RODOLFO, JR.; NUNES, L.R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 1ª ed. São Paulo. Braskem, 2002.

154. ROMAN, H.; GLEIZE, P. **Possibilidades de utilização de resíduos pela indústria cerâmica.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VII, 1998, Florianópolis. **Anais eletrônicos.** Foz do Iguaçu: InfoHab/LabEEE, 2002.
155. ROMANO, D. Artigo publicado em "**Ciudades libres de PVC**". *México Ambiente, construcción y PVC.* Greenpeace. Boletín Informativo. 1997. Disponível [on line] <<http://www.habitat.aq.upm.es/boletin/n5.html>> capturado em 13/07/05.
156. ROMANO, D. **Meio Ambiente, Construção e PVC.** Artigo publicado em "Ciudades Libres de PVC". Greenpeace. Boletim informativo, 1997.
157. SANTOS, I. S. S.; SILVA, N. I. W. **Manual de Cerâmica Vermelha.** Porto Alegre: SEBRAE/RS, 1995.56P.
158. SATO, K.; AOKI, M.; NOYORI, R.; Science **1998. Química Verde, Pesquisa e Desenvolvimento.** Disponível [on line] via <<http://www.ufpel.tche.br>> capturado em 19/09/05.
159. SCHMOLL, V. (Petrobrás). **Atividades humanas promovem aumento do efeito estufa.** Artigo Técnico. Disponível [on line] via internet <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima07.htm>> Capturado em 28/10/05
160. SECAGEM da madeira de eucalipto. Eucalipto a madeira do futuro, Curitiba: Lettech Editora, Revista da madeira, p. 72 -74, set. 2001. Edição Especial.
161. SERSALE, R.; AMICARELLI, V.; FRIGIONE, G.; UBBRIACO, P.; "**A Study on the Utilization of an Italian Steel Slag**". CONGRESSO INTERNACIONAL DE QUÍMICA DO CIMENTO, 8. Rio de Janeiro. 1986. Communications Theme 1 v. II. p. 194 – 198.
162. SILVA, V. G. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. Qualidade na Construção,** São Paulo, n 25, p. 14-22, 2000.
163. SILVA, V. G.; SILVA, M. G. **Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8º, Salvador 2000. Anais... Bahia: (s.n), 2000, v.1.
164. SINAPROCIM. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento.
165. SINDUSCON. 2003. Artigo Técnico: **O Mercado de Gipsita e Gesso no Brasil.** Disponível [on line] via internet <<http://www.sindusgesso.org.br>>
166. SMA Nº 69/97 Secretaria do Meio Ambiente, 06 de novembro de 1997. Artigo 4º. Capítulo V. item a) e b).

167. SMIRNE, Ricardo N., SOUZA, Maria Tereza S. de. **Gerenciamento de resíduos sólidos e reciclagem na cadeia produtiva da construção civil como fatores determinantes para redução de impactos ambientais**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA), São Paulo, 2003.
168. SPERB, M.R. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2000.
169. SPIEL, R.; MEADOWS, D. **GREEN BUILDING MATERIALS: A Guide to Product Selection and Specification**. 1999. p. 9-13.
170. STAHEL, A. W. **Capitalismo e entropia**. In: BECKER, Dinizar Fermiano, org. **Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1999, 238p.
171. TÉCHNE, 1998 Artigo Técnico: **Alvenaria Estrutural** (Texto extraído da revista Téchné, 34 mai/jun 1998. P.26-31).
172. TÉCHNE, 2002 Artigo Técnico: **Forros de PVC** (Texto extraído da revista Téchné, 68 nov 2002).
173. TOOLBASE Service. Disponível [on line] via internet <<http://www.toolbase.org/tertiaryT.asp?TrackID=&CategoryID=1914&DocumentID=3994>>. Capturado em 15/10/05.
174. 3D SYSTEM, **Ficha de dados de segurança para o Pó de Alumínio**. Disponível [on line] via internet <<http://www.3dsystems.com>>capturado em 03/10/05.
175. TURRA, D., ETCHEPARE, H. KINDLEIN JUNIOR, W. **Caracterização e viabilidade de reciclagem dos materiais nos centros de triagem de Porto Alegre e Região Metropolitana**. Rio Grande do Sul, 18 p, 2002.
176. URIARTT, A. A. A madeira como material de construção. In: BAUER, L. A. FALCÃO (coord.) **Materiais de Construção 2**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999. Cap. 17, p.437-525.
177. USEPA, **Emission factor documentation for AP-42, section 10.6.2: particleboard manufacturing**, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2001.
178. VAZ, J. C. **A construção e o meio ambiente. Meio ambiente: um grande problema**. Artigo Técnico [on line] disponível em <<http://www.ufmt.br>> capturado em 29/07/05.
179. VERÇOZA, E.J. **Materiais de Construção**. V. I e II. 3ª ed. Porto Alegre: Sagra, 1987.

180. VILLAR, V. S. **Perfil e perspectivas da indústria de cerâmica vermelha no sul de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC, 1988.
181. VIMADEM **Projetos e Casas - Madeiras Selecionadas**. Catálogo Comercial. Disponível [on line] via <<http://www.vimade.com.br/port/prod/madeiras.htm>>. Capturado em 27/09/05
182. WELLS, J. **Milho vira Carpete**. Disponível [on line] via internet <http://www.atelierdenoivas.com.br> Capturado em 07/07/05.
183. WHO (World Health Organization) 1998. Environmental Health Criteria 203 Chrysotile Asbesto. Geneva.
184. WILSON, A. **Building Materials: what makes a product green?** Environmental Building News, Brattleboro, 2000. Disponível [on line] via internet <http://www.buildinggreen.com/features/gp/gree_products.htm>. Capturado em 25/08/05.
185. WILSON A. **Low-slope roofing: prospects looking up**. Environmental Building News. v. 7, n. 10, p. 1,10-19, Nov. 1998.
186. WINTER, W.: MERL, A . **Oekowegleiche funktional gleichwertiger Bauten**. Wien: Arbeitsbericht des ITI, TU Wien, 1998.
187. YUBA, A. N. **Cadeia Produtiva da madeira serrada de eucaliptos para produção sustentável de habitações**. Porto Alegre, 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
188. ZENID, G. J. **Qualificação de produtos de madeira para a construção civil**. In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2., Caxias do Sul. Anais... Caxias do Sul: SINDIMADEIRA, 2001. p. 61-76.
189. ZORDAN, S. E., PAULON, V. A. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto**. Campinas: Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.

Apêndice 9.1: Questionário Elaborado Especificamente para este Trabalho

9.1 Questionário Elaborado Especificamente para este Trabalho

O questionário elaborado para este trabalho, conforme apresentado a seguir, foi aplicado em dez escritórios de engenharia e/ou arquitetura, os quais foram respondidos pelos profissionais responsáveis e com atividades na área de construção especificamente de residências unifamiliares, na área metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

O resultado desta pesquisa é apresentado na tabela 14, no fim deste item, onde pode-se observar a média dos dados obtidos, resultando na classificação, por ordem de utilização no mercado, dos materiais para cada etapa da construção.

PESQUISA PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Classificar em ordem crescente a utilização, numa residência unifamiliar, dos seguintes materiais em cada etapa da construção, de 7 a 1 conforme cada caso, onde (7) representa o produto mais utilizado e (1) o menos ou não utilizado.

1. Fundações	Frequência de Utilização (Mercado)
Concreto armado	
Pedra natural (pedra grés, granito, etc.)	
Aço	
Madeira	
Concreto reciclado (com agregado reciclado)	
2. Revestimentos de Pisos	
Cerâmica	
Madeira (taco, assoalho, parquê, etc.)	
Melamínicos	
Pedra natural (granito, mármore, etc.)	
Vinílicos (paviflex, duraflex, etc.)	
Carpetes Têxteis	
3. Elementos de Vedação	
Tijolos e blocos cerâmicos	
Gesso acartonado	
Blocos de concreto	
Madeira	
Placas cimentícias	
Concreto celular autoclavado	
Concreto reciclado (com agregado reciclado)	
4. Revestimentos de Paredes	
Emboço e/ou Reboco (argamassa convencional)	
Cerâmica	
Pasta ou argamassa de Gesso	
Madeira	
Pedra natural (granito, mármore, etc.)	
5. Esquadrias	
Madeira	
PVC	
Alumínio	
Aço	
6. Forros	
De Gesso (acartonado ou gesso)	
De PVC	
De Madeira	
7. Revestimentos de Telhados	
Telha de Cerâmica	
Telha de Fibrocimento	
Telha de Concreto	
Telha Asfáltica	

OBS: Colocou-se de 7 a 1 visto que a etapa de elementos de vedação possui 7 alternativas, mas as outras etapas podem ser de 3 a 1, 4 a 1, 5 a 1 e assim sucessivamente, sendo nestes Casos o ultimo número a alternativa menos ou não utilizada.

Tabela 17: RESULTADO DA PESQUISA PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Etapa de Construção/ Materiais	Pesquisa 1	Pesquisa 2	Pesquisa 3	Pesquisa 4	Pesquisa 5	Pesquisa 6	Pesquisa 7	Pesquisa 8	Pesquisa 9	Pesquisa 10	Média
1. Fundações e/ou estruturas											
Concreto armado	5	5	5	5	5	3	5	4	4	4	4,5
Pedra natural	4	3	4	4	4	2	4	5	5	5	4,0
Aço	3	4	3	3	3	4	3	2	3	3	3,1
Madeira	2	2	1	1	1	5	1	3	2	2	2,0
Concreto reciclado	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1,4
2. Revestimentos de Pisos											
Cerâmica	6	6	4	6	6	6	5	5	6	6	5,6
Madeira	5	4	5	3	5	1	3	6	5	5	4,2
Melamínicos	4	5	6	5	1	5	6	3	2	3	4,0
Pedra natural	3	2	3	1	3	3	4	1	4	2	2,6
Vinílicos	2	3	2	4	2	4	1	4	1	1	2,4
Carpetes Têxteis	1	1	1	2	4	2	2	2	3	4	2,2
3. Elementos de Vedação para Paredes											
Tijolos e blocos cerâmicos	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,0
Gesso acartonado	6	5	5	5	5	6	6	4	3	6	5,1
Blocos de concreto	5	6	3	6	6	4	5	5	6	4	5,0
Madeira	4	4	6	5	4	5	4	6	5	5	4,8
Placas cimentícias	3	3	4	2	3	3	3	3	4	3	3,1
Concreto celular autoclavado	2	1	2	3	2	1	2	2	1	2	1,8
Concreto reciclado	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1,3
4. Revestimento de Paredes											
Emboço e/ou Reboco	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4,9
Cerâmica	4	3	3	3	4	3	4	2	4	4	3,4
Pasta ou argamassa de Gesso	3	4	4	5	1	4	2	4	1	1	2,9
Madeira	2	1	2	2	2	1	1	3	3	3	2,0
Pedra natural	1	2	1	1	3	2	3	1	2	2	1,8
5. Esquadrias (Janelas e Portas)											
Madeira	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3,8
Alumínio	2	2	1	3	4	3	4	3	3	2	2,7
PVC	3	3	3	1	1	2	2	1	1	3	2,0
Aço	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1,5
6. Forros											
De Gesso	3	3	3	2	3	3	3	1	2	3	2,6
De Madeira	1	1	2	3	2	2	2	3	1	2	1,9
De PVC	2	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1,5
7. Telhados											
Telha de Cerâmica	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	3,7
Telha de Fibro-cimento	3	3	1	4	4	3	3	3	4	2	3,0
Telha de Concreto	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1,7
Telha asfáltica	1	1	2	1	2	1	1	2	1	3	1,6

Apêndice 9.2: Programa Criado Especificamente para este Trabalho

9.2 Programa Criado Especificamente para este Trabalho

Com o propósito de apresentar material fotográfico proveniente da pesquisa dos materiais mais utilizados em construções unifamiliares, e seu status ambiental, foi criado software específico para abrigar as informações em forma de banco de dados.

Para tanto, foi utilizada a linguagem de programação PHP que com banco de dados mySQL e arquivos fotográficos em JPG, armazenados em um computador com sistema operacional Linux e servidor de Internet Apache.

Para consulta ao banco de imagens é necessário acessar o sistema e fornecer nome e senha do usuário, junto ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais/UFRGS, representado na figura 1.

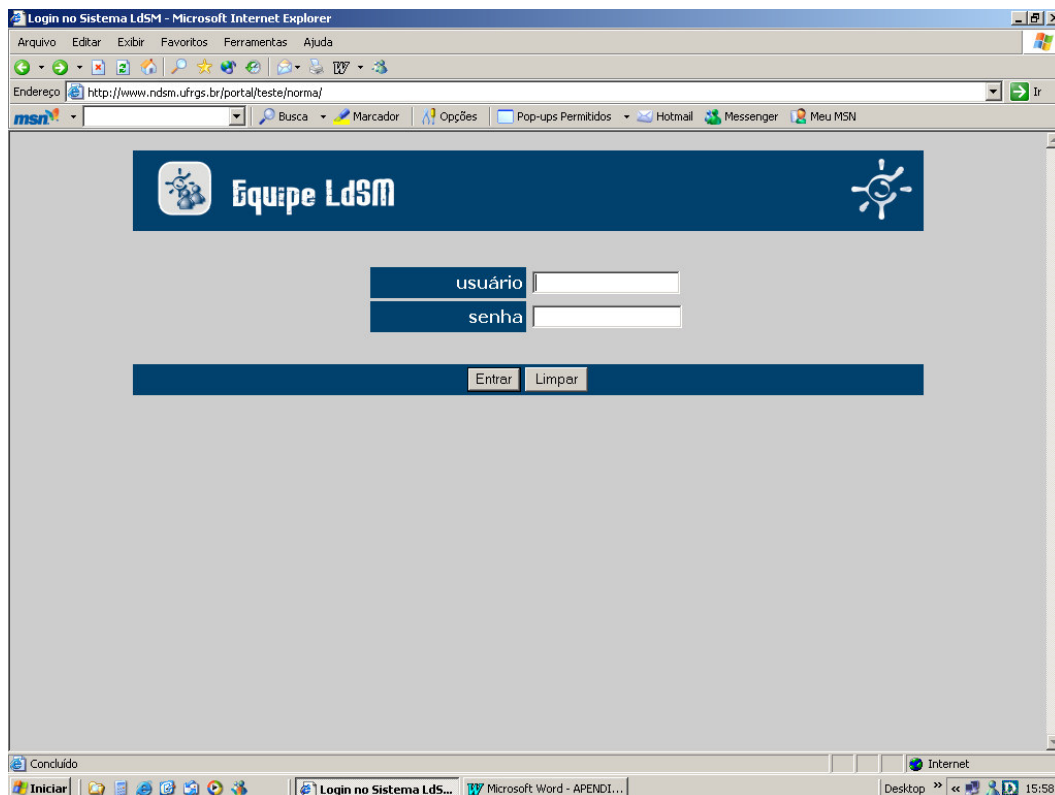


Figura 1: Página do sistema, Identificação do usuário

O sistema habilita qualquer pessoa autorizada a consultar e introduzir informações com a finalidade de aumentar o referido banco de dados. Para isto, insere-se no programa, através do "Cadastrar Elemento" (figura 2), informando a Etapa da Construção em montagem, colocando-se a foto que vai ser introduzida (figura 3), identificando a mesma dentro dos materiais da lista "verde" ou "vermelha" sendo estas mais ou menos favoráveis do ponto de vista ambiental, respectivamente (figura 4).



Figura 2: Página do Sistema. Menu de Acesso.

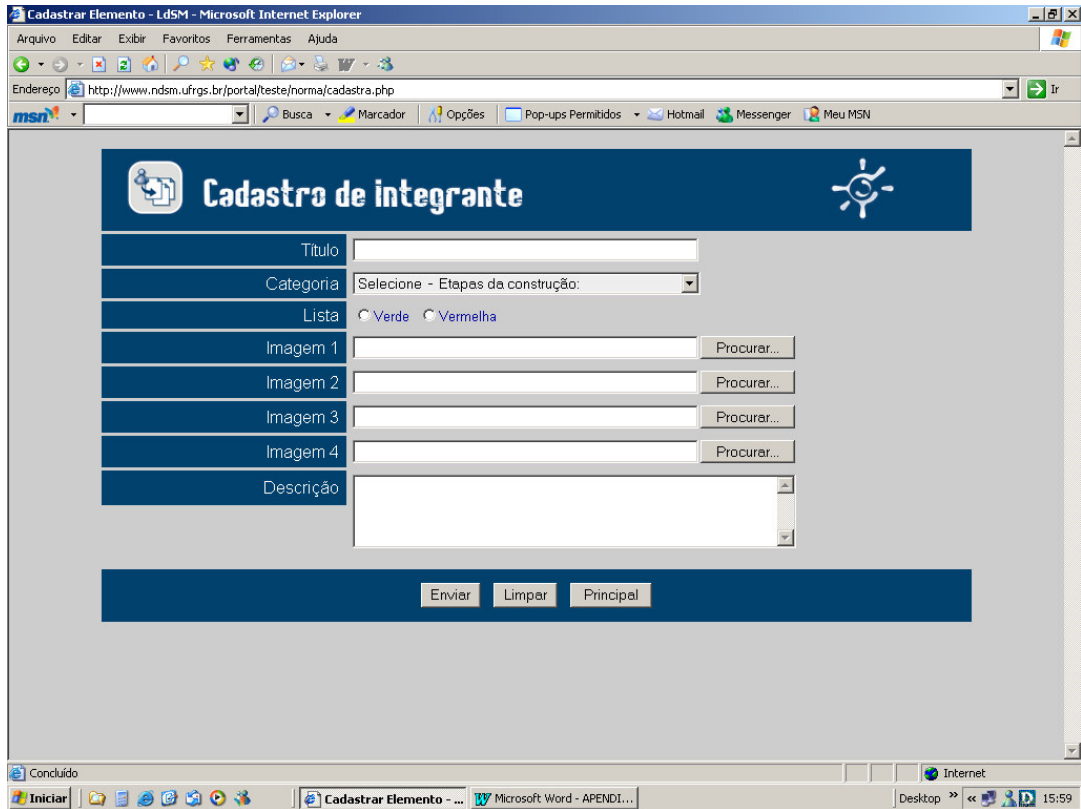


Figura 3: Página do Sistema. Cadastramento do Elemento

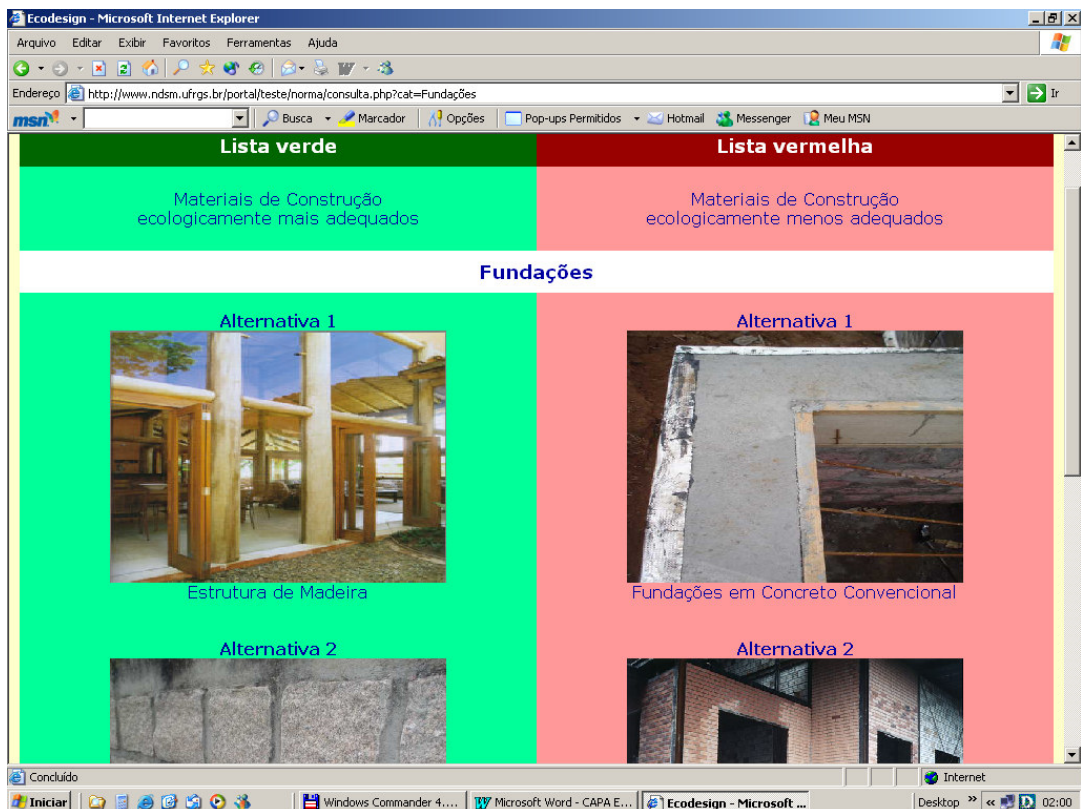


Figura 4: Página do Sistema. Apresentação dos Elementos Cadastrados

**Apêndice 9.3: Listagem das Etapas de Construção que não foram abordados
nesta Dissertação**

9.3 Listagem das Etapas de Construção que não foram abordados nesta Dissertação

Como mencionado, este trabalho abordaria inicialmente todas as etapas de construção de uma residência unifamiliar em ambiente urbano, conforme relação a seguir, da qual foram extraídas as etapas que foram analisadas nesta dissertação. As etapas restantes não foram possível em tempo hábil da elaboração deste trabalho.

- 1 Esgoto e Drenagem Externa
- 2 Calçamento de Acessos
- 3 Divisórias de Jardim
- 4 Fundações
- 5 Construção de Pisos
 - 5.1 Pisos Internos
 - 5.2 Pisos Externos
- 6 Construção de Paredes Internas
 - 6.1 Paredes Internas (Divisórias)
 - 6.2 Paredes Internas Sólidas
- 7 Paredes Externas
- 8 Isolamento de Paredes
- 9 Telhados
 - 9.1 Formas de Telhados
 - 9.2 Materiais para Estrutura de Telhados
 - 9.3 Isolamento dos Telhados
 - 9.4 Materiais para Revestimento de Telhados
- 10 Aberturas Externas e/ou Internas (Janelas e Portas)
- 11 Revestimento de Paredes
- 12 Revestimento de Pisos Secos
- 13 Revestimento de Pisos Úmidos
- 14 Escadas e Corrimãos
- 15 Vidros
- 16 Selantes

- 16.1 Selante para Juntas
- 16.2 Selante para Rachaduras
- 16.3 Selantes Plásticos
- 17 Reboco
 - 17.1 Reboco Interno
 - 17.2 Reboco Externo
- 18 Decoração de Pisos e Paredes
 - 18.1 Decoração de Pisos
 - 18.2 Decoração de Paredes
- 19 Pintura
 - 19.1 Pintura em Madeira
 - 19.2 Pintura em Paredes Internas e Externas
 - 19.3 Pintura em Metais Ferrosos
- 20 Calhas e Tubos de Descarga
 - 20.1 Calhas
 - 20.2 Tubos de Descarga
- 21 Encanamentos
- 22 Instalações Elétricas
- 23 Forros

GLOSSÁRIO

- **ASTM A36:** nomenclatura dada ao aço utilizado para estrutura ou fundações.
- **Alburno:** parte da madeira, situada entre o câmbio e o cerne, normalmente é mais macia, de coloração mais clara, mais permeável e menos durável. A proporção do alburno varia, conforme a espécie, de 25 a 50% de lenho.
- **Batente:** o mesmo que marco, constituído de duas ombreiras, uma verga e um peitoril ou soleira. Pode ser considerado o rebaixo na ombreira onde se encaixa a folha de uma porta ou janela de abrir.
- **Baguete:** "perfil utilizado para a fixação do vidro ou de painéis nos quadros fixos, folhas móveis, geralmente encaixados por meios mecânicos nos perfis das folhas ou quadros, podendo ser removidos para a troca de vidros" (ABCI, 1991).
- **CA- 50:** aço para concreto armado utilizado na armadura de fundações.
- **Cerne:** núcleo inativo mais antigo e rijo de uma árvore, constituído de tecido morto, sem seiva, amido ou açúcar, normalmente mais escuro, denso e durável do que o alburno que o envolve. O cerne tem maior densidade, compacidade, resistência mecânica e durabilidade, pois não é atrativo aos insetos e outros agentes de deterioração.
- **Coque:** Resíduo sólido da destilação do carvão mineral.
- **Desdobro:** Corte das toras feito pelas serrarias para formação dos pranchões. E também cortes destes pranchões, para formação de tábuas, vigas e barrotes
- **Emboço:** A primeira camada de argamassa, ou de cal, na parede, e que serve de base ao reboco.
- **Engobe:** Mistura de argila líquida, óxidos e outros componentes que pode ser aplicada em uma peça antes da esmaltação. É utilizada em peças cruas (ponto de couro), mas pode também, de acordo com alguns ceramistas, ser aplicada em peças biscuitadas

- **Madeira dura:** é a madeira proveniente de árvores frondosas (dicotiledôneas, da classe Anfiósperma, com folhas achatadas e largas), de crescimento lento e massa específica aparente (M_e) superior a 950 kg/m^3 , como jatobá, itaúba, peroba, ipê, aroeira, carvalho, etc.; as madeiras duras de melhor qualidade são também chamadas madeira de lei.
- **Madeira macia:** é a madeira proveniente em geral das árvores coníferas (da classe Gimnosperma, com folhas em forma de agulhas ou escamas e sementes agrupadas em formas de cones), de crescimento rápido e massa específica aparente (M_e) inferior a 500 kg/m^3 , como pinheiro-do-paraná e pinheiro-bravo, ou pinheirinho, pinheiros europeus, norte-americanos etc.
- **Madeira Serrada:** é o produto estrutural de madeira mais comum. O tronco é cortado nas serrarias, em dimensões padronizadas para o comércio, passando depois por um período de secagem. Além de defeitos oriundos da sua fabricação, a madeira serrada apresenta limitações geométricas tanto em termos de comprimento quanto de dimensões da seção transversal.
- **Madeira bruta ou roliça:** é empregada em forma de tronco, servindo para estacas, escoramentos, postes, colunas, .etc.
- **Madeira flaquejada:** é a madeira que tem as faces laterais aparadas a machado, formando seções maciças, quadradas ou retangulares, utilizada em estacas, cortinas cravadas, pontes, etc.
- **Óleo BPF:** óleo com baixo poder de fusão, sendo resíduo da produção de diesel e gasolina, oriundo da refinaria de petróleo.
- **Refil:** resíduo proveniente de serrarias, serragem e cavaco, das indústrias de móveis, possui forma de sarrafos, com comprimentos e do papel, proveniente da indústria calçadista